

ACCESOS A LA BOCA OESTE DEL TUNEL DE LOS DOS VALIRAS

Leonardo FERNÁNDEZ TROYANO

Dr. Ingeniero de Caminos
Carlos Fernández Casado S.L.
Director general
cfcsl@cfcsl.com

Guillermo AYUSO CALLE

Ingeniero de Caminos
Carlos Fernández Casado S.L.
Ingeniero
gayuso@cfcsl.com

Lucía FERNÁNDEZ MUÑOZ

Ingeniero de Caminos
Carlos Fernández Casado S.L.
Ingeniero
luciafm@cfcsl.com

RESUMEN

El túnel dels dos Valires comunica el valle del río Valira del Nord con el del Valira de Orient. En su extremo Oeste desemboca sobre el Valira del Nord que se cruza mediante dos puentes. Estos puentes terminan en una rotonda de gran diámetro situada en su mayor parte a bastante altura sobre el suelo, en un terreno muy accidentado, lo que ha obligado a hacerla elevada. Se ha resuelto mediante una estructura de hormigón pretensado dividida en seis tramos unidos entre ellos por articulaciones a media madera. Es una obra pública de gran envergadura, la más importante que se ha hecho en Andorra, exceptuando los grandes túneles construidos recientemente.

PALABRAS CLAVE: Puente atirantado, estructura de hormigón, torre única, rotonda elevada, construcción en voladizos sucesivos.

1. Introducción

Las estructuras objeto de esta comunicación se encuentran situadas en La Massana (Andorra), en la salida de la boca oeste del Túnel de los dos Valiras. El Túnel de los dos Valiras conecta el valle del río Valira del Nord con el valle del Valira d'Orient, generando un eje de comunicación transversal dentro del país. El túnel está formado por dos tubos independientes separados, lo que ha obligado a construir dos puentes atirantados paralelos, que se unen en la parte final, a su llegada a una rotonda de 90 m de diámetro situada en su mayor parte a bastante altura sobre el suelo. Esto ha llevado a resolver la mayor parte de la rotonda mediante una estructura de hormigón pretensado.



Figura 1. Vista de la estructura 1

La rotonda está situada en la carretera que va de Escaldes hacia La Massana, y como condición de la construcción se exigía que el tráfico no se cortase. Esto obligó a construir en primer lugar la estructura 6, de forma que cuando se pasó el tráfico por ésta se procedió a demoler la carretera inicial, pudiéndose construir el resto de las estructuras que conforman la rotonda.

Es una obra pública de gran envergadura, la más importante que se ha hecho en Andorra, exceptuando los grandes túneles construidos recientemente.

2. Descripción de las estructuras

Esta obra se ha resuelto mediante una estructura de hormigón pretensado dividida en seis tramos, cinco de los cuales están unidos entre ellos por articulaciones a media madera, y la sexta estructura es independiente.

Como ya se ha indicado la rotonda está en su mayor parte en el aire por lo que se ha solucionado mediante un conjunto de estructuras de hormigón pretensado. Las estructuras que conforman la rotonda son la 2 a 4 y la 6. Salvo la última, que es independiente, el resto están unidas entre si mediante medias maderas. La estructura 5 sale de la estructura 4 de la rotonda, en dirección hacia un futuro enlace que pasa debajo del puente de Anyos.



Figura 2. Vista de la rotonda

Las condiciones del terreno de apoyo, que es muy accidentado, ha llevado a situar el mínimo número de apoyos sobre el terreno, lo que se ha resuelto mediante trípodes y pilas en V, para conseguir que con pocos apoyos, las luces del tablero sean pequeñas.

En la figura siguiente se muestra el plano general en el que están identificadas las seis estructuras que conforman la obra.

