

EJECUCIÓN DEL VIADUCTO ATIRANTADO DE ARBIZELAI

Felipe TARQUIS ALFONSO

Dr. Ingeniero de Caminos

DRAGADOS

Jefe del Servicio de Estructuras OC

ftarquisa@dragados.com

Miguel MARTÍN PARDINA

Ingeniero de Caminos

DRAGADOS

Dirección Técnica

mmartinp@dragados.com

Jesús de los RÍOS FRANCISCO

Ingeniero de Caminos

DRAGADOS

Dirección Técnica

jrjosf@dragados.com

Hugo CORRES PEIRETTI

Dr. Ingeniero de Caminos

FHECOR Ingenieros Consultores

Presidente

hcp@fhecor.es

Julio SÁNCHEZ DELGADO

Ingeniero de Caminos

FHECOR Ingenieros Consultores

Jefe de Equipo

jsd@fhecor.es

Cristina SANZ MANZANEDO

Ingeniero de Caminos

FHECOR Ingenieros Consultores

Ingeniero de Proyecto

csm@fhecor.es

Resumen

El viaducto de Arbizelai, de cuatrocientos nueve metros de longitud, salva el valle del río Deba en las proximidades de Arrasate/Mondragón con un vano atirantado de ciento cuarenta metros de luz. El tablero, con un ancho total de unos 26 m., se resuelve con un cajón mixto bicelular con jabalcones; el canto es de 2.65 m.

El promotor de las obras ha sido la concesionaria BIDEGUI, ejecutándose las mismas bajo la dirección del Ingeniero de Caminos D. Raúl Sainz. La jefatura de obra ha estado a cargo de D. Fernando Arenas y D. Iván Fernández de Landa. La oficina técnica ha estado a cargo de D. Iban Aranguren.

Palabras Clave: Viaducto atirantado, tablero mixto, sistema de empuje, gateo de tablero

1. Introducción

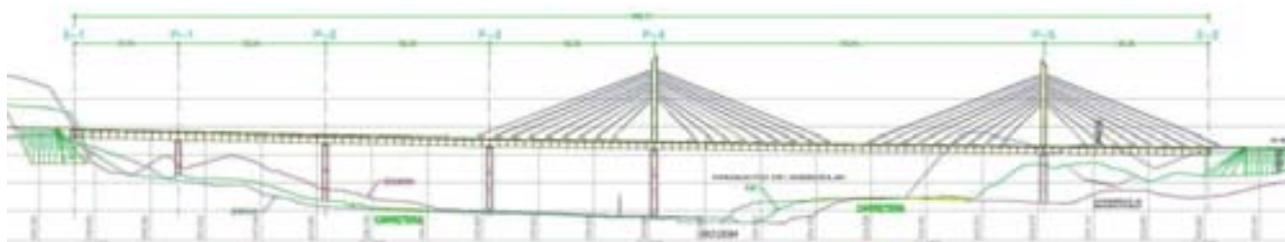
La UTE LAURENA (DRAGADOS-MOYUA-OSSA-GEOTÚNEL) resultó adjudicataria de las obras de la autopista Vitoria/Gasteiz-Eibar, tramo Eskoriatza Norte – Arrasate Norte (Epele), promovida por BIDEGUI. Dichas obras incluyen la ejecución del viaducto atirantado de Arbizelai cuyo proyecto original fue redactado por CFC SL.

La oferta de licitación incluía una variante del proceso constructivo, que contemplaba la colocación del tablero mediante empuje con la sección metálica completa y las prelosas. Asimismo, en la fase inicial de las obras y como consecuencia de los nuevos datos topográficos y geotécnicos obtenidos y otros condicionantes de ejecución, se plantearon diversas modificaciones.

Las modificaciones introducidas en el proyecto (cambio de luces, adaptación del tablero al proceso constructivo licitado, variación del esquema de apoyos vertical y horizontal del tablero, cambio del sistema de atirantamiento y de sus conexiones con el tablero y los pilonos, variación de la configuración de pilas y estribos y algún otro detalle menor) no han cambiado el planteamiento ni la fisonomía general del viaducto.

El nuevo análisis estructural, motivado por las modificaciones introducidas, y los nuevos planos de ejecución han sido realizados por FHECOR Ingenieros Consultores, que está asesorando a la UTE durante la ejecución del viaducto con la coordinación de la Dirección Técnica de DRAGADOS.

2. Descripción de la solución ejecutada



Alzado general del Viaducto de Arbizelai

El trazado en alzado es un acuerdo circular cóncavo. La pendiente, descendente, en E1 es del 2.40% y en E2 del 0.61%

La longitud total del viaducto es de 408.72 m. y se distribuye en 6 vanos de 37.44+53.04+59.28+59.28+140.40+59.28 m. de luz. Para resolver el vano de mayor luz se recurre a atirantar éste y sus vanos adyacentes mediante haces de tirantes, situados en el eje del puente, a dos pilonos situados en la mediana sobre las pilas P4 y P5.

