

Soluciones prefabricadas adaptativas en el ámbito de la obra civil

Adaptive precast solutions in the field of civil works

Miguel Peláez Ruiz^a, Marcus Lindon^b y Ángel José León Alonso^c

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Director Técnico, Tierra Armada, S.A., Madrid, España mpelaez@tierraarmada.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Responsable Técnico Dpto. Muros y Bóvedas, Tierra Armada, S.A., Madrid, España mlindon@tierraarmada.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Ingeniero Dpto. Técnico, Tierra Armada, S.A., Madrid, España aleon@tierraarmada.com

RESUMEN

La prefabricación de elementos estructurales de hormigón armado y pretensado en el ámbito de la obra civil se enfrenta a una creciente demanda de soluciones diferentes a las tradicionales, que obliga a la adaptación de los productos a nuevas aplicaciones con las consiguientes exigencias especiales de diseño, cálculo, fabricación y montaje. A continuación, se describen las particularidades de algunas realizaciones recientes en las que los productos habituales se han adaptado a entornos novedosos como las galerías transversales de conexión en túneles ferroviarios de alta velocidad o los estribos de un puente singular.

ABSTRACT

Precasting of structural elements made of reinforced and prestressed concrete in the field of civil works faces to an increasing request of different solutions than traditional ones, which requires the adaptation of products to new applications, resulting special design, calculation, precasting and erection requirements. The special features of some jobs, where usual products have been adapted to new environments, such as the transverse connection galleries between HSL tunnel tubes or the abutments of a singular bridge, are described below.

PALABRAS CLAVE: hormigón armado, prefabricado, adaptativo, bóveda, muro, estribo, panel, túnel, galería

KEYWORDS: reinforced concrete, precast, adaptive, vault, wall, abutment, panel, tunnel, gallery

1. Introducción

Históricamente, la prefabricación de hormigón ha estado asociada a la repetición de un catálogo de elementos estándar con una capacidad limitada de adaptación a las condiciones particulares de cada obra, tanto geométricas como de otro tipo. Sin embargo, la industria del prefabricado se ha venido adaptando a la creciente demanda de aplicaciones diferentes a las tradicionales, bien con nuevos productos,

bien ajustando los existentes a las nuevas necesidades. En definitiva, se trata de ofrecer soluciones a situaciones concretas en las que el cliente requiere reducir al máximo los trabajos in situ por razones de plazo, accesibilidad, dificultad de ejecución o movilización de los medios necesarios. En otros casos, el interés por la prefabricación viene motivado por razones estéticas, dado que el hormigonado en moldes

proporciona un aspecto final difícil de conseguir en obra con las técnicas habituales de encofrado y facilita la inclusión de acabados decorativos.

Así, se exponen a continuación dos casos de aplicación de las bóvedas prefabricadas, habitualmente utilizadas en pasos inferiores, obras de drenaje o túneles artificiales bajo rellenos de tierras, en cavernas de ataque intermedio para túneles ferroviarios de alta velocidad, bien como estructuras exentas que dan continuidad a los túneles en mina y conforman las galerías transversales entre los mismos, bien como revestimiento y encofrado perdido para la ejecución de un relleno de hormigón en su trasdós.

También se describen las particularidades de una realización en la que los paneles de muro con contrafuertes se adaptaron a las necesidades del cliente para resolver los estribos de un puente singular, con tipología de arco rebajado, combinando las tradicionales aplicaciones como muro de contención de tierras con otras de falso estribo, cerramiento y chapado en las cámaras situadas entre los arranques del arco y los cargaderos posteriores.

2. Continuidad de túneles y galería de interconexión en el túnel del Espiño (L.A.V. Madrid-Galicia)

La construcción del túnel del Espiño se enmarca en las obras de plataforma correspondientes a la L.A.V. Madrid-Galicia dentro del corredor Norte-Noroeste. Consta de dos tubos independientes, uno para cada vía, con una sección libre interior de 52 m² y una longitud de casi 8 km, que se desarrolla en los términos municipales de A Gudiña y Vilariño de Conso, provincia de Orense. Cada uno de los tubos fue objeto de un contrato de obras independiente y para su excavación en un macizo formado por pizarras silíceas, cuarcitas y granitos, tanto sanos como meteorizados, se empleó el nuevo método austriaco comenzando en las bocas y en una galería de ataque intermedia.

Es precisamente en el interior de esta caverna intermedia donde se utilizaron bóvedas prefabricadas para resolver la continuidad longitudinal del revestimiento de los túneles en mina en un tramo de 10.4 m y la ejecución de una galería transversal de interconexión (fig. 1). Las piezas cuentan con varios huecos de diferente tamaño que permiten el entronque de los túneles principales con la galería transversal, además de alojar las puertas de acceso tanto a las instalaciones eléctricas ubicadas en el interior de la caverna, como a la galería de evacuación habilitada en la entrada al punto de ataque intermedio y al resto de zonas de la caverna para una eventual inspección. Estas ventanas se centraron con la junta entre dos piezas, con el

