



# **Pasarela sobre el Barranco de las Ovejas**

Memoria

**Pedro Serna Ros  
Juan Navarro Gregori  
Juan Ángel López Martínez  
Esteban Camacho Torregrosa**

**Mayo 2012**

# ÍNDICE

Objeto y contenido .....	3
Introducción al HMAR.....	3
Experiencia internacional con HMAR.....	5
Experiencia del grupo de HMAR de la Universitat Politècnica de València .....	6
Diseño y justificación de la solución adoptada.....	10
Estudio de alternativas .....	11
Descripción general de la solución proyectada.....	13
Procedimiento constructivo .....	16

## Objeto y contenido

El objeto de este documento es el diseño y justificación de una pasarela de 43.5 m construida mediante el empleo de Hormigón de Muy Alto Rendimiento proyectada en el Barranco de las Ovejas dentro del proyecto “Acondicionamiento del Barranco de las Ovejas en su tramo final (P.K. 0+457 hasta desembocadura) (Alicante)”

Dado el escaso conocimiento del material en España, se muestra en el presente documento una breve descripción de las características del material, así como de la experiencia tanto internacional como del propio grupo de trabajo a cargo de este documento con el material.

A continuación, se justifica la solución adoptada y se describe el procedimiento constructivo que será necesario seguir para su correcta ejecución.

Por último, se presentan los cálculos estructurales que garantizan la seguridad estructural de la pasarela propuesta.

## Introducción al HMAR

El Hormigón de Muy Alto Rendimiento (HMAR) más conocido en la bibliografía internacional como UHPC o UHPFRC es un material de construcción relativamente joven muy poco conocido en España. Sin embargo, sus primeras aplicaciones en la ingeniería civil en el mundo se remontan a 1997 con la construcción de la primera pasarela realizada empleando este material en Sherbrooke (Canadá). A partir de ese momento surge un cada vez mayor número de investigaciones acerca de este material en todo el mundo así como crecientes aplicaciones de este material en todos los ámbitos, ingeniería civil, edificación, diseño industrial y arquitectónico.

El HMAR es un material que combina las tres tecnologías punteras del hormigón: alta resistencia, empleo de fibras de acero y autocompactabilidad. La AFGC (Asociación Francesa de Ingenieros Civiles) define el material como aquél con resistencia a compresión superior a 150 MPa, elevada resistencia a flexo-tracción y un comportamiento muy dúctil. Generalmente en estado reológico tiene una elevada trabajabilidad, que facilita la puesta en obra y permite controlar la orientación de las fibras.

Elaborar este tipo de hormigón requiere materias primas exclusivas (fibras de alto límite elástico, superplastificantes de tercera generación, áridos con tamaño máximo reducido, etc.), maquinaria y procesos no convencionales (alta energía de fabricación, curado al vapor, etc.) y elevados niveles de control (humedad, garantizar dimensiones en elementos de reducido espesor).

La repercusión de las propiedades del HMAR para las aplicaciones estructurales son muy grandes y se enumeran brevemente a continuación:

- Aumento de la resistencia a la tracción del hormigón para resistir los esfuerzos secundarios que aparecen en los elementos estructurales tales como la retracción

o los esfuerzos debidos a solicitaciones tangenciales. Esto permite la eliminación de la armadura de cortante y suprime los armados mínimos geométricos, con un ahorro considerable del proceso de elaboración de ferralla.

- Elevada ductilidad proporcionada por las fibras que permite una elevada distribución de esfuerzos internos en los elementos elaborados dotando a las estructuras de un componente de seguridad adicional.
- Reducción de la fisuración. Aunque el proceso de fisuración es algo inevitable en un elemento pétreo como es el hormigón, las fibras contribuyen a que el proceso de fisuración sea un proceso distribuido en una región amplia del elemento. A diferencia del hormigón tradicional en el que aparecen un número determinado de fisuras visibles y medibles, en el HMAR se produce lo que se conoce con el nombre de “multifisuración”, esto es, el desarrollo de multitud de fisuras con un espaciamiento muy que pequeño y una abertura mínima hasta llegar prácticamente a la rotura del material lo que implica un incremento notable de la durabilidad de la estructura.
- Como refuerzo a la idea expuesta en el punto anterior, cabe recalcar que la deformación necesaria para la aparición de una fisura visible en este material se encuentra en torno al 2,5-3 por mil. Teniendo en cuenta que la plastificación del acero se produce a este rango de deformaciones, hasta que la armadura no está plastificada, es decir a un nivel de esfuerzos cercanos al de agotamiento, la fisura no se abre en el hormigón.
- La elevada resistencia a compresión del HMAR junto con su comportamiento dúctil permiten un mayor aprovechamiento del pretensado y una agilización de los procesos de prefabricación ya que tan sólo 24 horas después del hormigonado, el HMAR alcanza resistencias medias de unos 80 MPa. Es por ello, que el HMAR alcanza su máximo potencial en el desarrollo de aplicaciones prefabricadas y pretensadas.
- Disminución de las secciones de hormigón que suponen una disminución de volumen total de hormigón de entre el 60-75% en comparación con una sección de hormigón convencional. Esto tiene una gran repercusión en la sostenibilidad del material, ya que si bien el HMAR utiliza 3 veces más cantidad de cemento que el hormigón tradicional, como mínimo el volumen total se reduce en 3 veces, manteniendo el volumen total de cemento consumido. Esto junto con el empleo de subproductos industriales como la ceniza volante o el humo de sílice, contribuyen en cierta medida a la sostenibilidad. La reducción global de las necesidades de áridos es otro factor a tener en cuenta
- La disminución de volumen trae consigo una reducción del peso total de los elementos. Esto supone una disminución de las necesidades de equipos de elevación además de los ahorros en cimentación que pueden ser enormes en terrenos de mala calidad ya que las exigencias de peso propio son como mínimo de 3 veces inferiores.
- La esbeltez de los elementos dotan a las soluciones en HMAR de un gran valor estético en contraposición a la robustez que ha caracterizado a las construcciones de hormigón. En una sociedad cada vez más preocupada de la estética de su entorno, el HMAR se convierte en una solución elegante y a su vez económica.

