



PROYECTO BÁSICO DE PUENTE SOBRE LA RAMBLA DE ALCALÁ EN BENICARLÓ (CASTELLÓN). SOLUCIÓN A.

ANEJO Nº1

ESTUDIO DE SOLUCIONES

Titulación: Grado en Ingeniería Civil

Autor: Anibal Franco Quevedo Porrino

Tutor: Salvador Monleón Cremades

Cotutor: Francisco José Vallés Morán



ÍNDICE

1. OBJETO Y ALCANCE DE ESTUDIO	2	5. ANÁLISIS DE PROPUESTAS	11
2. PROGRAMA DE NECESIDADES	2	5.1. Propuesta A: Arcos de sección triangular con cinco péndolas rígidas	11
2.1. Limitaciones geométricas	2	5.2. Propuesta B: Puente viga de canto variable biempotrado	11
2.1.1. Trazado en planta	2	5.3. Propuesta C: Puente atirantado.....	11
2.1.2. Trazado en alzado	2	5.4. Comparación de alternativas.....	11
2.1.3. Sección transversal	3	6. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	12
2.2. Climatología.....	3	6.1. Descripción de elementos resistentes.....	13
2.3. Tipología:.....	3	6.1.1. Arcos	13
2.4. Material estructural:	3	6.1.2. Péndolas rígidas	14
2.5. Hidráulica	3	6.1.3. Vigas longitudinales	14
3. PLANTEAMIENTO INICIAL DEL PROBLEMA	3	6.1.4. Vigas transversales.....	15
3.1. Posibles tipologías de puente	3	6.2. Equipamientos.....	15
3.2. Análisis inicial tipología estructural.....	3	6.2.1. Pavimentos	15
3.2.1. Colgante	4	6.2.2. Evacuación de aguas	15
3.2.2. Arco con tablero inferior:	4	6.2.3. Iluminación	15
3.2.3. Atirantado:.....	4	6.2.4. Barandillas.....	15
3.2.4. Viga de un solo vano:	4	7. CONCLUSIONES	17
3.2.5. Conclusiones	4	8. REFERENCIAS	17
4. DESCRIPCIÓN DE PROPUESTAS A ESTUDIAR.....	5		
4.1. Propuesta A: Arcos de sección triangular con 5 péndolas rígidas.....	5		
4.1.1. Descripción general	6		
4.2. Propuesta B: Puente viga de canto variable biempotrado.....	7		
4.2.1. Descripción general	8		
4.3. Propuesta C: Puente atirantado	9		
4.3.1. Descripción general	10		

1. OBJETO Y ALCANCE DE ESTUDIO

El objeto del siguiente anejo es describir, analizar y comparar las alternativas planteadas para el proyecto de un puente sobre el encauzamiento de la Rambla de Alcalá ubicada en Benicarló (Castellón), dando continuidad a la Avenida del Papa Luna.

En el estudio se evaluarán las soluciones estructurales posibles en base a factores esenciales como su tipología, materiales y economía. Se realiza una primera clasificación de propuestas aptas que solucionen el problema planteado. Esta clasificación servirá de cribado preliminar para analizar posteriormente las tipologías estructurales aplicables y la viabilidad de las soluciones planteadas.

El análisis se llevará a cabo a través de un proceso comparativo, que se describe posteriormente. Éste será aplicado a las diferentes alternativas, considerando aspectos que puedan ser estudiados teniendo de base la tipología de solución estructural adoptada, el emplazamiento de la obra y otros aspectos tales como economía, percepción visual y durabilidad de la estructura. Finalmente, se seleccionará la solución adoptada.

2. PROGRAMA DE NECESIDADES

Es necesario cumplir una serie de condicionantes establecidos que permiten proyectar la obra, salvando la luz indicada con una solución funcional y eficiente.

2.1. Limitaciones geométricas

Se deberán cumplir ciertas limitaciones geométricas en alzado, planta y sección transversal, las cuales se exponen a continuación:

2.1.1. Trazado en planta

Las condiciones técnicas establecen que el trazado en planta del puente debe ser recto, manteniendo la alineación de la Avenida del Papa Luna, de eje SE-NO y sensiblemente paralelo a la costa.

Pueden observarse una representación gráfica de estas limitaciones en la f.

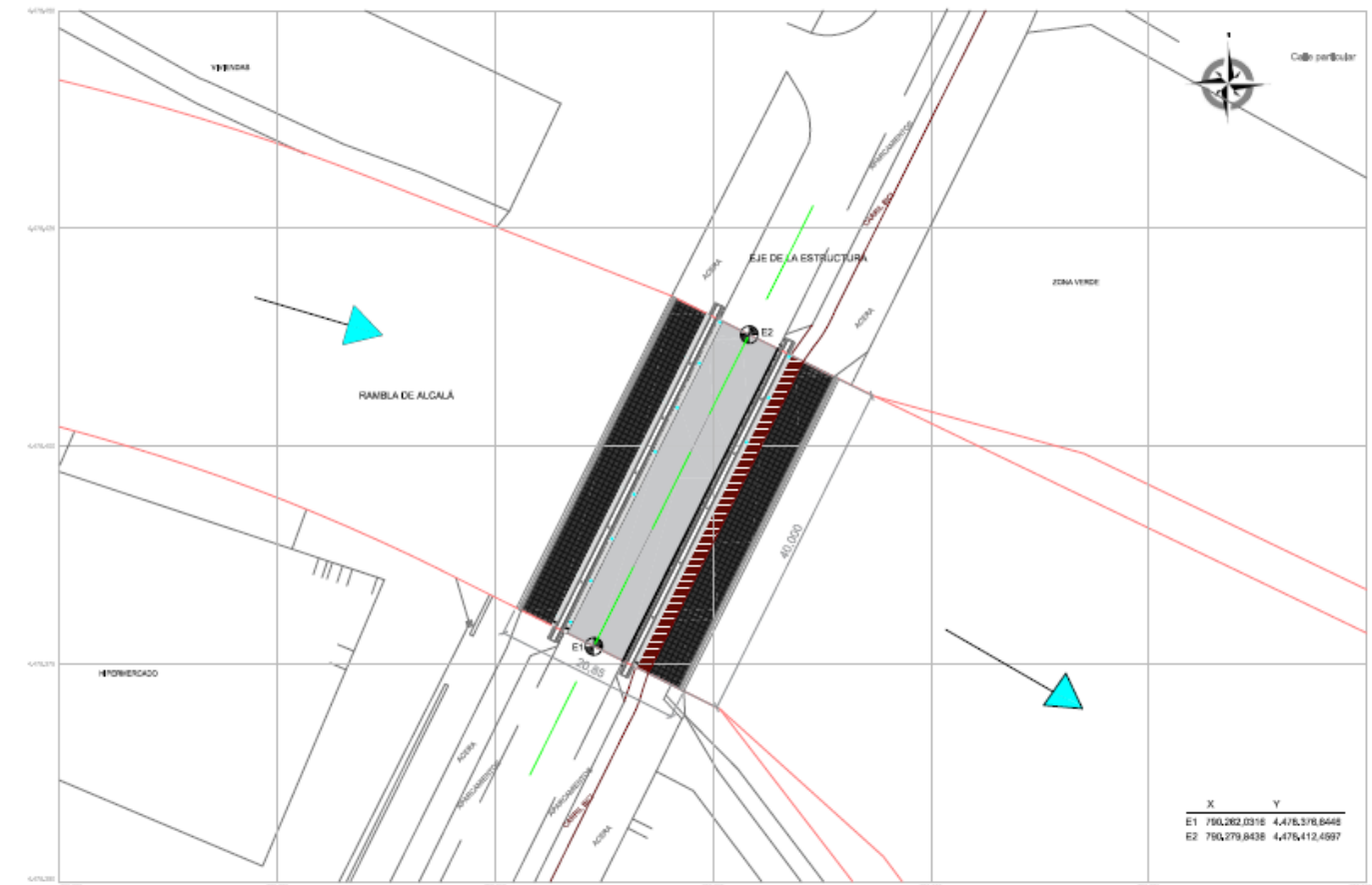


Figura 1. Representación limitaciones del trazado en planta

2.1.2. Trazado en alzado

Para el trazado en alzado se exigen ciertos gálibos que permiten un funcionamiento adecuado de la obra.

Los gálibos exigidos se recogen en la siguiente lista y se representan en la figura 2:

- ✓ Acceso desde margen derecha: (0+0.000, +3.260)
- ✓ Pendiente de entrada al puente desde margen derecha: -5.4%
- ✓ Acceso desde margen izquierda: (0+40.000, +3.260)
- ✓ Pendiente de salida del puente en margen izquierda: +5.4%
- ✓ El gálibo impuesto se puede observar en la figura. 2.
- ✓ La luz libre exigida es de 40.000 m, entre cajeros del encauzamiento.

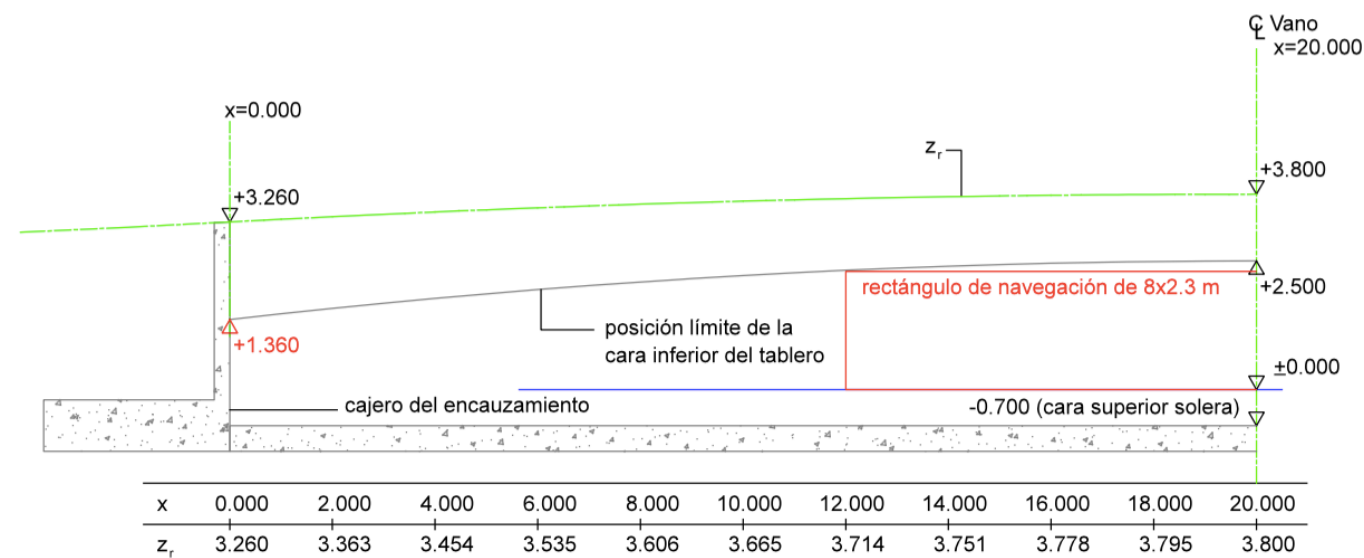


Figura 2. Representación de las limitaciones de gálibo para medio tablero

2.1.3. Sección transversal

Debe mantener operativa la avenida, su carril bici y sus aceras. Al mismo tiempo debe cumplir las características necesarias para asegurar su correcto desagüe.

