

Puente de ferrocarril en Teherán (Irán)

Railway bridge at Tehran (Iran)

José Antonio Llombart



Jordi Revoltós



Ingenieros de Caminos
(Estudio de Ingeniería y Proyectos. EIPSA. Madrid)

RESUMEN

El puente está destinado al cruce de un ferrocarril urbano, de doble vía, sobre una futura autopista constituida por cuatro calzadas. El cruce se caracteriza por su acusado esviaje ($22,5^\circ$) y por las exigencias de gálibo libre para el paso de los vehículos por debajo del tablero de la estructura.

La solución desarrollada ha consistido en la constitución de dos puentes gemelos, uno para cada vía, con el tablero formado por una viga continua de hormigón postesado, de sección abierta, de 3,20 m. de canto total y un espesor de 0,55 m. bajo la capa de balasto, habiéndose resuelto con ello la problemática relativa al gálibo. La longitud total de cada tablero es de 206 metros y las luces máximas, 51,60 m.

SUMMARY

The Tehran - Karaj bridge is a Railway structure of double track over a future Highway. The crossing is cha-

racterised by the skew angle of $22,5^\circ$ (Tracks and Highway) and the necessity of providing sufficient clearance over the Highway in spite of the scarce level difference between Railway tracks and Highway carriageways.

The structure is made of two twin bridges, each one has an overall length of 206,40 m The spans between pier axis are 46,44 - 51,60 - 51,60 - 46,44 m. There are on both ends, small cantilever spans (5,16 m.) between extreme bearings and earth fill.

1. INTRODUCCIÓN

El puente está destinado al cruce de un ferrocarril urbano, de doble vía, sobre una futura autopista constituida por cuatro calzadas (Figura 1). El proyecto del puente, realizado en España, planteaba la necesidad de construir un cruce con un acusado esviaje ($22,5^\circ$), con exigencias de gálibo estricto para el paso de vehículos por debajo del tablero de la estructura. Se exigía, por otra parte una solución diáfana, distinta a la de un puente - pérgola, que

en principio se perfilaba como indicada para resolver de una forma práctica el problema funcional, con sus peculiaridades de tipo geométrico.

2. CARGAS DE DISEÑO

El diseño estructural del conjunto ha estado influenciado por la consideración de los requisitos derivados de las cargas horizontales consideradas en el cálculo, motivadas por una parte, por la alta sismicidad donde se encuentra situada la obra, con una aceleración de cálculo de $0,35g$ y por la fuerza debida al frenado, derivada de la aplicación de la Norma U.I.C., que para este caso concreto tiene un valor, en estado de servicio, de 4240 kN para cada tablero.

3. DESCRIPCIÓN GENERAL

La solución desarrollada ha consistido en la constitución de dos puentes gemelos, (Figura 2) uno para cada vía, con el tablero formado por una viga continua de hormigón postesado, de

