

Túnel de La Avanzada en la BI-637 (Leioa)

Cubrición con vigas prefabricadas de techo plano

La Avanzada tunnel over the BI-637 road (Leioa).

Covering structure performed with precast flat -roof beams

Elena Coloma Eusebio^a, Alejandro Godoy Ansótegui^b, Adolfo Rincón Piña^c,

Julio González Zalduondo^d

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Tierra Armada S.A.U. Ingeniera de proyectos. ecoloma@tierraarmada.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas&Asociados. Coordinador de proyectos. agodoy@arenasing.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Tierra Armada S.A.U. Director técnico. arincon@tierraarmada.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas&Asociados. Jefe de proyecto. jgonzalez@arenasing.com

RESUMEN

La cubrición de las trincheras de la BI-637, en su paso a través del centro urbano de Leioa, un punto con una gran IMD, ha mejorado la calidad de vida de sus habitantes, eliminando una constante fuente de ruido y conectando las áreas separadas de la población. Esta obra ha implicado la realización de múltiples actuaciones, pero el presente artículo se centra en el sistema estructural definido para las cubiertas transitables. Este elemento está formado por un sistema de vigas prefabricadas de techo plano y una losa superior hormigonada in situ. El empleo de elementos prefabricados ha sido una decisión fundamental para ajustarse al calendario, mejorar las condiciones de trabajo y conseguir acabados óptimos.

ABSTRACT

The covering of the BI-637 trench highway through the urban center of the Leioa, a spot with a large AADT, was a remarkable improvement in the inhabitant's quality of life, removing a constant noise source and connecting separate areas of the town. This infrastructure had implied the construction of multiple facilities, but this article will be focused on the structural system chosen for the opened-to-traffic coverings. This element is performed with precast flat-roof beams with an upper concrete slab poured on site. The use of precast elements was a key decision to fit to the schedule, improve the work conditions and to achieve optimum finish qualities.

PALABRAS CLAVE: cubrición, viga de techo plano, prefabricación

KEYWORDS: covering slab, precast flat -roof beams, precast solutions

1. Antecedentes. Condicionantes de proyecto.

1.1 Contexto de la actuación

El proyecto de adecuación del Túnel de La Avanzada trata de responder a la demanda social de cerrar la trinchera abierta en el paso de la carretera BI-637 a su paso por Leioa, la cual presentaba una cubrición parcial, con un tramo principal de 310 m y dos adicionales de 47 m, pasando ahora a conformar un tramo de túnel

continuo de 860 m de longitud. El planteamiento de la presente obra procede de un proyecto constructivo elaborado por Sener para la Diputación Foral de Bizkaia, que, durante su construcción por la UTE “Túnel La Avanzada” (Viuda de Sainz, Altuna y Uría y Cantábricas), con la dirección de Interbiak, implicó la redacción de un nuevo proyecto modificado, desarrollado por Arenas&Asociados como AT de la UTE. Tierra Armada, por su parte, como especialista en estructuras prefabricadas de hormigón, fue la subcontrata encargada de definir, fabricar e instalar la nueva solución de tablero para las zonas de cubierta transitable.



Figura 1. Planta esquemática de actuación

La BI-637 es una de las principales arterias de comunicación del área metropolitana de Bilbao, conectando el eje Getxo-Bilbao, con una IMD cercana a los 100.000 vehículos. Su paso en trinchera abierta por la localidad de Leioa no solo es un foco de contaminación acústica, sino que genera también un efecto barrera, dividiendo el casco urbano en dos.



Figura 2. Trinchera abierta a cubrir

La presente actuación consiste en cubrir los huecos donde la carretera se encuentra a cielo abierto, prolongando la cubrición en las rampas laterales de acceso a la trinchera, la cual está formada por muros de diversas tipologías con una separación entre caras interiores de 18 m.

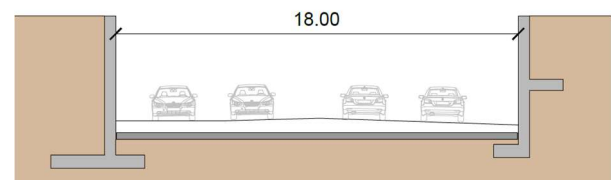


Figura 3. Sección tipo de trinchera con diferentes tipologías de muro representadas en la misma sección

Como se puede ver en la Figura 1, la actuación está compuesta por una serie de tramos de cubierta transitable en la zona central, y otras zonas de cubierta no transitable, con estructura sobre rasante, que prolonga la

cubrición en la zona de rampas de los extremos, y cuya principal finalidad es la de contener la contaminación acústica procedente del tráfico rodado.

