

Viaducto de Baker - Diseño constructivo del nuevo viaducto para la línea ferroviaria Transpennina

Baker Viaduct - Detailed design for a new viaduct in the Transpennine railway

Francisco Javier Rodriguez Salas^a, Chris Jackson^b

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arup UK. Ingeniero Senior. francisco.rodriguez-salas@arup.com

^b Civil and Structural Engineer. Arup UK. Associate. chris.jackson@arup.com

RESUMEN

El viaducto de Baker, ubicado en Dewsbury (Inglaterra), es una parte fundamental del proyecto Trans-Pennine Route Upgrade, cuyo objetivo es aumentar la capacidad de la vía ferroviaria entre Manchester y Leeds. La solución estructural consiste en un viaducto mixto de 350 metros de longitud, dividido en 9 vanos con una luz máxima de 55 metros. Debido a su compleja geometría en planta, dispone de entre 4 y 6 vigas metálicas con tablero prefabricado de hormigón armado. El diseño se fundamenta en el aprovechamiento al máximo de los materiales y la reducción de las necesidades de mantenimiento, para lo cual es clave la eliminación de apoyos en pilas y juntas de dilatación de carriles.

ABSTRACT

The Baker Viaduct, located in Dewsbury (England), is an integral part of the Trans-Pennine Route Upgrade project, which aims to increase capacity in the railway line between Manchester and Leeds. The structural solution is a 350-meter-long composite viaduct with 9 spans and a maximum span length of 55 meters. Due to its complex plan geometry, it presents between 4 and 6 weathering steel beams and a reinforced concrete precast deck. The design philosophy focused on maximising material utilisation and minimising maintenance requirements, being key the elimination of bearings and rail expansion joints.

PALABRAS CLAVE: Estructura mixta, Prefabricación, Interacción vía-estructura, Diafragmas rígidos.

KEYWORDS: Steel-Concrete Composite, Precast deck, Track-Structure Interaction, Integral diaphragms.

1. Introducción

Trans-Pennine Route Upgrade (TRU) es un proyecto clave para la modernización del ferrocarril en el Norte de Inglaterra. El proyecto cuenta con un presupuesto estimado de 11.500 millones de libras y se inició en 2017. El programa de trabajos incluye electrificación, señalización, rehabilitación de estaciones, túneles, estructuras y mejoras de la vía.

El viaducto de Baker, nombrado en honor al ferroviario y autor del libro "Rail Atlas", Stuart K. Baker, se sitúa en la vía ferroviaria que

conecta Manchester y Leeds a la altura del municipio de Dewsbury.

Actualmente, dos puentes arco de hierro fundido, protegidos para su conservación (Grade II listed buildings), debido a sus peculiaridades técnicas e históricas, dan paso a las vías sobre el canal navegable del Hebble & Calder y el propio río Calder.

Las razones que se exponen a continuación llevaron a tomar la decisión sobre la necesidad de un nuevo paso en esta zona:

- Mal estado de conservación y objetivo de preservar los puentes existentes.
- Duplicación de vías, excediendo el ancho disponible en las estructuras existentes.
- Compleja adaptación del trazado actual a la electrificación de la vía.
- Aumento de la velocidad de servicio y requerimientos de trazado.

El nuevo viaducto, cuyas principales características se desarrollan a continuación, da respuesta a los anteriores condicionantes.



Figura 1. Visualización del viaducto de Baker.

2. Descripción técnica del viaducto

2.1 Situación

El viaducto de Baker, de tipología mixta con tablero prefabricado, eleva las vías ferroviarias a través del canal navegable del Hebble & Calder, el río Calder y su llanura de inundación, ver Figura 2. Además de lo anterior, la presencia de una gran cantidad de servicios enterrados de difícil desvío, en las márgenes del río, llevó a la definición de la longitud total de 350 metros de viaducto, los cuales son suficientes para salvar todos los elementos descritos anteriormente.

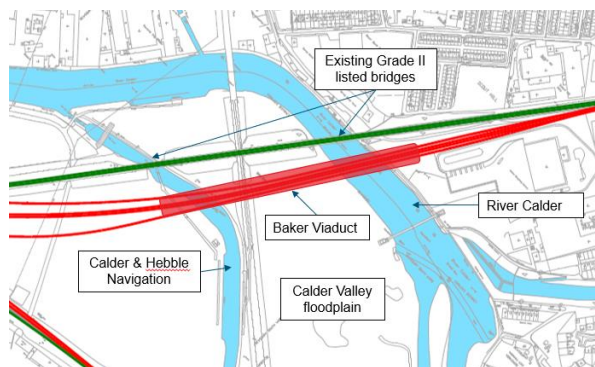


Figura 2. Entorno del viaducto.

