

# ESTRUCTURAS JUNTO AL AEROPUERTO DE LUQA EN MALTA

*Structures at Malta's International Airport, in Luqa*

Juan Luis Bellod Thomas<sup>a</sup>, David Sanz Cid<sup>b</sup>, Peter Tanner Furrer<sup>c</sup>,

Javier Parras Martínez<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Cesma Ingenieros, S.L. Director General. [cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

<sup>b</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Cesma Ingenieros, S.L. Ingeniero. [cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

<sup>c</sup> MSc ETH, Zürich. Dr. Ingeniero de CCyP. Cesma Ingenieros, S.L. Ingeniero. [cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

<sup>d</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Cesma Ingenieros, S.L. Ingeniero. [cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

## RESUMEN

Las estructuras de los nudos WA24 y WA23 surgen de la necesidad de aliviar las congestiones de tráfico en el entorno del aeropuerto internacional de Malta. Las principales estructuras son dos pasos superiores, ambos resueltos mediante una viga continua de sección cajón mixta y tablero hormigonado sobre prelosas colaborantes, de trazado curvo y cuya longitud ronda los 200 m. Asimismo, se prevén tres pasos inferiores, dos de ellos resueltos mediante muros prefabricados, vigas prefabricadas y prelosas, y otro tipo pérgola realizado en hormigón in-situ. También se proyectaron alrededor de 2500 m de muros, en su mayor parte prefabricados; todo ello con arreglo a los anejos británicos del Eurocódigo.

## ABSTRACT

The structures belonging to nodes WA24 and WA23 are a result of the need to ease the traffic jams in the surroundings of Malta's International airport. The main structures are two flyovers, both of them featuring a continuous beam with a composite box girder section and a deck cast over prelabs, with curved plan layout and lengths reaching 200 m. Additionally, three underpasses are designed, two of them with precast walls, precast beams and prelabs, and the other one with cast-in-place concrete and a pergola configuration. Also, 2500 m of retaining walls were designed, most of them with precast modules. All of this was compliant with the UK National Annexes to Eurocode.

**PALABRAS CLAVE:** proyecto de puente mixto, pasos inferiores, pérgola, Eurocódigo, entorno urbano

**KEYWORDS:** composite bridge design, underpasses, pergola, Eurocode, urban environment

## 1. Introducción

La ejecución de los proyectos de los nudos WA24 y WA23 próximos al aeropuerto internacional de Malta responde a la necesidad de descongestionar los grandes embotellamientos de tráfico que se producen allí habitualmente y que recientemente se han agravado como consecuencia del fenómeno

global del auge del turismo, con especial impacto sobre esta isla del Mediterráneo.

Estos dos nudos son puntos de importancia estratégica para el transporte de la isla, puesto que conectan el aeropuerto internacional y el núcleo urbano de Luqa con la Route 1, principal vía de comunicación del país.

Dentro de estas actuaciones se realizaron las siguientes estructuras significativas: dos pasos superiores de viga continua mediante cajón mixto, dos pasos inferiores mediante muros y vigas prefabricadas, un paso inferior tipo pérgola y todos los consiguientes muros de aproximación a todas estas estructuras.

Si bien los nudos WA24 y WA23 son contiguos, se trata de dos actuaciones diferentes y que fueron objeto de dos concursos de proyecto y obra independientes, de los cuales salió vencedor el contratista local RM Construction. Cesma Ingenieros redactó el proyecto de las estructuras y realizó las labores de asistencia técnica durante la ejecución.



**Figura 1. Vista aérea del nudo WA24 finalizado**



**Figura 2. Vista aérea del nudo WA23 finalizado**

## 2. Condicionantes

Ambos nudos se sitúan en un entorno suburbano con importantes limitaciones de espacio debido a las edificaciones existentes y la dificultad de realizar expropiaciones, por lo que existen restricciones tanto para ubicar los elementos que es necesario ejecutar, como para el acopio y la realización de las tareas habituales durante la construcción, lo que dificulta la ejecución de estructuras in-situ.