1.2 Condicionantes geométricos

El condicionante más claro e inmediato es la estructura ya existente, que determina la geometría y tipología de las soluciones a adoptar.

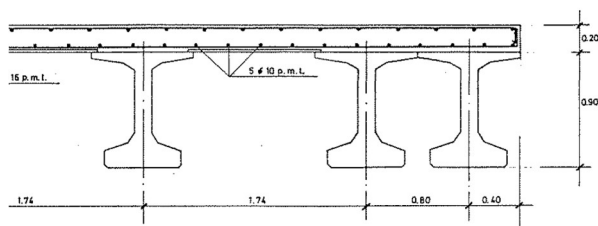


Figura 4. Extracto proyecto diputación 1985

La solución del proyecto original construido es un tablero de vigas prefabricadas de 90 cm de canto con una losa de compresión de 20 cm. Por tanto, cualquier solución elegida deberá ser coherente con esta geometría.

El gálibo vertical es variable a lo largo del túnel, siendo el mínimo de la cubierta existente de +4.69 m en el eje de la plataforma.

Las nuevas cubiertas desarrolladas se diseñan con un gálibo mayor, por encima de +4.90 m, reduciéndose localmente hasta +4.79 m en el contacto con la estructura existente, mediante una transición progresiva en las últimas 6 vigas.

1.3 Condicionantes de carga

Las cargas de diseño de la nueva cubierta proyectada deben adaptarse a los niveles de seguridad exigidos en la actualidad, quedando verificadas de acuerdo con el Código Estructural.

El nivel de carga depende del tipo de uso de la cubierta, que, si bien es normalmente peatonal, presenta una zona de tráfico rodado tanto en la boca Bilbao como en la boca Getxo.

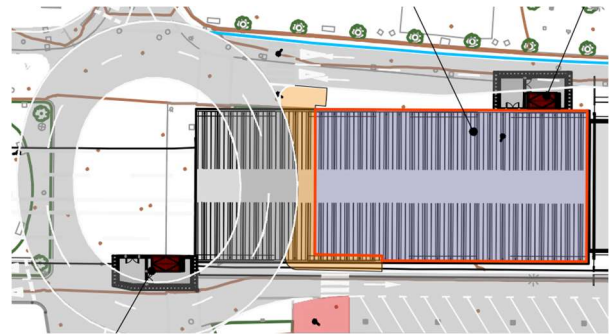


Figura 5. Zona de glorieta invade la cubierta transitable en la boca Bilbao

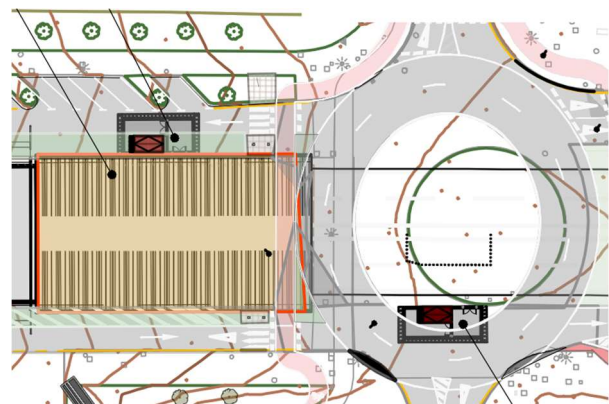


Figura 6. Zona de glorieta invade la cubierta transitable en la boca Getxo

2.3.1. Acciones en zona peatonal

En la zona peatonal se ha considerado el peso propio, una carga muerta de urbanización de 14 kN/m², una carga muerta de falso techo del túnel de 1 kN/m², una sobrecarga de uso de 10 kN/m², y la sobrecarga accidental del vehículo de emergencia de 20 kN/m² en una huella de 8.0x3.0 m. Los coeficientes de combinación de estas cargas son de acuerdo con el CTE/CE.

Carga	Magnitud (kN/m ²)	Coef. comb ELU pers	Coef. comb acc
PP	-	1.35	1.00
CM urb	14	1.35	1.00
CM ft	1	1.35	1.00
SC unif	10	1.50	0.70
SC acc	20	0	1.00

Debido a los coeficientes de combinación, la hipótesis en ELU persistente resulta la más dimensionante.

2.3.2. Carga en zona de tráfico

En la zona de tráfico rodado se han aplicado las cargas y combinaciones de la IAP-11/EC, que incluyen una sobrecarga repartida de 9 kN/m^2

en el principal carril virtual, así como la aplicación de los vehículos pesados. Los carriles virtuales se han tomado paralelos a las vigas, siguiendo el sentido principal de circulación.

