

HS2. Sección C23. Soluciones estructurales y aspectos relevantes del proyecto.

HS2. Section C23. Structural solutions and relevant aspects of the project

Luis Martín-Tereso ^a, Carlos Bajo ^b, Edgardo Salinas ^c, Jose Candel ^d, Fernando Madrazo ^e, Fernando Cea ^f, Eloísa Nalda ^g

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ferroviario. Dirección Técnica. Jefe de Dept. Est. lmartin@ferrovial.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ferroviario. Dirección Técnica. Jefe de Área Est. carlos.bajo@ferrovial.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. EFKB. Structures Design Lead. edgardo.salinas@ekfb.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. EFKB. Project Design manager. jvcandel@ferrovial.com

^e PhD Civil Engineer. Polytechnic University of Santander. COWI. Design manager TVV. femz@cowi.com

^f Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYPESA. Design manager Edgcote. fcca@typsa.es

^g Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. PACADAR. Oficina Técnica. Design manager. eloisa.nalda@pacadar.com

RESUMEN

High Speed 2 Line (HS2) es una línea de alta velocidad ferroviaria que conectará Londres con Birmingham (230km). Ferroviario está participando en el tramo C23 desde 2020 (80km), que incluye 15 viaductos metálicos y de hormigón (total 3.4km). Se describen las soluciones técnicas adoptadas en los viaductos que maximizan la prefabricación, con detalles técnicos y constructivos que presentan innovaciones destacables en Reino Unido y también para España. Finalmente se comentan las diferencias contractuales entre los proyectos de Alta Velocidad entre países y su posible incidencia en los resultados.

ABSTRACT

High Speed 2 Line (HS2) is a high-speed railway line that will connect London with Birmingham (230km). Ferroviario is participating in section C23 since 2020 (80km), which includes 15 steel and concrete viaducts (total 3.4km). The technical solutions adopted are described for viaducts that maximize prefabrication, including technical and construction details that would represent also innovations for Spain. Finally, contractual differences in HSR projects among countries and their impact on the outcome are discussed.

PALABRAS CLAVE: HS2, Prefabricado, bñácena, Cajón Estricto, postesado, artesa, prelosa, pila.

KEYWORDS: HS2, precast, bipoutre, Strict box, postensioning, U girder, beam, plank, precast pier.

1. Proyecto HS2

La primera línea de Alta Velocidad en UK (HS1) fue la conexión de Londres con el continente a través del túnel del Canal de la Mancha (abierto en 2007). HS2, actualmente en construcción, conectará Londres con Birmingham (Phase 1, 230km, coste actual estimado de 100 billones de

libras). Había prevista una segunda fase en forma de Y desde Birmingham hasta Manchester y Leeds (Phase 2, 200km) que fue cancelado en 2023 debido a diferentes circunstancias, entre ellas los sobrecostes de la primera fase.



Figura 1. HS2. Esquema del proyecto.

El proyecto completo fue aprobado en 2012 y la construcción de la Phase 1 empezó en 2017; se estima que la línea será abierta al tráfico en 2033.

2. TRAMO C23. ESTRUCTURAS

Ferrovial, como parte de EKFB (Eiffage, Kier, Ferrovial y Bam), es responsable del diseño y construcción de la zona central C23 (80km, coste estimado 7 billones libras). Ferrovial entró en el proyecto en 2020, cuando las propuestas de diseño iniciales estaban ya planteadas.

El tramo incluye 15 viaductos (total 3.4km). Están divididos en 2 tipologías:

- 5 viaductos compuestos de acero estructural y losas de hormigón (luz max. 55m).
- 10 viaductos de vigas prefabricadas de hormigón, vanos hasta 25m.

3. VIADUCTOS METALICOS

El tablero mixto comprende 2 vigas metálicas bixénas conectadas con una losa superior de hormigón armado. Además, las alas metálicas inferiores están también conectadas:

- En zonas de pilas, la losa inferior es continua en sentido longitudinal de hormigón in-situ y de mayor espesor (doble acción mixta).
- En centro de vano, la losa inferior es prefabricada de menor espesor, conectadas lateralmente a las alas inferiores pero

discontinuas en sentido longitudinal. Estas losas permiten el cierre del circuito de torsiones (incrementando la rigidez y capacidad a torsión de las secciones abiertas en I) pero no trabajan a tracción para los momentos positivos longitudinales.

