

Proyecto y construcción de pila en “C” en el acondicionamiento de la conexión de las carreteras N-633 y BI-737 (Enlace de Derio)

Project and construction of a C-shaped pier in the conditioning of the connection between N-633 and BI-737 highways (Derio Link)

José Manuel Baraibar^a, Mariano Villameriel^b, José Miguel de la Fuente^c, Mikel Herce^d, Gonzalo Calvo^e, José Ángel Cabo^f,

^aDr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Viuda de Sainz, S.A. Director Técnico e Innovación. jmbaraibar@viudadesainz.com

^bIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Villameriel Oficina de Proyectos. Director. proyectos@villameriel.com

^cIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Diputación Foral de Bizkaia. Director Facultativo. jose.miguel.de.la.fuente.@bizkaia.eus

^dIngeniero T. de Minas. Viuda de Sainz, S.A. Jefe de Ejecución. mherce@viudadesainz.com

^eLdo. en Ciencias Geológicas. Viuda de Sainz, S.A. Responsable de geotecnia. gcalvo@viudadesainz.com

^fIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Viuda de Sainz, S.A. Director de Producción. jacabo@viudadesainz.com

RESUMEN

El enlace de Derio, que conecta el corredor del Txorierri con el aeropuerto de Bilbao, constituye un nudo fundamental de la red vasca de carreteras de alta capacidad. Su diseño ha tenido que adaptarse al incremento de tráfico sufrido en los últimos años. El aumento de carriles en uno de sus ejes implica el desplazamiento de la pila n^o1 del viaducto Erletxes-Bilbao. En el presente artículo se describe el proyecto de estructura mixta para resolver esta subestructura, que conserva tanto la cimentación como el punto de apoyo de la pila original. Asimismo, se describe el procedimiento de transferencia de carga entre ambas estructuras y el proceso de demolición de la antigua pila.

ABSTRACT

The Derio link, connecting the Txorierri highway with Bilbao airport, is a strategic node in the Basque high-capacity road network. Its design had to be updated to the increase of road traffic in recent years. The addition of one lane in one of its alignments involves moving pier n^o1 of Erletxes-Bilbao viaduct. In this paper the project and construction of a composite steel-concrete structure to solve this element is described. This structure maintains both foundation and deck supporting points. Besides, the procedure of load transfer between both structures and the demolition process of the ancient pier are also described.

PALABRAS CLAVE: Pila mixta, pila en C, gateo, transferencia de carga, demolición con hilo

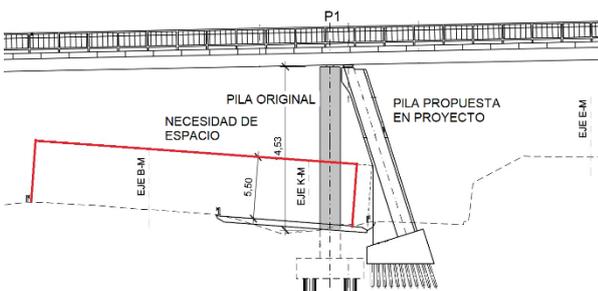
KEYWORDS: Composite pier, C-shaped pier, jacking, load transfer, diamond wire cutting

1. Introducción

El “*Proyecto de Construcción del Acondicionamiento de la conexión N-637 con la N-633 y BI-737. Sentido Rontegi-Mungia* [1]” contempla entre otras las obras necesarias para la adecuación de la salida 18 del Corredor del Txorierri, N-637, en Dirección Mungia – aeropuerto de Bilbao. Este

enlace constituye un nudo fundamental en la red vizcaína de carreteras de alta capacidad y ha de adaptarse al incremento de tráfico sufrido en los últimos años (crecimiento sostenido medio de casi un 2% anual desde 2013 [2]).

El aumento a 2 carriles del eje Kukularra-Mungia, denominado K-M en el proyecto (Figura 1), exige el reajuste de los demás ejes bajo el viaducto Erletxes-Bilbao. Aunque se necesita poco espacio adicional, no es posible obtenerlo de una eventual reducción de carriles, o arcenes, o de un desplazamiento de mediana, puesto que la calzada adyacente también sufre estrechez con otras pilas (Figura 2). Por tanto, es necesario el desplazamiento de la pila nº1 del Viaducto Erletxes-Bilbao para garantizar el gálibo horizontal del eje Kukularra-Mungia (Figura 3).