Además, el trazado de ambos enlaces está definido por el Cliente y no admite modificaciones. Esto, unido al requerimiento de gálibo mínimo de 6 m, condiciona el canto de las estructuras.

Asimismo, se trata de un entorno con numerosos yacimientos arqueológicos, lo que obligó a modificar la geometría inicial de algunas estructuras. Por ejemplo, para el paso superior S.S.7 del WA24 fue necesario incorporar un vano adicional.

Por otro lado, si bien a la hora de redactar el proyecto se carecía de información geotécnica precisa, se trata de una zona rocosa, donde las excavaciones son muy costosas, encareciendo la obra y dilatando el plazo de ejecución.

Sin embargo, el principal condicionante para ambos nudos fue de tipo económico. Los concursos de Infraestructure Malta, organismo público titular de las carreteras del país, se adjudican a la oferta económica más barata en base a un anteproyecto, sin posibilidad de revisión de precios. Ambos concursos fueron adjudicados a comienzos de 2020 y se vieron claramente afectados por la escalada de precios de los materiales de construcción, especialmente el acero, que tuvo lugar en meses posteriores. Asimismo, también se encareció considerablemente el precio del combustible, lo que condicionó el transporte de la estructura metálica de los pasos superiores. Todo ello

obligó a realizar un proceso de optimización de las estructuras a fin de garantizar la viabilidad económica de la actuación.

Finalmente, como condicionante adicional, el diseño estructural se realizó en conformidad con los Eurocódigos y los anejos nacionales británicos, con algunos requerimientos excesivos para el entorno de la actuación, tales como las clases de exposición y la resistencia al fuego, y con algunas incoherencias normativas.

## 3. Concepción estructural

Con el objetivo de cumplir los condicionantes anteriores, para los dos pasos superiores se plantea la ejecución de sendos tableros mixtos, conformados por un cajón metálico abierto de sección trapezoidal y una losa superior de hormigón ejecutada mediante prelosas

Esta tipología, cuyo único predecesor en Malta es el viaducto de Kappara, también proyectado por Cesma, permite simplificar el proceso constructivo, reduciendo significativamente el plazo de ejecución de los trabajos en obra y la afección al tráfico.

Puesto que en Malta no existen talleres metálicos con la capacidad de realizar estos cajones, y aprovechando la facilidad de transporte de este tipo de estructuras, estos fueron fabricados en España y posteriormente transportados en barco hasta la obra.

Con el mismo objetivo de reducir los trabajos de ejecución en obra, dos de los pasos inferiores se definieron mediante muros, vigas y prelosas prefabricadas, así como la gran mayoría de los muros de contención necesarios para la materialización de los viales de acceso a las estructuras, con una tipología específica adaptada a las necesidades de la propia obra y a los medios de prefabricación disponibles. Para el caso de los muros, se buscó siempre la solución

que redujera al máximo posible el volumen de excavación.

Finalmente, para el caso de la pérgola, debido al fuerte esvía de los viales, se optó por una solución in-situ que redujera al mínimo imprescindible el volumen de hormigón necesario para la estructura.



Figura 3. Vista general de la pérgola.

#### 4. Descripción de los pasos superiores

Cada uno de los nudos presenta, como estructura más destacada, un paso superior: el nudo WA24 tiene el *flyover* S.S.7, mientras que el nudo WA23 tiene el S.S.3.

Ambos pasos superiores son tableros mixtos, de 214 m y 204 m de longitud, respectivamente. El S.S.7 tiene 7 vanos, con luces en el eje de 28-36-32-32-32-30-24 m; mientras que el S.S.3 tiene 6 vanos, con luces en el eje de 30-36-36-36-36-30 m.

