

Viaducto mixto de Kappara en San Gwann en Malta

Composite viaduct in Kappara, San Gwann, Malta

Juan Luis Bellod Thomas^a, David Sanz Cid^b

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Cesma Ingenieros, S.L. Director General. cesma@cesmaing.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Cesma Ingenieros, S.L. Ingeniero. cesma@cesmaing.com

RESUMEN

El puente, ubicado en la calle Mikiel Anton Vassalli de Kappara, pequeña población de San Gwann, sobre la glorieta con la calle Tas-Sliema, se encuentra en un entorno urbano que condiciona su diseño. Está compuesto por dos tableros mixtos, uno por sentido de circulación, de 193 m de longitud, luces máximas de 27 m, y anchos de tablero de 9,95 m, formados por un cajón trapezoidal sobre el que se dispone la losa superior, hormigonada sobre prelosas prefabricadas. La proximidad de las viviendas obligó a la colocación de pantallas acústicas además de los habituales pretils. Como peculiaridad, el cálculo se realizó íntegramente mediante el empleo de los Eurocódigos, utilizando el anexo británico.

ABSTRACT

The bridge, located in Mikiel Anton Vassalli Street, in the San Gwann's little district of Kappara, over the roundabout with Tas-Sliema Street, is in an urban environment that influences its design. It features two composite decks, one for each direction of traffic, with 193 m total length and longest spans reaching 27 m. The width of the decks is 9,95 m. It exhibits a trapezoidal box section with an upper slab, which is casted-in-place over precasted prelabs. Due to its proximity to residential buildings, it was deemed mandatory to install acoustic barriers in addition to the regular VRS. As special feature, the design was done exclusively with Eurocodes, and applying the British National Annexes.

PALABRAS CLAVE: proyecto de puente mixto, Eurocódigos, pantallas acústicas, entorno urbano

KEYWORDS: composite bridge design, Eurocodes, acoustic barriers, urban environment

1. Introducción

La ejecución del proyecto del paso elevado sobre la conexión vial de Kappara, surge ante la necesidad de reducir los grandes embotellamientos de tráfico que durante años venían produciéndose en la intersección de las vías que comunican las poblaciones de La Valletta, San Gwann, Gzira y St Julian's, pertenecientes a la nación isleña de Malta en el mar Mediterráneo.

Una vez terminadas las obras, se ha podido comprobar como el tráfico norte-sur (La

Valletta- St Julian) fluye suavemente y sin complicaciones sobre el paso mientras que la conexión este-oeste (San Gwann-Gzira) se realiza por la rotonda inferior, permitiéndose las incorporaciones entre ambos ejes gracias a la ejecución de cuatro ramales de acceso.

El contrato para la ejecución del proyecto de mejora de nudo de Kappara, que, además de la construcción del nuevo paso elevado, contemplaba actuaciones en más de un kilómetro de la vía, incluyendo la remodelación

y mejora de la rotonda bajo la estructura, finalmente se concedió a un consorcio con intereses españoles por un valor superior a los 22

millones de euros, financiados, en su mayoría, con fondos europeos.

