

Anejo Nº3:

ESTUDIO DE SOLUCIONES



ÍNDICE DEL DOCUMENTO

1	OBJETO DEL PRESENTE ANEJO	1
1.1	ALCANCE DEL ESTUDIO	1
2	ANTECEDENTES Y CONTEXTO DE LA OBRA.....	1
3	PROGRAMA DE NECESIDADES	2
3.1	LIMITACIONES GEOMÉTRICAS	2
3.1.1	Trazado en planta	2
3.1.2	Trazado en alzado	2
3.1.3	Sección transversal	3
3.2	CLIMATOLOGÍA.....	3
3.3	HIDRÁULICA.....	3
3.4	MATERIALES ESTRUCTURALES Y TIPOLOGÍAS.....	3
3.5	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA.....	3
4	PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA.....	3
4.1	CUADRO TIPOLOGICO	3
4.2	CONCLUSIONES.....	4
5	DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS	4
5.1	ALTERNATIVA Nº1: VIGAS EN DOBLE T DE HORMIGÓN PRETENSADO	5
5.2	ALTERNATIVA Nº2: VIGAS EN ARTESA DE HORMIGÓN PRETENSADO.....	6
5.3	ALTERNATIVA Nº3: LOSA ALIGERADA DE HORMIGÓN PRETENSADO	7
5.4	ALTERNATIVA Nº4: TABLERO MIXTO CON VIGA METÁLICA DE SECCIÓN EN CAJÓN.....	8
6	CRITERIOS DE SELECCIÓN	9
6.1	CRITERIOS SOCIOECONÓMICOS	9
6.1.1	Coste económico.....	9
6.1.2	Aceptación social	9
6.2	CRITERIOS ESTÉTICOS	9
6.2.1	Consideraciones estéticas.....	9
6.2.2	Integración en el entorno	10
6.3	CRITERIOS CONSTRUCTIVOS	10
6.3.1	Facilidad de la actuación.....	10
6.3.2	Duración de las obras.....	10
6.4	CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO	10
6.5	CRITERIO ESTRUCTURAL	11
6.6	RESUMEN DE LA VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS	11
7	ESTUDIO COMPARATIVO	11
8	CONCLUSIONES	12

1 Objeto del presente anejo

En el presente anejo se describen distintas soluciones planteadas para el puente sobre el cauce del Río Seco incluido en el este proyecto de construcción, definiendo su sistema resistente, los detalles relevantes de cada opción, y las diferencias que presentan entre ellas para posteriormente ser evaluadas.

Se describe el método de evaluación empleado, se someten las alternativas a un proceso de elección comparativa y finalmente se extrae de dicho proceso, a modo de conclusión, la solución adoptada.

1.1 Alcance del estudio

Se plantean y analizan distintas soluciones para el puente, proponiendo y evaluando los diseños planteados mediante una serie de criterios impuestos con el objetivo de encontrar la solución que mejor se adapte a los condicionantes y requisitos del proyecto.

Las diferentes alternativas se plantearán a nivel descriptivo, evaluando los criterios mediante la comparativa con estructuras de características similares (tipología, luces...) y el conocimiento de su funcionamiento estructural.

2 Antecedentes y contexto de la obra

El campus de la Universidad Jaime I de Castellón y el polígono de viviendas “Riu Sec”, creado junto a la misma y promovido por el Instituto Valenciano de la Vivienda (IVVSA), se encuentran actualmente separados del resto de la ciudad por el cauce del Río Seco, y desde su diseño, el planeamiento urbanístico ha contemplado su conexión con el resto de la ciudad.

El Río Seco bordea la zona por el sur y por el este, y debido a ello en el planeamiento se consideró la necesidad de establecer puentes sobre el cauce del río para su óptima conexión urbana.



Figura 1. Campus UJI, polígono de viviendas “Riu Sec” y cauce del Río Seco.

Esta conexión se realizaba inicialmente a través del puente de la carretera Borriol. Más tarde, con el proyecto “Urban”, se construyó el puente que conecta la Avenida Sos Baynat con la Zona Universitaria en la prolongación de la cuadra de “los cubos”. Años después, la construcción del TRAM propició la ejecución del puente más representativo, el que se sitúa sobre el eje vertebrador Grao-Universidad.