Las características necesarias son las siguientes:

- ✓ El ancho útil exigido es de 17,45 metros, 5,575 metros en la acera de aguas abajo (incluyendo carril bici), 2 barreras de 0,2 metros, 7,5 metros de calzada (en 2 carriles) y 3,975 metros en la acera de aguas arriba.
- ✓ Pendiente transversal de calzada y acera igual a 1,5%.
- ✓ En la figura 3 se encuentran representadas las limitaciones en sección transversal.

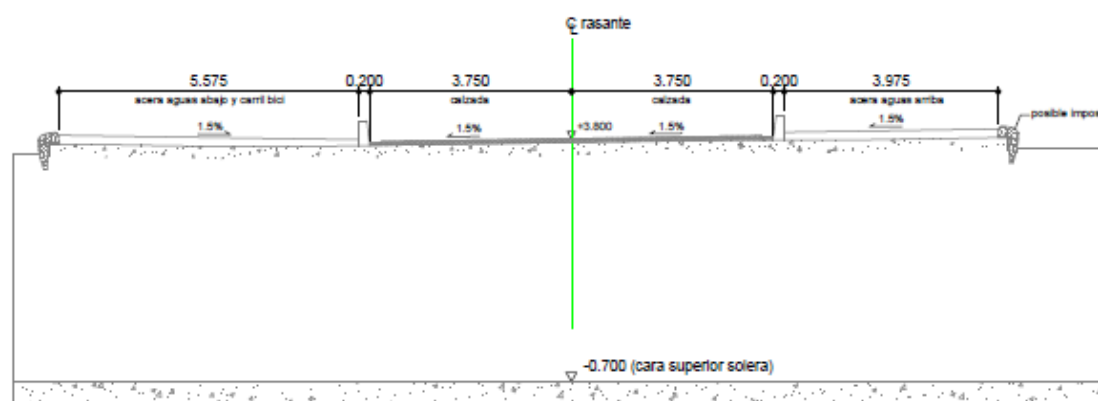


Figura 3. Representación limitaciones en sección transversal.

2.2. Climatología

Se considera que la obra se encuentra en un ambiente marítimo al hallarse a menos de 500 m de la costa. Corresponde a un ambiente IIIa según la EHE-08, por lo que deberá tenerse especial cuidado en la elección y protección de materiales para garantizar su durabilidad.

2.3. Tipología:

No existe una tipología de puente especificada en las condiciones para la solución del problema. La única condición será no disponer apoyos dentro del encauzamiento de la rambla.

2.4. Material estructural:

Su selección será libre, prestando atención a la durabilidad y el mantenimiento futuro a causa de las condiciones climatológicas a las que está expuesta la estructura.

2.5. Hidráulica

La solución debe cumplir las condiciones hidráulicas mínimas establecidas por la normativa vigente, además de los gálibos expuestos en las condiciones, proporcionando así funcionalidad hidráulica suficiente.

3. PLANTEAMIENTO INICIAL DEL PROBLEMA

Se realiza un primer análisis de las tipologías estructurales y materiales que podrían dar solución al problema planteado, cumpliendo con todas las limitaciones establecidas.

3.1. Posibles tipologías de puente

Por las condiciones establecidas, previamente mencionadas, se resume en la siguiente lista las distintas tipologías de puente que permitirían salvar la luz señalada.

- a. Colgante
- b. Arco superior
- c. Atirantado
- d. Viga de un solo vano

3.2. Análisis inicial tipología estructural

De cada posible tipología de puente que se podría ejecutar se realiza un breve análisis en base a las condiciones geométricas establecidas.

3.2.1. Colgante

Esta tipología de puente tiene un gran rendimiento cuando se salvan grandes luces gracias a su solución constructiva con torres y su cable principal que permiten tener esquema resistente superior. Además, por su forma y tamaños comunes suelen ser considerados como puentes singulares, siendo grandes referentes arquitectónicos.

El caso a estudiar se encuentra en una zona urbana con una luz a salvar moderada-baja. Por tanto, esta solución no se considera adecuada inicialmente al no adaptarse al entorno. Tampoco es una propuesta económicamente viable, además de no encontrar referencias de puentes colgantes de una luz similar a la que se debe salvar en este caso.

3.2.2. Arco con tablero inferior:

La tipología de arco con tablero inferior para el caso a estudiar es una de las opciones más consideradas, ya que permite tener el sistema resistente por encima del tablero, sin ocupar espacio excesivo en los márgenes de la rambla. Este tipo de puentes tienen rendimiento óptimo salvando luces medias - altas, adecuándose al problema actual. Se pueden encontrar varios ejemplos con soluciones de este tipo para puentes con luces similares a la del caso a estudiar.

Al encontrarse en una zona urbana, es una opción que podría adaptarse al entorno, manteniendo a la vez una forma arquitectónica atractiva, por lo que se espera aceptación por parte de la sociedad.

3.2.3. Atirantado:

Un puente atirantado podría cumplir las condiciones establecidas al tener el sistema resistente sobre del tablero, aunque no se aprovecharía el rendimiento de este tipo de puentes, ya que suelen salvar luces mucho mayores que las del caso estudiado y podría no adaptarse correctamente al entorno del emplazamiento. Aun así, no se descarta su posible aplicación hasta realizar un análisis más profundo.

3.2.4. Viga de un solo vano:

Este tipo de puente es a priori el más económico y con mayor facilidad de construcción de las opciones disponibles. Existen dos posibles opciones: viga invertida o viga biempotrada de canto variable. En otro caso, y para la luz que busca salvarse, la relación canto/luz de la viga sobrepasaría los límites recomendados ($1/20$) en la sección centro – luz.

La viga invertida sería una opción factible que permitiría resolver el problema. No obstante, esta tipología estructural suele emplearse en puentes ferroviarios ya que, por su forma cerrada en la parte superior, no tiende a ser una solución atractiva para los conductores por impedir las vistas y transmitir una sensación de encontrarse encerrado.

Al realizar un pequeño cálculo con las recomendaciones para la relación canto/luz de un puente viga biempotrado de canto variable ($1/20$ en extremos y $1/40$ en centro – luz), se encuentra que su canto en el extremo empotrado estaría cercano al límite establecido en las limitaciones y este podría recibir empujes del fluido de la rambla en caso de grandes avenidas.

3.2.5. Conclusiones

Tras haber realizado un primer análisis de las tipologías, se seleccionan tres para estudiar con mayor profundidad. Éstas son:

- ✓ Propuesta A: Arco con tablero inferior
- ✓ Propuesta B: Puente viga de canto variable biempotrado
- ✓ Propuesta C: Puente atirantado

4. DESCRIPCIÓN DE PROPUESTAS A ESTUDIAR

4.1. Propuesta A: Arcos de sección triangular con 5 péndolas rígidas

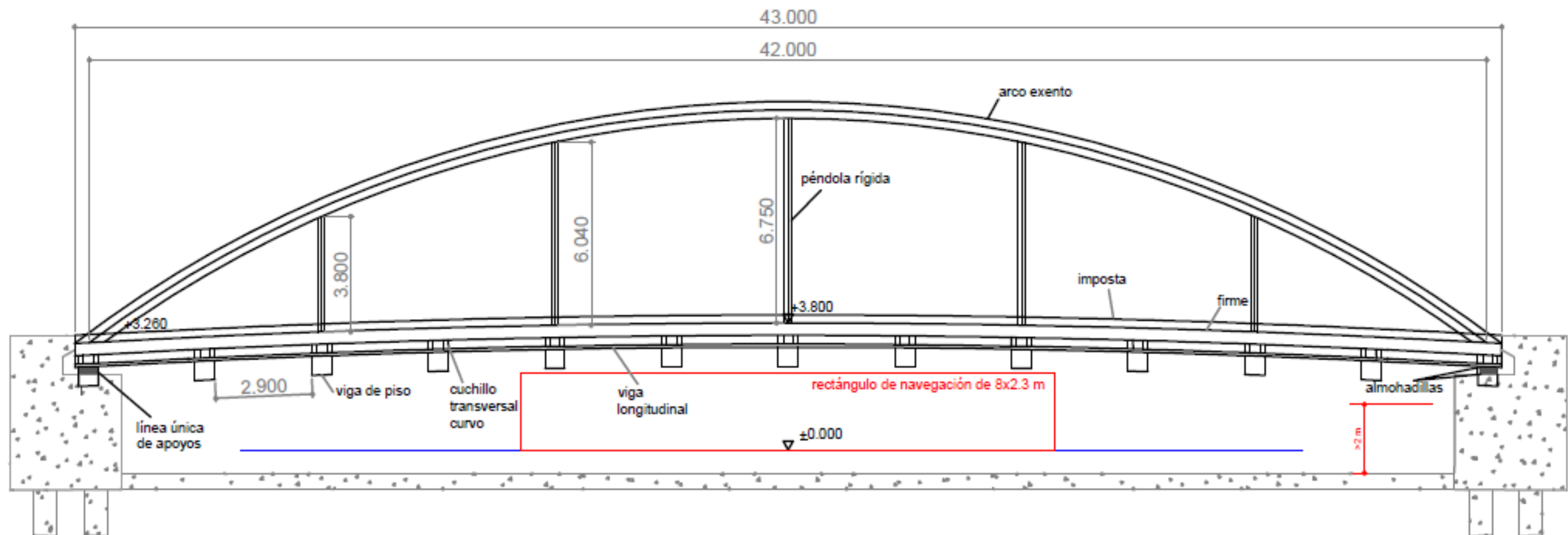


Figura 4. Propuesta A – Vista en alzado

4.1.1. Descripción general

Una de las propuestas tratadas inicialmente consiste en dos arcos exentos conectados a un tablero creando un arco del tipo bow-string tal y como puede observarse en la figura 4. Se propone una luz libre de 42 metros.

