

CONCEPCIÓN Y PROYECTO DEL VIADUCTO DE ALTA VELOCIDAD SOBRE EL RÍO DEBA EN LA Y VASCA

Francisco MILLANES MATO

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
IDEAM S.A.
Presidente
general@ideam.es

Miguel ORTEGA CORNEJO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
IDEAM, S.A.
Director de Ingeniería
miguel.ortega@ideam.es

Pablo SOLERA PÉREZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
IDEAM, S.A.
Jefe de Proyectos
pablo.solera@ideam.es

Helder FIGUEIREDO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
IDEAM, S.A.
Jefe de Proyectos
helder.figueiredo@ideam.es

Jokin UGARTE GONZÁLEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
IDEAM, S.A.
jokin.ugarte@ideam.es

RESUMEN

El viaducto sobre el río Deba, en el tramo Bergara-Bergara de la Y Vasca de alta velocidad, permite el paso del ferrocarril sobre la vaguada por la que fluye el río Deba en las cercanías de la localidad de Bergara. Se trata de un valle profundo con una diferencia máxima de cota entre traza y terreno de más de 90 m. El valle tiene una anchura de 900 m a la cota del tablero, y presenta un perfil en V bastante simétrico, rompiéndose ligeramente la simetría por el cruce esviado de la autopista Vitoria/Gasteiz-Eibar en las cercanías del E-1.

La solución construida presenta un tablero con sección cajón de hormigón pretensado, ejecutado con autocimbra, con sección transversal de canto variable en la zona cercana a pilas y con una distribución de luces de 50+80+70+60+3x65+70+65+70+3x65+45 m, con un vano principal con 80 m de luz, que supone el record de luz de vano de alta velocidad ejecutado hasta la fecha en España mediante este proceso constructivo.

PALABRAS CLAVE: Cajón pretensado, canto variable, autocimbra, alta velocidad, record de luz

1. Introducción y antecedentes

El viaducto sobre el río Deba, del tramo Bergara-Bergara, permite el paso del ferrocarril sobre la vaguada por la que fluye el río Deba en las cercanías de la localidad de Bergara. Se trata de un valle bastante profundo con una diferencia máxima de cota entre traza y terreno de unos 90 m. El valle tiene una anchura de 900 m a la cota del tablero del viaducto y sus laderas son relativamente escarpadas, conformando un perfil en V bastante simétrico, rompiéndose ligeramente la simetría del valle por cruce de la autopista Vitoria/Gasteiz- Eibar entre las pilas P-1 y P-2.

El trazado de la línea de alta velocidad presenta una serie de condicionantes de cruces inferiores que condicionan en gran medida la luz de los vanos del viaducto. El viaducto cruza muy esviado sobre la autopista Vitoria Gasteiz–Eibar entre los PK's 2+780 y 2+840, sobre las carreteras GI-627 y GI-632 en el entorno del PK 3+150, sobre el cauce del río Deba en el PK 3+230, y sobre la nueva carretera GI-632 entre los PK's 3+340 y 3+370 aproximadamente, así como sobre varios caminos, uno de ellos muy cercano al Estribo E-1.

Dada la gran altura del Viaducto y su localización en un valle muy visible, la solución para el viaducto del río Deba debía lograr conjugar la integración paisajística, minimizando las afecciones al entorno, compaginada con un proceso constructivo del tablero independiente del terreno.

El proyecto del tramo Bergara-Bergara adjudicado por ETS en el año 2007 a la UTE IDEAM S.A.- Euroestudios, tras ganar un concurso de ideas, presentaba para el viaducto del río Deba una solución singular que salvaba todos los condicionantes anteriores.

Las amplias luces, obligadas por los condicionantes inferiores, con vanos con luces en el entorno de los 80 m o incluso superiores, llevó a plantear para el concurso una solución en celosía empujada, con una distribución de vanos 50+70+60+70+110+180+110+3x60+50 m, con dos grandes pilas centrales con forma de V, reduciendo así los puntos de apoyo en el terreno, salvando la zona central con un gran vano de 180 m de luz entre puntos de apoyo (Fig.1).



