Disponible en ScienceDirect
www.sciencedirect.com
Hormigón y Acero 65 (2014) 233–245
www.elsevierciencia.com/hya
www.e-ache.com

Viaducto de Trapagaran

Trapagaran Viaduct

Jordi Revoltós Fort [a,*], José Antonio Llombart Jaques [a] y Juliana Fernández Vega [b]

[a] *Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Estudio de Ingeniería y Proyectos (EIPSA), Madrid, España*
[b] *Ingeniera Civil, Estudio de Ingeniería y Proyectos (EIPSA), Madrid, España*

Recibido el 23 de diciembre de 2013; aceptado el 27 de mayo de 2014
Disponible en Internet el 19 de febrero de 2015

Resumen

El viaducto de Trapagaran se divide en tres partes: viaducto principal, viaducto de acceso y zona de transición. El viaducto principal tiene una longitud de 670 m y vanos de 125 m. Consta de una sección cajón de hormigón pretensado de 35,60 m de ancho y canto de 5,90 m. El viaducto de acceso está formado por cuatro estructuras separadas, con luces que alcanzan los 86 m. Cada uno de los tableros está compuesto por una viga cajón mixta de 3,50 m de canto. Los cuatro ramales convergen en la zona de transición que presenta una geometría compleja. La zona de transición es una estructura de hormigón pretensado de unos 60 m de luz ejecutada sobre cimbra.
© 2014 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Palabras clave: Avance en voladizo; Sección evolutiva; Construcción mixta; Geometría compleja; Cimbra

Abstract

The Trapagaran viaduct was divided into three parts: main viaduct, access viaduct and transition area. The main viaduct is 670 m long with 125 m spans. It is formed by a 35.60 m wide, 5.90 m deep prestressed concrete box cross section. The access viaduct is formed by four separate structures with spans reaching 86 m. Each of the decks is made up of a composite 3.50 m deep box girder. The four branches converge in the transition area displaying complex geometry. The transition area is a prestressed concrete structure of approximately 60 m in span executed on falsework.
© 2014 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Keywords: Cantilever method; Evolutive cross section; Composite construction; Complex geometry; Falsework

1. Introducción

El viaducto de Trapagaran se integra en las obras de la Variante Sur Metropolitana (VSM) de Bilbao y sirve de elemento de conexión entre el enlace con la A-8 y el tramo de inicio del tronco de la VSM. Dadas las dimensiones y características del viaducto, así como los obstáculos inferiores sobre los que cruza, se trata de una obra singular para la que se ha propuesto una solución adecuada a su trascendencia estructural y estética y a su integración en el entorno.

2. Condicionantes de diseño

Los condicionantes de diseño para el viaducto de Trapagaran son múltiples y abarcan desde el trazado mismo de la VSM, a las afecciones a edificaciones y a viales existentes, a la estética de la estructura, al plazo de ejecución y costes. En los apartados siguientes se describen detalladamente dichos condicionantes.

2.1. Trazado

El viaducto, de 995 m de longitud, se inicia en el enlace de Trapagaran, recogiendo el tronco de la autopista y diversos ramales del mismo, para ascender con una sola plataforma de gran dimensión por encima del barrio de Trapagaran-Causo hacia el

Véase contenido relacionado en DOI:
http://dx.doi.org/10.1016/j.hya.2014.10.003
* Autor para correspondencia.
Correo electrónico: jrevoltos@eipsa.net (J. Revoltós Fort).

http://dx.doi.org/10.1016/j.hya.2014.10.002
0439-5689/© 2014 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026



Figura 1. Imagen virtual de la zona del viaducto.

área de peaje. Este trazado genera 3 partes diferenciadas para el viaducto (fig. 1):

- El viaducto de acceso, donde cada uno de los 4 ramales del enlace converge en tableros distintos.
- El tramo de transición, situado entre el viaducto principal y el tramo de acceso, donde dichos ramales confluyen para juntarse en un único tablero.
- El viaducto principal, donde las 3 calzadas distintas de la VSM discurren en un único tablero de gran anchura.

En la zona del viaducto principal, la VSM discurre en curva y contracurva, encadenándose hasta 7 alineaciones distintas dentro de la estructura. Las curvaturas dispuestas tienen unos radios mínimos de 500 m. Debido a la existencia de fuertes radios de curvatura, el peralte transversal alcanza en algunas zonas el 8%. La altura máxima del tablero sobre el terreno natural es de unos 42 m. El tronco de la VSM, sobre el viaducto principal, consta de 3 calzadas distintas: 2 descendentes de 9,50 m y una ascendente de 13,50 m, por lo que el ancho total del tablero alcanza los 35,60 m, incluyendo barreras y pretiles.

En el viaducto de acceso, los cruces de los distintos ramales sobre los viales de la A-8 discurren en curva y con un fuerte esviaje. Además, la existencia de tráfico en la A-8, que pasa por debajo del tablero del viaducto, ha obligado a escoger una adecuada tipología estructural del conjunto, de tal forma que la construcción afectase lo menos posible a dicho tráfico.

2.2. *Afecciones*

En la zona del viaducto, la VSM debe salvar sucesivamente la línea de ferrocarril Bilbao-Muskiz y las carreteras BI-745, BI-3746 y N-634. Además, el viaducto discurre por una zona industrial. Por lo tanto, se han ubicado las pilas tendiendo a preservar al máximo las edificaciones existentes. Se ha escogido un procedimiento constructivo apropiado para minimizar, en la medida de lo posible, cualquier afección a las actividades de dichas industrias. Teniendo en cuenta la existencia de los obstáculos inferiores de la zona, en el diseño del viaducto principal se ha estimado conveniente disponer vanos de 125 m de luz.

2.3. *Estética*

La altura a la que discurre, sus dimensiones y su cercanía a la A-8 hacen que su nivel de exposición visual sea muy elevado, por lo que se ha requerido el diseño de un viaducto elegante, integrado en el entorno, a la vez que se ha evitado la disposición de estructuras pesadas, impactantes o intrusivas.

2.4. *Construcción*

Debido a los múltiples obstáculos inferiores que se han enumerado anteriormente, ya sean viales o edificaciones, la construcción del tablero debía efectuarse, en la mayor parte del viaducto, desde la propia estructura. El sistema constructivo tenía que ser el adecuado a los rangos de luces dispuestos en el viaducto principal, y a las curvaturas variables en planta.

Por último, la construcción de todo el viaducto debía hacerse en un plazo no superior a los 32 meses, para no comprometer la fecha de inauguración de toda la VSM.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

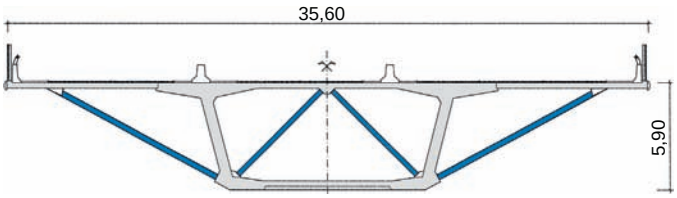


Figura 2. Sección transversal del tablero.

2.5. Economía

Si bien se pretendía diseñar un viaducto elegante y estético, el coste final de la estructura debía estar dentro de los ratios razonables por metro cuadrado que se manejan para viaductos de esta categoría.

3. Criterios iniciales del diseño

El primer criterio inicial de diseño está basado en la voluntad de minimizar las afecciones a las edificaciones y empresas ubicadas en la zona industrial. Ello ha motivado la elección de un tablero único (fig. 2), de 35,60 m de ancho, apoyado en pilas de un solo fuste para el viaducto principal. La magnitud de dicho ancho sobrepasa con mucho los valores usuales para viaductos de tablero único con 3 carriles por calzada cuyo valor se establece normalmente en el entorno de los 26 m (ver referencias [1,2,3]). La sección de estos tableros se define por lo general con un núcleo o cajón resistente y por unos amplios voladizos laterales apoyados en jabalcones o en costillas.

Los anchos que superan los 30 m se suelen resolver para viaductos convencionales mediante la yuxtaposición de distintos nervios o cajones equivalentes a un ancho de tablero normal de 10 o 12 m. Normalmente, estos anchos se corresponden a grandes viaductos colgantes o atirantados cuya sustentación se efectúa en los 2 bordes del tablero. Dicha sustentación lateral obliga a definir una sección transversal formada por una celosía o por un cajón multicelular. Es por ello que, en fase de proyecto, la elección para el tablero de un esquema tipo viga con un solo nervio suponía un reto de partida importante.

Entre las referencias clásicas de viaductos tipo viga, de hormigón pretensado de gran ancho resueltos con un solo nervio, cabe citar el viaducto de Kochertal, de 31,00 m, y el de Felsenau, de 26,20 m (tabla 1).

El segundo criterio inicial adoptado para el diseño del viaducto fue que, a pesar de su complejidad geométrica y de la variabilidad que el trazado imponía, no se debía diseñar cada parte de forma separada e independiente, sino que el conjunto debía mostrar una imagen con una cierta unidad formal a lo largo de todo el viaducto.

Tabla 1
Tableros anchos en viaductos tipo viga con cajón monocelular de hormigón pretensado

Viaducto	Ancho (m)	Luz (m)	Año
IV cinturón Zaragoza [1]	26,60	92,00	2008
Montabliz [2]	26,10	175,00	2008
Kochertal [4]	31,00	138,00	1979
Felsenau [3]	26,20	156,00	1975
Trapagaran	35,60	125,00	2010

4. Tablero del viaducto principal

4.1. Descripción general

El tablero del viaducto principal es una viga continua de 670 m de longitud, dividida en 4 vanos centrales de 125 m de luz y 2 extremos de 90 y 80 m.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el tablero tiene un ancho de 35,60 m y da cabida a 3 calzadas distintas: 2 ascendentes de 2 carriles y arcenes, de 9,50 m, y una descendente de 3 carriles y de 13,50 m de ancho. Entre ellas se disponen barreras rígidas de 0,60 m de ancho, mientras que en sus extremos se disponen pretiles de alta seguridad de 0,50 m de ancho. En la parte inicial, cerca de la zona de transición, se produce una ligera variación del ancho hasta alcanzar los 36,34 m, que se ha resuelto variando la longitud de los voladizos laterales.

La estructura del tablero se ha resuelto mediante la existencia de un solo cajón o núcleo resistente de hormigón pretensado que, con un canto constante de 5,90 m, se adapta perfectamente a las variaciones de curvatura y de peralte. El cajón central tiene un ancho superior de 19,00 m, completado por unos voladizos laterales apoyados en jabalcones transversales (fig. 3). Las almas del cajón tienen un espesor de 0,60 m en la mayor parte de los vanos y aumentan hasta 0,90 m cerca de las zonas de apoyo en pilas.

El uso de jabalcones laterales no solo permite alcanzar grandes voladizos laterales, sino que crea unos planos laterales inclinados que disimulan la magnitud del canto total del tablero. Además, los jabalcones exteriores establecen una triangulación de la sección transversal que tiene continuidad dentro del cajón con otros tubos metálicos. Dicha triangulación permite acortar las luces transversales de la tabla superior y facilita la disposición de una losa inferior de reducido espesor.

La construcción del tablero se realiza en 2 fases. En la primera fase se construye el núcleo de la sección (de 19,0 m de ancho) por voladizos sucesivos, avanzando simétricamente desde las pilas (figs. 4 y 5). Únicamente los 30 primeros metros y los últimos 20 m de los vanos extremos respectivos del tablero principal



Figura 3. Imagen virtual de la sección del viaducto principal.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026





Figuras 4 y 5. Vistas de la construcción del núcleo por voladizos sucesivos.

se han construido con cimbra apoyada en el terreno. Todas las dovelas tienen una longitud de 5,00 m, siguiendo el ritmo que marcan los jabalcones laterales.

