



el nuevo puente de Saint-Cloud *Paris · Francia*

562 - 145

J. MATHIVAT

Director de Estudios de la Empresa
Campenon-Bernard-Europe

sinopsis

Se describen en este artículo los diversos problemas resueltos y los múltiples trabajos realizados para construir este puente, que une la autopista A-13 con el bulevar periférico de la capital francesa, permitiendo el paso sobre el Sena.

La solución adoptada, en definitiva, ha sido de tablero de hormigón pretensado, apoyado en pilas de hormigón armado sobre cimentación de placa o de pilotes, según los casos.

La obra tiene una longitud total de 1.360 m, de los cuales 1.103 m son obras de fábrica: 574 m, de viaducto de acceso, y 529 m, de puente sobre el río. En total se distribuye en 14 tramos, con luces desde 46 a 101,75 m, un tramo de 42 m en la orilla izquierda y otro de 49 m en la orilla derecha.

DISPOSICIONES GENERALES

La construcción del nuevo puente de Saint-Cloud, que se inscribe en el marco de los trabajos de unión de la autopista A-13 al bulevar periférico de París, permite el paso del Sena y de las vías de servicio locales sobre las dos orillas del río. Después de unas ofertas relativas a una solución con tablero metálico, que ha resultado infructuoso, la ejecución ha sido confiada por el Ministerio del Equipamiento al grupo formado por las empresas Campenon-Bernard-Europe, Fougerolle, Morillon-Corvol y l'Urbaine de Travaux, sobre un proyecto en hormigón pretensado estudiado por Campenon-Bernard-Europe.

Desde la salida E. del túnel de Saint-Cloud hasta la linde del bosque de Bologne, sobre la orilla derecha del Sena, el proyecto se extiende en una longitud total de 1.360 m, de los cuales 1.103 m son obras de fábrica.



El nuevo puente de Saint-Cloud está constituido por un tablero de hormigón pretensado de altura constante, presentando la estructura de una viga continua que descansa sobre pilas y estribos mediante apoyos simples. Debido a su longitud, la obra está repartida en dos tramos: el viaducto de acceso, de 574 m de longitud, y el puente sobre el Sena, de 529 m, separados por una junta de dilatación, formando articulación, dispuesta alrededor del punto de momento nulo de un tramo. Lleva catorce tramos corrientes, cuyas luces varían de 46 a 101,75 m, y dos tramos de orilla con luces de 42 m en la orilla izquierda y 49 m en la orilla derecha.

A la salida del túnel de Saint-Cloud, las calzadas de la autopista utilizan la rampa actual de la avenida del Palais, y se elevan en terraplén entre muros de sostenimiento hasta el estribo de la obra situado a media pendiente. El viaducto de acceso franquea, girando ligeramente, la plaza de G.-Clémenceau y la vía

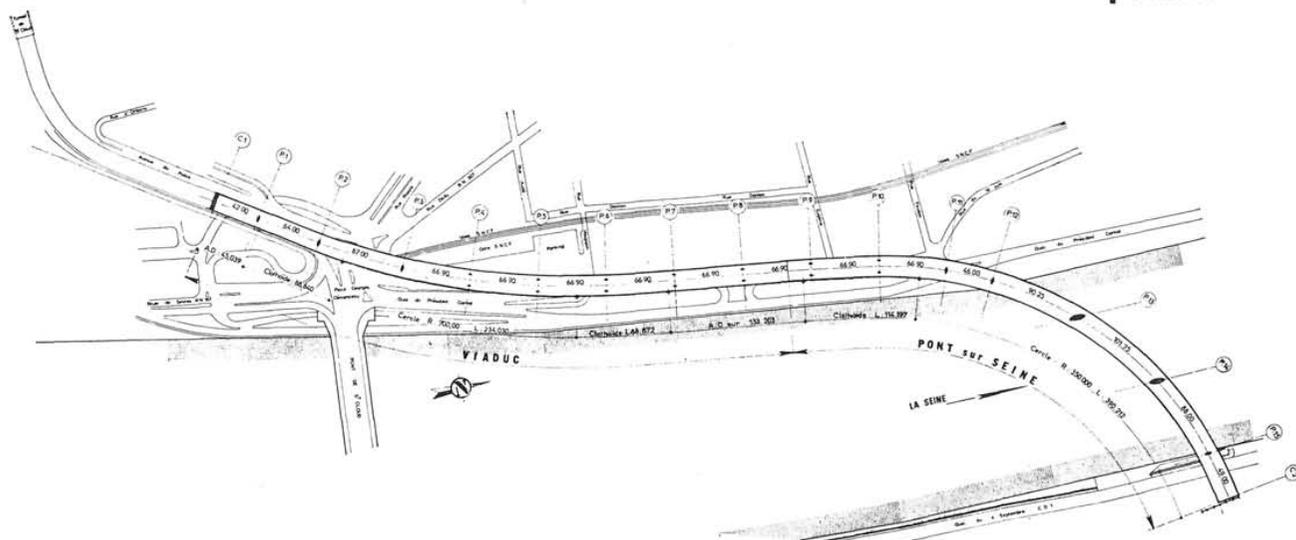
férrea Puteaux-Issy, siguiendo un radio de 690 m. Sigue a continuación a lo largo de la orilla del Sena por encima de terrenos del muelle Carnot en Saint-Cloud. El puente sobre el Sena, que empieza paralelamente a la orilla izquierda del Sena, franquea éste según una curva de 360 m de radio, para llegar, perpendicularmente a la orilla derecha, más allá del muelle 4-Septembre.

La pendiente del perfil a lo largo es uniforme en todo el trazado e igual al 0,8 %, mientras que el peralte transversal varía de $-2,5\%$ a $+4,5\%$; este valor extremo se sitúa en la parte más curva por encima del Sena.

La obra, que tiene una anchura total de 20,80 m en sección normal, dejará provisionalmente paso a dos calzadas unidireccionales, comportando cada una:

— una banda de parada de emergencia de 1,25 m;

planta



- dos filas de circulación de 3,50 m;
- una banda de dirección de 0,50 m.

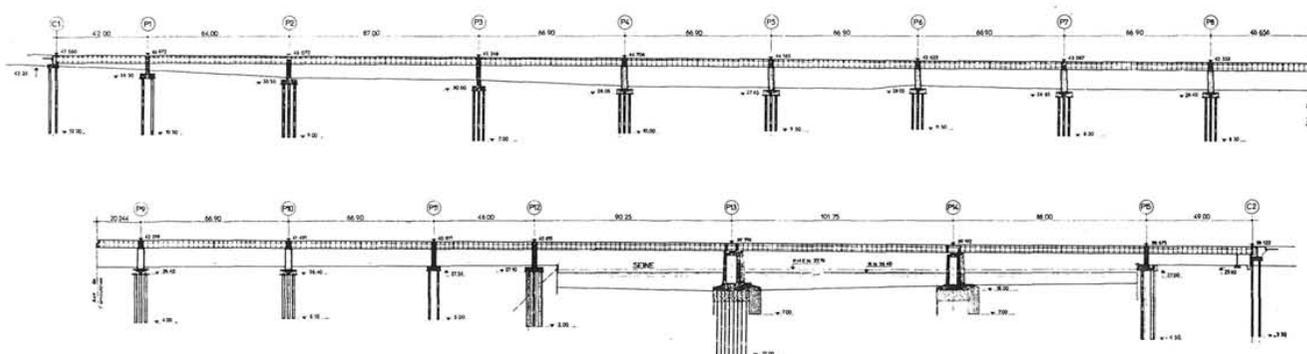
La obra se estrecha en su extremo O., por desaparición de dos bandas de parada de emergencia de 1,25 m, con objeto de evitar la vialidad local al nivel de la avenida del Palais.

Las dos calzadas estarán separadas por una mediana de hormigón destinado a reducir los riesgos de colisión frontal, y estarán bordeadas a la derecha por una barrera metálica, un paso de servicio y una barandilla integrada a la cornisa.

Ulteriormente, la obra actual será «doblada» por una segunda obra paralela situada aguas arriba de la primera. La plataforma de la autopista llevará, pues, en su fase definitiva, cuatro carriles de circulación por sentido.