Figura 1. Fotomontaje de la solución en celosía mixta con 2 pilas en V, ganadora del concurso

Esta solución singular, se adaptó en la primera fase de estudio de tipologías del proyecto, reduciendo la intrusión visual de las grandes pilas centrales en V, simplificando y abaratando su ejecución con un tablero con una celosía mixta empujada con una distribución de vanos de 50+80+3x75+100+110+100+2x80+70, con un vano central de 110 m y con pilas verticales (Fig.2).



Figura 2. Fotomontaje de la solución en celosía mixta, con pilas verticales

Tras varias adaptaciones del trazado, que supusieron un retraso de casi 2 años en el inicio del proyecto básico, a inicios de 2009 y ya en plena crisis, cambiaron los condicionantes y las prioridades por parte de la propiedad, lo cual obligó a reestudiar alternativas con luces algo más modestas que permitieran la ejecución del viaducto respetando los condicionantes generales siguientes:

- Respetar, en la medida de lo posible, los cruces de carreteras y autopistas inferiores, junto el cruce sobre el río Deba.
- Búsqueda de una solución con un proceso constructivo independiente del terreno.
- La solución debía mantener un carácter emblemático en la línea de la Y-Vasca.
- Compatibilizar los condicionantes anteriores con la economía de la solución estructural finalmente elegida.

Con estos nuevos condicionantes, y obligados a respetar una luz mínima de 80 m por el cruce esviado de la autopista Vitoria/Gasteiz-Eibar, el proyecto original se desarrolló mediante una solución con un tablero mixto empujado algo más convencional que las soluciones estudiadas previamente en celosía mixta, con sección transversal en la solución bijácena-cajón estricto, con doble acción mixta en zonas con flectores negativos, análoga a las soluciones proyectadas por IDEAM en el viaducto mixto de alta velocidad sobre el Arroyo las Piedras [1], primer viaducto mixto de las líneas de alta velocidad españolas, o el viaducto mixto de Archidona [2], que constituye el viaducto más largo del mundo sin juntas ni aparatos de dilatación de vía intermedios.

La sección transversal del tablero presentaba un canto total de 5,50 m y un canto de vigas metálicas de 5,04 m, cercano al límite de las condiciones standard de transporte, con vanos tipo de 80 m y una distribución de luces muy homogénea con 50+10x80+50 m, con 11 pilas verticales. Las figuras 3 y 4 muestran el alzado y fotomontaje del viaducto.

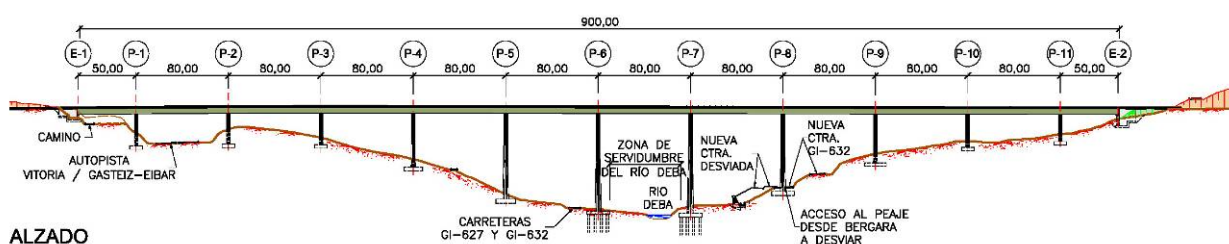


Figura 3. Alzado del viaducto mixto



Figura 4. Fotomontaje del viaducto en la solución mixta con alma llena empujada

La distribución de luces, muy homogénea y equilibrada con 10 vanos tipo con 80 m, permite salvar el cruce muy esviado de la autopista Vitoria/Gasteiz-Eibar, respetando así mismo todos los condicionantes de los cruces de las carreteras GI-632 y GI-627 y el propio río Deba, afectando exclusivamente al ramal inferior de acceso desde Bergara hacia el peaje de la autopista Vitoria/Gasteiz-Eibar (nueva carretera GI-632 de doble calzada). Esta afección, técnicamente resoluble sin un cambio significativo en las condiciones del trazado del acceso al peaje, permitió el proyecto de una estructura armónica y equilibrada, con una distribución de luces absolutamente homogénea y bien condicionada estructuralmente (Fig. 5).

