

Viaducto empujado Al Harrach para el metro de Argel*

*Launched Viaduct Al Harrach for the algerie subway***

Antonio Carnerero Ruiz ^a, Juan Rodado López ^b, Maria Jesús Rosado García ^c,
Diego Albillos Albillos ^d y Paula San Marcos Llamas ^e

^a Prof. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. PROINTEC; acarnerero@prointec.es

^b Prof. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, ETS de Ingeniero de Industriales, UPM, jrodado@etsii.upm.es

^c Prof. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos, PROINTEC, mjerosado@prointec.es

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos PROINTEC, dalbillos@prointec.es

^e Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos, PROINTEC, psanmarcos@prointec.es

RESUMEN

En la presente ponencia se describe el proyecto y construcción del nuevo viaducto empujado de 1464 m de longitud en la ampliación de la línea 1 del metro de Argel y que salva todo el valle del Al Harrach. Se trata de un viaducto en sección cajón de hormigón pretensado, tanto interior como exterior, con la singularidad de empujarse desde los dos estribos: 923 m desde el estribo 1 y 389 m desde el estribo 2. El puente se completa con tres vanos cimbrados que dan continuidad a todo el tablero. Debido a la alta sismicidad de la zona se disponen amortiguadores, longitudinales en estribos y transversales en pilas, para resistir los efectos de esta acción.

ABSTRACT

This paper describes the project and construction of the new launched viaduct 1464 m long for the extension of the line 1 of Algiers subway, crossing all along Al Harrach oued valley. Its deck consists of a concrete box girder cross section with internal and external prestressing, with the particularity of being launched from both abutments: 923 m from abutment 1 and 389 m from abutment 2. The bridge is completed by means of three in-situ spans cast over falsework giving continuity to the deck. Due to the high seismicity of the area, dampers have been arranged, longitudinally at abutments and transversally at piers, to withstand the seismic effect.

PALABRAS CLAVE: viaducto, metro, empujado, hormigón, pretensado, sismicidad, amortiguador.

KEYWORDS: viaduct, subway, launched, concrete, prestressed, seismicity, seismic damper.

1. Introducción

Con motivo de la ampliación del metro de Argel en la línea 1 de metro (Ain Naadja-Baraki), se diseña un viaducto de 1464 m entre estribos para superar las barreras físicas que suponen al

trazado del metro la carretera nacional N38, la línea de ferrocarril (SNTF) y el río Al Harrach.

Se trata de un viaducto con tablero en sección cajón de hormigón pretensado distribuidos en 35 vanos con luces máximas de

51 m que se construye empujado desde ambos estribos con un tramo central de conexión ejecutado “in situ”. Sobre el viaducto se han proyectado los andenes de dos estaciones elevadas: Ain Naadja Gare y Future Parc Urbain. El trazado en planta es sinuoso, iniciándose en una curva de radio 1500 m para continuar con otra de radio 1195 m y curvatura de signo opuesto, unidas mediante una zona de transición intermedia. En alzado, el viaducto comienza con una pendiente variable hasta alcanzar sobre el vano 2 pendiente horizontal, manteniéndose así hasta el vano 24 donde se ha proyectado un acuerdo vertical que da paso al tramo final, en el

que desde el vano 27 se mantiene una pendiente del -4 %. Como es bien sabido, el trazado es determinante para poder realizar el empuje de un puente, y más si cabe, cuando la longitud del puente es elevada. Por esta razón, el trazado original tuvo que ser modificado tras la fase de Proyecto Preliminar y al comienzo del Proyecto de Construcción para permitir la construcción por empuje desde ambos extremos, manteniendo dos zonas, al comienzo y al final, de radio en planta y pendiente en alzado constantes. En los próximos apartados se describirá esta cuestión con más detalle.