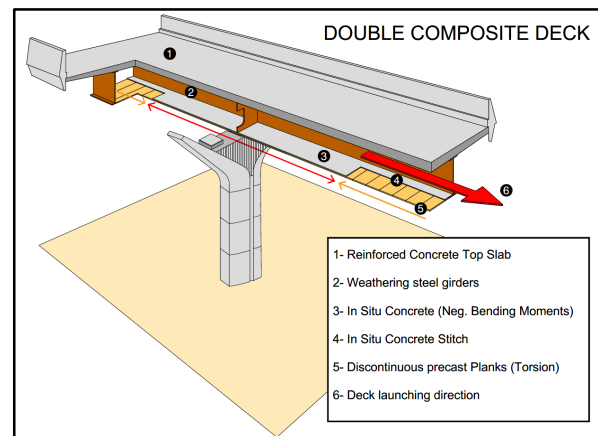


Fig. 2. Viaductos metálicos. Esquema estructural.

Este esquema estructural (“cajón estricto”) está basado en los viaductos de la última LAV ejecutada en Francia (TGV BLP Atlantic Line) hecho por Eiffage. Esta tipología fue desarrollada antes en el Viaducto de Las Piedras (LAV Sevilla-Málaga, España, ref.[1]).

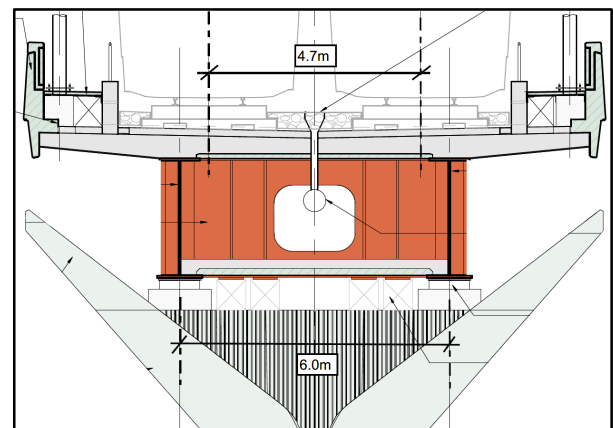


Fig. 3. Sección transversal de tablero (Wendover).

El proceso constructivo consiste en un empuje desde un estribo de la estructura metálica con las prelosas prefabricadas entre almas (salvo en el primer vano, donde se añade además un pescante para reducir los esfuerzos del empuje). Terminado el empuje y apoyadas las vigas en sus apoyos definitivos sobre pila, se conectan las prelosas inferiores a las alas metálicas inferiores

mediante un cordón de hormigón in-situ y en pilas el espesor completo de la doble acción mixta. Finalmente, la losa superior se ejecuta con carro de alas sobre las bñácenas.

A diferencia de las realizaciones españolas, la estructura metálica tiene espesores de chapa mayores, minimizando mamparos y soldaduras.



Figura 4. Empuje del tablero metálico (Wendover).

Para este rango de luces (55m), esta tipología (frente a soluciones hormigonadas in situ en altura, como las autocimbras) presenta la ventaja de la prefabricación y reducir los riesgos en Obra, tanto de control de ejecución, mano de obra cualificada y medios de seguridad. En los países anglosajones (UK, US o Australia) esto es clave en la elección de tipologías estructurales.



Figura 5. Empuje finalizado (Wendover).

4. Viaductos de hormigón

Basado en las experiencias previas en este tipo de viaductos (ref.[2]), Ferrovial detectó la oportunidad de optimizar los viaductos de hormigón y promovió en el consorcio (EKFB) el cambio de diseño de los 2 viaductos principales (66% del área total): Edgcote (515m) y Thame Valley Viaduct (880m).

4.1 Viaductos de Thame Valley & Edgcote

Thame Valley Viaduct (TVV) es un viaducto continuo de 880m de longitud en alineación recta compuesto de 36 vanos con luz tipo de 25m (20+32x25+3x20) y punto fijo en la pila central.

Edgcote Viaduct es un viaducto continuo de 515m de longitud en alineación curva compuesto de 21 vanos de luz tipo 25m (20+19x25+20) y punto fijo en el estribo.