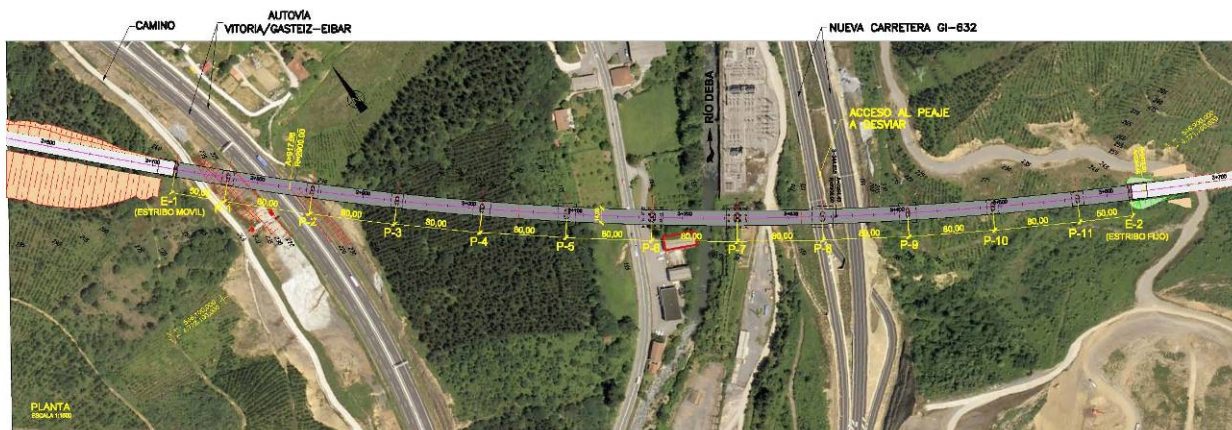


Figura 5. Planta del viaducto en el entorno

2. Descripción de la solución finalmente construida

2.1. Descripción del tablero

Tras la adjudicación del tramo a la UTE Abergara, se plantea a finales de 2011 la posibilidad del ajuste de la distribución de luces para el Viaducto del río Deba, de forma que se evite el desvío del acceso al peaje, buscando reducir algo la luz de los vanos en las zonas que lo admitan.

El encaje de luces propuesto por la constructora, con vanos tipo de 70 m, y un vano de 80 m sobre la autopista, ha permitido el cambio a una solución algo más económica, mediante un tablero con sección cajón de hormigón pretensado.

Esta alternativa, sólo se ha podido desarrollar a nivel de proyecto constructivo, gracias al reciente avance en la tecnología de los medios auxiliares para la ejecución de tableros de hormigón mediante autocimbra desarrollada por el Grupo Puentes y Calzadas, subcontratista del tablero de la UTE Abergara, que en los últimos años ha diseñado y fabricado una autocimbra autolanzable con capacidad para ejecutar tableros de alta velocidad con vanos con luces de hasta 70-80 m.

Hasta la reciente aparición de esta autocimbra, en las líneas de alta velocidad españolas, sólo se habían ejecutados por este procedimiento, tableros hormigón pretensados con luces máximas de 65-66 m, motivo que obligó en el proyecto original, redactado entre 2007 y 2009, al descarte de este proceso constructivo para el viaducto sobre el río Deba,

La solución finalmente proyectada por IDEAM para la UTE Abergara, y que se encuentra en un avanzado estado de ejecución, presenta una distribución de luces de: 50+80+70+60+3x65+70+65+70+3x65+45 m, con un total de 900 m de longitud, con un vano de 80 m y con vanos tipo de 70 y 65 m (Figs. 6 y 7). El vano de 80 m se convertirá en el mayor vano ejecutado hasta la fecha en un viaducto de alta velocidad en España, construido mediante el empleo de una cimbra autolanzable.