A pesar de disponer una luz de 125 m y de usar el método de voladizos sucesivos, se ha dispuesto canto constante con el objeto de ofrecer una buena visión del viaducto, mucho mejor adaptada a los cambios de curvatura y de peraltes del tramo que los que presentaría una solución típica de canto variable.

La parte inferior del núcleo tiene unas nervaduras transversales, coincidentes con los frentes de dovela, a modo de prolongación del apoyo de los jabalcones, que proporcionan un aspecto de artesonado de la cara inferior del tablero. El espesor de la tabla inferior es de 0,30 m y aumenta hasta 1,20 m en la sección de pilas. En todo momento se ha buscado privilegiar el aspecto inferior de viaducto, puesto que las visuales que se tienen de él son principalmente desde la zona industrial, es decir, desde abajo (fig. 6).

Una vez completada la viga continua que constituye el núcleo, se montan a ambos lados, mediante grúas que circulan sobre el propio tablero, los jabalcones laterales y las prelosas hasta alcanzar el ancho total de 35,60 m.



Figura 6. Vista general del viaducto principal.

4.2. *Pretensado*

El pretensado longitudinal del viaducto principal se descompone en 4 familias por la tabla superior y una por la tabla inferior (fig. 7). Las 3 primeras familias se disponen de acuerdo con las exigencias estructurales propias del avance en voladizo:

- La familia A está formada por 48 tendones de 25T15 por cada doble voladizo.
- La familia B es un refuerzo de 6 tendones de 37T15 dispuestos en las zonas de almas para las primeras dovelas.
- La familia C está formada por 20 tendones de 13T15 que anclan en la zona del nervio central que sirve de apoyo a los tubos interiores.

La cuarta familia de pretensado superior D está formada por 16 tendones de 24T15 que se anclan en resaltos dispuestos en la tabla superior en las 3 primeras dovelas. Siendo conscientes de la dificultad que a nivel de encofrado de la tabla superior suponen estos resaltos, se han diseñado todos en idéntica posición y con las mismas dimensiones.

Los tendones de la familia D se tesan una vez se han completado los 35,60 m de ancho de la sección transversal del tablero. En secciones evolutivas se suele disponer un pretensado exterior poligonal de continuidad, una vez se ha completado la construcción, con el fin de transmitir una compresión uniforme a toda la sección. Sin embargo, en este viaducto se ha optado por prescindir del pretensado exterior, debido a la existencia de jabalcones interiores inclinados que hubiese dificultado su trazado en gran medida.

El pretensado de continuidad de la tabla inferior está formado por 32 tendones de 19T15 en los vanos centrales y por 24 y 16 tendones de 19T15 en el primer y último vano, respectivamente.

El pretensado transversal está formado por 4 tendones adherentes de 4T15 por cada dovela de 5,00 m, que cubren todo el ancho del tablero. Tienen vaina plana y sus anclajes están colocados en las prelosas prefabricadas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

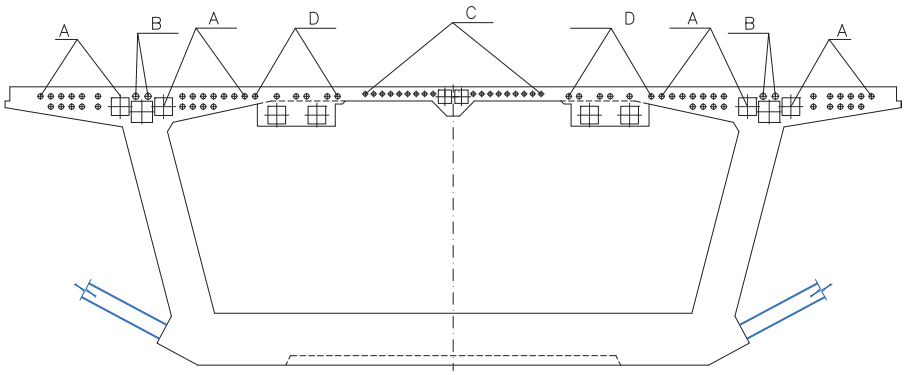


Figura 7. Pretensado en viaducto principal. Sección en frente de dovela cero.

Los tendones de pretensado con vainas planas se utilizan frecuentemente en forjados de edificación, debido a que aúnan las ventajas del pretensado adherente y las reducidas dimensiones verticales de los monotorones no adherentes. En el caso del viaducto de Trapagaran, debido al carácter evolutivo de la sección transversal, resultaba apropiada la colocación de dichos tendones, si bien sin enfilar en primera fase, contrariamente a lo que ocurre en edificación. Sabedores de la fragilidad de las vainas planas, muy sensibles a las pisadas y a los impactos susceptibles de producirse durante las labores de hormigonado, estas se montaron en obra con 2 redondos de respaldo de 20 mm y con 4 torones de sacrificio más cortos y pre-enfilados que se usaban de una dovela a otra. Estas medidas preservaron en gran parte la integridad de las vainas. Sin embargo, a pesar de ello se produjeron algunos daños que obligaron a reparar las vainas que se habían obturado o aplastado, con las consiguientes operaciones de picado de la losa. De la experiencia se deduce que es preferible aumentar unos pocos centímetros los espesores de las losas y usar tendones con vainas circulares.

4.3. *Construcción del núcleo*

La construcción del núcleo se inició por la ejecución de las dovelas cero sobre pilas, cuya longitud es de 10 m. Para ello se emplearon unas consolas que se apoyaban en unos cajeados dejados en cabeza de pila (fig. 8). El plazo de ejecución de estas dovelas fue de 6-7 semanas.

Para ejecutar los voladizos se emplearon 3 parejas de carros de avance de 350 t de capacidad. Normalmente se obtuvo un rendimiento de un par de dovelas a la semana por pareja de carros. Sin embargo, en épocas del año favorables a nivel climatológico, se alcanzaron rendimientos de 3 pares de dovelas cada 2 semanas por pareja de carros. Para la ejecución de las dovelas de cierre se necesitaron de 2 a 3 semanas.

Las dovelas se construyeron sin los jabalcones interiores. Estos se colocaron posteriormente para no dificultar las maniobras de los carros de avance. Para ello, la losa superior del cajón se diseñó con la capacidad resistente suficiente a flexión para soportar las acciones de peso propio y de sobrecargas de construcción con la luz transversal determinada por la distancia entre almas del cajón.

4.4. *Voladizos laterales*

4.4.1. *Jabalcones exteriores*

Los jabalcones exteriores son unos pórticos metálicos que están recubiertos exteriormente por una chapa de 6 mm de espesor con una abertura en forma de parábola para mejorar su aspecto estético (figs. 9, 10 y 11). Se decidió expresamente que fuesen metálicos para conseguir, con su textura y color, un efecto de unidad formal a lo largo de todo el viaducto, incluyendo viaducto de transición y viaducto de acceso. Además, en la zona del viaducto principal, su contraste con el hormigón rompe la monotonía de un ancho excesivo y aligera la vista inferior del tablero. Los jabalcones tienen un esquema estructural de pórtico y se disponen por módulos de 5,00 m de ancho y 10,60 m de largo. Sus jambas están compuestas por tubos cuadrados huecos de $300 \times 300 \times 12$ mm separados 4,40 m entre sí. El dintel es una viga con forma triangular que queda oculta por el plano que genera la chapa decorativa. No se ha establecido continuidad entre los dinteles de pórticos consecutivos.

Para industrializar su producción y facilitar su replanteo, todos los pórticos tienen el mismo intereje a lo largo del viaducto, independientemente de que estén en el interior o en el exterior de la curva. Es por ello por lo que la chapa decorativa tiene dimensiones variables con el fin de conseguir una ranura



Figura 8. Plataformas de trabajo de dovela cero.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026



Figura 9. Viaducto principal. Vista inferior de los jabalcones durante montaje.



Figura 12. Viaducto principal. Vista inferior.





Figuras 10 y 11. Viaducto principal. Vista lateral y frontal de los jabalcones.

visual entre jabalcones de dimensiones semejantes a lo largo de todo el puente.

En las zonas de peralte constante las caras inferiores de las jambas y del travesaño están en un mismo plano. Sin embargo, en las zonas de transición de peralte se ha dispuesto una ligera distorsión de dicho marco desplazando el extremo de una de las patas 40 mm con respecto de la otra. La inserción de un elemento plano de estas dimensiones es geométricamente incompatible con una variación de peralte. En caso de no haberse dispuesto dicha distorsión, se hubiese observado un tecleo entre los bordes superiores de pórticos de jabalcones contiguos.

Cabe destacar que la consideración de estas medidas, unidas a la eficaz labor de definición geométrica del taller metálico y a la meticulosa colocación por parte del equipo de obra, ha permitido un acabado excelente (fig. 12).

La conexión entre jabalcones y la losa superior se ha efectuado mediante pernos tipo Nelson. Estos pernos se han replanteado de forma que librasen los nervios y las armaduras de las prelosas.

4.4.2. Sistema de sujeción de jabalcones

Durante la construcción, cada pórtico se sostiene provisionalmente, en su parte superior, mediante 2 barras pasivas que se anclan en unos cartabones metálicos y en unas piezas metálicas cosidas a unos tacos de hormigón que sobresalen del núcleo del tablero (fig. 13). Las barras son de acero recocido de calidad F-1252, de 36 mm de diámetro. Dichas barras se han separado de la fibra superior del tablero para facilitar la colocación de las prelosas (fig. 14). Las barras de sujeción, así como las piezas metálicas de unión al tablero, se han ido reaprovechado a lo largo de la construcción de la totalidad del tablero.

En su parte inferior, los jabalcones disponen de un dado de metal que se introduce en un cuadrado hueco dejado en el núcleo del cajón. Para asegurar un buen contacto en la parte inferior de las patas, la chapa de apoyo se unta de resina epoxi poco antes de su colocación.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026



Figura 13. Viaducto principal. Tacos de sujeción en núcleo.

4.4.3. Prelosas

Sobre cada jabalcón, y sobre una pequeña ménsula dejada en el núcleo, apoyan transversalmente 2 prelosas nervadas de 2,50 m de ancho y 8,40 m de largo. Las prelosas llevan incorporados los anclajes del pretensado transversal y todos los elementos embebidos necesarios para la seguridad durante la construcción.

La distancia vertical dejada entre los jabalcones y las barras de sujeción provisional, así como un análisis previo de todas las posibles interferencias geométricas, ha permitido una rápida y sencilla colocación de las prelosas.

Una vez ferrallada y hormigonada la losa de los voladizos laterales, se tesan los tendones de pretensado transversal constituidos por 4 unidades de 4T15 por pórtico. Dichos tendones cubren todo el ancho del tablero. El espesor final de la losa de voladizos es de 0,30 m.

Una vez realizado el pretensado transversal, se destensan las barras de sujeción, se cortan los cartabones metálicos que sobresalen del jabalcón y se demuelen los tacos de hormigón dispuestos en el núcleo del tablero.

4.4.4. Montaje y rendimientos

El montaje de la totalidad de los jabalcones se ha efectuado con una sola grúa y con la ayuda de un camión provisto con una plataforma articulada, que ha permitido el acceso a la base del cajón. Ambos vehículos han circulado sobre el núcleo del tablero, previamente construido, con lo que esta segunda fase no ha generado apenas afecciones al tráfico inferior ni a las actividades de las industrias vecinas (fig. 15).



Figura 14. Viaducto principal. Prelosas colocadas.



Figura 15. Viaducto principal. Montaje de jabalcones.