- La elevada presencia de materiales finos en la mezcla que constituye el HMAR le dota de propiedades autocompactantes que junto con la reducción de armado y la elevada resistencia hace posible la fabricación de elementos de espesor reducido.
- La finura de los materiales hacen que los acabados de las superficies del HMAR imiten con extremada fidelidad las superficies de los materiales que hacen de encofrado pudiendo conseguir casi cualquier tipo de superficie eligiendo el correcto molde. Así, al valor estético del a esbeltez se une el valor estético del acabado superficial.
- La autocompactabilidad unida a la escasa fisuración hace del HMAR un material con una durabilidad extrema incluso en los ambientes más agresivos, como pueden ser en España, las zonas del litoral o de alta montaña. Además, en zonas urbanas es muy importante su resistencia a la orina de las mascotas, su inalterabilidad frente a los rayos UV, su elevada resistencia a impacto y su facilidad de atornillado
- En general, se reducen los costes de mantenimiento de los elementos de HMAR y se prolonga la vida útil. Esto permite la reducción de los recubrimientos de las armaduras y de nuevo, la reducción de las secciones.

La extensión del HMAR fuera del ámbito de la investigación hacia la construcción queda muy limitada debido al desconocimiento por parte de diseñadores de su existencia, a la escasez de normativa para su aplicación y diseño y, sobre todo, a su precio. Sin embargo, un correcto diseño que explote al máximo las cualidades del material permite la reducción de gran cantidad de volumen del mismo, y por ende, de las operaciones necesarias para su fabricación y colocación. Incluso sin tener en cuenta los costes de mantenimiento, el HMAR se muestra competitivo respecto al resto de materiales de construcción.

## Experiencia internacional con HMAR

El HMAR puede considerarse un material con propiedades híbridas entre el acero y el hormigón convencional a un precio intermedio, lo cual le proporciona un evidente potencial de crecimiento como material de construcción. Desde 1997 la elaboración de estructuras con HMAR ha sido creciente, apreciándose una evolución progresiva de las formas estructurales hacia una explotación óptima del material.

Hasta la fecha, la manera más generalizada de elaborar estructuras de HMAR es como elementos prefabricados contruidos con alguna de las patentes existentes en el mercado (Ductal®, BSI®, BCV® o CEMTEC®), calculando los elementos según las recomendaciones Francesas o Japonesas. Algunas empresas de prefabricados elaboran elementos con estos productos (Hurks Beton, Hi-Con), si bien una minoría elabora su propio HMAR (ELO Beton, desde 2004).

Los países que concentran el mayor número de obras en este campo son Japón, EEUU, Francia, Alemania, Suiza y los Países Bajos. Las aplicaciones más destacables hasta la fecha son pasarelas, puentes de carretera, escaleras, balcones, fachadas y láminas. Muchas de estas explotan sobretodo la elevada compacidad y las características mecánicas de

compresión y flexión. Sin embargo, algunas otras aplicaciones son por durabilidad (vigas de las torres de refrigeración de centrales nucleares, o los mismos puentes de carretera en zonas de hielo-deshielo).

## Experiencia del grupo de HMAR de la Universitat Politècnica de València

Desde 2008 el grupo de investigación de HMAR ha publicado documentos de investigación en 3 congresos Nacionales y 10 internacionales, ha concluido 4 proyectos finales de carrera con la máxima calificación, ha ganado varios premios Nacionales y trabajado con empresas y estudios de arquitectos. Las publicaciones realizadas se enumeran a continuación:

<i>Hybrid HMAR thin walled beams for flat roofing applications. IASS Symposium. CAMACHO. E., SERNA P. Valencia 2009.</i>
<i>Design and Analysis of UHP-Hybrid-FRC ties for truss structures. CAMACHO. E., SERNA P. 8<sup>th</sup> fib symposium in Civil Engineering. Denmark, 2010.</i>
<i>Optimización de dosificaciones de Hormigón Autocompactante de Muy Alto Rendimiento Reforzado con Fibras Híbrido. CAMACHO. E., SERNA P. 2<sup>º</sup> Congreso Ibérico sobre HAC, Guimaraes, Portugal, 2010.</i>
<i>Design and experimental verification of SCC-UHP-Hybrid-FRC ties, 6<sup>º</sup> International RILEM symposium on SCC, CAMACHO. E., SERNA P. Montreal, 2010.</i>
<i>HMAR Bolted Joints: Failure Modes of a New Simple Connection System. CAMACHO. E., SERNA P., LÓPEZ J.A. Michigan 2011.</i>
<i>Structural Design and Previous Tests for Retaining Wall Made with Precast Elements of HMAR. LÓPEZ, J.A., SERNA P., CAMACHO. E. Michigan 2011.</i>
<i>Caracterización de dosificaciones de HMAR con diferentes niveles de exigencia mecánica, CAMACHO E., SERNA P., LÓPEZ J.A., V Congreso ACHE, Barcelona, 2011.</i>
<i>Uso del HMAR como alternativa viable al diseño de un muro de contención de tierras, LÓPEZ, J.A., SERNA P., CAMACHO. E., V Congreso ACHE, Barcelona, 2011.</i>
<i>FC3R such an alternative to Silica Fume in HMAR. CAMACHO E., LÓPEZ J.A., SERNA P., 3<sup>º</sup> International Symposium on UHPC. Kassel, March 2012.</i>
<i>Characterization of HMAR with three different levels of performance. CAMACHO E., LÓPEZ J.A., SERNA P., 3<sup>º</sup> International Symposium on UHPC. Kassel, March 2012.</i>
<i>Structural design and previous calculations of a triangulated footbridge made of HMAR. LÓPEZ, J.A., SERNA P., CAMACHO. E., 3<sup>º</sup> International Symp. on UHPC. Kassel, March 2012.</i>
<i>Structural design and preliminary calculations of a HMAR truss footbridge. LÓPEZ, J.A., SERNA P., CAMACHO. E., 8<sup>th</sup> RILEM International Symposium on FRC: Challenges and</i>