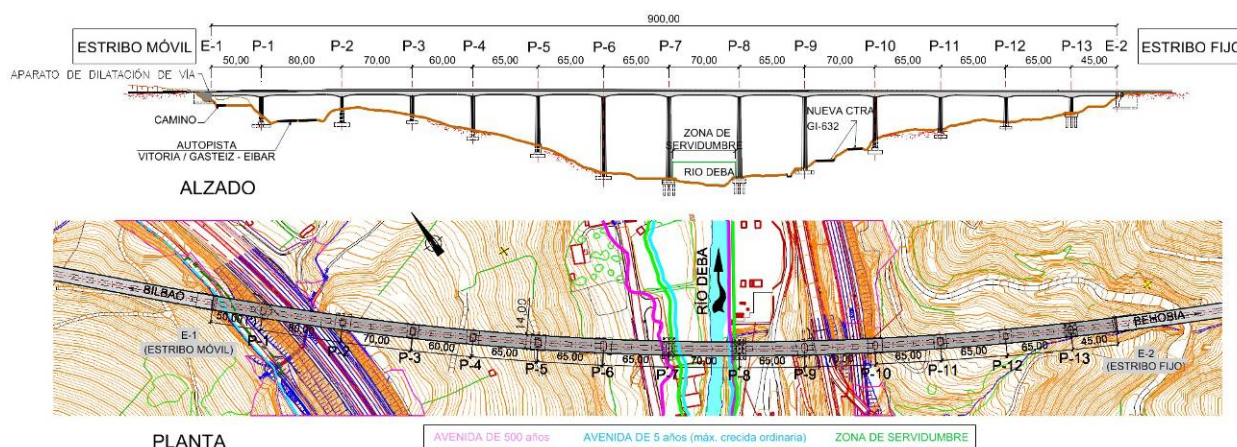


Figura 6. Alzado y planta de la solución construida de hormigón pretensado



Figura 7. Fotomontaje de la solución construida de hormigón pretensado

Como se ha descrito, el Viaducto se ejecutará mediante cimbra autolanzable desde el E-2 hacia el E-1, y presenta un único punto fijo en el estribo E-2, disponiendo un aparato de dilatación de vía coincidiendo con el estribo móvil, el estribo E-1.

El viaducto tiene 13 pilas en el valle con alturas comprendidas entre los 23 y los 86 m.

La sección transversal del tablero es un cajón de hormigón pretensado con canto variable en la zona cercana a pilas, con canto de 3,94 m en centros de vano y de 5,94 m en la sección de pilas, lo que supone una relación canto/luz para el vano mayor de 80 m en centro de vano de 1/21,05 y de 1/13,46 en zona de pilas (Fig. 8). El canto variable se limita siempre a una distancia de 15 m a cada lado del eje del apoyo en pila, con el objeto de mantener siempre constante la geometría en los moldes de encofrados variables, independientemente de la luz del vano, manteniendo el canto constante en una gran zona central del centro del vano (un 53% en los vanos de 65 m y un 62% en el vano de 80 m), lo cual le confiere una sensación de esbeltez al tablero.

El ancho del cajón en la base es variable en la zona cercana a pilas, manteniendo la pendiente de las almas constante, y es constante con 6,6 m aprox. en la zona de centro del vano. Las almas presentan una inclinación aumentando en el centro del vano 0,955 m a cada lado en horizontal, con un ancho de cajón en su intersección con los voladizos de unos 8,521 m. Los voladizos laterales de 2,739 m de vuelo varían de espesor entre 0,41 m en el arranque hasta 0,20 m en su extremo.