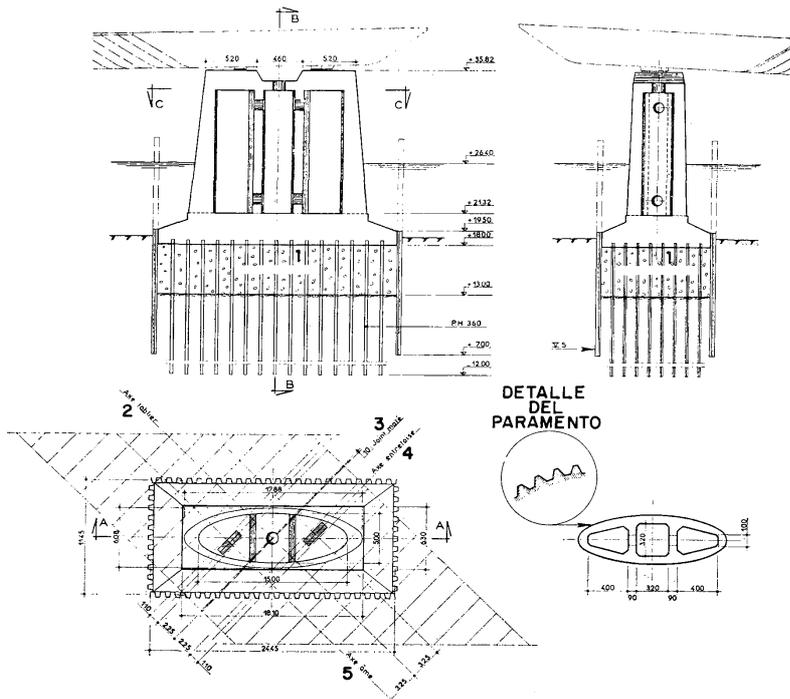
Al principio de los trabajos, un muro de muelle de tablestacas metálicas con tirantes pretensados fue ejecutado en la orilla izquierda del Sena en una longitud de unos 800 m, con objeto de permitir el desplazamiento de la R.N.-187 durante la construcción de los apoyos del viaducto de acceso y de sus cimentaciones, así como de reservar el espacio necesario para la ya citada segunda obra.

viaducto



secciones

ponte sobre el Sena

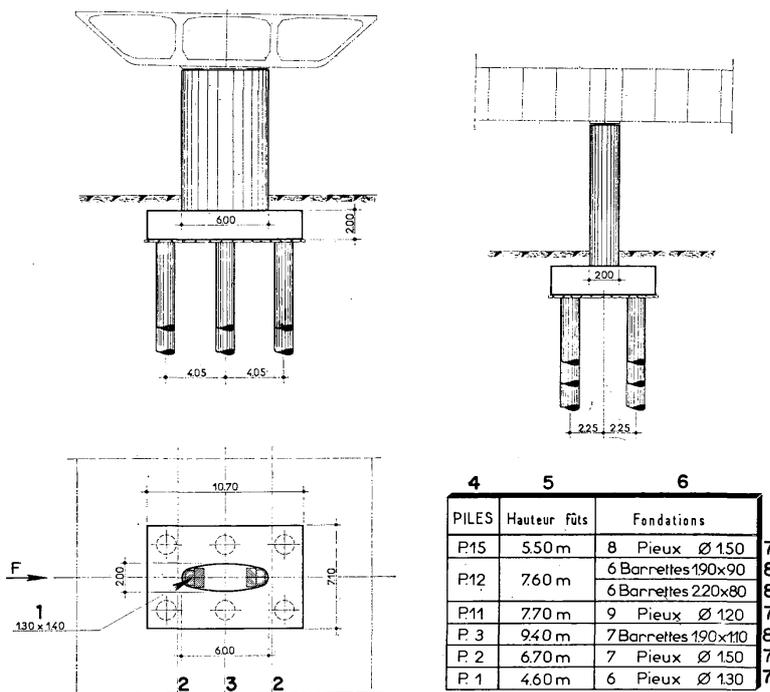


pila en el río orilla izquierda

1. Hormigón sumergido.—2. Eje del tablero.—
3. Junta remachada.—4. Eje de la riostra.—5.
Eje del alma.

1. Neopreno (1,30 × 1,40 m).—2. Eje del alma.
3. Eje del tablero.—4. Pilas.—5. Altura de los
fustes.—6. Cimentación.—7. Pilotes.—8. Pilo-
tes-pantalla.

pilas en tierra de fuste único

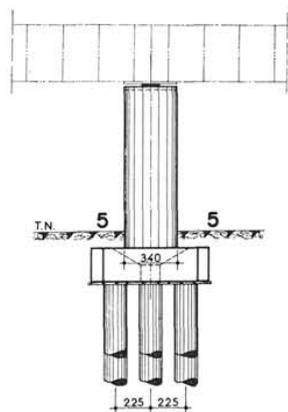
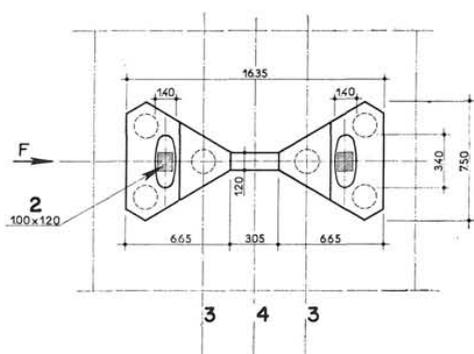
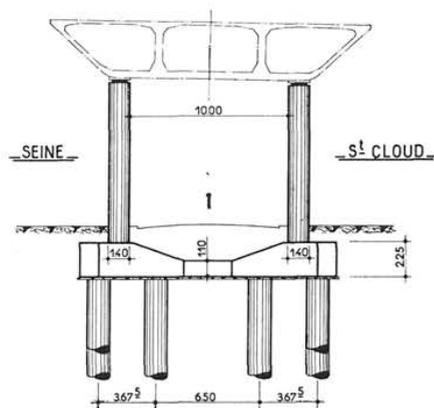


emplazados dentro de la zona de los desprendimientos de la colina de Saint-Cloud, cuyas capas superficiales son inestables. Ha sido necesario, pues, prever para sus cimentaciones disposiciones particulares con vistas a evitar solicitaciones horizontales importantes en caso de deslizamiento de los terrenos colindantes. Se había previsto, dentro del programa establecido por la Administración, realizar, en esta zona, pilotes perforados con doble encamiamiento, reservando un espacio anular que permitía un desplazamiento de la capa de desprendimientos de 15 cm aproximadamente en todas direcciones sin introducir flexión en los pilotes. Esta solución era adecuada para el tablero metálico, que tenía un apoyo fijo dispuesto sobre la pila en el borde del muelle de la orilla izquierda y apoyos móviles en todas las otras pilas.

Pero este sistema resultaba incompatible con el tablero en hormigón pretensado, que descansa sobre aparatos de apoyo en neopreno zunchado, transmitiendo a los cimientos esfuerzos horizontales longitudinales no despreciables.

Se propuso a la Administración, con el concurso de la Sociedad Solétanche, el reemplazar los pilotes perforados por pilotes-pantalla moldeados que llevan un dispositivo llamado a «inglete» compresible, hecho con un recinto metálico cerrado, en forma de media luna, prácticamente deformable e incorporado en los pilotes durante su ejecución.

El gran eje de estos pilotes-pantalla está orientado en el sentido preferencial del deslizamiento, que se encuentra sensiblemente perpendicular al eje longitudinal de la obra y dirigido hacia el Sena.



6	7	8	
PILES	Hauteur moyenne fûts	Fondations	
P.10	9.01m	6 Pieux Ø 1.50	9
P. 9	9.52m	6 Pieux Ø 1.50	9
P. 8	10.05m	6 Pieux Ø 1.50	9
P. 7	10.36m	6 Pieux Ø 1.50	9
P. 6	9.51m	6 Barrettes 190.110	10
P. 5	10.47m	6 Barrettes 190.110	10
P. 4	10.65m	6 Barrettes 190.110	10

pilas en tierra de fuste doble

1. Calzada.—2. Neopreno (1 x 1,20 m).—3. Eje del alma.—4. Eje del tablero.—5. Terreno terminado.—6. Pilas.—7. Altura media de los fustes.—8. Cimentación.—9. Pilas.—10. Pilotes-pantalla.

Esta solución presenta varias ventajas: Por una parte, se obtiene, para una sección de hormigón dada, una sección más débil, que se opone al desplazamiento del terreno, y una inercia, más importante, que aumenta la seguridad a rotura. Por otra parte, debido a las reacciones laterales provocadas por el suelo, la resistencia a los esfuerzos longitudinales transmitidos por el tablero está asegurada en mejores condiciones.