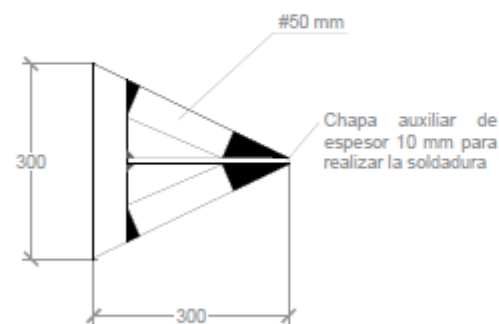
4.1.1.1. Arco

Los arcos se proponen de sección tubular triangular isósceles de 0,9 metros de base y 0,65 metros de altura. El vértice del triángulo apunta siempre hacia el interior del puente, es decir, a la calzada, y lo hace de forma horizontal, formando la altura del triángulo 90 grados con respecto a una vertical trazada desde el tablero. Esta forma permite añadir estabilidad a los arcos, por encontrarse exentos. Se observa la sección de los mismos en la figura. 5. La flecha del arco es de 6,75 metros. Así se tiene una esbeltez en el arco de 1/84 y un rebajamiento de 1/6 aproximadamente, valores muy cercanos a los considerados como óptimos según recomendaciones.

4.1.1.2. Péndolas

Las péndolas se plantean rígidas y se componen igualmente de una sección tubular triangular isósceles, esta vez de 0,3 metros de base y 0,3 metros de altura. Habrá un total de 5 péndolas por arco, separadas cada 7 metros entre ejes. No se sitúan centradas en planta con respecto al espacio ocupado por el arco, sino que están posicionadas de forma que los centros de gravedad de las secciones de arco y péndolas, a 1/3 de la altura desde sus respectivas bases, coincidan. El vértice de las péndolas apunta a la zona peatonal y ciclista, por lo que ambos triángulos están orientados formando 180 grados entre sí.

**SECCIÓN TRANSVERSAL PÉNDOLAS
RÍGIDAS**
Cotas en mm



SECCIÓN TRANSVERSAL ARCO
Cotas en mm

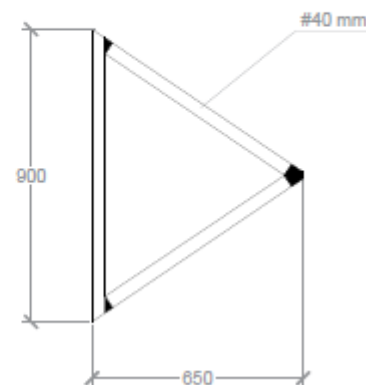


Figura. 5. Propuesta A - Sección de arco y péndola

4.1.1.3. Tablero

El tablero se plantea formado por dos vigas longitudinales y losa de hormigón armado, así como de cuchillos curvos y vigas de piso cada 3,5 metros. Estos dos últimos elementos son de acero estructural con un límite elástico de 355 MPa. Como puede observarse en la figura 6, el canto máximo del tablero está en el centro luz de la sección transversal, y es de 1,1 metros medido desde la parte superior del firme. Por tanto, se respeta el rectángulo de navegación en todo su trazado.

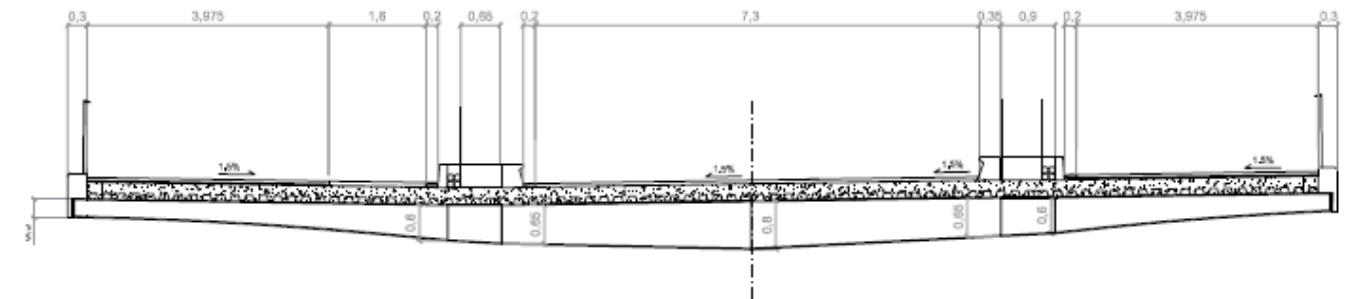


Figura 6. Propuesta A - Sección transversal del tablero

4.1.1.4. Equipamientos y aceras

La separación de la calzada con respecto a la zona peatonal y carril bici se materializa mediante muros separadores, ya que se ha planteado una solución de acera a nivel. Esta solución sirve asimismo para encajar el recinto en el que se sitúan arco y péndolas, limitando su perímetro y permitiendo disponer las conducciones, protegidas con una rejilla y fácilmente accesibles.

4.2. Propuesta B: Puente viga de canto variable biempotrado

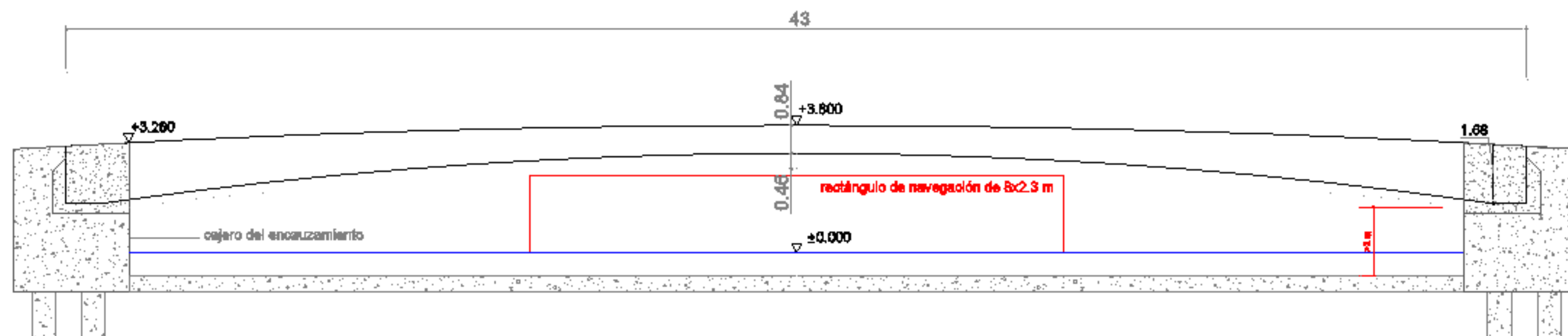


Figura 7. Propuesta B – Alzado lateral del tablero

4.2.1. Descripción general

Se trata de un puente viga de canto variable que salva una distancia entre apoyos o luz libre idéntica a la anterior: 42 metros. Corresponde a la propuesta más simple estructuralmente y que se adapta al entorno y permite economizar el conjunto. El problema se encuentra, como se menciona anteriormente, en que se halla en los límites dispuestos, como se representa en la figura 7, y podría recibir empujes del fluido o impacto de algún objeto flotante en caso de avenida.

4.2.1.1. Tablero

El tablero se propone de una estructura prefabricada de hormigón pretensado en cajón con una sola celda, rigidizado mediante diafragmas transversales de acero S355 J2. Estos diafragmas, de espesor igual a 10 mm, se colocarían cada 2,5 metros.

El canto se plantea variable entre 0,84 metros en el centro luz y 1,68 metros en los apoyos. De esta forma, se cumplen estrictamente las especificaciones estructurales, teniendo unas relaciones canto luz de 1/25 en los apoyos y 1/50 en el centro luz. El resto de dimensiones pueden consultarse en la figura 8 y figura 9.