Ambos viaductos son de doble vía, siendo Edgcote ligeramente más ancho por la curvatura, 14.50m, frente a 12.25m en TVV.

Hay 2 fustes independientes en cada línea de apoyos con similar geometría de pilas (la altura de pilas en Edgcote es 6m y en TVV 3m).

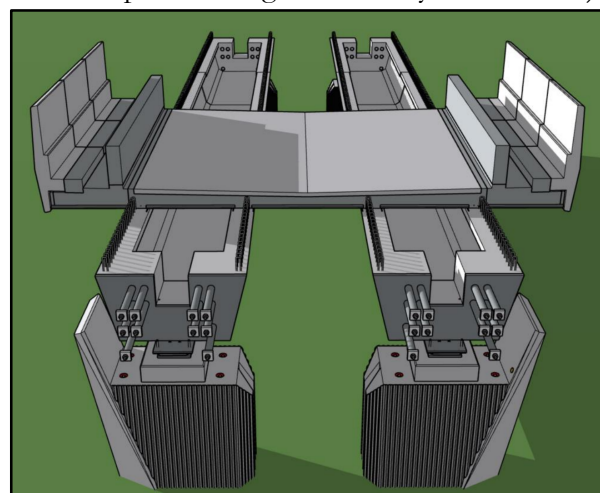


Fig. 6. Sección transversal de tablero (TVV).

4.2 Tableros

La solución de tablero (novedosa en UK) consiste en 2 vigas artesas pretensas prefabricadas de PACADAR, una debajo de cada vía,

conectadas transversalmente por una losa superior in situ sobre prelosas colaborantes.

Las vigas artesas están directamente conectadas longitudinalmente por medio de una junta húmeda no armada de 8+-4cm de espesor rellena de grout y postesada con barras.

Esta sección transversal no requiere diafragmas transversales in situ entre artesas en las pilas tipo; la capacidad y rigidez transversal de la losa superior es suficiente, y sólo hay un apoyo por viga artesa en cada fuste.

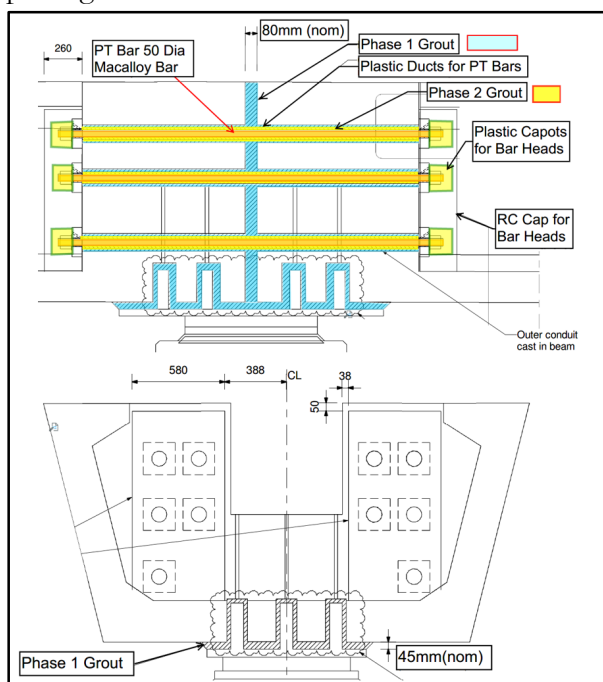


Fig. 7. Conexión postesada. Detalles (TVV).

4.3 Continuidad. Postesado entre vigas

El posteo de barras PT no solo proporciona continuidad longitudinal a las vigas, sino también transfiere la reacción vertical de peso propio desde los apoyos temporales de montaje de cada viga al único apoyo definitivo sobre el fuste, compartido entre ambas vigas.

La operación incluye los siguientes pasos:

- Instalación de vainas plásticas de las barras a través de los huecos circulares de ambas artesas, cosiendo la junta.
- 1 fase de grout para rellenar la junta vertical entre artesas, las coronas horizontales entre la vaina y el hueco del prefabricado, la cama superior del apoyo y sus pernos de conexión.
- Postesado de las barras.