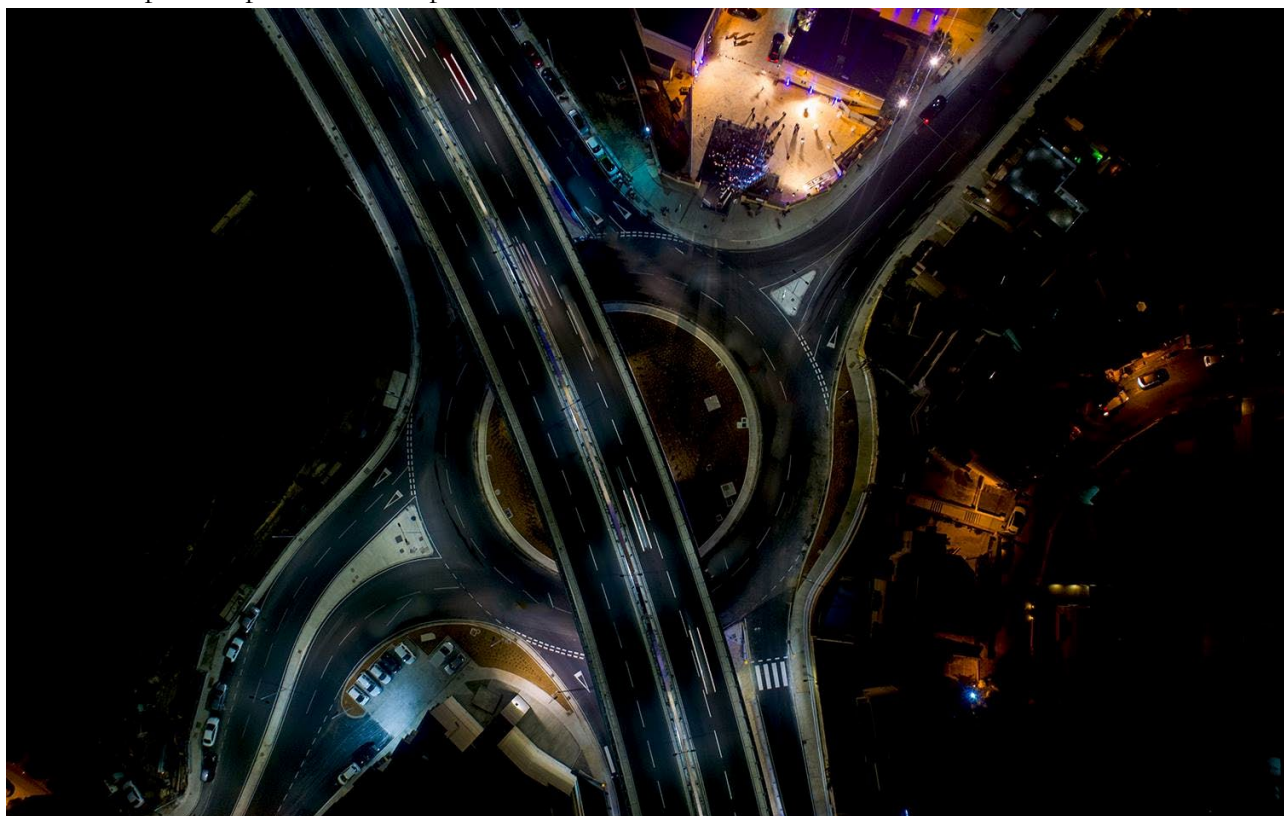


Figura 1. Vista aérea de la rotonda de Kappara con el paso elevado finalizado

2. Condicionantes

La estructura se sitúa en un entorno urbano con importantes limitaciones de espacio, tanto para ubicar los elementos que es necesario ejecutar, como para el acopio y la realización de las tareas habituales durante la construcción.

Teniendo en cuenta que en el proyecto base de las obras se incluía una estructura de hormigón pretensado, en la fase de licitación y adjudicación de contrato, se hizo necesario presentar una alternativa tipológica que supusiera una clara ventaja económica y constructiva. Por un lado, se trataba de reducir el plazo de ejecución en una obra con marcado carácter urbano, que requería la realización de desvíos y cortes de las vías de comunicación y de los servicios existentes, que debían mantenerse operativos durante todo el proceso de ejecución. Por otra parte, se trató de diseñar una obra que

dependiera lo menos posible de los recursos propios de la isla y que fuera fácilmente importable, facilitándose de este modo el control tanto económico como de los plazos de la obra.

Como condicionante a la hora de enfrentarse al diseño y verificación de los elementos estructurales, es necesario mencionar que, por exigencia de la propiedad, todos los elementos debían ser comprobados mediante la aplicación de los eurocódigos con las particularidades de los anexos nacionales de Reino Unido, lo que supone diferencias significativas con la aplicación directa a partir de los parámetros recomendados por la norma.

3. Concepción estructural

Con el objetivo de cumplir los condicionantes anteriores, se plantea la ejecución de dos tableros mixtos, uno por cada sentido de circulación, conformados por un cajón metálico abierto de

sección trapezoidal y una losa superior de hormigón.