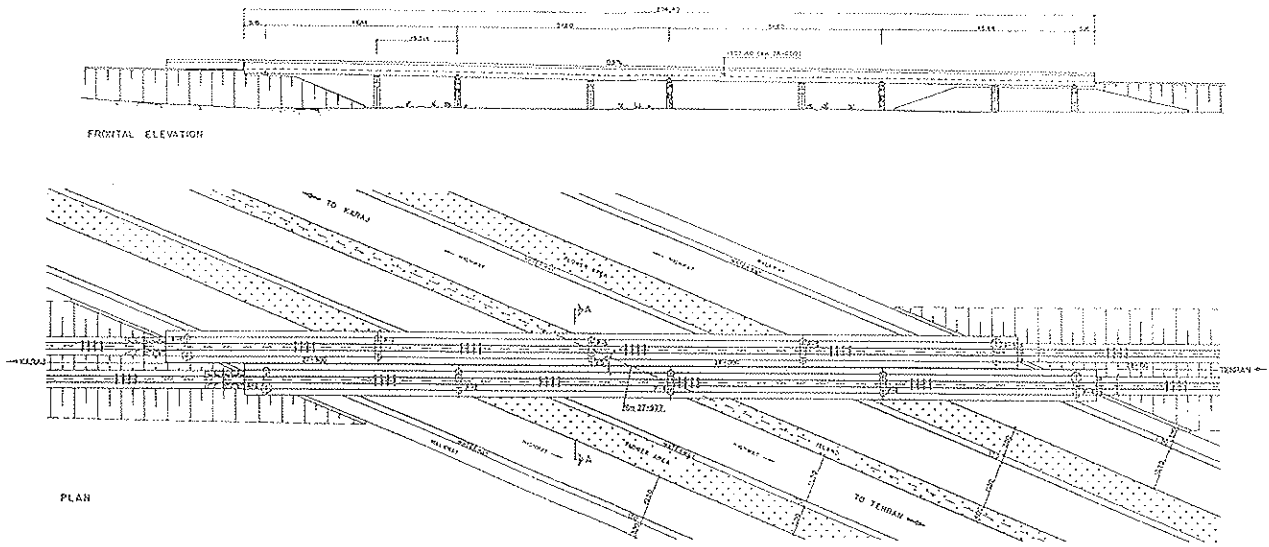


Figura 1. Definición general (Alzado y planta).

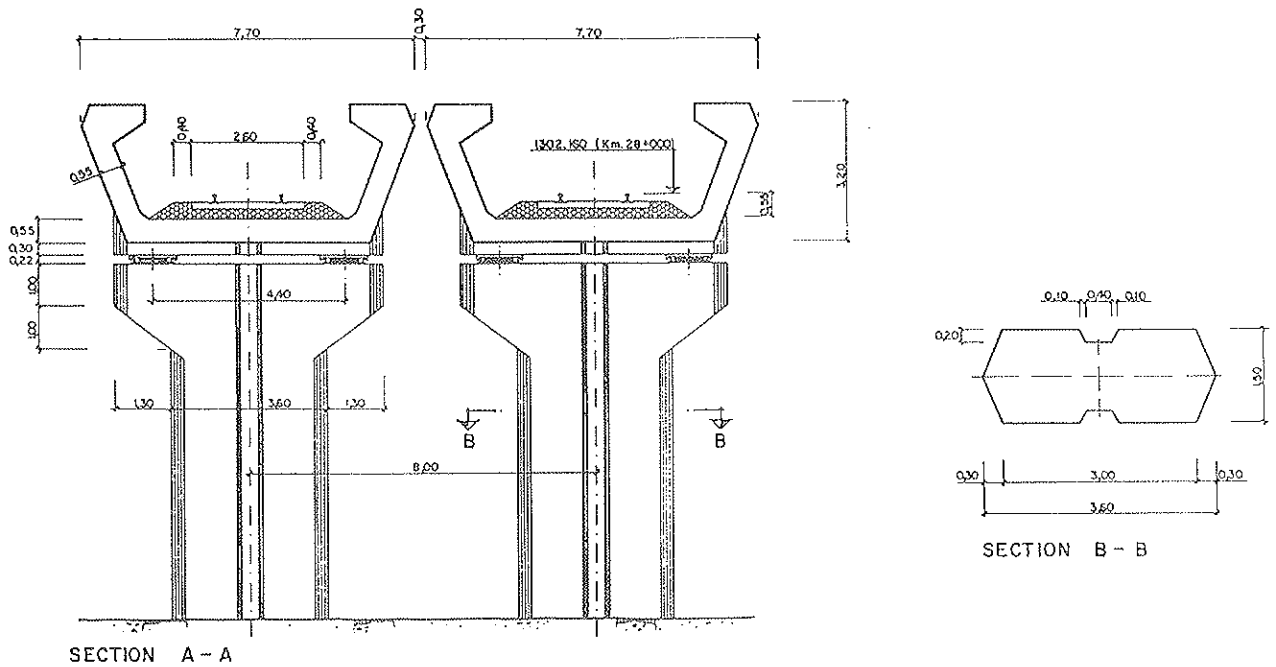


Figura 2. Tableros y pilas. Secciones.

sección abierta, de 3,20 m. de canto total y un espesor de 0,55 m. bajo la capa de balasto, habiéndose resuelto con ello la problemática relativa al gálibo (Figura 3).

