

Sustitución integral de un paño de forjado en el aparcamiento del Bilbao Exhibition Centre (BEC) en Bilbao

Complete replacement of a floor slab in the car park of the Bilbao Exhibition Centre (BEC) in Bilbao

José Manuel Baraibar Díez^a, Argimiro Martín Rioseco^b, Jorge Gil Fernández^c

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

^b Ingeniero Industrial. Viuda de Sainz, S.L. Director de Promoción Industrial. amartin@viudadesainz.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dingemas Ingeniería, S.L.P. Director. jorge@dingemas.com

RESUMEN

El artículo describe la sustitución integral de un paño de forjado en el aparcamiento del Bilbao Exhibition Centre (BEC), debido a la aparición de una fisura que comprometía su seguridad estructural. Se analizan las causas del fallo y se evalúan diferentes soluciones de reparación, optando finalmente por su sustitución por un forjado mixto de hormigón armado sobre prelosas colaborantes. La solución adoptada ha permitido garantizar la seguridad y funcionalidad del aparcamiento en condiciones de accesibilidad limitada y gálibo reducido.

ABSTRACT

The article describes the complete replacement of a floor slab in the car park of the Bilbao Exhibition Centre (BEC), due to the appearance of a crack that compromised its structural safety. The possible causes of the failure are analyzed, and different solutions are evaluated, finally opting for a composite reinforced concrete slab over collaborating precast slabs. The adopted solution ensured the safety and functionality of the car park under conditions of limited accessibility and reduced clearance.

PALABRAS CLAVE: rehabilitación, forjado, placa alveolar, gálibo reducido, solución mixta

KEYWORDS: repair, floor slab, hollow core slab, reduced clearance, composite steel concrete structure

1. Introducción

El Bilbao Exhibition Centre (BEC) es un recinto ferial, sede de la Feria de Muestras de Bilbao (Figura 1). Se inauguró en 2004 y cuenta con una extensión de 246.500 m² edificados sobre rasante disponibles para la exposición [1]. Además, dispone de un aparcamiento subterráneo en tres niveles para más de 4.000 vehículos. En el año 2021, junto a una salida de vehículos en la planta

de aparcamiento -1, se manifiesta un avance súbito de una fisura en la cara superior del forjado, sensiblemente perpendicular a la dirección de trabajo del mismo, con “años de desarrollo”, y que nunca antes había llamado la atención, ya que el equipo de mantenimiento de la infraestructura la asociaba con una junta de asfaltado (Figura 2).



Figura 1. Vista aérea del BEC



Figura 2. Vista de la fisura detectada

Ante la evidente aceleración del incremento de amplitud de la fisura, cuando ésta alcanza 3-4 cm e incluso se produce la alerta de los usuarios habituales ante la incomodidad de circular sobre la zona, el equipo gestor del aparcamiento, ante el posible y razonable riesgo de colapso del forjado en ese entorno, decide anular la salida, vallar la zona y prohibir el paso de vehículos, hasta determinar su origen y establecer una solución que permitiera de nuevo garantizar la circulación en condiciones de seguridad.

2. Análisis de la patología y de las posibles causas de fallo

2.1 Descripción del forjado

El forjado de todas las plantas es alveolar, con capa de compresión, de espesor 20 + 5 cm. Sus luces principales oscilan entre 7.20 m y 9.10 m. En los planos de ejecución (Figura 3) se indicaba:

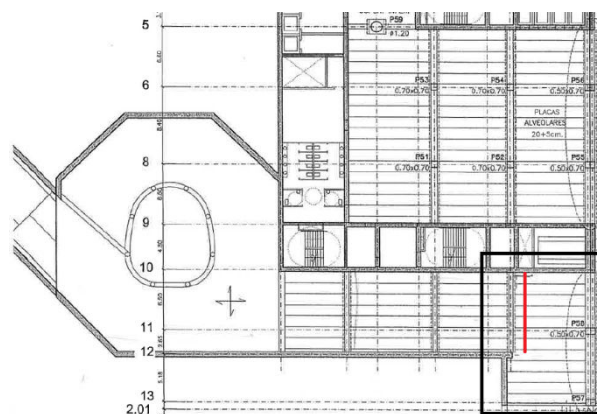


Figura 3. Plano de planta de la estructura de forjado de la planta -1, identificando el paño afectado y la localización aproximada de la fisura (en color rojo)

- Que el forjado debía soportar una sobrecarga no mayorada de 500 kp/m², con posibilidad de alternancia en la distribución de cargas.
- Que la tipología y la armadura de forjado debía aprobarse por la Dirección de Obra.
- Que la limitación de flechas debía cumplir la EF-96.
- Que el coeficiente de mayoración de cargas debía ser de 1.6.
- Que la placa debía ser RF-120.