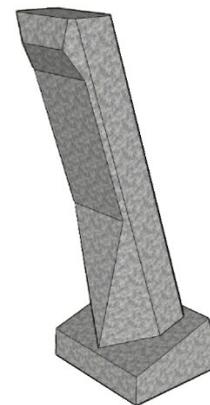


En el presente artículo se describe la solución propuesta para resolver este desplazamiento de pila: una estructura mixta en forma de “C” que conserva los puntos de apoyo originales en el encepado y en el tablero. Adicionalmente se describe el procedimiento de ejecución tanto de la demolición de la pila original, por dovelas cortadas con hilo de diamante, como de la transferencia secuencial de carga entre ambas estructuras hasta la puesta en servicio del nuevo soporte.

2. Soluciones estudiadas

2.1 Proyecto original

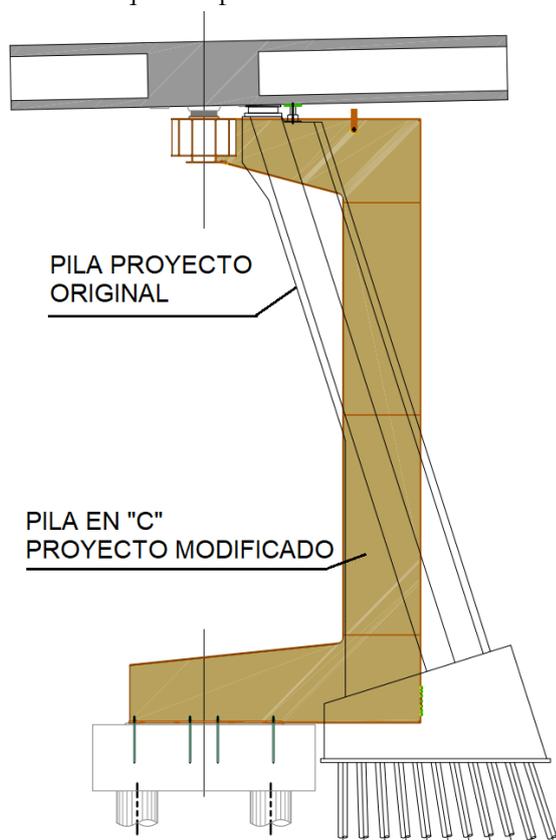
La solución planteada en el Proyecto Constructivo para el desplazamiento de la pila nº1 del viaducto Erletxes-Bilbao consiste en construir una nueva pila inclinada respecto a la vertical, de tal forma que el nuevo apoyo del tablero queda casi en el mismo sitio que el apoyo original, con un decalaje de 1.60 m. Esta solución es consciente de su impacto sobre las leyes de esfuerzos en el tablero existente, al modificar la rigidez de la subestructura, tanto vertical como horizontalmente. La forma propuesta de la pila es un paralelepípedo, con 15.96 m de altura total, y una sección transversal de 3.80 x 2.00 m (Figura 4). Los bordes de las caras presentan un rehundido interior, análogo al que existe en las pilas originales.



Para evitar asientos diferenciales se proyecta una cimentación para la nueva pila mediante un encepado de 121 micropilotes con 240 mm de perforación, camisa metálica de diámetro 177.8 mm y espesor 9.5 mm, reforzados con una barra de diámetro 40 mm de acero B500S.

2.2 Proyecto modificado

Previamente a la sustitución de la pila n°1, se acometen en sus cercanías los trabajos de ampliación del paso inferior Kukularra-Mungia, mediante dos pantallas laterales de micropilotes y una losa superior de hormigón armado. Durante la perforación de los micropilotes se constató una grandísima variabilidad del perfil de roca sana, lo que, añadido al comportamiento de grupo de los micropilotes, incorporaba a la cimentación de la pila propuesta en el Proyecto original cierta incertidumbre geológico-geotécnica que era preciso reducir.



Este hecho, unido a la necesidad impuesta por el cambio de apoyo de rigidizar la riostra del tablero del viaducto ya ejecutado Erletxes-Bilbao, sin posibilidad de acceso al interior del mismo y con la condición de contorno de mantener en todo momento el tráfico sobre el mismo, favorecieron la recuperación de la solución de pila en “C” como forma óptima de garantizar el gálibo horizontal necesario impuesto por el Proyecto (Figura 5).