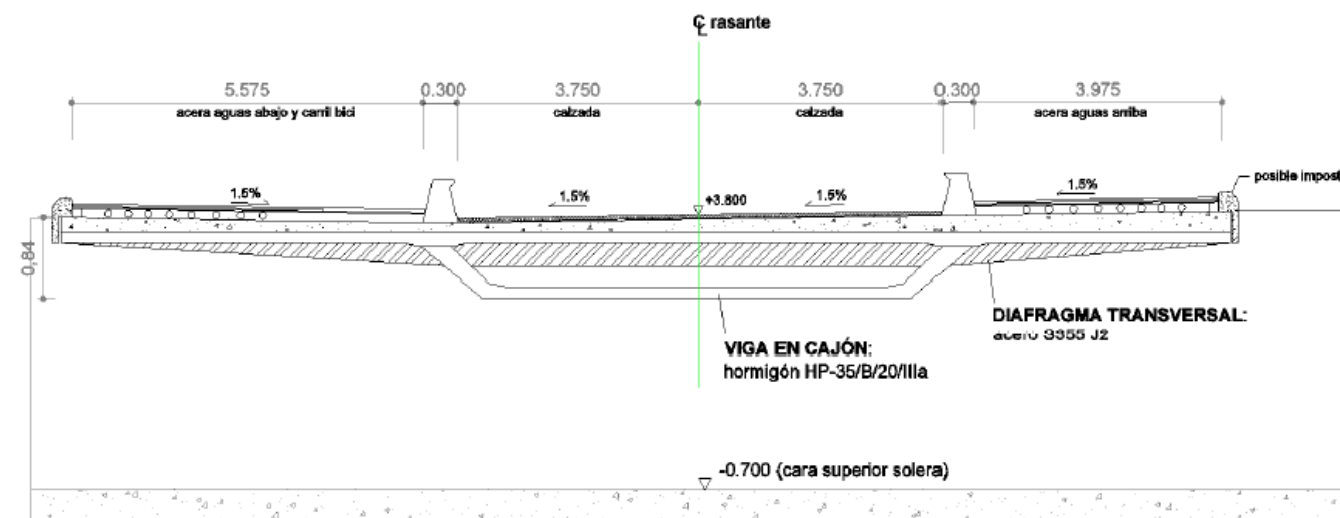


Figura 8. Propuesta B – Sección transversal del tablero en centro-luz

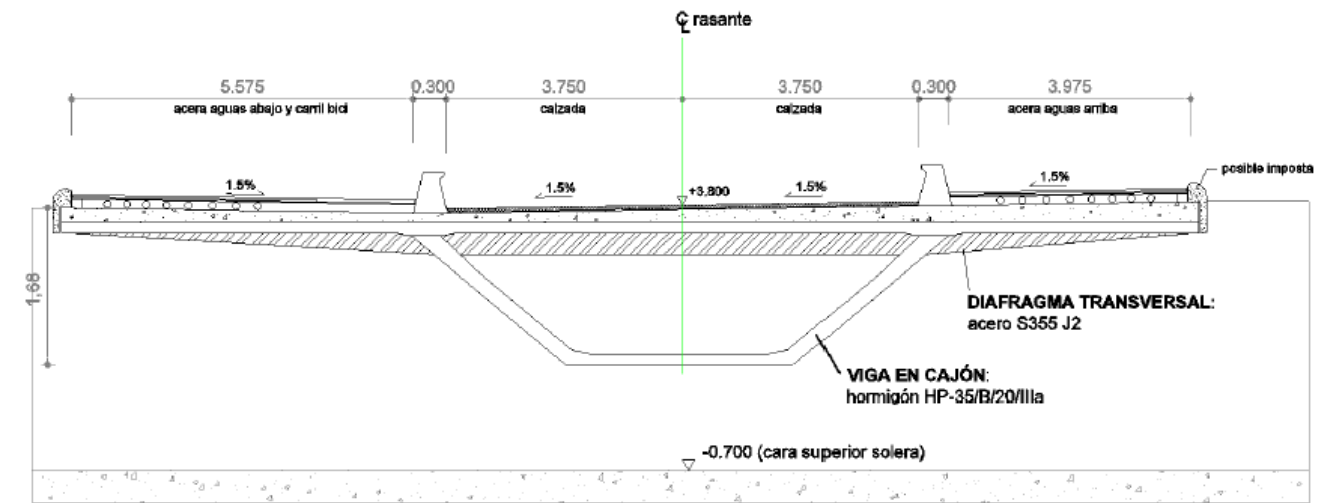


Figura 9. Propuesta B – Sección transversal del tablero en apoyos

4.2.1.2. Equipamientos y aceras

Las aceras se piensan macizas y a nivel, con conducciones embebidas para servicios. Se dispondrían barreras rígidas separadoras de la calzada y las zonas peatonales y de carril bici por razones de seguridad.

4.2.1.3. Materialización del empotramiento

Por otro lado, en los dos estribos se emplazarán tres líneas de apoyo con dos apoyos elásticos de neopreno zunchado por línea. Habrá una vertical en cada extremo que determinará la luz de 42 metros, así como dos horizontales en las aletas laterales, empleadas para garantizar una distribución estructural biempotrada.

4.3. Propuesta C: Puente atirantado

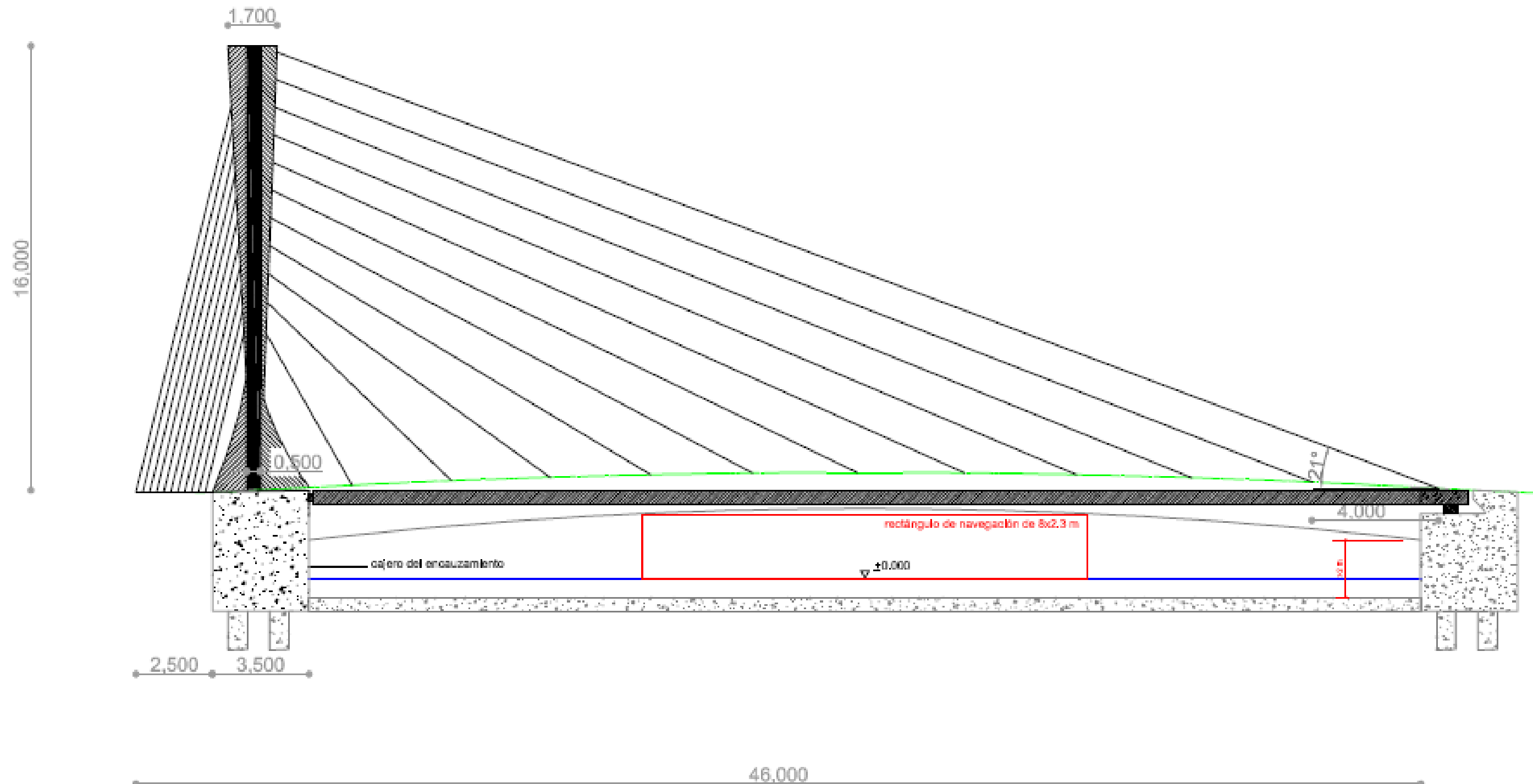


Figura 10. Propuesta C – Alzado lateral

4.3.1. Descripción general

Se propone una solución atirantada con una longitud de 43,5 metros desde la torre hasta el extremo opuesto, que salvaría la luz total del puente y 2,5 metros adicionales para anclar los tirantes de retenida, junto con una torre de 16 metros de altura.

4.3.1.1. Tirantes

El puente estaría constituido por 10 tirantes situados cada 4 metros, resultando en una relación canto - separación tirantes de 1/8. El primer tirante se encontraría separado del pilar 4,5 metros y el tirante más inclinado formaría 21 grados con la horizontal. Resulta en una esbeltez que cumple con las recomendaciones de condiciones geométricas óptimas para esta tipología de puente.

4.3.1.2. Torre

La altura de la torre queda definida por el tirante más inclinado, en este caso de 21 grados, que para los 40 metros de longitud resulta en una torre de 16 metros de altura.

4.3.1.3. Tablero

El tablero se propone de tipo mixto de canto constante, formado por una viga central y cuchillos metálicos de canto variable con lámina exterior anticorrosiva y losas de hormigón armado prefabricado para consolidar el tablero. Las dimensiones propuestas pueden consultarse en la figura 11.

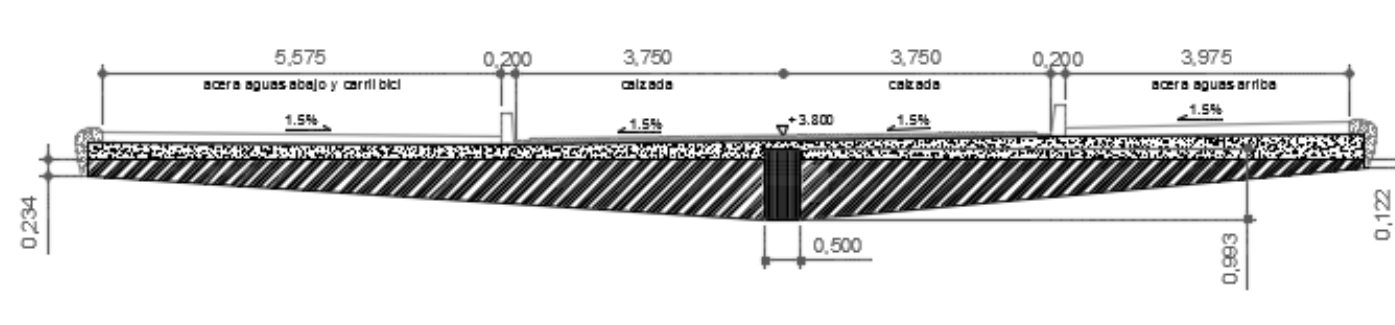


Figura 11 Propuesta C – Sección transversal del tablero

En la figura 12 puede observarse la disposición en planta de los elementos principales.

