



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Proyecto básico de pasarela sobre el río Miño, entre el parque Espacio-Fortaleza en Goian-Tomiño (Pontevedra, España) y O Castelinho en Vila Nova de Cerveira (Distrito de Viana do Castelo, Portugal).

Diseño y comprobación de la superestructura; valoración.

Presentado por

Pérez Fuentes, Carlos

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2017/2018

Fecha: Junio de 2018

Tutor: José Casanova Colón

Cotutor: María Carmen Castro Bugallo

AGRADECIMIENTOS:

Agradecemos sinceramente a todas aquellas personas que nos han ayudado al desarrollo personal, intelectual y técnico necesario para realizar este TFG. Estas personas son los profesores de la universidad y todos aquellos profesores que nos han hecho llegar a ella. No solamente nos han dado las herramientas, sino también la ilusión y la motivación por la profesión, por el arte de construir puentes y la técnica de la Ingeniería Civil, ésta última desde su concepto más general al más particular.

A aquellos profesores que han mostrado su confianza decidiendo ayudarnos como tutores les debemos un especial agradecimiento. Sabemos que tardes de 3 horas hablando de chapas, rigidizadores y soldaduras pueden resultar tediosas, esperamos que las hayan podido soportar sin secuelas, nosotros sin duda las hemos aprovechado para avanzar como ingenieros. Así que muchas gracias José Casanova, Carlos Lázaro, Salvador Monleón, Elvira Garrido, Carmen Castro y Francisco Vallés.

Debemos agradecer y agradeceremos a aquellos compañeros y amigos que no han tenido otra opción que aguantarnos, que nos han acompañado en el esfuerzo y que nos han hecho humanamente felices durante 4 años de vida universitaria. A Nacho Vila le agradecemos en concreto su ayuda y aportaciones en las primeras etapas del proyecto. Porque el camino si es largo genera buenos acompañantes.

Esperamos que se entienda que el mayor agradecimiento lo hemos guardado cuidadosamente con premeditación y alevosía para nuestros familiares. Incluso desde lejos, muchas veces mucho más lejos de lo que nos gustaría, nos han podido transmitir la fortaleza que requiere esta carrera, porque hemos sentido su apoyo y porque nos han alimentado de ilusión, y con *tuppers* en algunas ocasiones. Si hay algo que tenemos claro es que no hay puntal que aguante el peso si antes no se cimienta como se debe.

RESUMEN:

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como base el concurso de ideas presentado por la Administración de Pontevedra para la construcción de una pasarela peatonal internacional sobre el río Miño entre el Parque Espacio-Fortaleza en Goián-Tomiño (Pontevedra, España) y O Castelinho en Vila Nova de Cerveira (Distrito de Viana do Castelo, Portugal). Se siguen los dictámenes de dicho concurso para la realización de un proyecto básico.

El presente trabajo se ha desarrollado de la siguiente manera:

Primero se realizó un estudio de alternativas y una descripción del diseño conceptual, resultando de este proceso un puente mixto tipo arco con tablero inferior. A continuación, se diseñaron los equipamientos conformados por barandillas, impostas y pavimento entre otros. Llegado a este punto se pudo modelizar la estructura empleando un programa de elementos finitos con el cual dada una geometría y acciones calculadas se obtuvieron esfuerzos, deformadas y vibraciones necesarias para las comprobaciones estructurales. De este análisis también se obtienen las reacciones en las cimentaciones para el diseño de las mismas. Por último se concluye el trabajo con la realización de la valoración económica, el proceso constructivo y el desarrollo de planos.

RESUM:

Aquest Treball de Fi de Grau té com a base el concurs d'idees presentat per l'Administració de Pontevedra per a la construcció d'una passarel·la de vianants internacional sobre el riu Miño entre el Parc Espai-Fortalesa en Goián-Tomiño (Pontevedra, Espanya) i O Castelinho en Vila Nova de Cerveira (Districte de Viana do Castelo, Portugal). Se segueixen els dictàmens del dit concurs per a la realització d'un projecte bàsic.

El present treball s'ha desenvolupat de la següent manera:

Primer es va realitzar un estudi d'alternatives i una descripció del disseny conceptual, resultant d'aquest procés un pont mixt tipus arc amb tauler inferior. A continuació, es van dissenyar els equipaments conformats per baranes, impostes i paviments entre altres. Aplegats a aquest punt, es va poder modelitzar l'estructura utilitzant un programa d'elements finits amb el qual donada una geometria i accions calculades es van obtenir els esforços, deformades i vibracions necessàries per a les comprovacions estructurals. D'aquesta anàlisi també s'obtenen les reaccions als fonaments per al disseny d'aquestes. Per últim es conclou el treball amb la realització de la valoració econòmica, el procés constructiu i el desenvolupament de plànols.

ABSTRACT:

The following thesis has its bases on the competition of ideas carried by the Pontevedra Administration for the construction of a footbridge over the Miño river between the Fortress-Zone Park in Goián-Tomiño (Pontevedra, Spain) and O Castelinho in Vila Nova de Cerveira (Viana do Castelo district, Portugal). The demands of the competitions are followed in this work for the redaction of a basic design project.

This work has been carried out as it follows:

First of all, a study of alternatives and a description of the conceptual design were carried out, giving as a result a composite arch bridge with supported deck. Afterwards, the equipment formed by ashlar, pavements, railings and so on were designed. At this point the structure could be modeled using a finite element software with which given a geometry and loads the stresses, deformations and vibrations were obtained for the structural checking. From this analysis the reactions in the foundations were also obtained and, with which they could be designed. Last thing was the redaction of an economic valuation, the construction process and the development of drawings.

RELACIÓN DE DOCUMENTOS:

Documento Nº 1: Memoria y anejos

Anejo Nº 1: Estudio de soluciones

Anejo Nº 2: Estudio hidráulico

Anejo Nº 3: Estudio geológico-geotécnico

Anejo Nº 4: Diseño y comprobación de la zapata del arco y estribos

Anejo Nº 5: Diseño y comprobación de la estructura

Anejo Nº 6: Equipamientos

Anejo Nº 7: Proceso constructivo

Anejo Nº 8: Fotografía e infografía

Documento Nº 2: Planos

Plano Nº 1: Situación y emplazamiento

Plano Nº 2: Planta general

Plano Nº 3: Topografía y replanteo

Plano Nº 4: Planta, alzado y secciones

Plano Nº 5: Trazado

Plano Nº 6: Cimentaciones y estribos

Plano Nº 7: Estructura

Plano Nº 8: Equipamientos

Documento Nº 3: Valoración económica

ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

Este documento refleja el trabajo en taller de los alumnos Javier Aparici Borrás, José Luis Mocholí Garrido y Carlos Pérez Fuentes y constituye 3 Trabajos de Fin de Grado con los siguientes títulos individuales:

Hidráulica, diseño conceptual y equipamientos. Javier Aparici Borrás

Diseño y comprobación de las cimentaciones, plan de obra y proceso constructivo. José Luis Mocholí Garrido

Diseño y comprobación de la superestructura. Valoración. Carlos Pérez Fuentes

El conjunto del trabajo ha sido dividido de la siguiente forma:

Documento Nº 1: Memoria

Javier Aparici Borrás

José Luis Mocholí Garrido

Carlos Pérez Fuentes

Anejo Nº 1: Estudio de soluciones

Javier Aparici Borrás

Anejo Nº 2: Estudio hidráulico

Javier Aparici Borrás

Anejo Nº 3: Estudio geológico-geotécnico

José Luis Mocholí Garrido

Anejo Nº 4: Diseño y comprobación de la zapata del arco y estribos

José Luis Mocholí Garrido

Anejo Nº 5: Diseño y comprobación de la estructura

Carlos Pérez Fuentes

Anejo Nº 6: Equipamientos

Javier Aparici Borrás

Anejo Nº 7: Proceso constructivo

José Luis Mocholí Garrido

Anejo Nº 8: Fotografía e infografía

Javier Aparici Borrás

Documento Nº 2: Planos

Javier Aparici Borrás

José Luis Mocholí Garrido

Carlos Pérez Fuentes

Documento Nº 3: Valoración económica

Carlos Pérez Fuentes

Javier Aparici Borrás ha sido tutorado por Salvador Monleón Cremades y co-tutorado por Francisco José Vallés Morán.