*Opportunities. Portugal, September 2012 (proxima publicación)*

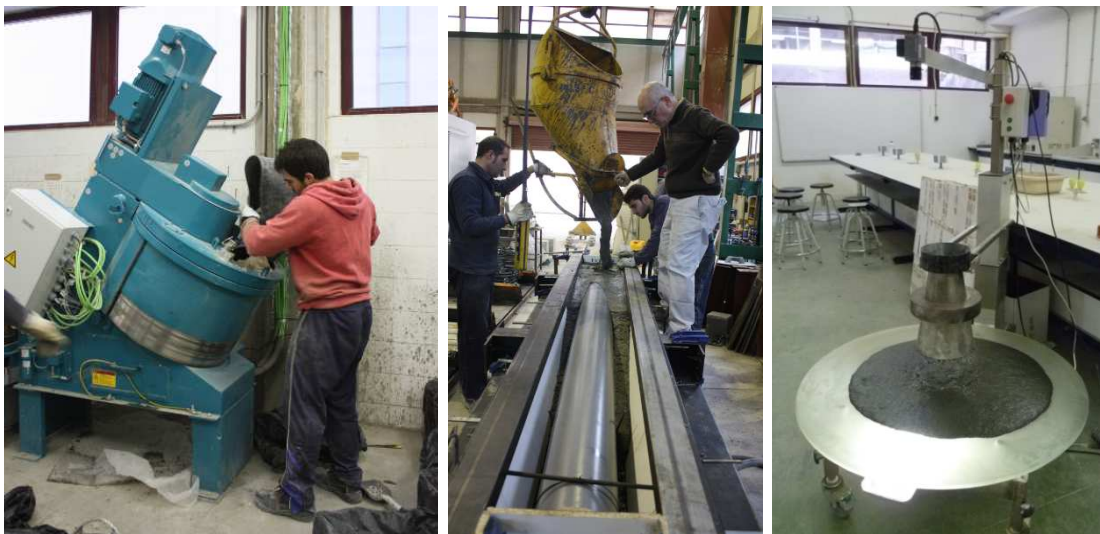
*Bolted joints for HMAR precast prestressed elements. CAMACHO E., LÓPEZ J.A., SERNA P., RILEM International Symposium on FRC: Challenges and Opportunities. Portugal, September 2012 (proxima publicación)*

El grupo posee y conoce la información publicada en todos los congresos relacionados con la materia desde 2004: 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> y 3<sup>rd</sup> International Symposium on UHPC. Kassel (2004, 2008 y 2012), International Workshop on HMAR. Marsella (2009), HPFRCC 6, Michigan (2011).

Se están elaborando 2 tesis doctorales y las expectativas de crecimiento y desarrollo del grupo son muy positivas. Los resultados no solo se evidencian con las publicaciones realizadas, sino que se ha conseguido controlar la fabricación de un material que hasta hace poco era desconocido en España, y que tiene amplias posibilidades estructurales y estéticas.

Hasta la actualidad, el grupo de trabajo ha investigado fundamentalmente en los siguientes campos:

- Optimización de dosificaciones de HMAR con materias primas accesibles. Estudio del efecto de la simplificación de procesos.
- Estudio de la evolución de las propiedades mecánicas y de la reología del HMAR con diferentes niveles de exigencia mecánica.
- Diseño, elaboración y ensayo de elementos prefabricados pretensados en escala real en una empresa de prefabricados (forjados unidireccionales, celosías, etc).
- Diseño y análisis experimental de uniones atornilladas con HMAR.
- Diseño y cálculo de pasarelas de HMAR.
- Expansión a nuevos horizontes: Elaboración de mobiliario urbano e incluso joyería.