El inglete compresible está formado de dos partes distintas:

- Dos chapas espesas, de 6 y 10 mm de espesor, constituyen las paredes del recinto: una plana, pegada al hormigón del pilote-pantalla; otra cilíndrica, en contacto con el terreno, que dan al conjunto una rigidez suficiente para permitir su colocación en la perforación.
- Dos fuelles deformables, de chapa más delgada, de 3 mm de espesor, que aseguran la estanquidad del recinto por soldadura continua en las dos paredes anteriormente citadas y permiten el aplastamiento del inglete por deformación plástica en acordeón.

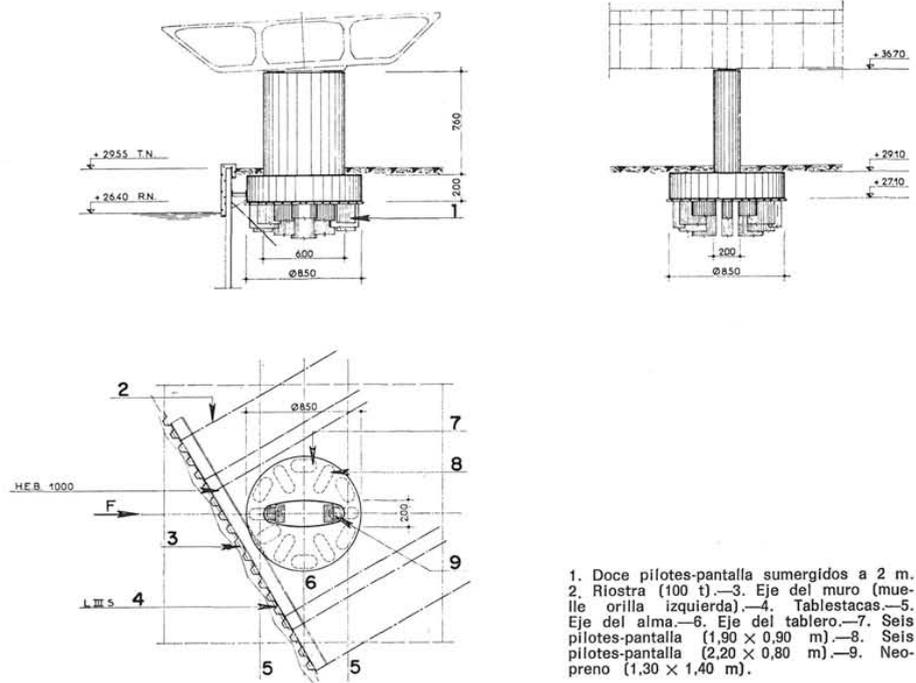
Las dimensiones dadas al inglete son tales que el aplastamiento total de los fuelles es posible, llegando a estar las dos paredes rígidas en contacto la una con la otra, lo que corresponde a un desplazamiento admisible del terreno con relación al pilote-pantalla, superior a 25 cm.

Esta hipótesis ha sido comprobada en los ensayos realizados sobre un modelo a tamaño real en nuestros laboratorios de Asnières. Estos ensayos permitieron, además, definir el esfuerzo necesario a aplicar al inglete para deformarlo.

Hemos podido así establecer que esta deformación aparecía a partir de un límite de esfuerzo correspondiente a 2,5 Mp por metro de inglete, y se seguía, bajo esfuerzo constante, hasta el aplastamiento completo del fuelle.

Con objeto de no someterlo a esfuerzos permanentes, provenientes del empuje del terreno sobre el inglete, el recinto, herméticamente cerrado en su parte inferior, está relleno de un barro bentonítico cuya presión equilibra el efecto del empuje del terreno en la pared. La parte superior del recinto va provista de un orificio en comunicación con el aire libre, que permite la evacuación del barro durante el aplastamiento del inglete.

En alzado, los ingletes van dispuestos en toda la altura de la capa de desprendimientos con una penetración de aproximadamente 1 m dentro de la creta. Por debajo de este nivel, los pilotes-pantalla se pro-



pila P. 12

1. Doce pilotes-pantalla sumergidos a 2 m.
2. Riostra (100 t).
3. Eje del muro (muelle orilla izquierda).
4. Tablestacas.
5. Eje del alma.
6. Eje del tablero.
7. Seis pilotes-pantalla (1,90 × 0,90 m).
8. Seis pilotes-pantalla (2,20 × 0,80 m).
9. Neopreno (1,30 × 1,40 m).

longan por perforación en toda su sección en la creta franca y se encuentran así perfectamente encastrados en su base.

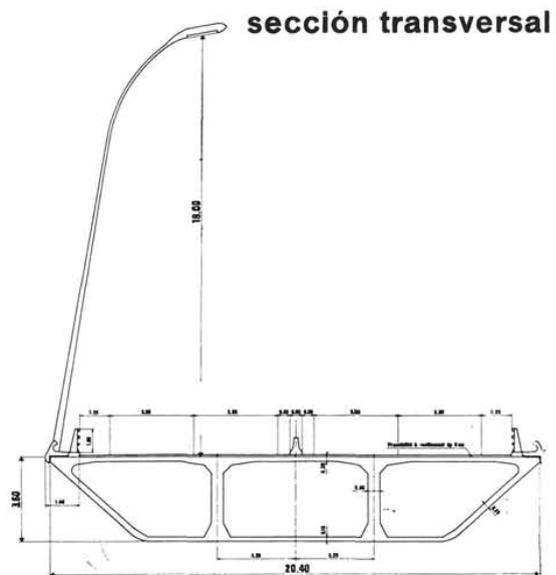
Las zapatas de cimentación están aisladas de las capas superficiales de desprendimientos por medio de un muro berlinés, dejando una cavidad de unos 30 cm de anchura entre el hormigón y el terreno y evitando así la transmisión de esfuerzos horizontales sobre la pantalla que constituye la zapata.

En el curso de los trabajos de cimentación de la pila orilla izquierda (P.13) apareció, en el momento de la hincada de las tablestacas y durante los movimientos de tierra bajo el agua del recinto, que las características mecánicas de la creta alterada resultaban, casi

Cimentaciones de las pilas en el Sena (P.13 y P.14)

Las pilas en el río han sido construidas en el interior de recintos de tablestacas metálicas Larssen Vs, hincadas a la cota 7,0 N.G.F. y llevando en su parte inferior un tapón de hormigón vertido debajo del agua, de 5,0 m de espesor, que equilibra, por su peso, la subpresión del agua, permitiendo así la ejecución en seco de la zapata de cemento y del fuste de las pilas.

La pila orilla derecha (P.14) ha sido cimentada a la cota + 13,0 N.G.F. sobre una zapata rectangular cuyas dimensiones en planta son 22,5 × 13,5 m.



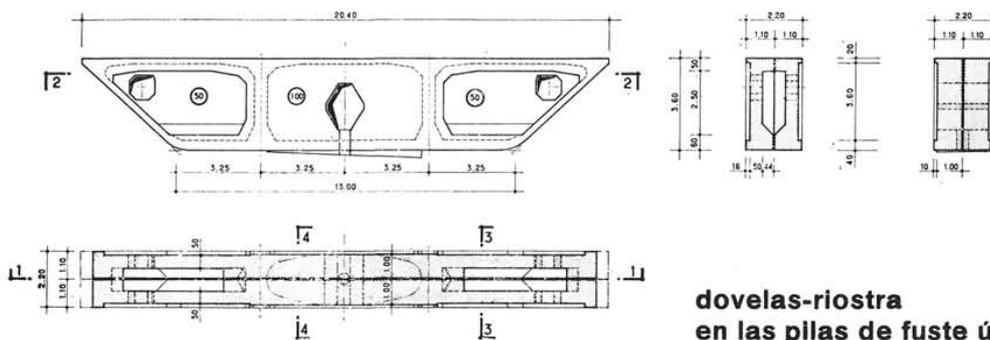


seguro, inferiores a las de la campaña preliminar de reconocimiento efectuada por los «Ponts et Chaussées». Se procedió entonces a nuevos ensayos presiométricos, que han confirmado la existencia de una gran heterogeneidad de la creta alterada en el emplazamiento de la pila (con valores de la presión límite descendiendo a 3,5 bars, en lugar de los 8 bars encontrados en la pila P.14), que ha hecho indispensable recurrir a una cimentación profunda.