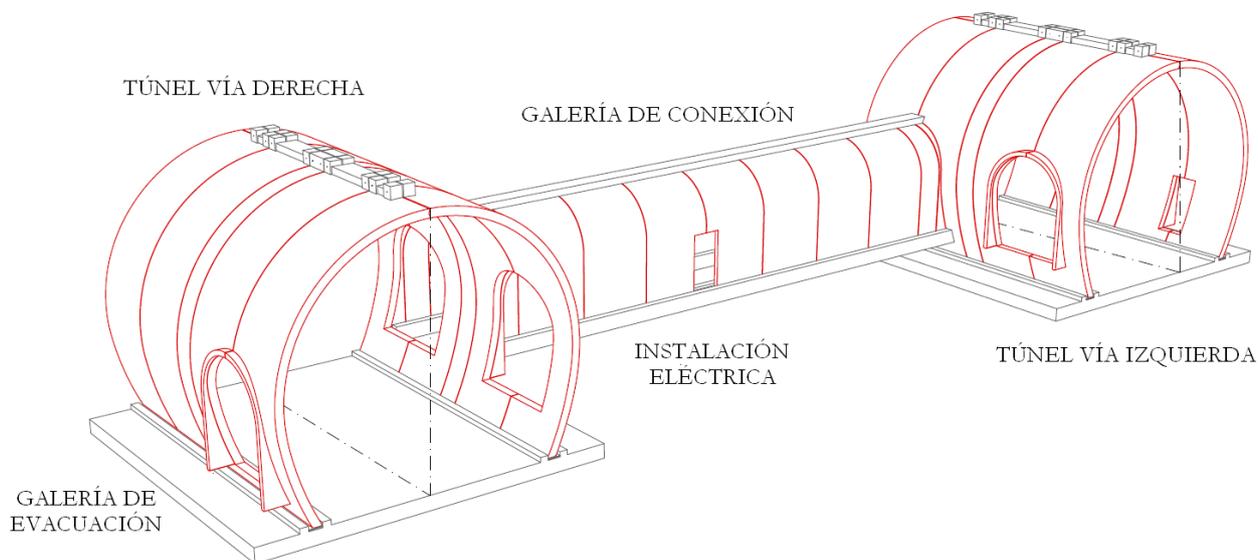


Figura 1. Esquema de las bóvedas prefabricadas del túnel del Espiño



Figura 2. Pieza de túnel principal con ventana y collarín con terminación vertical

objeto de distribuir las simétricamente entre ellas, disminuyendo el consiguiente efecto de reducción de sección. El perímetro de las ventanas se remata con un collarín ejecutado en fábrica en segunda fase que proporciona una terminación vertical y permite la colocación del dispositivo de cerramiento y el ajuste de las piezas en el entronque de la galería con las ventanas de los túneles principales (fig. 2).

Por tanto, las bóvedas principales mantienen la sección interior de los túneles en mina, con una geometría constituida por arcos circulares de dos radios: 4.375 m en la parte superior y 8.814 m en hastiales. La luz interior es de 6.94 m y la flecha interior de 7.64 m, lo que representa un desarrollo interior de 20.574 m, resuelto con piezas de 0.25 m de espesor que se

apoyan en una losa ejecutada in situ. Se construyen dos tramos de 10.4 m, uno para cada tubo.

La galería de interconexión tiene una sección en arco de medio punto con 3.00 m de luz interior, 3.70 m de flecha interior y 9.112 m de desarrollo en cara vista. La bóveda tiene una longitud de 21.4 m y se resuelve con piezas de 0.20 m de espesor colocadas sobre unas zapatas de cimentación hormigonadas en obra (fig. 3).

Las acciones consideradas para el dimensionamiento de las piezas son el peso propio, el viento, condicionante en fase de construcción, y la presión aerodinámica producida por el paso de los trenes en los túneles principales. Para esta última se consideró un valor de ± 5 kPa en consonancia con el análisis de la sección aerodinámica del túnel realizado por Tifsa para Adif. Dado que, según los cálculos, esta acción provoca tracciones en clave, que pueden separar las piezas al no quedar compensadas con la compresión del peso propio, se diseñó una correa longitudinal en clave con armadura pasante. Como es habitual en el dimensionamiento de elementos prefabricados, se analizaron las situaciones transitorias de manipulación y construcción



Figura 3. Aspecto de las bóvedas tras el montaje en el interior de la caverna

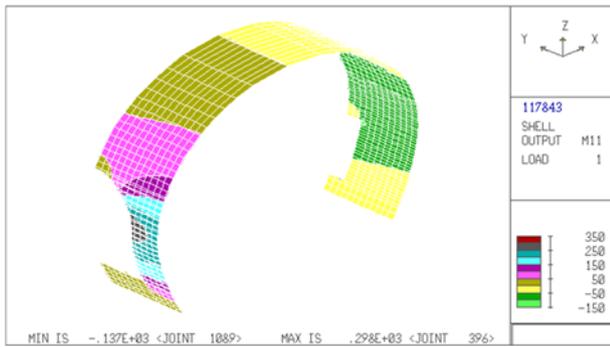


Figura 4. Modelo de cálculo tridimensional con elementos tipo placa para piezas con ventana

además de la correspondiente a las cargas de servicio en explotación.