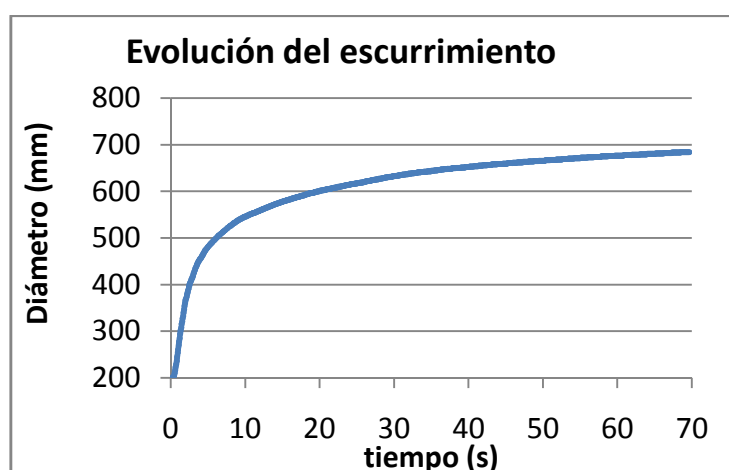
El HMAR desarrollado en la UPV contiene cemento CEM I 52.5 R/SR de Lafarge, humo de sílice ELKEM 940-U, dos tipos de arenas silíceas de tamaños 0-0.5 mm y 0.5-2 mm, y dos tipos de fibras de alto límite elástico: 1% en volumen de Dramix® OL 13/0.16 y 1% de Dramix RC-80/30-BP. La relación A/B es de 0.175 y el contenido de aditivo es de un 3.3% respecto al peso de binder (residuo seco 30%). El HMAR es híbrido y autocompactante. En la siguiente tabla se muestra el contenido de cada material:

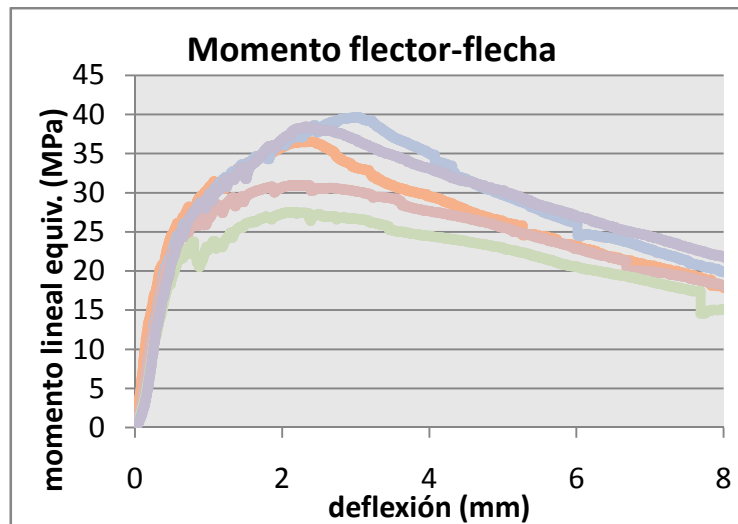
Cemento	HdS	Arena 0.5mm	Arena 2 mm
1000 Kg/m <sup>3</sup>	150 Kg/m <sup>3</sup>	314 Kg/m <sup>3</sup>	732 Kg/m <sup>3</sup>

El material ha sido caracterizado elaborando amasadas de 50 litros en una amasadora intensiva EIRICH R-08-W. Dosificaciones previas han sido elaboradas en amasadoras industriales (elaborando 1 m<sup>3</sup>) alcanzando las propiedades propias del HMAR (f<sub>cm</sub>=150 MPa). Tras finalizar el proceso de amasado, el hormigón es almacenado en la cámara húmeda a 20° con un 100% de H.R. hasta el momento de su ensayo. El desmoldado se realiza a 24 h.

El material ha sido caracterizado a nivel reológico y mecánico, indicándose los valores medios en la tabla. Los valores se han obtenido a partir de los resultados de 15 amasadas de HMAR realizadas en diferentes épocas del año. El ensayo a flexión se ha realizado a tres puntos en probeta no entallada con una luz de 400 mm. El valor indicado en la tabla es la flexión lineal equivalente.

MAGNITUD	VALOR	NORMA
Tiempo abierto	60 min aprox.	-
Escurrimiento	690-710 mm	UNE-EN 12350-8
t <sub>500</sub>	6 segundos	UNE-EN 12350-8
Densidad	2450 Kg/m <sup>3</sup>	-
Módulo de elasticidad en compresión	44000 MPa	UNE-83316
Compresion cubo L=100 mm, 1 día	60-75 MPa	UNE-EN 12390-3
Compresion cubo L=100 mm, 2 días	90-105 MPa	UNE-EN 12390-3
Compresion cubo L=100 mm, 7 días	120-130 MPa	UNE-EN 12390-3
Compresion cubo L=100 mm, 28 días	150-160 MPa	UNE-EN 12390-3
Flexión probeta 100x100x500 mm	35 MPa	-





## Diseño y justificación de la solución adoptada

El diseño de la pasarela se ha encontrado condicionado desde el primer momento por diversos condicionantes de diversa índole que ha repercutido en el estudio de soluciones de la pasarela.

Desde el punto de vista técnico de la obra circundante y de la obra en servicio, se han impuesto una serie de condicionantes:

- Pasarela de 43.5 metros de luz sin apoyos intermedios
- Por un lado, el límite superior del tablero está fijado por la pendiente máxima que se le puede dar a las escaleras de acceso. Por otro lado, el punto más bajo de la pasarela queda establecido por el mínimo gálibo necesario para cumplir con los requisitos fluviales del cauce. Teniendo en cuenta estos condicionantes, la distancia entre el punto más bajo de la pasarela y el inicio del tablero queda fijada en 41 cm. Este requisito limita en gran medida las opciones de diseño de la pasarela.
- Además, se requiere que no haya barandilla, es decir, la misma estructura resistente de la pasarela tiene que proporcionar esta función para los usuarios.
- Los elementos resistentes que hacen de barandilla deben ser lo más estrechos posibles o en su defecto garantizar que las personas no puedan caminar sobre ella.
- La idea de eliminar la barandilla se realiza con la intención de hacer lo más transparente posible la pasarela con el menor impacto visual posible