Para la realización de esta cimentación han sido estudiadas varias soluciones: columnas masivas hormigonadas en el interior de recintos de tablestacas telescópicas hincadas a partir del fondo de la excavación, pilotes perforados, pilotes metálicos a base de perfiles o de tubos llenos o no de hormigón.

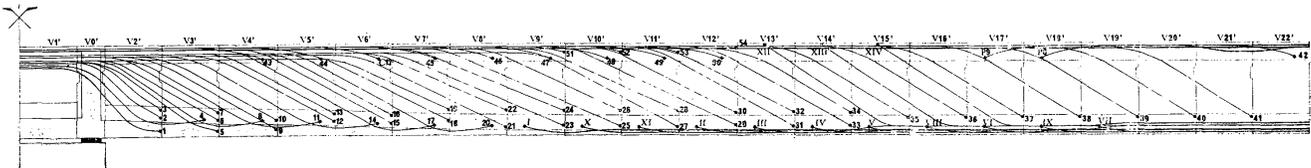
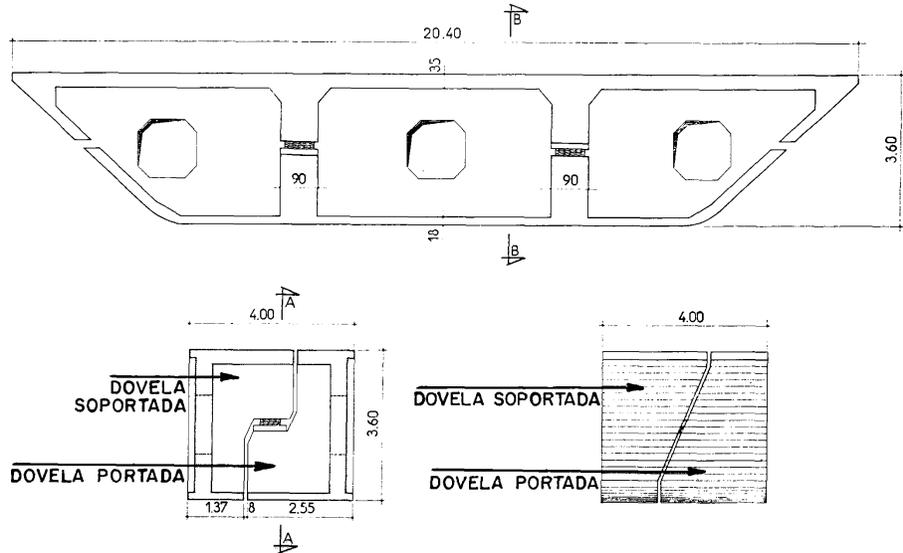
Después de la hinca de un pilote de ensayo, la solución elegida, en razón de su pequeño coste, pero también por su rapidez de ejecución y seguridad de su puesta en obra, ha consistido en reforzar la cimentación con pilotes metálicos verticales PH 360/2, hincados a fondo hasta el sustrato resistente a la cota aproximada — 12,00 N.G.F.

Los pilotes PH presentaban la ventaja en relación con los tubulares de no compactar el terreno durante la hinca, como consecuencia de su débil sección de punta. Esta condición era esencial por la importancia de la carga vertical soportada por las pilas en río, de alrededor de 9.000 Mp, que ha dado lugar a la hinca de 78 pilotes (fuerza portante, 140 Mp),

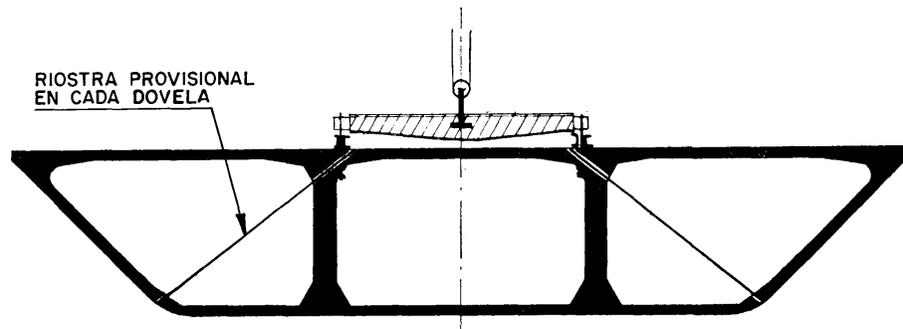


**dovelas-riostro
en las pilas de fuste único**

dovela de articulación



pretensado provisional para transporte



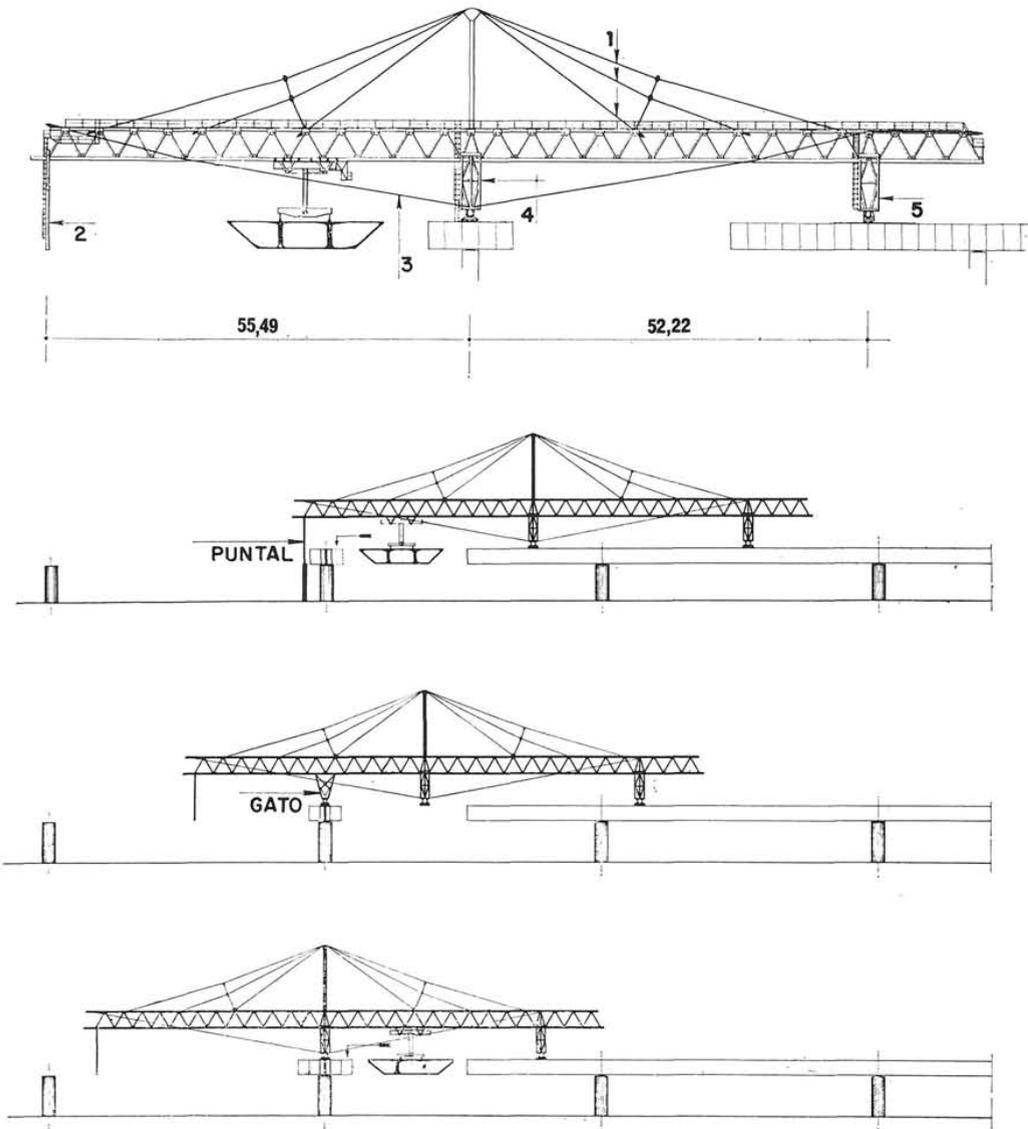
DESIGNACION DEL APOYO	CIMENTACION			ZAPATAS	
	Naturaleza	Núm.	Nivel (N.G.F.)	Forma	Dimensión (m)
Estribo C.1	Pilote \varnothing 1,30 m	6	+ 12,00	Rectangular	17,0 \times 5,0
Pila P.1	Pilote \varnothing 1,30 m	6	+ 10,50	Rectangular	10,7 \times 7,1
Pila P.2	Pilote \varnothing 1,50 m	7	+ 9,00	Hexagonal	8,7 \times 7,3
Pila P.3	Pilotes-pantalla 1,9 \times 1,1 m (*)	7	+ 7,50	Hexagonal	8,0 \times 6,0
Pilas P.4, P.5, P.6	Pilotes-pantalla 1,9 \times 1,1 m (*)	6	De + 9,50 a + 11,50	2 triangulares	2 \times 6,65 \times 7,50
Pilas P.7, P.8, P.9, P.10	Pilote \varnothing 1,50 m	6	De + 4,00 a + 8,50	2 triangulares	2 \times 6,65 \times 7,50
Pila P.11	Pilote \varnothing 1,20 m	9	+ 5,00	Rectangular	14,8 \times 6,3
Pila P.12	Pilotes-pantalla 2,2 \times 0,8 m Pilotes-pantalla 1,9 \times 0,9 m	2 \times 6	+ 2,00	Circular	\varnothing 8,50
Pila P.15	Pilote \varnothing 1,50 m	8	- 4,50	Rectangular	12,5 \times 8,0
Estribo C.2	Pilote \varnothing 1,20 m	18	- 3,50	Rectangular	39,4 \times 5,3