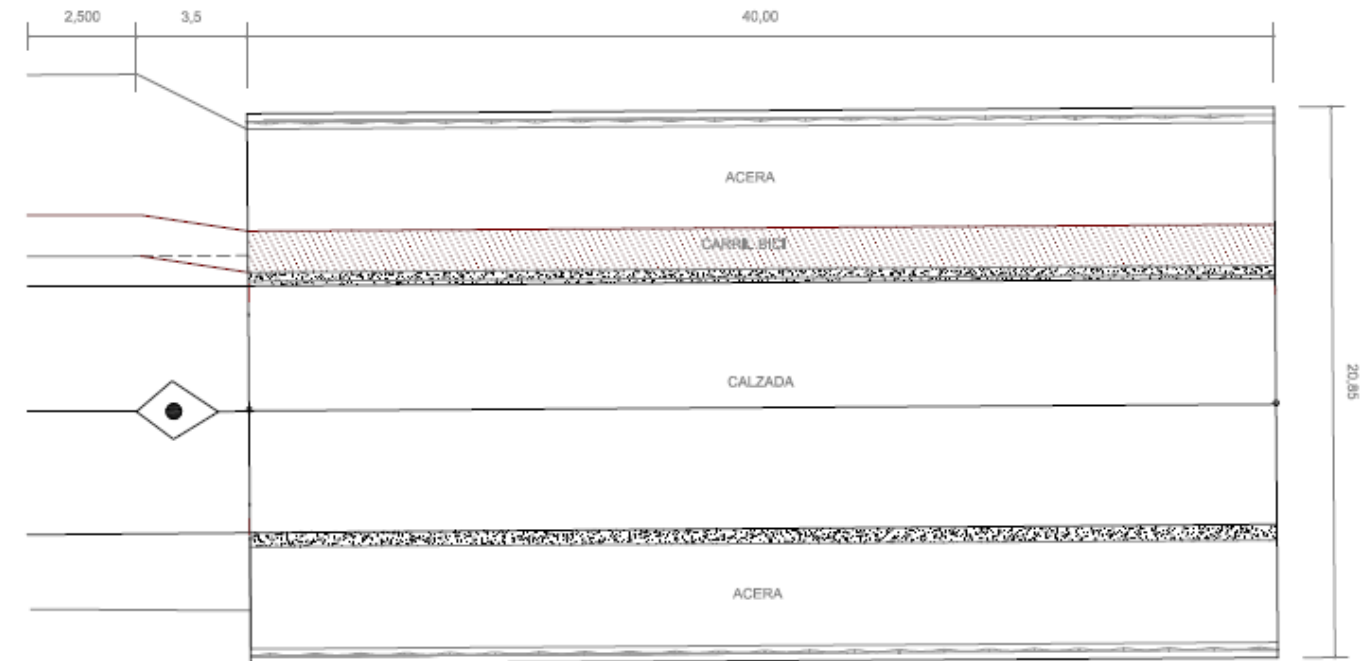


Figura 12. Propuesta C – Planta general

4.3.1.4. Equipamientos y aceras

La separación de la calzada con la zona peatonal y carril bici se realizará mediante muretes de protección al haberse planteado una acera a nivel. Se dispone de un neopreno zunchado para materializar un apoyo simple en el extremo derecho del tablero, tal y como se observa en la figura 10.

5. ANÁLISIS DE PROPUESTAS

5.1. Propuesta A: Arcos de sección triangular con cinco péndolas rígidas

Se pueden encontrar ejemplos similares de puentes de esta tipología estructural con las dimensiones establecidas que podrían servir de ayuda para una buena práctica constructiva, optimizando los procesos constructivos y, por lo tanto, economizando la ejecución de la obra.

Un arco con tablero inferior crea una forma estética, atractiva y discreta, al mismo tiempo que su construcción podría ser facilitada por ser una luz moderada que permite diferentes procesos constructivos a aplicar.

Se opta por una solución con dos arcos para rigidizar con dos vigas en el tablero y poder dar la resistencia necesaria sin llegar a importantes cantos, teniendo menores longitudes de vuelo en las aceras laterales, que puede economizar la solución y proporcionar una mayor esbeltez. Los dos arcos se materializan exentos para darle la mayor simplicidad posible a la obra y con forma triangular para mejorar su resistencia transversal a empujes de viento.

Cada arco consta sólo de 5 péndolas rígidas de un espesor sutil, evitando la opacidad en los laterales del puente para permitir vistas atractivas de la rambla y de la costa mientras se circule a través de la obra.

Al aportar belleza arquitectónica de una forma moderada se considera que se integra bien en el entorno, esperando entonces la aceptación por parte de la sociedad.

Por otra parte, esta alternativa tendría como inconveniente principal la dificultad de acceder a algunos puntos altos del arco para su mantenimiento.

Los puentes arcos contruidos salvan una gran variedad de luces, ya que esta tipología permite optimizar el trabajo de construcción para diferentes tamaños de puentes sin un trabajo excesivo en su ejecución.

5.2. Propuesta B: Puente viga de canto variable biempotrado

Este tipo de puente permite también vistas a los laterales sin ninguna obstrucción más que las barandillas. La luz a salvar se considera adecuada para su tipología y se pueden encontrar muchos puentes similares a este, que constituyen ejemplos de buena práctica estructural y que pueden servir como guía para una buena materialización del mismo permitiendo economizar en el proceso constructivo.

Su forma disminuye la complejidad constructiva al tener geometrías, simples y simétricas. Además, encaja en el emplazamiento urbano adaptándose conforme a las construcciones que lo rodean, y no conlleva a muchos gastos de mantenimiento.

Se propone como biempotrado para evitar tener la estructura resistente por encima del tablero, mejorando su percepción visual. La sección variable daría un aspecto más atractivo que cumpliría con todas las características exigidas, aunque encontrándose en el límite de estas.

Tiene como desventaja que la cota más baja del tablero se encuentra justo en el límite permitido, por lo que algún objeto flotante podría impactar contra el tablero o el mismo fluido ocasionar un empuje contra el puente en caso de una gran avenida. Esto se traduciría en un aumento del costo de la obra si fuera necesario disponer de

protecciones para el tablero. Al tener menos cantidad de elementos auxiliares, el costo por conservación y mantenimiento será notablemente menor.

Esta tipología se considera óptima para luz que debe salvar la obra, ya que tendrá la resistencia necesaria sin necesidad de conllevar a grandes cantos que disminuyan su esbeltez.

5.3. Propuesta C: Puente atirantado

No se encuentran soluciones similares a esta tipología de puente para las dimensiones de la obra a estudiar por lo que, al no tener antecedentes de buena práctica estructural, el proceso constructivo a diseñar podría resultar económicamente más elevado.

La geometría de esta solución estructural no sería la óptima para la luz a salvar, ya que se realizaría trabajos innecesarios en construir algunos elementos auxiliares que no se aprovecharían correctamente, como es la torre para el anclaje de tirantes. Además, tendría sólo una viga de rigidez en el eje central del puente que resultaría en la necesidad de disponer de jabalcones para los voladizos más potentes, aumentando el costo de esta solución.

La propuesta de puente atirantado resalta por su belleza arquitectónica, haciendo de este proyecto una obra atractiva que destacaría con respecto a sus alrededores, cumpliendo a la vez con todas las condiciones establecidas previamente.

No obstante, esta no sería una solución que se integre a su entorno. Al ser una obra urbana no se busca que sea destacable su apariencia, sino cumplir su función con un aspecto aceptable.

Esta tipología de puente implicaría además un mayor costo de mantenimiento por los diferentes elementos adicionales en su sistema resistente, que no se considera rentable para el tamaño de la obra y podría conllevar a rechazo social.

5.4. Comparación de alternativas

El análisis cualitativo realizado previamente a cada propuesta se acompañará de una comparación de las alternativas, asignando valores de 1 a 5 a diferentes características para contribuir con la elección de la solución a escoger.

Se considerará que todas las alternativas cumplen con las limitaciones de gálibo, drenaje, características del trazado, iluminación, etc. Por tanto, no se han incluido estos criterios en las respectivas tablas.

DURABILIDAD	ARCO	VIGA	ATIRANTADO
<i>Tipo de material</i>	4	4	4
<i>Uniones, juntas y discontinuidades</i>	4	4	3
<i>Durabilidad de elementos auxiliares</i>	4	4	4
Puntuación total	12	12	11

INTERACCIÓN CON EL ENTORNO	ARCO	VIGA	ATIRANTADO
Impacto medioambiental	3	3	3
Aceptación social	5	4	3
No bloqueo de vistas	4	5	2
Integración visual en el entorno presente	4	4	1
Puntuación total	16	16	8

ECONOMÍA	ARCO	VIGA	ATIRANTADO
Volumen de material	4	4	2
Simplicidad de la solución	4	5	2
Coste de mantenimiento	3	4	2
Sencillez del proceso constructivo	3	4	1
Puntuación total	14	17	7

PERCEPCIÓN VISUAL	ARCO	VIGA	ATIRANTADO
Belleza arquitectónica	5	1	5
Accesorios	4	3	3
Adecuación a las formas del entorno	4	4	2
Puntuación total	13	8	12

RESULTADO GLOBAL	ARCO	VIGA	ATIRANTADO
Durabilidad	12	12	11
Interacción con el entorno	16	16	8
Economía	14	17	7
Percepción visual	13	8	12
Puntuación total	55	53	38

Por tanto, la solución que mejor se adecua, de forma satisfactoria a todos los requisitos mencionados, es la correspondiente al arco triangular con cinco péndolas. La cual será desarrollada a lo largo de este trabajo.

6. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Como se ha mencionado anteriormente, la solución adoptada es la propuesta A. Ésta consiste en una solución arco tipo bow-string, conformada por dos arcos exentos de acero de sección triangular con cinco péndolas rígidas por arco (figura 13). La luz entre ejes de apoyo se propone de 42 metros, salvando los 40 metros necesarios de la rambla, añadiendo un metro a cada lado para el apoyo de vigas y arco en el estribo. La flecha es de aproximadamente 6 metros, lo que nos da una relación flecha-luz de 1/7.

