







# Tres pasos superiores sobre rotondas entre Maó y **Alaior**

Three overpasses over the roundabouts between Maó and Alaior

## Juan Luis Bellod Thomasa

<sup>a</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Cesma Ingenieros, S.L. Director General. cesma@cesmaing.com

### **RESUMEN**

La mejora de la seguridad y movilidad de la carretera M-1 entre las poblaciones de Maó y Alaior, incluyó la definición de tres pasos superiores integrales que salvan las rotondas inferiores de cambio de dirección. Todas las estructuras, que presentan una misma concepción estructural, están formadas por un tablero de hormigón pretensado compuesto por dos vanos laterales además de una zona de apoyo central, que coincide con el centro de las rotondas, en donde se dispone una nube de pilas metálicas de pequeño diámetro inclinadas en distintas direcciones. Con esta tipología se aporta singularidad a cada uno de los puentes, manteniendo la misma estética, con un diseño ligero que no resulta agresivo con el entorno.

### **ABSTRACT**

The safety and mobility improvement of the M-1 road between the villages of Maó and Alaior, included the definition of three integral overpasses, which fly over the roundabouts that lie below. All of the structures, which show the same structural conception, feature a prestressed concrete deck, with two lateral spans as well as a central support zone, which is located at the isle of the roundabout, in which a swarm of small diameter steel piles, tilted in several directions, is displaced. With this typology, uniqueness is given to each of the bridges, while maintaining the same aesthetics, with a light design that is not aggressive to the environment.

PALABRAS CLAVE: Puente integral pretensado, nube de pilas, ligereza, respeto al entorno **KEYWORDS:** Prestressed integral bridge, swarm of piles, lightness, environmental respect

### 1. Introducción

Dentro de las obras de mejora de la seguridad y la movilidad de la carretera Me-1, principal eje vertebrador de la isla de Menorca, se proyectan tres pasos superiores que servirán para dar continuidad a la circulación de la carretera sobre tres de los enlaces con mayor intensidad de tráfico.

La mejora de los enlaces proyectada contempla una actuación global sobre los mismos, definiendo nuevas rotondas, los nuevos pasos elevados objeto del presente artículo, nuevos sistemas de drenaje, iluminación y señalización, así como la adopción de medidas para la integración ambiental de los nuevos elementos.

Los pasos superiores se sitúan en los P.K. 6+815, 8+220 y 10+650, y todos ellos tienen una misma concepción estructural basada en tableros de hormigón pretensado que permiten el paso sobre las diferentes rotondas de enlace con las vías secundarias.

Actualmente, estas obras de mejora se encuentran paralizadas por temas políticos, siendo posible que se produzcan modificaciones en el proyecto. En estos momentos, solamente uno de los pasos está totalmente ejecutado, otro está casi finalizado, mientras que el último de ellos aún no se ha comenzado a construir.



# 2. Descripción de las estructuras

Todas las estructuras están formadas por un tablero de hormigón pretensado con dos vanos laterales, que salvan los carriles de las rotondas inferiores, y un vano o tramo central en donde se disponen una serie de pilas inclinadas cimentadas en el interior de las rotondas y que aportan una zona de apoyo sensiblemente distribuida.

La diferencia fundamental entre las tres estructuras señaladas radica en la definición y distribución de las pilas centrales, ya que, mientras que para la estructura situada en el P.K. 10+650 se disponen un total de 22 pilas, en las estructuras situadas en los P.K. 6+815 y 8+220, se disponen un total de once y ocho fustes respectivamente, aportándose, de esta forma,

singularidad a cada una de las estructuras manteniendo una armonía estética entre ellas.

Los pasos 6+815 y 8+220 tienen una longitud total de 51 m, mientras que en el paso 10+650 la longitud es de 65 m. Los vanos efectivos laterales varían entre las diferentes estructuras entre los 19,5 m y los 21 m, siendo el rasgo más distintivo entre ellas la longitud del apoyo central, que varía entre los 7 m del paso 8+220 y los 24 m del paso 10+650.