(*) Pilotes-pantalla equipados con ingletes compresibles.

pórtico de lanzamiento

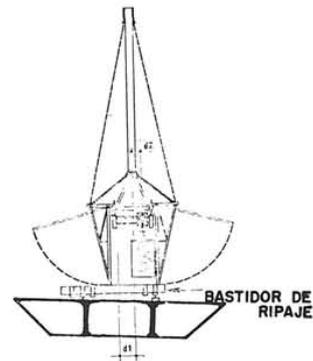
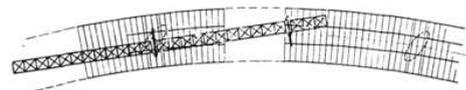
cinemática

1. Tirantes superiores.
2. Puntal.
3. Tirantes inferiores.
4. Pie central.
5. Pie posterior.



vista general

reglas del pórtico de lanzamiento



en una superficie muy restringida: 280 m². Todos los pilotes han encontrado prácticamente su punto máximo a la misma cota.

Otra ventaja más de los pilotes metálicos PH residía en su velocidad de ejecución. El plazo total de puesta en obra no pasó de un mes, a pesar de que la altura excepcional de la colocación de los pilotes alcanzaba 40 m, que ha necesitado un empalme ejecutado in situ. Los pilotes están cubiertos al nivel + 13,0 N.G.F. con una zapata rectangular cuyas dimensiones en planta son 24,5 × 11,5 m.

Cimentaciones de las pilas en tierra y de los estribos

Las características de las cimentaciones profundas de los quince apoyos en tierra se hallan resumidas en el cuadro siguiente:

Estas cimentaciones exigen ciertas consideraciones:

- Las dimensiones restringidas de la zapata de la pila P.3 han sido impuestas por la proximidad de la antigua estación S.N.C.F., cuyos accesos debían ser mantenidos durante los trabajos de cimentación.
- La distribución de pilotes de la pila P.11 ha tenido que ser estudiada de manera que permitiese a la zapata salvar un ovoide en servicio.
- La cimentación de la pila P.12 al borde del Sena, en la orilla izquierda, está concebida de forma diferente a las demás. Esta pila, colocada detrás del muro de muelle que realiza la ampliación del muelle Carnot, debe poder soportar el empuje de terrenos en el caso en que dicho muro llegara a desaparecer o a sufrir un movimiento. Su cimentación se compone de pilotes-pantalla moldeados en el suelo —unos, con dimensiones $2,20 \times 0,80$ m, van dispuestos radialmente, y los otros, con dimensiones $1,90 \times 0,90$ m, están situados en la periferia de la zapata— y presenta así una gran inercia en todas direcciones, lo que le permite encajar los esfuerzos transversales importantes ejercidos por el tablero del puente sobre el Sena debido a su curvatura.
- El estribo orilla derecha (estribo C2) ha sido ejecutado inmediatamente a todo lo ancho de las dos obras y comprende un local técnico destinado a albergar los transformadores y los equipos necesarios para el alumbrado de la autopista.

Superestructuras

Además de los dos estribos extremos, que están constituidos por una placa de apoyo con aletas y muros de sostenimiento, la obra comporta quince apoyos intermedios. Aunque la forma de los tableros sea idéntica para el viaducto de acceso y el puente sobre el río, los apoyos están sometidos a tensiones muy variadas, conducentes a superestructuras diferentes:

— Las pilas en tierra son de dos tipos, según las disposiciones de las vías:

- Las pilas P.1, P.2, P.3, P.11, P.12 y P.15 disponen de un solo fuste cilíndrico en hormigón armado, centrado con relación al eje del tablero y de dimensiones reducidas para poderse colocar próximo a las circulaciones. De sección plana sensiblemente elíptica, estos fustes tienen una longitud de 6 m y 2 m de ancho y una altura que varía de 4,5 a 9,6 m. Su mayor dimensión está orientada perpendicularmente al eje longitudinal del puente.
- Las pilas P.4, P.5, P.6, P.7, P.8, P.9 y P.10 poseen dos fustes cilíndricos separados 11,40 m entre ejes, dejando paso a una calzada de 9 m de ancho. Estos fustes, en hormigón armado, de sección sensiblemente elíptica, como los anteriores, tienen una longitud de 3,4 m, un ancho de 1,4 m y alturas que varían de 9 hasta 10,8 m. Su mayor dimensión está orientada paralelamente al eje longitudinal del puente.
- Las pilas en río llevan un fuste, a base de hormigón armado ahuecado con tres alvéolos y coronado con un cabio de apoyo. Estos fustes, de sección plana elíptica, son troncocónicos, con inclinación variable sobre la periferia, y su paramento va nervado por razones arquitecturales.

Evidentemente estas pilas son más masivas que las pilas en tierra, debido a las cargas verticales importantes que soportan y de solicitaciones horizontales, en razón a los choques eventuales de los convoyes fluviales, a los cuales deben resistir. A fin de no reducir la sección del lecho del río, el mayor eje de los fustes de pila es paralelo al sentido de la corriente, lo que se traduce por un esviaje importante de los apoyos con relación al tablero, de valor, por otra parte, diferente para las dos pilas.

EL TABLERO

El tablero del viaducto de acceso dispone de ocho tramos, cuyas luces, medidas a partir del estribo O. (estribo C1), son, respectivamente: 42 m, 64 m, 87 m y cinco veces 66,9 m. El tablero del puente sobre el Sena comprende, además del tramo de 66,9 m común con el viaducto de acceso que llevan articulación, siete tramos cuyas luces, contadas de la orilla izquierda hasta la orilla derecha, son, res-

pectivamente: dos veces 66,9 m, 46 m, 90,25 m, 101,75 m, 88 m y 49 m. La obra deja libre de esta manera sobre el Sena un paso navegable central de 65 m y un paso lateral orilla izquierda de 45 m.

La armadura de los dos tableros está constituida por una viga-cajón multicelular con tres alvéolos. La altura de la viga-cajón, elegida constante e igual a 3,6 m, ha permitido realizar una obra idéntica en toda su longitud, formando una cinta continua de 1.100 m aproximadamente, tanto por encima del terreno como del agua. Los tableros constan de una sucesión de dovelas prefabricadas según el método de juntas unidas y puestas en obra por el sistema de voladizos a partir de las pilas.

Sección transversal tipo

La sección transversal original del cajón es resultado de la decisión arquitectónica, definida por M. Badani, arquitecto jefe de edificaciones civiles y palacios nacionales, consejero de administración, durante la puesta a punto del proyecto inicial, habiendo sido objeto de varias ofertas. Esta decisión, basada en la búsqueda de una forma plástica, muy perfilada y exenta de ángulos vivos, ha sido íntegramente respetada cuando se estableció el proyecto de la variante con tablero en hormigón pretensado.

La viga-cajón multicelular, que constituye la armadura de los tableros, lleva dos almas centrales verticales y dos tímpanos laterales fuertemente inclinados, uniendo los forjados superior e inferior.