Las acciones en esta zona resultan superiores a las de la zona peatonal, requiriendo disponer refuerzos tanto en las vigas como en la cimentación.

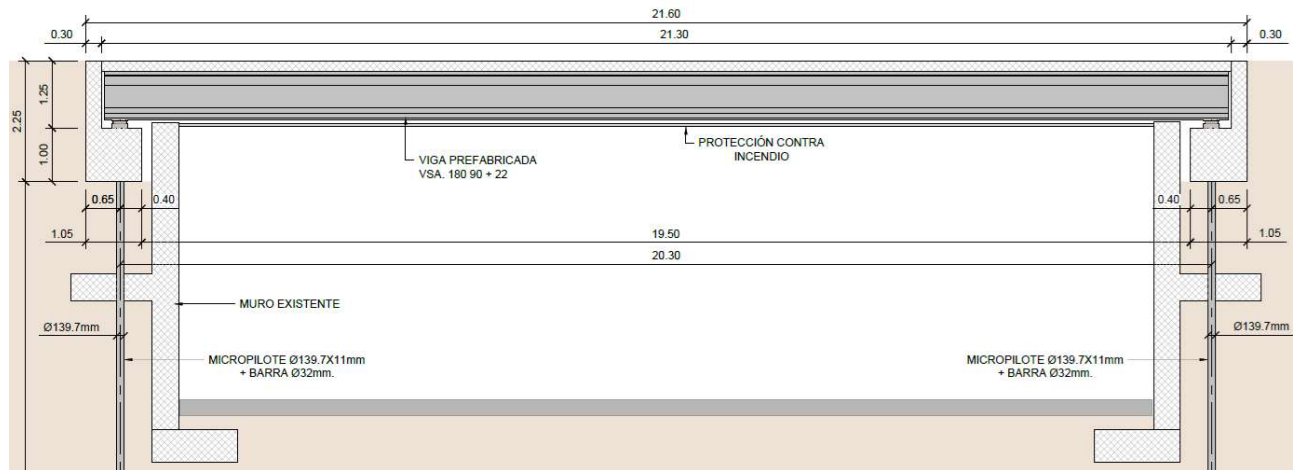


Figura 7. Sección tipo de cubierta transitable

1.4 Condicionantes de montaje

La ejecución de la cubrición de la trinchera requiere de intervenciones en un entorno urbano y sobre una de las vías con mayor densidad de tráfico de la región. El empleo de soluciones prefabricadas permite montajes más ágiles disminuyendo las afecciones al entorno. Todos los montajes se realizaron con cortes nocturnos.

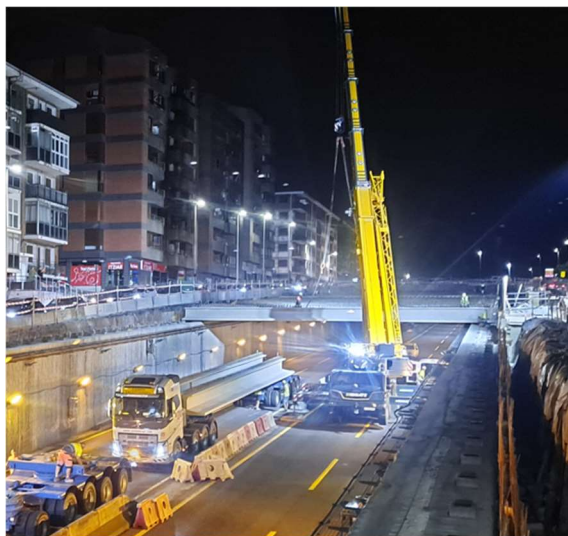


Figura 8. Montaje nocturno con corte

1.5 Solución elegida

La solución planteada para resolver los tramos de las nuevas cubiertas transitables mantiene la tipología estructural de vigas prefabricadas empleadas en el proyecto original, adaptando su diseño a los nuevos requerimientos, tanto geométricos como normativos.

Así, el diseño consiste en un tablero de 112 cm de canto, formado por vigas prefabricadas de 90 cm de altura y dispuestas cada 180 cm aproximadamente, sobre las que se dispone una losa de 22 cm de espesor.

Para no afectar a los muros existentes de la trinchera, las vigas prefabricadas vuelan por encima de los mismos, para lo que deben ser recortados en un extremo superior.

El apoyo de las vigas se realiza sobre un cargadero continuo de $1.05 \times 1.00 \text{ m}$ situado en el trasdós de los muros, aumentando la luz de las vigas de 18.50m a 20.30m.