Figura 1. Planta del viaducto

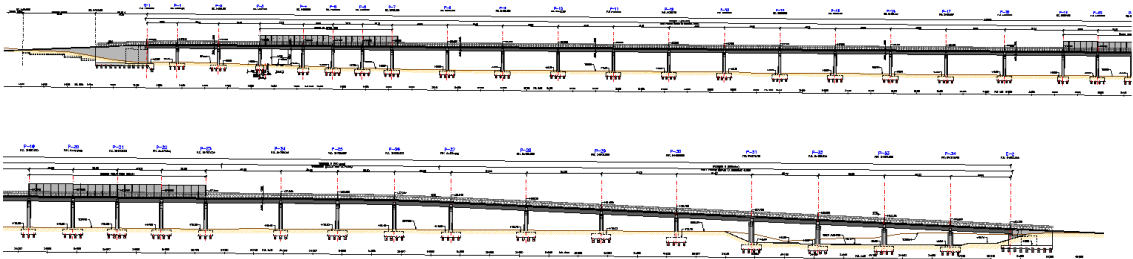


Figura 2. Alzado del viaducto

2. Descripción del viaducto

El viaducto tiene una longitud de 1.464 m y está compuesto por 35 vanos con las siguientes longitudes:

26.5 - 2 x 36 - 37.75 - 3 x 25.75 - 10 x 48.25 - 2 x 51 - 4 x 30 - 51 - 3 x 38.5 - 4 x 51 - 3 x 45 - 40.5 m.

2.1 Tablero

El tablero es continuo de sección cajón de hormigón pretensado de 1466.5 m de longitud total. Presenta un canto constante de 3 m a lo largo de todo el viaducto, reduciéndose únicamente en los dos primeros vanos, en donde desde un valor de 2.42 m se realiza una transición en alzado hasta alcanzar el valor máximo de 3 m. Se logra de esta forma acomodar el trazado en alzado de la rasante manteniendo el fondo del cajón dentro de un plano horizontal empujable.

En sus 9.40 m de ancho se ubica una vía en placa, con dos carriles, un pasillo de mantenimiento a cada lado y sendas barreras de protección de hormigón de 3.25 m de alto. Los espesores de la sección son, en la losa superior variable de 0.49 a 0.25 m y en la inferior de 0.76 a 0.35 m, mientras las almas tienen espesor constante de 0.52 m. La sección se completa con voladizos de 1.745 m de longitud y espesor variable de 0.48 a 0.275 m.

El fondo de la sección presenta dos patines de 1.20 m de ancho que se mantienen en toda la longitud del puente para ser usados como superficie de empuje. Para facilitar la colocación de los apoyos definitivos en el puente, se han dejado unas placas embebidas en estos patines sobre las que se soldará el apoyo definitivo al final de la construcción del tablero.

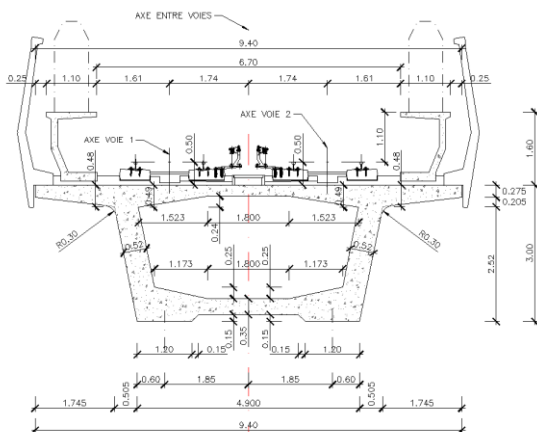


Figura 3. Sección del tablero

En las secciones sobre las pilas, además de las placas embebidas donde se colocarán los apoyos, la sección dispone de un diafragma que aporta una doble función: por un lado, proporcionará al tablero la sección necesaria para la transmisión de las cargas a los apoyos, y por otro la ubicación de los desviadores del pretensado exterior. La losa inferior se recrece de manera lineal en las zonas de pilas hasta tener un espesor constante de 0.80 m.

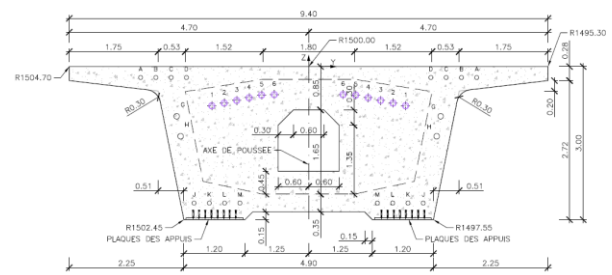


Figura 4. Sección del tablero sobre pila

La sección también se modifica en los puntos donde se colocarán los desviadores del pretensado con una costilla sobre la losa inferior hasta un espesor de 0.95 m.