2.2 Descripción de la fisura

En el paño interesado por la incidencia, de luz principal 7.80 m, la cara superior del forjado presentaba una fisura transversal, sensiblemente perpendicular a su dirección de trabajo principal y paralela a la alineación de apoyo, a una distancia aproximada de 1 m de la misma (Figuras 3 y 4).

Se realizaron dos catas en los laterales de la fisura. En estas catas se apreció un descenso relativo entre ambas zonas de forjado, de unos 3-4 cm. Se observaron redondos de acero correspondientes a la armadura de negativos (Ø10 a 30) totalmente cizallados, y otros doblados. En la zona afectada se apreciaba además una separación entre la capa inferior de la placa alveolar y las almas de la misma (Figura 5).

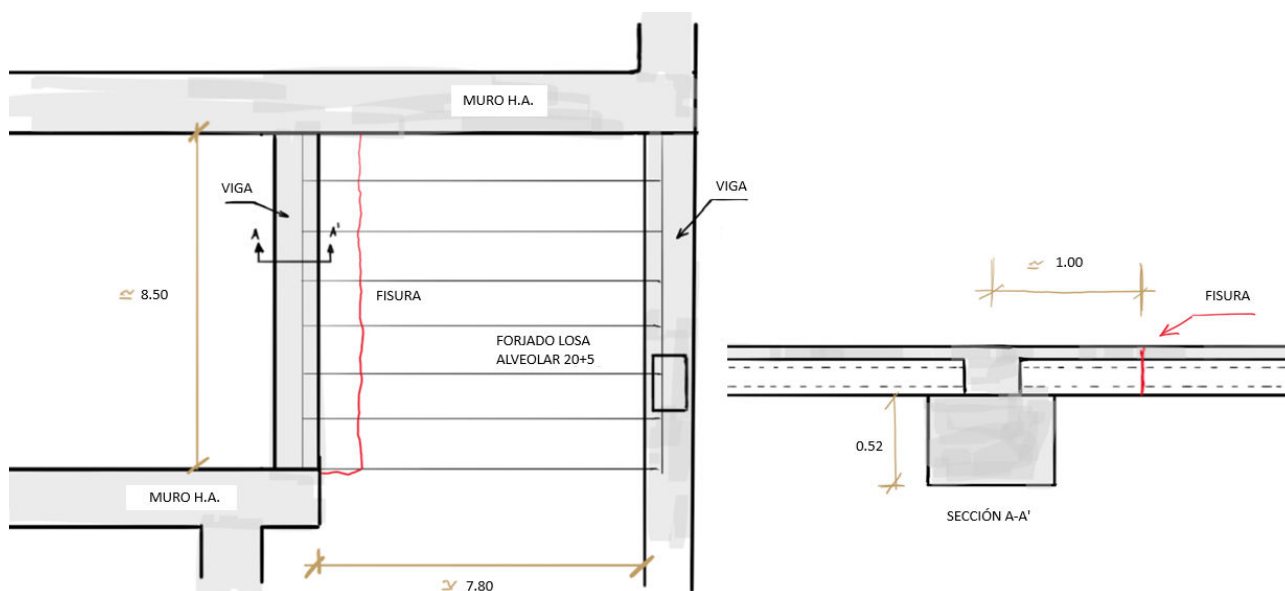


Figura 4. Planta de detalle de localización de la fisura (izda) y sección por la viga de apoyo del forjado alveolar (dcha.)



Figura 5. Detalle de cata efectuada en el entorno de la fisura



Figura 6. Detalle de zona de localización de la fisura desde la parte inferior del forjado (planta -2)

La zona afectada, desde la planta -2, presenta el aspecto indicado en la Figura 6. Se observa una fisuración progresiva de la cara inferior del forjado, con desconchamientos en zonas localizadas del mismo.

2.3 Análisis del modo de fallo y sus posibles causas

A la vista de las observaciones descritas en el apartado anterior, el modo de rotura responde a un patrón de rotura por rasante, que se da en una zona de máximo esfuerzo cortante, junto a uno de los apoyos del paño de forjado.