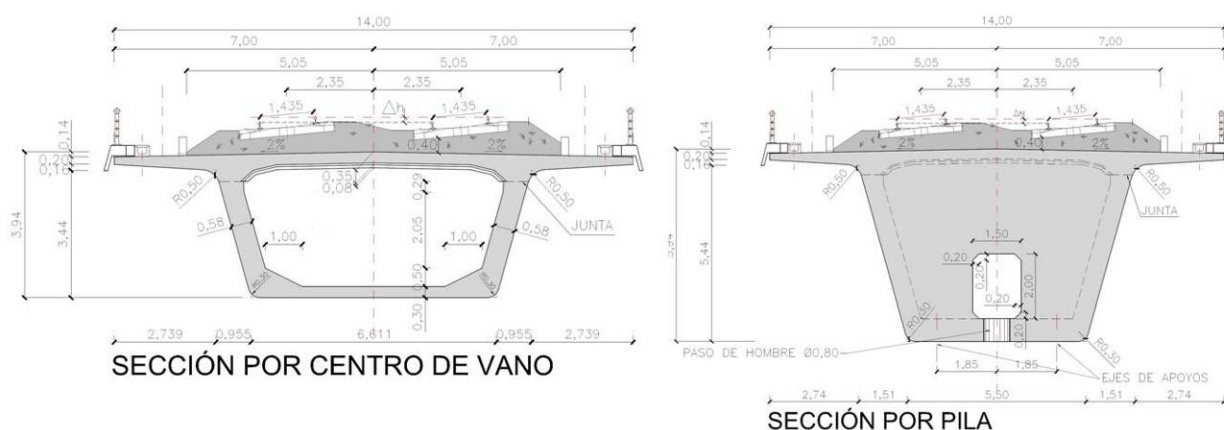


Figura 8. Secciones transversales tipo de centro de vano (izquierda) y por zona sobre pilas (derecha)

El aligeramiento interior de la sección de forma trapezoidal se achaflana en las esquinas inferiores como es habitual en este tipo de soluciones para mejorar el comportamiento a flexión transversal y a rasante de la tabla inferior, así como para permitir la disposición de los anclajes de pretensado.

Sobre pilas se dispondrá un mamparo macizo con un hueco para permitir el paso de un hombre para hacer inspeccionable interiormente el cajón. Sobre las pilas se dispondrán accesos verticales que permitan la revisión y sustitución de los aparatos de apoyo (Fig 8).

2.2. Descripción de la subestructura

2.2.1. Aparatos de apoyo

Los aparatos de apoyo del viaducto son esféricos, con uno fijo y otro libre en sentido transversal en cada pila/estribo, mientras que en sentido longitudinal, todos los apoyos son libres salvo los de las 4 pilas altas centrales (pilas P-6 a P-9), en las que el tablero se fija longitudinalmente a las pilas con apoyos fijos longitudinales. Esta vinculación elástica del tablero a las pilas mayores, garantiza el control de deformaciones de las cabezas de las 4 pilas más altas, limitando los máximos movimientos impuestos en su cabeza a los producidos por las dilataciones (térmicas) o contracciones (térmicas+retracción y fluencia) del tablero acumuladas desde el punto fijo en el E-2. Esta limitación de máxima deformación longitudinal impuesta en cabeza de pila, permite controlar los efectos de deformaciones de segundo orden por inestabilidad de pandeo en cabeza de las pila más altas, reduciendo y controlando así los esfuerzos longitudinales, mejorando su respuesta resistente.

Todos los apoyos se disponen en posición clásica con la bandeja de acero inoxidable sobre la lámina deslizante (Fig. 9a), y se disponen nivelados en horizontal, salvo los del E-1 en los cuales la superficie de deslizamiento se dispone inclinada según la pendiente del tablero en esa zona, para evitar que los movimientos longitudinales del tablero puedan inducir, debido a la pendiente del tablero, un movimiento vertical diferencial en la vía en la zona de la junta, que pudiera llegar a producir problemas de confort a los usuarios.

Para evitar que la bandeja deslizante de acero inoxidable superior, de mayor longitud que la parte inferior del apoyo, para permitir los movimientos de dilatación y contracción del tablero, pueda llegar a ensuciarse con el tiempo, y producir mayor desgaste en la lámina especial deslizante, se ha dispuesto un sistema de protección flexible que permite los movimientos y que es desmontable y reemplazable, de forma que permite mantener el apoyo esférico completamente cerrado y protegido de arena o polvo (Fig. 9c).



Figuras 9a, 9b y 9c: Vista de un apoyo, sistema de medición con regleta y protección guardapolvo

La lámina deslizante de los apoyos esféricos es de un polietileno de alta densidad molecular con características mejoradas respecto del clásico teflón, con rozamientos máximos garantizados por el fabricante de un 2% a muy bajas temperaturas, menores del 3% clásico de las láminas de teflón PTFE convencionales, y con una gran durabilidad, lo que permite asegurar un menor mantenimiento futuro en los apoyos.

Para poder conocer en cualquier momento la posición relativa de la bandeja superior de acero inoxidable respecto de la parte inferior del apoyo, se disponen de regletas de medición dispuestas lateralmente, de forma que se pueda conocer en una inspección rutinaria, la posición exacta del tablero respecto de la pila.