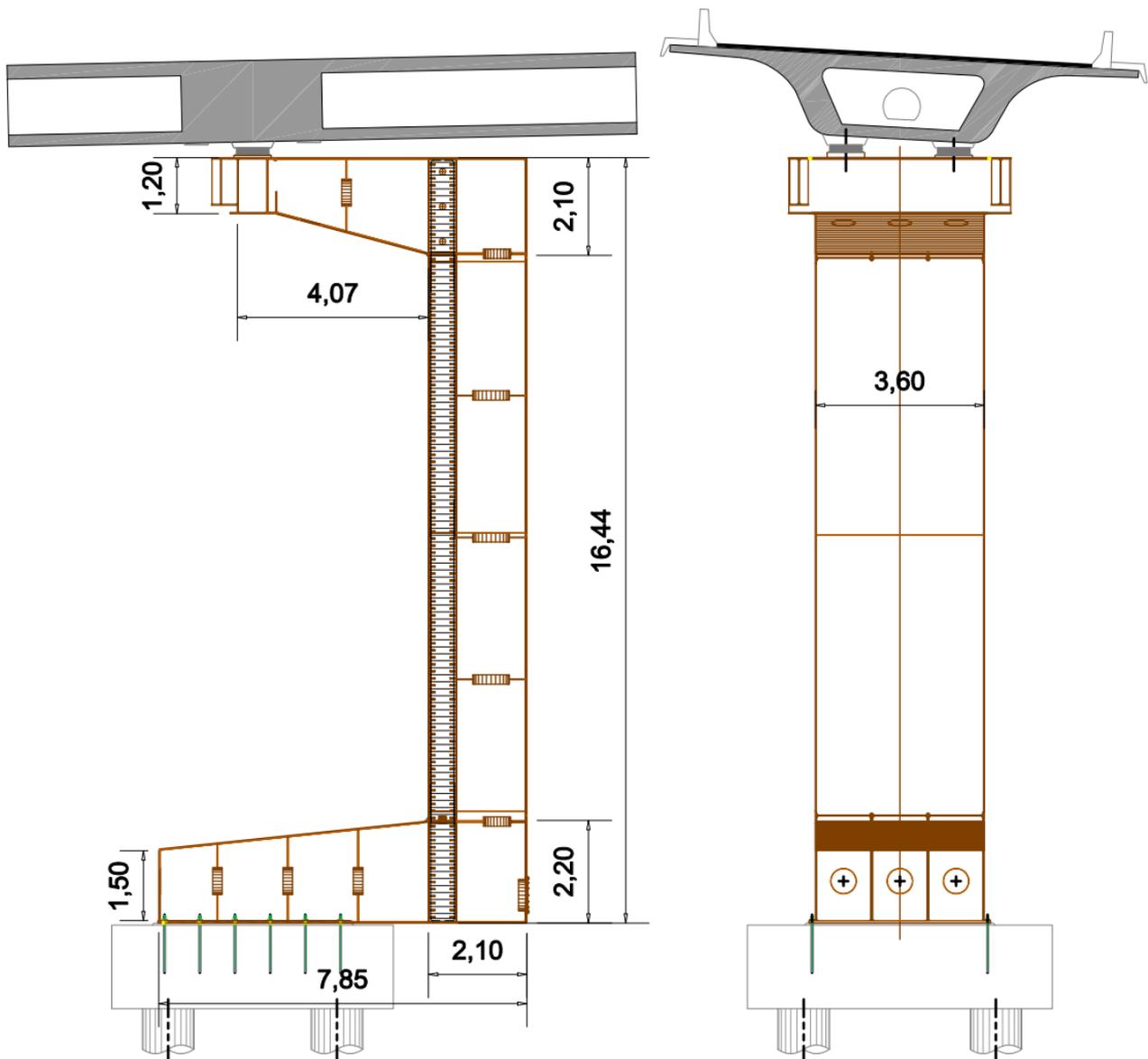
3. Descripción de la estructura

La estructura ejecutada aprovecha la cimentación del soporte existente para erigir, sobre el encepado ya consolidado, la nueva pila mixta, constituida por acero laminado de coraza y relleno parcial de hormigón para incrementar su rigidez. Esta nueva pila, en forma de “C”, consigue las prestaciones funcionales que requiere la actuación del acondicionamiento del enlace de Derio.

La nueva pila mixta, de sección cajón, está constituida por acero laminado S355-J2 en chapas y perfiles laminados en caliente, cuyo aspecto exterior asemeja a la letra “C”, y que tiene 16.44 m de altura. Se ha fabricado mediante planchas con uniones soldadas y conectores en su fuste para el hormigonado interior.

El soporte inferior presenta una anchura variable entre 1.50 y 2.20 m, y una anchura total de 7.85 m. El ancho del fuste es de 3.60 m, y su canto de 2.10 m. El voladizo superior presenta un canto variable entre 1.20 m y 2.10 m y una anchura total de 6.17 m (Figura 6).

La protección exterior de la nueva pila metálica se ha efectuado mediante chorreado en taller grado SA 2 1/2, imprimación de silicato de Zn epoxi de 74 micras, capa intermedia epoxi poliamida hierro micáceo de 100 micras aplicada en taller, y capa final de poliuretano alifático de alto contenido en sólidos de 75 micras, con alto contenido en sólidos.