Para la colocación de los jabalcones se ha alcanzado un rendimiento de 8 unidades al día, mientras que para las prelosas se han llegado a colocar entre 30 y 40 unidades por día.

El hormigonado de la losa de voladizos se ha realizado en tramos de 40 m de longitud una vez dispuesto el ferrallado y enfilados los tendones de pretensado transversal.

5. Tablero de viaducto de acceso

En el viaducto de acceso, los cruces de los distintos ramales sobre los viales de la A-8 se producen en curva y con un fuerte esviaje, lo cual obliga a disponer luces superiores a los 70 m. Por otro lado, el tráfico existente en la A-8 ha motivado la elección de una tipología de tablero cuya construcción afectase lo menos posible al tráfico de la autopista en servicio. Es por ello que se ha optado por una tipología de tableros mixtos para esta zona.

El viaducto de acceso está formado por 4 ramales distintos con la siguiente relación de anchos y luces:

- Ramal A. Ancho = var. 11,80 a 17,40 m. Luces = 56,71 + 79,23 + 76,98 + 59,25.
- Ramal B. Ancho = 11,50 m. Luces = 37,99 + 77,04 + 52,26 + 59,80.
- Ramal C. Ancho = 11,50 m. Luces = 42,02 + 86,43 + 43,47 + 53,50 + 60,25.
- Ramal D. Ancho = 7,80 m. Luces = 54,57 + 61,10.

Para los 4 ramales de las luces indicadas, la correspondiente al último vano y los 12 m anteriores pertenecen a la denominada

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

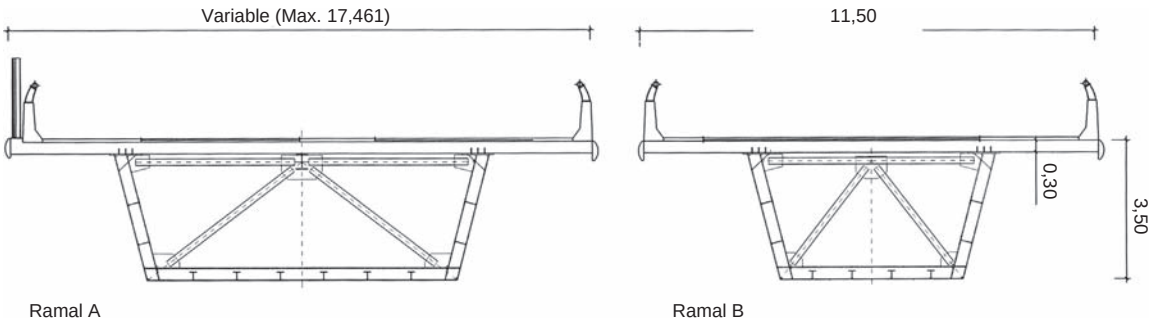


Figura 16. Viaducto de acceso. Sección de 2 ramales.

zona de transición. Cada uno de los tableros está compuesto por una sección cajón mixta de hormigón y acero. Todos los cajones metálicos tienen un canto de 3,20 m y una losa superior de hormigón armado de 0,30 m de espesor total, hormigonada in situ sobre prelosas (fig. 16). En el ramal A, que presenta una fuerte variación de ancho, se ha decidido, por razones estéticas, mantener el ancho del voladizo, aumentando por consiguiente la tabla inferior del cajón.

En los ramales B, C y D el montaje se pudo realizar sin tráfico inferior. En la figura 17 se pueden observar los cajones metálicos de los ramales B y C sobre castilletes provisionales. La disposición de dichos castilletes fue tal que permitió la puesta en servicio del tráfico de la A-8 sentido Bilbao antes de completar la sección transversal. Sin embargo, las operaciones de montaje del ramal A se han realizado en cortes nocturnos de la A-8 colocándose, con el fin de no disponer apoyos intermedios, tramos enteros de 76 m en una sola operación.

6. Tablero de zona de transición

6.1. Consideraciones previas

El viaducto de acceso está constituido por un conjunto de 4 ramales que confluyen en el tablero del viaducto principal en una zona de transición, cuyas peculiaridades más significativas se resumen a continuación:

- Geometría compleja en la confluencia de alineaciones distintas.
- Curvatura variable. Dos peraltes variables y distintos en la plataforma superior.
- Variación de ancho de tablero de 36,34 m al inicio del viaducto principal hasta 40,80 m en la sección de inicio de los ramales del viaducto de acceso.
- Variación de canto desde 5,90 m del viaducto principal a 3,50 m de los ramales de acceso.
- Cambio de un solo cajón con jabalcones y amplios voladizos laterales a 4 cajones independientes.
- Cambio de material resistente de hormigón pretensado a estructura mixta.

El diseño ha exigido un tratamiento especial tendente a mantener la armonía del conjunto y las cualidades estéticas, evitando variaciones bruscas en las formas fundamentales.

6.2. Geometría

El tablero en la zona de transición se ha resuelto con una sección multicelular de hormigón pretensado que parte de la pila 0 con la misma sección que en el viaducto principal, pero con un alma central añadida. El alma central se bifurca a un tercio del vano en 2 almas con el fin de disminuir la luz transversal de la tabla superior (fig. 18). El canto varía linealmente desde



Figura 17. Viaducto de acceso. Tramos metálicos de ramales B y C.

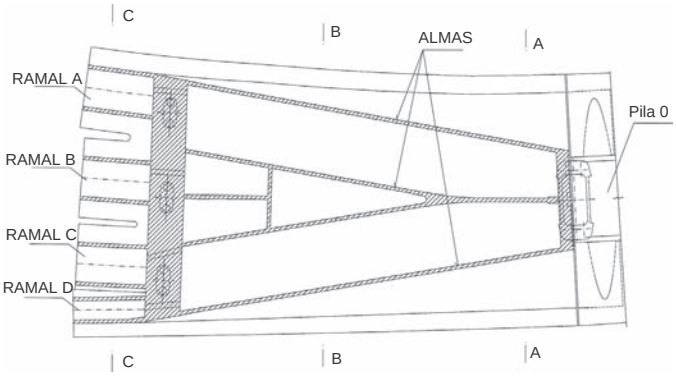


Figura 18. Viaducto zona de transición. Planta de las almas del tablero.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

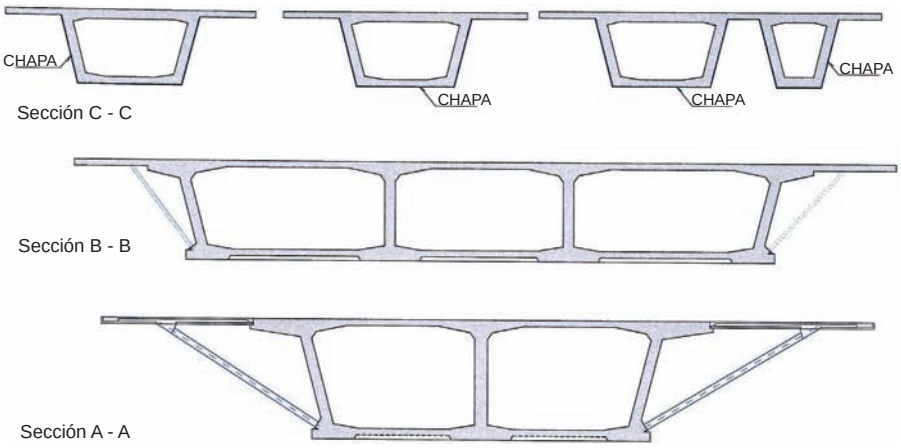


Figura 19. Viaducto zona de transición. Secciones fundamentales.

5,90 m sobre la pila 0 hasta 3,95 m en una sección situada a 5,00 m del eje de las pilas P-1A, P-1B y P-1C, estableciendo un salto brusco del canto de 0,45 m en su frente. A partir de dicha sección la vista inferior del tablero se muestra como 4 cajones y no como una tabla única.

Sobre las 3 pilas de la parte ancha se establece una riostra transversal muy potente que permite la conexión de la zona de transición de ancho variable con los 4 cajones de hormigón pretensado (fig. 19). Dichos cajones se definen con unas secciones de idénticos contornos a los de los cajones mixtos de los ramales de acceso a los que se conectan. Los cajones de hormigón pretensado de la zona de transición tienen sus almas y la tabla inferior recubiertas de una chapa metálica decorativa.

La parte inferior, con una geometría clara y contundente en forma de espátula (fig. 20), también presenta unas nervaduras a semejanza del viaducto principal, que van marcando los distintos nervios estructurales longitudinales dispuestos. Enlaza con continuidad estructural con los tableros de los ramales sin necesidad de juntas de dilatación. Tan solo se dispone una junta de calzada entre la zona de transición y el viaducto principal.

Debido a su complejidad geométrica y dado que el gálibo sobre el ferrocarril lo permitía, esta zona se ha ejecutado in situ sobre una cimbra apoyada en el suelo (figs. 21 y 22). Para construir el encofrado, se ha desarrollado un modelo 3D de todo el contorno de hormigón de la zona de transición. Dicho modelo se contrastó con el que desarrolló el subcontratista encargado de la cimbra.



Figura 20. Viaducto zona de transición. Imagen virtual.

6.3. *Pretensado*

El pretensado de la zona de transición está formado por 4 familias de 6 tendones de 24T15 que discurren por las almas principales con trazado parabólico. Las almas de los 4 cajones





Figuras 21 y 22. Vistas de la cimbra de la zona de transición.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026



Figura 23. Vista inferior de la zona de transición.



Figura 24. Vista de la dovela de conexión antes de ser izada.

independientes, que sirven de nexo con los cajones mixtos y que no tienen prolongación en alguna de las 4 almas del vano principal, también se pretensan con 3 tendones de 24T15. Adicionalmente, se disponen 14 tendones de 15T15 en la tabla inferior conjunta y 16, 4, 8 y 8 tendones de 19T15 en la tabla superior, en zona de momentos negativos, para los ramales A, B, C y D, respectivamente.

La riostra dispuesta sobre las 3 pilas se ha pretensado transversalmente con 20 tendones de 7T15.

6.4. Voladizos laterales

En la zona de transición, los jabalcones laterales se van alabeando desde su junta con el viaducto principal hasta fundirse con el alma exterior de la sección de los cajones de los ramales extremos. En los primeros metros desde la pila 0 siguen teniendo su función estructural; sin embargo, a medida que se acercan a las 3 pilas, los voladizos se reducen sensiblemente y pasan a ser meramente decorativos.

Cuando la dimensión del propio jabalcón disminuye, se elimina la abertura en forma de parábola dejando una superficie cerrada que permite una transición suave con las almas de los cajones metálicos (fig. 23).

Los jabalcones y las chapas decorativas de la zona de transición son piezas semejantes a las del viaducto principal, con el mismo sistema de sujeción provisional. Debido a la variación geométrica de esta zona, todos ellos son elementos espaciales que se han tenido que definir uno a uno.

6.5. Conexión con el viaducto de acceso

El punto de conexión entre los 4 cajones de hormigón pretensado y los correspondientes cajones mixtos se ha dispuesto a una distancia de 12 m del apoyo sobre las pilas, donde el momento flector es más reducido. De este modo, la conexión entre la parte metálica y la de hormigón es fundamentalmente a cortante. Dicha conexión se ha realizado a rasante mediante pernos tipo Nelson con una dovela metálica de 3,00 m de longitud que se ha posicionado sobre el encofrado de la zona de transición y sobre la que se ha hormigonado dicha zona (fig. 24). El resto de cada uno de los 4 tramos de cajón pretensado también se ha recubierto de una chapa decorativa conectada, pero sin función estructural.