Los tableros mixtos están compuestos, cada uno de ellos, por un cajón metálico trapezoidal de dos almas inclinadas y 1.00 m de canto constante, una anchura de la platabanda inferior de 3 m y una separación entre almas exteriores en las platabandas superiores de 3.5 m.

Las losas superiores, de hormigón armado, tienen una anchura total de 7.00 m para el S.S.7 y de 6.90 m para el S.S.3, y un espesor de 0.25 m. El espesor viene condicionado por los recubrimientos a disponer de acuerdo con los ambientes de exposición marcados por el Cliente, en algunos casos para sales de deshielo en un país en el que la temperatura mínima histórica es de 1.0 °C, y por los requerimientos de la normativa británica referida en los anejos del Eurocódigo. Sobre cada una de ellas se ubica un carril de circulación de 3.5 m, dos arcones y dos barreras. Para la ejecución de las losas se emplean prelosas colaborantes de 0.085 m de espesor.

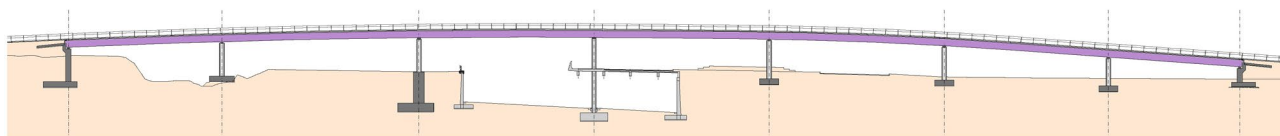


Figura 4. Alzado del paso superior S.S.7

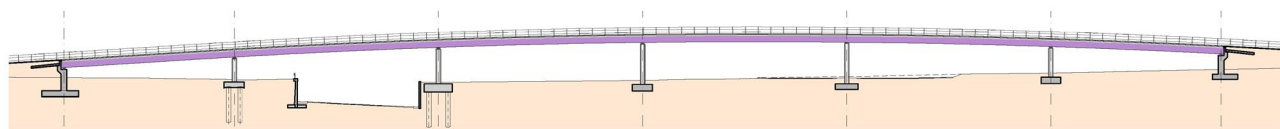
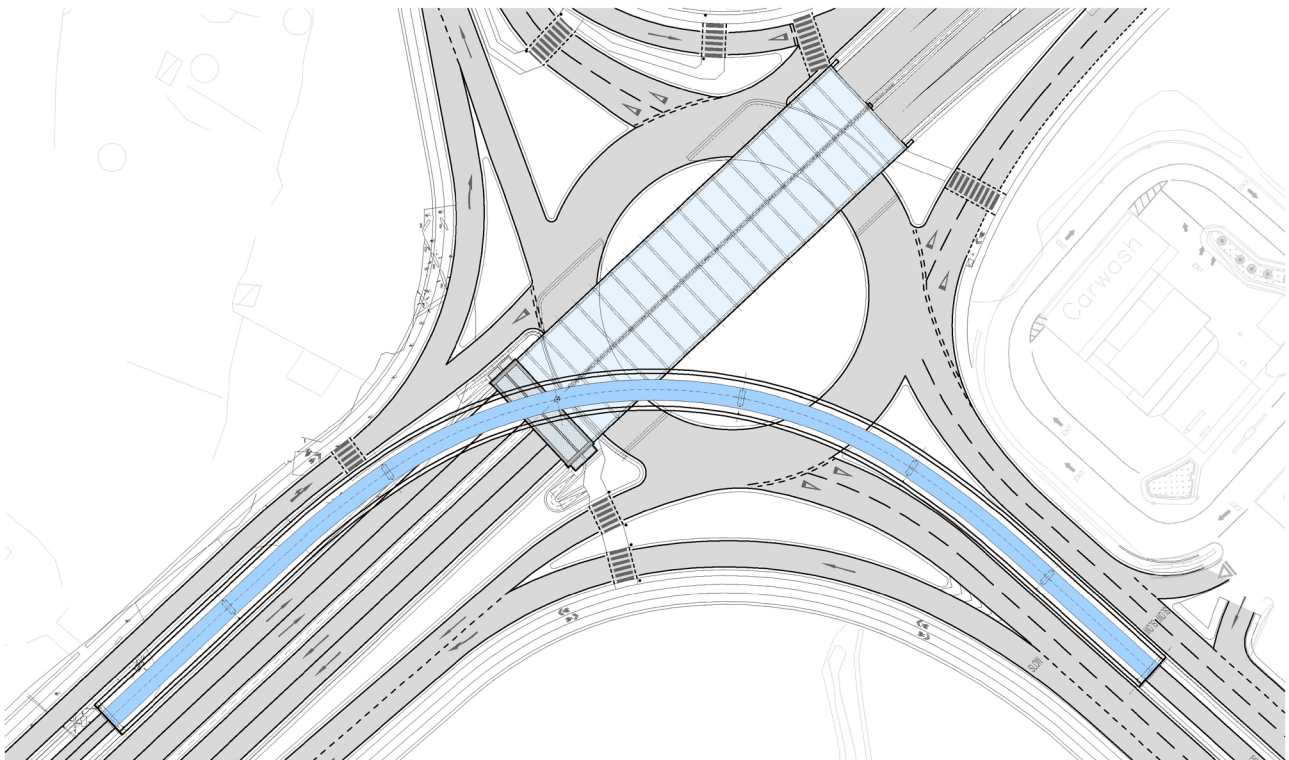
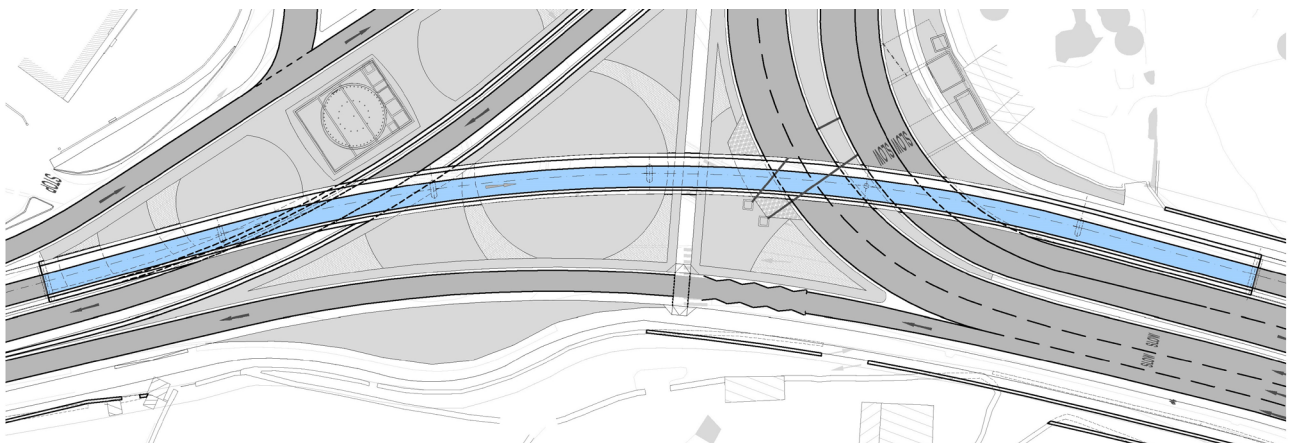


Figura 5. Alzado del paso superior S.S.3



**Figura 6. Vista en planta del paso superior S.S.7 y del paso inferior S.S.12**

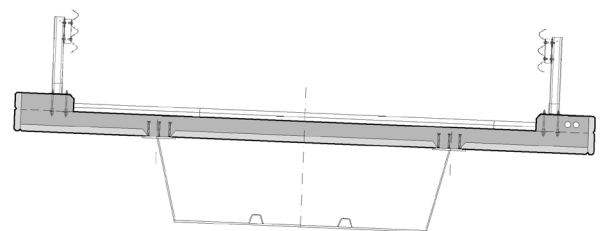


**Figura 7. Vista en planta del paso superior S.S.3**

Las pilas, de hormigón armado, tienen forma típica 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. El motivo de emplear esta geometría para las pilas fue reutilizar el encofrado que se empleó para las del viaducto de Kappara.