4. Proceso constructivo

4.1 Trabajos previos

Para la ejecución de los trabajos se hace necesaria una mayor plataforma de trabajo, por lo que previamente se efectúa un desvío del carril dirección Mungia del ramal de salida Kukularra-Mungia, a la salida del falso túnel, por la izquierda de la pila 1 (Figura 7).

Adicionalmente, como base del apeo provisional está previsto emplear la propia cimentación de la pila 1. Para poder descubrirla previamente y debido al desnivel y proximidad

con el desvío propuesto anteriormente se diseña una pantalla de carriles en el lado más próximo al desvío, excavando con talud estable en el resto de frentes.

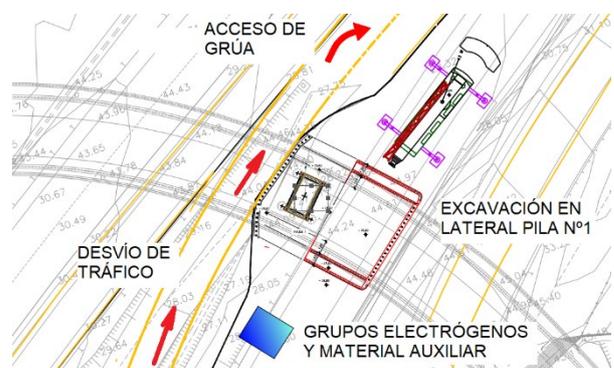


Figura 7. Desvío de carril inicial

4.2 Montaje de estructura de apeo provisional

Antes del montaje de la estructura definitiva se coloca sobre la pila existente una estructura metálica auxiliar (Figura 8), compuesta por perfiles metálicos atornillados entre sí y a la cimentación mediante chapas frontales. Esta estructura se completa con dos vigas transversales para el gateo y la trasferencia de carga, así como un sistema de rigidización en cabeza para el apoyo posterior de la viga transversal principal y los arriostramientos de los planos longitudinales de la torre.



Figura 8. Montaje de estructura de apeo provisional

Una vez instalada la torre de apeo provisional, se transfiere la carga entre la pila de hormigón armado original y la nueva estructura provisional. La operación, que se desarrolla sin tráfico en el viaducto superior, se efectúa con la ayuda de dos gatos hidráulicos de 350 t de capacidad en la cara de Bilbao y 2 gatos hidráulicos de capacidad 400 t de capacidad en la cara de Mungia, que se apoyan en las vigas transversales de gateo (Figura 10). Estos gatos, que incluyen una rótula y tuerca de seguridad, se conectan hidráulicamente dos a dos para formar una rótula longitudinal y conservar el empotramiento torsional. Las operaciones de gateo fueron ejecutadas por Grupo Orion.



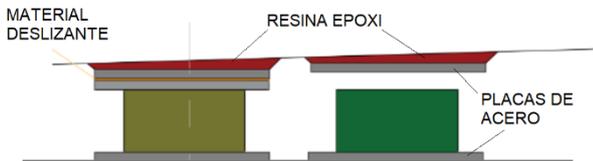
Figura 10. Torre de apeo provisional finalizada



Figura 9. Torre de apeo provisional finalizada

En una fase previa se emplea el propio cilindro para colocar bajo el tablero una chapa de acero sobre la que se dispone una torta de resina epoxi tipo Coneresive 1460, que se aprieta sobre el tablero adaptándose a sus imperfecciones y ajustando su horizontalidad. Además, habida cuenta del tiempo que deben permanecer los

cilindros en carga, se instala un sistema deslizante sobre el cilindro, formado por dos chapas de acero entre las que se coloca un teflón de 5 mm de espesor, de modo que se permite el eventual desplazamiento horizontal del tablero en ese apoyo según sus condiciones iniciales (Figura 11).



El gateo comienza en vacío, hasta conseguir despegar los apoyos de neopreno existentes. Posteriormente los gatos se bloquean. Todo el sistema hidráulico descrito está conectado mediante mangueras hidráulicas de 700 bares modelos AP y enchufes rápidos AZ3 con rosca 3/8". Es en este momento cuando pueden desmontarse los apoyos existentes, liberando espacio. La carga, 891 t, ya está transferida a la estructura auxiliar.