7. Pilas

7.1. Pilas del viaducto principal

El hecho de haber dispuesto un solo núcleo resistente en el tablero del viaducto principal ha permitido definir unas pilas lo más recogidas posible, resultando mínimas sus afecciones. Las pilas son unos prismas huecos inscritos en un rectángulo de 8,50 × 5,10 m, con los paramentos laterales y frontales redondeados (fig. 25). Además, la parte central del paramento frontal se ha texturizado, obteniéndose unas pilas sencillas y elegantes, en consonancia con el tablero. Las pilas están rematadas con un cabecero de 8,40 m de altura, que presenta un ensanchamiento para recoger el núcleo del tablero sustentado en 2 aparatos de apoyo. En las pilas 2, 3 y 4 se han dispuesto apoyos de neopreno, mientras que en las pilas 1 y 5 se han colocado apoyos POT de 75.000 kN de capacidad cada uno (fig. 26).

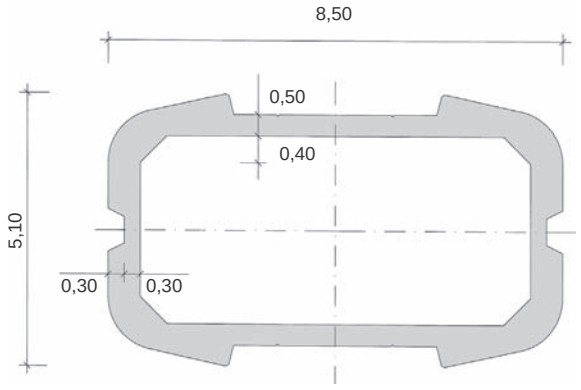


Figura 25. Sección de pilas de viaducto principal.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026



Figura 26. Imagen de los apoyos tipo POT.

La cimentación en las pilas 1, 3 y 5 es directa, con unas dimensiones de 22,00 × 19,00 × 3,50 m, mientras que en las pilas 2 y 4 se han dispuesto unos encepados de 19,00 × 19,00 × 4,00 m sobre 20 pilotes de 2,00 m de diámetro.

Las pilas se han construido con trepas de 5,00 m de altura. Los rendimientos han sido de 10 días por trepa, mientras que cada cabecero ha requerido unas 6 semanas para su ejecución.

Durante las fases de avance en voladizo y con el fin de asegurar la estabilidad de la estructura, se dispuso un anclaje provisional en cabeza de pilas, compuesto por unos tacos de hormigón cosidos con tendones de pretensado que aseguraban la estabilidad del voladizo (fig. 27). Con el fin de conseguir un coeficiente de seguridad frente a rotura adecuado, los tendones de cosido se inyectaron y los tacos de hormigón se armaron. En las últimas dovelas, y con el fin de no condicionar las dimensiones de la pila, se permitió un desequilibrio máximo de media dovela durante las labores de hormigonado.

La fijación provisional se hizo mediante un esquema clásico de dejar unos tubos metálicos curvos en el capitel de la pila. Una vez completada la dovela cero, se enfilaron los tendones de atado desde la parte superior del tablero. Este esquema evita dejar unos tendones con una altura semejante al canto del tablero, anclados en el capitel de las pilas, cuya estabilidad durante la construcción de la dovela cero resulta problemática.

Una vez el núcleo del tablero alcanzó una configuración estable, se procedió al corte de los tacos y tendones de cosido mediante hilo de diamante. Gracias a que el corte del empotramiento provisional se produce una vez el tablero es estable, es decir, sin dejar que transcurra tiempo para que los fenómenos de retracción y fluencia actúen, el momento en dicho empotramiento es reducido. Por dicho motivo, y gracias también al armado de los tacos, el corte se produjo fácilmente, sin brusquedades ni aparición de pequeños daños locales. Esta operación se realizó sin la ayuda de gatos o de cajas de arena. Cabe resaltar que en esta etapa la reacción vertical no alcanza ni la mitad del valor máximo para el cual están dimensionados los apoyos, con lo que la transferencia de la reacción vertical del taco al apoyo se produce sin problemas.

7.2. *Pilas del viaducto de acceso*

En los ramales de acceso, debido a su curvatura en planta y al escaso espacio disponible, las pilas son de sección circular maciza de 2,10 m de diámetro, con 4 ranuras que las estilizan (fig. 28).

7.3. *Pilas de la zona de transición*

Por su parte, la zona de transición se apoya en la pila 0 del viaducto principal y en 3 pilas prismáticas casi rectangulares con paramentos redondeados, que sirven de transición entre las formas de las pilas del viaducto principal y las pilas de los ramales de acceso. Sus dimensiones exteriores son de 2,20 × 4,40 m

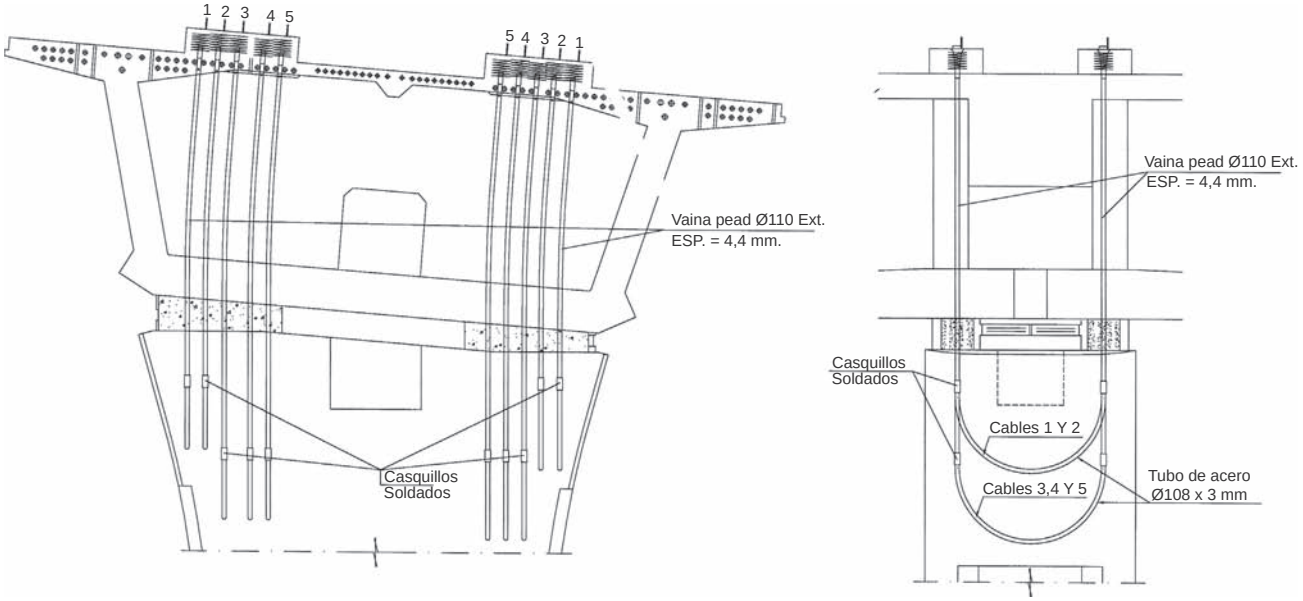


Figura 27. Anclaje provisonal en cabeza de pilas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026



Figura 28. Pilas de los ramales de acceso.



Figura 29. Pilas de la zona de transición.



Figura 31. Vista de los estribos de los ramales de acceso.

(fig. 29). Todas las pilas de los vanos de acceso y zona de transición tienen cimentación directa.

8. Estribos

El tablero principal descansa en su inicio en la pila 0, donde se dispone la junta de calzada con la zona de transición. En el otro extremo se apoya en el estribo 2 (fig. 30). Dicho estribo es un cargadero de grandes dimensiones que se apoya en 10 pilotes de 2,00 m de diámetro, que deben atravesar un relleno de nueva formación de 30 m de profundidad, ejecutado con el material extraído de los túneles de la VSM.

Dicho relleno tiene una gran variación de espesor en dirección transversal, lo cual ha motivado un detallado análisis en fase de proyecto para ver la evolución de sus movimientos transversales a lo largo del tiempo. Dicho análisis se realizó con y sin la consideración de los pilotes del cargadero. Del cálculo se dedujo la previsión de movimientos transversales de hasta 0,10 m en la parte superior del relleno contigua al cargadero. Es por ello que los pilotes del estribo 2 están fuertemente armados. Además, y con el fin de independizar en gran medida el funcionamiento del tablero de los movimientos del relleno, se han dispuesto apoyos de neopreno de gran espesor sobre el estribo 2. Por último, se dejaron inclinómetros con el fin de tener una medición a lo largo de los años de los movimientos longitudinales y transversales

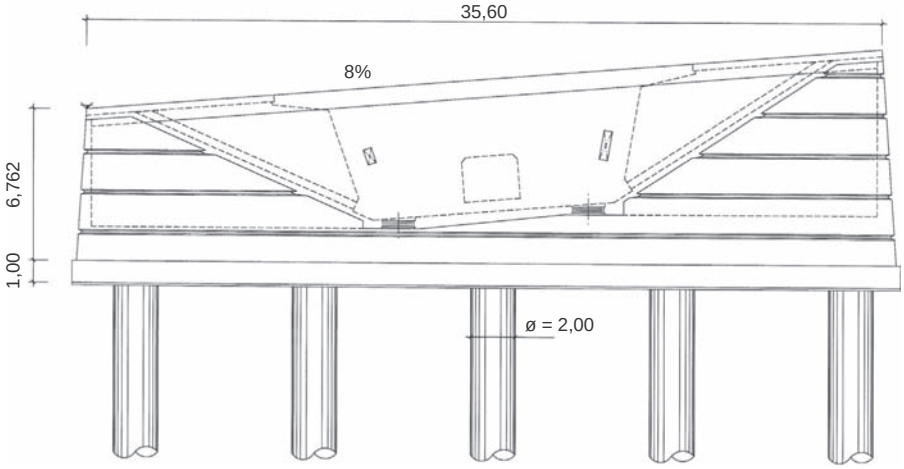


Figura 30. Alzado del estribo 2.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

del relleno. Hasta el momento, dichos movimientos están dentro de los valores previstos.

En el viaducto de acceso, los estribos, así como los muros del enlace, tienen unos paramentos inclinados con unas ranuras horizontales y con sus esquinas redondeadas al igual que las pilas principales, con el fin de conseguir una sensación de unidad formal (fig. 31).

9. Conclusiones

El viaducto de Trapagaran se caracteriza por la gran anchura del tablero. Se trata de una construcción singular por sus dimensiones y por las formas de los elementos estructurales que ofrecen una visión grata al observador. El estudio conjunto del diseño y del proceso constructivo en fase de proyecto ha repercutido en la realización de la obra en un espacio de tiempo extraordinariamente corto.