Para el cálculo de esfuerzos por metro lineal se realizaron modelos planos con elementos tipo barra en un programa de elementos finitos. Las piezas con ventanas requirieron un análisis especial en modelos tridimensionales con elementos tipo placa, que permitieron evaluar el efecto de los huecos en la distribución de esfuerzos y dimensionar los refuerzos correspondientes (fig. 4).

El montaje de la estructura estuvo condicionado por su ubicación en un espacio confinado de reducidas dimensiones, lo que implicó una estricta secuencia de montaje empezando por el tubo izquierdo, para a continuación realizar la galería transversal y

finalmente completar los trabajos con el tubo derecho, que permitía la salida de los medios de montaje por el acceso a la caverna. Por otro lado, la imposibilidad de utilizar dos grúas por la falta de espacio, obligó a realizar atirantamientos provisionales para estabilizar las primeras piezas que conforman la sección transversal hasta la colocación de sus simétricas, tanto en los túneles principales, encajados con una disposición de piezas enfrentadas, como en el inicio del montaje de la galería transversal, en la que se pudo adoptar un esquema al tresbolillo.

A esto hay que sumar que la sección transversal de la caverna proporcionaba un gálibo insuficiente para el brazo de la grúa en sus laterales, lo que obligó a montar los pares de piezas correspondientes de los túneles principales en el centro y posteriormente trasladarlas a su posición definitiva, para lo que se previeron dos chapas de deslizamiento de acero en el pie de las piezas, así como eslingas en el canto de la pieza para permitir el tiro. El contacto en la clave entre los dos segmentos se aseguró mediante barras postesadas que conectaban sendos macizos ejecutados en fábrica en segunda fase (fig. 5).

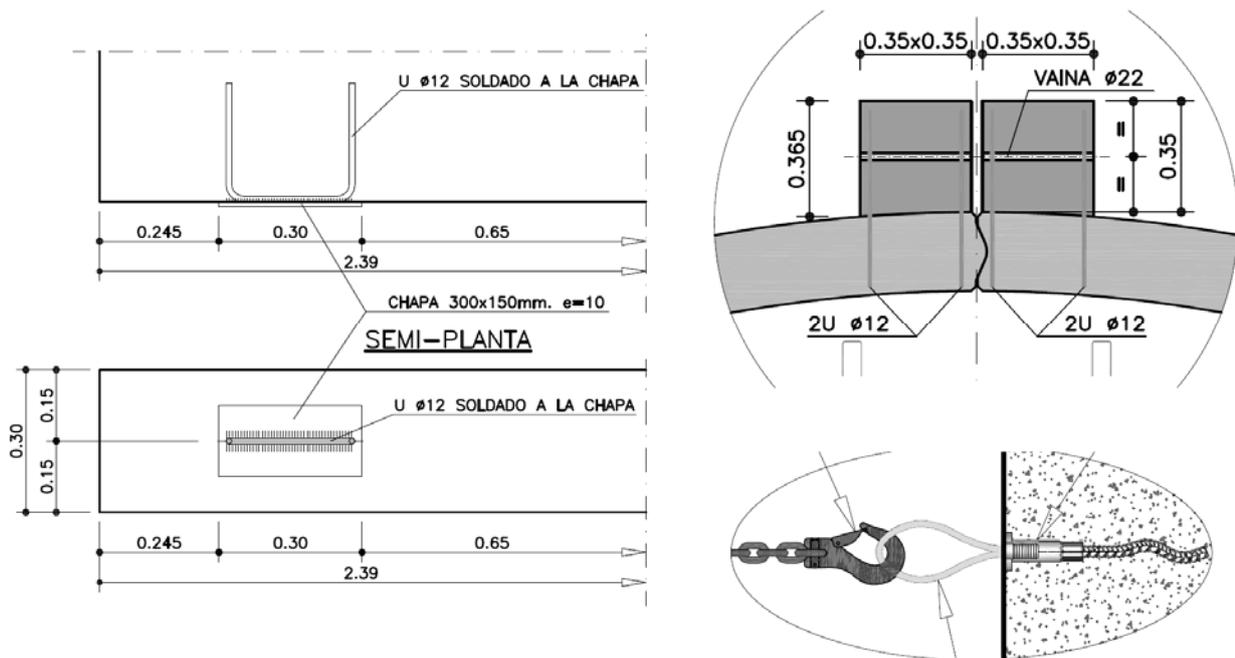


Figura 5. Detalles para traslación de pares de piezas: chapas de deslizamiento, eslingas en canto y barras postesadas