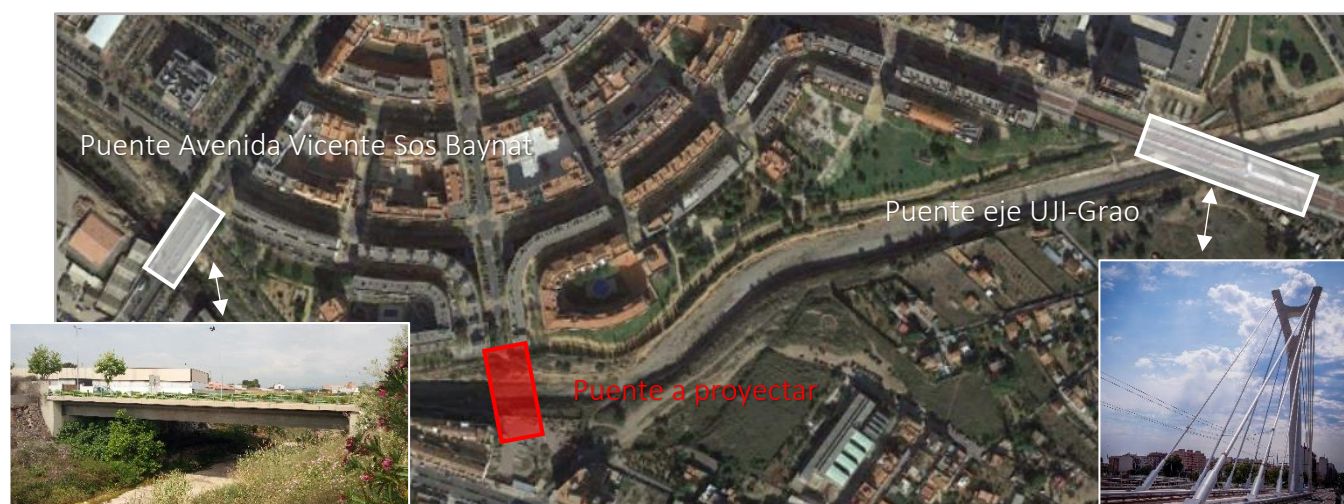


Figura 2. Puentes actualmente construidos sobre el Río Seco en la zona universitaria (en blanco) y puente a construir (en rojo).

En la actualidad resta por construir el puente que, por el sureste, conectará la zona universitaria y el polígono “Riu Sec” con la zona de la Avenida Alcora, a la altura de la cuadra del Saboner.

Es de gran interés para la ciudad de Castellón de la Plana la construcción de dicha conexión urbana, que además de ayudar de forma importante a la configuración del barrio, facilitará la mutua disposición de servicios públicos y equipamientos.

3 Programa de necesidades

A continuación, se describen los condicionantes que se deben tener en cuenta en nuestro estudio de soluciones. Se detallarán y comentarán una por una todas las necesidades, condiciones y limitaciones existentes que puedan afectar en el proceso de toma de decisiones.

3.1 Limitaciones geométricas

Existen una serie de limitaciones que debe cumplir la estructura a diseñar, en alzado, planta y sección transversal, pudiendo destacar (como veremos a continuación) la importancia de las limitaciones en alzado, ya que el puente salva el cauce de un río.

Estas limitaciones geométricas se detallan a continuación.

3.1.1 Trazado en planta

El trazado en planta será recto, siguiendo las definiciones del planeamiento vigente. Queda definido en la siguiente figura:

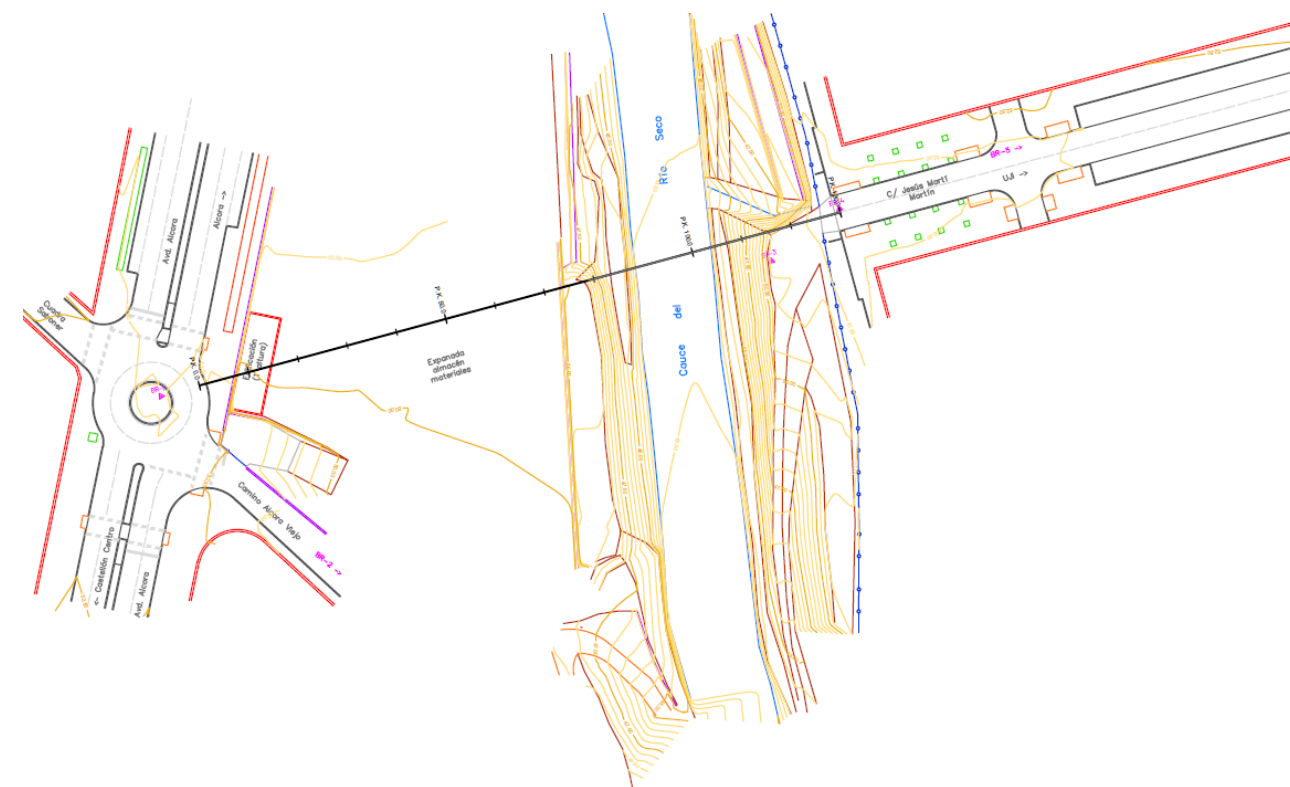


Figura 3. Trazado en planta del tramo de calle a ejecutar (figura extraída del Plano nº3: Planta general de actuaciones).

3.1.2 Trazado en alzado

La limitación más importante que presenta el trazado en alzado es la de no interferir en el curso del río. El caudal de proyecto queda definido en los datos de partida, ya que, como se puede consultar en el Anejo nº5: *Justificación hidráulica de la obra de paso*, se emplea el calculado por el PATRICOVA para el encauzamiento diseñado aguas abajo en el mismo río.

El trazado diseñado tiene en cuenta esta limitación, además de las siguientes:

- 1) Se debe mantener la cota en los puntos de conexión con las calles ya ejecutadas, siendo esta cota un metro más elevada aproximadamente en la conexión con la Avenida Alcora que en el otro extremo.
- 2) Las pendientes existentes tanto en la rotonda de la Avenida Alcora, como en el tramo existente de la Calle Jesús Martí Martín. Dichas pendientes son de -0,8% y 0,6% respectivamente.
- 3) El tramo de rasante sobre el puente se ha mantenido recto para todas las opciones planteadas, y lo más horizontal posible, con una pendiente longitudinal de -0.2% únicamente para facilitar la evacuación de las aguas.

Teniendo todos estos factores en cuenta, el trazado propuesto ha sido aquel que reduce el movimiento de tierras y por lo tanto también costes. Se han seguido para su diseño las *Recomendaciones para el proyecto y diseño del viario urbano*, del Ministerio de Fomento.

Para el enlace de todas las pendientes se plantean tres acuerdos en total. En el tramo entre la rotonda existente de la Avenida de Alcora y el inicio del puente dos acuerdos, un primer acuerdo cóncavo y otro convexo, que permiten una transición suave de la pendiente en la rotonda (-0.8%) a la pendiente en el puente (-0.2%). Entre el puente y la Calle Jesús Martí Martín se diseña un acuerdo cóncavo para permitir la transición entre la pendiente del puente (-0.2%) y la de la calle ya ejecutada (0.6%). En la siguiente figura se puede observar el trazado en alzado propuesto.