Cuantías

Viaducto principal:	
• Hormigón HP-50:	0,85 m^3/m^2
• Acero activo longitudinal:	32,2 kg/m^2
• Acero activo transversal:	3,65 kg/m^2
• Acero pasivo:	181 kg/m^3
Viaducto zona de transición:	
• Hormigón:	1,06 m^3/m^2
• Acero activo:	32,9 kg/m^2
• Acero pasivo:	240 kg/m^3
Viaducto de acceso:	
• Acero estructural S-355 J2G3:	265 kg/m^2

Relación de participantes

Propiedad	Diputación Foral de Bizkaia. Interbiak
Dirección de obra	
Director:	Íñigo Berriozábal Bilbao (Ingeniero de Caminos)
Ayudante Dirección:	Asensio Fernández (Ingeniero Técnico de Obras Públicas)
Asistencia técnica	
Empresa:	Prointec-Euskontrol-Eipsa
Jefe de Unidad:	Alex Ugalde (Prointec) (Ingeniero de Caminos). Roberto Martínez (Prointec) (Ingeniero de Caminos) Alex Ugalde (Prointec) (Ingeniero de Caminos). Roberto Martínez (Prointec) (Ingeniero de Caminos)
Proyecto	
Empresa:	Prointec-Euskontrol-Eipsa
Autor:	Jordi Revoltós Fort (Ingeniero de Caminos)
Empresa constructora	
Viaducto principal, Zona de transición y ramales B, C y D	
UTE Trapagaran:	Sobrino-Cycasa-Fonorte-Urssa
Gerente:	Jesús María Cruz Fernández (Sobrino) (Ingeniero de Caminos)
Jefe de obra:	Miguel Moreno Díaz (Cycasa) (Ingeniero de Caminos)
Ramal A:	
UTE Galindo:	Otaduy, Construcciones Murias, Pavisa
Empresas subcontratistas	
Sistema de pretensado:	Freyssinet
Taller metálico:	URSSA. ASCAMON (Ramal A)
Ejecución de tablero:	Construgomes
Cimbra zona transición:	RMD
Encofrado dovela cero:	ULMA
Presupuesto:	
Presupuesto de ejecución por contrata del tramo IIIA:	53,0 millones de euros
Presupuesto de ejecución material del viaducto:	31,7 millones de euros
Plazo de ejecución:	
32 meses (de febrero de 2008 a septiembre de 2010)	

Bibliografía

[1] J.A. Jaques Llombart, J. Revoltós Fort, J. Fernández, Viaducto sobre el Río Ebro en el Cuarto Cinturón de Zaragoza, Hormigón y Acero 256 (2009) 41–58.
[2] R. Villegas Gómez, M.J. Prieto Pantaleón, R. Revilla Angulo, P. Olazábal Herrero, Viaducto de Montabliz, Hormigón y Acero 248 (2008) 9–40.
[3] Menn, C. Prestressed Concrete Bridges (1990 Birkhäuser Verlag AG Basel), ISBN 3-7643-2414-7 p. 299 Felsenau Bridge.
[4] Leonhardt, F. Brücken/Bridges (4th edition), Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart (Germany), ISBN 3421025908, 1994; pp. 188-190 Kochertal.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

Available online at
ScienceDirect
www.sciencedirect.com
www.elsevierciencia.com/hya
Hormigón y Acero 2014; 65(274): e29–e41
www.e-ache.com

Trapagaran viaduct

Viaducto de Trapagaran

Jordi Revoltós Fort*, José Antonio Llombart Jaques, Juliana Fernández Vega

Civil Engineer, Estudio de Ingeniería y Proyectos (EIPSA), Madrid, Madrid, Spain

Received 10 October 2014; accepted 13 October 2014
Available online 20 February 2015

Abstract

The Trapagaran viaduct was divided into 3 parts: main viaduct, access viaduct and transition area. The main viaduct is 670 m long with 125 m spans. It is formed by a 35.60 m wide, 5.90 m deep prestressed concrete box cross section. The access viaduct is formed by four separate structures with spans reaching 86 m. Each of the decks is made up of a composite 3.50 m deep box girder. The four branches converge in the transition area displaying complex geometry. The transition area is a prestressed concrete structure of approximately 60 m in span executed on falsework.
© 2014 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Keywords: Cantilever method; Evolutive cross section; Composite construction; Complex geometry; Falsework

Resumen

El viaducto de Trapagaran se divide en 3 partes: viaducto principal, viaducto de acceso y zona de transición. El viaducto principal tiene una longitud de 670 m y vanos de 125 m. Consta de una sección cajón de hormigón pretensado de 35,60 m de ancho y canto de 5,90 m. El viaducto de acceso está formado por cuatro estructuras separadas, con luces que alcanzan los 86 m. Cada uno de los tableros está compuesto por una viga cajón mixta de 3,50 m de canto. Los cuatro ramales convergen en la zona de transición que presenta una geometría compleja. La zona de transición es una estructura de hormigón pretensado de unos 60 m de luz ejecutada sobre cimbra.
© 2014 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Palabras clave: Avance en voladizo; Sección evolutiva; Construcción mixta; Geometría compleja; Cimbra

1. Introduction

The Trapagaran viaduct comprises the works of the South Metropolitan Bypass of Bilbao (SMB) and serves as a connection between the link with the A-8 motorway and the initial stretch of the SMB main alignment. This is a singular project, given the size and characteristics of the viaduct, plus the lower obstacles it crosses. The proposal was for an appropriate solution adapted to its structural and aesthetic importance and to its integration within the environment.

2. Design constraints

The design constraints for the Trapagaran viaduct are multiple and range from the actual layout of the SMB to the effects on existing buildings and roads, the appearance of the structure, the completion timeframe and its cost. The following sections provide a detailed description of these constraints.

2.1. Alignment

The viaduct, which measures 995 m, starts at the Trapagaran junction, engaging with the main body of the motorway and its various branches, rising to a single, large-sized platform above the neighbourhood of Trapagaran–Causo towards the toll area.

DOI of original article: http://dx.doi.org/10.1016/j.hya.2014.10.002
* Corresponding author.
E-mail address: jrevoltos@eipsa.net (J.R. Fort).

http://dx.doi.org/10.1016/j.hya.2014.10.003
0439-5689/© 2014 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

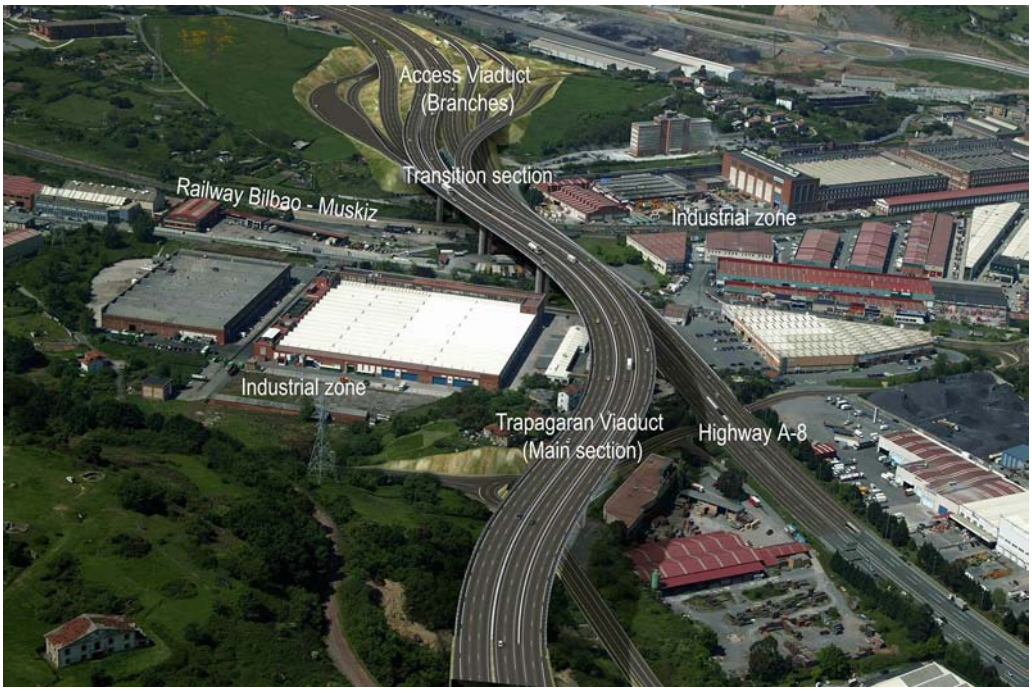


Figure 1. Virtual image of the area of the viaduct.

This layout creates 3 quite different parts of the viaduct (Fig. 1):

- The approach viaduct, where each of the four branches of the junction converge onto different decks.
- The transition stretch, located between the main viaduct and the approach section, where these branches come together to join into a single deck.
- The main viaduct, where the 3 different SMB roads run along a very wide single deck.

In the main viaduct area, the SMB runs along a curve and a reverse curve, linking up to 7 different alignments within the structure. These designed curves have a minimum radius of 500 m. Due to the existence of severe radii of curvature, the cross-section bank reaches 8% in some places. The maximum height of the deck over the natural terrain is around 42 m. The SMB main alignment road over the main viaduct has 3 different roadways, two 9.50 m wide descending ones and another 13.5 m wide ascending one. Therefore, the whole deck measures 35.60 m wide, including barriers and railings.

In the approach viaduct, the intersections of the various branches over the A-8 roads run in a curve and with a pronounced skew. Furthermore, the traffic on the A-8, running under the deck of the viaduct, has forced choosing a suitable structural typology as a whole, in such a way that the construction least affects that traffic.

2.2. Interferences

In the viaduct area, the SMB must successively cross over the Bilbao–Muskiz railway line, and the BI-745, BI-3746 and N-634 roads. In addition, the viaduct runs through an industrial area. Therefore, the piers are sited so as to preserve the existing buildings to a maximum. An appropriate construction procedure was chosen to minimize, as far as possible, anything affecting the business of these industries. Bearing in mind that there were low-lying obstacles in the area, it was deemed convenient for the main viaduct to be designed with a span of 125 m.

2.3. Aesthetics

The height it runs at, the size and how close it is to the A-8 mean that its visual exposure level is extremely high. Therefore, the design requires an elegant viaduct, integrated into the environment, and at the same time avoiding the disposition of any heavy, striking or intrusive structures.

2.4. Construction

Due to the multiple low-lying obstacles mentioned above, whether roads or buildings, constructing the deck of most of the viaduct should be done from the structure itself. The construction system had to be suitable for the range of spans for the main viaduct, and the varying curvatures on site.

Finally, building the complete viaduct had to be finished within 32 months so as not to compromise the inauguration date of the whole SMB.

2.5. Economy

Although we tried to design an elegant and aesthetic viaduct, the final cost of the structure had to be within reasonable ratios per square metre for this category of viaduct.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

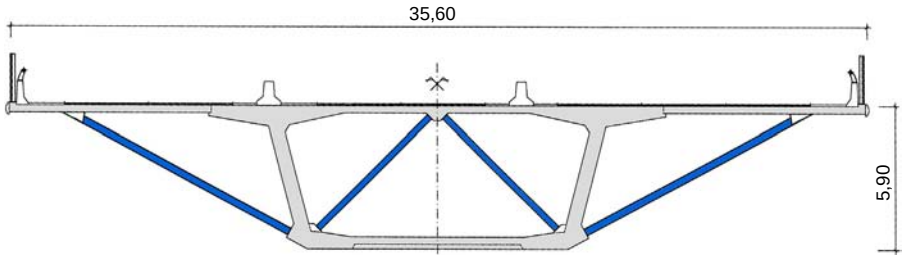


Figure 2. Transverse section of the deck.

3. Initial design criteria

The first initial design criteria are based on the intention to minimize the encumbrances for the buildings and firms located in the industrial area. This prompted choosing a single deck (Fig. 2), measuring 35.60 m wide, resting on single-shaft piers for the main viaduct. The magnitude of this width greatly exceeds normal figures for single-deck viaducts with 3 road lanes. Values are normally around 26.00 m (see Refs. [1,2,4]). Generally speaking, the section of these decks is defined by a resistant core or box and various wide side cantilevers resting on brackets or transverse beams.

Widths over 30 m are normally resolved for conventional viaducts by the juxtaposition of the various box girders equivalent to the normal deck width of 10 or 12 m. These widths usually correspond to large hanging or cable-stayed viaducts, which are supported at the two deck edges. This lateral support makes it necessary to define a transverse section made up of trusses or by a multicellular box. For this reason, during the project design phase, the choice of deck of a box girder type scheme with a single deck beam was a challenge in this important issue.