El hecho de que las almas de la placa alveolar estén desgajadas de la zona inferior de la sección empuja a pensar que la sección ha resultado en algún punto ineficaz frente a este tipo de esfuerzo, y posteriormente esa ineficacia (cuyo origen ha podido ser múltiple, como un evento de carga excesiva, un defecto puntual inicial en la placa o incluso un exceso de pretensado inicial) ha provocado el debilitamiento local de la sección. Ese debilitamiento puntual frente al esfuerzo rasante puede haber provocado una sobrecarga gradual de las secciones adyacentes, en las que se desarrollan mecanismos resistentes para tratar de

soportar los esfuerzos desarrollados, lo que puede explicar la “copia” del fallo a placas cercanas y la progresión de la fisura en la dirección y condiciones referidas. Una vez producido el fallo y el primer movimiento diferencial entre las placas, es posible que se haya visto amplificado por fenómenos dinámicos originados por el paso de vehículos sobre la zona de rotura.

Aunque las placas presentan cierta continuidad entre vanos a través de la capa de compresión, la aparente poca cuantía de negativos hace pensar que su comportamiento pueda asimilarse más a una viga isostática, con poca presencia de momentos junto a los apoyos, pero una alta concentración de esfuerzos cortantes. Los modos típicos de fallo en secciones compuestas suelen ser debidos a esfuerzos cortantes para luces cortas, como es el caso que nos ocupa [2].

3. Evaluación de diferentes soluciones para resolver la patología

3.1 Análisis de alternativas

La primera opción que se barajó fue demoler el paño de forjado dañado y recuperar la tipología original, a base de nuevas placas alveolares y capa de compresión. Esta estrategia se descartó por la imposibilidad de acceso de vehículos auxiliares para poder desplazar las placas (de peso aproximado 3 t), izarlas y posicionarlas, habida cuenta de la insuficiencia de gálibo en el aparcamiento (2,60 m) y de los escasos radios de giro en sus accesos, diseñados para vehículos ligeros.

Otra de las posibles soluciones que se evaluaron para volver a habilitar el forjado consistía en ejecutar un refuerzo inferior, con las siguientes etapas constructivas (Figura 7):

- Apuntalamiento de seguridad inferior, desde planta -2.

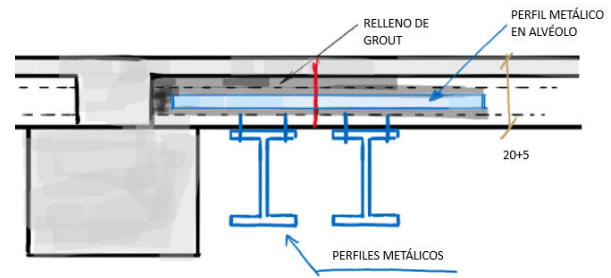


Figura 7. Esquema de sección de posible refuerzo de la zona afectada por la fisura

- Gateo de la zona afectada.
- Ejecución de entramado de vigas metálicas a ambos lados de la fisura, conectándolas a una viga metálica longitudinal, apoyada en muro y viga auxiliar.
- Entrada en carga del refuerzo metálico.
- Introducción de barras o perfiles metálicos en cada alvéolo en la zona indicada, a modo de refuerzo de cortante.
- Relleno con grout de alta resistencia

Esta solución se descartó porque presentaba el inconveniente de no permitir conocer las condiciones resistentes de la sección reparada de forma precisa, así como la relativamente elevada carga puntual sobre las vigas de hormigón armado de apoyo que introducía la viga metálica transversal a los perfiles metálicos de refuerzo paralelos a la fisura.

Además, se contempló como posible solución para volver a habilitar el forjado la ejecución de uno nuevo de chapa colaborante, con las siguientes etapas constructivas (Figura 8):

- Apuntalamiento desde planta -2.
- Demolición del forjado dañado superior, entre vigas de apoyo de hormigón armado.
- Colocación de vigas metálicas portantes, entre vigas de hormigón principales ejecutadas in situ.
- Colocación de chapa colaborante y conectadores (pernos de conexión).
- Ferrallado de forjado y hormigonado con medios adaptados de gálibo reducido.