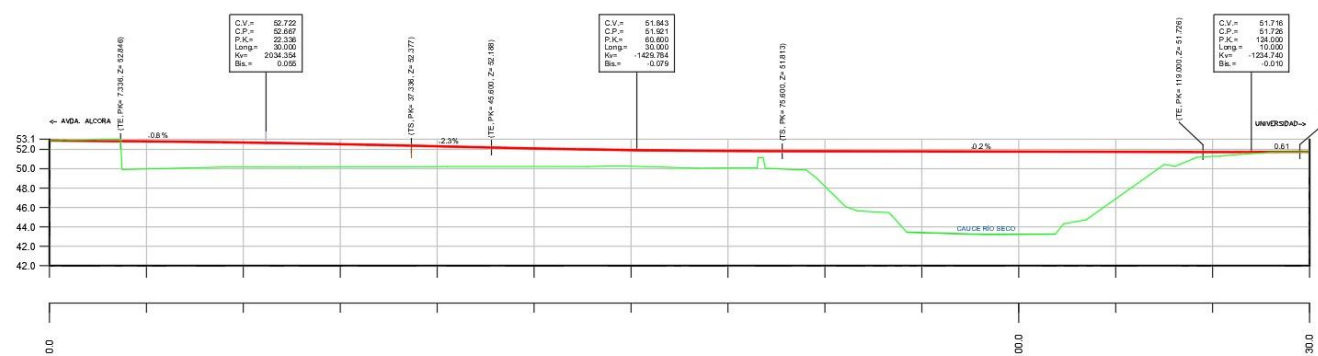


Figura 4. Rasante de la calzada (figura extraída del Plano nº4: Definición geométrica del trazado).

3.1.3 Sección transversal

La sección transversal debe constar de una calzada de doble sentido (con un carril por sentido), de 3,5 metros de ancho, siendo por tanto de un ancho total de 7 metros (de las mismas dimensiones que el resto de calle ya ejecutado).

En ambos lados de la calzada se dispondrán aceras de 3 metros de ancho. El ancho total es de 14 metros, a los que se les añadirá la imposta a definir en ambos lados.

Para la recogida de las aguas se le proporciona bombeo transversal tanto a calzadas como a aceras, con una pendiente de 2% en las primeras y del 1% en las segundas.

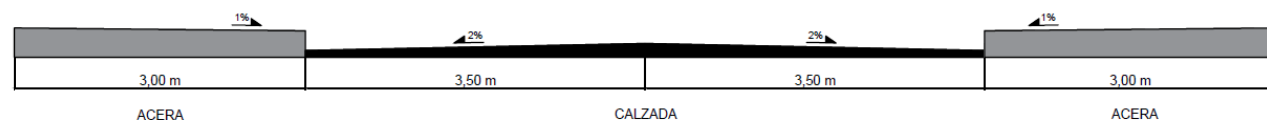


Figura 5. Esquema de distribución de la sección transversal.

3.2 Climatología

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, el clima de Castellón de la Plana es en general semiárido frío (BSk), si bien está muy cerca del límite con el clima Mediterráneo (Csa). La temperatura media anual es de unos 17,5 °C. Castellón posee un clima muy benigno, sin temperaturas extremas, sus valores medios oscilan entre los 10.4 °C de enero y los 25.0 °C de agosto. De este modo los meses más fríos son enero y febrero, y los más calurosos mayo, junio y julio.

Las precipitaciones anuales son superiores a los 442 mm, con mínimos muy marcados en verano (tres meses secos, de junio a agosto), y máximos en los meses de otoño (de septiembre a noviembre, por el efecto del fenómeno meteorológico denominado como gota fría, ya que el clima mediterráneo también es un clima con lluvias estacionales).

3.3 Hidráulica

Las limitaciones hidráulicas están recogidas en el Anejo nº5: Justificación hidráulica de la obra de paso. Estos vienen impuestos por la Confederación Hidrográfica del Júcar, como se puede consultar en el mencionado Anejo. Se determinará que la luz libre a salvar debe ser de, al menos, 40 metros, ya que no se puede modificar la sección del cauce.

3.4 Materiales estructurales y tipologías

La selección de los materiales estructurales es libre, pero siempre prestando especial atención a la durabilidad y mantenimiento futuro. La tipología es también libre.

3.5 Geología y Geotecnia

Las limitaciones geotécnicas están indicadas en el Anejo nº4: Estudio Geológico-Geotécnico. Debido a la tipología de los materiales y de la obra a proyectar, se podrá comprobar que no es necesaria una cimentación profunda.