2.2 Articulación

La articulación del viaducto se presenta como un factor clave para la optimización y aprovechamiento de los materiales tanto de cimentación como de la superestructura. A través del cuidadoso análisis de la interacción vía-estructura se consiguió optimizar su comportamiento, eliminando en su totalidad la necesidad de disponer juntas de dilatación de carriles, lo cual conlleva un gran ahorro en los regímenes de mantenimiento a lo largo de la vida útil de la estructura.

Así, el viaducto presenta una longitud total de 350 metros divididos en nueve vanos, los cuales se agrupan en conjuntos de tres, constituyendo 3 módulos independientes entre sí y separados por juntas de dilatación. Esta distribución permite que los carriles de las vías recorran la estructura sin necesidad de juntas, para unas longitudes entre puntos fijos del viaducto que se acercan a los 120 metros.

Tabla 1. Distribución de vanos y luces.

Vano	Modulo	Luz (m)
1	1	33.75
2	1	55
3	1	40
4	2	30
5	2	30
6	2	30
7	3	35
8	3	55
9	3	33.75

El esquema de la Figura 3 describe la articulación planteada.



Figura 3. Esquema de articulación del viaducto.

2.3 Peculiaridades del trazado

El trazado en planta del viaducto varía entre secciones rectas y curvas con radio mínimo de

1500 metros. Esto provoca bajos esfuerzos de torsión, fácilmente resistidos por medio del empotramiento establecido entre el tablero y las pilas intermedias de cada módulo.

Las vías sobre el viaducto presentan una separación gradual, según se avanza hacia su extremo Oeste, que requiere de la división del tablero en tres tableros independientes tal y como puede observarse en la Figura 4.

La incorporación al diseño de una junta longitudinal en el centro del tablero permitió acomodar el cambio de anchura manteniendo el mismo tipo de losa prefabricada a lo largo de toda la estructura. Además, se aprovechó para incorporar el sistema de drenaje en la junta, simplificando la fabricación de las unidades de losa prefabricada.

Como consecuencia, la solución de la sección del tablero es bijnca en los vanos 1 y 2, pasando a integrar 6 vigas bajo el vano 3 y, finalmente se disponen 4 vigas a partir del apoyo de la pila 3 hasta el estribo del extremo Este del viaducto.

2.4 Solución mixta

La solución mixta presenta múltiples beneficios que ninguna de las otras alternativas estudiadas planteaba.

Primeramente, el acceso a obra permite la utilización de grúas capaces de levantar secciones de viga de forma eficiente, lo cual evita la utilización de maquinaria especializada, de mayor coste, intrínseca a otras tipologías.

Segundo, la prefabricación del tablero conlleva ahorros de producción importantes y aumenta la calidad del producto final.

Tercero, el uso de acero tipo corten permite reducir a un mínimo el mantenimiento previsto de la estructura a lo largo de su vida útil, minimizando costes e interrupciones de tráfico ferroviario en una línea de gran tránsito.

Finalmente, la sección mixta otorga una gran confianza en cuanto a su ejecución y diseño para el rango de luces propuestas en este viaducto, ya que son numerosos los antecedentes

de estructuras similares construidas en el Reino Unido.

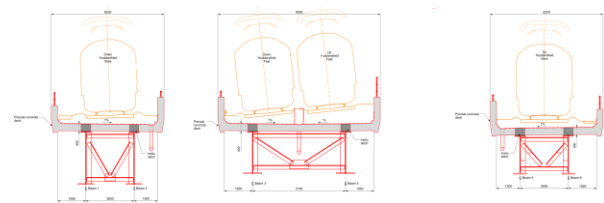


Figura 4. Sección transversal para tableros independientes

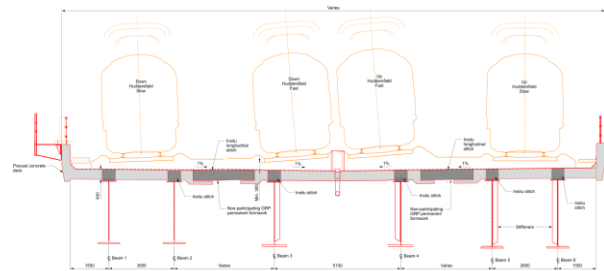


Figura 5. Sección transversal para unión de tableros

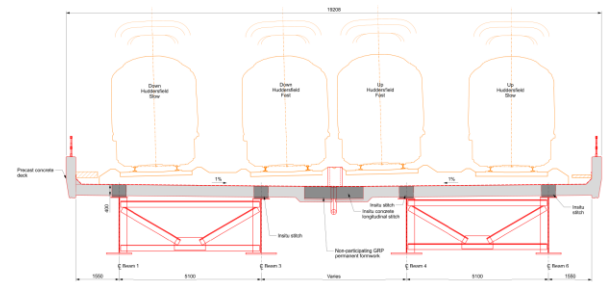


Figura 6. Sección transversal típica

El canto de las vigas en los módulos 1 y 3, de acero S355 W, varía entre los 2 m en apoyos, 2.55 m en el centro de vano principal y 3.65 m en apoyos intermedios. Así pues, la relación canto-luz para centro de vano es de 1/21.5, mientras que en apoyos intermedios es de 1/15 respecto al vano central.