José Luis Mocholí Garrido ha sido tutorado por Carlos Manuel Lázaro Fernández y co-tutorado por Elvira Garrido de la Torre.

Carlos Pérez Fuentes ha sido tutorado por José Casanova Colón y co-tutorado por María Carmen Castro Bugallo.

DOCUMENTO N.º 1 | MEMORIA Y ANEJOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Javier Aparici Borrás
José Luis Mocholí Garrido
Carlos Pérez Fuentes

CONTENIDO

1. OBJETO.....	5
2. ALCANCE	5
3. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO.....	5
4. ANTECEDENTES	6
5. LIMITACIONES	6
6. NORMATIVA.....	7
7. GEOTECNIA.....	7
8. HIDRÁULICA	8
9. ESTUDIO DE SOLUCIONES	8
10. SOLUCIÓN ADOPTADA.....	9
11. COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL.....	13
12. PROCESO CONSTRUCTIVO	14
13. VALORACIÓN ECONÓMICA	14
14. CONCLUSIÓN	14

DOCUMENTO N.º 1: MEMORIA

1. OBJETO

El objeto del presente Trabajo de Fin de Grado es la redacción de un proyecto básico para la construcción de un puente peatonal sobre el río Miño. Este proyecto básico deberá satisfacer las condiciones impuestas en el concurso de ideas llevado a cabo por la administración de Pontevedra a excepción del límite presupuestario y basándose en la información suministrada por la administración para dicho concurso.

El objetivo final será diseñar una solución a nivel de proyecto básico que satisfaga de la mejor manera posible los requisitos impuestos demostrando su viabilidad constructiva y estructural.

2. ALCANCE

En este documento, en sus respectivos anejos y en los planos se deberá definir la geometría del puente según un diseño propio resultado de un estudio de soluciones. Tanto la estructura, como las cimentaciones y los equipamientos quedarán descritos en cuanto a geometría y materiales, justificando su correcto funcionamiento y su adecuación a la normativa.

En lo relativo a las comprobaciones estructurales, se realizarán las simplificaciones pertinentes en un proyecto básico para garantizar la viabilidad de la construcción, sin analizar aquellas regiones de excesiva complejidad estructural que excedan el nivel de grado. Se tendrán en cuenta las comprobaciones de ELU y las principales comprobaciones de ELS.

Además, se deberá definir el proceso constructivo junto con una valoración económica simplificada.

3. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

La pasarela peatonal se ubica sobre el río Miño, entre los núcleos urbanos de Goián-Tomiño y Vila Nova da Cerveira. Tomiño es un municipio situado en la parte suroeste de la provincia de Pontevedra, en Galicia y forma parte de la comarca del Bajo Miño. Tiene una población de 13492 habitantes (INE 2010). Por otro lado, Vila Nova de Cerveira es una villa portuguesa situada en el Distrito de Viana do Castelo de aproximadamente 1400 habitantes en su núcleo principal. La construcción de la pasarela peatonal incrementará las relaciones sociales, culturales y comerciales existentes históricamente. También permitirá en un futuro el acceso de vecinas y vecinos de Tomiño a la comunicación metropolitana y eurorregional por ferrocarril desde la estación de Vila Nova da Cerveira a la línea ferroviaria Porto-Vigo, actualmente en proceso de modernización.

El emplazamiento de la obra se sitúa concretamente en el parque de Castelo de Goián, sobre la Praia fluvial de Goián por el lado de España, y en el Parque de Lazer de Castelinho, en Portugal.



Imagen 1: Emplazamiento de la obra (Fuente: Google Maps)

4. ANTECEDENTES

Como se ha comentado en el apartado de objeto, este trabajo parte de un concurso de ideas generado por la administración de Pontevedra. Este concurso de ideas se enmarca en el proyecto europeo "Visit Rio Miño" que tiene como objetivo general la capitalización de la marca "Rio Minho" a través de actividades transfronterizas de preservación, calificación y valorización ambiental de los recursos asociados a la promoción del río Miño como destino ecoturístico. Dentro de este proyecto se contempla la acción denominada "Centro de atraktividad de flujos transfronterizos: Parque Transfronterizo Castelinho-Fortaleza, para ser ejecutada entre la Cámara de Vila Nova da Cerveira y la Diputación de Pontevedra". Una acción que había comenzado a perfilarse en el pasado año (2017), con la firma del protocolo de colaboración entre Diputación, Ayuntamiento de Tomiño y Cámara de Vila Nova da Cerveira, con el objetivo de iniciar los trámites para la futura construcción del que será el primer puente peatonal entre las orillas portuguesa y pontevedresa del Miño.

Previamente se llevó a cabo un proyecto de recuperación ambiental y puesta en valor del entorno de la Fortaleza y Playa Fluvial de la zona de Pontevedra. Este proyecto buscaba crear un espacio que dotase de valor a la fortaleza de San Lourenzo, anteriormente abandonada, y recuperar su carga histórica con la atracción de turismo. Es el arquitecto Pablo Gallego Picard al que se le encargó esta tarea.

Previa a dicha actuación, la zona se describe como un lugar de gran carga histórica con características geográficas privilegiadas, que cuenta con una playa fluvial de gran actividad, pero escasa superficie, y posee una fortaleza de gran tamaño pero oculta al río, imperceptible e inaccesible para el bañista.

La solución propuesta consiste en recuperar dicha ladera por medio de un único gesto constructivo de un muro de contención continuo que restituye la topografía perdida en la ladera intermedia y da forma al futuro parque urbano de la fortaleza.



Imagen 2: Antes y después de la actuación sobre la ladera (Fuente: Artículo Fortaleza y playa fluvial de Goián, Pablo Gallego Picard)

La obra y recuperación del entorno, culminará pues, con la que será la primera pasarela peatonal sobre el río Miño.

5. LIMITACIONES

A continuación, se resumen brevemente los condicionantes del pliego original del concurso de ideas para la nueva pasarela peatonal:

Funcionales

La pasarela debe tener una localización que permita un uso y acceso adecuado. Deberá tener una anchura suficiente y estará condicionada por las exigencias para que los usuarios alcancen la máxima comodidad posible, incluidos los de movilidad reducida.

Estéticos

La estética de la pasarela debe ser sumamente cuidada, pues se trata de una zona de gran interés ambiental y paisajístico. Debe estar perfectamente integrada en el entorno, no desentonando con los elementos del mismo.

Ambientales

La zona de actuación está declarada como zona ZEPa y propuesta como zona LIC. Además, está incluida en la red europea de espacios naturales protegidos por la red Natura 2000. Por tanto, se trata de una zona de gran valor ecológico y paisajístico, que debe ser respetado, minimizando las afecciones al mismo.

Constructivos

El proceso constructivo debe tener en cuenta las condiciones específicas del lugar, que cause el menor impacto posible en el medio y en las condiciones de uso del parque. Deberán garantizarse las condiciones de navegabilidad del río durante la ejecución de la estructura.