Dado que el espacio libre a disponer para cada una de las cuatro calzadas era idéntico, se estimó necesario adoptar una disposición especial con el objeto de que no resultasen penalizados los vanos extremos. La longitud total de cada tablero es 206 m y la sucesión de luces es la siguiente:

$$5,16 - 46,44 - 51,60 - 51,60 - 46,44 - 5,16$$

Cada tablero responde a un esquema de viga continua, provista de cinco apoyos. En ambos extremos existen unos pequeños tramos de 5,16 m en voladizo, situados entre los apoyos extremos y el terraplén de acceso.

En las inmediaciones del estribo, el tablero se apoya verticalmente en el eje de un muro de cerramiento situado a ambos lados de la autopista. Debido a la existencia del esviaje y para evitar la disposición de elementos de soporte que pudiesen invadir las aceras, el apoyo del tablero se ha materializado mediante unas ménsulas cortas (Figu-

ra 4) unidas a unos elementos verticales situados en el trasdós del muro, en los que se ha dispuesto un pretensado vertical.

4. TABLERO

Cada uno de los tableros está formado por una viga continua, de cuatro vanos, de sección abierta. El espesor de las almas y de la losa inferior es 0,55 m. (Figura 6)

El pretensado está formado por 31 tendones de 12 ϕ 0,5" en toda la lon-

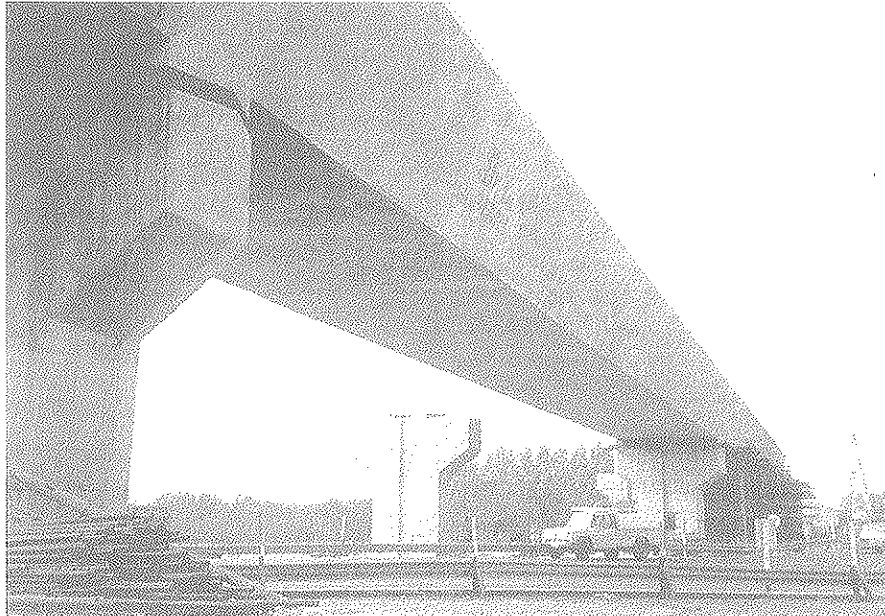


Figura 3. Construcción del tablero, por fases.