La altura de los pilonos sobre el tablero es de 31 m. Su sección es cuadrada de 2.2 m.; la mitad inferior es mixta, formada por un cajón metálico relleno de hormigón autocompactante hasta el apoyo en pila; la mitad superior es metálica y en ella se alojan las cabezas pasivas de anclaje de los tirantes ,nueve, cada 1.25 m.).

Los anclajes activos de los tirantes están sobre el tablero, a una distancia entre ellos de 2 diafragmas (6.24 m).

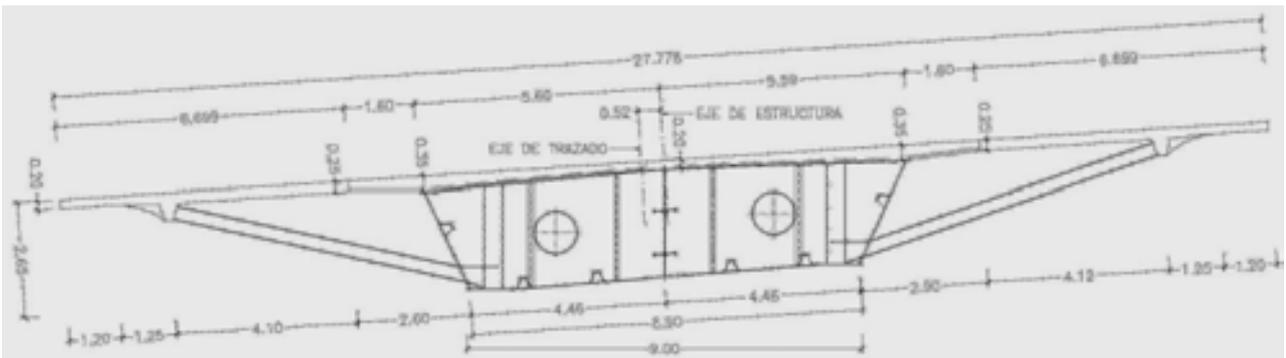
El tirante superior delantero de la P5 no está anclado al tablero sino al E2, de forma que configura este como un punto fijo.



Planta general

El tablero, situado sobre el valle del río Deba a una altura de unos 25 m., es común para ambas calzadas y de canto constante de 2,65 m. Está formado por un cajón mixto bicelular trapecial de 9 m. de base inferior y una losa superior de hormigón armado, de ancho variable de 25.5 a 27.8 m. Los voladizos laterales están apoyados en jabalcones metálicos inclinados, a través de un nervio longitudinal en la losa de hormigón en el punto de encuentro entre aquellos y el tablero; los jabalcones parten del borde inferior del cajón cada 3.12 m., donde están los diafragmas transversales y llegan cerca del extremo del voladizo.

La tipología del tablero y el proceso de ejecución, como empujado desde ambos estribos en dos tramos que se encuentran en el centro (que denominaremos "clave" en adelante) son casi obligados teniendo en cuenta la configuración del valle que, laderas aparte, está prácticamente ocupado por el río, la carretera entre Arrasate y Eskoriatza, la actual carretera nacional hasta Vitoria y los ramales de entrada de esta a Arrasate, con un gran esviaje entre estos elementos y el viaducto.



Sección por E1

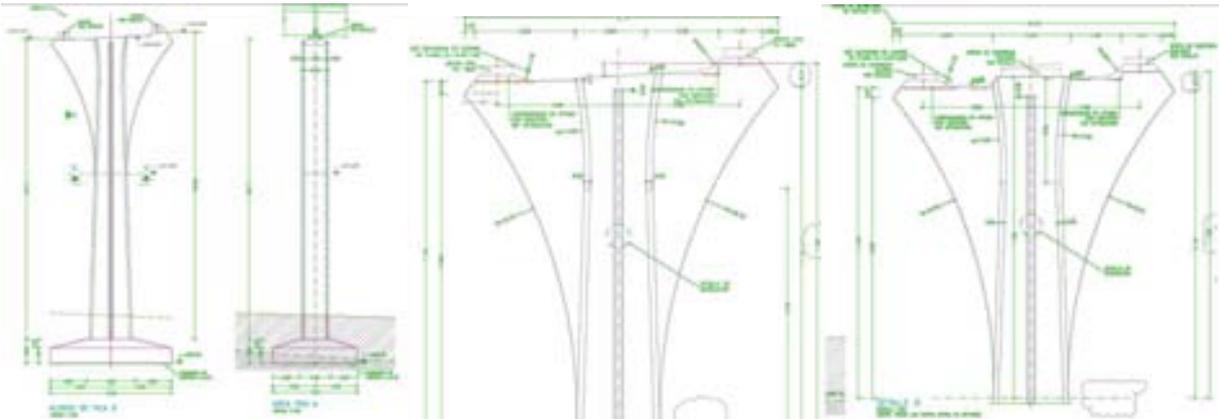
La planta de trazado es circular, de radio 1,083.3 m. desde los 68.6 m posteriores al E1 hasta 15.6 m anteriores al E2. El peralte en E1 arranca con el 4.07 %, se mantiene en el 6.50% entre los dos puntos mencionados y acaba con el 5.80 % en E2.