- Instalación de capots de plástico en los anclajes de las barras, prueba de estanqueidad con aire a presión e inyección de las vainas y capots (2 fase de grout).
- Ejecución de dados de hormigón sobre los capots para protección adicional redundante.

Desde un punto de vista estructural, la junta postesada entre artesas es una unión prefabricada sin armadura pasiva pasante y requiere mantener la compresión en la junta prefabricada en ELS. Sin embargo, la losa superior armada es un elemento de hormigón armado, y se permiten la abertura de fisura según la clase de exposición (como la losa de un puente mixto con cajón metálico en pila).

El postesado de la unión se define como Pretensado Interior Adherente, con nivel de protección LP2 según el fib bulletin 33 (ref.[3]).

Aunque la contribución como armadura adherente de las barras PT no es relevante para su función principal (control tensional de la junta en ELS), sí lo fue para la aprobación del diseño por parte de HS2 desde el punto de vista de la durabilidad de la propuesta.

El pretensado interior (p.e. los cordones pretesos de las artesas) no requieren inspección y mantenimiento según normativa (a diferencia del pretensado no adherente exterior). Además, el nivel LP2 asegura el encapsulamiento de las barras frente a posibles agentes agresivos durante su vida útil (requiere prueba de estanqueidad con vainas y capot plásticos).



Fig. 8. Ensayo 1:1. Testigos de inyección (TVV).

La ejecución de la unión postesada fue asegurada mediante un ensayo de un modelo

completo 1:1 que reprodujo la secuencia completa de la unión con los equipos encargados de su ejecución en el puente.

4.4 Prelasas en celosía colaborantes

Se empleó prelasas en celosía colaborantes (“lattice planks”) para el hormigonado de la losa superior de tablero (suministradas por PACADAR, según tipos habituales en España) consistentes en varias celosías trianguladas espaciales unidas por una losa inferior de 8mm (mayor recubrimiento que el típico en España).



Fig. 9. Prelasas en voladizo sobre artesas (TVV).

Salvo algunas aplicaciones en edificación, esta solución no es conocida en puentes en UK; tampoco hay normativa específica para las celosías metálicas (se aplicó la normativa general de armaduras pasivas).

El criterio de diseño cuenta con la prelosa completa para el sostenimiento del hormigón fresco de la losa superior (“temporary works”), y sólo del hormigón de la prelosa a compresión en el cálculo del puente permanente (“permanent works”). La celosía no se tiene en cuenta como contribución para el armado del puente, salvo las diagonales para coser la junta constructiva entre la prelosa y el hormigón in situ.

4.5 Subestructura

La cimentación de las pilas tipo (apoyos deslizantes en sentido longitudinal) consiste en una sola línea de 3 pilotes de diam. 1500mm arriostrados por un encepado rectangular.

Los fustes son prefabricados e independientes (uno por artesa). Se conectan al encepado con unas barras pasivas verticales, ubicadas en el perímetro de su base. Estas barras se insertan (al descender el fuste) en unas vainas corrugadas metálicas dejadas en el encepado.



Fig. 10. Prefabricación de fustes en planta (TVV).

Apoyado el fuste en soportes temporales sobre el encepado (dejando un hueco vertical de 60mm), se encofra lateralmente la base y se rellenan las vainas de grout por gravedad desde el borde. La cara inferior del fuste es convexa para evitar burbujas de aire atrapadas.

El fuste prefabricado incluye un plinto en su coronación, con vainas corrugadas para alojar los pernos de conexión del apoyo esférico.



Fig. 11. Izado de pila prefabricada (TVV).

4.6 Proceso Constructivo

La secuencia constructiva modifica las secciones evolutivas estructurales (viga exenta o con losa) y su esquema estático (biapoyado o continuo). Debe acordarse con Construcción para un análisis estructural adecuado (la redistribución por reología depende de la edad de los elementos al conectarse, ref.[4]).

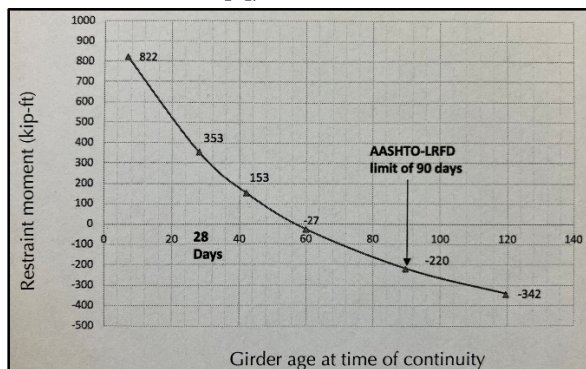


Fig. 12. Momento en pila vs edad conexión.