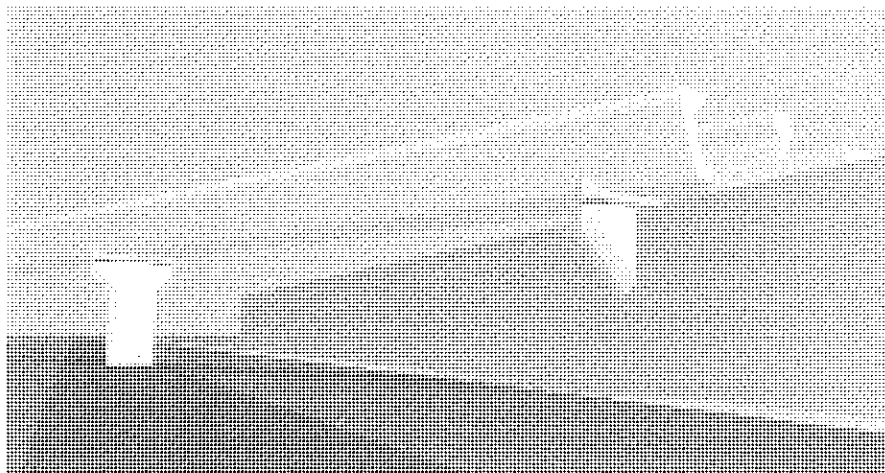


Figura 4. Representación en 3-D que muestra el esquema estructural del vano próximo a un estribo.

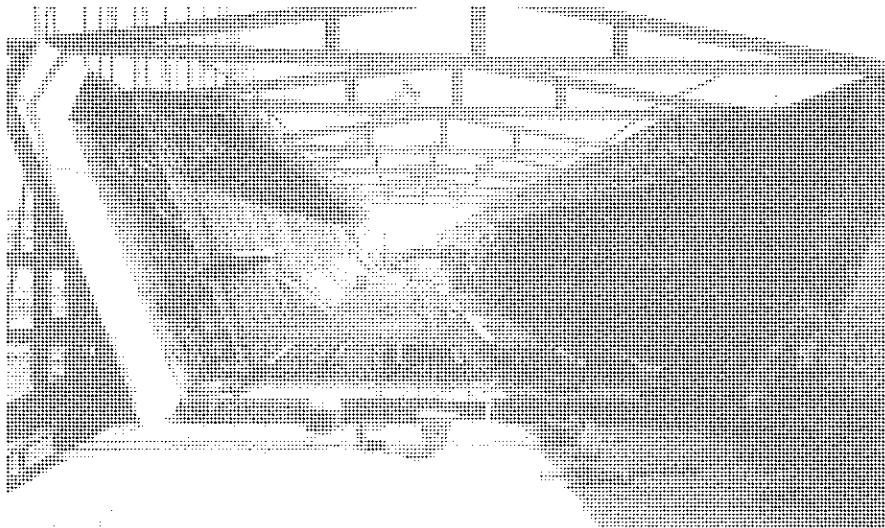


Figura 5. Construcción del tablero. Montaje de armaduras.

gitud del tablero, complementados con 4 tendones más en zonas situadas sobre los apoyos (Figura 6).

La construcción del tablero se ha realizado por fases, vano a vano sobre cimbra, con postesado provisto de acoplamientos en las juntas de construcción (Figura 7). Debido a las disponibilidades de producción de la planta de hormigón, cada una de las fases se ha ejecutado en 5 tongadas distintas, correspondientes a días sucesivos.

El hormigón utilizado en la construcción del tablero tiene una resistencia de 35 Mpa (probeta cúbica) y el acero pasivo, un límite elástico de 320 Mpa.

5. APARATOS DE APOYO

Cada uno de los tableros está fijado longitudinalmente en uno de sus extremos al estribo correspondiente, habiéndose dispuesto los apoyos sobre el estribo opuesto y las pilas, deslizantes, en sentido longitudinal y con coacción elástica en sentido transversal.

El tablero se apoya verticalmente en cada una de las pilas mediante dos aparatos de apoyo constituidos por neopreno-teflón, que deslizan, en sentido longitudinal sobre una lámina de acero inoxidable. Cada uno de los aparatos de apoyo tiene un dispositivo que produce una coacción elástica transversal. Las fuerzas transversales, debidas a viento y sismo, procedentes del tablero, se transmiten a las pilas mediante la acción simultánea de los dos aparatos dispuestos. La deformabilidad transversal del neopreno, relativamente alta, ha permitido la consideración de la acción conjunta de ambos aparatos, sin que tenga influencia apreciable la holgura existente entre los elementos de guiado y el propio apoyo de neopreno. Este sistema resulta ventajoso, en comparación con los aparatos con guiado rígido formado enteramente por piezas metálicas, especialmente en los casos en que la proporción de la carga horizontal a transmitir, en relación con la carga vertical actuante, es alta.