El módulo intermedio, vanos 4, 5 y 6, presenta vigas de canto continuo de 2.0 m lo que equivale a una relación canto-luz de 1/15.

La esbeltez de las vigas requiere de un arriostramiento transversal cada 4 metros, mostrándose como una distribución eficiente frente al pandeo del cordón superior y para resistir las acciones del viento en fases previas a la formación de la losa superior.

La altura reducida de las pilas, que se limita a unos 5 metros, dictó en buena medida la selección de las luces de los vanos centrales. Se estimó que una relación altura de pila – luz de

1/6 producía unos resultados estéticos favorables.

Este efecto se reduce en los vanos sobre el canal y el río, los cuales alcanzan luces de 55

metros, debido al perfil seguido por el cordón inferior de la viga, el cual otorga una mayor esbeltez a los vanos principales.

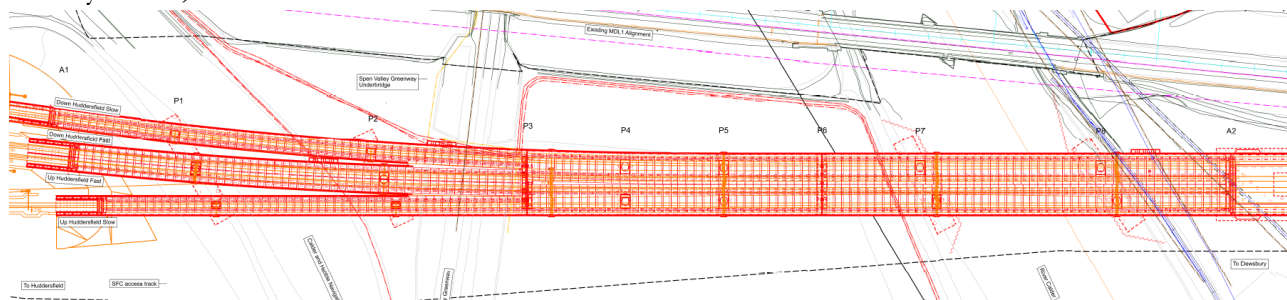


Figura 7. Planta del viaducto.

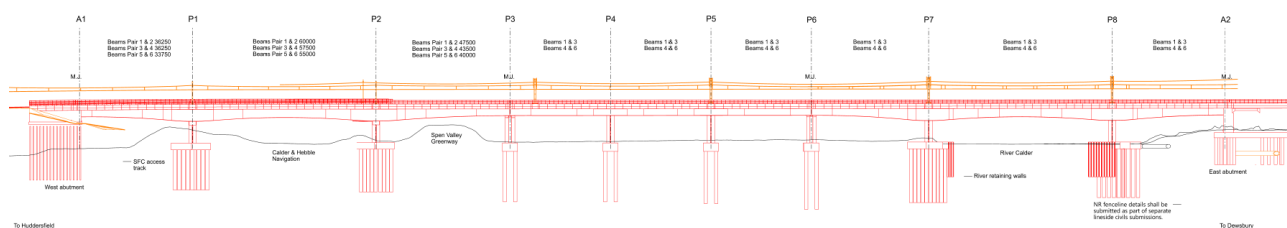


Figura 8. Alzado del viaducto.

2.5 Tablero prefabricado

La losa presenta un espesor de 0.4 metros en todos sus puntos con una separación típica de 5.1m entre vigas y una anchura máxima de 21.0 metros. Esta disposición trabaja correctamente para los esfuerzos de flexión tanto longitudinales como transversales. El hormigón constituyente de la losa posee una resistencia característica de 50 MPa.

La conexión entre losa y viga se efectúa a través del hormigonado de los huecos dispuestos en la losa coincidiendo con la posición de los conectores. Esta configuración, mostrada en la Figura 9, garantiza además que el espaciado de los grupos de conectores siempre es menor a 800mm, tal y como se especifica en el Eurocódigo 4.