Los tableros, de anchura constante 13,3 m y canto de 0,9 m, para las estructuras 6+815 y 10+650 o 1 m para la 8+220, presentan una sección formada por dos nervios longitudinales macizos más una losa superior de espesor variable, entre 0,21 y 0,34 m, que define el peralte. En las zonas de apoyo de las pilas se maciza la sección entre los nervios dando lugar a un único nervio de 7,5 m de anchura inferior.

Las pilas metálicas presentan una sección tubular de 0,3 m de diámetro y se encuentran apoyadas sobre una losa de cimentación común para todas ellas.

Por su parte, los estribos se definen cerrados y empotrados al tablero y se revisten con mampostería. El mismo acabado se aplica en los muros de acompañamiento de contención de tierras, evitando que el mortero aflore a la cara vista con el fin de que la apariencia final de los mismos simule los muros de mampuesto seco tradicionales en la isla.

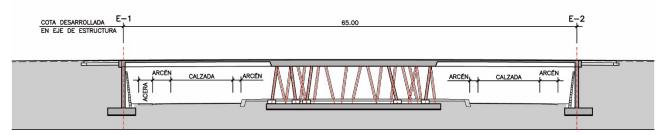
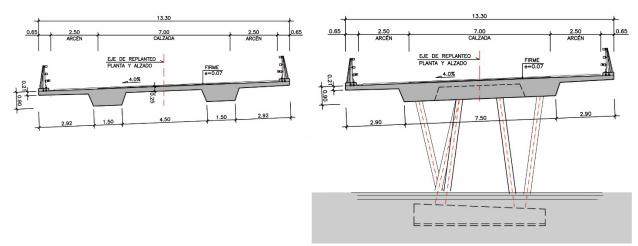


Figura 2. Alzado del paso superior en el P.K. 10+650.



Figuras 3a y 3b. Sección por centro de vano y por zona de apoyos.

Puesto que, desde el punto de vista estructural, los pasos superiores descritos resultan bastante convencionales en cuando a su configuración de luces, longitudes máximas, anchuras de tablero, etc., la fase de concepción estructural se enfocó a dos obietivos fundamentales: dotar a las estructuras de un alto valor estético minimizando el impacto visual sobre el entorno y garantizar un coste de ejecución ajustado mediante la implementación de soluciones estructurales adaptadas a los condicionantes de suministro de materiales en la isla.

Para lograr estos dos objetivos se planteó minimizar al máximo el canto total de la estructura, para lo que se recurrió a una solución de hormigón pretensado, considerando, además, la adopción de grandes voladizos laterales que permitieran aumentar la sensación visual de ligereza.

Con el objetivo de conseguir unas luces efectivas reducidas evitando la disposición de dos pilas voluminosas en la zona central de la rotonda, se planteó la posibilidad, finalmente adoptada, de disponer un mayor número de apoyos, pero de pequeñas dimensiones, de forma que el impacto visual fuera mínimo, fomentando la transparencia de la subestructura con relación al entorno natural. Puesto que los elementos tubulares que se pretendía disponer, tienen una capacidad portante unitaria reducida, se consideró disponerlos distribuidos en una longitud importante en lugar de concentrarlos, cambiando el posible concepto de tres vanos con

dos apoyos en la rotonda, a un concepto de dos vanos laterales y un apoyo central continuo que permitiese disponer un número elevado de elementos de apoyo sin dar sensación de pesadez por la concentración de los mismos.

Para dotar a esta solución de una mayor flexibilidad estética, alejando la imagen final de los pasos de la típica rigidez formal habitual en las estructuras de obra civil, los apoyos centrales se distribuyeron de forma aleatoria y se dispusieron con diferentes inclinaciones, dando lugar a una nube de pilares irregular lo que, como se ha indicado anteriormente, también dotó de cierta singularidad a cada uno de los pasos proyectados dentro de un mismo hilo estético conductor.



Figura 4. Pilas en el paso P.K. 10+650.

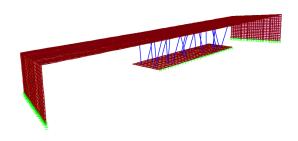


Figura 5. Detalle de acabado en mampostería seca.