Esta tipología, ejecutada por primera vez en Malta con el viaducto de Kappara, permite garantizar el cumplimiento de todos los condicionantes planteados, ya que, por un lado, supone un claro ahorro material con respecto a la solución totalmente en hormigón definida en el proyecto base y, por otro, facilita y simplifica el proceso constructivo reduciendo significativamente el plazo de ejecución de los trabajos en obra.

Adicionalmente, el fácil transporte de los elementos metálicos de los cajones, permiten su construcción en taller en cualquier parte del mundo, transportándolos posteriormente al lugar de emplazamiento de la obra, lo que permite tener un mayor control sobre la previsión de costes en casos como el que nos ocupa, en los que la empresa encargada de la ejecución no es natural del país donde se ubica la estructura. En el caso de Malta, además, es necesario considerar los escasos recursos propios de la isla y el reducido número de empresas que pueden ofrecer los diferentes servicios necesarios para la ejecución de todas las labores de obra, por lo que no depender en

exclusiva del mercado local permite una mayor flexibilidad a la hora de controlar el coste final.

En este caso, los cajones metálicos se montaron en un taller de Galicia llevándose, posteriormente, cada uno de los 16 tramos resultante en barco desde el puerto de La Coruña hasta el puerto de Marsa en Malta, con una duración del viaje en barco de dos semanas.



Figura 2. Desembarco de cajones metálicos

Con el mismo objetivo de reducir los trabajos de ejecución en obra, para la mayoría de los muros de contención necesarios para la materialización de los viales se definió una solución de muro prefabricado, con una tipología específica adaptada a las necesidades de la propia obra y a los medios de prefabricación disponibles.



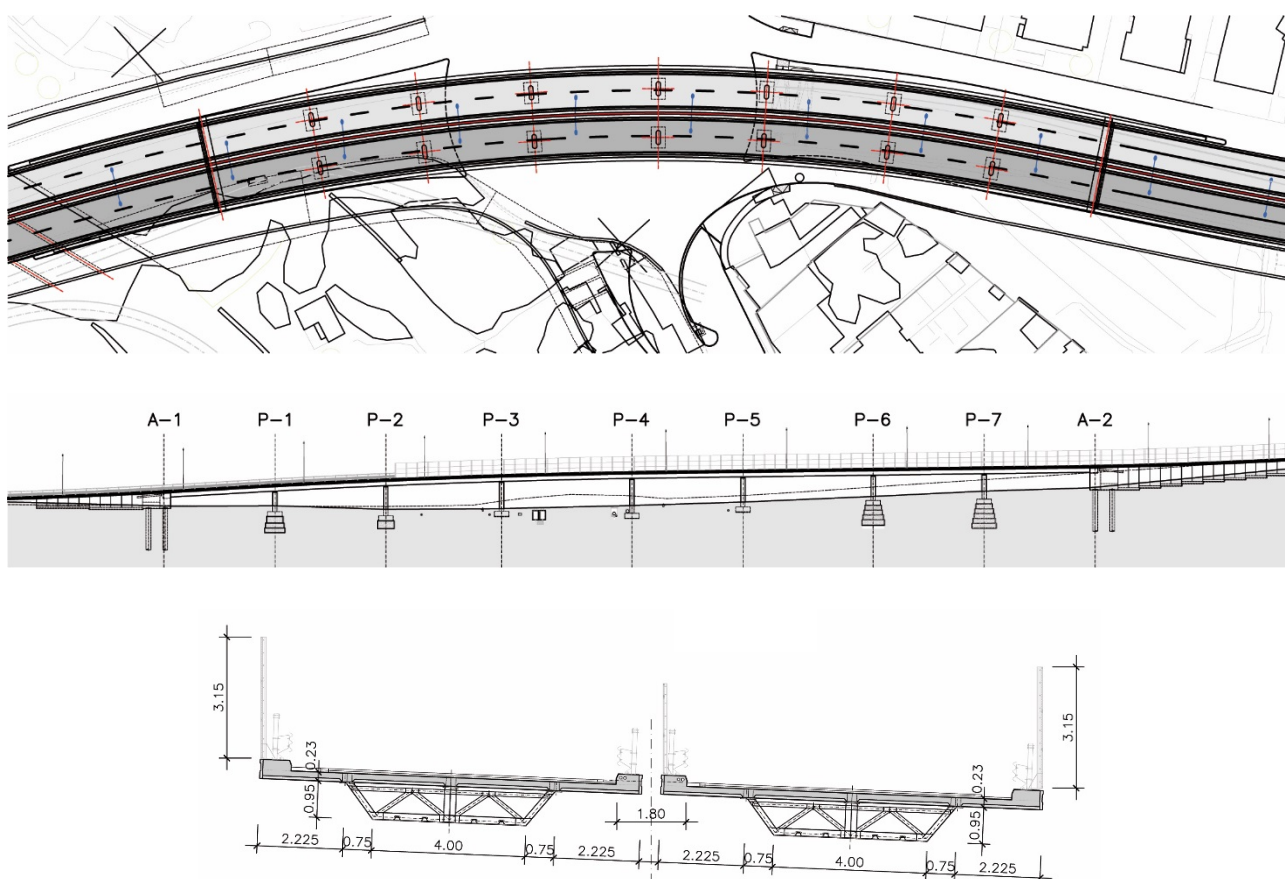
Figura 3. Vista general del paso elevado.