Como peculiaridad, una de las pilas del S.S.7 coincide con el muro central del paso inferior S.S.12, tal y como se comentará en el

apartado siguiente. Asimismo, una de las pilas del S.S.3 tiene forma circular, de Ø0.85 m de diámetro, como consecuencia del reducido espacio disponible entre las calzadas de la vía inferior.



**Figura 8. Sección tipo de los pasos superiores S.S.7 y S.S.3**

La cimentación de casi todas las pilas se resuelve mediante zapatas superficiales, apoyadas directamente sobre la roca. En algunos casos particulares, cuando la pila está muy próxima a algún muro o cuando se ha tenido que reducir la dimensión de la cimentación por la presencia de restos arqueológicos, se ha acudido a cimentaciones profundas mediante pilotes.

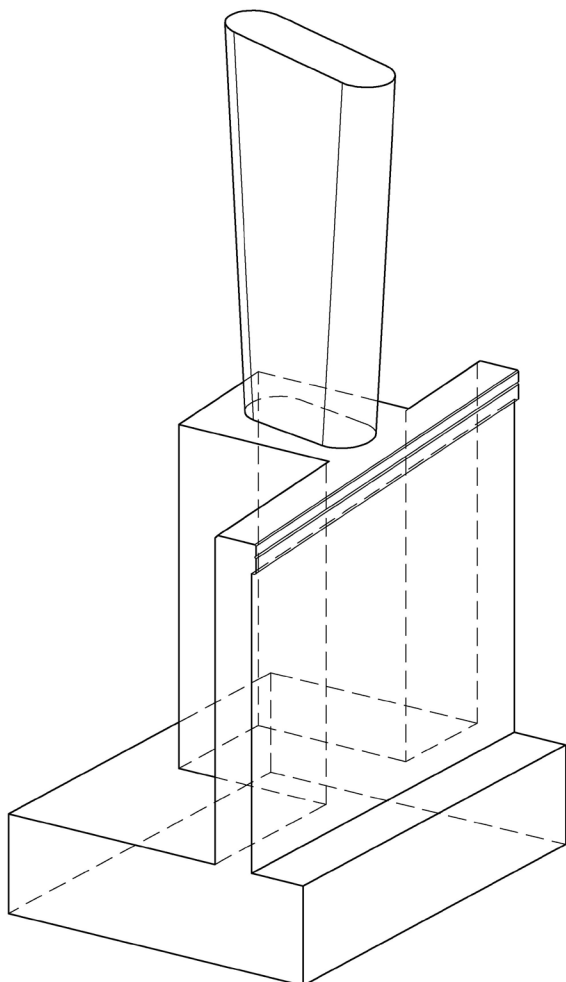


Figura 9. Vista 3D de una pila próxima a muro

Los estribos tienen configuración cerrada con aletas en vuelta y se cimentan directamente sobre la roca mediante zapatas.

## 5. Descripción de los pasos inferiores y los muros

Se distingue entre el paso inferior S.S.12, prefabricado, y el paso inferior S.S.13, denominado como pérgola.

### 5.1 S.S.12 – Prefabricado

El paso inferior S.S.12 es, esencialmente, una estructura prefabricada. Cuenta con una longitud total de 80 m y un ancho de 19.50 m.

Los hastiales del paso inferior están formados por muros de hormigón prefabricado, de altura variable entre 7.50 m y 8.50 m que se insertan en la cimentación, la cual se resuelve mediante una zapata apoyada directamente sobre el terreno. El muro central también se resuelve mediante paneles prefabricados.