El sistema de apoyos dispuesto se considera apropiado para la transmisión de las acciones transversales derivadas del efecto sísmico, propor-

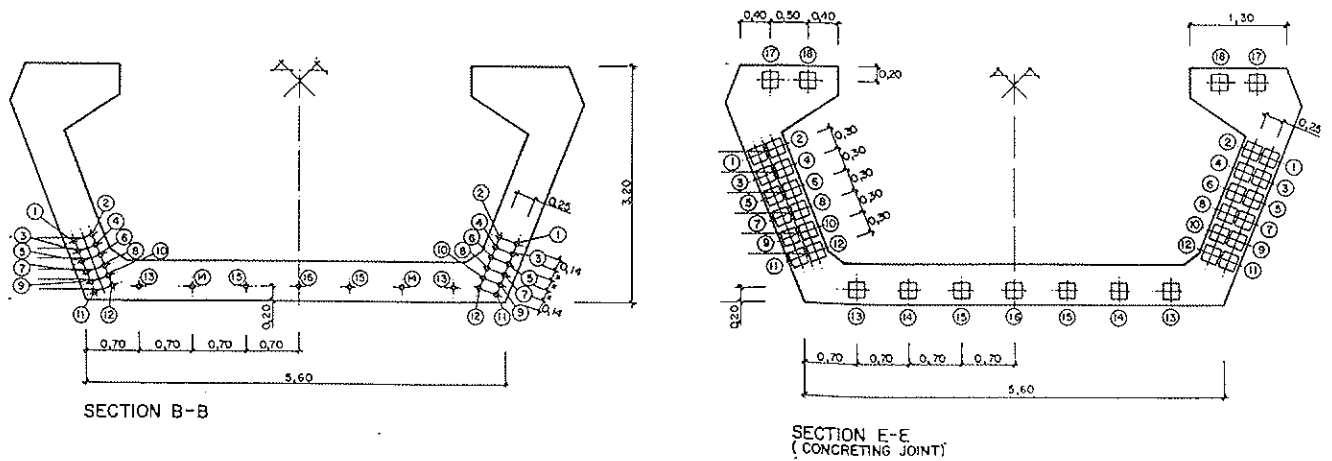


Figura 6. Tablero. Pretensado.