El proceso de empuje aconseja que la geometría de la estructura sea una curva autodesarrollable, es decir una hélice de paso constante (una circunferencia en el espacio es un caso extremo cuando el paso es cero y la recta es el caso límite). Como el trazado no cumple esta condición se han realizado algunas adecuaciones en la definición de la estructura:

El eje de la estructura en planta se define como una curva circular de radio 1,083.3 m. y las platabandas inferiores extremas del cajón se hacen concéntricas y horizontales en sección transversal con una diferencia de cota determinada por el peralte del 6.50 %. De esta forma conseguimos una rasante de empuje circular en planta sin tener que soportar en su realización la componente horizontal del peso propio debida al peralte.

Esto origina que el eje de trazado se separe del de la estructura en las zonas de transición en planta, por lo que se requieren variaciones de anchura en el tablero en las zonas de estribos (la anchura tipo es de 25.5 m. y en el E1 alcanza 27.8 m.).

Se mantienen concéntricos los extremos superiores del cajón con vistas a regularizar los apoyos de las prelosas para la ejecución del tablero superior. Para conseguir el peralte en las zonas de transición que hay que hacer el canto de las almas exteriores variable y darles un ligero alabeo. Para mantener constante la distancia entre jabalcones metálicos y platabandas superiores se regulariza el ancho del tablero en los vuelos de este a partir de los jabalcones puesto que el tablero entre la zona de prelosa y los bordes se ejecuta in situ, con la ayuda de un carro, una vez hormigonada la zona de tablero sobre prelosas, que vuelan 1.60 m respecto a las platabandas superiores.

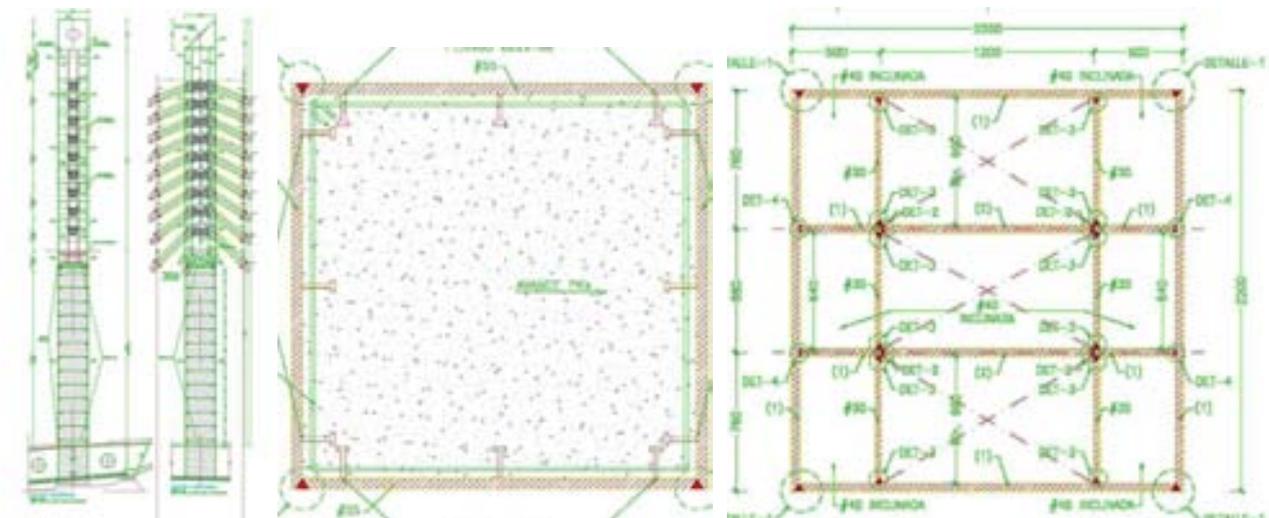


Alzados de pila - Cabezas de pilas P1, P2, P3 (2 apoyos) - Cabeza de pilas P4 y P5 (apoyo central de pilono)

Las pilas son de sección variable, rectangular en el arranque y con ancho variable de 2,70 metros a 10,10 en cabeza. La solución planteada para la cimentación es directa, mediante zapatas apoyadas en terreno competente.