Para evitar introducir reacciones sobre los muros existentes el cargadero se cimenta de forma profunda mediante micropilotes

dispuestos cada 1.80 m en la zona de uso peatonal y cada 0.90 m en la zona de tráfico rodado.

El espaldín del cargadero se conecta con la losa superior del tablero, adoptando un esquema tipo pórtico, aunque la escasa rigidez a flexión del empotramiento de los micropilotes en el terreno da lugar a que a efectos prácticos el tablero pueda considerarse isostático.

Como resultado final, las cuatro nuevas cubiertas transitables quedan con la siguiente configuración.

Tabla 1. Tableros prefabricados de cubiertas transitables.

Tablero	Longitud (m)	Nº vigas	Luz (m)
1	55.47	30	20.30
2	128.72	98	20.30
3	84.33	46	20.30
4	37.17	20	20.30

2. Descripción de la estructura de cubierta

2.1 Solución estructural. Detalles constructivos

El tablero de la cubierta transitable se ha resuelto con vigas prefabricadas pretensadas de tipo techo plano (vigas TPP) de 0.90 m de canto, dispuestas una a continuación de otra (disposición también denominada “*a testa*” con un resguardo de entre 2 y 3 cm), y losa de compresión de 22 cm de espesor mínimo, hormigonada *in situ*.

Las vigas salvan una luz de 20.30 m, constante para todos los tramos de la obra. Su longitud total es de 20.90 m, dejando 30 cm de culata a cada lado para contar con suficiente contribución de pretensado al anclaje de la biela de apoyo.

La viga se ha calculado como viga isostática, si bien, como se verá más adelante, la

losa de compresión se prolonga hasta los espaldines de los estribos, de forma que tablero y estribos trabajan conjuntamente como pórtico para unas determinadas cargas, y como tablero isostático frente a cargas verticales. El apoyo de las vigas sobre los estribos se realiza mediante neoprenos de tipo B (según la norma UNE-EN 1337-3), cuyas dimensiones son 200x300; 3(8+3); 2x2.5.

Se ha determinado una clase de exposición XC4 – XS1 según la nomenclatura definida en el Código Estructural, que corresponde a un entorno con sequedad y humedad cíclicas (XC4), con exposición a aerosoles marinos (XS1) por su cercanía a la costa. Para estas clases de exposición, los hormigones utilizados para vigas y losa, y los recubrimientos nominales, han sido:

❖ Vigas prefabricadas:

Hormigón HP-50/AC/12/XC4-XS1

Recubrimiento nominal: 3.5 cm

❖ Losa de compresión:

Hormigón HA-30/B/20/XC4-XS1

Recubrimiento nominal: 4.0 cm

Como se ha mencionado anteriormente, estos tramos completan el soterramiento parcial de la carretera BI-637 en el municipio de Leioa, por lo que la solución estructural desarrollada para la nueva cubierta transitable tuvo que adaptarse a la estructura existente, en términos de canto máximo, luz, tipología etc.

El perfil longitudinal de la traza es en su mayor parte en pendiente, con valores variables según el tramo. Para facilitar el montaje de las vigas y favorecer su estabilidad al vuelco antes de la ejecución de la losa de compresión, se montaron en disposición vertical, ajustando con espesor variable las mesetas de los neoprenos, de forma que éstos quedasen nivelados horizontalmente:

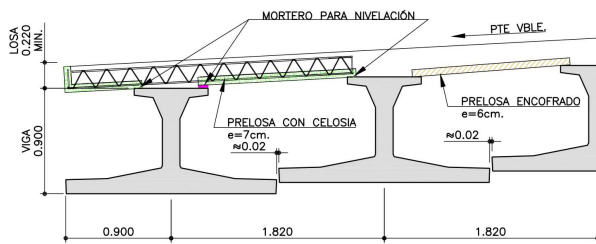


Figura 9. Disposición vertical de vigas en perfil longitudinal en pendiente

Con esta disposición, se garantiza además que las vigas, ante cargas verticales actuando sobre la cubierta, responden con su máxima inercia a flexión, y el esfuerzo cortante vertical actúa en el plano del alma.