Desde un punto de vista constructivo, es de especial importancia señalar que toda la longitud del tablero fue diseñada, desde el inicio, siguiendo un patrón de 2.5 metros con el objetivo de facilitar el ensamblaje de las losas prefabricadas y el resto de los elementos del viaducto, lo cual es clave para el encaje de todas las piezas evitando desalineaciones.

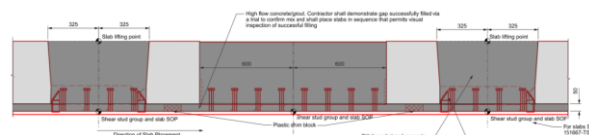


Figura 9. Conexión mixta losa-viga

2.6 Diafragmas Tablero-Pila

Los diafragmas de cabeza de pila se han ideado para garantizar una conexión de empotramiento entre el tablero y el soporte. Estos elementos contribuyen en gran medida a la rigidización del viaducto y a su respuesta frente a esfuerzos horizontales.

Así pues, los diafragmas deben ser capaces de transferir las fuerzas del tablero a la pila, siendo las principales el cortante y los efectos de torsión por efecto de la curvatura del tablero y las cargas no simétricas.

Debido a una búsqueda de redundancia estructural en estos elementos clave de la estructura y a la magnitud de las fuerzas consideradas, se decidió proveer dos caminos suplementarios para la transmisión de las fuerzas a través de la disposición de conectores entre:

- Almas de las vigas y pila,
- Almas del diafragma metálico y pila.

A modo complementario, también se dispone de la conexión de la armadura de la losa y la armadura de la cabeza de pila.

La contribución de cada uno de estos sistemas de transferencia de las cargas supone que, aunque alguno de ellos no pudiese desempeñar su función correctamente, el sistema seguiría siendo estable.

Tal y como puede apreciarse en la Figura 10, los diafragmas de cabeza de pila se hormigonan usando las propias almas de las vigas y un par de diafragmas metálicos colocados en las caras anterior y posterior del diafragma a modo de encofrado. Unos tirantes ajustables aseguran la verticalidad de esos paneles. Finalmente, varias losas de encofrado permanente se colocan en el fondo, permitiendo el hormigonado de estos elementos.

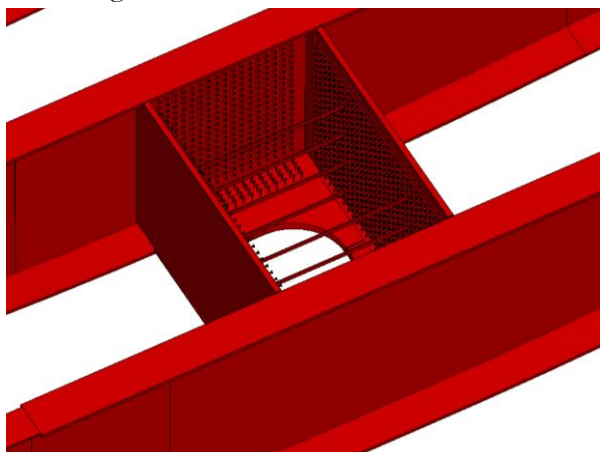


Figura 10. Disposición de conectores en diafragmas.

El coste de mantenimiento y sustitución de apoyos en una estructura que, debido a su gran anchura, presenta un gran número de vigas, fue otro de los asuntos que se trató de minimizar durante el desarrollo de la solución final. Así, se planteó el empotramiento del tablero en la cabeza de pilas reduciendo el número de apoyos en un alto porcentaje, manteniéndose únicamente aquellos en estribos y pilas situadas bajo juntas de dilatación del tablero.

Además, el empotramiento del tablero y las pilas incrementa la rigidez del conjunto y facilita la transmisión de las fuerzas de frenado y aceleración a nivel de cimentación, lo que

condujo a una reducción del número de pilotes previsto en soluciones anteriores.

2.7 Estado de ejecución

La construcción del viaducto comenzó en el verano de 2024. En el momento de redacción de este artículo, se está completando la construcción de los estribos y se avanza en los trabajos de pilotado de las pilas intermedias. Se espera que la construcción avance durante el año 2025 y pueda completarse en 2026.



Figura 11. Trabajos de construcción del estribo Oeste.

3. Características estructurales

El diseño de la estructura ha seguido el principio general de la eficiencia estructural, siempre priorizando la durabilidad y robustez. Con ello no solo se ha conseguido minimizar el coste, sino que también se reduce la emisión de carbono inherente a la producción de estos materiales. Además, se ha empleado la prefabricación del máximo número de elementos, con la consecuente reducción de riesgo de vertidos, al trabajar sobre zonas naturales sensibles, y de la producción de residuos.