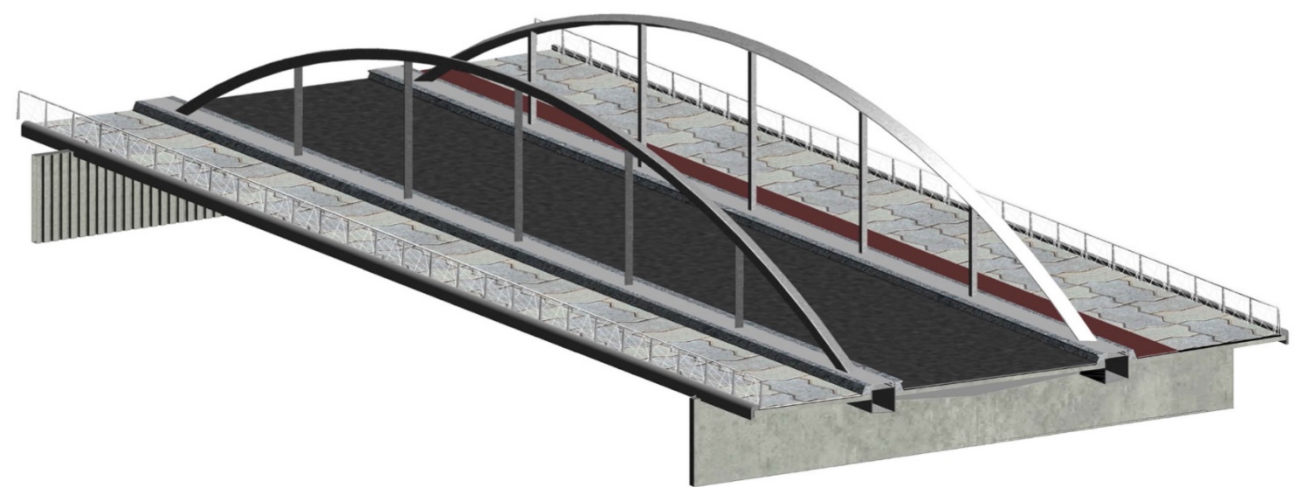


Figura 13 Propuesta A – Perspectiva 3D

El trazado en alzado sigue la rasante indicada por las limitaciones geométricas mencionadas anteriormente en el apartado 2.1, con cotas de entrada y salida a +3,26 m y el punto más alto del tablero, correspondiente al centro-luz, a cota +3,8 m. Por tanto, se tiene un bombeo longitudinal con una pendiente de $\pm 5,4\%$, siendo éste nulo en la sección de centro-luz (figura 14).

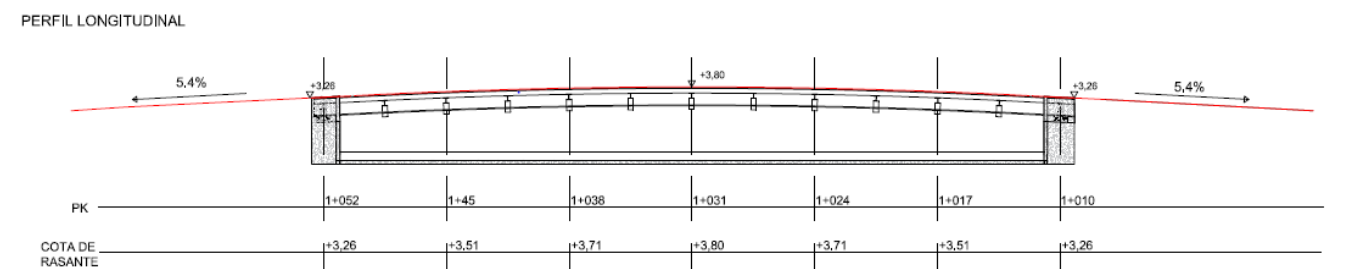


Figura 14 Propuesta A – Perfil longitudinal

En planta, el puente presenta un trazado recto que da continuidad a la avenida Papa Luna, tanto a la calzada como al carril bici contiguo a la avenida y a las aceras. Se mantiene el eje de la avenida Papa Luna a la entrada y salida de ésta, como se puede observar en la figura 15.

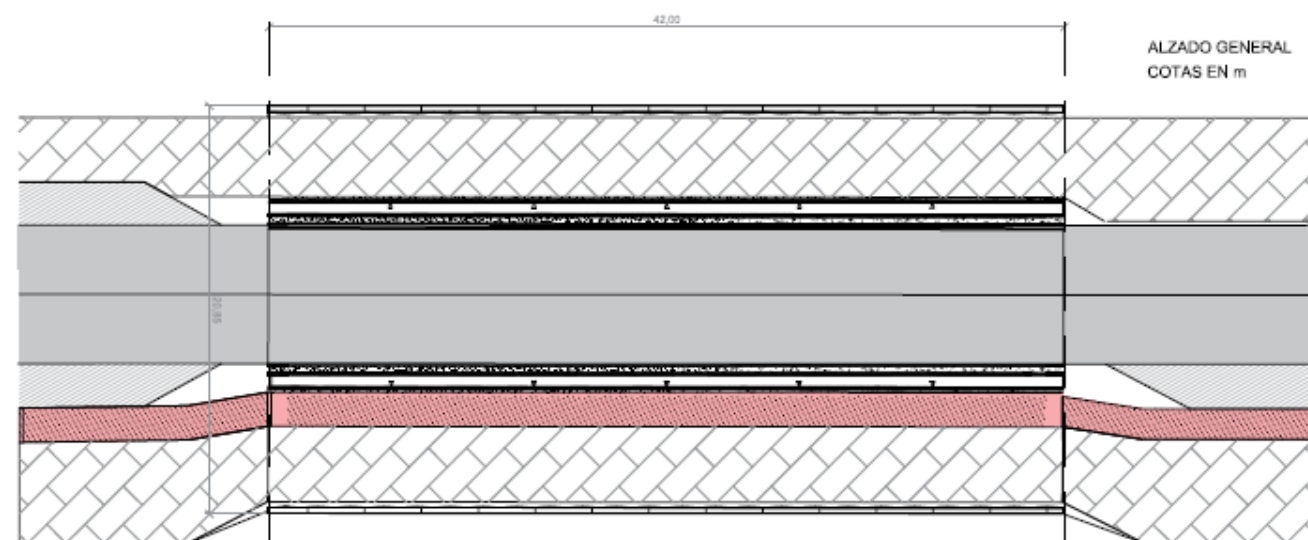


Figura 15. Propuesta A – Planta general

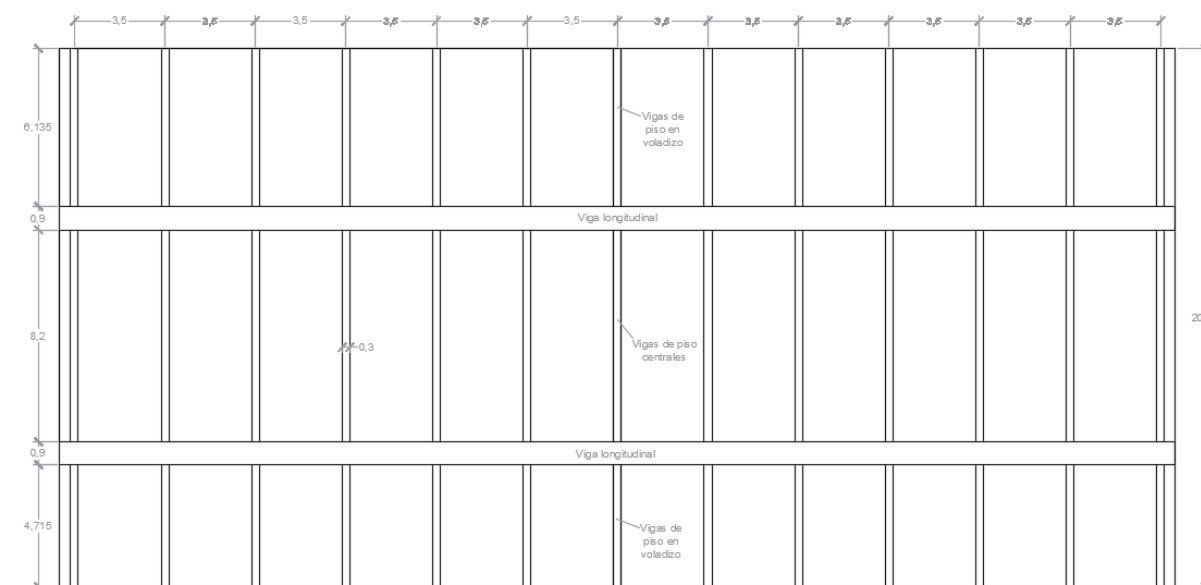


Figura 17. Propuesta A – Planta emparrillado vigas

El tablero es de tipología mixta, conformado por un emparrillado de dos vigas longitudinales de canto constante y longitud de 42 metros y vigas transversales de canto variable de acero cada 3,5 metros (figura 17), junto con losa colaborante de hormigón armado HA-30/F/15/IIIa de 27,5 cm de espesor, la cual será hormigonada sobre una chapa grecada de 1,2 mm de espesor y un canto o altura de greca de 10 cm.

La sección transversal del tablero tiene una anchura de valor constante 20,85 metros. Ésta se distribuye de manera que el ancho útil de la calzada es de 7,3 metros. Las aceras tienen un ancho de 3,975 m y el carril bici 1,60 metros. Por tanto, la sección transversal no es simétrica en cuanto a la vertical al tener uno de los voladizos más largo a causa del carril bici. Se respetan las limitaciones geométricas, al proponer pendientes transversales de $\pm 1,5\%$ (figura 16).

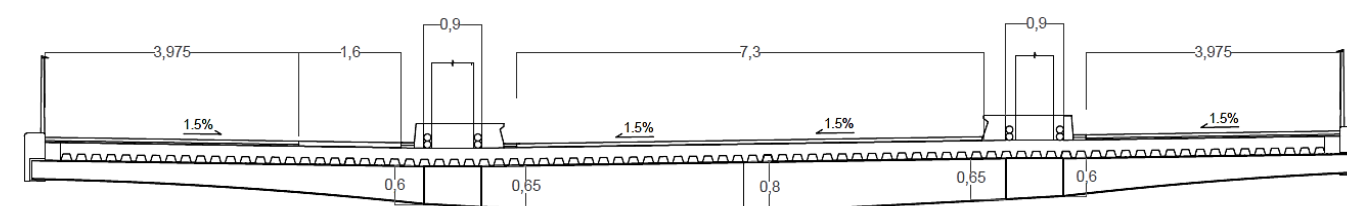


Figura 16. Propuesta A - Sección transversal tablero

Como se menciona anteriormente, los arcos se materializan exentos para dar mayor simplicidad tanto visual y constructiva a la obra. Para mitigar la falta de arriostramiento entre arcos, se propone para los arcos una forma triangular y de sección en cajón, que añaden rigidez a los mismos (figura 18).

Esta tipología de puente puede aportar un atractivo visual por su belleza arquitectónica y forma elegante, lo que lleva a considerar que se integra bien en el entorno y que espera aceptación por parte de la sociedad. Por otro lado, esta alternativa tendría como inconveniente principal la dificultad de acceder a algunos puntos altos del arco para realizar su mantenimiento.