4 Planteamiento general del problema

En este apartado del anejo se analizan las distintas posibilidades existentes en cuanto a materiales y tipologías que se pueden desarrollar como solución al problema.

En cuanto al trazado, se han comentado las limitaciones existentes en el apartado anterior, tanto en planta como en alzado, y como se puede apreciar, el margen para las variaciones es limitado. No se considera necesario por tanto incluir en el estudio las posibles variaciones en cuanto al trazado, centrando este apartado a la elección de la tipología estructural y de los materiales a emplear en la obra de paso.

4.1 Cuadro tipológico

La luz libre del puente, teniendo en cuenta las limitaciones comentadas en el apartado anterior, deberá ser de, al menos, 40 metros, pudiendo aumentarse debido a no disponer de mayores limitaciones.

En la siguiente tabla se resumen las distintas posibilidades tipológicas que mejor pueden adaptarse a este proyecto, y que se han tenido en cuenta a la hora de plantear las alternativas. De ella se han omitido aquellas que supondrían la disposición de pilas dentro del cauce.

Tampoco se considerarán alternativas de carácter singular, ya que por luces no se requieren y una solución de estas características incrementaría en gran medida los costes de ejecución y los de mantenimiento, así como los plazos de construcción.

Tipologías	
Hormigón pretensado	
Tramos simples de vigas de hormigón pretensado	Vigas en T
	Vigas en doble T
	Vigas en artesa
Acero	
Secciones de acero	Alma llena Cajón
Vigas trianguladas sobre calzada	

Tabla 1. Cuadro tipológico de aplicación a este proyecto (Realizado a través del análisis de estructuras de similares características).

Encontramos dos grupos diferenciados en esta tabla, definidos por el material a emplear: estructuras de acero y estructuras de hormigón pretensado. Se descarta el uso de hormigón armado debido a la importante luz a salvar.

Para este estudio de soluciones se han definido tres alternativas distintas con hormigón pretensado y una con acero, las cuales se desarrollarán en los siguientes apartados.

4.2 Conclusiones

Teniendo en cuenta todo lo mencionado en apartados anteriores, se han planteado una serie de alternativas en cuanto al diseño de la estructura resistente:

- Alternativa nº1: Vigas en doble T de hormigón pretensado.
- Alternativa nº2: Vigas en artesa de hormigón pretensado.
- Alternativa nº3: Losa aligerada de hormigón pretensado.
- Alternativa nº4: Tablero mixto con viga metálica de sección en cajón.

En el siguiente apartado se desarrolla cada una de las alternativas.

5 Descripción de las alternativas propuestas

Como se ha expuesto anteriormente, el alcance en cuanto a la definición de cada solución es únicamente conceptual. Se proponen soluciones cuyas dimensiones están basadas en obras de luces y características similares, para más adelante en este proyecto desarrollar plenamente la solución adoptada, optimizándola lo máximo posible.

5.1 Alternativa nº1: Vigas en doble T de hormigón pretensado

En esta primera alternativa se plantea la solución mediante un tablero formado por una serie de vigas de hormigón pretensado en doble T, sobre las que se ejecutará una losa hormigonada "in situ".

En la siguiente figura se puede ver una representación en 3D de la alternativa propuesta.