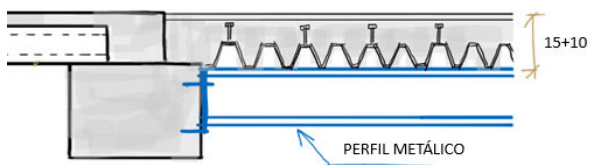


Figura 8. Esquema sustitución de forjado con un nuevo paño de chapa colaborante

Frente a la opción de refuerzo, anteriormente descrita, la generación del nuevo forjado ofrece certidumbre sobre sus nuevas condiciones resistentes y limita al máximo la necesidad de medios auxiliares.

Aunque es preciso colocar más vigas metálicas para conformar el entramado del nuevo forjado, éstas son de peso más reducido, por lo que podía evitarse la introducción de cargas puntuales elevadas a las vigas de apoyo existentes de hormigón armado.

La chapa colaborante presentaba en estas circunstancias la ventaja de una colocación relativamente rápida, sin necesidad de medios auxiliares relevantes. Por el contrario, por los condicionantes de diseño contra el fuego, era preciso protegerla adicionalmente en su cara expuesta en el nivel de aparcamiento -2.

Finalmente, la opción seleccionada para sustituir el paño de forjado fue análoga a la anterior pero sustituyendo la chapa colaborante por prelosas colaborantes de hormigón armado,

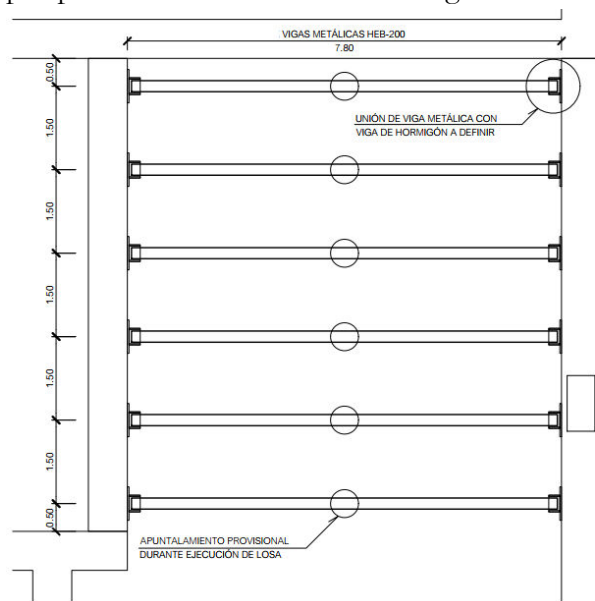


Figura 9. Planta de entramado de vigas metálicas (izda) y secciones de nuevo forjado mixto (dcha.)

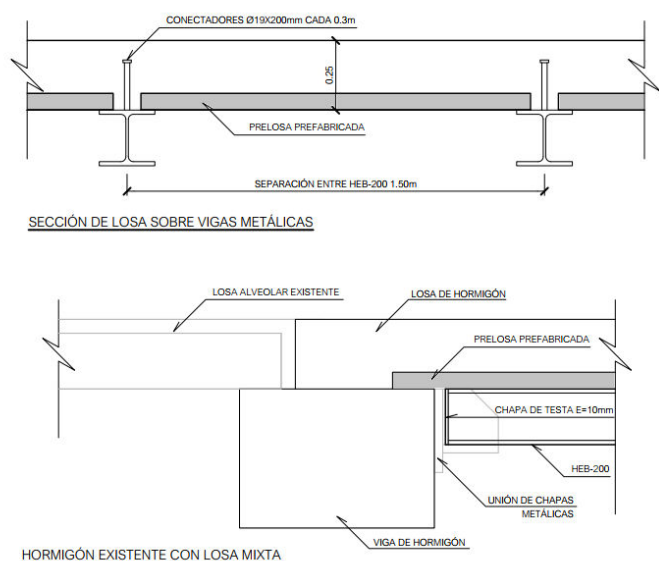
las cuales no precisaban una protección adicional contra el fuego.

3.2 Descripción de la solución adoptada

El paño de forjado dañado se sustituyó finalmente con un forjado mixto de hormigón armado sobre una prelosa colaborante también de hormigón armado, dispuesta sobre un entramado de 6 vigas de acero con perfiles laminados comerciales HEB-200, de longitud 7.80 m (Figura 9). La separación transversal entre estas vigas es de 1.50 m.

Las vigas metálicas se unieron a las vigas de borde de hormigón armado del forjado mediante peanas metálicas, ancladas a las mismas con chapa de testa de dimensiones 300 x 500 mm y espesor 30 mm (Figura 10).