Por otro lado, es propósito del proyecto que la pasarela sea diseñada de Hormigón de Muy Alto Rendimiento (en adelante HMAR). Este tipo de material está concebido para aplicaciones prefabricadas, por lo que el diseño del puente tiene que estar pensado para ser construido en una central de prefabricados aprovechando al máximo los medios que

este tipo de instalaciones posee para una mayor economía de la solución proyectada. Ajustarse a estos medios implica los siguientes condicionantes:

- Pasarela con una tipología estructural tipo viga, prefabricada en su total longitud en la casa de prefabricados y transportada como un solo elemento a su lugar definitivo
- Sección en artesa. La sección en artesa permite el uso de encofrados utilizados en la fabricación de vigas muy utilizadas en hormigón armado y pretensado convencional.
- El ancho máximo de la mesa de tesado es de 2.90. Por tanto, el pretensado deberá localizarse exclusivamente en la zona inferior y los cordones de pretensado deben estar ubicados en una longitud inferior a al ancho máximo de la mesa.
- La pendiente máxima de las artesas es 6V:1H

Todos estos aspectos han sido tenidos en cuenta a la hora de establecer las diferentes alternativas en el diseño de la pasarela. Se ha tenido en cuenta además que la pasarela se encuentra dentro de la ciudad de Alicante uniendo dos barrios que han estado separados durante los últimos años. Se ha buscado que la pasarela pueda ser considerada un símbolo de la unión entre los barrios y de modernización. Es por ello, que el aspecto estético de la pasarela cobra un peso muy importante frente a los aspectos técnicos.

## Estudio de alternativas

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la mayor distancia en vertical entre el límite inferior de la pasarela y el tablero es de tan sólo 42 cm. Además, se fuerza a que la barandilla forme esté integrada totalmente en la estructura resistente de la pasarela. Estos dos aspectos, restringen en gran medida el alzado de la pasarela.

Por un lado, se podría elegir una tipología tipo viga de canto constante. Si consideramos una altura habitual de 1 m para la barandilla y le sumamos los 0,42 m desde el tablero al límite inferior de la pasarela tenemos un canto total de 1.42 m. En este caso la relación canto-luz sería de 1/31. Una tipología viga, simplemente apoyada, con esta relación canto-luz tendría grandes dificultades para cumplir con el estado límite de deformaciones que se exige para pasarelas peatonales.

Otra solución sería recurrir a una sección cerrada en cajón. Sin embargo, el espacio libre para la cómoda circulación de peatones requeriría un canto mínimo de unos 3 metros y evitar que los peatones pudieran sentirse enjaulados durante su paseo por la pasarela.

Por ello, se ha decidió realizar una pasarela-viga de canto variable en la que tanto el tablero como la viga poseen un trazado parabólico. La máxima pendiente en apoyos se establece en un 6%. Según el artículo 9 de la Norma de Accesibilidad de la Comunidad Valenciana, este pendiente tiene consideración de rampa. Por ello, no es necesario la disposición de pasamanos cumpliendo con el nivel de accesibilidad requerido.

Con esta pendiente máxima en los extremos y no es necesaria según la normativa de accesibilidad de la Generalitat Valenciana. Considerando un trazado parabólico con su máximo el centro-luz, la distancia en vertical aumenta 0.648 cm. Asumiendo de nuevo una barandilla de 1 m, daría como resultado un canto total en centro luz de 2.05m. Esto daría una relación canto-luz en centro de 1/21 y de 1/30 en apoyos, valores típicos para los puentes de tipología viga.

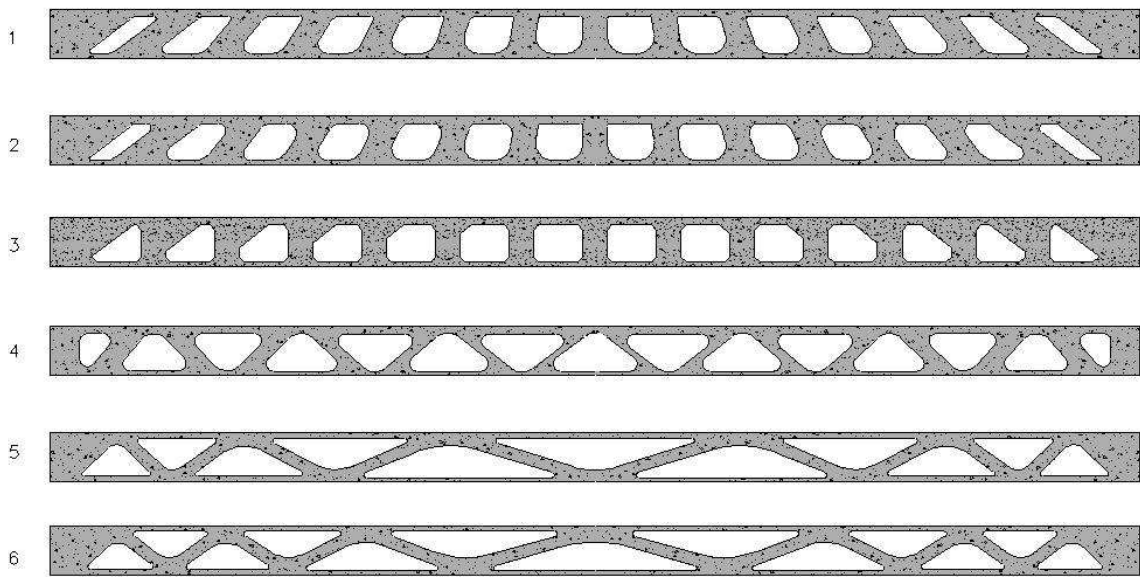
Una vez se ha establecido la curva del tablero y del cordón superior, la tipología viga y la sección en artesa queda por definir la tipología de las almas de la artesa. Éstas pueden ser macizas, dando lugar a una sección en cajón, o pueden estar aligeradas, dando lugar a una celosía.