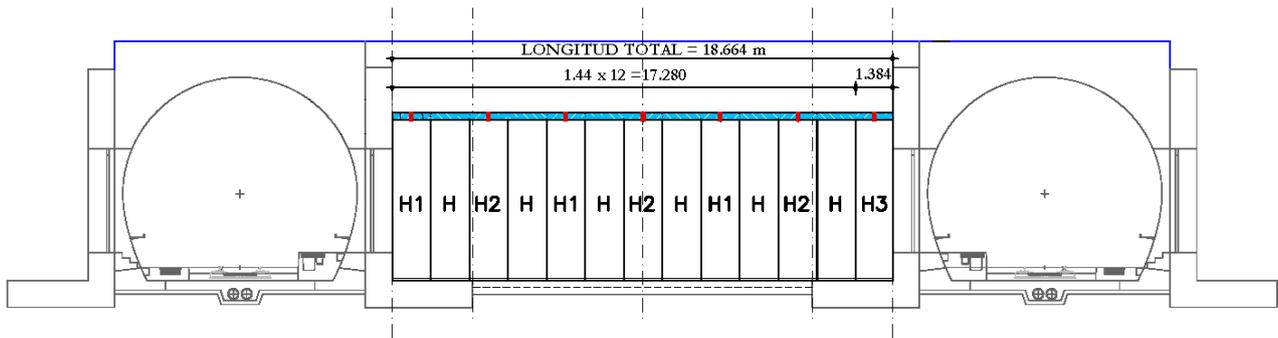


Figura 6. Alzado de las piezas prefabricadas de encofrado perdido y revestimiento en la GAI del túnel de la Canda

3. Revestimiento y encofrado perdido para la galería de ataque intermedio del túnel de la Canda (L.A.V. Madrid-Galicia)

La construcción del túnel de la Canda también forma parte de las obras de plataforma correspondientes a la L.A.V. Madrid-Galicia. Consta de dos tubos independientes, uno para cada vía, con una longitud de 7.3 km en los términos municipales de Lubián y A Mezquita, provincias de Zamora y Orense, respectivamente. La excavación de los mismos se apoyó en una galería de ataque intermedia posteriormente habilitada como galería

transversal de interconexión.

La caverna, estabilizada con cerchas, paraguas de bulones y gunitado, tenía una sección en bóveda con una altura mínima del orden de 8.40 m. Se diseñó una estructura constituida por bóvedas prefabricadas que además de proporcionar el revestimiento de la galería fue utilizada como encofrado perdido durante el relleno con hormigón en masa del espacio existente entre el prefabricado y la caverna en su estado inicial.

Esta bóveda tiene una longitud de 18.66 m (fig. 6), con unas dimensiones interiores de 11.61 m de luz, 6.00 m de flecha y 18.56 m de desarrollo. Se adopta un espesor de 0.30 m (fig.

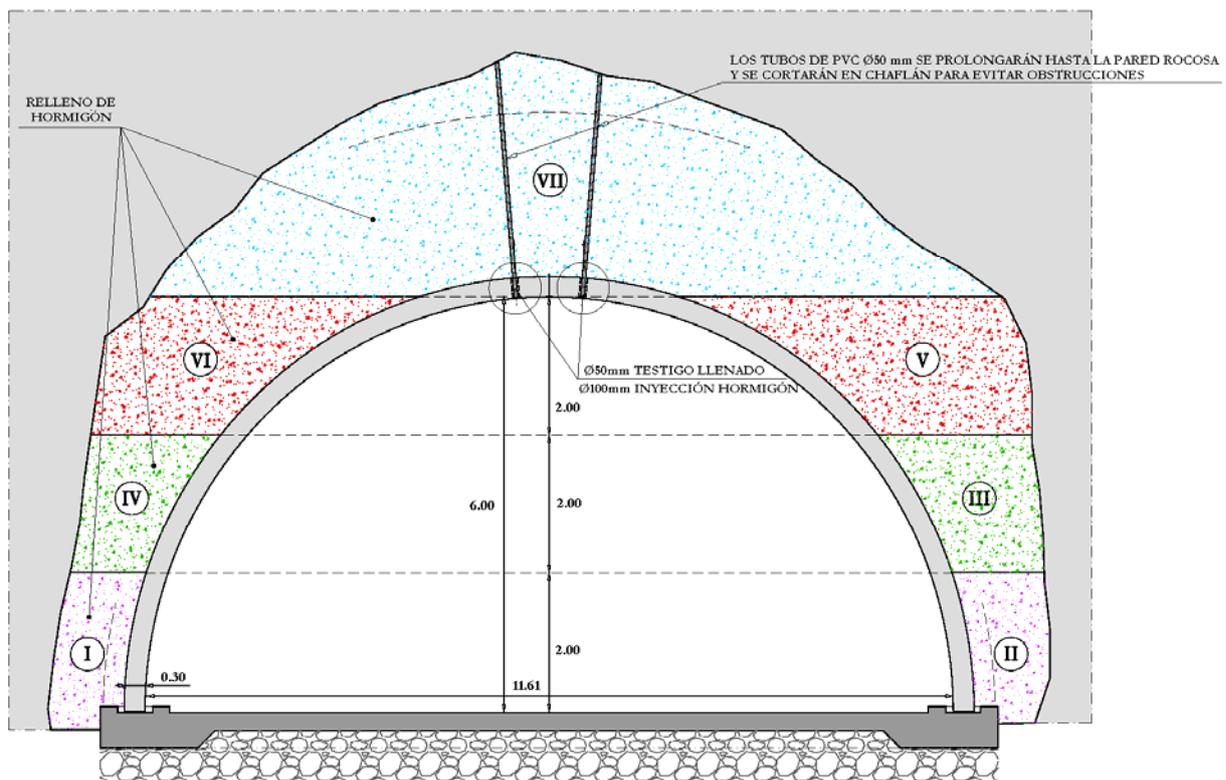


Figura 7. Sección transversal y fases de relleno de la bóveda

7). La sección transversal está constituida por arcos circulares de dos radios, 5.70 m en la parte superior y 6.17 m en hastiales. Las piezas prefabricadas se apoyan en las cimentaciones de los muros de cierre de la caverna en los extremos de galería, mientras que en el tramo intermedio se ejecuta una losa corrida de espesor variable, dada la proximidad de los apoyos de la bóveda al borde de la cimentación.