Económicos

Se trata de un criterio de gran importancia, pero se busca también un equilibrio entre la economía y la singularidad del puente, puesto que se pretende que sea un elemento simbólico de este espacio transfronterizo.

Para consultar los condicionantes técnicos, ver Anejo 1: Estudio de soluciones.

6. NORMATIVA

La normativa empleada es la que se resume a continuación:

Drenaje y equipamientos:

Instrucción 5.2-IC, Drenaje Superficial

Código Técnico de la Edificación (CTE)

Hidráulica:

Plan Hidrológico del Norte I, norma 2.1.5.1.13, condiciones que deben cumplir las obras a construir en el Dominio Público Hidráulico

Estructuras:

Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11), aprobada por la Orden FOM/2842/2011, de 29 de septiembre.

Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de Hormigón, Reglas generales.

Instrucción de Acero Estructural (EAE-11), aprobada por Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo.

Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras del Ministerio de Fomento (3ª edición revisada 2009).

Sétra (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes). Passerelles piétonnes -Evaluation du comportement vibratoire sous l'action des piétons

Eurocódigo 4: Proyecto de Estructuras Mixtas de Acero y Hormigón

7. GEOTECNIA

En la zona de actuación, a nivel geotécnico se pueden encontrar 2 materiales perfectamente diferenciados.

Por un lado, bajo la capa de tierra vegetal se puede encontrar una mezcla de suelo natural con terreno antrópico y suelo granular, de origen fluvial de muy baja resistencia. Tiene un peso específico seco de 4 kN/m^3 y saturado de 19 kN/m^3 , módulo de elasticidad de 8 MPa y cohesión de 0.2 MPa .

Por otro lado, bajo la capa de suelo antrópico aflora roca granítica con tres familias ortogonales de diaclasas, moderadamente meteorizadas, con peso específico 28 kN/m^3 .

En este punto hay que destacar que la administración proporcionaba un análisis detallado de las propiedades mecánicas del suelo, sin incidir en las propiedades mecánicas de la roca. Es por ello por lo que se ha debido realizar un estudio propio de las características de este macizo rocoso que se puede encontrar en el Anejo N.º 3: Estudio Geológico-Geotécnico.

A nivel geotécnico, se ha realizado un pequeño estudio de alternativas para discernir entre la solución más viable: Cimentación superficial o cimentación profunda.

Tras determinar que la cimentación superficial posee ciertas ventajas, se procede a dimensionar las zapatas del arco y de los estribos tal y como se expone en la Guía de Cimentaciones Para Obras de Carretera. Se comprueba la zapata del arco frente a ELU para:

- Deslizamiento
- Vuelco
- Comprobación adicional mediante software (Plaxis)

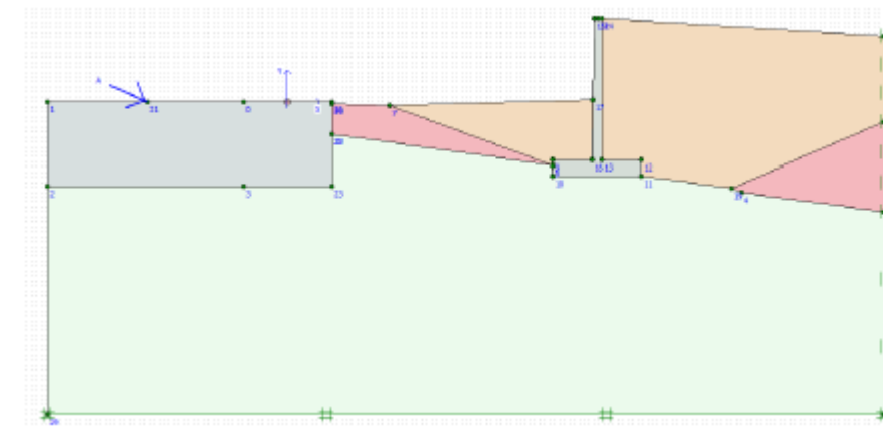


Imagen 3: Modelo introducido en Plaxis (Fuente: Propia)

Una vez comprobadas las exigencias geotécnicas, se procede a realizar el diseño estructural de estos elementos.

Para más detalle, ver Anejo N.º 4: Diseño y comprobación de la zapata del arco y estribos

8. HIDRÁULICA

En lo relativo a la hidráulica, la administración de Pontevedra proporcionaba un estudio hidráulico realizado específicamente para el concurso.

Se ha realizado una interpretación de los resultados obtenidos en el estudio que se pueden resumir en la siguiente tabla, en ella se muestran los caudales y cotas de la lámina de agua para distintos periodos de retorno.

Tabla 1: Cotas de la lámina de agua para distintos periodos de retorno (Fuente: Documentación original del concurso)

	Período de Retorno (años)			
	T=2	T=10	T=100	T=500
Q (m³/s)	2527	4860	8437	11480
z (mSNM)	2.32	2.83	3.94	4.94

Se ha comprobado a partir de dichos resultados que el diseño de la pasarela prevista cumple los resguardos, tanto frente a avenida como para navegación establecidos por la normativa:

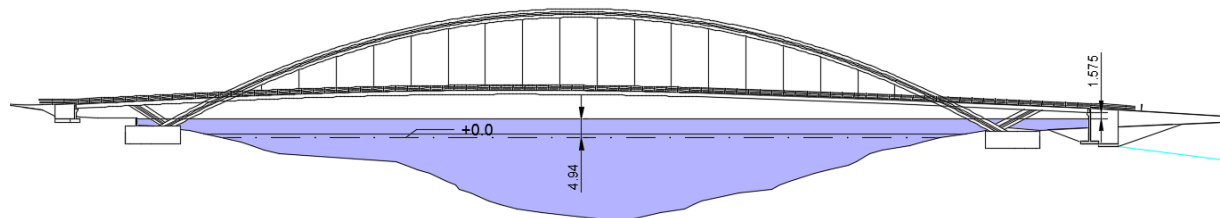


Imagen 4: Cota de la lámina de agua para periodo de retorno T=500 años (Fuente: Propia)

9. ESTUDIO DE SOLUCIONES

Para determinar la solución que cumpla todos los condicionantes descritos en el pliego de preinscripciones técnicas, se empieza planteando una serie de soluciones en cuanto a tipología en base al rango de utilización más frecuente de obras de paso en función de su luz. Para ello se emplean los gráficos que se pueden encontrar en la publicación "Obras de paso de nueva construcción. Conceptos generales" del ministerio de fomento.

Una vez se plantean las familias tipológicas (en este caso, se prosigue con puentes arco y atirantados) se empiezan a plantear soluciones con un grado de detalle medio, para poder valorarlas y escoger la solución óptima.

Se plantean un total de 4 soluciones, una de ellas responde a la tipología atirantada y el resto son alternativas tipo arco, todas ellas con tablero inferior.

La solución atirantada consiste en un tablero pluricelular de sección cerrada con dos torres de tirantes. Las torres atraviesan el tablero por su parte central, y con un único plano de tirantes en forma de arpa sostienen el tablero desde su zona central.

La primera de las soluciones tipo arco corresponde a un arco contenido en un plano, pero este plano está abatido levemente. Para compensar dicho abatimiento, el arco se curva hacia el lado opuesto. El tablero, también formado por una sección cajón pluricelular se sostiene por un conjunto de péndolas ancladas en su zona central. Este conjunto de péndolas, debido a la curvatura del tablero y el abatimiento del arco forman una superficie en el espacio en forma de visera.

La segunda solución tipo arco consiste en un arco contenido en un plano vertical y un tablero de directriz recta (en planta) pero que no está contenido en el plano del arco, sino que está girado levemente.