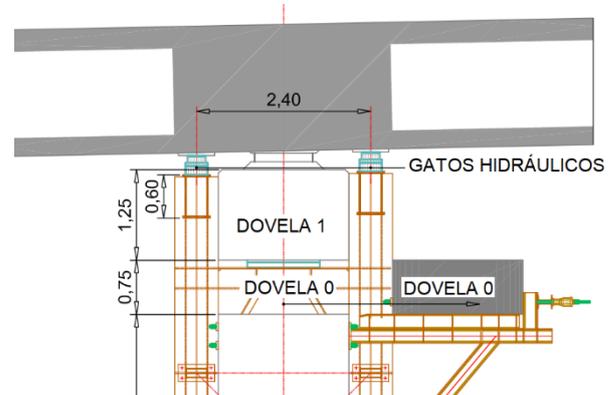
4.4 Extracción de dovela 0

Transferida la carga a la torre de apeo auxiliar, se procede al efectuar el corte horizontal mediante hilo de diamante en los dos planos que dividen la primera dovela a extraer, la dovela 0. Antes de su extracción, es preciso apear e izar la dovela 1, para lo cual se emplean 4 gatos hidráulicos de 50 t, modelo SM05010, de 100 mm de carrera. Previamente se instalan 4 ménsulas metálicas con anclaje métrica 16 mm y 150 mm de longitud con resina epoxi HIT-RE 500 V3.

Una vez colocados los cilindros se pone en carga y se iza la dovela 1 al menos 10 mm, con el objeto de evitar movimientos incontrolados de esta dovela durante la extracción de la dovela 0.

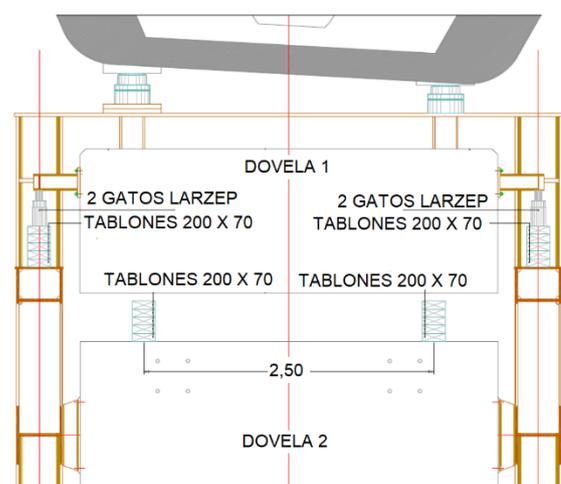
Para extraer la dovela 0 se tira de la misma por medio de unas barras de alto límite elástico, que forman parte del sistema de ménsula metálica que permite la extracción de las dovelas

de la pila de su vertical, para ser eslingadas y retiradas mediante grúa. Se emplean 16 barras de 26.5 mm de diámetro de alto límite elástico en cada posicionamiento de ménsula (Figuras 12 y 13).



4.5 Extracción de dovela 1

Después de la extracción de la dovela 0, se instala un conjunto de tabloneros bajo la dovela 1 en número suficiente hasta tener un espacio libre de 70 mm entre ellos y su cara inferior (Figura 14).

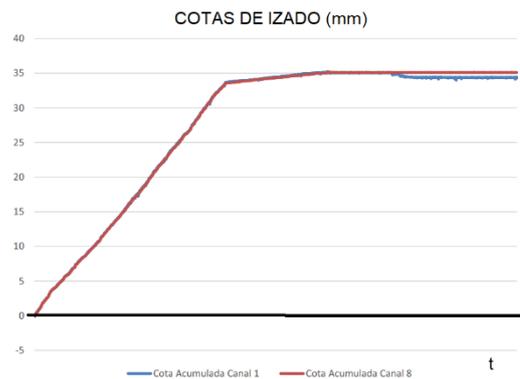
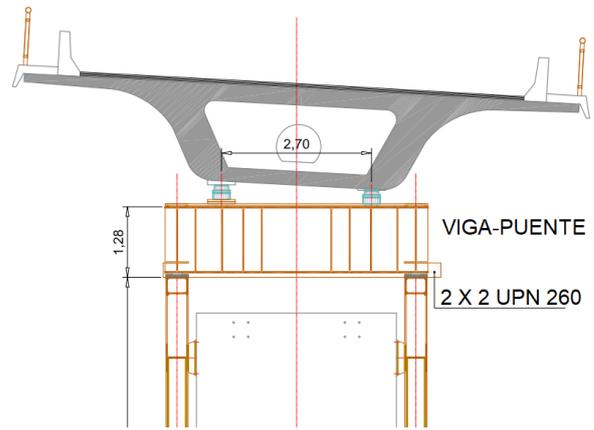


Entonces se procede al vaciado hidráulico del circuito para apoyar la dovela 1 sobre los tablonés. Seguidamente se efectúa una serie de ciclos de carga y descarga, que consisten en efectuar una reinstalación sucesiva del sistema de cilindros con su carrera extendida, procediendo al leve izado de la dovela lo suficiente para retirar un nuevo tablón bajo la misma, y al vaciado del sistema hasta el apoyo de la dovela sobre los tablonés restantes. Se efectúan hasta 7 maniobras hasta el descenso completo de la dovela 1 hasta el plano de salida (Figura 15).