Para la ejecución de la losa de compresión del tablero, se han utilizado dos tipos de prelosas de encofrado perdido:

- 1) Prelosas pretensadas: utilizadas para cubrir la luz entre vigas interiores del tablero. Se trata de prelosas pretensadas con cables de 4 mm y 6 cm de espesor y hormigón HP-40, cubriendo una luz de cálculo entre bordes de ala superior de vigas, de 1.28 m, calculadas para resistir el peso de una losa de 25 cm de hormigón fresco, y una sobrecarga de uso de 100 kg/m².
- 2) Prelosas de celosía: para el hormigonado del voladizo de la losa en los bordes del tablero. Debido al momento negativo que se genera por el peso del hormigón fresco en el voladizo y la sobrecarga de construcción, es necesario el uso de prelosas con celosía. Para esta obra se han utilizado prelosas de hormigón HA-30 y celosías separadas 40 cm entre sí, con una luz en voladizo de 0.6 m y 1.20 m entre alas de viga de borde e interior:

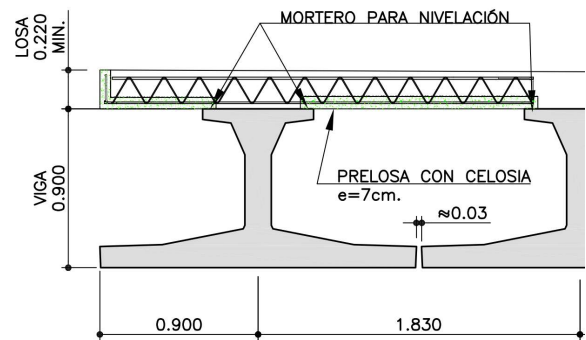


Figura 10. Esquema de prelosas de celosía en juntas y extremo de tablero

Dado que el trazado presenta pendientes de valores no desdeñables, para garantizar el correcto apoyo de las prelosas de encofrado sobre las cabezas superiores de las vigas, se dispusieron pequeñas cuñas de mortero de regularización:

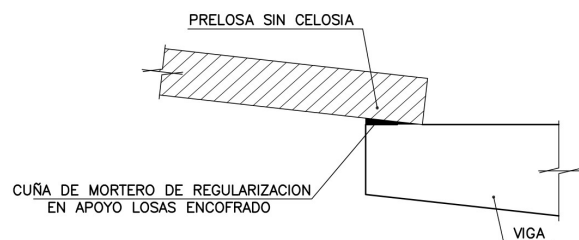


Figura 11. Apoyo de prelosas pretensadas

En el caso de las prelosas de celosía, el mortero de nivelación asegura su correcto asiento y disposición siguiendo la pendiente del tramo y, en las juntas del tablero, garantiza que sus bordes estén aproximadamente a la misma cota:

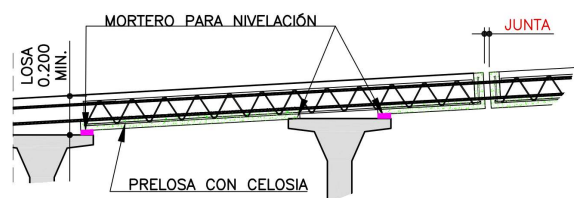


Figura 12. Apoyo de prelosas de celosía

En los tramos de mayor longitud, tramos 2 y 3, se han dispuesto juntas intermedias cada 30 m aproximadamente. La separación entre bordes de junta es de 3 cm para las que distan

más de 30 m (tramo 2), y de 2 cm para aquellas que distan menos de 30 m.

Con el fin de absorber pequeñas desviaciones en el posicionamiento de cada viga, y posibles flechas laterales residuales que pudiesen presentar las vigas, se respeta una separación entre alas inferiores de entre 2 y 3 cm. Así, el interje de vigas está comprendido entre 1.82 m y 1.83 m en todos los tramos.

2.2 Metodología de cálculo

Para el cálculo del tablero de la cubierta, se han tenido en cuenta las cargas mencionadas el apartado 2.3.

Al tratarse de un tablero recto e isostático, el cálculo de vigas y losa se ha llevado a cabo mediante el método de Guyon-Massonet, que permite obtener con precisión los esfuerzos de flexión transversal y longitudinal en la losa de compresión, así como el reparto transversal de carga entre vigas, según las diferentes disposiciones de ésta sobre la cubierta.

Para el cálculo del tablero, se consideró despreciable el efecto hiperestático que pudiera ejercer el vínculo mecánico entre losa y espaldín.

Las prelosas pretensadas de encofrado perdido se calcularon para el peso del hormigón fresco, con un margen de seguridad (coeficientes de mayoración) para tener en cuenta los sobreespesores de su cono de vertido, y el impacto de la masa de hormigón contra la prelosa, durante el bombeo.

Las prelosas de celosía se calculan con los mismos criterios de carga, comprobando las tensiones sufridas por las distintas barras de la celosía, inestabilidad, flecha en el borde del voladizo, etc.