3.1 Interacción vía-estructura

Con una longitud total de 350 metros, el viaducto de Baker necesitaría disponer juntas de dilatación de carril en el caso de que el tablero

fuera continuo de estribo a estribo, es decir, no tuviese juntas en el tablero.

Sin embargo, los estudios realizados respecto al coste de mantenimiento a lo largo de la vida útil de la estructura demuestran que es preferible disponer juntas en el tablero a juntas en los carriles, razón por la cual la estructura se subdivide en varios módulos. Entre cada módulo, se disponen juntas de dilatación del tablero con rangos bajos de movimiento, en el entorno de los 130mm.

El análisis detallado de la interacción vía-estructura llevado a cabo para el viaducto, con distancias entre puntos fijos de 120 metros, demostró que las tensiones adicionales en los carriles debidas a las acciones térmicas y fuerzas horizontales de frenado y aceleración estaban dentro de los límites especificados en los códigos.

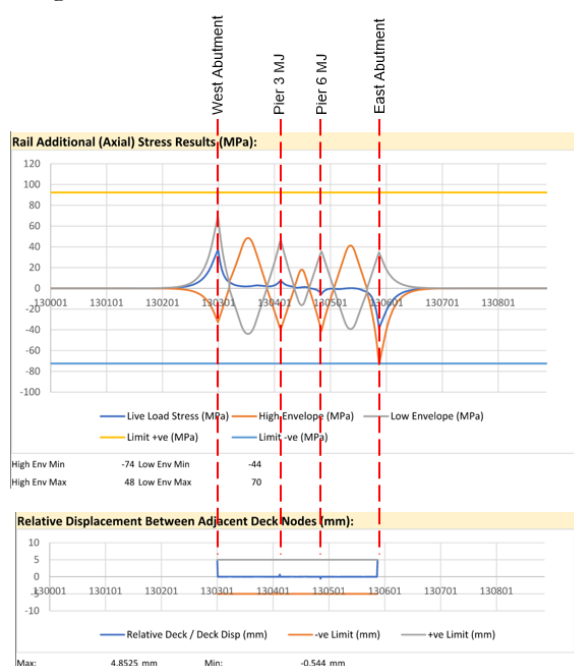


Figura 12. Resultados de interacción vía-estructura.

Adicionalmente, la rigidez otorgada a las pilas centrales de cada módulo permitió cumplir con el límite impuesto de 5 milímetros en el desplazamiento longitudinal relativo en puntos adyacentes del carril, es decir, a un lado y otro de cada una de las juntas de tablero. Los resultados para una de las situaciones de proyecto críticas se muestran en la Figura 12.

Este análisis y las decisiones de diseño adoptadas ha permitido reducir el mantenimiento requerido y, por lo tanto, las posibles interrupciones al tráfico. Esto ayuda a mitigar el riesgo para el personal de mantenimiento ya que no se requiere de acceso a nivel de vías para llevar a cabo las inspecciones.

3.2 Tablero prefabricado

El tablero del viaducto ha sido diseñado para su prefabricación a sección completa. El trazado curvo de parte del tablero introducía dificultades adicionales, sin embargo, se ha conseguido un alto grado de repetición a través de la adopción de un patrón, con espaciado de 2.5 metros, que se repite a lo largo de la toda estructura, y la disposición en forma de abanico de las losas, integrando las diferencias por curvatura en la junta a hormigonar in-situ.

Para facilitar la coordinación entre la losa y el resto de los componentes, estos se dispusieron siguiendo un mallado con el mismo espaciado que el de la losa. Todo esto se planteó al inicio del diseño consiguiendo un alto grado de estandarización en todos los detalles y reduciendo el número de unidades distintas de losa prefabricada. La Figura 13 muestra todas las unidades tipo usadas para formar el tablero.

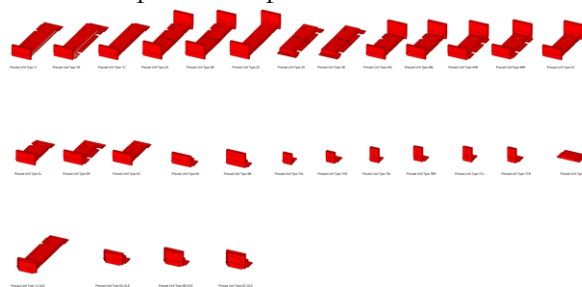


Figura 13. Unidades de losa prefabricada.

El transporte, por carretera, de las unidades de losa limitaba el tamaño máximo posible que éstas podían adoptar. La elección de un ancho de 2.5 metros permite el transporte de las losas sin vehículos de acompañamiento y sin permiso de cargas especiales, lo cual supondría un sobrecoste adicional a considerar en el proyecto.