En este caso, un alma aligerada da una mayor transparencia tanto para la vista como para el viento y ofrece una mayor sensación de esbeltez. Además, cualquiera que viera la pasarela desde cierta distancia pensaría que la pasarela es de acero. Sin embargo, al acercarse a ella se daría cuenta que realmente es de hormigón. Esta sensación de confusión ofrece un valor estético a la pasarela. Sin embargo, un alma en celosía con un tablero intermedio ofrece mayores problemas de pandeo en el cordón superior que si el alma fuese maciza, ya que esta última ofrece una rigidez transversal mucho mayor en cada punto del cordón. A pesar que desde el punto de vista estructural utilizar un alma llena es más adecuado, la transparencia y el aspecto estético han sido determinantes para considerarla como solución final de la pasarela por encima de la eficiencia estructural. El coste estructural de esta elección, se hace ver en un incremento del ancho de las diagonales y del cordón superior comprimido.

Las celosías han sido comúnmente utilizadas en diseños industriales. La tipología más común de triangulación es la tipo Pratt. Sin embargo, un diseño con una celosía Pratt se asociaría rápidamente a las aplicaciones industriales y esto no es estéticamente deseable. Otras dos alternativas son las celosías tipo Warren y tipo Vierendel. En la Imagen 1, se muestran varios diseños con estos tipos de celosías. Entre estas dos tipologías, la celosía Warren es mucho más eficiente ya que las diagonales trabajan de manera alternativa en compresión y tracción con una baja flexión. Sin embargo, en una celosía tipo Vierendel el cortante se transmite mediante flexión y cortante lo que la hace claramente ineficiente. El uso de esta tipología requiere utilizar unos montantes anchos y muy reforzados sin aportar un mayor atractivo estético (celosías 1,2 y 3).

La celosía número 4 ofrece una solución tipo Warren convencional en la que todas las diagonales tienen la misma inclinación y longitud. En las celosías 5 y 6, las diagonales son de longitud y pendiente variables. Este diseño tiene sentido si consideramos la forma en la que se transmite el cortante. En centro-luz el cortante es muy pequeño y por tanto la compresión de las diagonales centrales pequeñas. Por ello, la longitud puede ser mayor sin que haya problemas de pandeo. Conforme nos acercamos al apoyo, la compresión es mayor, los problemas de pandeo son mayores y por ello la longitud se reduce. Estas dos últimas alternativas ofrecen una apariencia más elegante y estética que recuerda a la forma de ola, lo que se hace apropiado en una zona situada al lado del mar.

Entre las alternativas 5 y 6, se ha elegido la alternativa número 6 ya que los problemas de pandeo en el diseño 5 serían mucho mayores.



Estudio de alternativas de las celosías

Tras el proceso de discusión de soluciones, observando ventajas e inconvenientes de todas las posibles soluciones, la tipología de puente en alzado que se ha elegido se muestra en la siguiente Figura.



Figura 2. Alzado final

## Descripción general de la solución proyectada

El diseño final consiste en una sección en artesa de 43.5 m de longitud, con un vano efectivo de 42.8 m. El canto es variable desde 1,34 m en apoyos hasta 2.02 m en centro luz. Las almas de la artesa se encuentran aligeradas generando una celosía tipo Warren modificada y se encuentran inclinadas para ganar anchura suficiente de tablero con una pendiente de 6V:1H. Ambas celosías se encuentran unidas mediante el tablero en su parte intermedia y mediante una tercera celosía en su parte inferior.

Cada uno de los cordones inferiores de la pasarela tiene un canto de 0,15 m y contiene un total de 18 cordones Y1860S7. Los cordones superiores tienen una geometría variable, modificando su ancho según las necesidades estructurales de la pasarela, siendo más ancho en centro luz dando más inercia y más estrecho en la zona de apoyos.

El tablero se encuentra localizado en una posición intermedia y sigue la curva que describe el cordón superior, conectando las dos celosías laterales. El tablero posee dos nervios longitudinales de 0,15 m de canto y ancho variable, debido al sistema constructivo, a ambos extremos del mismo. Transversalmente, el tablero se encuentra nervado con nervios cada, aproximadamente, 1.6 metros.