Las dimensiones del arco vinieron determinadas por la cinemática del montaje, considerando la altura interior de la caverna, la longitud del gancho de la grúa, el espacio necesario para la abrir los cables de tiro hasta las eslingas y una holgura. Por otro lado, las restricciones en el peso de las piezas impuestas por la limitación de la capacidad de las grúas para el brazo necesario, obligaron a reducir la anchura de las piezas a 1.44 m lo que limitó el peso de cada elemento a 10.3 toneladas.

El montaje se realizó con dos grúas autopropulsadas situadas en la dirección

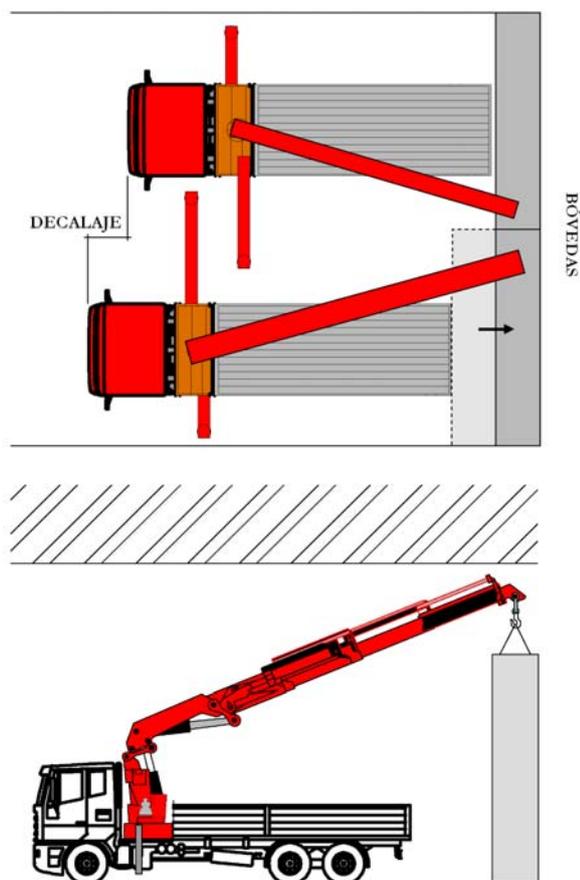


Figura 8. Esquema de montaje de la bóveda

longitudinal de la caverna. Antes de la operación de izado, las dos piezas que se iban a levantar se dejaban horizontales apoyadas en su cuerda y desfasadas longitudinalmente para evitar la interferencia entre ellas. Las grúas se colocaban igualmente decaladas y tras el izado de los elementos mediante una rotación alrededor de su pie, la pieza decalada se situaba en su posición definitiva estirando el brazo de la grúa correspondiente (fig. 8).

En el dimensionamiento de las piezas se consideró el peso propio, el viento en fase de construcción, el empuje hidrostático del hormigón en su función de encofrado perdido y una presión radial uniforme actuando en dirección radial hacia el interior del túnel de 100 kPa en su función de revestimiento. Se definieron unas fases de hormigonado del trasdós con capas de 2 m de espesor máximo, esperando al endurecimiento de la capa anterior para la ejecución de la siguiente. El hormigonado de los hastiales se ejecutó por los laterales en el espacio existente entre la bóveda y la caverna. En la clave se dispusieron tubos de PVC pasantes para permitir la inyección del hormigón, también utilizados como testigos de llenado. Estos últimos se prolongaron hasta la pared rocosa y se cortaron en chaflán para evitar su obstrucción (fig. 7).

4. Puente singular sobre la M-12 en la conexión de Valdebebas con la NAT de Barajas

La conexión del desarrollo urbanístico de Valdebebas con la NAT de Barajas ha requerido la ejecución de un puente singular que cruce sin apoyos intermedios sobre las cuatro calzadas de la autopista M-12 y permita el paso de dos calzadas con dos carriles cada una. El puente, de 260 m de longitud total, tiene una luz de 160 m entre estribos y se resuelve con un arco rebajado atirantado, en el que los tirantes que unen el tablero con el arco conforman una malla de acero diseñada como un doble diagrid.