Por último, la tercera solución tipo arco consiste en un arco contenido en un plano y un tablero formado por un cajón pluricelular cuya directriz (en planta) está contenida en el mismo plano.

La solución adoptada que a continuación se define con mayor detalle es un arco con tablero inferior, estando todo el conjunto contenido en un mismo plano.

En el Anejo N. 91: Estudio de alternativas se pueden apreciar modelos tridimensionales de todas las soluciones propuestas, así como vistas de planta o alzado.

También se puede encontrar un breve análisis multicriterio que pretende valorar objetivamente la solución óptima en diversos aspectos como funcionalidad, estética y economía entre otros.

A continuación, se describe la solución adoptada.

10. SOLUCIÓN ADOPTADA

El diseño final de la solución adoptada puede consultarse en el Anejo N.º1: Estudio de soluciones (En cuanto a forma), Anejo N.º5: Diseño y comprobación de la estructura (En lo relativo a la estructura) y Anejo N.º4: Diseño y comprobación de zapatas y estribos (En lo relativo a los cimientos)

La estructura consta de un arco de trazado parabólico contenido en un plano y de sección octogonal de la que pende, mediante un sistema de péndolas verticales, un tablero mixto de sección pluricelular.

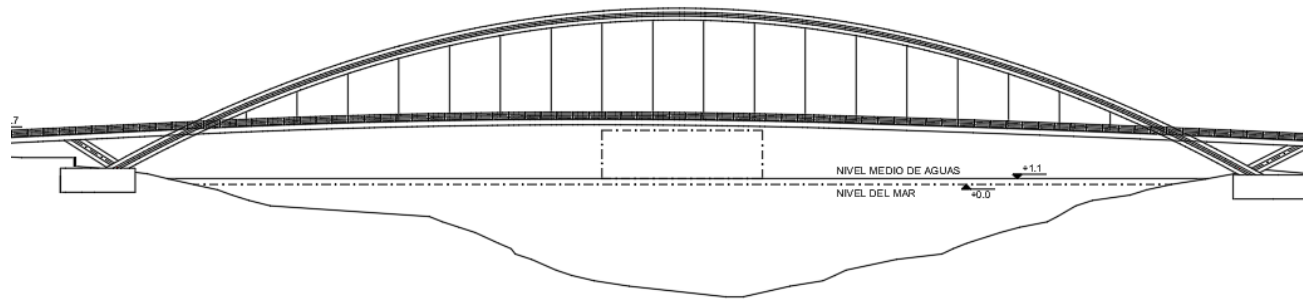


Imagen 5: Alzado de la solución adoptada (Fuente: Propia)

Las secciones de arco y tablero se muestran en las siguientes imágenes:

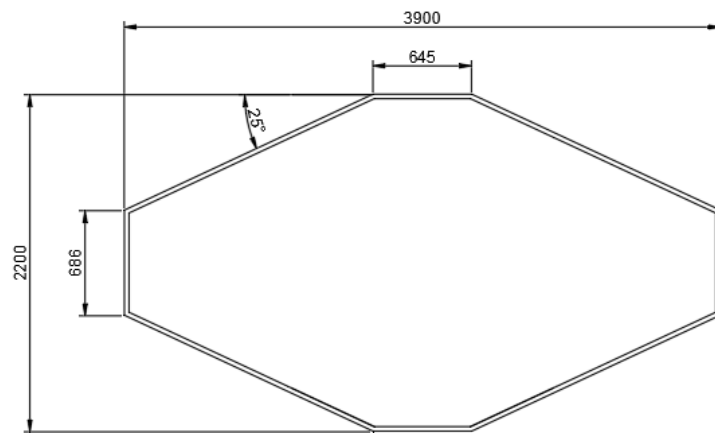


Imagen 6: Sección del arco (Fuente: Propia)

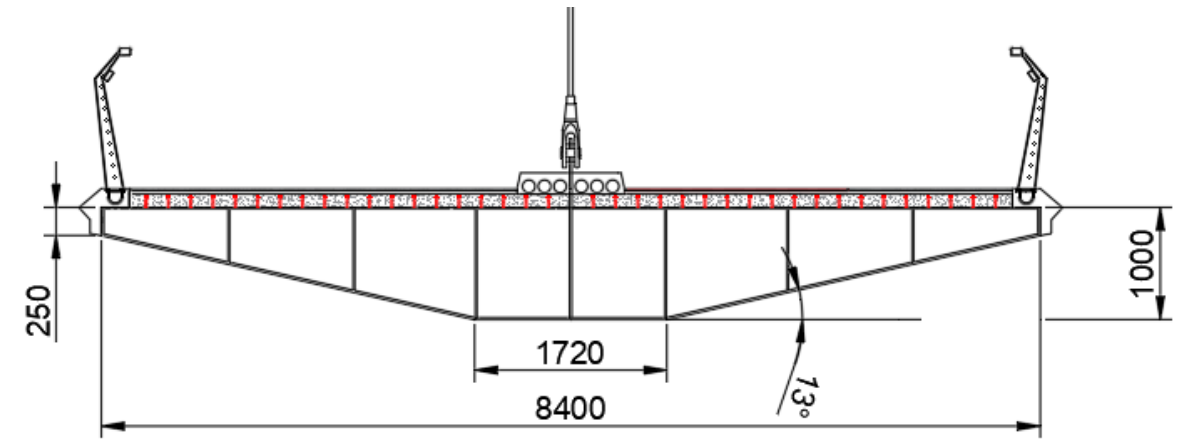


Imagen 7: Sección del tablero (Fuente: Propia)

A continuación, se resumen los parámetros más característicos de la pasarela:

- Luz del arco: 206 metros
- Canto del arco: 2.2 metros
- Flecha del arco: 30 metros
- Canto del tablero: 1.2 metros
- Ancho del tablero: 8.4 metros
- Separación de las péndolas 9.5 metros

La trayectoria parabólica del arco está gobernada por la siguiente función, tomando como origen de coordenadas la clave de la directriz del arco y el eje Y hacia arriba: $y = -0.0026120 \cdot x^2 - 0.001348 \cdot x$

La trayectoria del tablero describe un acuerdo recta-parábola-recta que se puede consultar de forma detallada en el Plano Nº5: Trazado.

10.1. MATERIALES.

Los materiales estructurales empleados tanto para el arco como para la pasarela se enumeran a continuación:

- Arco: Acero estructural S 355
- Tablero: Acero estructural S 355
 - Hormigón estructural C35/45
- Péndolas: Acero estructural B500 S
- Zapata del arco y de estribo: Hormigón estructural C25/30
- Alzado de estribo: C35/45

Para mayor concreción de materiales consultar los anejos Nº5: Diseño y comprobación de la estructura y Anejo Nº4: Diseño y comprobación de zapatas y estribos.

10.2. USOS

Bajando a un mayor grado de detalle en la descripción de la estructura es pertinente mostrar los usos de los espacios sobre el tablero.