4. Descripción de la estructura

Para el paso elevado sobre la rotonda se disponen dos tableros mixtos paralelos e independientes, cuya longitud viene condicionada por el trazado en curva de la vía y que resulta ser de 191 y 195 m respectivamente, siendo la longitud total en el eje de la vía de 193 m. El número de vanos es de ocho, con luces en el eje de la vía de 23-23-24-27-23-27-23-23 m, por lo que resultan unas luces en cada tablero iguales a 22,8-22,8-23,7-26,7-22,7-26,7-22,8-22,8 m y 23,2-23,3-24,3-27,4-23,3-27,4-23,3-23,2 m.

Los tableros mixtos están compuestos, cada uno de ellos, por un cajón metálico trapezoidal de tres almas y 0,95 m de canto constante, una anchura de la platabanda inferior de 4 m y una separación entre almas exteriores en las platabandas superiores de 5,5 m.

Las losas superiores, de hormigón armado, tienen una anchura total de 9,95 m y un espesor de 0,23 m, y sobre cada una de ellas se ubican dos carriles de circulación de 3,5 m, dos arcones, de 0,5 m y 1 m, y dos barreras, de 0,65 m y 0,8 m. Estas losas se ejecutan mediante la disposición de prelasas colaborantes y están separadas entre sí 0,5 m.



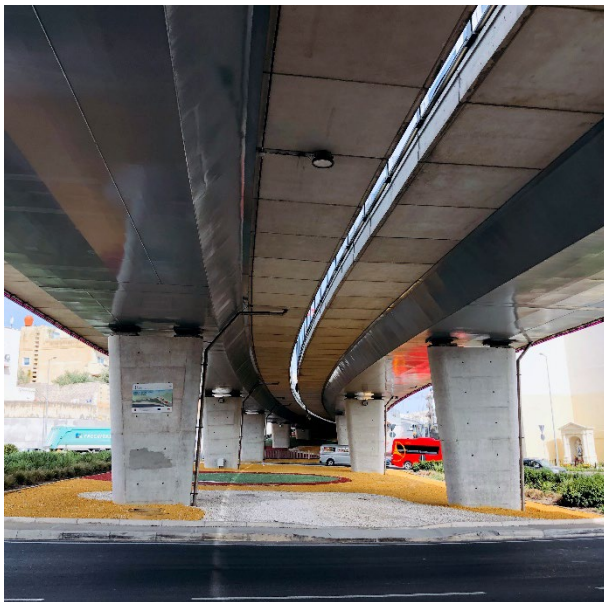
Las pilas, de hormigón armado, tienen forma apantallada rectangular rematada lateralmente con dos semi-circunferencias, siendo su anchura máxima de 3 m en su

coronación que se va reduciendo según se va acercando a la cimentación con una inclinación de los paramentos laterales igual a 1/15. El espesor es constante de 0,9 m. La cimentación

de todas las pilas se resuelve mediante zapatas superficiales, apoyadas directamente sobre la roca en algunos casos y apoyadas sobre pozos de cimentación de hormigón pobre en los casos donde el afloramiento de la roca es más profundo.