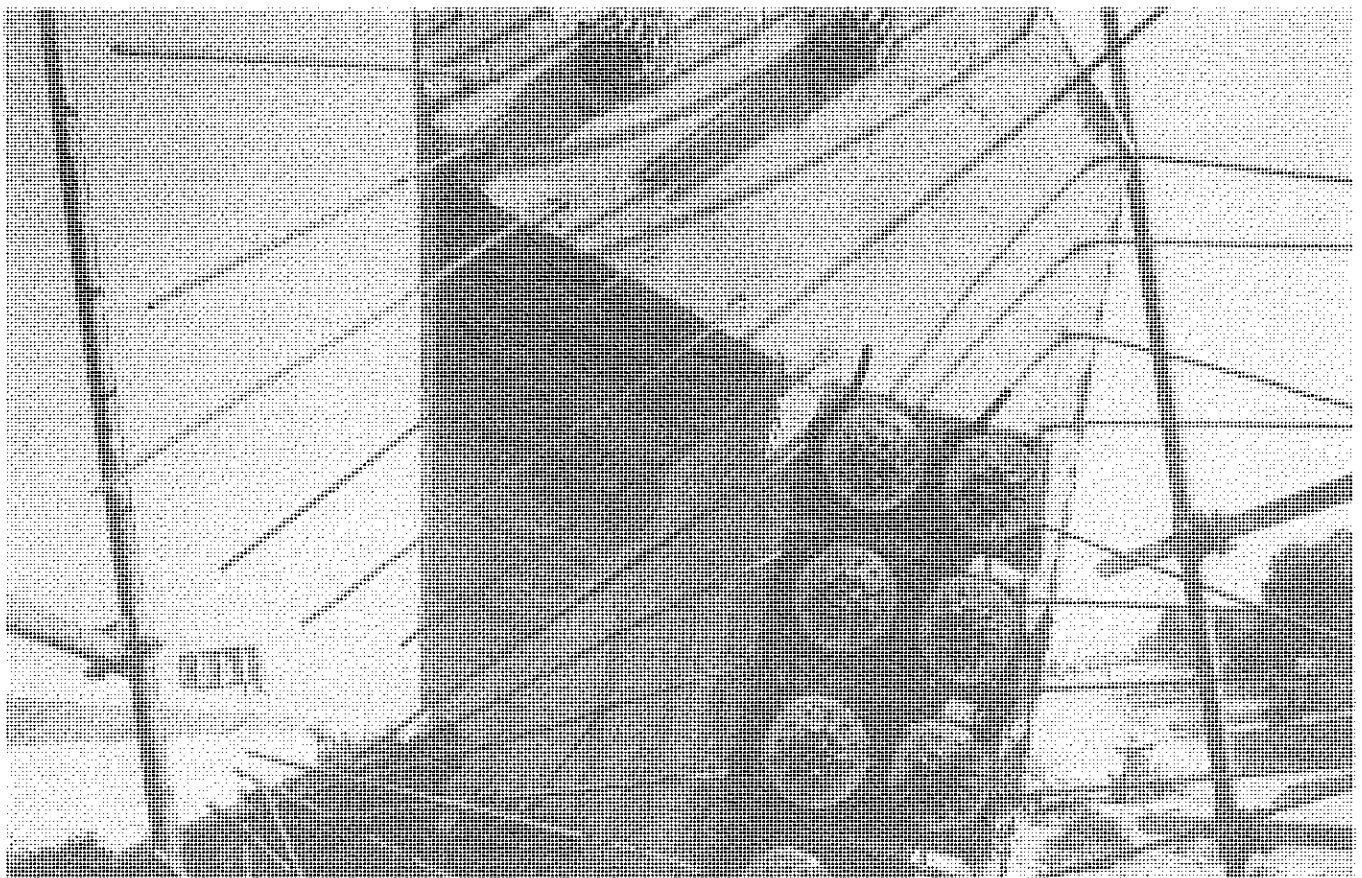


Figura 7. Detalle de junta de hormigonado. Anclajes con acoplamiento.

cionando unas buenas condiciones de respuesta estructural, debido a la deformabilidad transversal citada, que tiene una gran influencia en las características de rigidez transversal de la estructura, tenidas en cuenta en los cálculos de verificación.

6. ESTRIBOS

Cada uno de los estribos fijos (A1 y A2), soportan la totalidad de las cargas horizontales en dirección longitudinal, transmitidas por el correspondiente tablero (Efecto sísmico, frenado y fuer-

zas de fricción del resto de los apoyos al producirse los fenómenos reológicos del hormigón). La fijación horizontal del tablero al estribo se realiza mediante tendones de pretensado dispuestos horizontalmente, que comprimen permanentemente unos topes de neopreno.