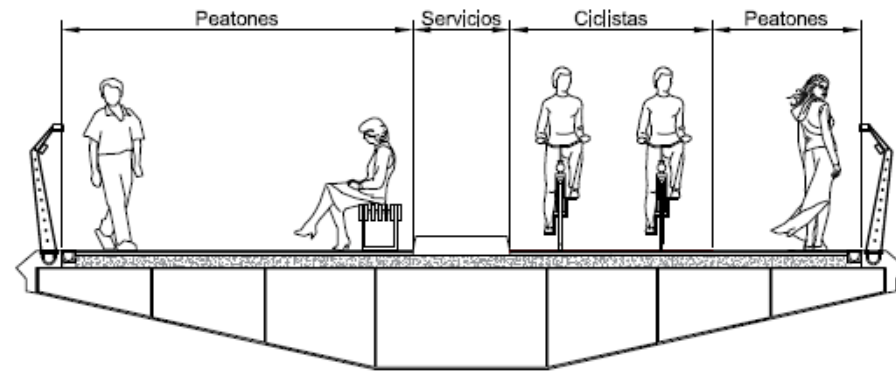


Imagen 8: Sección de usos (Fuente: Propia)

Se puede apreciar una mitad íntegramente destinada a peatones con un ancho de 3.5 metros y otra mitad con 2 zonas diferenciadas: 2.5 metros de carril bici, y 1 metro de acera para peatones. En la zona central se dispone un pequeño bordillo por el interior del cual discurren los servicios y permite distinguir los usos principales del tablero. Para el dimensionamiento del carril bici se han tenido en cuenta las recomendaciones del manual de la DGT para carriles bici.

Existen dos partes de la estructura que por su singularidad dentro del conjunto estructural deben ser mencionadas, se está hablando de los balcones y los puntales que sostienen los vanos de acceso.

10.3. BALCONES

Por un lado, debido a las dimensiones del arco es necesario generar balcones en la zona en la que el arco intersecta al tablero, pues de otra forma no se dispondría de suficiente espacio para el paso:

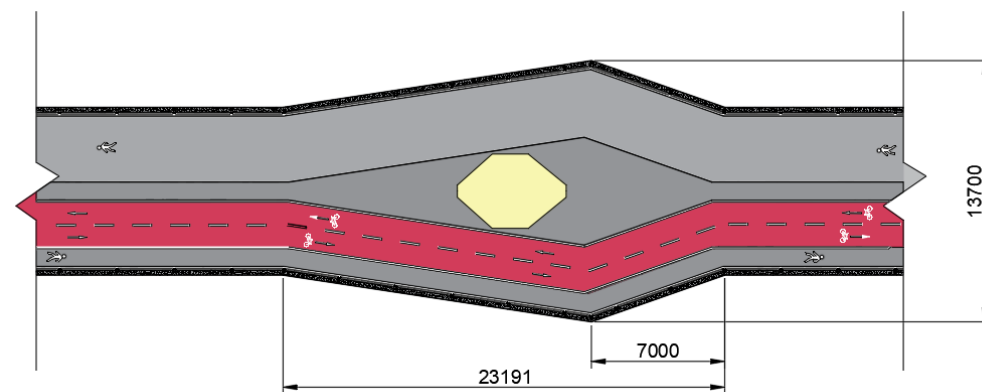


Imagen 9: Planta de balcones, quedando la luz principal a la derecha de la imagen (Fuente: Propia)

10.4. PUNTALES

Para materializar los vanos de acceso se opta por un sistema de puntales inclinados que nacen desde la propia cimentación del arco.



Imagen 10: Infografía en la que se pueden apreciar en un primer plano los puntales (Fuente: Propia)

10.5. EQUIPAMIENTOS

- A continuación, se describe brevemente la relación de equipamientos. Hay que destacar que la imposta y la barandilla son de diseño propio.
- Iluminación: Se opta por una iluminación LED rasante continua integrada dentro de la barandilla, concretamente por debajo del pasamanos.
- Barandillas: Se opta por un diseño a base de aristas agresivas, con las protecciones horizontales materializadas mediante cables tensados. Incluye un perfil en U que aloja la luminaria y se corona con un pasamanos de madera. La barandilla se ancla a la imposta mediante tornillería.
- Imposta: De la misma forma que las barandillas, se opta por un diseño propio para una mayor integración. La imposta se sostiene al tablero mediante tornillería y tiene la triple función de sostener la barandilla, rematar el acabado lateral del tablero y actuar de goterón.
- Servicios: Para el paso de servicios, como se ha comentado anteriormente se opta por un recrecido por la parte central del tablero materializado en hormigón.
- Drenaje: Se opta por un bombeo lateral del 2% y una canalización continua que recoja las pluviales y las vierta mediante imbornales verticales dispuestos cada 6 metros.

- Capa de estanqueidad: Se opta por el modelo "Parafor Pons" de Siplast, por su versatilidad y por estar diseñada especialmente para tableros de puente.
- Pavimento: El paquete de pavimento está formado por:
 - Baldosas de granito de 2 cm de espesor, modelo Arenrico de Zenith C.
 - Capa de mortero de regularización
 - Capa de estanqueidad
 - En el caso del carril bici, la capa más superior se materializa con el producto de Sikafloor-2100 o similar.
 - En todo caso, para más detalle consultar el Anejo N.º 8: Equipamientos.

10.6. CIMENTACIONES

A partir de la geometría inicial obtenida del dimensionamiento geotécnico, se ha dotado tanto a las zapatas como a los estribos del armado necesario para resistir estructuralmente los esfuerzos. Se han tenido en cuenta todas las comprobaciones tanto para los muros como para zapatas del eurocódigo 2. Así la geometría y armado definitivos de los estribos es:

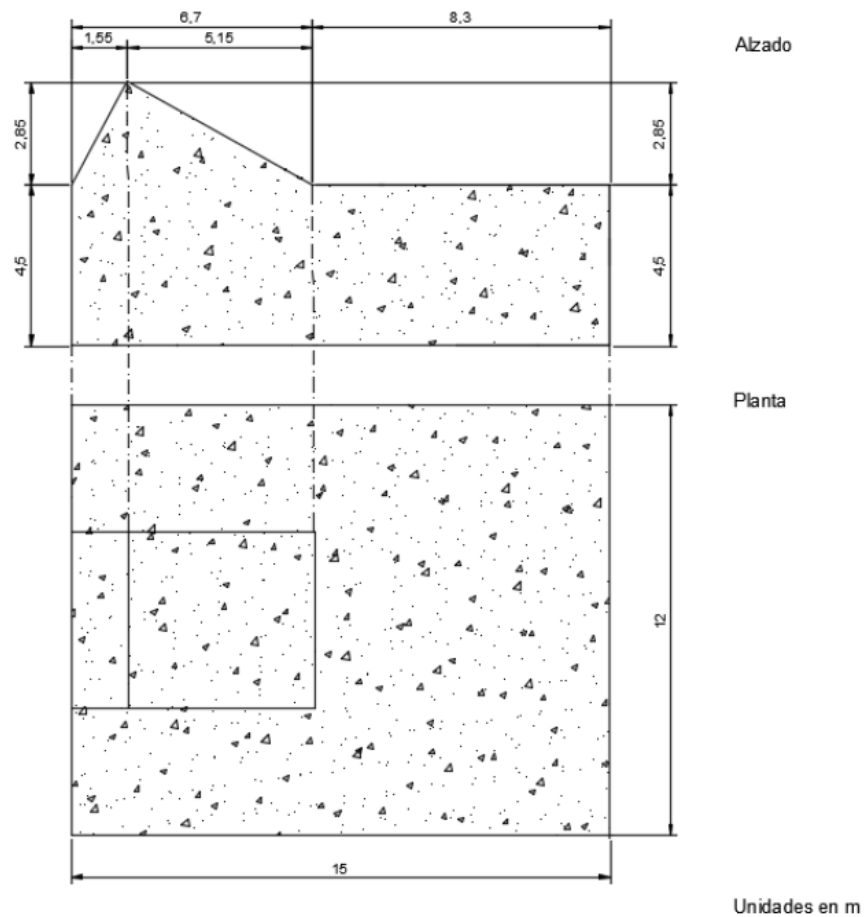


Imagen 11: Geometría de la zapata del arco (Fuente: Propia)