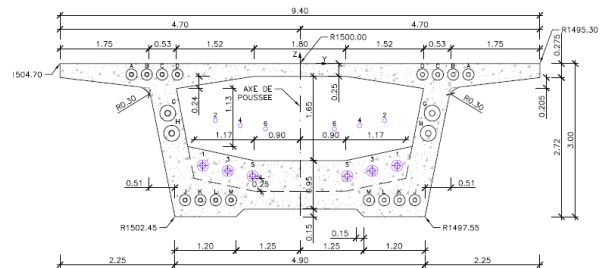


Figura 5. Sección del tablero con desviadores

2.2 Pilas y estribos

Los estribos del viaducto son estribos cerrados cimentados con cimentación profunda por medio de pilotes de hormigón armado, con una altura de 15.5 y 10.70 m respectivamente.

Las 34 pilas, todas de hormigón armado, se diseñan con tres tipologías distintas, según su funcionalidad:

-Pila tipo 1.- es la pila general del viaducto, de fuste rectangular de dimensiones máximas 5.50 x 2.50 m con chaflanes en las esquinas de 0.40 m. Sobre este fuste se construye el capitel, tanto para apoyar el tablero como para alojar los sistemas antisísmicos. La altura máxima de este tipo de pila es de 18.55 m.

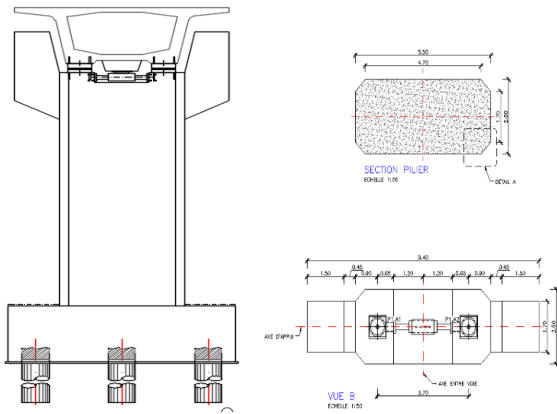


Figura 6. Pila tipo 1

-Pila tipo 2.- es la pila sobre la que se colocarán las vigas para las estaciones aéreas. Tienen el mismo fuste que las de tipo 1, y su altura máxima es de 18.45 m, pero el capitel es mucho más ancho, de 18.30 m, para lograr el espacio necesario para apoyar sobre él las vigas que formarán los andenes. Por las dimensiones del capitel y el peso que transmite al voladizo, se ha pretensado transversalmente con cables de trazado recto.

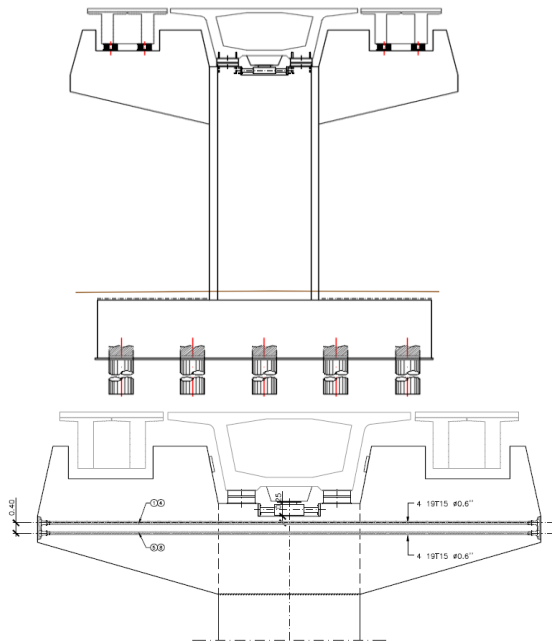


Figura 7. Pila tipo 2

-Pila tipo 3.- esta tipología de pilas se coloca en el último tramo del viaducto, en la zona donde el viaducto cruza el río Al Harrach. La forma del fuste de esta pila cambia con respecto a las anteriores para asegurar un efecto más hidrodinámico y reducir los esfuerzos provocados por la corriente de agua sobre la pila.

El fuste es circular, de 3.5 m de diámetro, con el mismo acabado del capitel que la pila tipo 1. La altura máxima de esta pila es de 15.15 m.