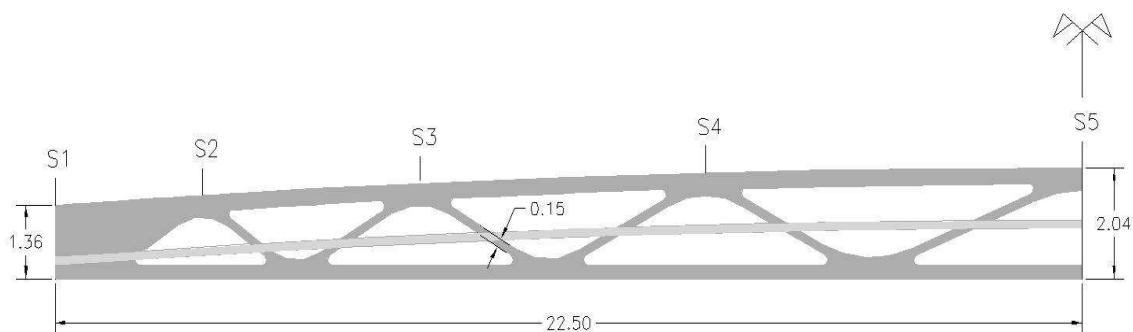
Las diagonales tienen una longitud que varía según su posición en la celosía. Tienen una sección rectangular de 0,15x0,12 cm, fuertemente reforzada. Las diagonales de la celosía inferior se entrelazan formando una geometría con forma de "X", en la que las diagonales tienen una sección de 0,15x0,10 cm.

Además, se incluye un cajón de servicio en uno de los cordones inferiores para permitir el paso de agua mediante tres tuberías de PVC de 75 mm de diámetro. Además, para la iluminación de la pasarela se dispone una luminaria tipo LED en la parte inferior del cordón superior en toda su longitud.

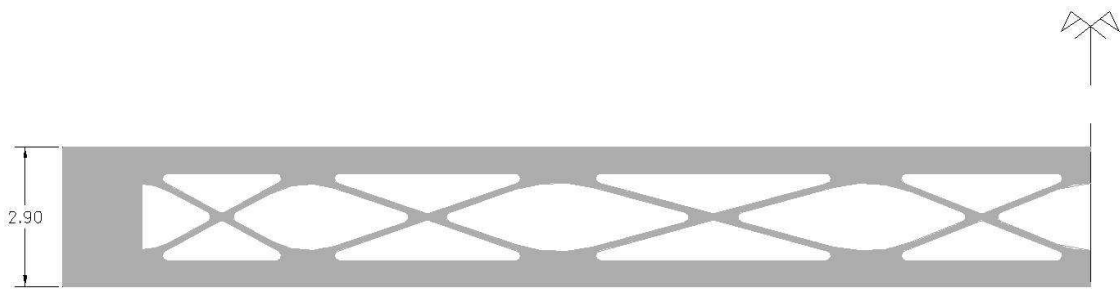
Los huecos de la celosía que quedan por encima del tablero están cerrados mediante un cristal cortado a medida para cada uno de los huecos. Una capa gruesa de material elastomérico permite la deformación de los huecos sin provocar daño al cristal.

En las figuras siguientes se muestran respectivamente el alzado de la pasarela, la geometría de la celosía inferior y dos secciones por centro luz en la que se pueden ver de manera descriptiva los elementos principales de los que se compone la pasarela.

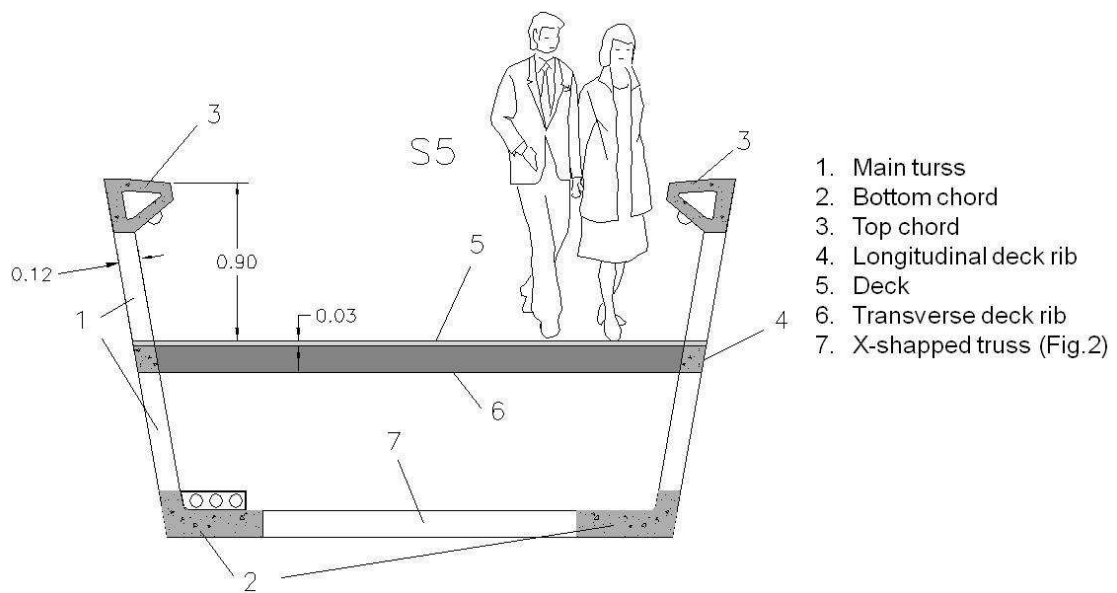
Para más detalle, los planos y secciones longitudinales de la pasarela se adjuntan en el documento "Planos".