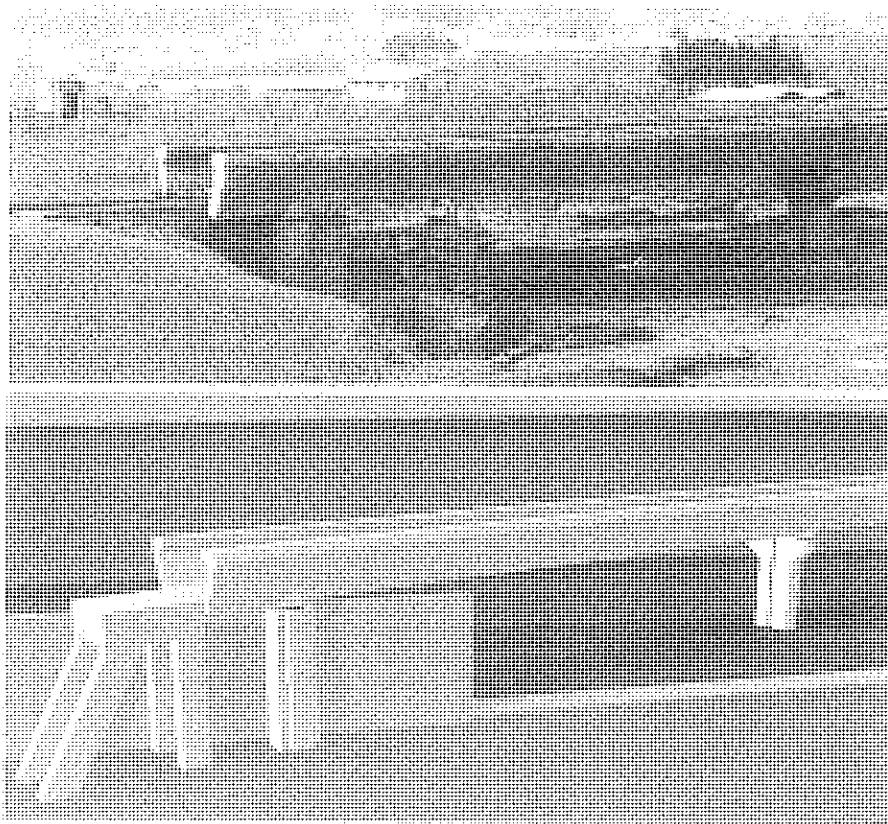


Figura 8. La foto superior representa una de las dos estructuras construida. La imagen inferior muestra el esquema estructural de la zona que queda oculta en el interior del terraplén.

Debido a la circunstancia propia del esviaje, se ha precisado la disposición de una estructura, constituida por una meseta soportada por cuatro patas; dos de ellas verticales y las otras dos, inclinadas (Figura 8). El contacto entre el tablero se realiza únicamente a través de unas placas de neopreno dispuestas verticalmente y comprimidas permanentemente debido a la acción de los tendones de pretensado, cuyos anclajes activos están situados en el paramento de la meseta opuesto al de la cara en que existen los topes de neopreno. Los anclajes del otro extremo de los tendones, son pasivos y están alojados en la losa inferior del tablero.

La estructura citada no recoge, por tanto, cargas verticales procedentes del tablero. El apoyo extremo vertical del tablero se realiza a una distancia de 5,16 m, de la zona en que se sitúan los topes de neopreno, sobre una pieza de hormigón con una forma especial (Ver figuras 8 y 9), que queda enterrada en el terraplén contenido por un muro de contención. Dicha pieza sobresale del muro, a la manera de una ménsula corta, que soporta uno de los aparatos