Todos los apoyos son sustituibles y se ha previsto desde la concepción del proyecto la posición y reacciones esperadas previstas en gatos para la realización de una eventual sustitución.

2.2.1. Pilas y Estribos

El proceso de concepción y diseño de las pilas ha sido laborioso, buscando en la fase de proyecto constructivo el complejo equilibrio entre la estética y la facilidad constructiva. Sin olvidar este último aspecto, se ha puesto especial cuidado en el diseño de las pilas del viaducto de manera que se logre una solución elegante que se integre en el entorno, con una geometría variable con formas suaves que se separe de las clásicas pilas tabique rectangulares demasiado sobrias y poco adecuadas con un valle tan alto y visible como el del río Deba.

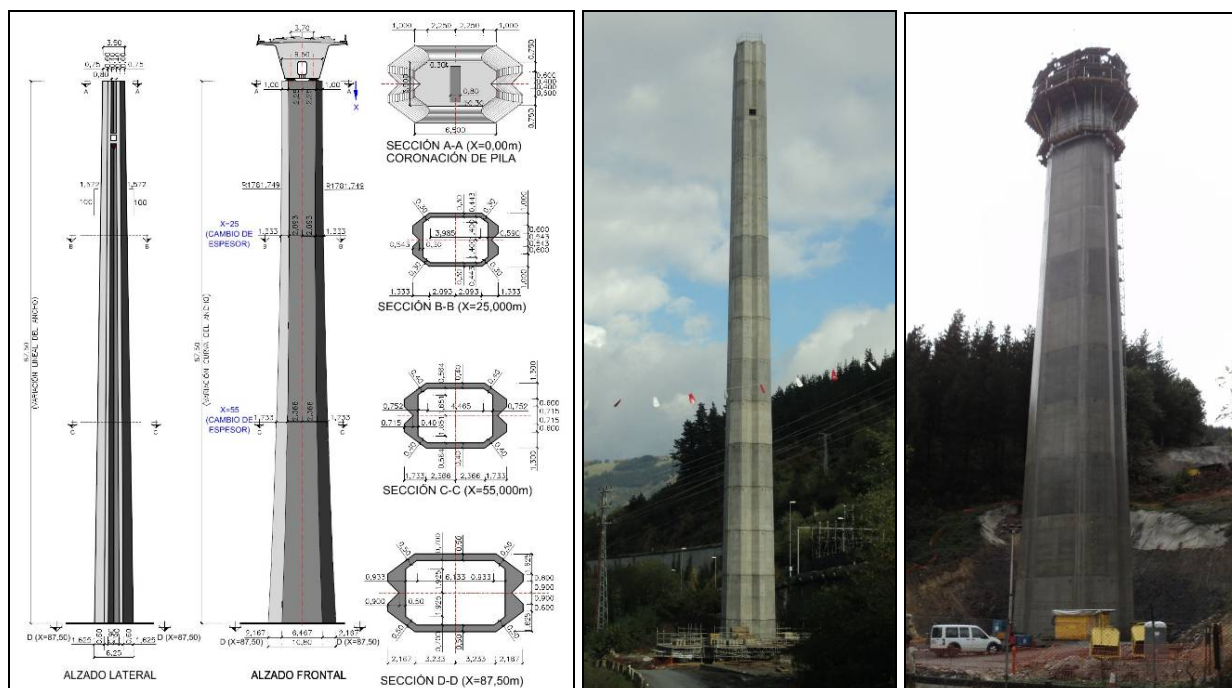
En una vista frontal (Figs. 10a y 10c), las pilas del viaducto aumentan en sección de forma suave con una variación radial, con dimensión transversal en cabeza con un mínimo de 6,50 m.

En sentido longitudinal del puente, el canto de las pilas varía de forma lineal desde coronación con un ancho mínimo de 3,50 m hasta la base con más de 6 m en las pilas más altas (Fig. 10b).

En sección transversal, la sección rectangular exterior se achaflana con grandes biseles en las esquinas, manteniendo sus caras siempre paralelas, lo cual crea una serie de planos oblicuos que siguen la geometría de la variación del canto con ancho variable y le confieren a la pila una estética menos brusca y mucho más elegante que las clásicas pilas pastilla (Fig. 10c).