Sobre los paneles prefabricados laterales se ejecuta una viga de regularización. Sobre dicha viga de regularización y sobre el muro central, mediante el empleo de camas de mortero, se apoyan las vigas prefabricadas, de 0.80 m de canto y 0.40 m de ancho, con una separación típica entre ellas de 4.00 m.

Encima de las vigas se disponen prelosas colaborantes, de 0.10 m de espesor, sobre las que se hormigona la losa de 0.28 m de espesor total.

Tal y como se comentaba anteriormente, en uno de los extremos del muro central del paso inferior se sitúa una de las pilas del puente, la cual se resuelve mediante un fuste circular de Ø0.85 m de diámetro unido monolíticamente al muro.



Figura 10. Paso inferior S.S.12 y paso superior S.S.7

Finalmente, como elemento adicional, fue necesario diseñar una estructura metálica no prevista originalmente en el anteproyecto, para poder reponer 3 conducciones de agua potable que dan servicio a todo el sur de la isla y que coinciden en ubicación con el paso inferior. Dicha estructura se resolvió como un cajón

metálico apoyado directamente sobre los muros laterales y central.

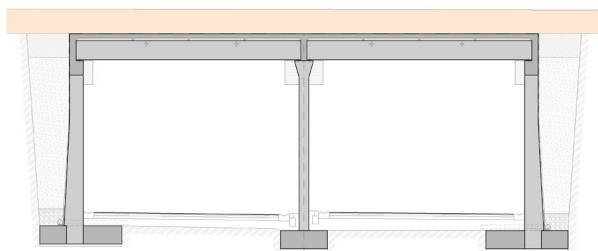


Figura 11. Sección tipo del paso inferior S.S.12

### 5.1 S.S.13 – Pérgola

El paso inferior S.S.13 es una estructura tipo pérgola en hormigón armado in-situ, con una longitud máxima de 73.4 m y un ancho máximo total de 12 m.

La peculiaridad de esta estructura surge del esviaje que presentan los ramales en dicho punto. Esto obliga a realizar una estructura de cierta longitud y anchura, pero sobre la cual solo es necesario disponer una losa maciza bajo la calzada superior. Esto permite disponer aligeramientos de geometría poligonal redondeada, que reducen el peso de la estructura y permiten el paso de luz natural al interior del paso inferior. Dicha losa superior presenta un canto constante de 0.70 m. Por su parte, las vigas que se intercalan entre los aligeramientos presentan un ancho de 0.80 m y van fuertemente armadas. Esto se debe a que en Malta no es habitual realizar pretensado posteso en obra, por lo que el diseño buscó en todo momento evitar este método constructivo.