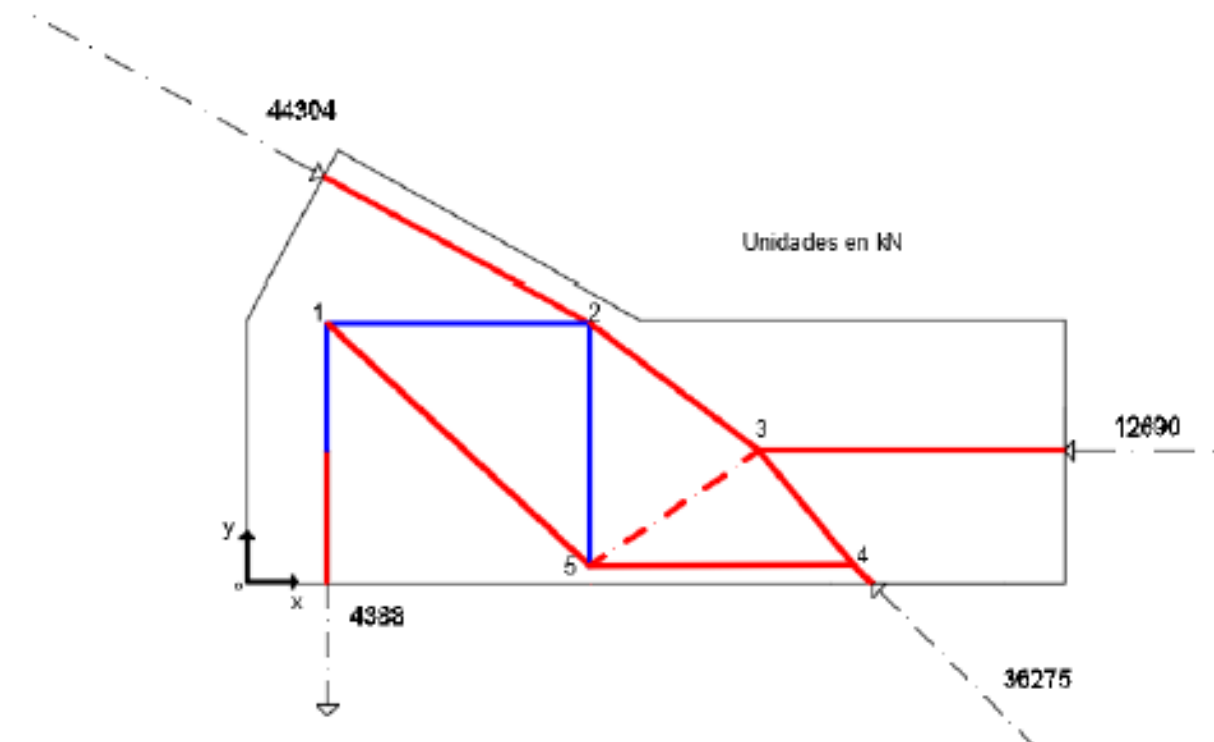


Imagen 122: Modelo de Bielas y tirantes, vista en alzado (Fuente: Propia)

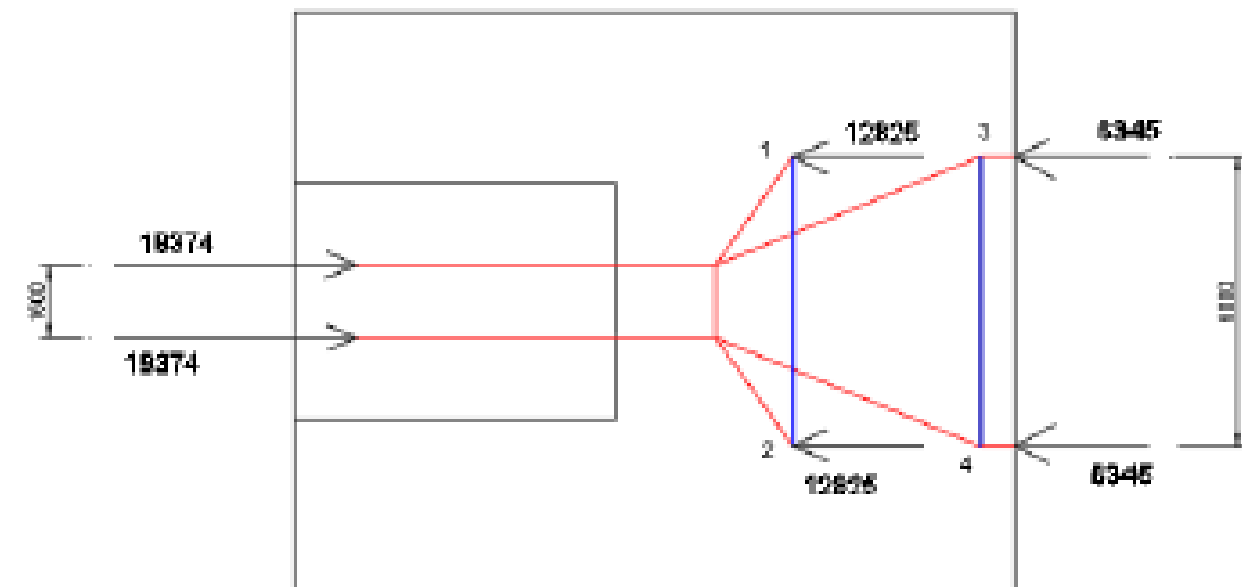


Imagen 133: Modelo de bielas y tirantes, vista en planta (Fuente: Propia)

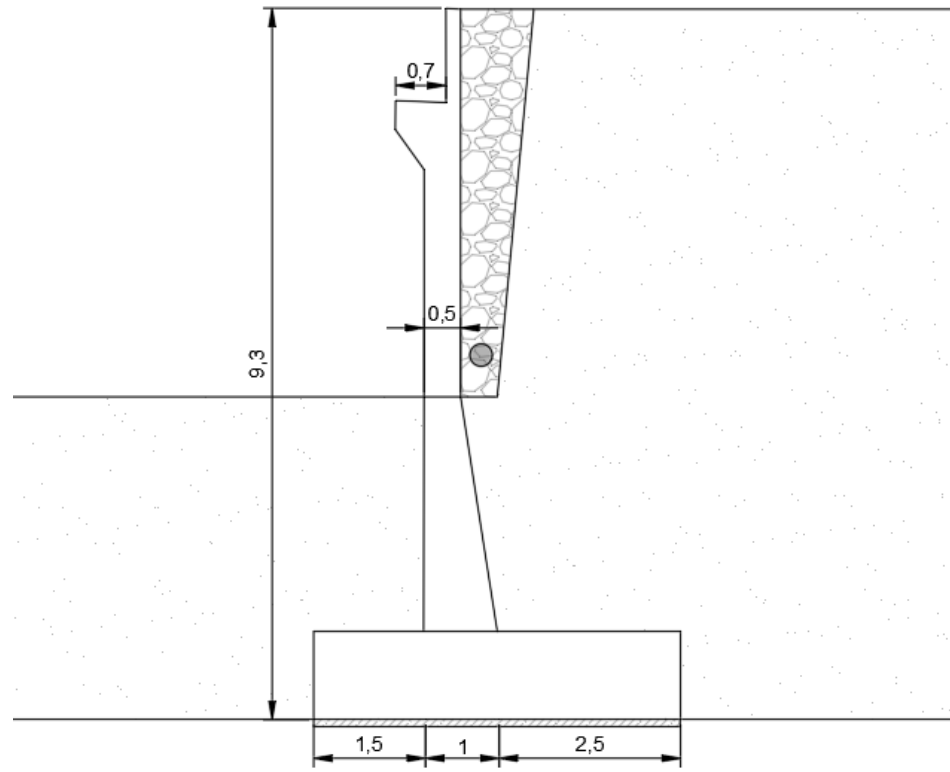


Imagen 14: Geometría del estribo de Portugal (Fuente: Propia)