Los estribos tienen configuración de silla cargadero de hormigón armado sobre pilotes salvo el estribo 2 del tablero oeste, en el que la silla apoya directamente sobre la roca mediante una zapata de reducidas dimensiones.

Los tableros se rematan con la disposición de pantallas acústicas de grandes dimensiones para evitar que el ruido del tráfico rodado afecte a las viviendas cercanas al paso elevado.



5. Verificación estructural

Como particularidad para la redacción del proyecto de estructura del paso elevado, es necesario destacar que, de acuerdo con el pliego de licitación del contrato de proyecto y obra, la normativa de obligado cumplimiento contemplaba la aplicación de los eurocódigos con los parámetros de libre elección especificados en los anejos nacionales de Reino Unido, lo que supuso importantes variaciones respecto a la aplicación de los eurocódigos según

los parámetros recomendados o la IAP-11 española.

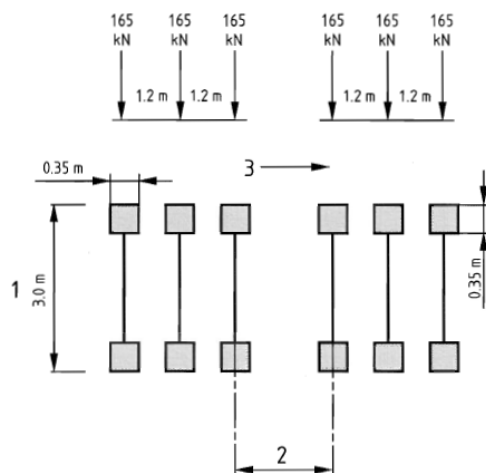
Como nuestra más significativa del hecho anterior, se van a discutir a continuación las diferencias observadas en las cargas de tráfico sobre el tablero que deben aplicarse en función de considerar los parámetros recomendados por el cuerpo general de los eurocódigos (que es asimilable a la aplicación de la IAP-11) o considerar los parámetros e indicaciones recogidas en los anexos nacionales de Reino Unido.

En primer lugar, si nos fijamos en la componente uniforme de la sobrecarga, es posible observar como los factores de ajuste de cargas en los diferentes carriles, en el anexo nacional de Reino Unido, se modifican de forma que la carga resultante es uniforme en toda la anchura del tablero con un valor de $5,5 \text{ kN/m}^2$, frente a la diferenciación de carga entre los diferentes carriles de diseño resultante de la aplicación directa del eurocódigo 1 con parámetros recomendados, lo que simplifica la implementación de esta acción en el modelo cálculo.

En el caso del sistema equivalente a los vehículos pesados (sistema tándem), en el anexo nacional británico no se considera ninguna modificación respecto a los parámetros recomendados, por lo que el número final de hipótesis o combinaciones de carga a tener en cuenta es similar en ambos casos.

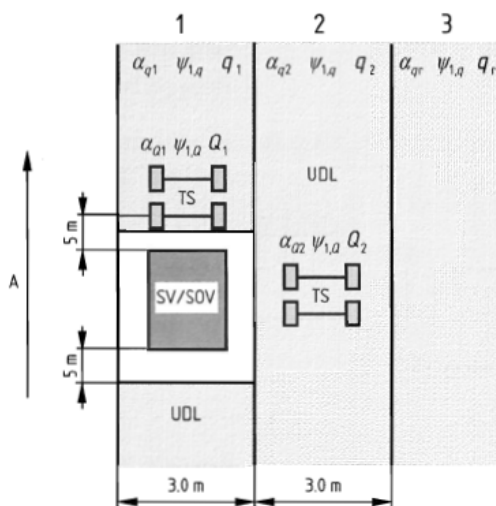
No obstante, adicionalmente al modelo de carga general del eurocódigo (LM1) comentado anteriormente, de acuerdo con el anexo nacional de Reino Unido y el pliego de licitación, fue necesario considerar un modelo de carga formado por un vehículo especial SV100, con seis ejes de 165 kN cada uno y un factor de impacto dinámico de 1.12, en combinación con los valores de acción frecuente del modelo de carga LM1, lo que multiplicó el número de hipótesis y combinaciones a realizar para la verificación estructural de la estructura.