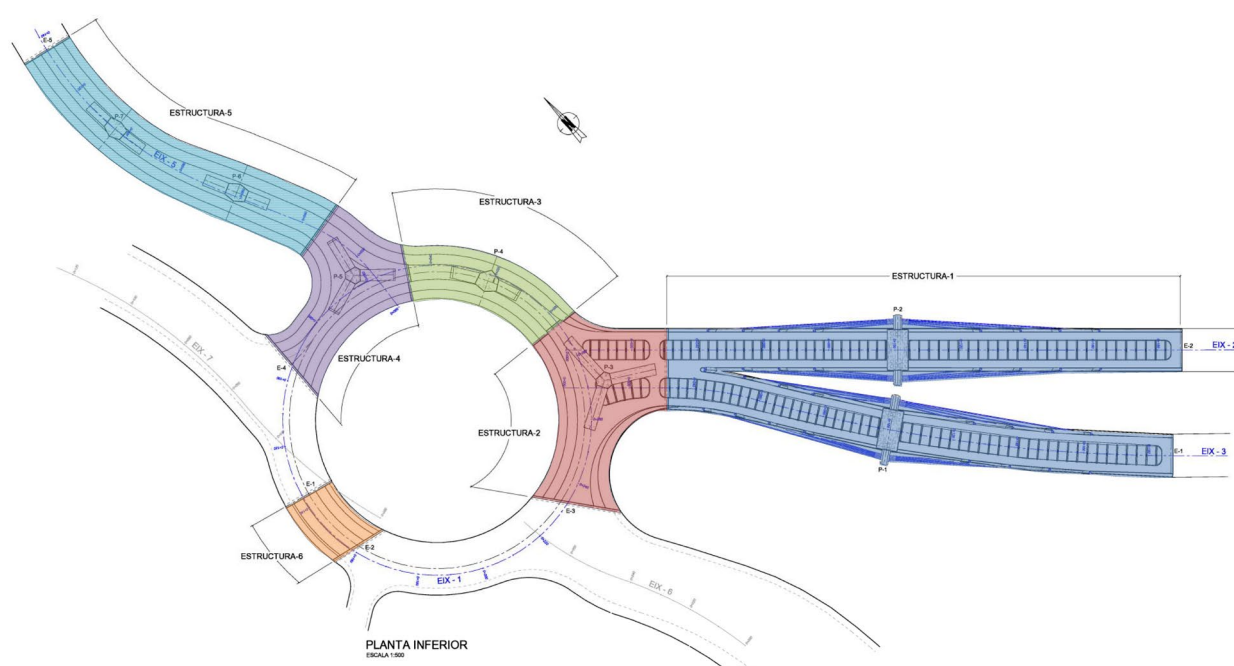


Figura 3. Planta general

Realizaciones: puentes y pasarelas

2.1. Estructura 1

La estructura 1 es el elemento más significativo de esta obra. Está situada a la salida de los túneles y pasa sobre el río Valira del Nord. Al tener los túneles dos bocas independientes muy separadas, se han proyectado dos puentes atirantados independientes que se inician a la salida de los túneles y desembocan en la rotonda elevada ya unidos. Los puentes son de torre única con un haz de 4 tirantes dispuestos en cada borde del tablero. Estos puentes tienen dos vanos atirantados de 86 y 70,30 m de luz, respectivamente.



Figura 4. Vista de la estructura 1

Los tableros tienen un ancho de 13,07 m. Están formados por dos vigas longitudinales unidas mediante costillas transversales. Las vigas tienen forma trapezoidal con un canto de 1,40 m en toda su longitud, salvo en los primeros 20 m a cada lado de la torre donde hay una variación de canto hasta 2,25 m. Dada la descompensación de los vanos se decidió aligerar las vigas longitudinales del vano entre el túnel y la torre, dejando macizo el vano adyacente, de forma que se minimizase el desequilibrio horizontal en la torre. La distancia entre las costillas transversales es de 3,00 m en el vano de 86 m y 2,70 m en el otro vano. Tanto el tablero como las costillas están pretensadas.

Una vez pasada la torre las dos estructuras se unen en su zona final para confluir en la estructura 2, la rotonda elevada. En esta zona el ancho de la estructura es de 24,60 m.

Las torres tienen forma de “V” y se unen en la zona de apoyo del tablero mediante una riostra. La altura de las torres es de 45,75 m desde cara superior de encepado, mientras que la riostra está situada a 26,30 m. En esta riostra, además de apoyarse verticalmente el tablero, se fija longitudinalmente la estructura, para lo cual se dispone, por cada viga longitudinal del tablero, una

ménsula corta a cada lado de la riostra. Cada una de los dos torres está cimentada mediante 12 pilotes de 1,50 m de diámetro. Los fustes de las torres tienen una dimensión de 1,70 m en sentido transversal y 2,70 m en sentido longitudinal, con un espesor de pared longitudinal de 0,30 m y de 0,40 m la pared transversal. Las dimensiones de las torres las fija, en gran parte, la necesidad de poder trabajar en su interior durante la instalación de los tirantes.