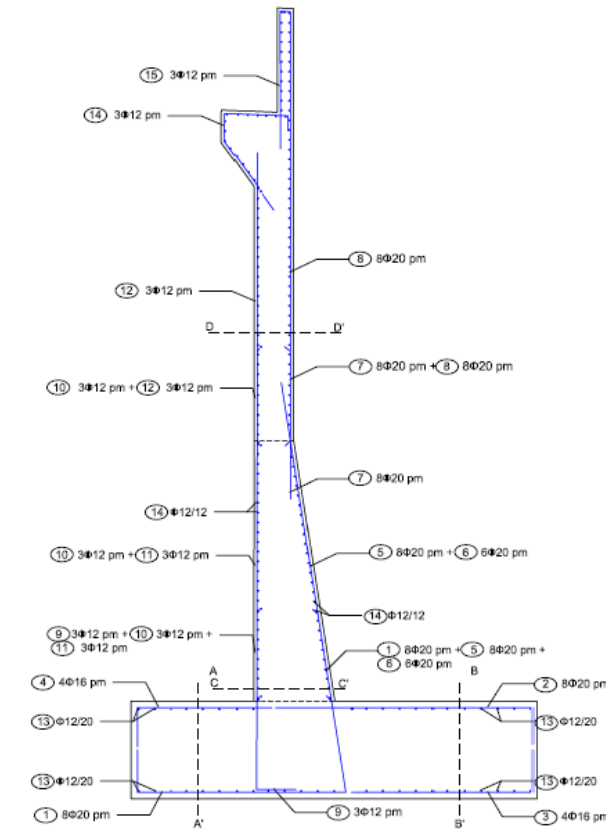


Imagen 16: Armado del estribo de Portugal (Fuente: Propia)

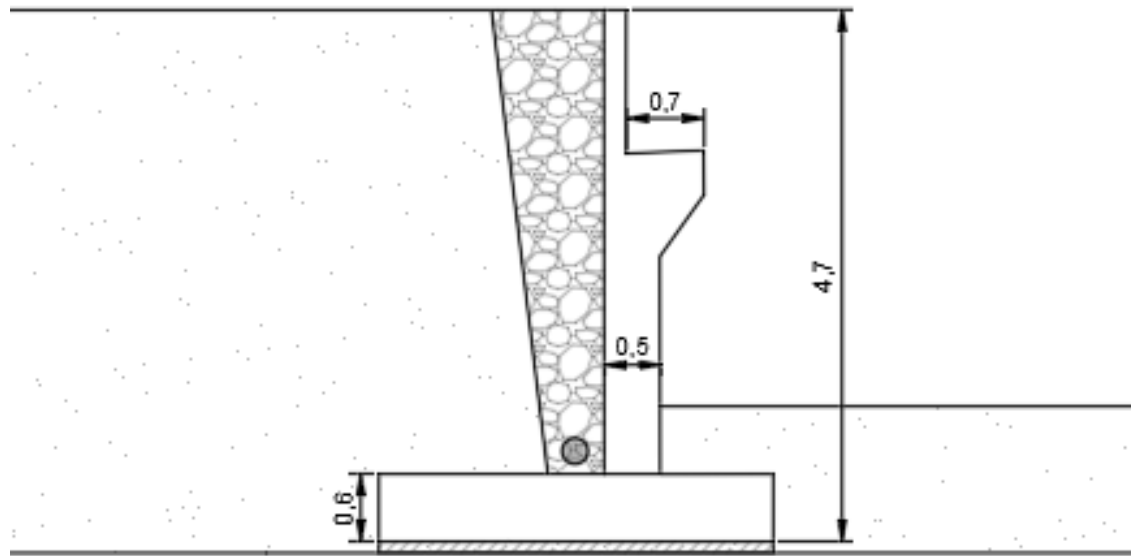


Imagen 15: Geometría del estribo de España (Fuente: Propia)

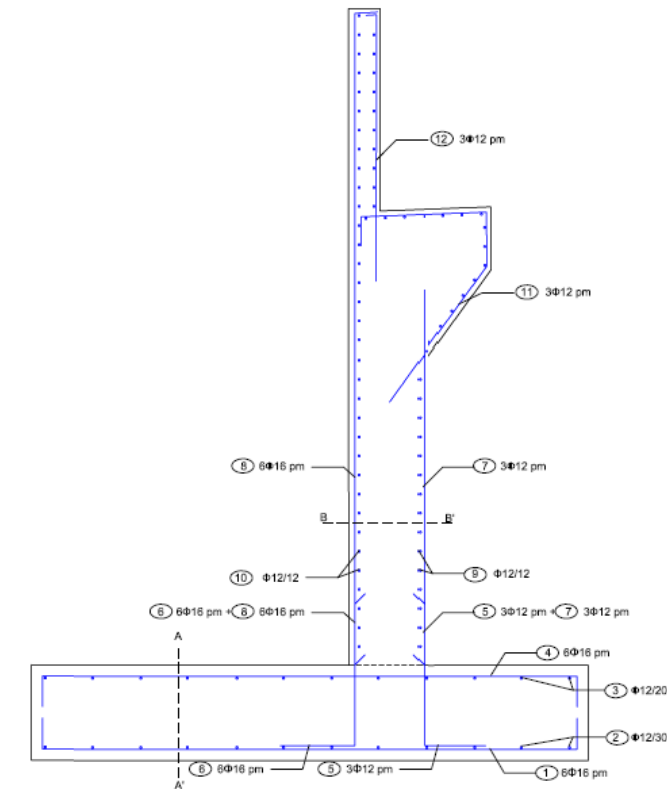


Imagen 17: Armado del estribo de España (Fuente: Propia)

10.7. ESTRUCTURA

Para el tablero se opta por una sección pluricelular cerrada de 7 celdas. Dichas celdas se materializan mediante un sistema de 6 almas verticales dispuestas estratégicamente para coincidir con las almas que se disponen en el arco en el encuentro entre ambos. Además, en el interior del tablero se disponen diafragmas transversales espaciados 4.5 metros y una serie de rigidizadores longitudinales para las chapas inferiores. La sección estructural del tablero se completa con una capa de hormigón estructural de 12 centímetros de espesor con un sistema de conectores.

La sección estructural del arco se materializa con una sección cerrada de forma octogonal completada con 4 almas verticales, y 4 rigidizadores longitudinales en la zona próxima al encuentro con el tablero, en el resto del arco, las dos almas más exteriores se convierten en rigidizadores longitudinales. Además, consta de un sistema de rigidizadores transversales que en los casos en los que sea necesario, recogen los esfuerzos de las péndolas.