En los dos estribos de este puente se han

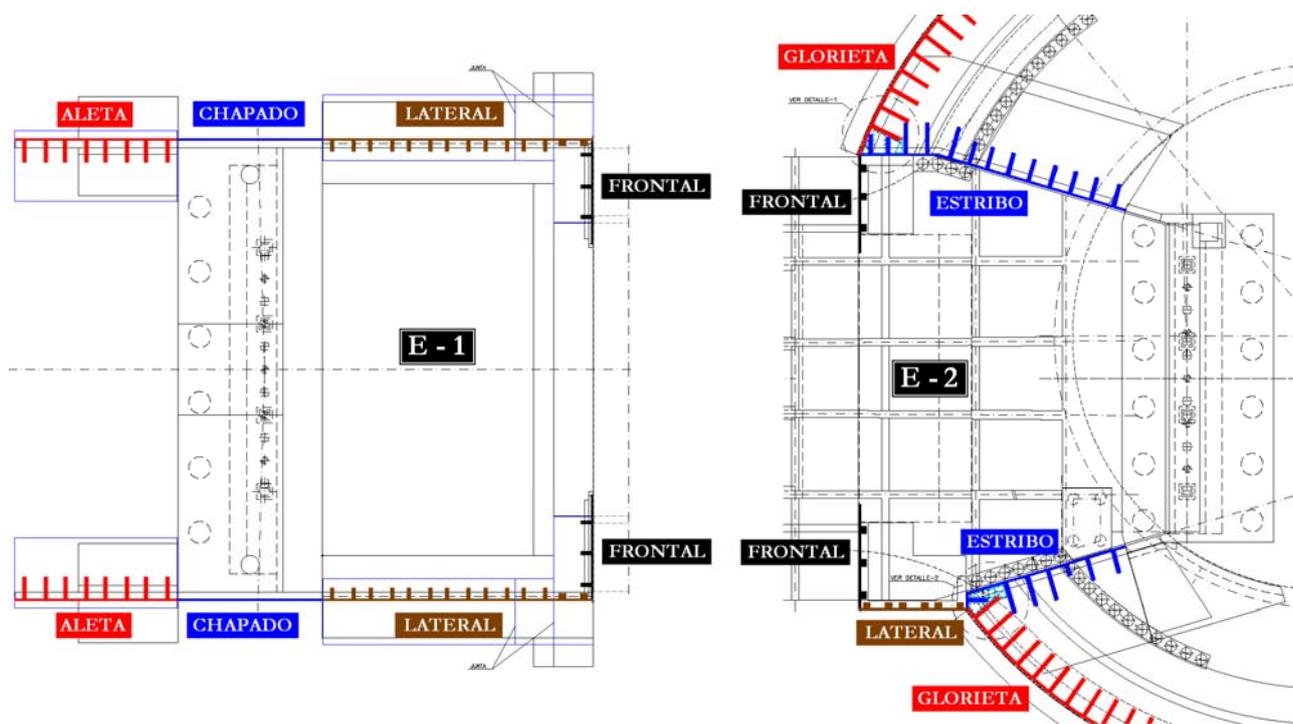


Figura 9. Muros prefabricados en los estribos del puente singular de Valdebebas sobre la M-12

empleado diversas adaptaciones del producto tradicional de muros prefabricados con contrafuertes a la configuración geométrica de la estructura, las fases de ejecución y al resto de condicionantes planteados por el cliente, entre ellos las exigencias estéticas.

Así, el estribo E-1 requirió el diseño de cuatro tipos de muros (fig. 9):

- Unas aletas en vuelta por detrás del cargadero-contrapeso con función de muro de contención convencional.
- Unos paneles de chapado que cubren los laterales del citado cargadero.
- Unos paneles de cerramiento laterales para la cámara situada entre el cargadero y el arranque del arco.
- Unos paneles de cerramiento frontales con geometría adaptada a la sección transversal del tablero.

Por su parte, el estribo E-2 cuenta con las siguientes soluciones prefabricadas (fig. 9):

- Un muro de contención de tierras en unas tres cuartas partes del perímetro de la glorieta con un acabado decorativo formado por barras verticales.
- Unos muros laterales con función de falso estribo que permiten el acceso

desde la calzada anular al tablero entre el contrapeso situado en el centro de la glorieta y el arranque del arco.

- Unos paneles de cerramiento frontales y laterales análogos a los del E-1, aunque resueltos de forma diferente como se expondrá más adelante.

Los muros de falso estribo del E-2 están constituidos por paneles de 13.23 m de altura máxima y 2.40 m de anchura tipo, que cuentan con dos contrafuertes de 9.50 m de altura máxima y 0.20 m de espesor. Cuando la anchura del módulo es inferior a 1.50 m se dispone únicamente un contrafuerte por módulo. En la parte superior del muro se ejecuta una riostra para el apoyo de la losa de transición, por lo que los contrafuertes llevan esperas de conexión en su coronación.

El diseño de las cimentaciones para estos paneles estuvo condicionado por la existencia de dos encepados de pilotes concéntricos con la glorieta y oblicuos a la alineación de los paneles, dado que la excavación necesaria para la ejecución de las zapatas del muro perimetral no debía afectar a la zona de influencia de los pilotes del contrapeso, que está previsto que trabajen a tracción. Esto obligó a adoptar