Aunque la posibilidad de considerar este tipo vehículos especiales se contempla en el apartado 4.3.4 del eurocódigo EN 1991-2, en el que se denomina como LM3 y se deja abierta tanto la definición de la carga como sus condiciones de aplicación a los anexos nacionales, no suele ser de aplicación en estructuras de carácter general y menos aún en estructuras urbanas como la que nos ocupa.



Key

- 1 = Outside track and overall vehicle width
- 2 = Critical of 1.2 m or 5.0 m or 9.0 m
- 3 = Direction of travel



Key

- A = Direction of travel 1 = Lane 1 2 = Lane 2 3 = Remaining area

Una vez implementadas en el modelo de cálculo todas las acciones anteriores y todas sus posibles combinaciones en función de las

diferentes posiciones sobre el tablero, se obtienen los siguientes esfuerzos de diseño.

Tabla 1. Resultados del análisis de carga.

Situación	Momento máximo en vano (kNm)	Momento mínimo en apoyo (kNm)
LM1 (EC)	674	-384
LM1 (UK)	704	-411
LM3 (UK)	686	-424
ELU (EC)	1649	-2111
ELU (UK)	1689	-2153

Nota: EC = parámetros recomendados

UK = parámetros anexo nacional Reino Unido

Como puede observarse en la tabla anterior, para los esfuerzos aislados de la sobrecarga vehicular se obtienen unas diferencias del orden del 5% en momentos en vano y del orden del 10% en momentos en apoyos, mientras que para los esfuerzos finales de diseño, las diferencias son, en ambos casos, inferiores al 3%.

Diferencias en los esfuerzos finales de diseño de una estructura con este orden de magnitud (<3%) no justifican, de ningún modo, la adopción de diferentes hipótesis y vehículos de carga para los diferentes países miembros del Comité Europeo de Normalización (CEN), por lo que se pone de manifiesto, una vez más, que en un futuro próximo debería priorizarse llegar a un consenso para la obtención de una norma común a todos los países que elimine particularidades como la aquí comentada, que complican la aplicación de la misma sin aportar ningún tipo de valor añadido a las estructuras.

6. Detalles

Como requisito fundamental para la ejecución del paso elevado dentro del entramado urbano, se imponía la necesidad de disponer pantallas acústicas de grandes dimensiones, lo que, además de producir importantes complicaciones a la hora de definir los anclajes necesarios para transmitir las cargas de viento al tablero, supone la aparición de elevados momentos torsores, considerando las reducidas dimensiones de los

cajones metálicos, que llegan a condicionar el dimensionado de algunos elementos.

Los componentes más condicionados por los esfuerzos torsores impuestos por la presión del viento sobre las pantallas acústicas resultan ser los apoyos, tanto en pilas como en estribos, que, para algunas combinaciones de cálculo, se ven sometidos a importantes esfuerzos de tracción.

En el caso de los apoyos sobre pilas es suficiente con disponer apoyos anclados convencionales que, mediante la disposición de chapas metálicas encastradas en las caras superior e inferior del elastómero, permite la transmisión de tracciones, moderadas y no constantes, a través de los propios apoyos.

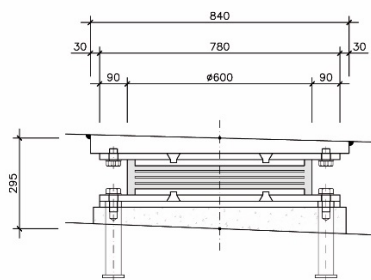


Figura 10. Detalle de apoyo anclado en pilas

Sin embargo, en el caso de los estribos, la menor carga vertical permanente, implica la aparición de tracciones muy superiores a las observadas en las pilas, lo que hace imposible transmitir dichos esfuerzos a través del apoyo elastomérico, siendo imprescindible la disposición de algún mecanismo mecánico que transmita dichas tracciones entre el tablero y los estribos.