Las reacciones obtenidas del modelo de cálculo del tablero en los diferentes tramos, han sido las acciones de diseño y comprobación de estribos y cimentación.

2.3 Descripción de la viga de techo plano

El tablero de la cubierta transitable se ha realizado con vigas de techo plano tipo TPP de Tierra Armada, y losa de compresión de espesor mínimo 22 cm.

La imagen siguiente muestra una sección tipo de viga TPP-90 utilizada para esta cubierta:

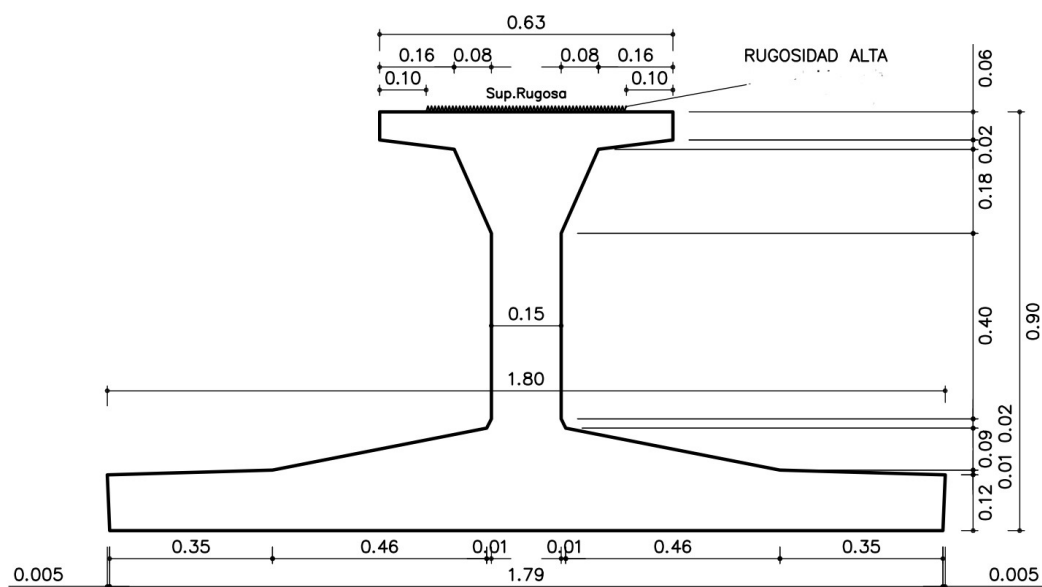


Figura 13. Sección tipo viga TPP-90 de Tierra Armada

Estas vigas prefabricadas, tal y como puede verse en la Figura 13, presentan un ala inferior de 180 cm, lo que da lugar a una superficie continua a lo largo del túnel, permitiendo realizar los trabajos de colocación de las prelosas y el hormigonado de la losa superior sin requerir el cierre de la calzada cubierta.

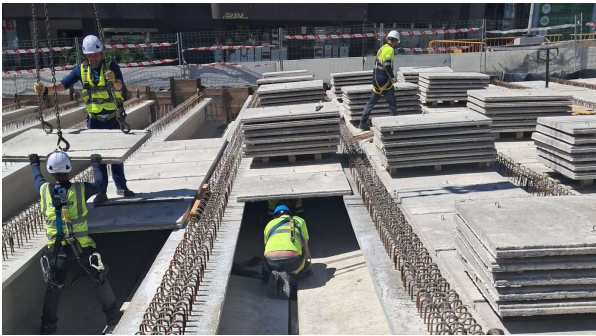


Figura 14. Trabajos de montaje de prelosas

Su alma, de 15 cm, permite respetar los recubrimientos mínimos exigidos por las clases de exposición descritas anteriormente y los radios de doblado de los cercos verticales del alma. En algunos tramos, la carga de tráfico más

pesada ha propiciado un aumento del ancho del alma de 3 cm, pasando a 18 cm (y por tanto, un ancho del ala inferior de 183 cm).

En la cabeza superior, estas vigas poseen un pequeño voladizo que reduce la luz libre de las prelosas de encofrado perdido, y aumentan el ancho de superficie rugosa, necesario de cara al cálculo de la armadura de esfuerzo rasante viga-losa.

El ancho de la cabeza inferior (1.80 m) permite optimizar el número de vigas por metro lineal de cubierta, aportando además rigidez y estabilidad frente a vuelco durante su transporte.