### 4. Verificación estructural

Puesto que la anchura total del tablero es muy significativa con respecto a la luz de los vanos, se elaboró un modelo de elementos finitos 3D con elementos tipo "shell" que permitió tener en cuenta el comportamiento bi-dimensional del tablero. En este modelo se integraron todos los

elementos de la estructura: tablero, estribos y pilas, para posibilitar el dimensionado de todo el sistema integral.



Con este modelo de cálculo, además de estudiar los efectos y esfuerzos globales fue posible estudiar los efectos locales y obtener un reparto realista de las reacciones en los pilares centrales en función de su posición e inclinación.

En el mismo modelo de cálculo se tiene en cuenta el efecto de la flexibilidad de la losa de cimentación común a todas las pilas, introduciendo la propia losa con elementos tipo placa considerando su interacción con el suelo a partir de un módulo de balasto equivalente vertical y permitiendo el levantamiento de la misma mediante la disposición de muelles no lineales que, únicamente, trabajan a compresión.

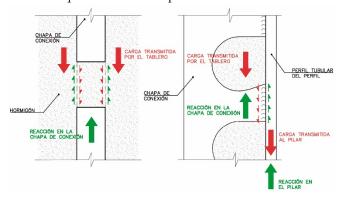
Los estribos se consideran empotrados al giro en su cimentación y se disponen muelles verticales equivalentes al módulo de balasto vertical del terreno para garantizar la correcta relación de rigideces y asientos de los estribos respecto a la losa central bajo pilares.

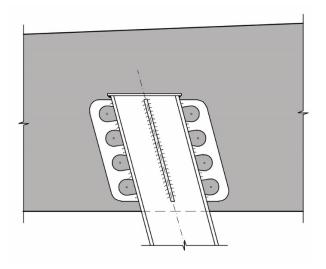
### 5. Detalles

Como detalle particular más representativo de los pasos superiores, es posible destacar el sistema de conexión considerado para la unión entre los tableros de hormigón y las pilas metálicas.

Puesto que uno de los condicionantes fundamentales durante la fase de diseño de la estructura fue lograr un alto valor estético final, para la concepción de la conexión entre el tablero y las pilas se quiso evitar la colocación de

capiteles con barras de anclaje o cualquier otro tipo de elemento que atrajese la atención rompiendo las líneas de la estructura principal. Por ello, se optó por disponer una conexión oculta en la que la transmisión de cargas entre el tablero de hormigón y los fustes metálicos se produjese dentro de la zona maciza del hormigón. Para ello se disponen una serie de cartelas en los tubos metálicos que forman los fustes con una serie de huecos o taladros, de forma que, una vez hormigonado el tablero, se formen una serie de pasadores de hormigón que permitan realizar la transferencia de cargas a de conectadores rígidos. Para el dimensionado de estos pasadores se verifica tanto la resistencia del propio pasador de hormigón como la resistencia de la cartela metálica encargada de transmitir la carga entre el hormigón alojado en los huecos y el tubo metálico que conforma el pilar.





Para evitar la rotura frágil de estos pasadores de hormigón y evitar el agotamiento por rasante de la losa en la zona de las cartelas metálicas, se disponen barras de acero corrugado en todos los pasadores de hormigón.

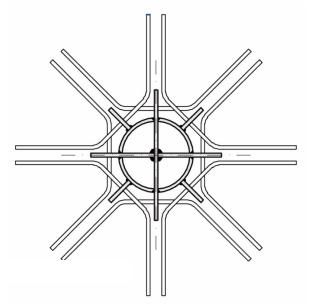


Figura 9. Armado a rasante de pasadores de hormigón.



Adicionalmente, se dispone una armadura vertical en forma de cercos suficiente para garantizar que no se produzca el agotamiento por punzonamiento en ninguna superficie de rotura paralela al perímetro de las pilas.

Con este sistema de conexión la transición formal entre las pilas y los tableros queda totalmente limpia y sin interferencias de elementos adicionales.