Fases constructivas:

- 1) Ejecución de cimentaciones.
- 2) Montaje de fustes prefabricados y hormigonado de conexión con encepado.
- 3) Instalación de los apoyos temporales y definitivos sobre la coronación de fustes.
- 4) Izado de las vigas artesas sobre las pilas.



Fig.13. Montaje sobre llanura inundable (TVV).

- 5) Izado de prelosas sobre las vigas.
- 6) Ejecución de las conexiones postesadas entre vigas artesas (estructura continua).
- 7) Instalación de ferralla del tablero.
- 8) Hormigonado de losa superior en pilas. (sección completa de losa armada en pilas para los sucesivos momentos negativos).

- 9) Hormigonado de losa superior de tablero en zona de centro de vanos.
- 10) Hormigonado de Robust Kerbs.
- 11) Instalación de parapetos prefabricados.
- 12) Acabados.

4.7 Evolución del diseño: de puente de vigas a 2 vigas-cajón conectadas.

El diseño original planteaba un puente de 8 vigas prefabricadas doble T. Fue cambiado después a 4 vigas tipo W conectadas a un diafragma de hormigón in situ sobre pilas. Este diafragma estaba soportado sobre 2 apoyos, no alineados con ninguna viga W.



Fig.14. Diseño previo. Desventajas constructivas.

Este diseño tenía severas desventajas:

- Secciones no eficientes (puente de vigas con sobrecargas concentradas excéntricas).
- Junta no pretensada entre vigas y el diafragma in situ (solo armadura pasiva).
- Diafragma muy solicitado por excentricidad entre vigas y apoyos.
- Complejos encofrados para el diafragma en espacios reducidos.
- Las vigas deben apearse en cimbras antes del hormigonado del diafragma.

El diseño final, basado en los precedentes españoles, tiene las siguientes ventajas:

- Maximización de la prefabricación Off Site (pilas, vigas artesas, prelosas y parapetos).
- Eliminación del diafragma in-situ sobre pila. Las vigas apoyan en pila, sin apeo temporal.
- Eliminación de encofrados temporales para la losa superior (ni carros ni ménsulas).
- 50% reducción de hormigón prefabricado.

- 33% reducción de huella de carbono.
- Ahorro en la duración de la construcción.

5. Soluciones innovadoras de HS2

El proyecto de HS2 incorpora soluciones innovadoras también desde el punto de vista de las LAV en España.

5.1 Apoyos Fijos versus Puntos Fijos.

Los puntos fijos de los viaductos se realizan mediante apoyos esféricos fijos (incluso TVV o Edgcote, más de 400m de longitud continua libre); las cargas horizontales se resisten en sus guías (garantizado por los fabricantes de apoyos y cumpliendo la normativa europea).

No hay cosidos de pretensado horizontal del tablero al estribo o pila fija, ni galerías visitables en estribos para su mantenimiento. El reemplazo de apoyos fijos está previsto uno a uno teniendo en cuenta las cargas de frenado de los trenes reales a velocidad reducida.

5.2 Apoyos Esféricos versus apoyos Pots

Los apoyos tipo Pot no están permitidos en HS2 (cuestionado también en Australia para FFCC, donde detectaron patologías en líneas de trenes de carga). El motivo es el posible fallo por fatiga de los anillos de sellado que confina el neopreno dentro de la caja de acero, por las rotaciones cíclicas durante la vida útil (en general menor en los Pots por esta causa).

Además, los apoyos esféricos trabajan a una tensión mayor, que permite optimizar sus dimensiones y peso, especialmente en los casos de mayores cargas verticales.

5.3 Robust Kerbs versus tablero ancho

En HS2, el descarrilamiento del tren en el viaducto es contenido por una barrera (“Robust Kerb”) a ambos lados de la doble vía, que debe resistir el impacto lateral del tren.