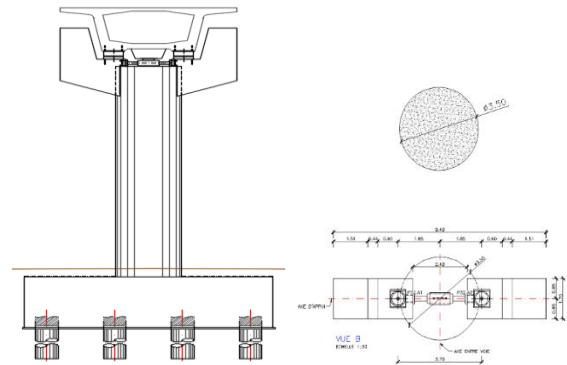


Figura 8. Pila tipo 3

2.3 Apoyos, amortiguadores y junta de dilatación

Por la gran longitud del viaducto y el elevado nivel sísmico en el emplazamiento del puente, se ha recurrido a dispositivos disipadores de energía y a amortiguadores, logrando disminuir los efectos sísmicos.

2.3.1 Apoyos

Tanto en las pilas como en los dos estribos, el tablero se sustenta sobre apoyos pendulares dobles de radio interno 3 m. Estos apoyos proporcionan varias funciones interesantes para el viaducto. Por una parte, recentran el viaducto y por otra, disipan energía durante los episodios sísmicos que pueda sufrir la estructura.

La ecuación que define su comportamiento es la siguiente:

$$F = \frac{N_{sd}}{R_b} d_b + \mu_d N_{sd} \text{sign}(d_b) \quad (1)$$

donde:

$R_b(\text{mm})=3000$ mm (radio interno del apoyo pendular)

$\mu(\%)=1$ (Coeficiente de rozamiento)

N_{sd} = Axil del apoyo

d_b = Desplazamiento de apoyos

En total, se han empleado cuatro tipos de apoyos pendulares, adecuándose a las cargas máximas solicitantes. En la tabla 1 se muestran los máximos valores de las cargas verticales en cada uno de ellos.

Tabla 1. Cargas máximas de los apoyos pendulares.

Apoyo tipo	Axil sísmico(kN)	Axil servicio (kN)
1	7.503	6.773
2	9.598	10.676
3	17.818	14.189
4	17.678	15.848

2.3.2 Amortiguadores transversales

Además de los apoyos pendulares, en pilas y estribos se han colocado amortiguadores sísmicos transversales anclados a la tabla inferior del tablero, uno por pila y estribo. Estos amortiguadores permiten bloquear el tablero para fuerzas de efecto rápido, como viento o fuerza centrífuga, mientras permiten el libre desplazamiento para las de desarrollo lento, como las térmicas o la retracción.

Su ecuación de diseño ha sido:

$$F = C v^{\alpha} \quad (2)$$

donde:

$\alpha=0.15$

V=velocidad

C=coeficiente del amortiguador

Al igual que con los apoyos pendulares, se han definido un total de cinco tipos de amortiguadores transversales adecuándose a las cargas solicitantes según se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Cargas máximas de los amortiguadores transversales.

Amortiguador tipo	Axil sísmico(kN)	Axil servicio (kN)
1	907	96
2	1.332	111
3	1.858	166
4	2.615	219
5	3.018	371

2.3.3 Amortiguadores longitudinales

En sentido longitudinal, se colocan 6 amortiguadores sísmicos en cada estribo. Estos amortiguadores actúan como puntos fijos frente a las cargas rápidas, permitiendo el movimiento del tablero para las acciones lentas. Son los encargados de recoger las fuerzas longitudinales durante el sismo disipando gran cantidad de energía. La carga máxima que alcanza cada amortiguador ante acciones sísmicas llega a 5.000 kN.

2.3.4 Topes sísmicos

Además de los amortiguadores transversales y apoyos pendulares se incluyen topes sísmicos transversales de seguridad en los capiteles de las pilas para cubrir posibles fallos de los sistemas principales de retención sísmica, que, conforme la normativa argelina RPOA-08 (3), se dimensionan con capacidad para recoger el 40 % de la carga máxima transversal. Estos topes se materializan mediante apoyos de neopreno armado anclados fijados a ménsulas laterales de hormigón unidas a los capiteles de las pilas.