Las cabezas de pila llevan un pretensado transversal y su coronación se ejecuta en dos fases; en la primera fase acaban en unas chapas para permitir el amarre de los elementos de empuje y gateo; en la segunda fase se recrecen y colocan los apoyos definitivos.

Las pilas 4 y 5, sobre las que está el pilono, mantienen el apoyo central original, obligado pues es el que recibe la carga de aquel. En la descripción del proceso veremos como se garantiza un reparto de cargas adecuado entre los tres apoyos.



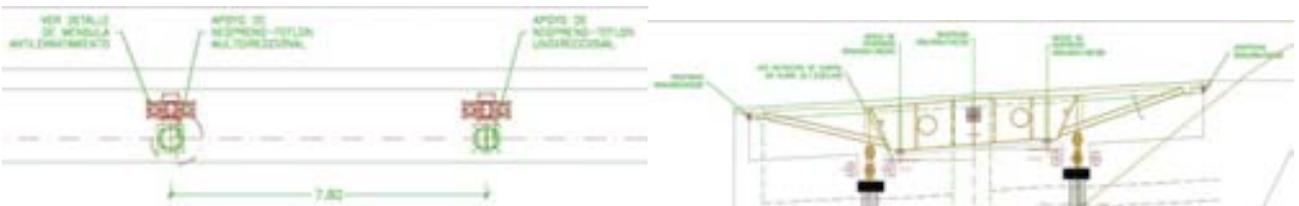
Alzados pilono - Sección mixta, tramo inferior - Sección metálica, alojamiento de tirantes.

Los pilonos arrancan del tablero, que en estas secciones tiene el diafragma transversal duplicado, dando continuidad a la sección del pilono. El primer tramo, de 14.16 m. es una sección mixta con hormigón hasta el plano superior del apoyo. El siguiente tramo, de 14.52 m. proporciona el alojamiento de los tirantes y está organizado en una zona central, donde están las placas de anclaje y dos laterales que se han habilitado para organizar las escalas y trampillas de acceso a las zonas de tirantes en los distintos niveles. El último tramo, de 2.20 m., es una cubierta sin misión estructural.



E2 con contrafuerte de anclaje en construcción – Alzado chapa de anclaje – Planta

En cuanto a los estribos ambos son cerrados. El estribo 1 es de altura variable en función del peralte siendo única la cota de cimentación del mismo, con una altura media de unos 11,0 metros y un canto constante de 1,50 metros. La solución adoptada para el estribo 2, dado el desnivel existente entre ambos bordes del tablero, presenta 3 cotas distintas de cimentación, con alturas desde los 18,50 metros (en alzado izquierdo) hasta los 10,0 metros aproximadamente (en alzado derecho). El canto varía desde 2,5 a 1,50 metros. En la zona coincidente con el eje de la estructura se ha dispuesto un contrafuerte de 2,0 metros de anchura donde se ancla el último cable de retenida del sexto vano del tablero.



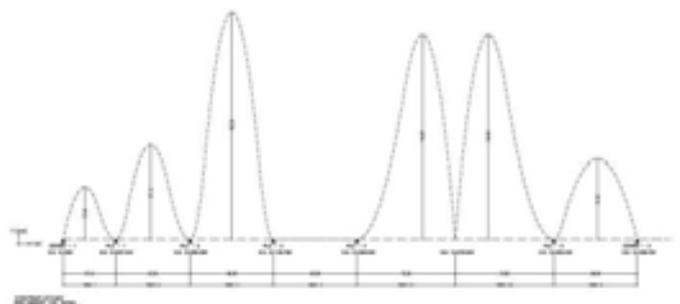
Esquema de apoyos en E1 y E2

Desde E1 hasta P2 los apoyos son de neopreno confinados deslizantes, uno libre y el otro guiado; en E1 hay otros dos invertidos sobre unas ménsulas del tablero con misión antilevantamiento.

Desde P3 hasta E2 los apoyos son de neopreno zunchado; las pilas bajo las torres llevan además un apoyo central del mismo tipo bajo ellas.

El estribo 2 ancla el tirante superior de retenida y recibe la reacción horizontal del tablero con un tope de neopreno zunchado, configurando el punto fijo. Para evitar el levantamiento lleva dos bielas metálicas laterales, de eje horizontal y perpendicular al del tablero, ancladas a este y al estribo. La coacción a movimientos transversales se efectúa en la viga de borde final del tablero contra los muretes laterales del estribo.

3. Proceso constructivo



Parque de empuje del Estribo 1. – Contraflechas de fabricación

El proceso constructivo impone tanto la geometría de fabricación del tablero, como el dimensionamiento de este y la secuencia de operaciones hasta tener la estructura acabada. La contraflecha de fabricación alcanza un máximo de 162 mm.