Aunque existen en el mercado dispositivos con las características necesarias para solucionar la problemática comentada anteriormente, el elevado coste de los mismos y, fundamentalmente, los dilatados plazos de fabricación y entrega, incompatibles con las necesidades de suministro de la obra, hicieron necesario definir un sistema de anclaje específico, que fuera posible ejecutar con los medios convencionales del taller metálico, y que permitiese garantizar que el comportamiento de

los apoyos de los estribos para todas las hipótesis de diseño fuera el adecuado.

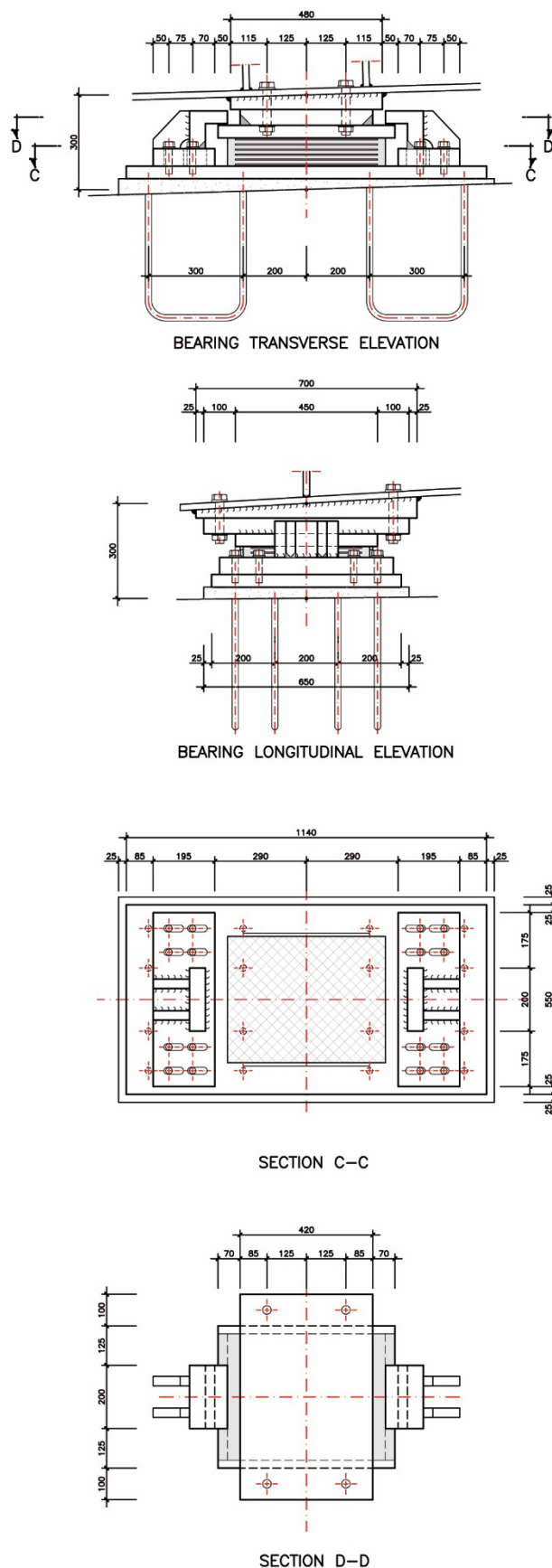


Figura 11. Detalle de apoyo anclado en estribos

7. Proceso constructivo

El proceso constructivo realizado fue bastante convencional para una tipología de tablero mixto. Partiendo de la ejecución inicial de la subestructura, pilas y estribos, se montaron los diferentes tramos del cajón metálico, para lo que se aprovecharon diferentes cortes nocturnos de tráfico. Posteriormente se colocaron las prelasas colaborantes para, finalmente, realizar el hormigonado in-situ del resto de la losa hasta alcanzar su espesor final.