En el trasdós del estribo se colocan unos muros independientes abocinados para evitar el

impacto frontal al inicio del Robust Kerb (valor muy superior al marcado en Eurocódigo).

El impacto en el Robust Kerb del tablero requiere unos espesores estructurales mayores de losa superior a los típicos españoles.

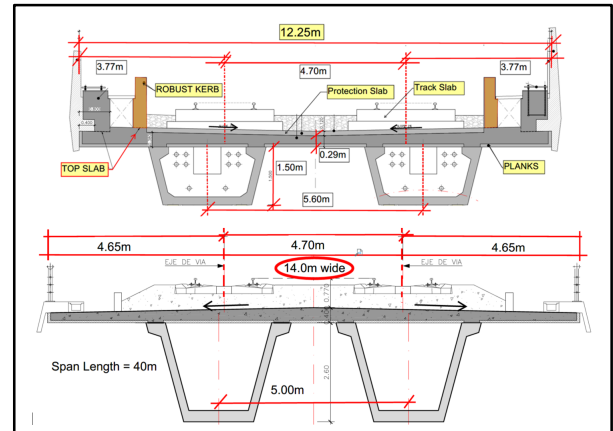


Fig. 15. TVV vs típico tablero en España.

Además, podría complicar la evacuación de emergencia, al dificultar el acceso de pasajeros a los paseos laterales del tablero.

El muro tiene frecuentes juntas para evitar que asuma parte del trabajo longitudinal del tablero, reduciendo su eficacia (su armadura se optimizó con cálculo rígido plástico en rotura).

Los tableros de HS2 son más estrechos (12.2m frente 14.0m); en España el ancho está condicionado por el espacio necesario para que el tren descarrilado no caiga del tablero.

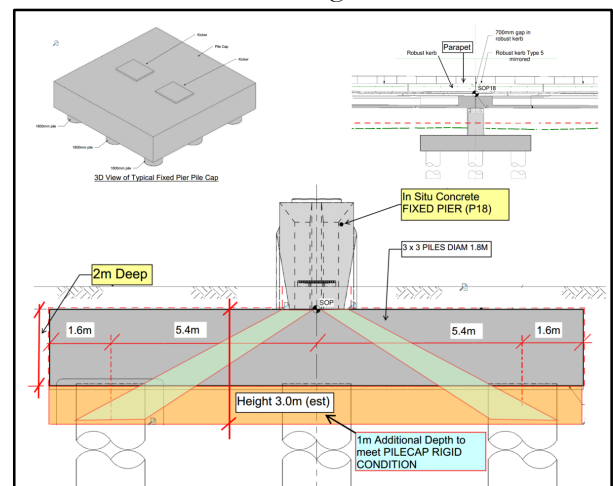


Fig. 16. Pila central fija (TVV, 880m).

5.4 Cimentaciones flexibles versus rígidas

En España, es práctica común diseñar cimentaciones rígidas (i.e. espesor del encepado igual a la mitad de la distancia del fuste al pilote

más alejado, región D). En Viaductos de FFCC, este criterio lleva a volúmenes de hormigón elevados (encepados de 4m de canto habituales).

Aparte de la simplicidad de cálculo del modelo de Bielas y Tirantes en ELU, este criterio tiene inconvenientes importantes: elevado consumo de hormigón, impacto ambiental (huella de carbono) y riesgo de fisuración por calor de hidratación en edad temprana.

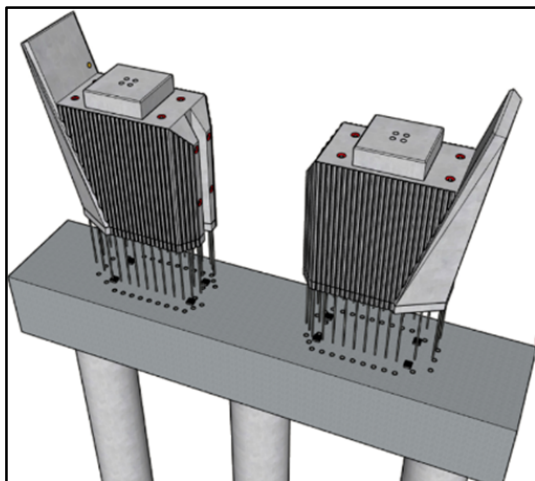


Fig. 17. Conexión encepado-fuste (TVV).