Among the references for classic beam-type, prestressed concrete, large-sized viaducts, solved by using a single web, we can bring attention to the Kochertal viaduct measuring 31.00 m and the Felsenau one of 26.20 m (Table 1).

The second initial criteria adopted for designing the viaduct was that, in spite of its geometric complexity and the variability involved due to the layout, each part should not be designed separately or independently. The whole assembly had to give an overall image with a certain formal unity over the complete viaduct.

4. Main viaduct deck

4.1. General description

The deck of the main viaduct is a continuous beam with a length of 670 m, divided into 4 central spans of 125 m and two ends spans measuring 90 and 80 m.

As already mentioned, the deck has a width of 35.60 m with room for 3 different roadways, two ascending ones 9.50 m wide with two lanes and hard shoulders and another descending one with 3 lanes and 13.50 m wide. There are 0.60 m wide rigid barriers between them, whereas there are 0.50 m wide parapets at the ends. At the beginning, near the transition area, there is a slight variation in width that reaches up to 36.34 m, which has been overcome by changing the length of the side cantilevers.

Table 1
Deck widths in beam-type viaducts with monocellular prestressed concrete box girders.

Viaduct	Width (m)	Span (m)	Year
IV ring Zaragoza [1]	26.60	92.00	2008
Montabliz [2]	26.10	175.00	2008
Kochertal [3]	31.00	138.00	1979
Felsenau [4]	26.20	156.00	1975
Trapagaran	35.60	125.00	2010



Figure 3. Virtual image of the main viaduct cross section

The deck structure was resolved by a single resistant box girder or core made of prestressed concrete, which, with a constant 5.90 m depth, perfectly adapts to the variations of curvature and bank. The central box girder has an upper width of 19.00 m, completed by some side cantilevers that rest on transverse braced box girders (Fig. 3). The box girder webs are 0.60 m thick in most of the spans and increase to 0.90 m near the pier supporting areas.

The use of side braced box girders not only permits achieving large side cantilevers, but also creates sloping side planes that disguise the magnitude of the deck edge. Furthermore, the outer braces form a triangulation of the transverse section that continues inside the box with other steel tubes. This triangulation allows shortening the transverse spans of the upper deck, facilitating the arrangement of slabs with a lower thickness.

The deck was built in two stages. In the first phase, the core of the section (19.0 m wide) was built by balanced cantilever, advancing symmetrically from the piers (Figs. 4 and 5). Only the first 30 m and the last 20 m of the respective end spans of the main deck were constructed using falsework that rested on the ground. All the segments measure 5.00 m long, keeping pace with the side braced box girders.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026





Figures 4 and 5. Views of constructing the core by balanced cantilever.

In spite of a 125 m span and using the balanced cantilever method, there is a constant depth so as to provide good vision of the viaduct, much better adapted to the changes in curvature and camber of the stretch when using the typical solution with variable depth.

The lower part of the core has transverse beams that coincide with the segment fronts, by way of prolonging the support of the side brackets. This gives a coffering appearance to the underside of the deck. The lower deck is 0.30 m thick and this increases to 1.20 m at the pier section. At all times we sought to favour the lower appearance of the viaduct, since it will be seen mainly from the industrial area, that is to say, from below (Fig. 6).

Having completed the continuous girder forming the core, the side brackets and precast slabs were mounted at each end, using cranes that move around on the deck itself, until reaching the total width of 35.60 m.

4.2. Prestressing

The longitudinal prestressing of the main viaduct is broken down into 4 families for the upper slab and into one for the lower slab (Fig. 7). The first 3 families are arranged according to the actual structural requirements for the balanced cantilever method:



Figure 6. Overall view of the main viaduct.

- Family A comprises 48 × 25T15 tendons for each double cantilever.
- Family B is a reinforcement of 6 × 37T15 tendons arranged in the core areas for the first segments.
- Family C comprises 20 × 13T15 tendons that are anchored in the central beam area used to support the interior tubes.

The fourth family, D, of the upper prestressing comprises 16 × 24T15 tendons anchored in blisters arranged on the upper deck in the first 3 segments. While conscious of the difficulty at formwork level on the upper slab that these blisters involve, they were all designed in identical positions and in the same size.

The tendons of family D are stressed once the transverse section of the deck measuring 35.60 m wide has been completed. In evolutive sections, there is normally an external continuous prestressing with polygonal shape, once construction has been completed, in order to transmit uniform compression to the whole section. However, in this viaduct, we chose to do without the external prestressing, due to the existence of interior sloping tubes that greatly impeded the layout.

Continuity prestressing of the lower deck is achieved by using 32 × 19T15 tendons in the central spans and by 24 and 16 × 19T15 tendons in the first and last spans, respectively.

The transverse prestressing comprises 4 × 4T15 bonded tendons for every 5.00 m segment, covering the whole width of the deck. They have a flat duct and the anchors are placed on the prefabricated slabs.

The prestressed tendons with flat ducts are frequently used in the floors of buildings, because they combine the advantages of bonded prestressing and limited vertical sizes of the unbonded strand post-tensioning tendons. In the case of the Trapagaran viaduct, due to the evolutive character of the transverse section, it was appropriate to install these tendons, although without placing the strands in the first phase, which is contrary to what happens in buildings. Aware of the fragility of the flat ducts, which are very sensitive when trodden on and to the impact that might be made during concreting, these were mounted on site with 2 × 20 mm supporting reinforcement bars and 4 shorter

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

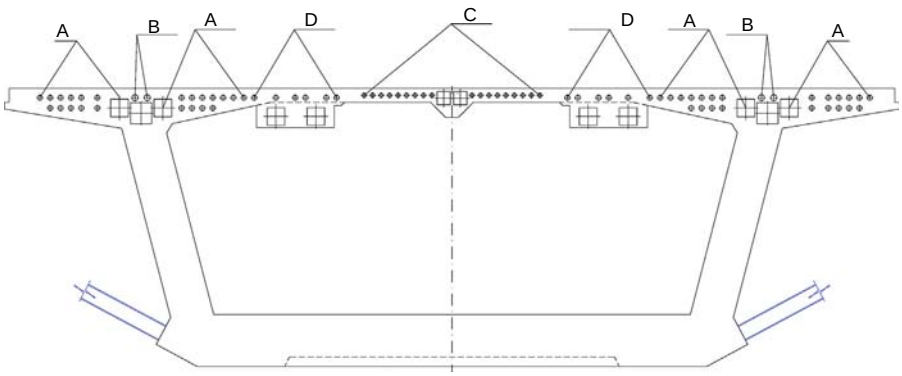


Figure 7. Prestressing in the main viaduct. Cross section in front of Segment Zero.



Figure 8. Work platforms of Segment Zero.



Figure 9. Main viaduct. Lower view of the braced box girders during assembly.

sacrifice cable strands that were used from one segment to another. These measurements largely preserved the integrity of the ducts. However, in spite of this, there were damages forcing the repair of some ducts that were blocked or squashed, with consequent slab repairing operations. From experience, we can deduce that it is preferable to increase the slab thickness by a few centimetres and use tendons with circular ducts.

4.3. Core construction

Constructing the core began by implementing Segments Zero on piers, which are 10 m long. To do this, brackets were used that rested on the openings left on the top of the pier (Fig. 8). Completion of each of these segments lasted 6–7 weeks.

Three pairs of 350 t capacity form travellers were used to build the cantilevers. Normally a couple of segments are produced every week by a pair of travellers. However, in weather-favourable times of the year, production reached 3 couples of segments every two weeks using a pair of travellers. Two or three weeks are required for the end segments.

The segments were built without any interior bracing. These were placed afterwards so as not to impede the manoeuvres of the form travellers. To do this, the top slab of the box was designed to have sufficient flexural strength to support the actual weight and construction overloads with the transverse span, determined by the distance between the webs of the box.

4.4. Side cantilevers

4.4.1. Exterior side brackets

The exterior side brackets are steel portal frames covered on the outside by 6 mm thick cladding with a parabola-shaped opening to improve appearance (Figs. 9–11). It was expressly decided that they should be steel to obtain, through texture and colour, the effect of a formal unit along the whole viaduct, including the transition and the approach viaduct. In addition, in the area of the main viaduct, its contrast with the concrete breaks the monotony of an excessive width and lightens the view below the deck.

The side brackets have a structural portal scheme and are arranged in 5.00 m wide × 10.60 m long modules. Their jambs are made up of square hollow tubes measuring 300 × 300 × 12 mm separated by 4.40 m from each other. The lintel is a triangular-shaped beam that is hidden by the plane formed by the decorative cladding. Continuity is not established between the lintels of consecutive portals.

To industrialize production and help the on site layout, all the portals have the same centre-to-centre distance along the

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026





Figures 10 and 11. Main viaduct. Side and front view of the braced box girders.

viaduct, regardless of the fact that they are inside or outside the curve. For this reason, the decorative cladding varies in size with a visual slot between similar-sized braces along the whole bridge.

In areas where there is constant bank, the lower faces of the jambs and lintel are in the same plane. However, in the banking transition areas, there is a slight distortion of the frame displacing the end of one of the footings some 40 mm with respect to the other one. Inserting a flat element of this size is geometrically incompatible with varying bank. Where this distortion has not been provided, a clicking is observed between the upper edges of the contiguous portal side brackets.

We should point out that, considering these measurements, together with the efficient work of the geometric definition by the steel workshop and the meticulous placement by the site workers, this allowed for an excellent finishing (Fig. 12).

The connection between the side brackets and the top slab was carried out using Nelson type studs. These studs were arranged so that they freed the beams and reinforcement of the precast slabs.

4.4.2. Side brackets fixing system

During construction, the upper part of each portal frame is provisionally held by two passive bars anchored to steel plates,



Figure 12. Main viaduct. Lower view.



Figure 13. Main viaduct. Fixing blocks in the core.



Figure 14. Main viaduct. Placed precast slabs.

placed on top of the frames, and to steel fixing pieces connected to concrete blocks that protrude from the deck core (Fig. 13). The bars are made of F-1252 quality steel, 36 mm in diameter. These bars are separated from the upper surface of the deck to help placement of the precast slabs (Fig. 14). The bars, as well as the steel pieces joining the deck, have been re-used throughout the whole deck construction.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

On the lower part, the side brackets have a steel block introduced into a square hollow left in the box core. The support sheeting is coated with epoxy resin just before placement to ensure good contact to the lower part of the legs.

4.4.3. Precast slabs

Two precast slabs measuring 2.50 m wide × 8.40 m long rest transversely on every portal frame of the side brackets and small corbel left in the core. The precast slabs incorporate the anchors of the transverse prestressing plus all the built-in elements required for safety during construction.

The vertical distance left between the braced box girders and the provisional fixing bar system, as well as an earlier analysis of all the possible geometric interferences, has allowed for rapid and simple mounting of the precast slabs.

Having placed the reinforcement bars and cast the concrete in the slab of the side cantilevers, the transverse prestressing tendons are made up of 4 x 4T15 units for each portal side bracket. These tendons cover the whole width of the deck. The final thickness of the side cantilever slab is 0.30 m.

Once the transverse prestressing has been done, the stress is released from the fixing system bars. The steel wing plates protruding from the portal side brackets are cut and the concrete blocks in the core of the deck are demolished.

4.4.4. Assembly and performance

Assembly of all the side brackets was carried out by a single crane and with the help of a lorry fitted with an articulated platform, which allowed access to the base of the box. Both vehicles drove on the core of the deck that had been constructed beforehand. Therefore, this second phase caused hardly any inconvenience either to the traffic below or to the activities of the neighbouring industries (Fig. 15).

Production for placing the side brackets reached 8 units a day, whereas mounting the precast slabs was between 30 and 40 units a day.