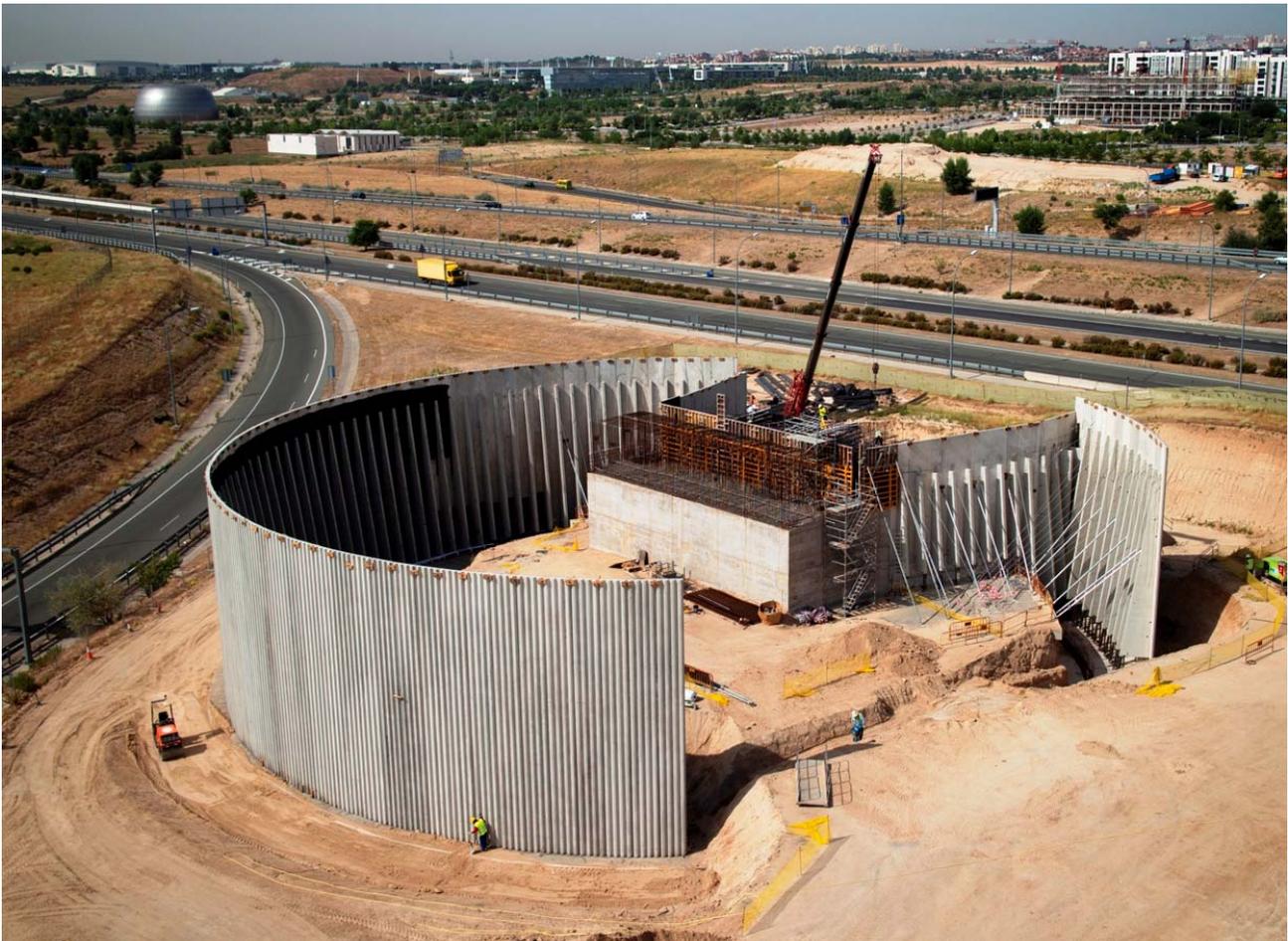


Figura 10. Vista del E-2 tras el montaje de los muros de glorieta y falso estribo

geometrías de zapata irregulares con la consiguiente repercusión en el diseño de las armaduras (fig. 9 y 10).

Por su parte, el muro perimetral de la glorieta cuenta con paneles de 14.16 m de altura y 1.16 m de anchura (fig. 10). Los contrafuertes tienen 11 m de altura, espesor de 0.20 m y canto variable con un máximo de 1.69 m en la base. El espesor mínimo de la pantalla es de 0.10 m y se incrementa a 0.20 m para conformar un acabado con barrados verticales. Ante la imposibilidad de encontrar un armado eficiente en las grecas frente a los efectos reológicos y térmicos, que no dificultara excesivamente los procesos de producción, se optó por emplear en pantalla un hormigón con un contenido en fibras de polipropileno monofilamento de 600 g/m³, disponiéndose en la parte maciza de la sección toda la armadura pasiva necesaria para resistir los esfuerzos.

Los muros de cerramiento frontales de los dos estribos se adaptaron a la geometría de la

sección transversal del puente, lo que dio lugar a la definición de algunos paneles con anchura variable con la altura y, por tanto, inclinados en uno de sus lados (fig. 11). La altura máxima de módulo es de 9.69 m y las anchuras están comprendidas entre 1.09 y 2.30 m. Se dispone un contrafuerte por panel en todos los casos.