6.1. Descripción de elementos resistentes

6.1.1. Arcos

Los arcos son los elementos resistente principales de la estructura. Se trata de dos arcos metálicos exentos de acero S 355 J2 que describen la forma de un arco de circunferencia de radio 35 metros con la siguiente directriz (suponiendo el eje en uno de los extremos del arco).

$$(x - 20,92)^2 + (y + 28,04)^2 = 35^2$$

La sección transversal de los arcos es una sección en cajón con forma triangular de base 0,9 metros y altura 0,65 metros con vértices redondeados. El espesor de las chapas de acero es de 40 mm (figura 18).

SECCIÓN TRANSVERSAL ARCO

Cotas en mm

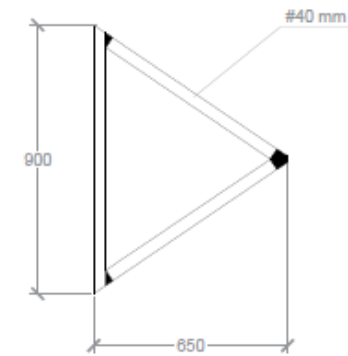


Figura 18. Propuesta A - Sección transversal del arco

6.1.2. Péndolas rígidas

Para la conexión del arco con el tablero se proponen cinco péndolas rígidas por arco, existiendo un total de diez péndolas de acero S 355 J2, las cuales se unen a las vigas longitudinales, con una separación entre péndolas de 7 metros. Éstas se disponen para transmitir una sensación de seguridad al usuario, evitando al mismo tiempo la opacidad a los laterales del puente y permitir así vistas atractivas de la rambla y de la costa mientras se circule a través de la estructura.

La longitud de las péndolas es variable, tal y como puede observarse en la figura 4 y figura 20. Se piensan con una sección transversal en cajón de forma triangular, para tener un aspecto concordante con el arco. Pueden consultarse las dimensiones en la figura 19.

SECCIÓN TRANSVERSAL PÉNDOLAS RÍGIDAS

Cotas en mm

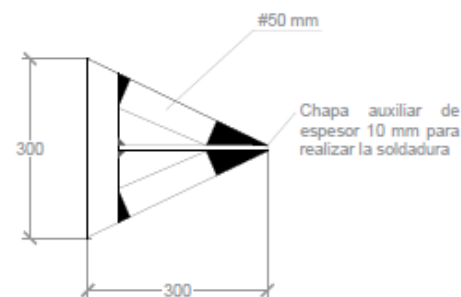


Figura 19 Propuesta A - Sección péndola rígida

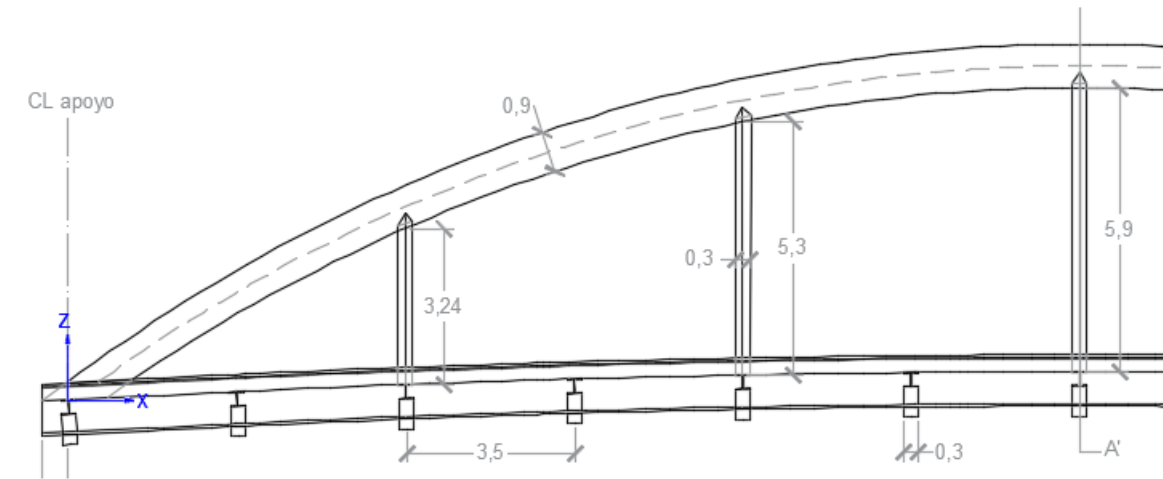


Figura. 20 Propuesta A - Detalle longitud de péndolas

6.1.3. Vigas longitudinales

El puente se propone con dos vigas longitudinales de acero S 355 J2 de canto constante. Estas se encontrarán separadas entre ejes una distancia de 9,1 metros, con una longitud total igual a la del puente 42 metros, tal y como se observa en la figura 17. A presentar el tablero un trazado recto en planta, sus vigas longitudinales también presentan el mismo trazado. Éstas se unen directamente al arco, actuando como tirantes del mismo, resistiendo a tracción los empujes horizontales que transmite el arco al terreno (aspecto característico de los puentes arco de tipología bow-string).

La sección transversal de las vigas longitudinales se propone en cajón con una anchura de 0,9 m y un canto de 0,65 m. El espesor de las alas es diferente en los paneles horizontales y los verticales, en los paneles superior e inferior el espesor es de 15 mm y en los paneles izquierdo y derecho el espesor es de 12 mm (figura 21). Éstas presentan también diafragmas transversales de 12 mm de espesor cada 3,5 m para proporcionar una mayor resistencia en los puntos de encuentro con las vigas transversales.

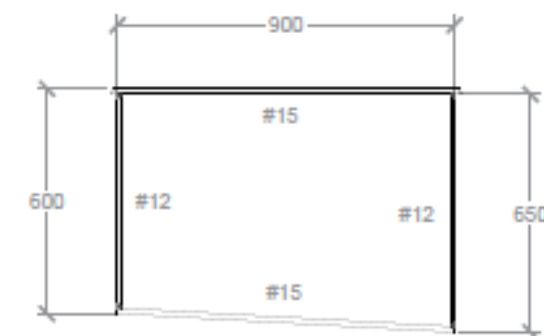


Figura 21 Propuesta A - Sección transversal viga longitudinal

6.1.4. Vigas transversales

Las vigas transversales se disponen cada 3,5 m, formando el emparrillado y uniéndose rígidamente a las vigas longitudinales. Se proponen dos tipos de vigas transversales para el emparrillado, ambas de canto variable a lo largo de su longitud: en la parte central se encuentran las vigas de piso entre las vigas longitudinales, las cuales varían su canto de forma lineal, entre 650 mm en los extremos de ésta (S3) y 800 mm en el centro-luz (S4), y las vigas de los extremos que se encuentran en voladizo, que poseen un canto variable, siguiendo la forma de un arco de circunferencia. Donde su máximo canto se tiene en el entronque con la viga longitudinal (S2), con 600 mm y en los extremos exteriores (S1) con 300 mm (figura 22).

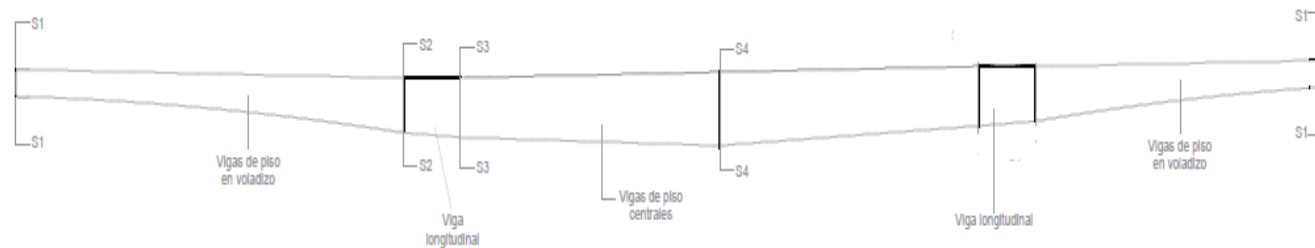


Figura 21. Propuesta A - Situación secciones transversales viga

La sección transversal de estas vigas se plantea con un perfil doble T, donde el espesor de las alas es de 15 milímetros y en el alma el espesor es de 12 milímetros, tal y como se representa en la figura 23. En el extremo, las vigas en voladizo quedan unidas entre sí por un perfil de borde con sección en C, de espesor 20 milímetros.

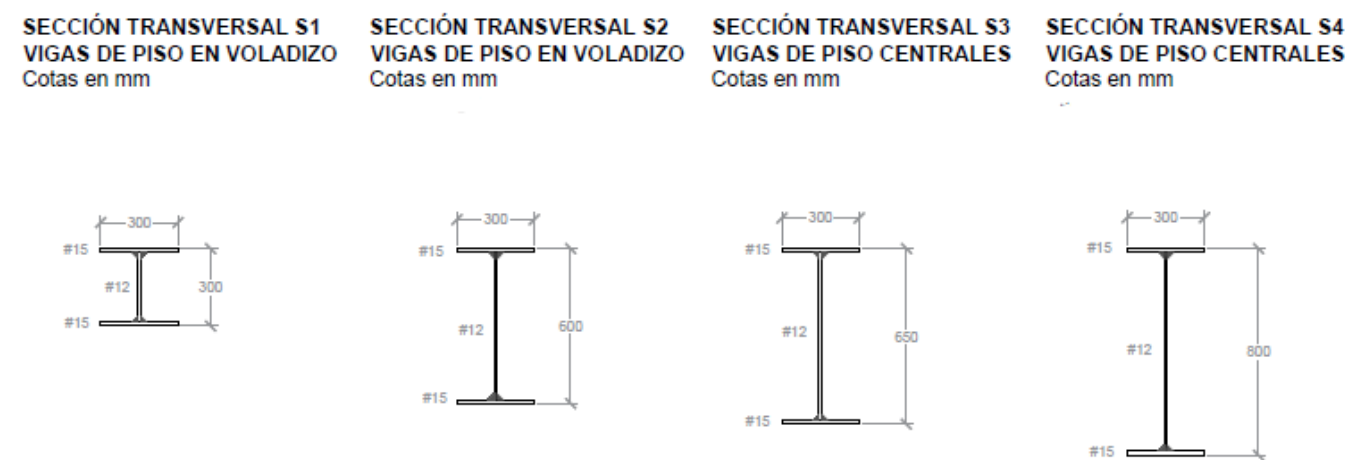


Figura 22. Secciones transversales vigas de piso

6.2. Equipamientos

6.2.1. Pavimentos

Por encima de la losa de hormigón armado se situarán los siguientes elementos, en orden ascendente:

- Capa de estanqueidad: por sencillez de ejecución se propone una capa de mástic asfáltico gruesa.
- Mortero de asiento: únicamente por debajo de la acera se verterá mortero de asiento, respetando la inclinación proporcionada por los cuchillos transversales.
- Pavimento de la acera: se compondrá de baldosas de granito color ceniza.
- Carril bici: por encima de la capa de estanqueidad una capa del producto correspondiente y con espolvoreado de arena para evitar el deslizamiento

Por encima de la calzada se situarán los siguientes elementos, en orden ascendente:

- Capa de estanqueidad: será idéntica a la colocada en la zona de aceras, con las mismas características de material y espesor.
- Firme: materializado mediante aglomerado asfáltico extendido en caliente.