La división del tablero en elementos prefabricados requiere de un cuidadoso diseño de las uniones. Así, debido al especial ancho del tablero, se requiere de tres tipos de uniones.

- Unión longitudinal viga-losa.
- Unión transversal losa-losa.
- Unión longitudinal losa-losa.

La conexión de la losa con las vigas para activar la acción mixta se realiza a través de la disposición de grupos de conectadores soldados al ala superior de la viga.

La conexión transversal entre las losas prefabricadas se consigue a través del hormigonado de una junta sobre un rebajamiento de la losa dispuesto a fin de eliminar la necesidad de usar encofrados durante esta operación. Además, las armaduras de las losas se colocan con un pequeño ángulo, el cual facilita su solape.

Finalmente, una junta longitudinal debe ejecutarse entre losas, uniendo el espacio entre cada pareja de vigas. Un rebajamiento de la losa junto con un cuidadoso detallado de las armaduras permite su ejecución sin necesidad de encofrados lo cual facilita su construcción sobre los vanos principales.

3.3 Diseño del acero

Es frecuente encontrar puentes ferroviarios portando una o dos vías, lo cual suele resolverse de forma eficiente con un par de vigas, solución bijácena. Así pues, cada una de esas vigas se disponen centradas bajo las vías para reducir esfuerzos transversales y de torsión.

En el estudio de alternativas llevado a cabo en el diseño de este viaducto, que porta 4 vías, se analizaron y compararon distintas soluciones que variaban el número de vigas bajo el tablero, desde 8 hasta las 4 vigas propuestas en la solución final. Se comprobó que la disposición de 4 vigas optimizaba la distribución de esfuerzos puesto que, debido a la centralidad de las vigas respecto a las vías, se evitan los efectos comentados anteriormente, además de poder

aprovechar los coeficientes de reducción aplicables a la carga simultánea en múltiples vías.

De esta forma, la solución empleada trata de encontrar un equilibrio entre el número y las dimensiones requeridas de las vigas, junto al espesor de la losa, para soportar los esfuerzos adicionales que se obtienen según se reduce el número de vigas portantes.

La solución bijácena es empleada en los vanos 1 y 2 del viaducto, puesto que los tableros portan una o dos vías únicamente, mostrándose esta alternativa como la más económica.

3.4 Diafragmas

Las fases iniciales de diseño contemplaban un tablero con apoyos de tipo esférico en pilas y estribos. En cada módulo en que se subdivide el viaducto, se formaba un punto fijo a través del bloqueo del movimiento longitudinal de los apoyos en una de sus pilas centrales. Esta solución requiere de un elevado número de apoyos, con su consiguiente mantenimiento, además de producir unas deformaciones longitudinales a nivel de tablero que requería del uso de juntas en los carriles de gran magnitud y con alto coste de mantenimiento. Así pues, la eliminación de las juntas de carril se consideró como un asunto clave en el diseño.

El análisis desarrollado mostró que la rigidez de las pilas debía aumentar para satisfacer las limitaciones de deformación longitudinal impuestas por los códigos.

Por tanto, se procedió a empotrar el tablero y pilas intermedias de cada módulo, a través del hormigonado de diafragmas. Se consiguió así reducir en gran medida el número de apoyos necesarios y limitar el desplazamiento horizontal del viaducto, ya que el conjunto subestructura-superestructura resulta de mayor rigidez.

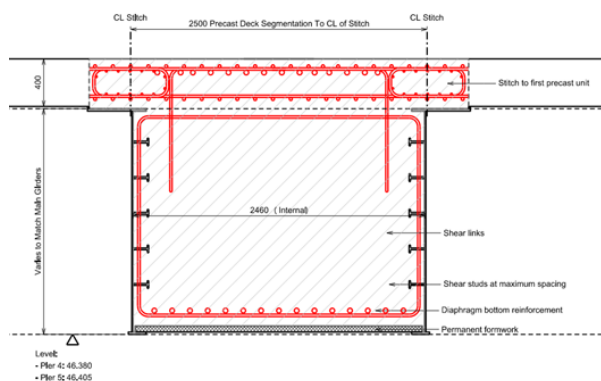


Figura 14. Esquema estructural de diafragmas.

Se consiguió, además, una reducción de esfuerzos en cimentación, lo cual permitió adoptar un número menor de pilotes bajo las pilas. De esta forma, se consiguió una mayor optimización de la estructura debido a un mayor aprovechamiento de las capacidades resistentes de cada elemento presente en el viaducto.

3.5 Automatización del diseño

La automatización de las tareas de análisis y comprobación del diseño ha sido fundamental en el proceso de optimización y detallado del viaducto.