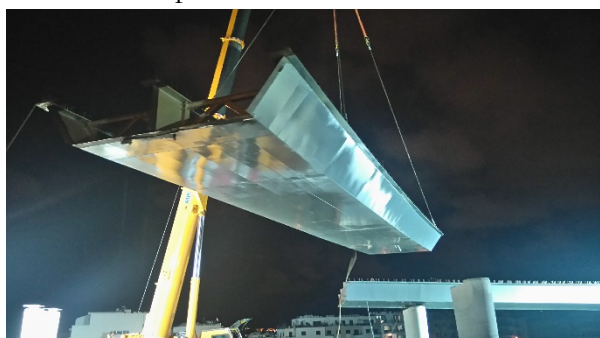


Figura 12. Montaje del cajón metálico.



Figura 13. Colocación de prelasas.

Por último, se dispuso la capa de rodadura, los elementos de contención e iluminación, así como las barreras acústicas y el resto de servicios.



Figura 14. Vista aérea de las obras.

8. Muros de contención

Dentro del proyecto del paso elevado fue necesaria la construcción de una elevada longitud de muros de contención que, con objeto de minimizar el tiempo de ejecución en obra, se proyectaron como elementos prefabricados. Adicionalmente, estos elementos prefabricados debían adaptarse a los recursos existentes en la isla, por lo que no fue posible la adopción de ninguna solución industrial existente, debiendo definirse de forma particular para adaptarse a los medios de los que se disponía.

Una importante particularidad de los muros prefabricados proyectados específicamente para esta obra, fue la necesidad de que fueran capaces de resistir las fuerzas de impacto sobre las barreras de contención que debían disponerse en su coronación, por lo que fue necesario ejecutar una viga de coronación, fuertemente armada, con capacidad suficiente para distribuir la fuerza del impacto en varios módulos verticales prefabricados que, en función de la altura, tenían anchuras máximas de 2.20 m o 1.10 m.

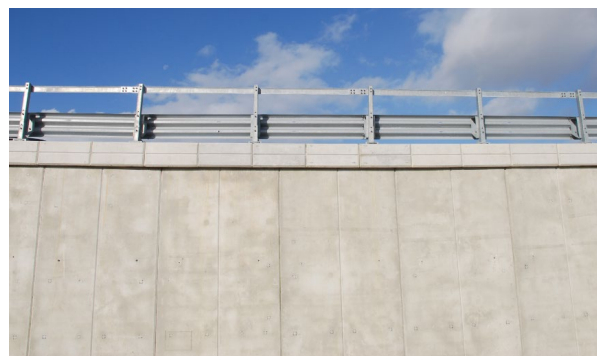


Figura 15. Viga de coronación en muros prefabricados con módulos de 1.10 m de anchura.

Las fuerzas de impacto consideradas fueron las equivalentes a elementos de muy alta contención flexibles que, de acuerdo con el anexo nacional británico, resultaban ser iguales a una fuerza transversal de 400 kN, una fuerza longitudinal de 100 kN y una fuerza vertical de 175 kN, repartidas en una longitud de barrera de 3 m, lo que condicionó el diseño y la verificación de todos los muros de alturas medias y bajas.

Referencias

- [1] EN 1991-2:2003. Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Cargas de tráfico en puentes.
- [2] NA to BS EN 1991-2:2003. National Annex to Eurocode 1: Actions on structures. Traffic loads on bridges.

Ficha técnica de la estructura

Datos de la obra	
Ubicación	Malta
Año de ejecución	2017
Propiedad	Transport Malta
Proyecto constructivo y asistencia técnica	Cesma Ingenieros
Empresa contratista	San José Kappara
Datos técnicos	
Longitud total	2x193 m
Luces	23x2-24-27-23-27-23x2 m
Ancho del tablero	9,95 m
Canto del tablero	1,18 m
Espesor de prelosa prefabricada	0,08 m
Espesor medio de hormigón in situ	0,2 m
Cuantía de acero estructural en tablero	129 kg/m ²
Cuantía de acero de armar en tablero	38 kg/m ²
Presupuesto de ejecución material	6.140.835 €