Tras la ejecución de las pilas y estribos, el empuje del tablero se realizará desde ambos extremos, incluyendo los jabalcones y las prelasas prefabricadas. Para llevar a cabo este empuje se montará en su posición definitiva el pilono y se dispondrán 4 cables provisionales por pilono (2 delanteros y 2 de retenida) anclados al tablero y a la zona superior de aquel.

3.1 Geometría de playas de empuje



Playa de empuje E1, cimentación zapatas de empuje - Montaje de tablero - Primer tramo de torre - Anclaje de tirante

Como todo el ensamblaje de la estructura metálica se realiza sobre las playas de empuje lo primero es determinar la geometría de estas, la rasante de empuje, para lo cual a partir de la geometría en alzado del tablero se ajustó por mínimos cuadrados una circunferencia sobre la planta circular desarrollada para cada uno de los tramos a empujar, lo que origina una diferencia de cotas entre los valores de la curva ajustada y los iniciales de proyecto de ± 30 mm. Esto obliga a hacer ligeras correcciones en las cotas de las pilas para no forzar el paso del tablero por ellas, que ya impone bastantes esfuerzos por la propia geometría de fabricación (contraflechas).

Las mencionadas curvas de ajuste configuran la rasante de empuje como una circunferencia en el espacio, autodesarrollable por lo tanto, con errores inferiores a 3 mm.

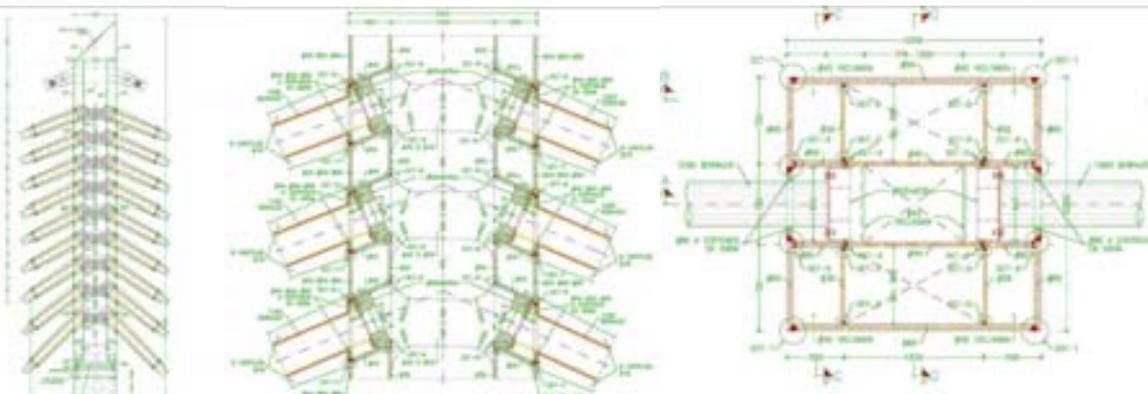
Las playas de empuje tienen la sección transversal horizontal. La del estribo 1 permite montar 132.5 metros de tablero; lo ideal hubiera sido llegar a 151.2 metros para montar todo el tramo de tablero entre tirantes provisionales de empuje completo pero el desmonte necesario es excesivo. La playa de empuje del estribo permite montar todo el tramo a lanzar desde ella, que son 129.4 metros.

3.2 Fabricación y montaje de EM, tablero y pilonos.

El tablero metálico procedente de taller se montará en las proximidades de cada estribo sobre apoyos provisionales que permiten la introducción de los carriles y patines de deslizamiento. La sección transversal del viaducto llegará de taller en tres piezas, siendo necesarios 3 apoyos transversales, que se dispondrán longitudinalmente cada 9,36 metros (3 diafragmas). La dovela correspondiente al pilono llega en una sola pieza.

Sobre el tablero se van montando los anclajes de los tirantes; para garantizar la perpendicularidad entre la placa de anclaje (activo en el tablero) y el tubo de centrado del tirante se ha hecho un mecanizado de refrentado posterior a su ensamblaje.

También se montan los jabalcones y prelasas correspondientes a la fase de empuje de que se trate, así como la torre