Concreting the side cantilever slab was carried out in 40 m long sections once the reinforcement bars had been installed and the tendons of the transverse prestressing inserted.

5. Approach viaduct deck

On the approach viaduct, the crossings of the different branches over the lanes of the A-8 are curved and with noticeable skew angle, which forces having spans in excess of 70 m.



Figure 15. Main viaduct. Assembly of side brackets.

On the other hand, traffic on the A-8 meant choosing a type of deck, the construction of which least affected the motorway traffic that was in service. For this reason, a type of composite deck was chosen for this area.

The approach viaduct is made up of four different branches with the following widths and spans:

- Branch A. Width = var. 11.80–17.40 m. Spans = 56.71 + 79.23 + 76.98 + 59.25
- Branch B. Width = 11.50 m. Spans = 37.99 + 77.04 + 52.26 + 59.80
- Branch C. Width = 11.50 m. Spans = 42.02 + 86.43 + 43.47 + 53.50 + 60.25
- Branch D. Width = 7.80 m. Spans = 54.57 + 61.10

For these 4 branches with the indicated spans, the one that corresponds to the last span and the 12 previous ones belong to the so-called transition area. Each deck comprises a composite concrete and steel section box. All the steel box girders have a 3.20 m edge and a top slab of 0.30 m thick reinforced concrete, cast in situ on precast slabs (Fig. 16). It was decided for aesthetic reasons that branch A, which varies greatly in width, should

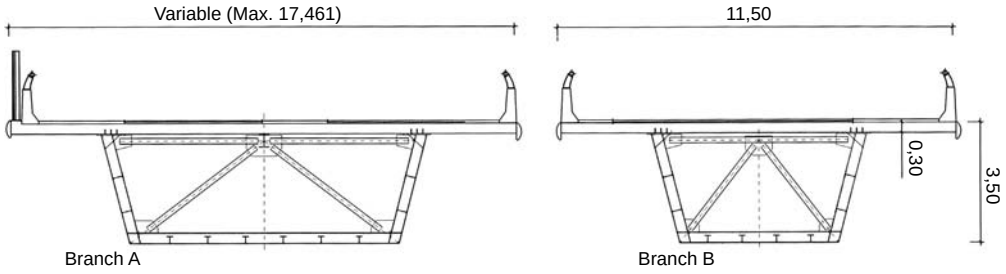


Figure 16. Approach viaduct. Cross section of two branches.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026



Figure 17. Approach viaduct. Steel stretches of branches B and C.

maintain a constant width of the cantilever and therefore absorb this variation with the steel box girder.

For branches B, C and D, assembly could be undertaken without any traffic below. Fig. 17 shows the steel box girders of branches B and C on provisional supports. Erecting these temporary supports was such that traffic was allowed to run on the A-8 in the Bilbao way before the transverse cross section was completed. However, mounting operations for branch A had to be carried out at night when the A-8 was cut off avoiding intermediate bearings, a complete segment measuring 76 m was hoisted in a single operation.

6. Transition area deck

6.1. Preliminary considerations

The approach viaduct comprises a series of 4 branches that come together on the deck of the main viaduct in a transition area, the most significant peculiarities of which are summarized below:

- Complex geometry in the confluence of different alignments.
- Variable curvature. Two variable and different banks on the top platform.
- Variation of deck width from 36.34 m at the beginning of the main viaduct to 40.80 m in the start section of the branches of the approach viaduct.
- Variation in depth ranging 5.90 m of the main viaduct to 3.50 m of the approach branches.
- Change from a single box with side brackets and wide side cantilevers to four independent box girders.
- Change from prestressed concrete resistant material to a composite structure.

The design required special treatment for keeping the harmony of the whole unit and its aesthetic qualities, thus avoiding any sudden variations in fundamental forms.

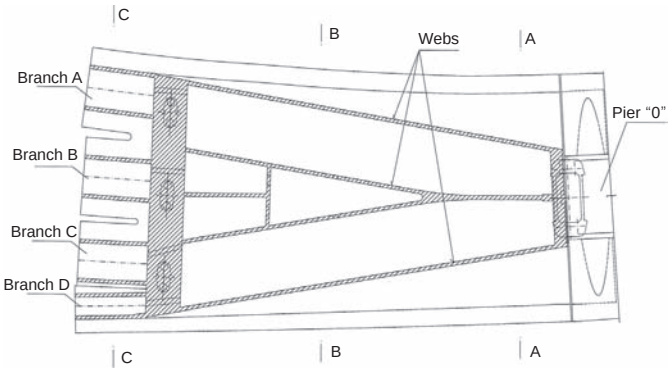


Figure 18. Transition area of the viaduct. Plan of deck webs.

6.2. Geometry

The deck in the transition area was resolved with a multicellular section of prestressed concrete starting from pier 0 with the same section as the main viaduct, but with an additional central web. The central web divides at a third of the span into two cores in order to reduce the transverse span of the upper deck (Fig. 18). The depth changes linearly from 5.90 m on pier 0 up to 3.95 m in a section located 5.00 m of the axis of piers P-1 A, P-1B and P-1 C. This forms a sudden jump in depth from 0.45 m at the front. After this section, the lower view of the deck appears as 4 boxes and not as a single one.

On the 3 piers in the broad part, there is a very powerful transverse diaphragm for connecting the transition area of variable width with 4 boxes of prestressed concrete (Fig. 19). These boxes are defined by some sections with identical contours to those of the composite box girders of the approach branches to which they are connected. The box girders of prestressed concrete in the transition area have their web and the lower slab covered with decorative steel cladding.

The lower part, with clear and forceful geometry in the shape of a spatula (Fig. 20), also presents some ribs as in the main viaduct, which mark the different longitudinal structural ones. It connects with the structural continuity of the branch decks without any need for expansion joints. Only an expansion joint is required between the transition area and the main viaduct.

Due to its geometric complexity and given that the clearance over the railroad so allows, this area was built in situ on falsework that rested on the ground (Figs. 21 and 22). To construct the shuttering, a 3D model was made of the whole concrete contour of the transition area. This model was contrasted with the one made by the subcontractor in charge of the falsework.

6.3. Prestressing

Prestressing of the transition area is made up of 4 families of $6 \times 24T15$ tendons that pass through the main web with a parabolic layout. The webs of the 4 independent boxes, which serve to link the composite boxes and which do not prolong in anyone of the 4 cores of the main span, are also prestressed with

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

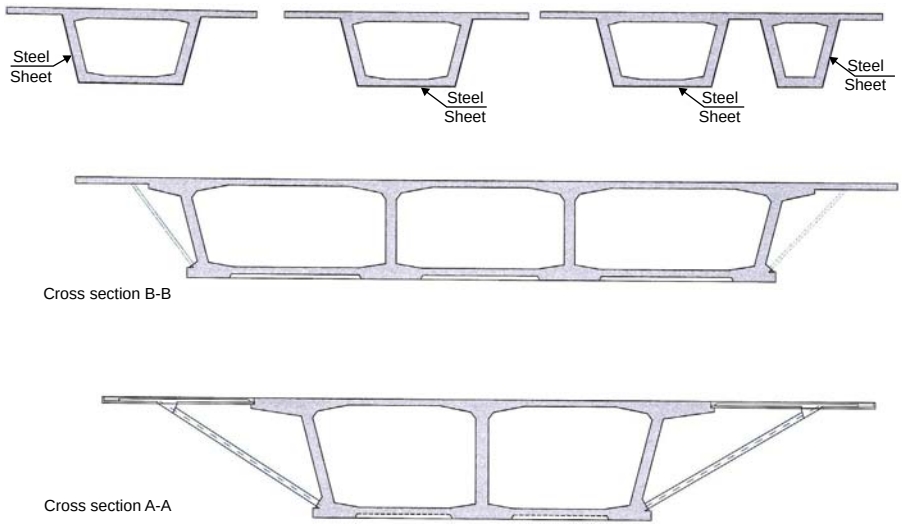


Figure 19. Transition area of the viaduct. Fundamental sections.



Figure 20. Transition area of the viaduct. Virtual image.

3×24T15 tendons. In addition, there are 14×15T15 tendons in the lower slab and 16, 4, 8 and 8×19T15 tendons in the top slab, in the negative area, for branches A, B, C and D respectively.

The diaphragm on the 3 piers was pretensed transversally with 20×7T15 tendons.

6.4. Side cantilevers

The side brackets in the transition area are warped from where they join the main viaduct up to where they join the outer webs of the section of the boxes of the end branches. They continue their structural function after the first few metres from pier 0. However, as they approach the 3 piers, the cantilevers noticeably diminish and become merely decorative.

When the size of the actual side brackets is reduced, the parabola-shaped opening is eliminated, leaving a closed surface for soft transition with the cores of the steel box girders (Fig. 23).

The side brackets and decorative cladding in the transition area are pieces similar to those of the main viaduct, with the same provisional fixing system. Due to the geometric variation in this area, they are all spatial elements that had to be designed individually.





Figures 21 and 22. Views of the falsework in the transition area.

6.5. Approach viaduct connection

The connection point between the 4 prestressed concrete boxes and the corresponding composite ones are arranged 12 m

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026



Figure 23. Lower view of the transition area.



Figure 24. View of the connecting segment before being raised.

away from the bearings on the piers, where the bending moment is more limited. Thus, the connection between the steel and concrete parts is fundamentally a shear one. This connection was made by using Nelson-type studs welded in a 3.00 m long steel segment placed on the formwork in the transition area and where the concrete of the transition zone was poured (Fig. 24). Each of the remaining length of the 4 prestressed boxes was also covered with connecting decorative cladding, but with no structural function.

7. Piers

7.1. Main viaduct piers

The fact of having arranged a single resistant core in the deck of the main viaduct allows defining piers that are contained as much as possible, resulting in minimum encumbrances. The piers are hollow prisms in a rectangle measuring 8.50 × 5.10 m, with rounded side and front walls (Fig. 25). Furthermore, the

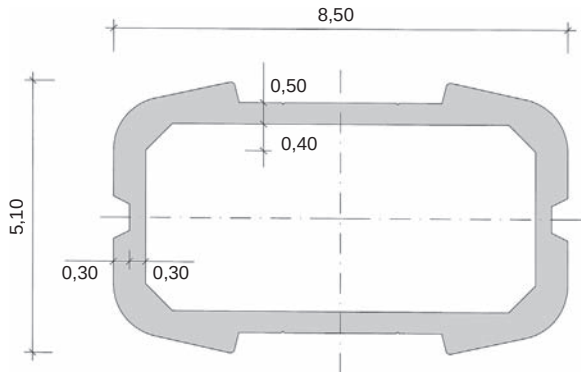


Figure 25. Cross section of the main viaduct piers.



Figure 26. Image of the Pot type bearings.

central part of the front wall is textured, thus obtaining simple and elegant piers, in line with the deck. The piers are finished off by a pier cap, measuring 8.40 m high, which widens to incorporate the core of the deck held by two bearings. Piers 2, 3 and 4 are fitted with neoprene bearing pads, whereas piers 1 and 5 have POT bearings each with a capacity of 75 000 kN (Fig. 26).

The foundations of piers 1, 3 and 5 are shallow and measure 22.00 × 19.00 × 3.50 m, whereas piers 2 and 4 have pile caps measuring 19.00 × 19.00 × 4.00 m on 20 × 2.00 m diameter piles.

The piers were built using climbing formwork that was 5.00 m high. Production was one climbing formwork every 10 days, whereas every pier cap required approximately 6 weeks to be built.