En el centro de las caras laterales, se ha diseñado un rehundido a modo de berenjeno central de dimensiones variables pero con las caras paralelas, que se va abriendo desde arriba hacia abajo creando un espacio interior a modo de entrante en V y que confiere a la pila un carácter espacial, logrando una geometría elegante y esbelta.

La sección interior de las pilas es hueca con paredes de tabiques variables entre 0,30 en los 25 m superiores, 0,40 m en los 25 m siguientes y 0,50 m de espesor en la parte inferior de las pilas más altas. La pila más alta alcanza junto al río Deba los 86 m de altura.



Figuras 10a, 10b y 10 c. Definición geométrica, vista en alzado y vista esviada de una de las pilas

El Estribo 1 es móvil y se ha diseñado con forma de caja cerrada para alojar sobre él el aparato de dilatación de vía. El Estribo 2 es el punto fijo del tablero, y sobre él hay continuidad de vía.

Todas las cimentaciones son directas, salvo las de las pilas cercanas al cauce del río Deba, las pilas P-7 y P-8, que se cimentan con un encepado de 15 pilotes de 1,8 m de diámetro.

3. Proceso constructivo.

A la hora de abordar el proceso constructivo del viaducto, se han tenido en cuenta varios aspectos, entre los que cabe destacar principalmente dos: el sistema de transmisión de las cargas de los anillos de apoyo de la cimbra autolanzable a las pilas, y el proceso de ejecución del tablero.

3.1. Proceso de ejecución del tablero.

El proceso constructivo del tablero se divide en 14 fases en las cuales se ejecuta uno de los vanos del viaducto y un tramo en ménsula del vano siguiente, apoyado en la cimbra autolanzable de 155 m de longitud total. Durante las fases de hormigonado, la autocimbra se apoya de forma isostática en el extremo de la ménsula ejecutada en la fase anterior mediante un sistema de cuelgue al tablero (Fig. 11), y en la estructura metálica (anillo) dispuesta en la pila siguiente. La luz tipo entre apoyos para la autocimbra es de 50 m para los vanos de 65 y 70 m, y de 55 m para el vano de 80 m. Los voladizos de cada fase varían entre 15, 20 y 25 m, en función de la luz del siguiente vano, de forma que se limite la luz entre apoyos de la autocimbra durante el hormigonado.

Las fases con voladizos de 15 m se ejecutan con la secuencia clásica de hormigonado en dos subfases: en primer lugar se hormigona la sección parcial en artesa (losa inferior y las almas) y en segundo lugar la losa superior. En cambio, en las fases con voladizos de 20 y 25 m, que coinciden con las fases previas a los vanos de 70 y 80 m de luz, y debido a condicionantes resistentes de la cimbra autolanzable, se ha planteado una secuencia de ejecución del tablero en cuatro subfases. Inicialmente se ejecuta la sección artesa correspondiente a la zona de pila, que comprende la zona en ménsula y su zona simétrica respecto del eje de la pila hacia el centro del vano, a continuación se hormigona la losa superior de esa zona, tras lo cual se tesa una primera familia de

cables de pretensado de negativos en la losa. Seguidamente se hormigona la sección artesa de la zona de vano, entre la ménsula de la fase previa y la zona recién hormigonada sobre pila. Posteriormente se tesa una segunda familia de cables de pretensado de positivos en la zona del vano y se hormigona la losa superior de dicha zona. Finalmente, se tesa la familia de cables correspondiente al pretensado parabólico de continuidad, para proceder al descuelgue y avance de la cimbra autolanzable para la ejecución de la siguiente fase.

La figura 11 muestra el frente de fase en voladizo, la viga transversal de cuelgue de la autocimbra, apoyada en el extremo de la ménsula ya ejecutada, así como los anclajes de pretensado en almas de las familias de continuidad parabólicas, y los anclajes de las unidades superiores de pretensado de la losa de la zona de negativos. La continuidad entre las unidades de pretensado parabólico se realiza con cruce de cables y cuñas con doble anclaje, en lugar de emplear los clásicos acopladores, por preferencia constructivas del subcontratista que ejecuta el tablero.