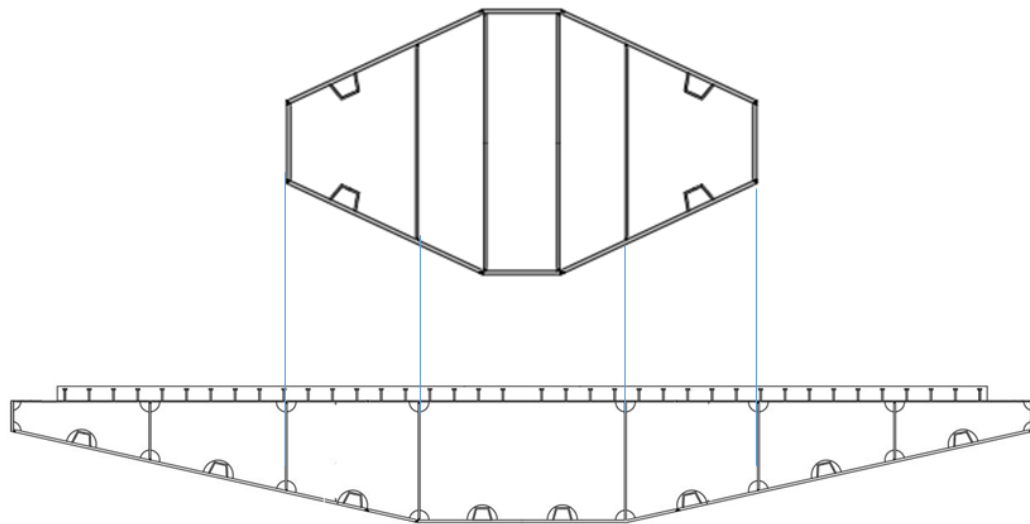


Imagen 18: Secciones con detalles estructurales (Fuente: Propia)

En cuanto a las principales condiciones de contorno del arco e interacción arco-tablero hay que destacar los siguientes puntos:

- El arco está empotrado en sus arranques
- El tablero y el arco están empotrados en su intersección
- En los estribos está permitido el desplazamiento longitudinal y el giro en el eje de apoyo de neoprenos.
- El tablero posee una articulación con holgura para permitir el desplazamiento longitudinal en la zona que se muestra a continuación. La articulación se encuentra en la zona de momentos nulos respecto a eje fuerte respecto a la acción transversal del viento:

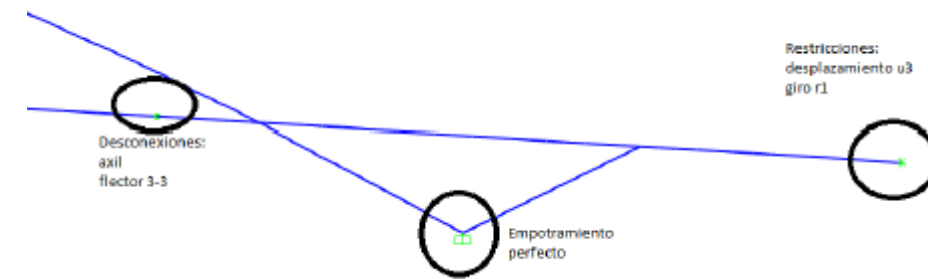


Imagen 19: Esquema de coacciones y desconexiones (Fuente: Propia)

11. COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL

Para la comprobación de la estructura se ha realizado un modelo de elementos finitos con el programa informático SAP2000 en el cual se ha introducido mediante coordenadas la directriz del arco y del tablero.

El modelo generado es unifilar y encajado en el plano, aunque el análisis que se realiza es en 3D debido a que se han definido acciones transversales. Se han introducido las secciones brutas en el modelo tanto del arco como del tablero. Los efectos de la fisuración del hormigón en la sección, la reducción del ancho eficaz en las alas por arrastre de cortante y la obtención de la sección eficaz frente a inestabilidades locales solo se han considerado para la comprobación de los ELU.

Las acciones y sus combinaciones se han definido según la norma IAP-11, siendo las de mayor magnitud las de peso propio, cargas muertas, sobrecarga de uso, acciones térmicas y viento.

Debido a la gran esbeltez de la estructura se ha comprobado que para un correcto estudio de la viabilidad de la solución descrita se requiere un análisis de segundo orden con la introducción en el modelo de imperfecciones en la geometría del arco.

Con los esfuerzos obtenidos se han realizado las comprobaciones de ELU y ELS según la instrucción EAE, el Eurocódigo 2 y la IAP-11.

Además, se ha realizado un análisis dinámico de la estructura comparando los valores de las frecuencias naturales con los valores límite. El resultado desfavorable de esta comparación simplificada obligó a la realización de una comprobación más precisa mediante la norma francesa de SETRA sobre vibraciones en pasarela para demostrar que la solución es viable.

12. PROCESO CONSTRUCTIVO

Para el planteamiento del proceso constructivo y el programa de trabajos se han tenido en cuenta todos los condicionantes que a priori pueden influir en las operaciones constructivas de esta obra. Entre ellas, los espacios de ensamblaje, el acceso de camiones, alternativas para el transporte de piezas y existencia de plantas de hormigón a la distancia adecuada para que sea viable construir cimentaciones de grandes dimensiones.

Tras los trabajos previos se empieza a ejecutar la construcción de las cimentaciones. Esta fase consta de los procesos habituales de construcción:

- Excavación del terreno
- Encofrado
- Armado
- Hormigonado
- Rellenos

Para más detalle consultar Anejo N.º 7: Programa de trabajos.

La construcción de la estructura consta de las siguientes fases:

- Construcción de los vanos de acceso, puntales y arranque del arco con sistemas convencionales de cimbras.
- Instalación de un sistema de 4 grúas torre (2 en cada lateral del río) que alojarán, por un lado, un blondín y por otro lado un sistema de atirantamiento provisional.
- Construcción del arco izando sus dovelas con el blondín. Una vez soldada una dovela a la anterior se atiranta provisionalmente a las grúas.
- Una vez cerrado el arco en su clave se retiran los atirantamientos provisionales y se procede a izar dovelas del tablero de 9.5 m de longitud, empleando el mismo sistema de blondín mencionado anteriormente.
- Se completa la estructura con la losa de hormigón y los equipamientos, concluyendo con los trabajos finales.

Todas estas operaciones, tras realizar el programa de trabajos se estima que tendrán una duración de 211 días laborables.

13. VALORACIÓN ECONÓMICA

La valoración económica de la ejecución material se estructura de la siguiente forma:

CAPÍTULOS	VALORACIÓN (€)	PORCENTAJE (%)
Capítulo 1: Trabajos previos	25.772,80	0.42
Capítulo 2: Movimiento de tierras	104.740,36	1.73
Capítulo 3: Subestructura	195.325,79	3.22
Capítulo 4: Estructura	5.155.938,88	85.08
Capítulo 5: Equipamientos	290.544,31	4.79
Capítulo 6: Prueba de carga	2.163,00	0.03
Capítulo 7: Seguridad y salud	134.000,00	2.21
Capítulo 8: Gestión de residuos	151.300,00	2.50
TOTAL	6.059.785,14	100

Aplicando los incrementos debidos a gastos generales, beneficio industrial e I.V.A, la valoración económica asciende a la cantidad de 8.725.484,62 € (OCHO MILLONES SETECIENTOS VEINTICINCO MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y CUATRO EUROS CON SESENTA Y DOS CÉNTIMOS).

Se estima además una partida anual de 70.000,00 € (SETENTA MIL EUROS) para el mantenimiento íntegro de la estructura.

14. CONCLUSIÓN

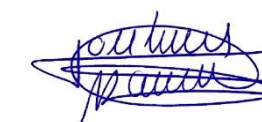
Atendiendo a los diferentes apartados que se han ido exponiendo se puede concluir que se han tenido en cuenta los condicionantes de diseño y se ha presentado una solución viable, que cumple con los requisitos de seguridad, funcionalidad y durabilidad, manteniendo la prioridad de una estructura integrada estéticamente y paisajísticamente, la cual supondría una gran mejora a nivel de conectividad y de desarrollo económico de la zona.

Valencia, junio de 2018

Fdo: Javier Aparici Borrás



Fdo: José Luis Mocholí Garrido



Fdo: Carlos Pérez Fuentes