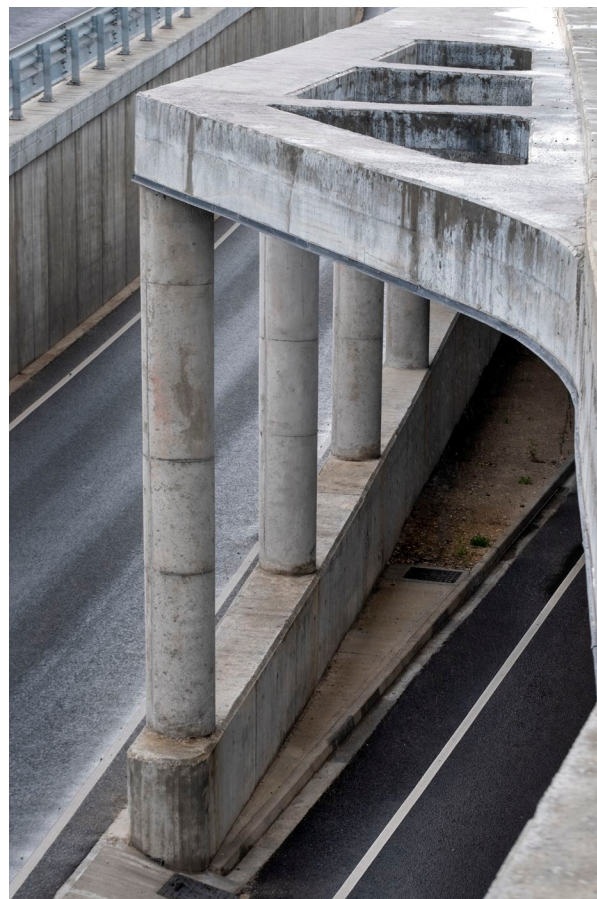


Figura 12. Aligeramientos y muro abierto

Respecto a los muros laterales de apoyo de la losa superior, ambos son in-situ, siendo uno de ellos macizo y de 0.70 m de espesor, mientras que el otro es un muro abierto, de pilas de  $\varnothing 0.60$  m de diámetro, que permite aportar mayor transparencia y ligereza a la estructura y mayor entrada de luz natural, lo que sirvió para eliminar la iluminación permanente bajo la estructura, reduciendo los costes de explotación.

Esta pérgola constituyó la primera estructura de su tipología en las islas maltesas.

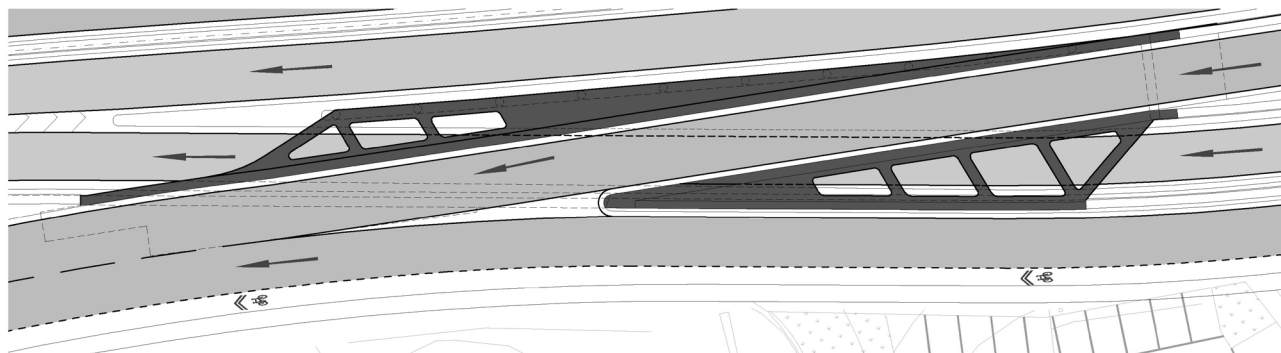


Figura 13. Vista en planta del paso inferior S.S.13

## 6. Descripción de los muros de contención

Dentro del proyecto de los nudos WA24 y WA23 fue necesaria la construcción de una elevada longitud de muros de contención, cercana a los 2500 m, que, con objeto de minimizar el tiempo de ejecución en obra, se proyectaron, en su mayor parte, 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. Adicionalmente, puesto que el terreno existente era mayoritariamente roca, fue necesario reducir las dimensiones del talón de la zapata lo máximo posible, con objeto de reducir la excavación.

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, 1.30 m o 1.10 m.

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. Los muros altos, a su vez, se vieron condicionados

por la presencia en el trasdós del vehículo especial SV100.



**Figura 14. Muros prefabricados, muros in-situ y paso inferior**

## 6. Verificación estructural

Como particularidad para la redacción del proyecto de las presentes estructuras, 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 determinación nacional definidos 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 de los pasos superiores.