During the phases of balanced cantilever and in order to ensure stability of the structure, the deck was provisionally anchored to the pier head. This consisted of some concrete blocks joined using prestressed tendons that ensured the stability of the cantilever (Fig. 27). In order to obtain an adequate safety factor at ultimate limit state, the fixing tendons were injected and the concrete blocks were reinforced. In order not to condition the size of the pier, in the last segments, a maximum imbalance was allowed of half a segment during concreting.

Provisional fixing was by means of a classic scheme of leaving some curved steel pipes in the pier capital. Once the Segment Zero was finished, the tying tendons were lined up from the top

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

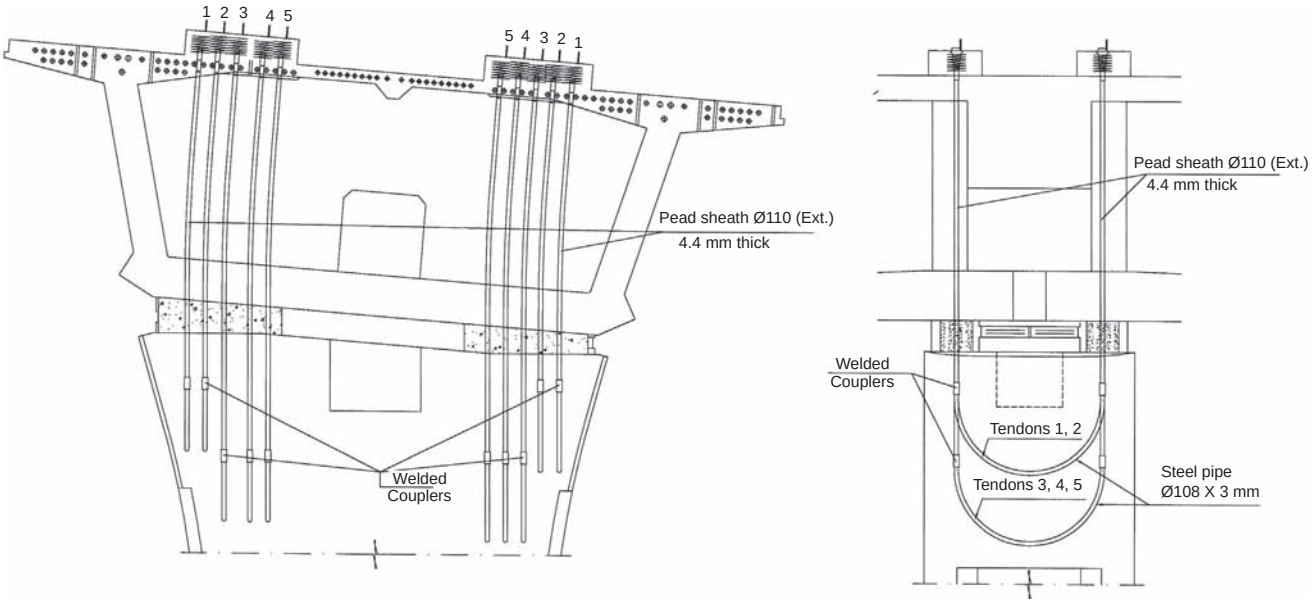


Figure 27. Provisional fixing system at the top of the piers.

part of the deck. This scheme prevents leaving any tendons of a similar height at the edge of the deck, anchored into the capital of the piers. Their stability during construction of Segment Zero is problematic.

Once the core of the deck reached a stable configuration, the blocks and tendons were cut using diamond thread. Because cutting the provisional fixing happens once the deck is stable, that is to say, without allowing time to elapse in which the phenomena of shrinkage and creep occurs, the moment of the said fixing is limited. Due to this and thanks to the reinforced blocks, cutting took place easily, without any abruptness or appearance of any small local damage. This operation was undertaken without the help of any jacks or sand boxes.

We should highlight that, at this stage, the vertical reaction does not reach even half the maximum value for which the bearings are designed. Therefore, transferring the vertical reaction of the block to the bearing takes place without any problem.

7.2. Approach viaduct piers

In the approach branches, due to their curvature on the ground and limited space available, the piers are solid circular ones measuring 2.10 m in diameter, with 4 grooves that make them look slender (Fig. 28).



Figure 28. Piers of approach branches.

7.3. Transition area piers

The transition area rests on pier 0 of the main viaduct and on 3 almost rectangular prismatic piers with rounded walls that serve as a transition between the shapes of the piers in the main viaduct and those belonging to the approach branches. Their outer size is 2.20 × 4.40 m (Fig. 29). All the piers of the approach spans and transition area have shallow foundations.



Figure 29. Piers in the transition area.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

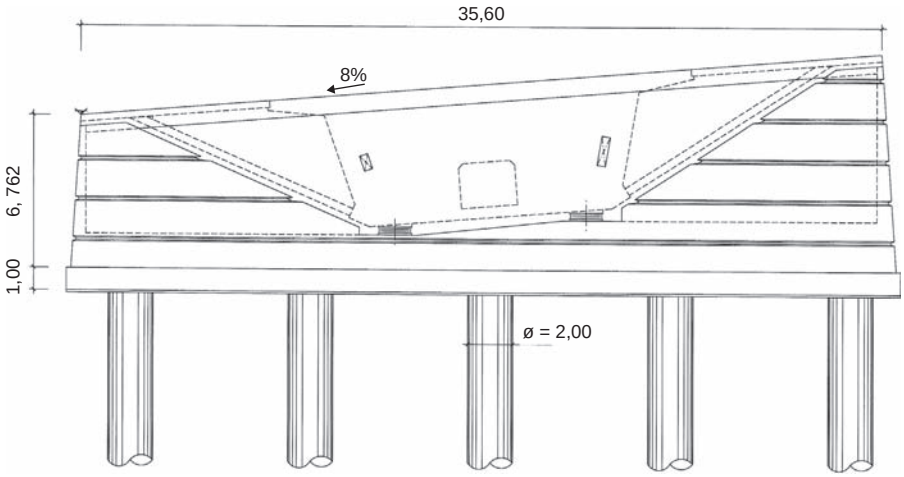


Figure 30. Elevation of abutment 2.



Figure 31. View of the abutments of the approach branches.

8. Abutments

The start of the main deck rests on pier 0 where there is a road surface joint and the transition area. At the other end, it rests on abutment 2 (Fig. 30). This abutment is a large-sized loading platform that rests on ten 2.00 m diameter piles, which must go through a newly formed 30 m deep embankment, built using the material extracted from the SMB tunnels.

This embankment varies greatly in thickness in the transverse direction. This caused detailed analysis in the project phase to see how its transverse movements evolved over time. This analysis was carried out with and without considering the piles of the loading platform. From the calculation, the forecast for transverse movements up to 0.10 m at the top of the landfill contiguous to the loading platform were calculated. For this reason the piles of abutment 2 are strongly reinforced. Furthermore, to a large extent to make the deck functioning independent from the landfill movements, very thick neoprene bearing pads were installed on abutment 2. Finally, inclinometers were left to measure the longitudinal and transverse movements of the embankment over the years. To date, these movements are within the foreseen figures.

In the approach viaduct, the abutments, as well as the walls of the link, have sloping walls with a few horizontal grooves and rounded corners like those of the main piers, thus giving the sensation of a formal unit (Fig. 31).

9. Conclusions

The Trapagaran viaduct is characterized by its very wide deck. This involves a singular construction due to its dimensions and the shapes of the structural elements that give the observer a pleasing vision. The joint study of design and the construction process in the project phase has reverberated in completing the work within an extraordinarily short space of time.

10. Quantities

Main viaduct:	
• HP-50 Concrete:	0.85 m^3/m^2
• Prestressing steel, longitudinal:	32.2 kg/m^2
• Prestressing steel, transversal:	3.65 kg/m^2
• Reinforcement steel:	181 kg/m^3
Transition area viaduct:	
• Concrete:	1.06 m^3/m^2
• Prestressing steel:	32.9 kg/m^2
• Reinforcement steel:	240 kg/m^3
Approach viaduct:	
• Structural steel	S-355 J2G3: 265 kg/m^2

11. Trapagaran viaduct fact sheet

Owners	Diputación Foral de Bizkaia Interbiak
Site Management	
Director:	Íñigo Berriozábal Bilbao (Civil Engineer)
Assistant Director:	Asensio Fernández (Technical Engineer in Public Works)
Technical Assistance	
Company:	Prointec-Euskontrol-Eipsa
Unit Manager:	Alex Ugalde (Prointec) (Civil Engineer) Roberto Martínez (Prointec) (Civil Engineer)

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

Project

Company:	Prointec-Euskontrol-Eipsa
Author:	Jordi Revoltós Fort (Civil Engineer)

Main Contractors

Main viaduct, Transition area and branches B, C and D

Trapagaran Joint Venture:	
Sobrino-Cycasa-Fonorte-Urssa	
Director:	Jesús María Cruz Fernández (Sobrino) (Civil Engineer)
Site Manager:	Miguel Moreno Díaz (Cycasa) (Civil Engineer)
Branch A:	
Galindo Consortium:	Otaduy, Construcciones Murias, Pavisa

Subcontractors

Prestressing system:	Freyssinet
Steel Workshop:	URSSA
	ASCAMON (Branch A)
Deck construction:	Construgomes
Falsework transition area:	RMD
Formworkg Segment 0:	ULMA

Quotation:

Quotation for contracted operation of stretch IIIA:	53.0 Million Euros
Quotation for material implementation of the viaduct:	31.7 Million Euros

Completion Programme:
32 months (from February 2008 to September 2010)

References

[1] J.A. Llombart Jaques, J. Revoltós Fort, J. Fernández, Viaducto sobre el Río Ebro en el Cuarto Cinturón de Zaragoza, Hormigón y Acero 256 (2009) 41–58.
[2] R. Villegas Gómez, M.J. Pantaleón Prieto, R. Revilla Angulo, P. Olazábal Herrero, Viaducto de Montabliz, Hormigón y Acero 248 (2008) 9–40.
[3] F. Leonhardt, Brücken/Bridges, 4th ed., Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart (Germany), 1994, pp. 188–190, ISBN 3421025908 Kochertal.
[4] C. Menn, Prestressed Concrete Bridges, Birkhäuser Verlag AG, Basel, 1990, ISBN 3-7643-2414-7, p. 299, Felsenau Bridge.

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026

dentro de la ingeniería, y cuando les contestaba que a Control de Calidad, me preguntaban de nuevo: "¿Control de qué…?". Los Organismos de Control y los Laboratorios han aumentado mucho en España, quizá demasiado. En los años en que yo era Presidente de la Asociación Nacional de Laboratorios, tenía un estrecho contacto con la Asociación Internacional de Laboratorios Independientes y recibía muchos datos estadísticos. El record del número de Laboratorios de Hormigón por habitante lo tenía Chicago y repentinamente pasó a Vitoria. Esta ciudad española, que es un ejemplo de urbanismo, tenía 3 laboratorios pero tenía la población que tenía, afortunadamente.

Entiendo el Control de Calidad en el sentido más amplio. El Control de Calidad no abarca únicamente la Calidad Técnica, sino también el Presupuesto y el Plazo, que forman también parte de la calidad. Para hacer una obra deprisa, antes hay que hacer el Proyecto despacio y muy detallado.

Aunque me hayan concedido este premio, creo que yo no tengo ninguna cualidad especial. Lo que sí tengo es una gran vocación que me ha empujado toda mi vida. Esta vocación ha permanecido intacta durante toda mi vida profesional. Por eso soy tan aficionado a la Historia de la Ingeniería Civil. Nuestras profesiones no hay quien las resista si no se mira hacia delante, pero no hay quien las entienda si no se mira hacia atrás.

Muchas gracias a todos.

J. Calavera

Documento descargado de www.e-ache.com el 15/11/2026