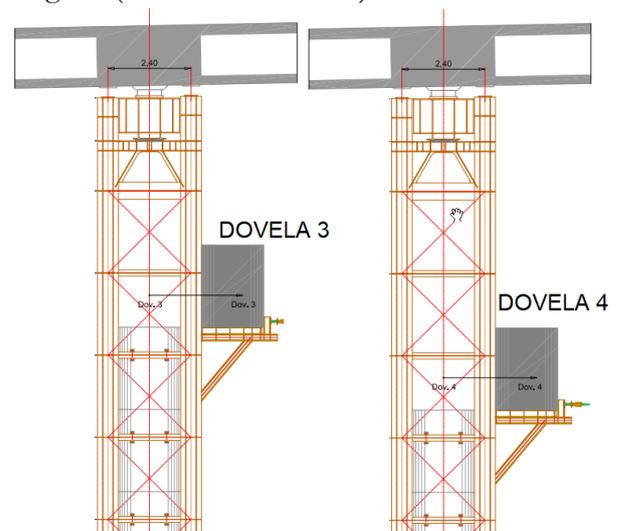
4.6 Instalación de viga-puente – maniobra 1

Después de extraer la dovela 1, se instala la viga puente, que pasará a recibir las cargas del apoyo del viaducto y además formará parte de la pila definitiva (Figura 16). Para ello se emplean los mismos gatos hidráulicos que en la maniobra 0. El peso total del tablero durante la operación de gateo es de 891 t. En esta maniobra se tuvo en cuenta parcialmente la deformación final de la pila metálica tras su puesta en carga, por lo que la maniobra de transferencia de cargas de la cimbra a la viga cargadero implicó una elevación provisional de la cota del tablero. Las cotas finales de izado fueron 34,4 mm en el par de gatos sentido Bilbao y 35,1 mm en el par de gatos sentido Mungia (Figura 17).



4.7 Extracción de resto de dovelas

Transferida la carga del viaducto a la viga cargadero, se procede al corte mediante hilo diamantado y extracción de las dovelas restantes (Figura 18) en las que se descompuso la pila original (dovela 2 a dovela 7).