6.2.2. Evacuación de aguas

Consistirá en tres franjas longitudinales de drenaje, siempre contiguas a los muretes separadores y distribuidas de forma que una corresponda a la calzada, en su parte de aguas abajo, y las otras dos recaerán a las aceras.

6.2.3. Iluminación

Consistirá en diez luminarias individuales situadas cada siete metros en la parte superior de cada péndola rígida. Por lo tanto, los puntos de luz describirán una trayectoria curva, siguiendo el arco y siempre conforme a las indicaciones del manual *Recomendaciones para la iluminación de carreteras y firmes*.

6.2.4. Barandillas

Se propone una altura de 1,2 metros para los montantes, con una sección máxima de 10 x 2 centímetros en la sección más baja y de 3,5 x 2 centímetros en la más alta. La separación entre montantes es de 1,75 m. El material a utilizar para estos será acero S 275 J2. Entre montantes se dispondrá un marco para protección de acero, que se unirá a estos mediante tornillos de cara plana M12C4.

La forma adoptada para el pasamanos será curva, siguiendo la ley de momentos de la carga asumida (una carga lineal horizontal repartida uniformemente de 1,5 kN/m, aplicada en el pasamanos). Presentará un diseño suave de la cara vista hacia el peatón que invita a apoyarse, formalizado con una elaboración de aluminio fundido que proporciona un color atractivo y duradero. El resto de dimensiones y la forma del pasamanos puede observarse en la figura 24, figura 25, figura 26 y figura 27, en las cuales, las dimensiones se encuentran en centímetros.

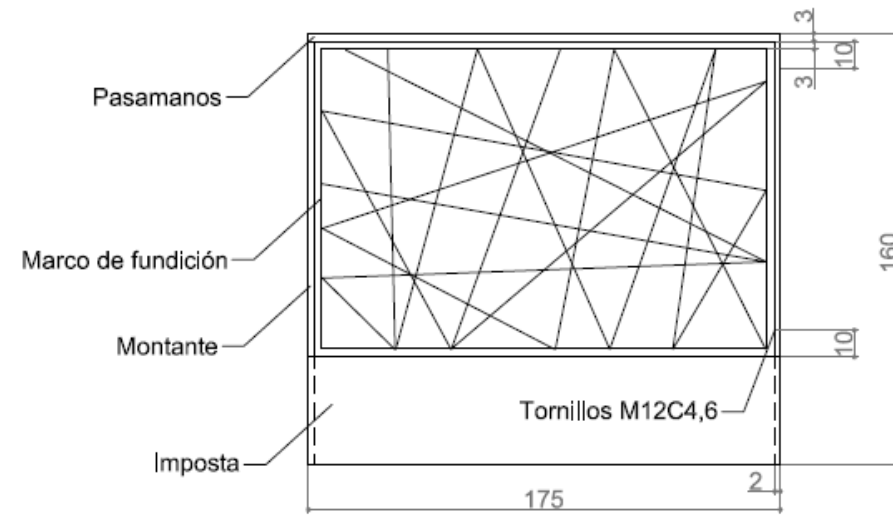


Figura 23. Propuesta A - Alzado de barandila

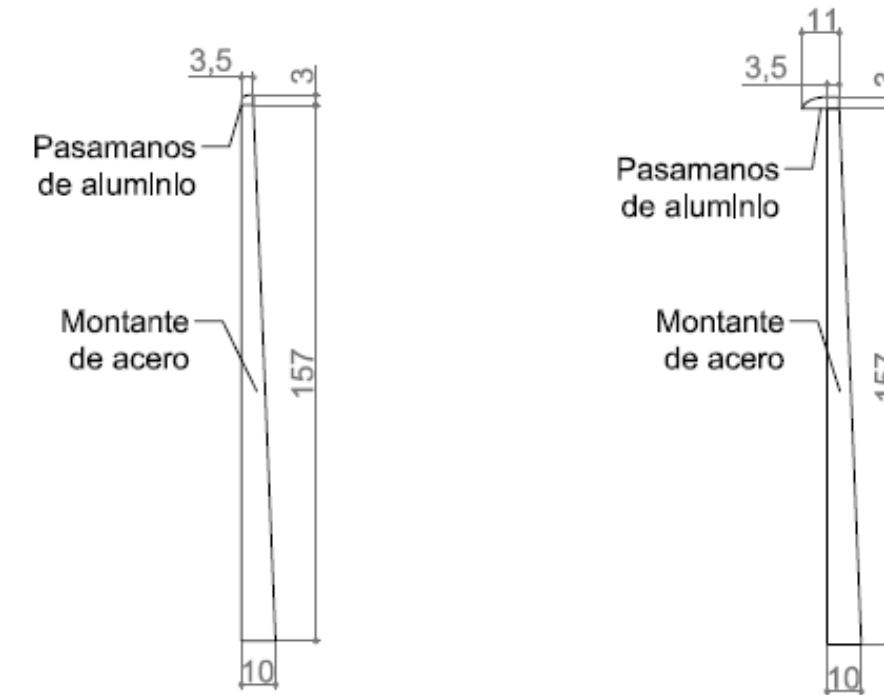


Figura 25. Propuesta A - Secciones barandillas

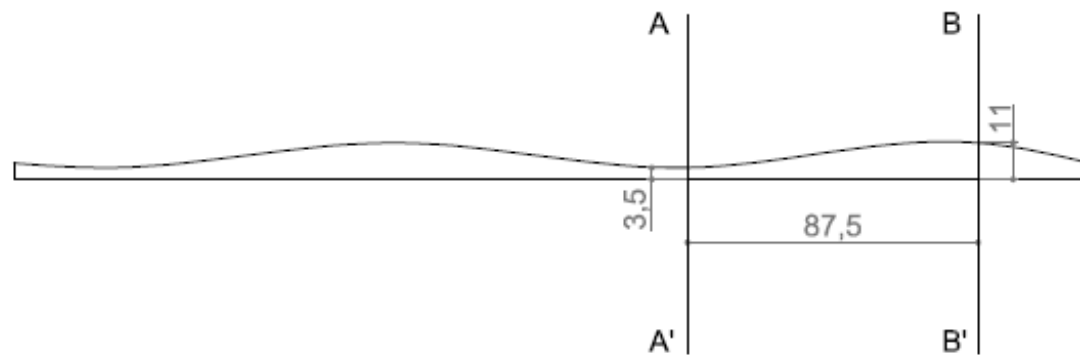


Figura 24. Propuesta A - Planta barandillas

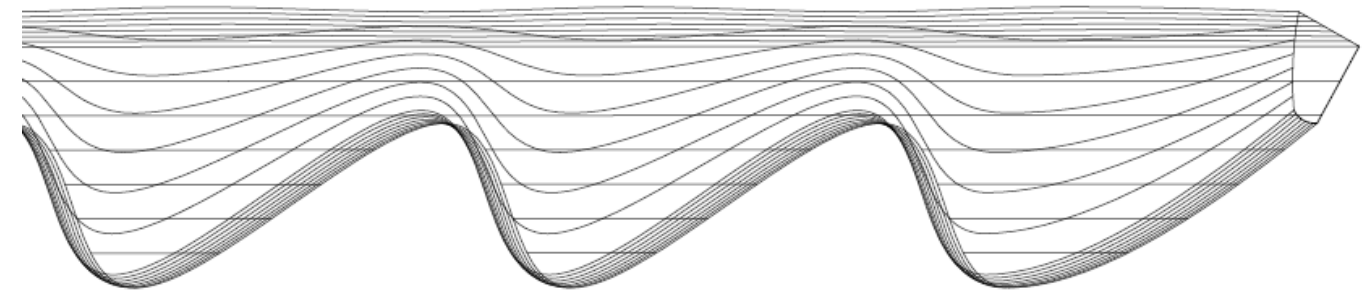


Figura 26. Propuesta A - Perspectiva superior 3D pasamanos



7. CONCLUSIONES

Se estudian tres alternativas para el proyecto del puente, sobre el encauzamiento de la Rambla de Alcalá ubicada en Benicarló (Castellón).

La solución adoptada ha sido obtenida mediante análisis y comparación de las diferentes opciones, donde han sido valorados y puntuados los aspectos que pueden ser evaluados por su forma geométrica y tipología constructiva tales como durabilidad, economía, percepción visual y su interacción con el entorno.

La máxima puntuación otorgada es de 5 puntos, y la mínima de 1 punto para cada uno de los aspectos considerados. No se ha adoptado ponderación diferencial para cada criterio.

Acogiéndonos al análisis inicial realizado y apoyándonos en los resultados obtenidos en el proceso comparativo realizado, se llega a la conclusión de que la alternativa más adecuada es la Propuesta A: arcos de sección triangular con cinco péndolas rígidas. Por tanto, ésta es la que se ha escogido como solución a desarrollar en el proyecto básico.

8. REFERENCIAS

- España. Instrucción de Hormigón Estructural. *BOE*, 18 de julio de 2008.
- Dirección general de carreteras (1982). *Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera*. M-25.538-1584. Madrid: Secretaria general técnica servicio de publicaciones.
- Dirección general de carreteras (2015). *Recomendaciones para la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles*. Orden circular 36/2015. Madrid: Ministerio de Fomento.