Sobre este entramado de vigas se dispusieron dos tipos de prelosas. El tipo I, de dimensiones 1.40 x 1.30 m y un peso de 300 kg se colocó entre las vigas metálicas interiores. El tipo II, de dimensiones 1.95 x 1.30 m y un peso de 400 kg se colocó entre las vigas de los extremos y las inmediatamente cercanas a ellas, de modo que se pudiera cubrir el vuelo de 50 cm existente en los bordes laterales de estas vigas laterales (Figura 11).



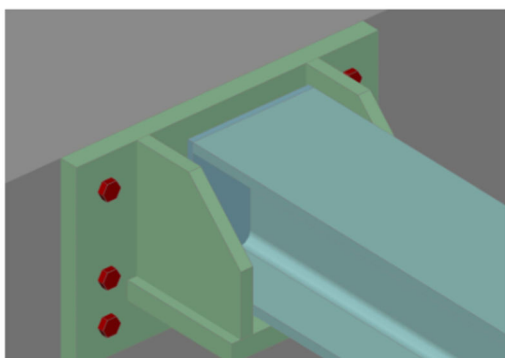
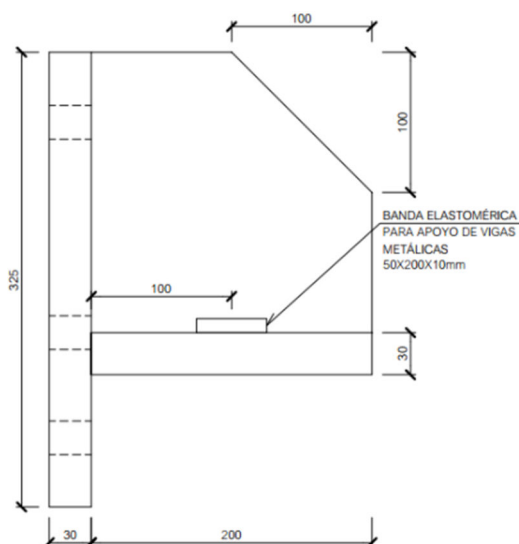


Figura 10. Detalle de apoyo de vigas metálicas sobre viga de hormigón armado existente

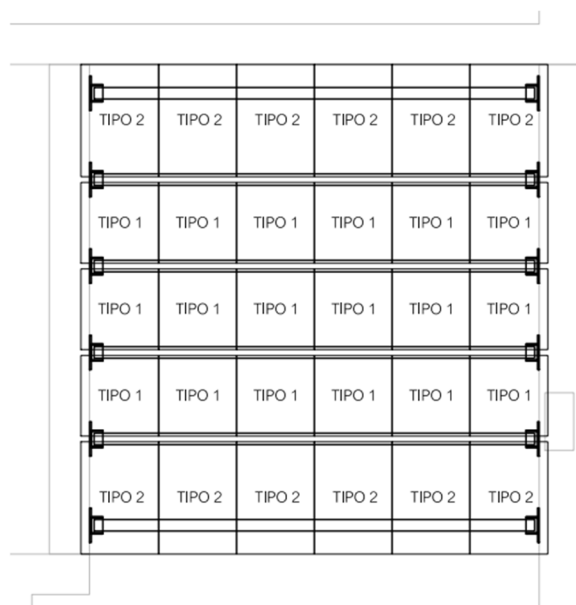


Figura 11. Disposición en planta de prelasas

Sobre las prelasas se configuró la losa de hormigón armado de características HA-30/B/20/IIa [3] y espesor 20 cm. En la cara inferior de la misma se dispuso un parrilla de $\Phi 10$ a 15 cm, y en la cara superior una parrilla de

$\Phi 12$ con la misma separación. Finalmente se remató la cara superior con una capa de mezcla bituminosa en caliente tipo AC11 Surf, de espesor 3 cm, igualándolo con el pavimento existente en las zonas aledañas.

4. Proceso constructivo

En primer lugar, se procedió a la demolición controlada del paño de forjado dañado. Para evitar la caída de escombros al piso -2, se colocó desde este nivel un tablero apuntalado similar a un encofrado de losa. El residuo de construcción y demolición (RCD) se cargaba y evacuaba hacia el exterior con maquinaria auxiliar de reducidas dimensiones (miniexcavadora de 3 t y dumper sin cabina de capacidad 3 t), según se ilustra en las Figuras 12 y 13. Posteriormente, se replantearon y colocaron las chapas de testa que incorporaban la peana de apoyo de los perfiles laminados HEB-200 (Figura 14).