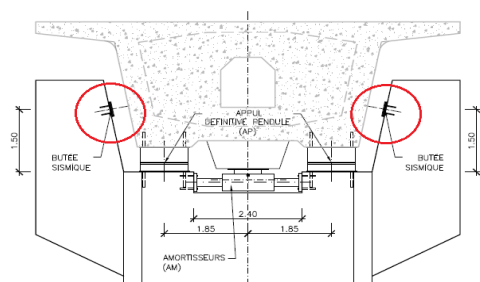


Figura 9. Sección del tablero en pila con topes sísmicos

2.3.5 Junta de dilatación

Al tratarse de un tablero continuo en toda la longitud del puente, se disponen juntas de dilatación en ambos estribos para absorber los movimientos de los extremos del tablero. Igualmente se disponen aparatos de dilatación de vía para evitar las tensiones excesivas que provocarían en los carriles dichos movimientos del tablero.

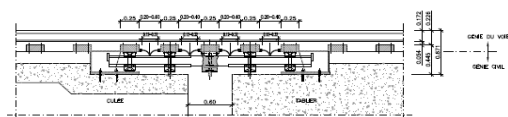


Figura 10. Junta de dilatación

3. Pretensado

En el tablero existen varios tipos de pretensado. En las zonas de tablero empujado se dispone el pretensado de empuje, al que se añade una vez completado la construcción del puente, el pretensado de servicio, de tipo exterior. En en el tramo “in situ” se dispone un único tipo de pretensado interior parabólico.

- **Pretensado de empuje.** - Este pretensado discurre por el interior de la sección, tanto por la losa superior, como por la inferior como por el alma. Su trazado es recto. Dada las

diferencias importantes en la longitud de los vanos de las estructura y acorde a las leyes de esfuerzos resultantes del estudio de las fases de empuje del tablero, el tamaño de las unidades se ha ajustado en cada dovela: desde la primera dovela, donde se dispone la máxima cuantía hasta la última dovela, donde las necesidades de pretensado son las más reducidas.

En todos los casos se han empleado cordones de 1.5 cm² de sección.

El pretensado dispuesto es el siguiente:

-**Losa superior del tablero.** - Máximo de 10 cables de 12 cordones, mínimo de 8 cables de 12 cordones.

-**Hastiales.** - Máximo de 8 cables de 22 cordones, mínimo de 4 cables de 22 cordones.

-**Losa inferior del tablero.** - 8 cables de 12 cordones de forma constante.

- **Pretensado de servicio.** - Este pretensado se aplica en segunda fase, una vez acabado el puente. Es un pretensado exterior con un número máximo de 12 cables de 12 cordones de 1.5 cm² de sección, reduciéndose e incluso prescindiendo completamente de él en las zonas del tablero donde el pretensado de lanzamiento cubre las necesidades de servicio. Este pretensado se divide en dos familias de cables según se muestra en la figura 11.

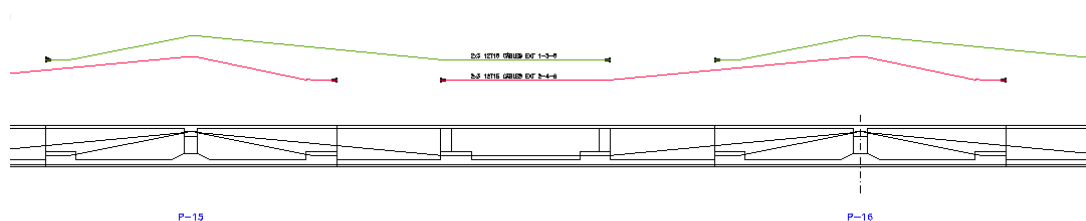


Figura 11. Esquema de familias de cables de pretensado exterior

- **Pretensado en el tramo “in situ”.** - La parte central del tablero que se ejecuta in situ tiene un proceso constructivo mediante cimbra, en tres fases. Esta zona tiene un pretensado parabólico que discurre por el interior de las almas de la sección, con la singularidad y

complejidad de que el pretensado de esta zona tiene que conectar los dos tableros empujados previamente y darle total continuidad al puente. Además, en los extremos de los tramos empujados es necesario sortear todas las barras empleadas para los anclajes de la nariz de empuje que se encuentra en esta zona. Para ello, se ha