Por estos 2 últimos motivos (fisuración temprana e impacto ambiental), en los países anglosajones (UK/AUS) se usan cimentaciones flexibles. Esto obliga a un mayor esfuerzo de cálculo (chequeos de ELS incluidos) con modelos más complejos cuyos parámetros deben ser adecuadamente calibrados (p.e. “Upper & Lower Bounds” geotécnicos). En TVV, se empleó cimentación flexible en la pila fija y una sola línea de 3 pilotes en vanos tipo (el momento por fuerza longitudinal es resistido únicamente por flexión del pilote y la coacción lateral del terreno).

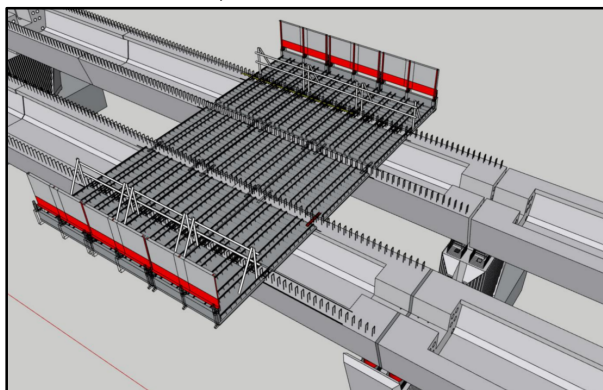


Fig. 18. Prelas en celosía colaborantes (TVV).

6. Aspectos contractuales

Los diferentes procesos de contratación de estos proyectos también influyen de manera decisiva en las soluciones técnicas aplicadas, los tiempos de ejecución y los costes asociados.

6.1 España. Contrato de Construcción

Los proyectos de Alta Velocidad en España se desarrollan en 2 etapas separadas. En una primera fase de Diseño, el Administrador contrata a un consultor la elaboración de un Diseño completo a nivel de Detalle, siguiendo sus directrices y la de organismos competentes.

Posteriormente, se licita *únicamente* la Construcción de ese Diseño de Detalle, habitualmente entre un gran número de empresas constructoras acreditadas.

El adjudicatario es quien presenta el mejor descuento creíble sobre el precio final previsto en el Diseño licitado. Éste se forma con las mediciones de unas unidades por su precio, ambos tipificados por la Administración. El adjudicatario cobra las mediciones realmente ejecutadas al precio fijado por la Administración con el descuento aplicado (Precios Unitarios).

Una vez adjudicado, la Administración nombra a un equipo de Construcción, a cargo de dirigir y gestionar el equipo de la constructora. *Esta es la primera vez en el proceso que la solución de diseño, ya cerrada, es confrontada con el input directo de quienes lo ejecutarán.*

En la mayoría de los contratos, surge un “proyecto modificado” como resultado de esa revisión en Obra. Es propuesto por el Director de Obra (Administración), una vez acordado con el Jefe de Obra (Constructora) para resolver los problemas de diseño detectados.

Este diseño modificado es la única oportunidad de introducir cambios al diseño original desde una perspectiva global (incluyendo la construcción) y muchos de los proyectos icónicos de la ingeniería española provienen de proyectos modificados. Es una negociación no pública, no competitiva, entre la

Administración y el constructor adjudicatario, basada en un contrato previo ya firmado, y su resultado depende en gran medida de la destreza y actitud de las personas involucradas.

6.2 UK. “Early Contractor Involvement”

A diferencia del caso anterior, la colaboración y el input de Construcción es buscado desde el principio del proyecto. En HS2, tramos extensos de la LAV fueron adjudicados a consorcios de varias constructoras internacionales y firmas de ingeniería.

Esta adjudicación *se realiza en una fase muy temprana del proyecto*, en base a criterios técnicos y comerciales no directamente relacionados con las mediciones finales de proyecto (no definido todavía a ese nivel de detalle y sujeto a cambios), y a la evaluación de los equipos nominados por cada consorcio.

Una vez adjudicado, empieza un proceso colaborativo de diálogo entre el consorcio ganador, el equipo técnico del promotor y todas las partes implicadas (agencias ambientales, administración local, comités de estética, servicios afectados) para definir la solución.