Figura 12. Demolición de forjado dañado



Figura 13. Detalle de evacuación de RCD mediante maquinaria auxiliar de pequeño tamaño y gálibo reducido

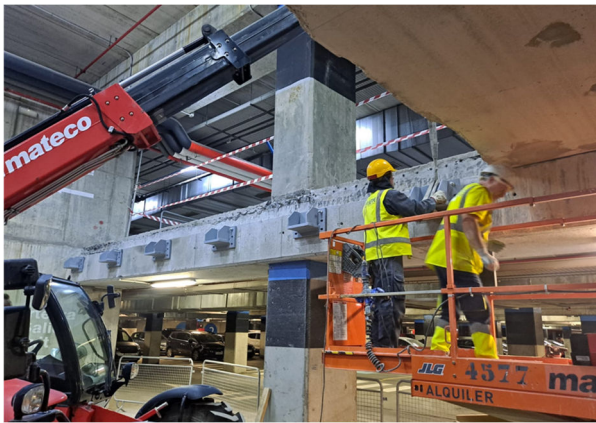


Figura 14. Detalle de instalación de puntos de apoyo de las vigas metálicas longitudinales

Una vez anclados estos elementos a las vigas de hormigón armado en los bordes del nuevo forjado, se izaron y posicionaron sobre sus apoyos las vigas longitudinales de acero laminado HEB-200 (Figura 15). El izado se efectuó con la ayuda de una manipuladora telescópica de gálbo reducido Manitou, de carga máxima 4 t, capaz de mover 400 kg a una distancia máxima de trabajo de 8.00 m.



Figura 15. Instalación de vigas metálicas



Figura 16. Detalle de instalación de apuntalamiento inferior bajo vigas metálicas

Tras la instalación de las vigas, se procedió al apuntalamiento provisional de las mismas desde el nivel -2, al objeto de minimizar el desarrollo de deformaciones sobre el nuevo forjado (Figura 16). A partir de este momento, se izaron y colocaron en su posición definitiva las prelasas tipo I y tipo II, con ayuda de la manipuladora telescópica de gálbo reducido, según se ilustra en las Figuras 17 y 18. El aspecto final tras esta operación puede apreciarse en la Figura 19.



Figura 17. Detalle de instalación de prelasas



Figura 18. Detalle de instalación de prelasas con punto de acopio intermedio



Figura 19. Aspecto del forjado tras la instalación de las prelasas

Finalmente, las últimas operaciones consistieron en el ferrallado y hormigonado de la losa superior, que también se efectuó con ayuda de un cubilote desplazado con ayuda de la manipuladora telescópica de gálibo reducido (Figura 20). El asfaltado del paño de forjado ya reparado también se efectuó con maquinaria auxiliar de tamaño reducido, adecuada a los condicionantes del aparcamiento (Figura 21).



Figura 20. Hormigonado de losa con cubilote



Figura 21. Extensión de mezcla bituminosa final de 3 cm de espesor

5. Conclusiones

La sustitución del paño de forjado en el aparcamiento del Bilbao Exhibition Centre (BEC) se realizó en condiciones de accesibilidad limitada y gálibo reducido, manteniendo el resto del aparcamiento en servicio. La altura del aparcamiento (2,60 m) y los radios de giro diseñados para vehículos ligeros impidieron el acceso de maquinaria auxiliar de gran tamaño. Por ello, se utilizaron miniexcavadoras y dumpers sin cabina para la demolición del forjado dañado y una manipuladora adaptada para la instalación de las nuevas vigas metálicas y prelasas de hormigón armado.

La solución adoptada, consistente en instalación de un nuevo forjado mixto de hormigón armado sobre prelasas colaborantes, permitió garantizar la seguridad y funcionalidad del aparcamiento, con un tiempo de ejecución de 5 semanas. La solución resistente diseñada y la utilización de maquinaria y técnicas específicas para trabajar en espacios reducidos fue clave para superar los desafíos presentados por el gálibo limitado del aparcamiento.

Referencias

- [1] Special solution for Bilbao's exhibition centre, 2004, Concrete (London), 38 (10), pp. 50-51.
- [2] R. Tawadrous, G. Morcou. Shear strength of deep hollow-core slabs. ACI Structural Journal. 115S53 (2018) 699–709.
- [3] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008.