Las almas centrales tienen un espesor constante igual a 0,50 m para el viaducto de acceso, y variable de 0,30 a 0,60 m para el puente sobre el Sena. Igualmente, los tímpanos o almas laterales tienen un espesor constante igual a 0,25 m para el viaducto de acceso, y variable de 0,25 a 0,35 m para el puente sobre el río. La variación de espesor de las almas del puente sobre el Sena ha sido introducida con objeto de reducir el efecto del peso propio en la construcción por voladizos del tramo de 101,75 m, cuya esbeltez es casi del 1/28.

El forjado superior, formando losa de calzada, tiene un espesor mínimo de 0,20 m para asegurar su resistencia a las flexiones locales. De una anchura de 20,4 m en la mayor parte de la obra, está recortado por las almas en tres losas de luz sensiblemente iguales a

6,5 m. El tablero del viaducto de acceso se va estrechando en su extremidad O. sobre los cinco tramos; el ancho del forjado superior es reducido a 17 m frente al estribo C1.

El forjado inferior presenta un espesor igual a 0,18 m en el medio de los tramos, llegando a 0,80 m en la proximidad de los apoyos en río a fin de aumentar la inercia de la sección y mejorar su rendimiento en la zona de momentos máximos. Su anchura normal, igual a 13 m, resulta de la implantación de los fustes dobles de las pilas P.4 a P.10, de una parte, y de otra, de la circulación local, al nivel del muelle Carnot.

La longitud media de las dovelas que constituyen los tableros, es de 2,25 m, y sus pesos varían de 76 a 130 t. Las dovelas de la parte de la obra en curva presentan forma trapezoidal en planta.

Arriostramiento y dispositivos especiales a la unión de los tableros y de sus apoyos

Debido a la forma y disposición de los apoyos, potentes cabios incorporados han sido previstos aplomados en cada pila.

Sobre las pilas en tierra, los cabios están constituidos por dos dovelas atirantadas, de 1,10 m de longitud, unidas y ensambladas por barras de pretensado. Estas dovelas tienen forma diferente, según que se trate de las pilas de fuste único o de pilas de doble fuste.

Sobre las pilas en río, el principio de prefabricación adoptado para los tableros y el esvaje importante y variable, de una pila a la otra, hizo imposible la realización de una riostra esviada común a varias dovelas. Por esta razón el arriostramiento del tablero está constituido, sobre estos apoyos, por dos riostras perpendiculares al eje longitudinal del tablero y dispuestas cada una a plomo de los aparatos de apoyo.

El tablero lleva, pues, encima de las pilas en río los elementos que a continuación se indican:

- Dos dovelas riostras V_0 y V'_0 , de 1,10 m de longitud;
- Dos riostras normales V_1 y V'_1 , de 2,20 m de longitud, situadas entre las dovelas V_0 y V'_0 .

Las dovelas V_0 y V_1 están conjugadas entre sí, así como las dovelas V'_0 y V'_1 . Una junta, de 10 cm de espesor, es hormigonada entre las dos dovelas V_1 y V'_1 .



FOTOS: Y. MARYE Y H. BARANGER

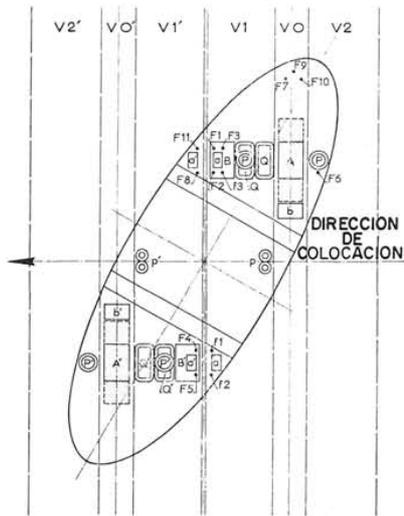
Frente a los estribos, las dovelas están atirantadas por diafragmas interiores de 0,50 m de espesor dispuestos en el eje de los apoyos.

La dovela de articulación, que sirve de unión a los dos tableros, se compone de un ele-

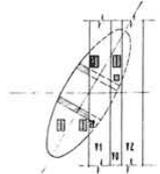
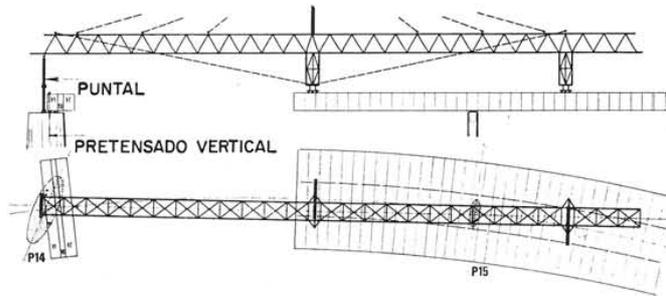
mento portante y de un elemento portado, separados por una junta de dilatación, y atirantados interiormente por láminas verticales de 0,40 m de espesor.

Los tableros se apoyan sobre sus pilas mediante apoyos de neopreno zunchado, y sobre

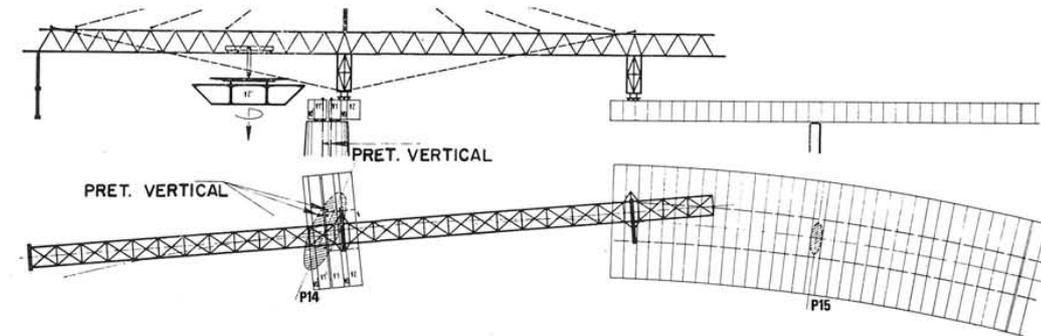
colocación de dovelas



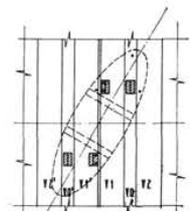
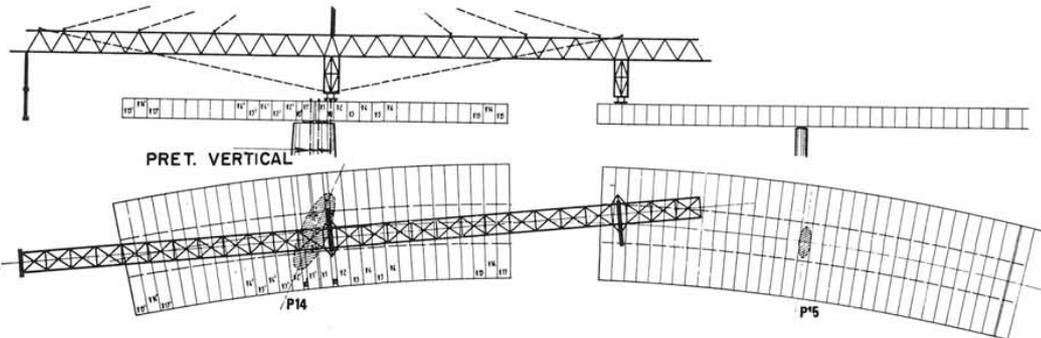
A



B



C



D

los estribos, por intermedio de apoyos de neoflón. La dovela de articulación va equipada de apoyos de neopreno zunchado.

Pretensado de los tableros

Los tableros van pretensados en las tres direcciones: transversal, longitudinal y vertical.

El pretensado transversal está originado por cables a base de hilos paralelos del tipo 12 \varnothing 7, dispuestos con separación de 0,78 m a razón de tres por dovela. En el sentido lon-

gitudinal el pretensado es ejercido por cables con torones, del tipo 12 T 13 y por dos cables con hilos paralelos del tipo 12 \varnothing 8, cuyo número y trazado están determinados por el proceso de construcción por voladizos.

Una primera familia de cables, puestos en tensión a medida de la colocación de las dovelas, asegura la resistencia de las consolas a los esfuerzos creados por su propio peso. Una segunda familia de cables, enfilada y tendida después del anclaje, realiza la continuidad de los trabajos, convirtiendo la obra en hiperestática.