El diseño de los muros de cerramiento frontales y laterales del E-2 (fig. 10) vino determinado por el proceso constructivo del puente, que requería levantar de manera inmediata la parte inferior del muro para ejecutar un relleno que permitiera colocar la cimbra. Por tanto, se ejecutó in situ la altura necesaria con un muro de 0.48 m de espesor (fig. 11). Para resolver la conexión entre los paneles prefabricados y el muro ejecutado en primera fase se dejaron unas vainas que permitían introducir las esperas de los módulos, rellenas posteriormente con grout. El requerimiento de que la cara vista quedara alineada con la de la primera fase, unido a las limitaciones de canto y



Figura 11. Adaptación de los paneles frontales del E-2, continuación de un muro in situ, a la geometría de la estructura



Figura 12. Vista del estribo E-1 tras el montaje de los módulos de aleta posteriores. Se representan los paneles de chapado y de cierre del lateral derecho, así como el derrame de tierras previsto

a la necesidad de cumplimiento de unas separaciones mínimas entre vainas y respecto al borde del muro, obligaron a adoptar una sección de contrafuerte poco convencional con 0.30 m de canto y 0.40 m de base. Estos paneles están

sometidos a flexiones en los dos sentidos, por lo que fue necesario disponer esperas en la base del contrafuerte tanto en la cara vista como en la posterior.

Por el contrario, para los paneles de

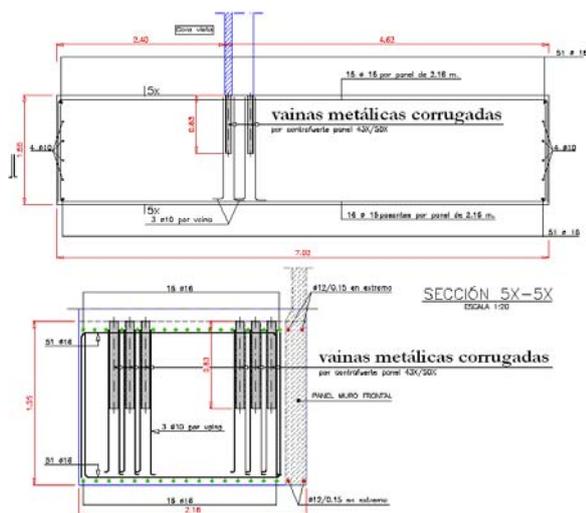


Figura 13. Detalle de la cimentación en el encuentro de los paneles de cierre frontales y laterales del E-1

cerramiento del E-1 se empleó de forma general el método habitual de conexión con la cimentación, consistente en la colocación del panel con sus esperas correspondientes y el posterior hormigonado de la zapata. En consecuencia, se emplearon contrafuertes con 0.60 m de canto y 0.20 m de base.

Los muros de cierre laterales de este estribo están formados por módulos de 10.10 m de altura máxima y anchura máxima de 2.20 m. Se han diseñado para soportar los empujes del derrame de tierras por delante del paramento, es decir en la cara opuesta a los contrafuertes (fig. 12). Esta disposición produce tracciones en la pantalla y compresiones en el contrafuerte, al contrario que en los muros convencionales, con el consiguiente aprovechamiento menor de la sección resistente en T invertida.

La secuencia constructiva del estribo requería la ejecución inicial de los muros frontales, quedando para una etapa posterior los laterales. Esto planteaba el problema de que el primer panel de los dos muros laterales compartía cimentación con el muro frontal correspondiente, por lo que estos dos módulos se resolvieron de forma análoga a los frontales del E-2 (fig. 13).

5. Conclusiones

Los ejemplos expuestos ponen de manifiesto que el abanico de aplicación de los productos

prefabricados es más amplio que el cubierto por las aplicaciones habituales. Por ejemplo, existe la posibilidad de emplearlos en entornos como el interior de galerías excavadas en mina, espacios reducidos o con geometrías irregulares, etc.

Estas aplicaciones han simplificado los procesos constructivos al evitar trabajos de encofrado y hormigonado en entornos poco favorables. Las soluciones adoptadas han sido resultado de un trabajo conjunto e iterativo entre la empresa constructora y la prefabricadora, en el que la primera ha expuesto sus necesidades y condicionantes y la segunda ha propuesto la utilización de los productos más adecuados a estas circunstancias y los requisitos que se deben cumplir para que su aplicación sea posible.

Por último, estos casos requieren de un estudio del sistema de montaje que se va a emplear, para determinar la viabilidad de la solución y adaptar el diseño de los elementos prefabricados al proceso constructivo, limitando sus dimensiones y pesos, previendo los dispositivos de estabilización requeridos e incluyendo los detalles auxiliares necesarios.

6. Agradecimientos

Las obras descritas se han realizado en colaboración con las siguientes empresas y organismos oficiales:

L.A.V. Madrid-Galicia. Túnel del Espiño
Administración: Ministerio de Fomento. ADIF
Construcción: U.T.E. Ferrovial Agromán-Castillejos (vía derecha) y U.T.E. OHL-Adolfo Sobrino-Elsan (vía izquierda)

L.A.V. Madrid-Galicia. Túnel de la Canda Vía Izquierda
Administración: Ministerio de Fomento. ADIF
Construcción: U.T.E. Copasa-Copisa-Sercoysa-Obras y Viales

Puente singular de Valdebebas sobre la M-12
Promotor: Junta de Compensación Parque de Valdebebas
Dirección de Obra: IDEAM
Construcción: Ferrovial Agromán