Con la intención de dar garantías a todos los implicados, todos los procedimientos están regulados (incluidos cambios de diseño cuando se detecta una oportunidad). Para avanzar en el diseño se necesitan multitud de aprobaciones cruzadas hasta su terminación.

Este desarrollo “colegiado” del proyecto es robusto en cuanto a garantías y calidades de lo diseñado y construido, pero puede ser muy burocrático e ineficiente en términos de coste y plazos de ejecución.

Los cambios de diseño son posibles, pero hay pocos incentivos para hacerlos, dado el riesgo de retrasos asociados al cambio.

6.3 “Design & Build contracts”

La mayoría de los proyectos donde Ferrovial participa en US y Australia son de “Diseño y Construcción”, trabajando directamente para la Administración o para el concesionario (Cintra).

En estos contratos hay una preselección de 3 o 4 consorcios de constructoras, cada uno de los cuales tiene un equipo propio de Diseño formado por agrupaciones de ingenierías.

Estos consorcios compiten durante meses para proporcionar la mejor solución al proyecto, cumpliendo los requerimientos del Cliente y las especificaciones del concurso. Suele haber un “Diseño de Referencia” a nivel conceptual de carácter puramente informativo, y reuniones periódicas con el Cliente para resolver dudas y recibir “feedback”. Cada candidato entrega una Propuesta Técnica a nivel preliminar, que permite estimar su viabilidad y un Precio Cerrado para el Diseño de detalle y la Construcción.



Figura 19. Visualización del Viaducto de Wendover.



Figura 20. Visualización del Viaducto de Thame Valley.

7. Conclusiones

Este artículo presenta las soluciones técnicas adoptadas para los viaductos del proyecto HS2 en su tramo C23.

Las 2 tipologías estructurales, para cada rango de luces, fueron declaradas por el Cliente como soluciones preferentes para futuras ampliaciones de la línea (ref.[5]). Las ventajas son:

A) La optimización de materiales, con la reducción consiguiente de la huella ambiental (huella de carbono) y los costes materiales.

B) El aseguramiento de los estándares de calidad y acabados por la prefabricación “Off-Site” y la industrialización del proceso.

C) La rapidez de ejecución con operaciones de montaje controladas; menos trabajo en Obra, donde el riesgo de seguridad y salud es mayor.

D) La mejora estética con soluciones más ligeras y eficientes integradas en el entorno.

Por tanto, estas son las conclusiones que se han obtenido del presente proyecto:

1) Algunas innovaciones técnicas de HS2 podrían optimizar futuros viaductos de LAV en España (al igual que las experiencias francesas y españolas mejoraron las propuestas de HS2).

2) Para viaductos de LAV de vanos tipo menores de 40m, las soluciones prefabricadas de hormigón descritas deberían ser la “solución base” del estudio de alternativas del diseño.

3) Para conseguir estructuras eficientes (en prestaciones requeridas y coste final), es esencial

que el Diseño reciba inputs de Construcción desde las fases más tempranas del proyecto.

4) Para la optimización del proyecto, el modelo contractual de Diseño & Construcción es el más apropiado (donde cada consorcio desarrolla su propia propuesta técnica).

Agradecimientos

Para el desarrollo del proyecto, incluyendo las complejas aprobaciones del cliente, EKFB ha contado con la colaboración inestimable de FCCS (subsidiaria local de Ferrovial), los diseñadores (COWI en Thame Valley Viaduct, TYPASA en Edgcote Viaduct) y PACADAR como suministrador de los prefabricados.

Referencias

- [1] MILLANES F., Las Piedras Viaduct: The first composite steel-concrete high speed railway bridge in Spain. SEI 2007; 17(4).
- [2] Martín-Tereso, Luis. Wroclaw Days 2023. [Bridges for high-speed railways. 30 years of experiences in Ferrovial.](#)
- [3] Fib Bulletin No 33 “Durability of post-tensioning tendons”. Recommendation.
- [4] Fib Bulletin No 94 “Precast concrete bridge continuity over piers”. Technical Report.
- [5] Kennedy, Catherine (9 May 2022). ["How HS2's Thame Valley Viaduct could 'change the view' of prefabricated structures". New Civil Engineer](#)