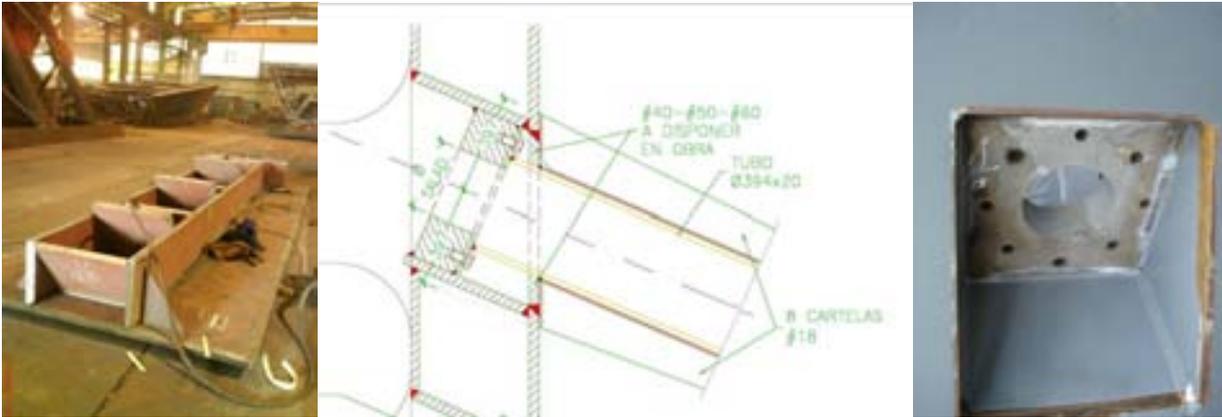


Sección torre zona de tirantes - Detalle - Planta

La torre se fabrica en cuatro tramos (caperuza superior aparte). El primero corresponde a la zona sin tirantes, rellena de hormigón, y se monta sobre el tablero con independencia del resto.

El tamaño de los tres restantes (zona de tirantes) está determinado por el cambio de espesores de chapas.

Una vez realizada la estructura de estos tres tramos y sin colocar las placas de los anclajes, que están confinadas por las chapas estructurales, se procede a un montaje en blanco de los tres tramos sobre bancada para garantizar su correcta alineación.



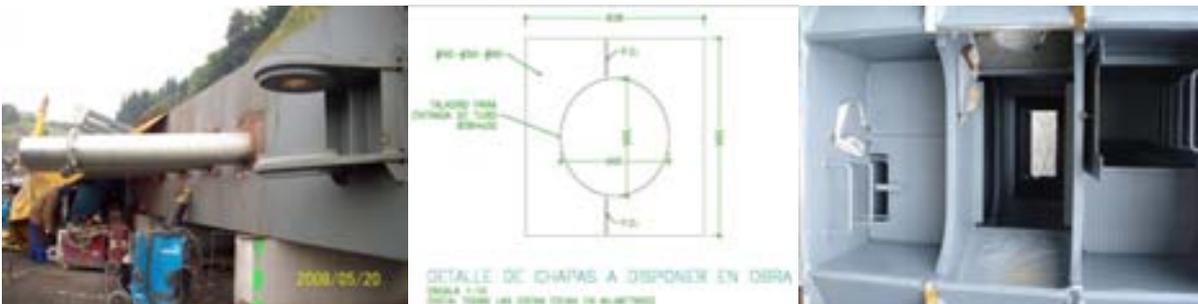
Armado de torre, alojamiento de placas de anclaje – Situación de placa – Placa colocada

Con el pilono sobre bancada se inicia el proceso de colocar las placas de la zona pasiva del tirante en la torre.

Como es fundamental la correcta alineación de los tirantes en la torre, es necesario que el tubo de centrado de los tirantes sea ortogonal a la placa del anclaje y que el conjunto tenga su alineación correcta respecto al eje del pilono.

Para conseguir este propósito el tubo del anclaje se ha fabricado con una brida soldada que lleva un mecanizado de refrentado posterior. Esta brida se atornilla a la placa de anclaje y el conjunto así formado, que por su longitud, en torno a 3 m., es un elemento fácilmente controlable con topografía, se presenta en el pilono y se puntea la placa. Después de desmontar el tubo se procede a soldar la placa al pilono.

A obra se trasladan los tramos con las placas ya soldadas (dos de ellos ya soldados desde taller) más los tubos por otro lado ya que el conjunto completo no es transportable.



Montaje de tubos de tirantes en obra – Croquis de placa de cierre frontal – Detalle de trampillas y escalas.

En obra se vuelve a reproducir la bancada de montaje, se unen los dos tramos, se atornillan los tubos a las placas, se cierran las chapas frontales que abrazan el tubo y se iza el tramo de torre sobre el que ya está en el tablero.

La torre ya está configurada con los accesos a su interior y con las orejetas de amarre de los tirantes provisionales en coronación.

3.3 Proceso de empuje

Pasamos a describir los detalles del proceso constructivo, mencionando que en primer lugar se da un primer empuje al tablero para poder montar los elementos necesarios para llegar hasta la clave (tirantes provisionales anclados a torre y tablero), debido a que la playa de empuje tenía limitada su longitud por cuestiones orográficas

Para la realización del empuje hemos contado con la colaboración de ALE-HEAVY LIFT



Unidades de tiro en estribo – Unidad de retenida – Conexión de tiro y retenida al tablero, tablero en marcha.