Figura 5. Estructura 1. Vista inferior del puente

Debido a la geometría del trazado en planta, una de las estructuras tiene un trazado recto mientras que la otra tiene una curva y contracurva para poder unirse con la primera. Ese trazado en planta hace que tengamos unas flexiones en las torres que han obligado a pretensarlas. Este pretensado se tesó desde la parte inferior de las torres, teniendo los anclajes inferiores dispuestos en el encepado, que en principio se proyectaron ciegos. Esto obligaba a tener enfilados los torones desde un principio, lo que suponía una complicación durante la ejecución de la torre. Para evitar este problema se dispusieron anclajes activos, tanto en la parte superior como en la cara inferior del encepado, y para el acceso a estos últimos se realizaron unas galerías mediante elementos prefabricados que se rellenaron al finalizar el pretensado. Las torres se construyeron mediante encofrado trepante.

Por la geometría de los tirantes se puede pensar que es un puente extradorsado, pero no es así. La altura de las torres por encima del tablero es la que se dispondría

para un extradorsado, pero para conseguir ese funcionamiento es necesario que la rigidez del tablero sea mayor. En nuestro caso tenemos una esbeltez de tablero de aproximadamente 1/100, mientras que la necesaria para tener un comportamiento de extradorsado debería haber sido del orden de 1/50, es decir un canto el doble del dispuesto, y por ello el comportamiento de los tirantes es el de un puente atirantado.

2.2. Estructura 2

La estructura 2 es parte de la rotonda, sale de un estribo dispuesto en sentido paralelo a la carretera de Escaldes-La Massana, y tiene un ramal que va a dar con la estructura 1, la cual se apoya en ésta. En planta tiene tres brazos, por lo que se ha dispuesto un trípode como elemento de apoyo que se empotra en el tablero. El ancho de la estructura es variable, en función de los distintos brazos. La zona de la rotonda tiene un ancho de 16 m, salvo cuando nos acercamos al

estribo que se abre hasta 27,60 m para que se produzca una transición suave con la carretera existente. En el ramal que va hacia la estructura 1 el ancho es igual 24,60 m.

El tablero tiene una sección de hormigón pretensado aligerado de 1,20 m de canto, constante en toda la estructura salvo en la zona de unión con la estructura 1, que es variable hasta llegar a un canto de 1,40 m como la estructura atirantada. La sección transversal está formada por un núcleo central de 4,50 m de ancho que se prolonga en voladizos en los que la reducción del canto se hace mediante dos escalones longitudinales. Está aligerada mediante alveolos longitudinales de diferentes tamaños.



Figura 6. Estructura 2

forma de “V” empotrándose en el tablero. La sección de cada brazo es un rectángulo de 3,50 m de ancho y canto variable de 1,40 m en la base a 1,00 m en el tablero. La cimentación está formada por 4 pilotes de 1,50 m de diámetro.

El trípode tiene una altura media de 22 m, y cada uno de los brazos es de canto variable entre 2,05 m en la base y 0,85 m en el encuentro con el tablero, y con ancho constante de 3,50 m. La sección de cada brazo empieza con un pentágono irregular formado por un rectángulo de 3,50 m de ancho por 1,10 m de canto más un triángulo isósceles de altura 0,95 m. En las secciones siguientes el triángulo isósceles se corta formando un trapecio hasta desaparecer, mientras que el rectángulo inferior varía su canto entre 1,10 m en la base a 0,85 m en el tablero. La cimentación del trípode se realiza mediante 12 pilotes de 1,50 m de diámetro.

2.3. Estructura 3

La estructura 3 tiene una longitud de 49,25 m, con dos vanos de 24,62 m, y como en la estructura 2, el tablero es una sección de hormigón pretensado aligerado de 1,20 m de canto constante y un ancho de 16 m. La estructura 3 se apoya en las estructuras 2 y 4 en medias maderas. La pila es en



Figura 7. Estructura 3

2.4. Estructura 4

La estructura 4 es del mismo tipo que la 2, e igual que en ésta tiene tres brazos. Uno sale de la rotonda para llegar a un estribo situado en el borde la carretera existente, y otro sirve de apoyo a la estructura 5. Igual que en la estructura 2, como elemento de apoyo se dispuso un trípode que se empotra en el tablero. El ancho de la estructura es variable, en función de la zona en la que estemos. En la zona de la rotonda se tiene un ancho de 16 m salvo cuando nos acercamos al estribo que se abre hasta los 24,80 m para tener una transición suave hacia la carretera existente. En el ramal que va hacia la estructura 5 el ancho es de 19,00 m.