Se trata de una solución muy adecuada para cubiertas de este tipo. Visualmente, el usuario del túnel observa un techo continuo, y en lo relativo a la ejecución de la obra, permite la colocación de prelosas y trabajos de ferralla y hormigonado con mínimo impacto sobre el tráfico.

Además, en tanto que solución prefabricada, los acabados resultan de mayor calidad y se reducen considerablemente los plazos de ejecución de la obra.

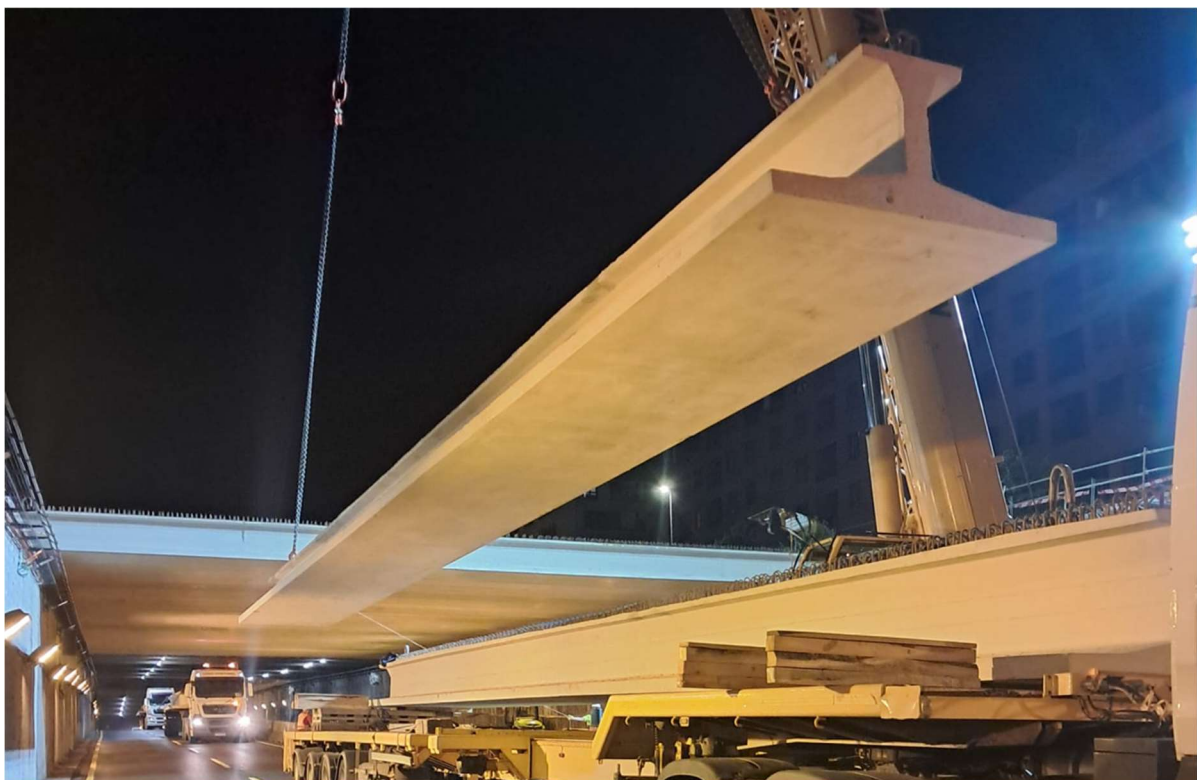


Figura 15. Ágil montaje nocturno de viga prefabricada con acabados cuidados

2.4 Bordes y juntas del tablero

La losa de compresión se ha hormigonado de forma continua salvo en sus extremos y en las juntas de dilatación, donde ha sido necesario disponer de prelosas de celosías capaces de absorber los momentos negativos creados por el peso del hormigón fresco de los voladizos.



Figura 16. Ejecución de una junta de tablero



Figura 17. Prelosas de celosía en junta de tablero

2.5 Unión mecánica losa-estribo

El hormigón de la losa de compresión del tablero y el espaldín se vinculan mecánicamente mediante barras de refuerzo de acero inoxidable centradas en mitad de la losa, según se muestra en el esquema siguiente:

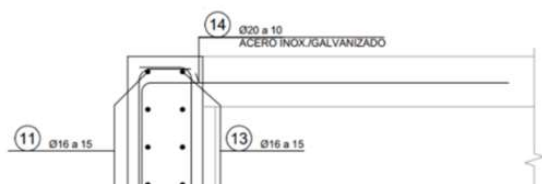


Figura 18. Esquema de armado de continuidad losa-espaldín

Conceptualmente, este vínculo solidariza los movimientos horizontales del tablero y los estribos, de forma que los esfuerzos de frenado principalmente se transmiten directamente del tablero a los estribos.