La información relativa a la geometría y al diseño quedo coordinada desde el inicio del proyecto gracias al uso de una base de datos única. Esto facilitó enormemente la transferencia de los sucesivos análisis a los planos y al modelo BIM de la estructura. En la Figura 15 puede observarse el workflow seguido para su diseño.

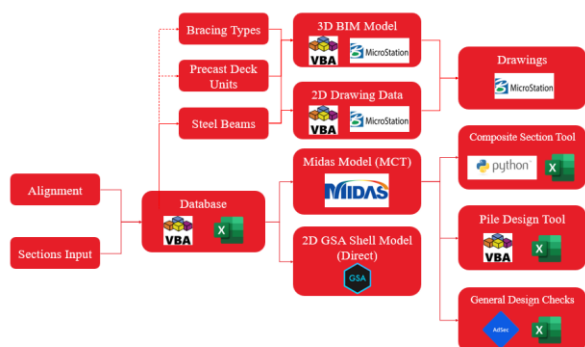


Figura 15. Workflow para diseño del viaducto.

Para permitir el empleo eficiente de las herramientas de diseño, se programaron varias

tareas que recogen los valores de la base de datos, realizan el cálculo de secciones, crean datos de entrada para los programa de análisis estructural y el vuelcan los resultados a la base de datos para su actualización automática en planos y modelos 3D. Debido a la gran cantidad de información disponible y al bajo coste de análisis, se pudo aumentar la precisión de las comprobaciones estructurales, las cuales se ejecutaron en secciones cada 1.25 metros, permitiendo una gran optimización.

Debido a la gran cantidad de datos obtenidos, se decidió automatizar incluso la presentación de resultados para su mayor facilidad de interpretación.

La base de datos fue programada para ser capaz de producir un modelo 3D/BIM de la estructura usando la geometría recogida en sí misma. Esta capacidad fue especialmente útil para el modelado de las vigas, puesto que presentan una doble curvatura, debido a su geometría en planta y a la variación del canto. Con la automatización de este proceso, se consiguió reducir el tiempo necesario para esta tarea de varios días a unos minutos.

El análisis de pandeo de las vigas, considerando el proceso constructivo, es normalmente una tarea bastante costosa puesto que hay que verificar, modo a modo, cada una de las distintas disposiciones de las vigas y sus variaciones de carga. La automatización del proceso de identificación de modos de pandeo global consistió en crear una serie evolutiva de modelos de placas, recreando las distintas fases de construcción, para realizar su análisis de pandeo. El programa, usando un parámetro que proporciona GSA (Oasys), relativo al porcentaje de masa involucrada en cada modo, era capaz de encontrar los modos globales de pandeo del modelo e identificar de forma eficiente la carga crítica de pandeo que posteriormente era usada para la comprobación de las secciones.

3.6 Estandarización del diseño

Para facilitar el diseño y la construcción de la estructura, se ha seguido una filosofía por la cual la mayoría de los elementos son estandarizados y usados en múltiples localizaciones.

Estos componentes fueron modelados en 3D y guardados como archivos individuales, los cuales eran insertados por los programas desarrollados e introducidos en el modelo global de la estructura.

Esta metodología permitió un alto grado de estandarización y llevó al equipo a implementar un proceso, por el cual, la repetición de detalles era una prioridad para la reducción de costes.

Los siguientes componentes fueron desarrollados de la forma descrita:

- Arriostramiento de las vigas
- Grupos de conectadores.
- Losa prefabricada
- Uniones metálicas
- Rigidizadores

Esta metodología de diseño fue posible debido a la subdivisión de la estructura en secciones cada 2.5 metros, dentro de la cual, los vanos, apoyos, arriostramientos, losa, etc. encajan.

4. Procedimiento constructivo

La construcción del viaducto empieza con los trabajos de desvío de servicios, instalación de tablestacas y formación de plataforma en las márgenes del río Calder. Una vez concluidos estos trabajos, se puede proceder a la perforación y hormigonado de pilotes para pilas y estribos. En los estribos del Oeste, los pilotes son hincados, debido a la presencia de amianto en el suelo. En total deberán ejecutarse un total de 189 pilotes perforados de 1.2 m de diámetro usando la técnica de hormigonado continuo CFA y 320 hincados de sección 0.4x0.4m.

Una vez concluidos los trabajos de pilotado, se procede a realizar el descabezado de los pilotes y a la ejecución de los encepados. Esta operación completa los trabajos de cimentación.



Figura 16. Fase de construcción – Hormigonado de encepados.

Se continúa con la construcción de los muros de estribos y las columnas de las pilas, a las cuales se atan las torres de apoyo temporal de las vigas.