Figura 11. Vista del frente de fase y del sistema de cuelgue de la cimbra del extremo del voladizo

3.2. Apoyo de la cimbra autolanzable sobre las pilas.

Los anillos de apoyo de la cimbra autolanzable en las pilas son dos células metálicas triangulares con un tirante horizontal pretensado que une las dos células de ambos lados, y sendos puntales inclinados que se equilibran con dos montantes verticales. La carga de la cimbra y el tablero que se ejecuta sobre ella, se transmite a la pila mediante dos apoyos por lado, uno superior y otro inferior.



Figura 12. Vista de la ejecución del tablero con autocimbra desde el E-2 (noviembre 2013)

El apoyo superior transmite normal a la pila, las reacciones transversales, así como las posibles fuerzas longitudinales inducidas por el avance de la cimbra por rozamiento. Este apoyo se mantiene comprimido gracias al pretensado de unión de las dos células con barras tesadas, que evita la apertura de la unión al tender a traccionarse el tirante horizontal superior al cargar la cimbra sobre el anillo.

El apoyo inferior, transmite la compresión inclinada que baja por los puntales, mediante una compresión horizontal de forma normal a la pila y una reacción vertical mediante una abertura diseñada en el lateral de la pila, que permite la introducción de un tetón en su interior y transmite la carga vertical transmitida por la autocimbra a la pila.

4. Instrumentación del viaducto durante la ejecución

Para controlar los esfuerzos reales en el tablero durante el proceso constructivo, se ha instrumentado la reacción del cuelgue de la cimbra en el extremo del voladizo de la fase anterior, y además se dispone de gatos en el apoyo delantero de la cimbra en el anillo. De esta manera se conoce en cada fase el reparto real de reacciones transmitidas por la cimbra a la pila delantera, y al extremo en voladizo trasero. Este control es especialmente importante, ya que permite confirmar las hipótesis de cálculo realizadas en proyecto, verificando cómo parte de los esfuerzos del hormigonado de la losa superior de una fase, se los lleva el propio tablero con secciones parciales ya resistentes, evitando que el 100% del peso propio lo resista la cimbra. Esta instrumentación ha permitido confirmar la validez de las hipótesis realizadas, verificándose la seguridad tanto de la cimbra como de los extremos del tablero ejecutados en voladizo.

Así mismo se han instrumentado 4 de las pilas más altas para conocer sus esfuerzos, movimientos en cabeza, así como los desplazamientos relativos del tablero.

En la ponencia del congreso se detallarán los principales resultados de esta instrumentación.

5. Principales participantes en el proyecto y obra.

Propiedad: Euskal Trenbide Sarea (ETS) / ADIF

Dirección de Obra: Euskal Trenbide Sarea (ETS): Alejandro Montes (Director de Obra), Pedro Daniel Juan (Adjunto al Director de Obra)

Constructora: UTE Abergara: SACYR-CAMPEZO-CYCASA-FEBIDE

Proyecto de la Estructura y Asistencia Técnica al Contratista: IDEAM S.A.

Asistencia Técnica a la Dirección de Obra: UTE TYPASA-TEAM.

Subcontratista del tablero: Grupo Puentes y Calzadas

6. Referencias

- [1] MILLANES, F.; PASCUAL, J.; ORTEGA, M. "Viaducto Arroyo las Piedras. Primer viaducto mixto de las Líneas de Alta Velocidad Españolas". *Hormigón y Acero*. Nº 243. Enero-Marzo 2007. ACHE. Madrid 2007. pp. 5-38
- [2] MILLANES, F.; BORDÓ, E; MARTÍN, J; MANSILLA, J.L. "Viaducto de Archidona (LAV Córdoba-Granada): 3.150 m de dintel mixto sin juntas de dilatación". *Hormigón y Acero*. Vol. 64. Nº 270. Septiembre-Diciembre de 2013. ACHE. Madrid 2013. pp. 5-30
- [3] REDERO, A.; GONZALEZ, J.; IMEDIO, J. "Ejecución del viaducto de alta velocidad sobre el río Deba en la Y vasca". *VI congreso de ACHE*. Madrid 2014.