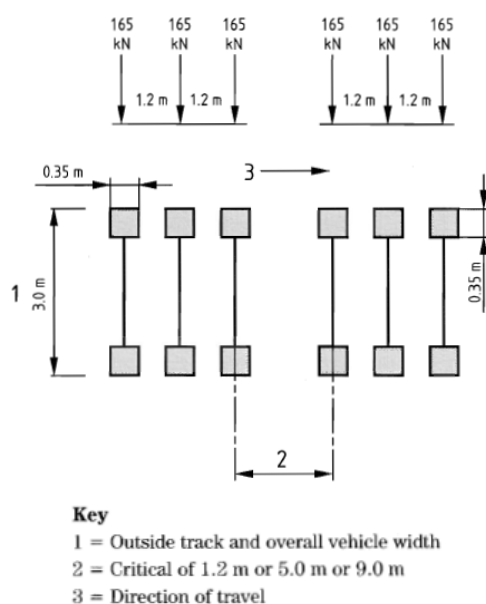
En primer lugar, si nos fijamos en la componente uniforme de la sobrecarga, es posible observar cómo los factores de ajuste de cargas en los diferentes carriles, en el anexo nacional de Reino Unido, se modifican de forma que la carga resultante es uniforme en toda la anchura del tablero con un valor de 5.5 kN/m<sup>2</sup>, frente a la diferenciación de carga entre los diferentes carriles de diseño resultante de la aplicación directa del Eurocódigo 1 con parámetros recomendados.

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.

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.



**Figura 15. Vehículo especial SV100**

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 pudo observar que para los esfuerzos aislados de la sobrecarga vehicular se obtienen unas diferencias entra ambos modelos de sobrecarga

de tráfico (LM1 y LM3) 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.

Adicionalmente, debido a la aplicación de los anejos británicos al Eurocódigo, y a los requerimientos del pliego de licitación, fue necesario considerar un ambiente XD3 para todos los elementos sobre rasante, correspondiente al empleo de sales de deshielo (hágase mención de que en Malta no se ha producido ninguna helada desde que hay registros), lo que penalizó considerablemente el recubrimiento, obligando a definir cantos superiores para las prelosas y los tableros de los pasos superiores.

## 6. Detalles

Como detalle más representativo del proyecto y, en concreto, de los pasos superiores, resultó necesario definir apoyos tipo C (anclados), debido al poco peso propio que presentan este tipo de estructuras.

Estos apoyos se atornillan directamente a las cuñas, previamente soldadas a la platabanda inferior del tablero. Todas estas labores se realizan con carácter previo a la instalación de la estructura metálica, de tal forma que los tramos del cajón se izan con los apoyos ya atornillados, garantizando que estos se encuentran

perfectamente alineados con los diafragmas del tablero.

Por ello, resultó necesario disponer gatos de apeo provisional sobre los estribos y las pilas, así como prever unos cajeados, con armadura pasante, para lo cual se empleó metal expandido a modo de encofrado.

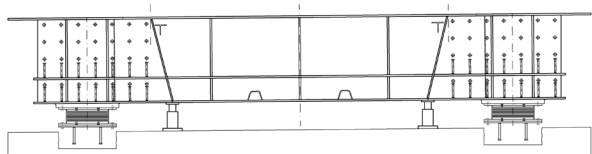


Figura 16. Detalle de apoyo anclado en pilas

### 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.

Cabe destacar la agilidad con la que se completó el proceso, empleando únicamente

dos semanas para el montaje de la estructura metálica en obra, a razón de un vano por noche.



Figura 17. Montaje de la estructura metálica durante un corte nocturno



Figura 18. Montaje de las prelasas sobre el tablero

### 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                           | 2023             |
| Propiedad                                  | Transport Malta  |
| Proyecto constructivo y asistencia técnica | Cesma Ingenieros |
| Empresa contratista                        | RM Construction  |
| Datos técnicos                             |                  |
| Presupuesto de ejecución material WA24     | 6 128 806 €      |
| Presupuesto de ejecución material WA23     | 1 928 045 €      |