- Unidades de tiro y retenida de maniobra y cambio de maniobra:

Para empujar el tablero se tira de él con dos unidades hidráulicas desde el intradós del estribo. Estas unidades tienen dos cabezas de tiro que actúan sobre un haz de cables anclado a una orejeta del tablero (puesta para este fin). Según que el cilindro este tirando o recogándose para volver a tirar es una u otra cabeza la que mantiene la carga en el haz de tirantes.

En el empuje desde el Estribo 2 (pendiente descendente) a la orejeta mencionada anteriormente se anclan, desde la cola de la zapata de empuje, dos unidades hidráulicas similares a las de tiro que se mantienen en carga de forma permanente y variable a voluntad del operador según la fase de empuje y según que sea inicio o no de maniobra. De esta forma se garantiza que aun en las etapas de menor rozamiento el tablero no se ponga a andar solo.

En los cambios de implantación de orejeta, cuando la utilizada llega al tablero, este se sujeta por medio de una retenida de barras.



Anclaje activo tirantes provisionales – Anclaje pasivo – Tablero llegando a P3 – Tablero en P3 (empuje desde estribo 1)

- Atirantamiento provisional, anclaje en torre y tablero: Para dar capacidad estructural al tablero en su empuje y controlar la elevación de la punta del tablero en su paso por las pilas, se implantan unos tirantes desde la cabeza del pilono hasta ambos lados de las secciones delanteras y traseras del tablero (más allá de las correspondientes a los tirantes definitivos extremos). Las unidades de tiro activas están en el tablero y son similares a las de empuje; las pasivas en cabeza de pilono. Cada una de estas unidades se controlan de forma independiente desde una consola.
- Narices y contrapesos. En cola de tablero para el anclaje de las unidades de tiro y retenida en el último empuje. En el caso del empuje desde el estribo 2 la nariz trasera sustenta el contrapeso necesario para evitar el vuelco del tablero.
- Control topográfico de empuje: El control topográfico se ejecuta por medios convencionales de nivelación para comprobar el comportamiento elástico en las fases de montaje y prueba de carga en playas. Los movimientos de la punta del tablero (clave) en alzado y planta (deriva durante el empuje) y cabeza de pilono se controlan con receptores GPS, cuya lectura se transmite a la mesa de control de empuje, con precisiones de ± 10 mm.

3.3.2 Fases de empuje

En el primer empuje el tablero esta en estribo sobre chapones de deslizamiento, en dovela de pilono sobre patines deslizantes y en otras dos secciones posteriores (siempre en los diafragmas), también sobre patines. Conforme va avanzando el empuje se van retirando y cambiando patines que se van trasladando a las secciones que se van montando

por detrás en la playa de empuje con las correspondientes operaciones de montaje de caballetes provisionales y desapeo de los mismos.

3.3.3 Prueba de carga

Consiste en disponer, sobre los patines de deslizamiento, un chapón de los que van en pilas y estribos en una zona de las platabandas inferiores del tablero próximas a los pilonos (pero no en diafragmas, para reproducir la situación más desfavorable del empuje) y otra pareja de patines en cola.

Actuando sobre los tirantes provisionales se levanta la punta del tablero hasta tenerlo apoyado solamente en la sección próxima al pilono y en la trasera. Con esto se controlan todos los esfuerzos y deformaciones tanto en tirantes como en tablero reproduciendo una situación que es igual o más desfavorable que la que se va a presentar durante el empuje.

3.4 Cierre en clave



Tablero empujado desde E2 en posición, clave sobre la carretera a la espera de la llegada el tramo empujado desde E1,

Las operaciones para dar continuidad a ambos tramos de tablero son:

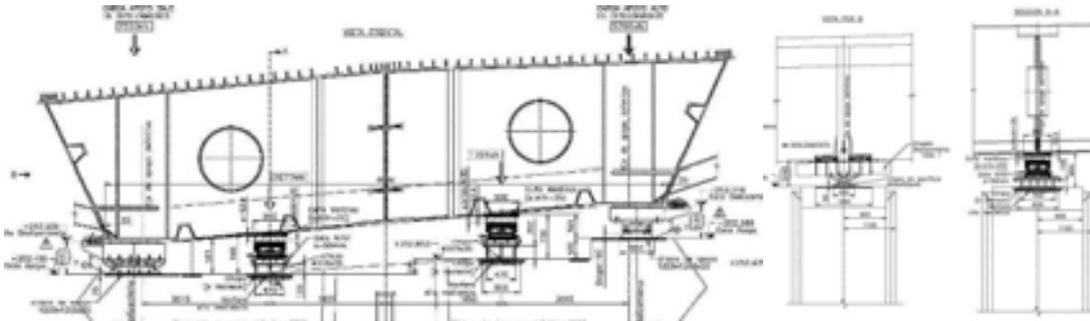
- Establecimiento de topes longitudinales de fijación rápida en los extremos de ambos tramos.
- Llegada del tablero desde E2 y fijación a este con rigurosa posición en planta en E2 y clave que se consigue accionando las guías laterales de los chapones de deslizamiento en P5 y E2. Regulación en alzado por medio de los tirantes provisionales.
- Llegada del tablero desde E1 contra los topes anteriores y regulación en planta y alzado análoga.
- Fijación de los topes longitudinales, arriostramiento en planta y alzado entre extremos de tablero y liberación de la retenida del E1.
- A partir de este momento el tablero tiene continuidad longitudinal manteniendo la apertura de la clave en todas las direcciones. Al estar fijado respecto a E2 los movimientos de origen térmico se absorben por medio de los chapones de deslizamiento. La geometría en planta se mantiene por medio de los topes laterales de los mencionados chapones.
- Cierre de la clave ajustando las chapas que configuran la sección entre los dos finales de tablero y que se han quedado a una distancia de 50 cm. aproximadamente.