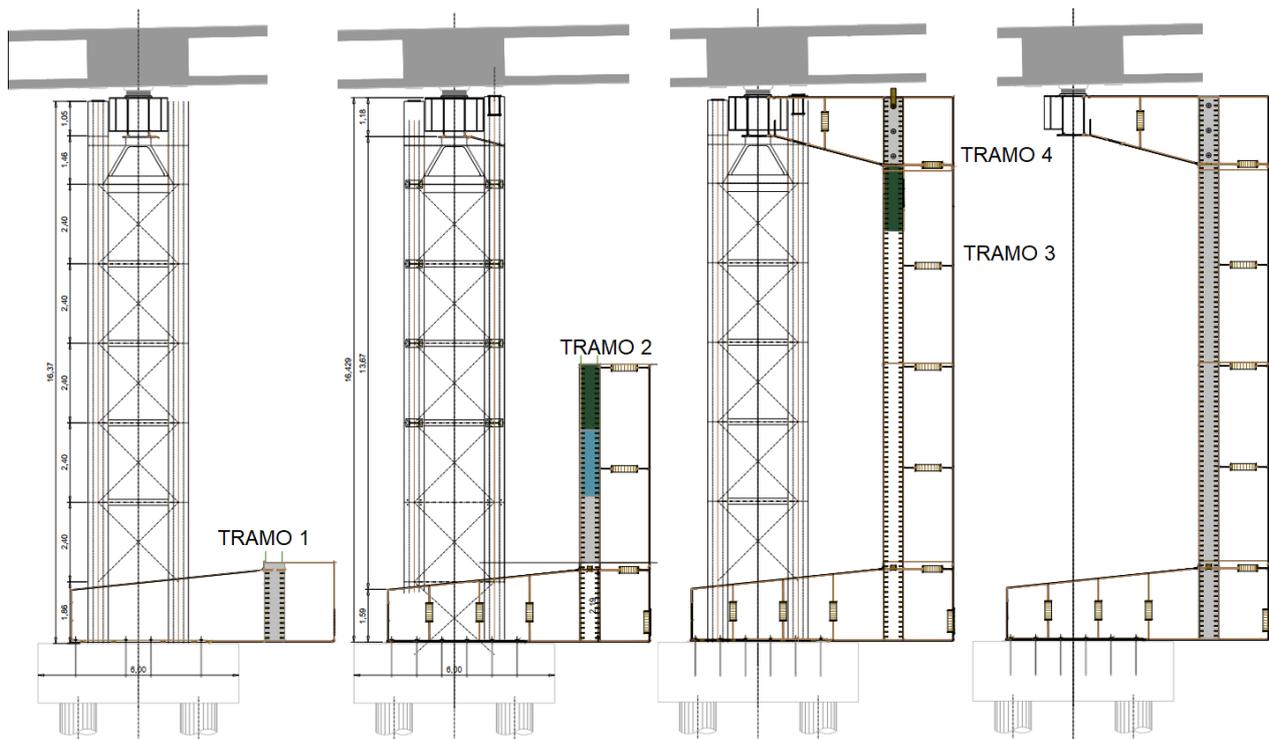


Figura 20. Secuencia de montaje de pila en "C"

Para fijar la estructura definitiva y nivelarla perfectamente se cose el encepado de barras ancladas al mismo. En concreto, sobre el encepado existente se realizan 44 perforaciones de 1 m de profundidad y diámetro 40 mm, en donde se colocan barras tipo Gewi de diámetro 25 mm y 1300 mm de longitud unidas al encepado con resina (Figura 19).

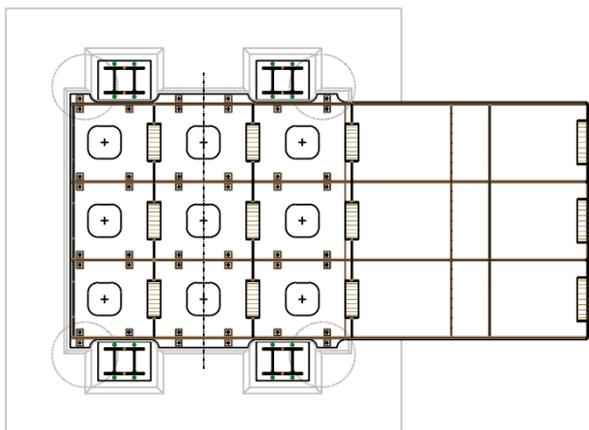


Figura 19. Detalle de perforación en planta de barras de cosido

Estas barras llevan tuercas por el exterior de la estructura que se emplearán para nivelar el apoyo de la estructura definitiva.

La estructura definitiva se fabrica en taller en 4 tramos, un primer tramo base (tramo 1), 2 piezas que completan el fuste (tramo 2 y 3) y un último tramo en ménsula que conecta con la viga-puente (Figura 20).

El primer tramo de la pila tiene unas dimensiones de 3.880 x 7.850 x 2.400 mm y un peso aproximado de 31 t. El tramo 2, de dimensiones 3.600 x 600 x 5.931 mm, tiene un peso de 17 t. El tramo 3, de dimensiones 3.600 x 600 x 5.818 mm, presenta un peso de 16 t (Figura 21). Finalmente se monta el tramo 4, en ménsula, de dimensiones 5,525 x 3.600 x 2.280 mm y un peso de 21 t. Una vez posicionado este último tramo, se procede a la soldadura de unión entre los tramos 3 y 4. Parte de la unión soldada del tramo ménsula con la viga-puente se realiza por el interior de la pila, necesitando cestas autopropulsadas para acceder al interior de la pila y ventilación forzada en el transcurso de los trabajos. La viga-puente queda como elemento integrante de la pila mixta definitiva.

El hormigonado de la pila se ha ido efectuando por fases en el transcurso del montaje de la pila. El hormigón empleado ha sido HA-35/AC/10/IIa. Las armaduras de cada tramo de la pila en “C” vienen soldadas de taller, siendo la longitud de solape de cada tramo de 80 cm.



Figura 21. Instalación de tramo 3 de pila definitiva

La transferencia definitiva de cargas se inicia con un pequeño gateo de la viga puente que permita extraer los neoprenos provisionales y las chapas de calce. Posteriormente, la maniobra de puesta en carga se realizó en tres etapas de descenso del cargadero hasta la liberación completa de los cilindros hidráulicos. El descenso medio del sistema fue de 60 mm.