El tablero es de hormigón pretensado con una sección aligerada de 1,20 m de canto. La zona central tiene un ancho de 4,50 m que varía con el ancho de la sección, mientras que la variación de cato de los vuelos se realiza mediante dos escalones.

El trípode tiene una altura media de 13 m, y cada uno de los brazos tiene canto variable entre 2,05 m en la base y 0,85 m en el encuentro con el tablero, con ancho constante de 3,50 m. Su geometría es igual a la de la estructura 2. La cimentación del trípode se realiza mediante 9 pilotes de 1,50 m de diámetro.



Figura 8. Estructura 4. Trípode

2.5. Estructura 5

La estructura 5 se apoya en la 4 y es el principio de un futuro ramal que pasará por debajo del puente de Anyos. La longitud de la estructura es 94,90 m. El tablero tiene un ancho variable entre 19,00 m en la zona de apoyo en la estructura 4 y 16 m en el estribo. La sección es una losa aligerada pretensada de 1,20 m de canto constante, con la zona central de ancho variable, mientras que los vuelos que son escalonados, de igual forma que en el resto de estructuras, se mantienen constantes.

Como ya se ha comentado anteriormente, para reducir el número de apoyos en el terreno y mantener el canto de 1,20 m constante, se han dispuesto dos pilas en “V” que generan unas luces de 25,70+42,10+27,10 m. Los brazos de las “V” están separados en su parte superior 19,65 m. La sección de los brazos es un rectángulo de 3,50 m de ancho y canto variable de 1,20 m en la base a 0,80 m en el tablero. En proyecto la cimentación se resolvió, igual que en resto de estructuras, mediante pilotes de diámetro 1,50 m. Durante la construcción la empresa constructora solicitó cambiar los pilotes por micropilotes de diámetro 114,3 mm y 6,8 mm de espesor, disponiendo un total de 121 micropilotes en la pila 1 y 144 micropilotes en la pila 2.



Figura 9. Estructura 5

2.6. Estructura 6

La estructura 6 es la única dentro del conjunto que es independiente. Está situada en la parte oeste de la rotonda y es un puente de un vano simplemente apoyado de 28,65 m de luz, con la misma sección del resto de estructuras de la rotonda, y el mismo ancho de 16 m.

3. Proceso de construcción

En esta obra se utilizaron dos procedimientos distintos para la construcción de las diferentes estructuras, uno para la estructura 1 y otro para el resto.

La estructura 1 en proyecto se planteó construirla por voladizos sucesivos compensados hormigonados in situ, mediante carros de avance, a ambos lados de las torres. Debido al plazo de ejecución fijado por la administración eran necesarios cuatro carros de avance. La empresa constructora solicitó un cambio del proceso de forma que el vano de 70 m, que da acceso a la rotonda, se construyera mediante cimbra incluyendo la dovela 0 del vano de los túneles, avanzando en voladizo únicamente en este vano de acceso a los túneles, que tiene una luz de 86 m, por lo que para tener los vanos compensados los primeros 20 m del vano, del lado túnel, se construyeron sobre cimbra.

Las torres se construyeron mediante encofrado trepante y la zona interior de las mismas, en la parte donde anclan los tirantes, se realizó con un encofrado metálico perdido, debido a la geometría de los anclajes.



La longitud de las dovelas de los voladizos era de 6 m. El pretensado de proceso se realizó mediante barras de acero de calidad 85/105. Este pretensado era necesario retirarlo una vez finalizada la estructura, para ello se dispusieron unos anclajes provisionales en la primera dovela por encima del tablero, de forma que se pudiesen soltar las barras y retirar la estructura donde se anclaban las barras al finalizar el proceso.

El hormigonado de la dovela de cierre con el tramo cimbrado del lado túnel, se realizó empleando el carro a modo de fijación para compatibilizar los giros y movimientos de ambos tramos. Una vez unidos se procedió al tesado de los cables de pretensado del vano de acceso a los túneles. El de acceso a la rotonda ya se había pretensado cuando se construyó sobre cimbra. En la zona de la torre ambos pretensados se cruzan.

Figura 10. Construcción de la estructura 1

El resto de estructuras se construyó mediante cimbra convencional. Para no condicionar la construcción de las estructuras en función de cómo se apoyaban entre sí, se decidió prefabricar la media madera de forma que una vez terminadas las estructuras que en la zona de la media madera se dejaban sin hacer, se subían éstas y se unían a las estructuras hormigonando este tramo.