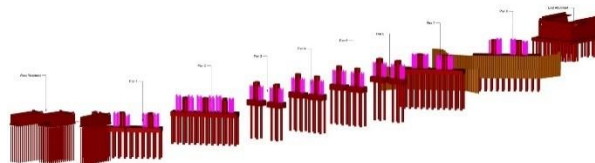


Figura 17. Fase de construcción – Colocación de apoyos temporales.

Los trabajos siguen con el levantamiento de las vigas metálicas. La secuencia permite la colocación de las vigas individualmente a través de su fijación a los apoyos temporales. Posteriormente se formaliza el arriostramiento transversal formando así una pareja estable de vigas. Finalmente, las secciones centrales del vano son levantadas e instaladas como una pareja. Esta secuencia se repite en los tres módulos conduciendo a la finalización de los trabajos de montaje de las vigas metálicas.

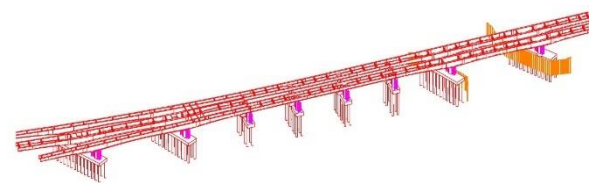


Figura 18. Fase de construcción – Montado de acero.

La construcción continúa con la ejecución de los diafragmas de pilas. Para ello, se colocan las losas del tablero adyacentes a las pilas, puesto que el armado de la losa debe conectarse con el del diafragma y, posteriormente, se vierte el hormigón dentro del espacio creado entre las almas de las vigas y los diafragmas metálicos que se usan como encofrado permanente. Tras el

endurecimiento de los diafragmas, los apoyos temporales pueden retirarse.

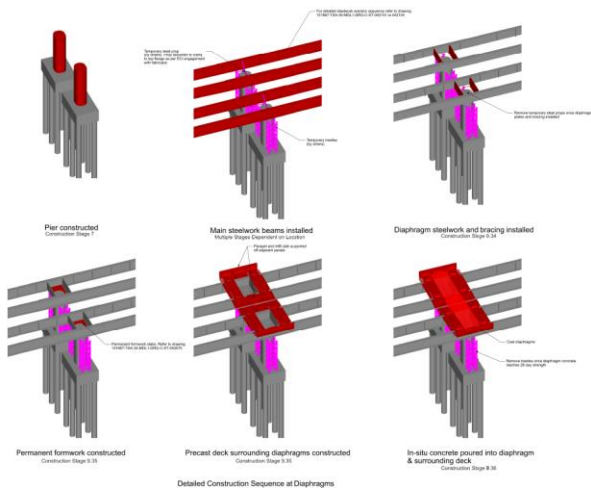


Figura 19. Fase de construcción - Ejecución de diafragmas.

La ejecución de la estructura del viaducto concluye con la instalación de las losas prefabricadas del tablero.

Teniendo en cuenta cada uno de los módulos en que se subdivide la estructura, las losas se instalan en el vano central en una primera fase para seguir con su instalación en los otros dos vanos. En todos los casos, se colocan siguiendo la dirección marcada por pila central – centro de vano y pila central-estribo.

La ejecución de las conexiones entre pernos y losa se ejecutará de forma alternativa en cada pareja de vigas y finalmente se ejecuta la zona central del tablero, la cual se aprovecha para la colocación del sistema de drenaje.

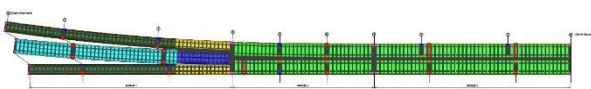


Figura 20. Esquema de colocación de losas prefabricadas.



Figura 21. Ejecución completa del viaducto.

5. Ficha técnica

- Propiedad: Network Rail
- Diseñador del proyecto: Arup: Francisco Javier Rodríguez Salas, Chris Jackson
- Contratista: BAM
- Asistencia técnica en obra: Arup

Referencias

- [1] Rail Atlas of Great Britain and Ireland, Stuart K. Baker, Crecy Publishing, Reino Unido, 1988.
- [2] Designers' guide to EN 1994-2 Eurocode 4: Design of Steel and Composite Structures, C. R. Hendy, R. P. Johnson, Thomas Telford, Reino Unido, 2006.
- [3] UIC 774 3R, UIC, Francia, 2001.
- [4] Eurocode 4 Design of composite steel and concrete structures, C. R. Hendy, R. P. Johnson, BSI, Reino Unido, 2008.
- [5] Composite Structures of Steel and Concrete, R. P. Johnson, Blackwell, Reino Unido, 2004.