4. Estaciones aéreas

Figure 1 is a detailed plan view of the bridge deck. It shows a symmetrical design with a central main span supported by two large piers. The deck width is 18.80 meters at the top. The main span has a width of 17.30 meters. The approach spans on either side have widths of 9.27 meters. The diagram includes numerous dimensions for various components, such as the deck width, pier width, and the location of the bridge piers. Labels include 'A18.80', '17.30', '9.27', '1.70', '1.50', '1.30', '1.20', '1.10', '1.00', '0.90', '0.80', '0.70', '0.60', '0.50', '0.40', '0.30', '0.20', '0.10', '0.00', '0.10', '0.20', '0.30', '0.40', '0.50', '0.60', '0.70', '0.80', '0.90', '1.00', '1.10', '1.20', '1.30', '1.40', '1.50', '1.60', '1.70', '1.80', '1.90', '2.00', '2.10', '2.20', '2.30', '2.40', '2.50', '2.60', '2.70', '2.80', '2.90', '3.00', '3.10', '3.20', '3.30', '3.40', '3.50', '3.60', '3.70', '3.80', '3.90', '4.00', '4.10', '4.20', '4.30', '4.40', '4.50', '4.60', '4.70', '4.80', '4.90', '5.00', '5.10', '5.20', '5.30', '5.40', '5.50', '5.60', '5.70', '5.80', '5.90', '6.00', '6.10', '6.20', '6.30', '6.40', '6.50', '6.60', '6.70', '6.80', '6.90', '7.00', '7.10', '7.20', '7.30', '7.40', '7.50', '7.60', '7.70', '7.80', '7.90', '8.00', '8.10', '8.20', '8.30', '8.40', '8.50', '8.60', '8.70', '8.80', '8.90', '9.00', '9.10', '9.20', '9.30', '9.40', '9.50', '9.60', '9.70', '9.80', '9.90', '10.00', '10.10', '10.20', '10.30', '10.40', '10.50', '10.60', '10.70', '10.80', '10.90', '11.00', '11.10', '11.20', '11.30', '11.40', '11.50', '11.60', '11.70', '11.80', '11.90', '12.00', '12.10', '12.20', '12.30', '12.40', '12.50', '12.60', '12.70', '12.80', '12.90', '13.00', '13.10', '13.20', '13.30', '13.40', '13.50', '13.60', '13.70', '13.80', '13.90', '14.00', '14.10', '14.20', '14.30', '14.40', '14.50', '14.60', '14.70', '14.80', '14.90', '15.00', '15.10', '15.20', '15.30', '15.40', '15.50', '15.60', '15.70', '15.80', '15.90', '16.00', '16.10', '16.20', '16.30', '16.40', '16.50', '16.60', '16.70', '16.80', '16.90', '17.00', '17.10', '17.20', '17.30', '17.40', '17.50', '17.60', '17.70', '17.80', '17.90', '18.00', '18.10', '18.20', '18.30', '18.40', '18.50', '18.60', '18.70', '18.80', '18.90', '19.00', '19.10', '19.20', '19.30', '19.40', '19.50', '19.60', '19.70', '19.80', '19.90', '20.00', '20.10', '20.20', '20.30', '20.40', '20.50', '20.60', '20.70', '20.80', '20.90', '21.00', '21.10', '21.20', '21.30', '21.40', '21.50', '21.60', '21.70', '21.80', '21.90', '22.00', '22.10', '22.20', '22.30', '22.40', '22.50', '22.60', '22.70', '22.80', '22.90', '23.00', '23.10', '23.20', '23.30', '23.40', '23.50', '23.60', '23.70', '23.80', '23.90', '24.00', '24.10', '24.20', '24.30', '24.40', '24.50', '24.60', '24.70', '24.80', '24.90', '25.00', '25.10', '25