Frente a giros, esta unión se puede considerar como una rótula Freyssinet. Si bien, bajo la acción de cargas verticales actuando sobre el tablero, pudiesen aparecer momentos negativos de empotramiento parcial en los extremos de las vigas, su efecto sobre la flexión general del tablero es despreciable.

La principal ventaja que esta disposición constructiva presenta es la de evitar la ejecución de una junta de tablero, que recorrería longitudinalmente los apoyos de la cubierta.

Además de la dificultad que su ejecución plantea, es sabido el coste de mantenimiento y reparación que estos elementos suelen conllevar, máxime cuando se trata de juntas de longitud importante como serían en este caso.

El hormigonado de la unión losa-espaldín se realizó en una segunda fase, de forma que la mayor parte del giro del tablero debido a peso propio se produzca en condiciones puramente isostáticas. Además del peso propio de la parte central del tablero, se añadió una carga extra en centro de vano (precarga), con el fin de movilizar también parte del giro de carga muerta.



Figura 19. Precarga del tablero previa al hormigonado de la losa en las zonas de empotramiento



Figura 20. Vista del espaldín previa al hormigonado

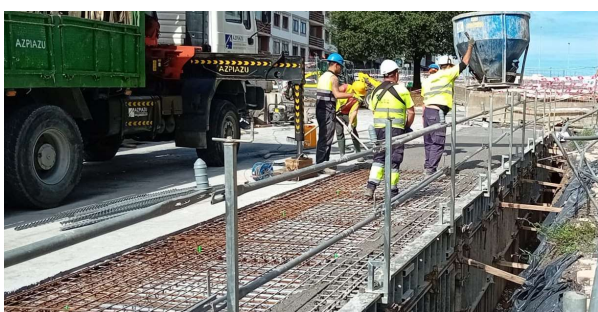


Figura 21. Hormigonado continuo losa-espaldín

4. Estribos y cimentaciones

Las vigas prefabricadas quedan apoyadas en unos cabeceros continuos que tienen una cimentación profunda formada por micropilotes con armadura $\phi=139.7 \times 11$ mm que atraviesan un estrato de rellenos/suelos de arenas de potencia variable (1.00-6.00 m) y poco competente, y se empotran 7.00 m en margo calizas.

En la zona superior de los micropilotes se dispone una barra de refuerzo $\phi 32$ mm.



Figura 22. Micropilotes en fase de ejecución

La gran longitud del túnel obliga a disponer 11 galerías de evacuación a lo largo de la traza del túnel, de las cuales 4 de ellas coinciden en zona de nuevas cubiertas transitables. En estas zonas los cargaderos

puntean la luz de 3.00 m de los accesos desde el túnel a las galerías de evacuación.

5. Conclusiones

La ejecución de la cubierta del túnel de La Avanzada con vigas prefabricadas de techo plano ha permitido optimizar el plazo de ejecución frente a otras soluciones. Así mismo, la propia geometría de las vigas utilizadas ofrece al usuario una vista de la cubierta similar al de una losa continua. El ancho de las vigas TPP-90 de Tierra Armada (1.80 m) ha permitido reducir el número de vigas necesarias para cubrir los distintos tramos del proyecto.

Las vigas TPP presentan además la ventaja de permitir los trabajos de montaje de prelasas y ferralla sobre la calzada afectada, con mínimo impacto sobre la circulación. Con el fin de evitar la ejecución y posterior mantenimiento de las juntas, se ha realizado el hormigonado continuo de losa de compresión y espaldín.

La solución estructural realizada ha permitido, en resumen, minimizar plazos de ejecución y cortes de calzada, optimizando el número de vigas necesario para las luces y cargas de proyecto, y con las ventajas que la prefabricación aporta en términos de calidad de acabados y control de materiales y ejecución.

Agradecimientos

Los autores de este artículo agradecemos a los diferentes agentes presentes en esta obra su esfuerzo y dedicación, especialmente a Interbiak y su AT, Fulcrum, así como a la UTE “Túnel La Avanzada” (Viuda de Sainz, Altuna y Uría y Cantábricas). Agradecer igualmente al ingeniero de caminos Jorge González, y demás técnicos y compañeros de la constructora Viuda de Sainz, la realización y cesión de fotografías de la obra, así como a Asier de la Fuente, jefe de la oficina técnica de Tekia por facilitarnos imágenes que nos han sido muy útiles para la elaboración de este artículo.