Puesto que la distribución de los pilares es aleatoria y la zona de los fustes embebida en el tablero ocupa, prácticamente la totalidad del canto del mismo, es necesario extremar las precauciones a la hora de definir el trazado del pretensado, evitando en todo momento que se produzca ningún tipo de interferencia entre las vainas para la disposición de la armadura activa y los fustes y cartelas de conexión de las pilas.

Para la base de las pilas se dispone un sistema tradicional de doble placa de anclaje con barras pretensadas de acero de alta resistencia, de forma que es posible garantizar tanto el correcto comportamiento en estado límite último como el buen comportamiento de la conexión frente a fatiga, ya que la fuerza de pretensado garantiza que la superficie de contacto entre las placas de anclaje y la losa de cimentación va a estar siempre comprimida.

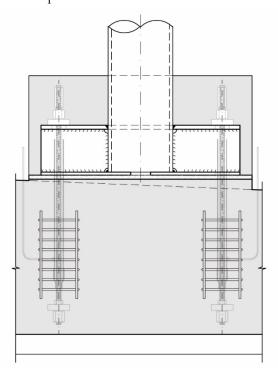










Figura 13. Vista final del encuentro pilas-tablero.

El proceso constructivo del paso superior fue convencional mediante el uso de cimbras cuajadas. Para ello, en primer lugar, se ejecutaron las cimentaciones y los alzados de los estribos. Posteriormente, se dispusieron las pilas metálicas y se procedió al tesado de las barras de las placas de anclaje, de forma que se garantizaba el correcto posicionamiento de los fustes no haciendo necesario ningún elemento adicional de apuntalamiento de los mismos durante el resto de fases de construcción.



Figura 14. Tesado de las barras de anclaje.



Una vez colocada la cimbra, se procedió al montaje de la ferralla y al posterior hormigonado del tablero para, una vez que el hormigón adquirió la resistencia suficiente, proceder al tesado de la armadura activa.



Figura 16. Vista de la cimbra cuajada.

Finalmente, se procedió a la retirada de la cimbra y a la ejecución de los elementos de acabado como pavimento y barreras, así como a la ejecución de los muros y revestimientos de mampostería. Las estructuras descritas y estudiadas en el presente artículo, ponen de manifiesto como, con medios y elementos convencionales, es posible definir y ejecutar estructuras con un alto valor estético, una buena integración en el entorno y que, a primera vista, parecen alejarse de las tipologías convencionales, aportando un aire fresco y de modernidad que, a su vez, conjuga perfectamente con elementos típicos de la tradición local, como lo son en este caso concreto los muros de mampostería seca, seña de identidad del paisaje rural de la isla de Menorca. Todo ello sin olvidar la vocación de bien común que toda estructura pública debe tener, garantizando no sólo unos costes de ejecución ajustados, sino también unos costes de mantenimiento mínimos mediante la definición de una estructura totalmente integral sin elementos fungibles como apoyos o juntas de dilatación.



Figura 17. Vista final de la estructura.





### Referencias

- [1] IAP-11. "Instrucción sobre las acciones a considerer en el Proyecto de puentes de de Carretera". Ministerio de Fomento.
- [2] EHE-08. "Instrucción de Hormigón Estructural". Ministerio de Fomento.
- [3] EN 1993-1-1. "Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas

Cuantía media de acero pretensado en tablero

Presupuesto de ejecución material

generales y reglas para edificios".

- [4] EN 1994-1-1. "Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios".
- [5] "Guía para la concepción de puentes integrales de carreteras". Ministerio de Fomento.

# Ficha técnica de la estructura

Datos de la obra	
Ubicación	Menorca
Año de ejecución	2018
Propiedad	Consell Insular de Menorca
Proyecto constructivo y asistencia técnica	Cesma Ingenieros
Empresa contratista	UTE Dragados-Antonio Gomila
	UTE Copcisa – Olives – Juan Mora - MPolo
Datos	técnicos
Longitud total	51 ó 65 m
Luz máxima	24 m
Ancho del tablero	13,3 m
Canto del tablero	0,9 ó 1 m
Espesor medio de hormigón en tablero	0,48 m
Cuantía media de acero de armar en tablero	$103 \text{ kg/m}^3$

 $11 \text{ kg/m}^2$ 

1.517.885 €