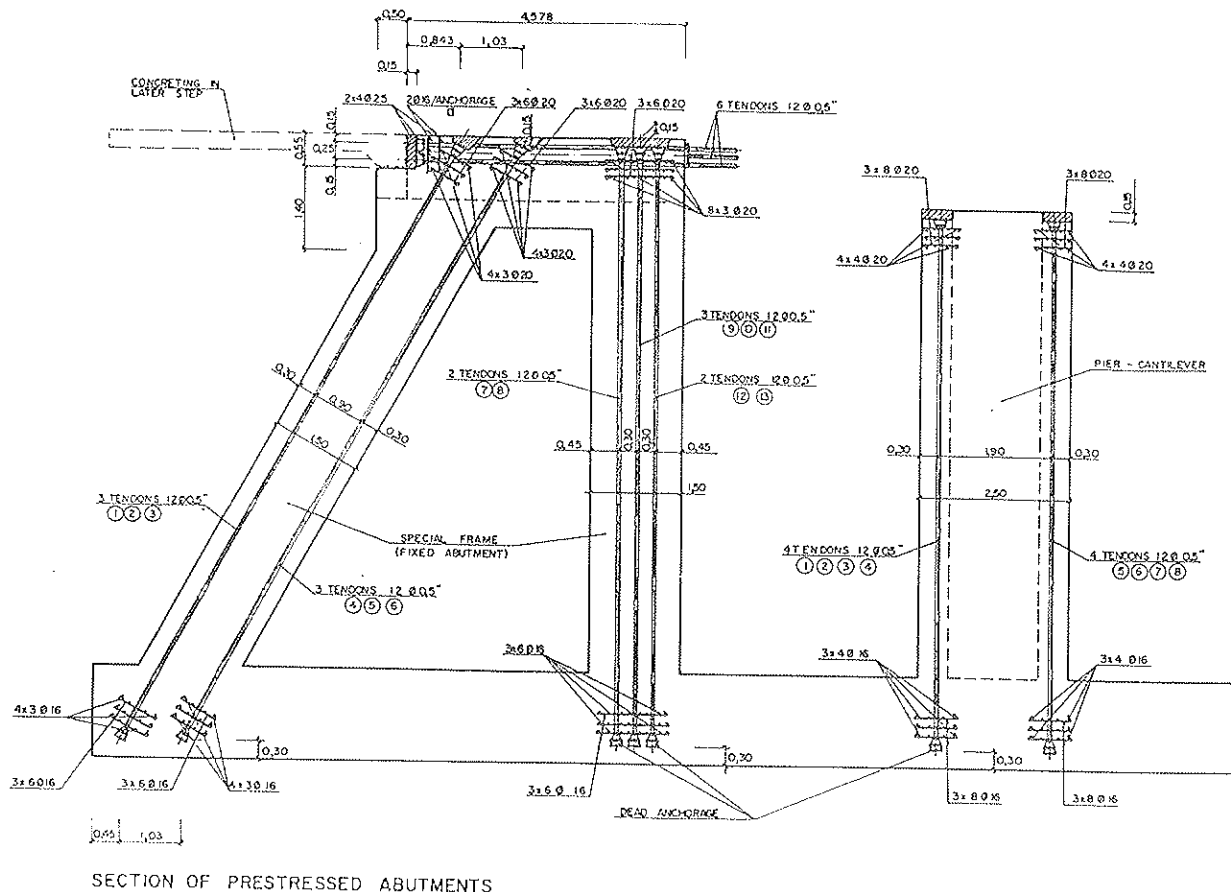


Figura 9. Estribo fijo y pila embebida en el muro. Pretensado.

de apoyo vertical del tablero. El otro apoyo descansa en la zona interior, en la que se ha dispuesto un pretensado vertical anclado a la base, que compensa la excentricidad producida por las cargas verticales que actúan sobre la ménsula.

La diferencia de altura entre el terreno sobre el que se apoyan la zapata, formada por una gran losa de hormigón, y el punto de transmisión de la carga horizontal que actúa sobre el tablero es de 10 metros. La estructura especial formada por la meseta soportada por cuatro patas tiene por objeto la transmisión de las cargas horizontales del tablero, en dirección longitudinal (frenado del ferrocarril y sismo longitudinal), a la cimentación. Debido a la magnitud de los esfuerzos axiales resultantes, que pueden ser de signo opuesto, dada la posibilidad de actuación de actuación de las cargas en cualquier sentido, las piezas de hormigón de soporte de la meseta están pretensadas con tendones de trazado recto, que permite transmitir a la zapata las cargas horizontales indicadas anteriormente (Figura 9).



Figura 10. Aspecto de la obra, en fase de terminación.

7. EJECUCIÓN DE LA OBRA

- Administración propietaria: TEHRAN AND SUBUR METRO COMPANY
- Constructor: SHALOUDEH
- Años de construcción: 1996-97
- Sistema de pretensado y aparatos de apoyo: MEKANO4

La figura 10 muestra una imagen general de la obra terminada.