*Alzado de la pasarela*

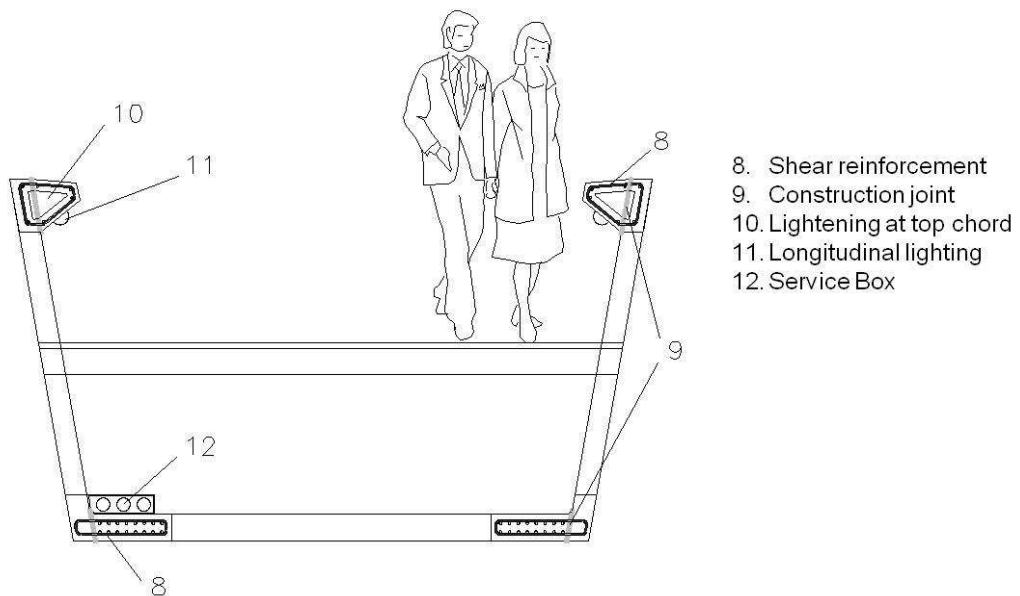


*Celosía inferior*



1. Main truss
2. Bottom chord
3. Top chord
4. Longitudinal deck rib
5. Deck
6. Transverse deck rib
7. X-shaped truss (Fig.2)

*Sección transversal en centro luz. Elementos principales*



8. Shear reinforcement
9. Construction joint
10. Lightening at top chord
11. Longitudinal lighting
12. Service Box

*Sección transversal en centro luz. Elementos secundarios*

## Procedimiento constructivo

El sistema constructivo propuesto y para el que se han realizado los cálculos estructurales contempla que la totalidad de la pasarela sea construida en la casa de prefabricados para posteriormente ser transportada en su totalidad mediante transporte especial al emplazamiento final de la pasarela. Sin embargo, la complejidad del diseño hace imposible que la pasarela se pueda fabricar en una sola pieza sin ningún tipo de junta constructiva. Por ello, se decide fabricar la pieza en 5 fases.

Los primeros elementos en fabricarse son las diagonales laterales. Estos elementos se hormigonan en posición horizontal mediante el uso de un encofrado de 43.5 m de largo, 0.12 m de canto y ancho variable siguiendo la parábola descrita por el cordón superior. Dentro del encofrado, se disponen los elementos necesarios para crear la celosía propuesta además del nervio más exterior del tablero. En esta fase se coloca toda la armadura pasiva necesaria así como la armadura de conexión a rasante entre fases.



1ª FASE

Tras el hormigonado de la celosía lateral y manteniendo ésta en su posición horizontal, se hormigonan los cordones superiores con sus correspondientes aligeramientos en las regiones entre nudos. Ya que el cordón superior se utiliza de barandilla, se deberá garantizar un buen acabado superficial. Al día siguiente al hormigonado, se desencofra y se colocan las celosías en su posición definitiva con una pendiente 1H:6V.



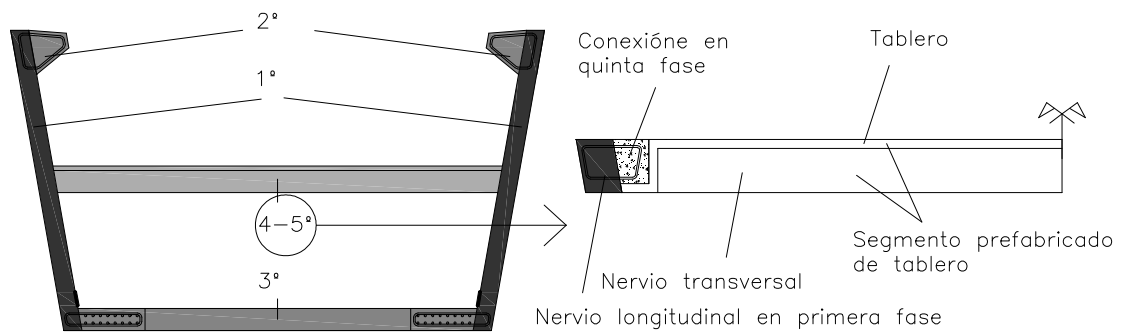
2ª FASE

En la tercera fase, estando las celosías en su posición definitiva, se colocan los cables de pretensado en el cordón inferior así como todos los elementos que han de servir de encofrado para el hormigonado del cordón y celosía inferior. En esta tercera fase tiene lugar el hormigonado de esta región.



3ª FASE

Paralelamente a este proceso, en una cuarta fase se elaboran unas piezas prefabricadas de pared delgada y de sección en U que han de servir de zona pisable del tablero. Se ha de garantizar un correcto acabado rugoso de esta superficie. Al final de la tercer y cuarta fase, las piezas prefabricadas se elevan y se colocan entre las celosías laterales en su posición definitiva. Finalmente, en la quinta fase se hormigonan los nervios longitudinales que conectan el tablero con las celosías laterales además de los rigidizadores transversales.



4-5ª FASE