La sección sobre la pila del tramo de 101,75 m de luz consta de 158 cables 12 T 13 y 16 cables 12 Ø 8.

En la proximidad de los apoyos, un pretensado vertical suplementario está aplicado en las almas verticales y en los tímpanos de la viga-cajón, por medio de barras Ø 26 mm y de monotorones T 13, puestos en tensión por su extremidad superior y destinados a resistir a las sollicitaciones debidas al esfuerzo cortante y al momento de torsión.

En fin, a lo largo de la construcción la estabilidad transversal de la sección durante el traslado y la colocación han necesitado la puesta en obra de tirantes provisionales pretensados realizados mediante barras Ø 26 mm.

EJECUCION DE LOS TABLEROS

Prefabricación de los tableros

Los tableros están constituidos por 511 dovelas prefabricadas, que comprenden 479 unidades normales de 2,25 m de longitud media.

El taller de prefabricación ha sido instalado en la orilla derecha del Sena, a lo largo de la calle de l'Abreuvoir. Las instalaciones de prefabricación se componen de:

- dos células de encofrado, destinadas a la realización de las dovelas corrientes;
- dos medias células de encofrado, reservadas a las dovelas especiales de arriostramiento, de longitud 1,10 m;
- un pórtico de manutención, con capacidad de elevación de 130 t, al servicio de las células de prefabricación y del área de almacenamiento, sobre la cual las dovelas acopiadas están dispuestas en tres niveles;
- una estacada, que permite el traslado de las dovelas al nivel del tablero.

Cada célula de encofrado consta:

- de un fondo de molde de longitud variable, montado sobre dos fuertes largueros apoyados sobre cuatro gatos hidráulicos, que sirven al reglaje de la célula en perfil longitudinal y en alabeo. Estos gatos se apoyan, a su vez, sobre dos carros orientables que aseguran el reglaje de la célula en curvatura en planta;
- de dos encofrados exteriores, inclinados sensiblemente a 45°, que descansan sobre los largueros inferiores y maniobrables hidráulicamente;

- de una pantalla, a base de elementos desmontables y soportada por un armazón móvil;
- de tres núcleos retráctiles, fijados en voladizo sobre el armazón móvil de la pantalla y asegurando el encofrado de los tres alvéolos interiores; la variación del espesor de las almas se obtiene por reglaje de los núcleos laterales.

Las células están completamente automatizadas y conducen a un ciclo de prefabricación que corresponde a una dovela diaria y por célula. Cada dovela ha sido ejecutada en contacto con la anterior, sirviendo de contramolde, con objeto de realizar la unión de las juntas.

El hormigón se precalienta a partir de los áridos y del agua. Después del colado, las dovelas son secadas en estufa durante 13 h a una temperatura máxima de 50° C. Para baja temperatura, un suplemento de energía técnica es llevada por resistencias eléctricas incorporadas a los encofrados.

La utilización de una central de hormigonado, equipada de un vatímetro registrador, ha permitido alcanzar fácilmente la resistencia nominal de 495 bars, con una diferencia cuadrática de 24 bars.

Colocación de las dovelas

La colocación de las dovelas se efectúa mediante un pórtico de lanzamiento metálico desplazándose sobre el tablero ya construido, de la orilla derecha hacia la izquierda. Este pórtico tiene una longitud total de 122,5 m para una altura por encima del tablero de 28 m. De un peso total de 235 t, ha sido concebido para levantar, transportar y colocar dovelas cuyos pesos máximos alcanzan las 130 t.

Dicho pórtico está formado por una viga en celosía que se apoya sobre dos pies fijos, llamados pies-túnel, dejando pasar las dovelas y situados uno de ellos atrás y el otro sensiblemente en la mitad del pórtico; hay otro pie delante, suprimible, llamado puntal.

El pórtico lleva dos sistemas de tirantes: Los superiores, en número de tres, están fijados sobre un mástil tubular de 17 m de altura situado en la vertical del pie central, y por su excentricidad importante permite aumentar la capacidad de absorción por la estructura de los momentos negativos durante la colocación de las dovelas normales. Los ti-

rantes inferiores, descentrados de la vertical del pie central por medio de puntales plegables, consiguen, en fase hiperestática, cuando el pórtico se encuentra sobre sus tres apoyos, reducir la reacción vertical bajo el pie central.

El avance del pórtico se lleva a cabo por deslizamiento de los patines situados bajo los pies central y trasero, sobre carriles dispuestos en el tablero.

El pórtico presenta sección transversal triangular, apuntando hacia arriba; las armaduras inferiores están constituidas por perfiles que sirven de carril al carro de traslación de las dovelas, el cual es capaz de producirles desplazamientos verticales y una rotación de eje vertical de 1/4 de vuelta. El arriostramiento de las armaduras ha sido realizado mediante tubos soldados. El conjunto del pórtico se puede desmontar en diez elementos de 12 m cada uno, transportables por carretera y ensamblables los unos a los otros mediante barras de pretensado perpendiculares al plano de junta.

Longitudinalmente la colocación comprende las fases siguientes:

a) Colocación de las dovelas sobre pilas:

El pórtico de lanzamiento reposa en tres apoyos: el pie posterior, el pie central, situado en la proximidad de la extremidad del último voladizo construido, y el puntal, llevado por un apoyo provisional, colocado más allá de la pila considerada.

b) Avance del pórtico de lanzamiento:

Después de la colocación de las dovelas que constituyen la cabeza de pila, el pórtico de lanzamiento se desliza sobre su pie posterior y rueda sobre el carro de traslación, que está unido a un armazón auxiliar, dispuesto sobre la cabeza de pila.

c) Colocación de las dovelas normales:

El pórtico de lanzamiento descansa en dos apoyos: el pie central, situado en el eje de la pila, y el pie posterior, anclado en la extremidad del último voladizo construido (en el caso de mayores luces). Las dovelas normales, recogidas detrás del pórtico, son trasladadas y, mediante rotación de 1/4 de vuelta, colocadas alternativamente a una parte y otra de la obra en construcción.

Transversalmente, dada la curvatura excepcional del trazado en planta de la obra, la puesta en posición de cada dovela se obtiene, de una parte, por traslación del carro de manutención con relación al pórtico (reglaje D1, de una amplitud de 0,90 m por ambas partes del eje); de otra parte, por descentramiento de los pies del pórtico con relación a su chasis de apoyo sobre el tablero (reglaje D2). Los apoyos del pórtico están mantenidos constantemente horizontales, cualquiera que sea el alabeo transversal del tablero, por nivelación de las traviesas que soportan los carriles.

Estabilidad provisional de los voladizos en curso de construcción

Para la colocación de dos dovelas de un mismo voladizo dispuestas simétricamente en relación a una pila, no siendo simultáneas, era necesario asegurar la estabilidad del tablero en construcción, sea por encastramiento provisional sobre las pilas, sea por añadidura de apoyos provisionales.

Esta última solución no ha sido tomada en cuenta, debido a razones de seguridad —los apoyos provisionales son siempre de ejecución delicada cuando están fuertemente solicitados—, y además, por razones económicas, como consecuencia de la variación de altura de las pilas y de la diversidad de forma de sus superestructuras.

Un simple encastramiento provisional del tablero sobre las pilas en tierra no podía bastar para asegurar la estabilidad de los voladizos, como consecuencia de las dimensiones reducidas de los fustes de las pilas, y de la implantación de los fustes con relación a las almas del tablero, lo cual habría acarreado fuertes flexiones y torsiones en los arriostramientos.

Acrescentando la capacidad de flexión de los fustes de pilas y la capacidad de torsión de las riostras, con ayuda de un pretensado vertical excéntrico longitudinalmente con respecto al eje de apoyos, se logró, sin embargo, asegurar la estabilidad de los voladizos, sin intervención de zampeados provisionales, con la condición de efectuar la colocación comenzando siempre por la dovela situada hacia la parte posterior de la construcción.

En el caso de voladizos curvos, se ha podido, siguiendo el mismo principio, equilibrar permanentemente la mitad del momento de torsión, debido al peso propio de los voladizos,

con auxilio de un pretensado vertical descentrado transversalmente en relación al eje de apoyos.