.20', '25.30', '25.40', '25.50', '25.60', '25.70', '25.80', '25.90', '26.00', '26.10', '26.20', '26.30', '26.40', '26.50', '26.60', '26.70', '26.80', '26.90', '27.00', '27.10', '27.20', '27.30', '27.40', '27.50', '27.60', '27.70', '27.80', '27.90', '28.00', '28.10', '28.20', '28.30', '28.40', '28.50', '28.60', '28.70', '28.80', '28.90', '29.00', '29.10', '29.20', '29.30', '29.40', '29.50', '29.60', '29.70', '29.80', '29.90', '30.00', '30.10', '30.20', '30.30', '30.40', '30.50', '30.60', '30.70', '30.80', '30.90', '31.00', '31.10', '31.20', '31.30', '31.40', '31.50', '31.60', '31.70', '31.80', '31.90', '32.00', '32.10', '32.20', '32.30', '32.40', '32.50', '32.60', '32.70', '32.80', '32.90', '33.00', '33.10', '33.20', '33.30', '33.40', '33.50', '33.60', '33.70', '33.80', '33.90', '34.00', '34.10', '34.20', '34.30', '34.40', '34.50', '34.60', '34.70', '34.80', '34.90', '35.00', '35.10', '35.20', '35.30', '35.40', '35.50', '35.60', '35.70', '35.80', '35.90', '36.00', '36.10', '36.20', '36.30', '36.40', '36.50', '36.60', '36.70', '36.80', '36.90', '37.00', '37.10', '37.20', '37.30', '37.40', '37.50', '37.60', '37.70', '37.80', '37.90', '38.00', '38.10', '38.20', '38.30', '38.40', '38.50', '38.60', '38.70', '38.80', '38.90', '39.00', '39.10', '39.20', '39.30', '39.40', '39.50', '39.60', '39.70', '39.80', '39.90', '40.00', '40.10', '40.20', '40.30', '40.40', '40.50', '40.60', '40.70', '40.80', '40.90', '41.00', '41.10', '41.20', '41.30', '41.40', '41.50', '41.60', '41.70', '41.80', '41.90', '42.00', '42.10', '42.20', '42.30', '42.40', '42.50', '42.60', '42.70', '42.80', '42.90', '43.00', '43.10', '43.20', '43.30', '43.40', '43.50', '43.60', '43.70', '43.80', '43.90', '44.00', '44.10', '44.20', '44.30', '44.40', '44.50', '44.60', '44.70', '44.80', '44.90', '45.00', '45.10', '45.20', '45.30', '45.40', '45.50', '45.60', '45.70', '45.80', '45.90', '46.00', '46.10', '46.20', '46.30', '46.40', '46.50', '46.60', '46.70', '46.80', '46.90', '47.00', '47.10', '47.20', '47.30', '47.40', '47.50', '47.60', '47.70', '47.80', '47.90', '48.00', '48.10', '48.20', '48.30', '48.40', '48.50', '48.60', '48.70', '48.80', '48.90', '49.00', '49.10', '49.20', '49.30', '49.40', '49.50', '49.60', '49.70', '49.80', '49.90', '50.00', '50.10', '50.20', '50.30', '50.40', '50.50', '50.60', '50.70', '50.80', '50.90', '51.00', '51.10', '51.20', '51.30', '51.40', '51.50', '51.60', '51.70', '51.80', '51.90', '52.00', '52.10', '52.20', '52.30', '52.40', '52.50', '52.60', '52.70', '52.80', '52.90', '53.00', '53.10', '53.20', '53.30', '53.40', '53.50', '53.60', '53.70', '53.80', '53.90', '54.00', '54.10', '54.20', '54.30', '54.40', '54.50', '54.60', '54.70', '54.80', '54.90', '55.00', '55.10', '55.20', '55.30', '55.40', '55.50', '55.60', '55.70', '55.80', '55.90', '56.00',