4.10 Ajuste final de cota – maniobra 3

En esta última fase se sitúa la cota del tablero en su posición original. Como la viga-puente se dejó en la primera maniobra 35 mm sobre su posición definitiva y en la maniobra 2 la flecha de deformación resultó del orden de 60 mm, es preciso elevar el tablero 25 mm para recuperar la cota inicial del tablero, y poder de esta manera calzar con chapas de espesor 25 mm los apoyos de neopreno definitivos de 700 x 700 mm (Figura 22).

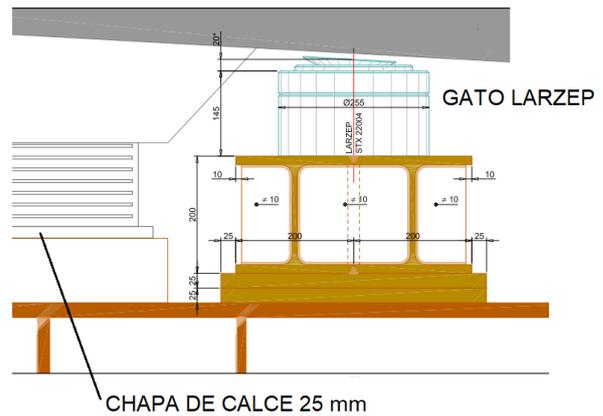


Figura 22. Detalle de posición de gatos y chapas de calce en maniobra 3

Tras el ajuste definitivo de la cota del tablero, una vez en carga la nueva pila en “C”, se retiran los perfiles que componían la estructura provisional de apeo, liberando espacio para poder ejecutar los trabajos de afirmado a lo largo de todo el gálibo horizontal necesario. Finalmente se instala una escalera de paso hacia los apoyos por el interior de la pila, así como una arqueta de acceso adosada a su base (Figura 23). Es entonces cuando puede entrar en servicio la nueva infraestructura.

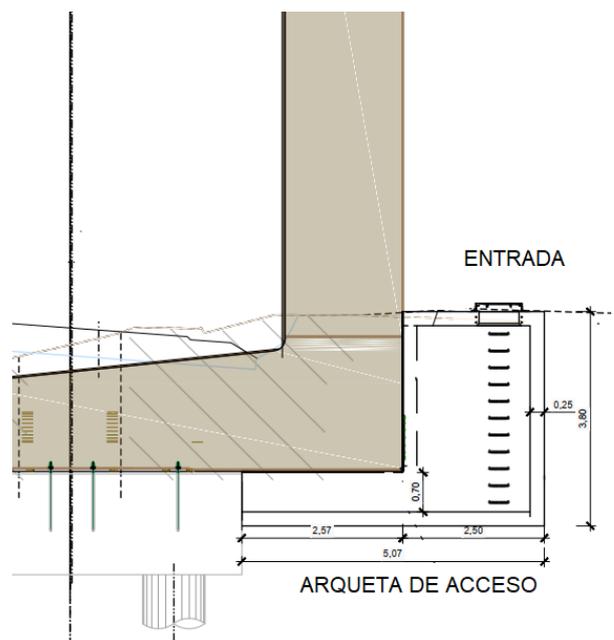


Figura 23. Arqueta de entrada junto a base de la pila en “C”

5. Conclusiones

El proyecto y construcción de la nueva pila en “C” descrita en los párrafos anteriores, sirve para dotar de mayor gálibo horizontal al eje Kukularra-Mungia bajo el enlace de Derio. Esta solución presenta, frente a otras, las ventajas de aprovechar el mismo punto de cimentación y el mismo apoyo en el tablero de la pila original, consiguiendo introducir la menor distorsión en el funcionamiento inicial del tablero. Al mantener la misma cimentación se evita construir una nueva, manteniendo la capacidad portante y la rigidez del sistema original. Conservar el mismo punto de apoyo en el tablero evita costosos trabajos de rigidización interior, sin afectar el tráfico sobre el viaducto existente.

Este proyecto ha supuesto para todos sus intervinientes, tanto el equipo del promotor (Diputación Foral de Bizkaia), como de la UTE constructora (Tecimasa y Viuda de Sainz) un gran reto técnico y constructivo. En especial por el poco espacio disponible y por la necesidad de mantener el tráfico en todo momento, tanto en las cercanías de la pila como sobre el viaducto superior, en un nudo estratégico en la red de carreteras de Bizkaia (Figura 24).



Figura 24. Pila en “C” en fase de servicio

Referencias

- [1] Diputación Foral de Bizkaia. Departamento de Obras Públicas, Proyecto de Construcción del Acondicionamiento de la Conexión N-637 con N-633 y BI-737. Sentido Rontegi-Mungia, Bilbao, 2014.
- [2] Diputación Foral de Bizkaia. Departamento de Desarrollo Económico y Territorial, Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia, Bilbao, 2019.