Para las pilas en río, cuyos voladizos se caracterizaban por un esvío importante y una fuerte curvatura en planta, este mismo método ha sido utilizado, encastrando provisionalmente el tablero sobre las pilas; la resistencia a la flexión de los fustes ha sido reforzada por un pretensado vertical descentrado a la vez longitudinal y transversalmente. A fin de mostrar la complejidad de las operaciones de montaje, que necesitaron un largo y minucioso trabajo de preparación y una ejecución particularmente cuidada y controlada, damos a continuación, de manera sucinta, el proceso de construcción del voladizo de la pila en río, orilla derecha (pila P.14).

Fase de construcción del voladizo de la pila en río, orilla derecha (P.14)

Supongamos primeramente que el pórtico de lanzamiento se halla en posición de colocación de las dovelas que constituyen la cabeza de pila P.14, estando el pie central situado en la extremidad del voladizo P.15 y el puntal apoyándose sobre la pila en río.

La placa de apoyo de la pila P.14 va equipada con:

- calzos de hormigón zunchado: **a**, **a'**, **b** y **b'**;
- gatos hidráulicos con tuerca de seguridad **p** y **p'**;
- gatos planos **P** y **P'**, **Q** y **Q'**;
- calzos de hormigón zunchado **A**, **B**, **A'** y **B'**.

Las operaciones a efectuar son:

- 1) Colocación, mediante carro del pórtico de lanzamiento, de la dovela **V₁** sobre los calzos **a** y los gatos **p**, y puesta en tensión de los cables de pretensado vertical **f₁**, **f₂**, **F₁** y **F₂**.
- 2) Colocación de la dovela arriostrada **V₀**, ensamblada por voladizo en la dovela **V₁** mediante barras de pretensado provisional dispuestas en los forjados superior e inferior.
- 3) Disminución de la presión de los gatos **p** de manera que se apoye el conjunto de dovelas **V₀** y **V₁** sobre los calzos **a** y **b**, y puesta en tensión del cable de pretensado vertical **f₃**. Quitar los gatos **p**.
- 4) Colocación de la dovela **V₂**, ensamblada por voladizo a la dovela **V₀**, valiéndose de cables de pretensado provisional.
- 5) Destensado del cable de pretensado vertical **f₂** y avance del pórtico de lanzamiento para traer su pie central al eje de la dovela **V₀**. Destensado del cable de pretensado **f₁** y puesta en tensión del cable de pretensado **F₃**.
- 6) Ripaje del pie posterior del pórtico hacia el exterior de la curva y ripaje del pie central hacia el interior de la misma. El pórtico se encuentra entonces en posición de poder colocar las dovelas hasta las **V₁₁** y **V'₁₁** (posición de colocación número 1).
- 7), 8), 9) y 10) Las mismas operaciones que en 1), 2), 3) y 4) para la colocación de las dovelas **V₁**, **V₀** y **V₂**.
- 11) Hormigonado de la junta entre las dovelas **V₁** y **V'₁**, y puesta en tensión de cables de pretensado longitudinal que asegure la solidarización de las seis dovelas que constituyen la cabeza de pila.
- 12) Después del destensado de todos los cables de pretensado vertical, subida en presión de los gatos **P** y **P'**, quitando los calzos **a**, **b**, **a'** y **b'**, y reglaje por retaque de la cabeza de pila sobre los calzos **A**, **B**, **A'** y **B'**.
- 13) Puesta en tensión de la totalidad del pretensado vertical centrado de clavado **F₁**, **F₂**, **F₄** y **F₅**.
- 14) Puesta por voladizo de las dovelas **V₃**, **V'₃** a **V₁₁**, **V'₁₁**, con puesta en tensión del pretensado longitudinal correspondiente.
- 15) Puesta en tensión de tres cables de pretensado vertical descentrado (cables de estabilidad), y desplazamiento del pórtico de lanzamiento por ripaje del pie central hacia el interior de la curva (posición de colocación núm. 2).
- 16) Colocación de las dovelas **V₁₂**, **V'₁₂** a **V₁₅**, **V'₁₅**, y puesta en tensión del pretensado longitudinal correspondiente.
- 17) Puesta en tensión de los cuatro cables de pretensado vertical descentrado **F₃**, **F₉**, **F₁₀** y **F₁₁**, y desplazamiento del pórtico de lanzamiento ripando nuevamente el pie central hacia el interior de la curva y el pie posterior hacia el exterior de la curva (posición de colocación núm. 3).

- 18) Colocación de las dovelas V_{16} , V'_{16} a V_{22} , V'_{22} , y puesta en tensión del pretensado longitudinal correspondiente.
- 19) Solidarización parcial del voladizo de la pila P.15 con el tablero ya construido, por hormigonado de la junta, y puesta en tensión de los cables de pretensado longitudinal dispuestos en la parte inferior de la viga-cajón.
- 20) Destensado de todos los cables de pretensado vertical de la pila. Colocación del tablero sobre apoyos definitivos de neopreno con ayuda de gatos planos.

Estas operaciones son de ejecución delicada y requieren, para ser realizadas con toda seguridad, un análisis muy detallado de los esfuerzos aplicados en cada etapa y, por parte de la obra, el estricto respeto de las consignas dadas.

CONCLUSION

El plazo de construcción para el conjunto de la obra era de 27 meses. A pesar de numerosos e importantes problemas técnicos a resolver, la prefabricación y la colocación de todas las dovelas del tablero no ha excedido el plazo estipulado en el programa inicial. La armadura del tablero también ha quedado completamente terminada en los plazos teóricos previstos desde el comienzo de los trabajos, a pesar del mal tiempo sufrido durante diez semanas.

Con respecto al plan económico, es interesante resaltar que, no obstante la complejidad excepcional de la obra y de sus dificultades, el coste de los trabajos se ha mantenido dentro de los límites fijados.

résumé

Le nouveau pont de Saint-Cloud. Paris - France

J. Mathivat, Directeur des Etudes Entreprise
Campenon Bernard Europe

Dans cet article sont traités les divers problèmes résolus et les nombreux travaux exécutés pour construire ce pont, qui relie l'autoroute A-13 au boulevard périphérique de Paris, permettant le franchissement de la Seine.

La solution adoptée, en définitive, a été celle d'un tablier en béton précontraint, appuyé sur des piles en béton armé sur des fondations profondes sur pieux forés ou barrettes moulées, selon les cas.

Le projet s'étend sur une longueur totale de 1.360 m, dont 1.103 m d'ouvrages d'art. L'ouvrage est scindé en deux tronçons, le viaduc d'accès, de 574 m de longueur, et le pont sur la Seine, de 529 m de longueur. Au total, il comporte 14 travées courantes dont les portées varient de 4 m à 101,75 m et deux travées de rive dont les portées sont, respectivement, égales à 42 m pour la rive gauche et à 49 m pour la rive droite.

summary

New Bridge at Saint-Cloud. Paris - France

J. Mathivat, Director of Research
Campenon Bernard Europe

This article describes the various problems that have been solved and the great amount of work that has been carried out to construct this bridge, that connects the highway A-13 with the peripheral boulevard of the French capital making it possible to cross the Seine.

The final solution has been that of a prestressed concrete bridge deck, supported by reinforced concrete piles on a foundation of plates or piles.

The construction has a total length of 1,360 m out of which 1,103 are manufactured: a 574 m access viaduct and a 529 m bridge across the river. Altogether it comprises 14 sections, with spans of 46 m up to 101,75 m, one 42 m section on the left hand side and one 49 m section on the right hand side.

zusammenfassung

Nie Neue Brücke von Saint-Cloud. Paris - Frankreich

J. Mathivat, Entwicklungsdirektor,
Campenon Bernard Europe

Dieser Artikel beschreibt die mit dem Bau verbundenen gelösten Probleme und ausgeführten Arbeiten. Die Brücke über die Seine verbindet die Autobahn A-13 mit der peripherischen Strasse der französischen Hauptstadt.

Die endgültige Lösung ist die einer von Stahlbetonpfeilern auf einer Fundation von Platten oder Pfählen gestützten Brückentafel aus Spannbeton.

Der Bau hat eine Gesamtlänge von 1.360 m von denen 1.103 m in der Fabrik hergestellt worden sind: eine 574 m Zufahrtsbrücke und eine 529 m Brücke über den Fluss, die auf 14 Felder mit einer Spannweite von 46 m bis 101,75 m verteilt ist. Ferner ist eine 42 m Strecke auf der linken Seite gelegen und auf der rechten eine 49 m Strecke.