4.1 Descripción

4.1.1. Vigas del andén

Figure 1: Plan view of the bridge structure. The diagram shows a cross-section of a bridge with a central span of 0.60m and two side spans of 0.70m each. The total width is 1.95m. The height of the bridge deck is 0.20m. The bridge is supported by two piers. The top of the bridge deck is at an elevation of +37.100. The bridge is labeled "DALLE SUR SITE" and "POUTRE PREFABRIQUEE".

Figura 15. Sección de vigas bajo andenes

4.1.2. Apoyos y topes sísmicos

Las vigas se sustentan sobre dos apoyos de neopreno zunchado con núcleo de plomo separados 1.80 m. Esta solución permite mantener un comportamiento similar al de cualquier tablero de vigas prefabricadas para las acciones de servicio y un amortiguamiento frente a la acción sísmica similar al del resto de la estructura.

Al igual que el tablero del viaducto, se completa el sistema de los apoyos de las estaciones con topes sísmicos transversales, también de neopreno zunchado como medida

de seguridad frente a un eventual fallo de los apoyos de núcleo de plomo.

4.1.3. Pretensado

El pretensado de las vigas está formado por un trazado parabólico por el interior del alma de la viga, con cuantías algo distintas para cada longitud de viga. Para las vigas de mayor longitud, 37.75 m, situadas en el primer vano de la estación Ain Naadja Gare, el pretensado está formado por 4 cables de 22 cordones, reduciéndose hasta 2 cables de 22 cordones en los siguientes vanos de esta estación de 25.25 m de luz.

Sin embargo, en la estación Future Parc Urbain, donde todos los vanos son iguales, de 30 m de luz, se disponen 3 cables con 19 cordones por viga.

5. Proceso constructivo

El proceso constructivo del puente se ha adaptado a las condiciones geométricas impuestas por el trazado del viaducto. La geometría de doble curvatura en planta ha obligado a separar el empuje del tablero en dos partes, uniéndose en la zona de transición central mediante tres vanos ejecutados “in situ” con cimbra apoyada al terreno.

Las características principales de cada parte son las siguientes:

- **Empuje 1.** - En esta zona el trazado en planta tiene un radio constante de 1500 m y rasante horizontal en su mayor parte, excepto en los primeros vanos. Por tanto, en esta fase, el empuje se realiza desde el estribo 1 hasta 1/5 del vano 24, con una longitud total de tablero empujado de 929.95 m. Este empuje se realiza con 37 dovelas con una longitud máxima de 31 m y una pendiente nula de empuje.

Cabe destacar que existe una singularidad en el primer tramo del viaducto, desde el estribo 1 hasta la mitad del vano 2. En él, la pendiente del trazado es variable. Dado que se trata de un tramo relativamente corto, situado en vanos de

longitud moderada, se ha ajustado el canto de la dovela a la rasante de trazado manteniendo el fondo horizontal para que pudiera ser empujado.

Al tratarse de un tramo empujado de gran longitud, no es posible lanzarlo exclusivamente por fricción, mediante el rozamiento existente entre la cara superior de los gatos verticales de empuje y la cara inferior del tablero, al no tener suficiente reacción vertical para conseguir arrastrar la totalidad del tablero. Por este motivo, desde la dovela 12 es necesario recurrir a la ayuda de un sistema complementario, formado por un conjunto de barras de tiro que vinculadas por un extremo a los gatos horizontales de tiro y por otra a la cara inferior de la losa, permiten generar la fuerza necesaria para mover el tablero hasta su posición definitiva.

Además, al final del empuje, tanto del primero como del segundo tramo, es necesario disponer una estructura metálica auxiliar, contranariz, para conseguir colocar el puente en su posición final.

- **Empuje 2.** - Desde el estribo 2 hasta 4/5 del vano 27 el trazado es uniforme en planta y alzado, trazado en espiral, con una curva de 1195 m de radio en planta y pendiente uniforme de 4% en alzado, con una longitud total de 388.95 m. Este segundo empuje se completa con 16 dovelas con una longitud máxima de dovela de 30 m. Al igual que el anterior también necesita de medios auxiliares para el empuje, mediante cables de tiro y contranariz en los últimos metros.

- **Zona intermedia entre empujes:** entre ambos empujes se construye la parte de tablero in situ cimbrado sobre el terreno. Este proceso constructivo se hace en tres fases, de 48.50 m, 38.5 m y 60.60 m.

Agradecimientos

Un proyecto de estas dimensiones no es posible sin la colaboración y participación de un gran equipo, que aporta su tiempo y conocimientos para llegar a hacerlo realidad con una gran implicación. Por ello queremos agradecer la participación en este proyecto al equipo

completo de Estructuras y Geotecnia de PROINTEC, y especialmente a Chafik Rabah Mahgoun, Clemente Sáenz Sanz, Jesús Fernández Corchero, Ramón Hernández Estévez, Margarita Díaz-Toledo García, Maria Lourdes Gutierrez Calvo y Raquel Matias Tenacio.

Asimismo, extendemos estos agradecimientos al equipo completo de Cosider Travaux Publics y Cosider Ouvrages d'Art, empresas encargadas de la construcción del viaducto.

Referencias

- [1]UNE-EN_1998-2_EC 8 Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 2: Puentes.
- [2]UNE-EN_1998-2_EC 8 Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 2: Puentes.
- [3]RPOA 2008_Regles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art.