3.5 Gateo del tablero, desmontaje de elementos de deslizamiento y colocación de apoyos.

Son dos operaciones consecutivas y similares que se realizan para dejar el tablero en apoyos definitivos sobre pilas o estribos alternos, permitiendo el deslizamiento por variaciones de temperatura durante toda la operación y manteniendo el tablero asegurado contra movimientos transversales, con los topes de los chapones donde existen o con los apoyos ya colocados en la siguiente operación de gateo:

- Colocación de gatos bajo tablero en puntos determinados. Estos gatos van montados sobre un sándwich de placas con teflón y acero inoxidable intermedios de forma que permiten el libre deslizamiento del tablero apoyado desde que se eleva el tablero hasta que se vuelve a bajar después de realizar las operaciones siguientes.
- Elevación del tablero y desmontaje de chapones de deslizamiento rotulados.
- Fijación y asiento de apoyos en tablero. Referencia longitudinal de apoyos a pila y fijación en un intervalo horario predeterminado en cuanto a posición y con pequeña variación de temperatura. En el caso de apoyos de neopreno la cizalladura del deslizamiento la absorbe el apoyo; en el caso de los pot se desbloquean las dos partes del apoyo, que se pueden mover independientemente.

- Configuración del apoyo verticalmente (mortero sin retracción).



Diafragma en situación de gateo – Detalle de chapón de deslizamiento – Detalle de gato deslizante.

- Liberación de gatos y transferencia del peso del tablero a los apoyos definitivos.

3.6 Primer tesado

Para conseguir la implantación de un sistema de tirantes acorde con la tecnología actual (cordones galvanizados, envueltos en polietileno extrusionado y protegidos con cera; conjunto envuelto en vaina de polietileno), que permita su colocación y eventual sustitución cordón a cordón así como medios ligeros de colocación sobre el propio tablero sin ocupar la planta del viaducto con grúas (puesto que en el momento de colocación de tirantes el tablero es solo la sección metálica con las prelasas encima), se ha modificado la sección superior del pilono haciéndola metálica para alojar las cabezas pasivas y que se puedan colocar desde el interior. Así son fácilmente inspeccionables durante toda la vida de la estructura.

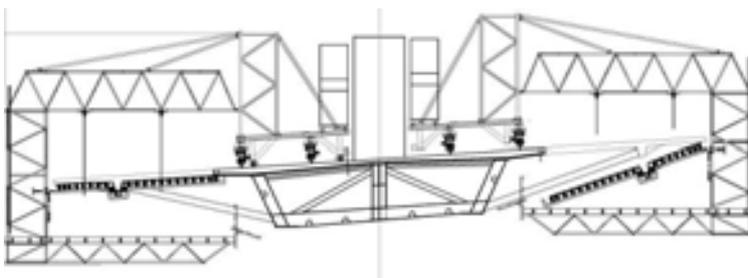
Para el primer tesado los cordones se enfilan uno a uno desde el tablero. Enfilado el primer cordón se le pone en carga y se utiliza como patrón de carga para los siguientes. El enfilado y puesta en carga es sucesivo, cordón a cordón, referido de forma automatizada al cordón patrón, de forma que al final del proceso el tirante tiene el esfuerzo deseado. Constituido el tirante se remata con la vaina, centradores, etc.

3.7 Hormigón sección central y segundo tesado

Se hormigonan las prelasas y zonas inferiores de apoyo en pilas. Estructuralmente estamos en la sección mixta.

Cordón a cordón o con gato de pesaje y accionamiento de la tuerca del anclaje, en función de los recorridos de tesado, se da el segundo tesado de los tirantes

3.8 Voladizos y acabados



Esquema del carro de alas para la segunda fase del tablero.

Después del hormigonado del tablero se remata este y se lleva a cabo un repaso de tesado de los tirantes para la última verificación y corrección si es necesario.