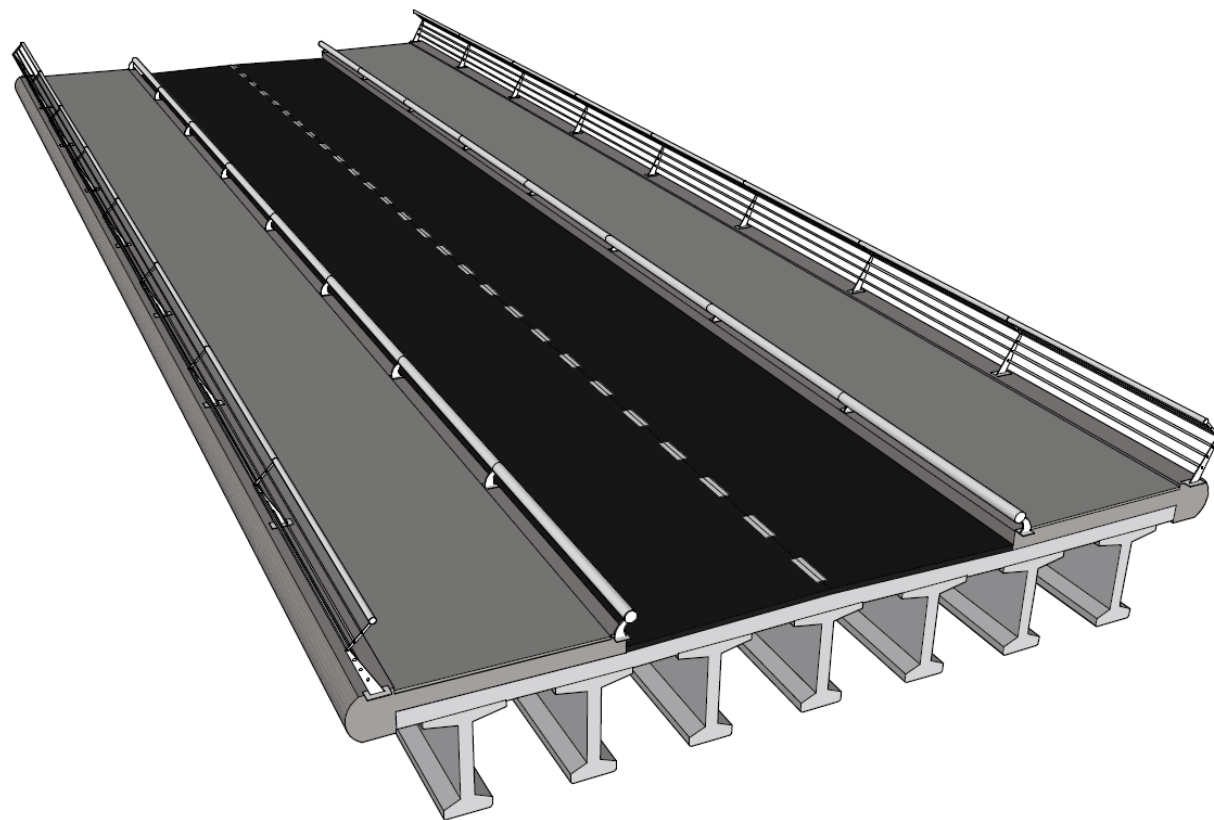


Figura 6. Representación en 3D de la Alternativa 1.

La alternativa se ha prediseñado con siete vigas separadas dos metros aproximadamente. Tienen una longitud total de 42,5 metros (41,50 m entre apoyos), y estarán simplemente apoyadas en los estribos.

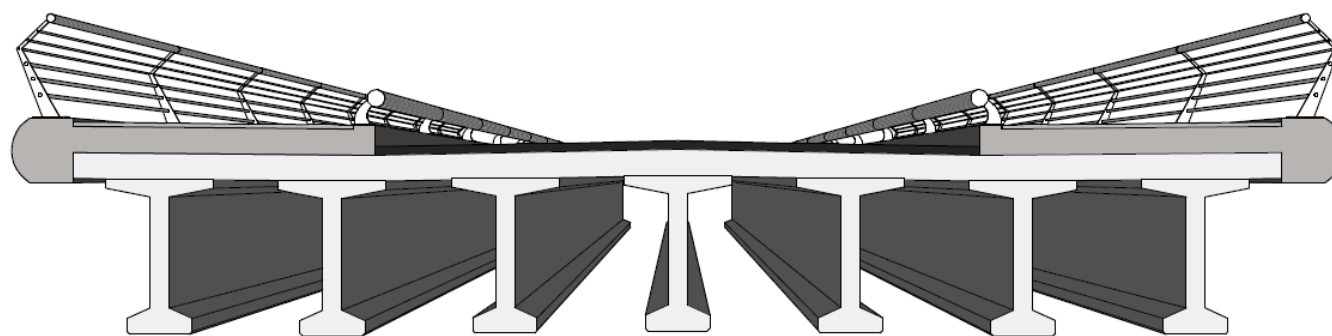


Figura 7. Sección transversal de la Alternativa 1.

Cabe destacar que tanto el número de vigas como su separación y canto han sido estimados, como se ha comentado anteriormente, a partir de estructuras de características similares. En caso de optar por esta alternativa, se optimizarán las dimensiones a partir de un cálculo estructural preciso.

Sobre las vigas apoya una losa de hormigón armado de 25 centímetros de espesor, ejecutada in situ sobre prelosas pretensadas.

Además, como el resto de las alternativas que se describen a continuación, se dispone una barandilla metálica a los lados exteriores de las aceras, y una barrera de seguridad como separación de las calzadas y la acera.

Los equipamientos del puente se definirán con mayor nivel de detalle en los siguientes anejos para la solución escogida.

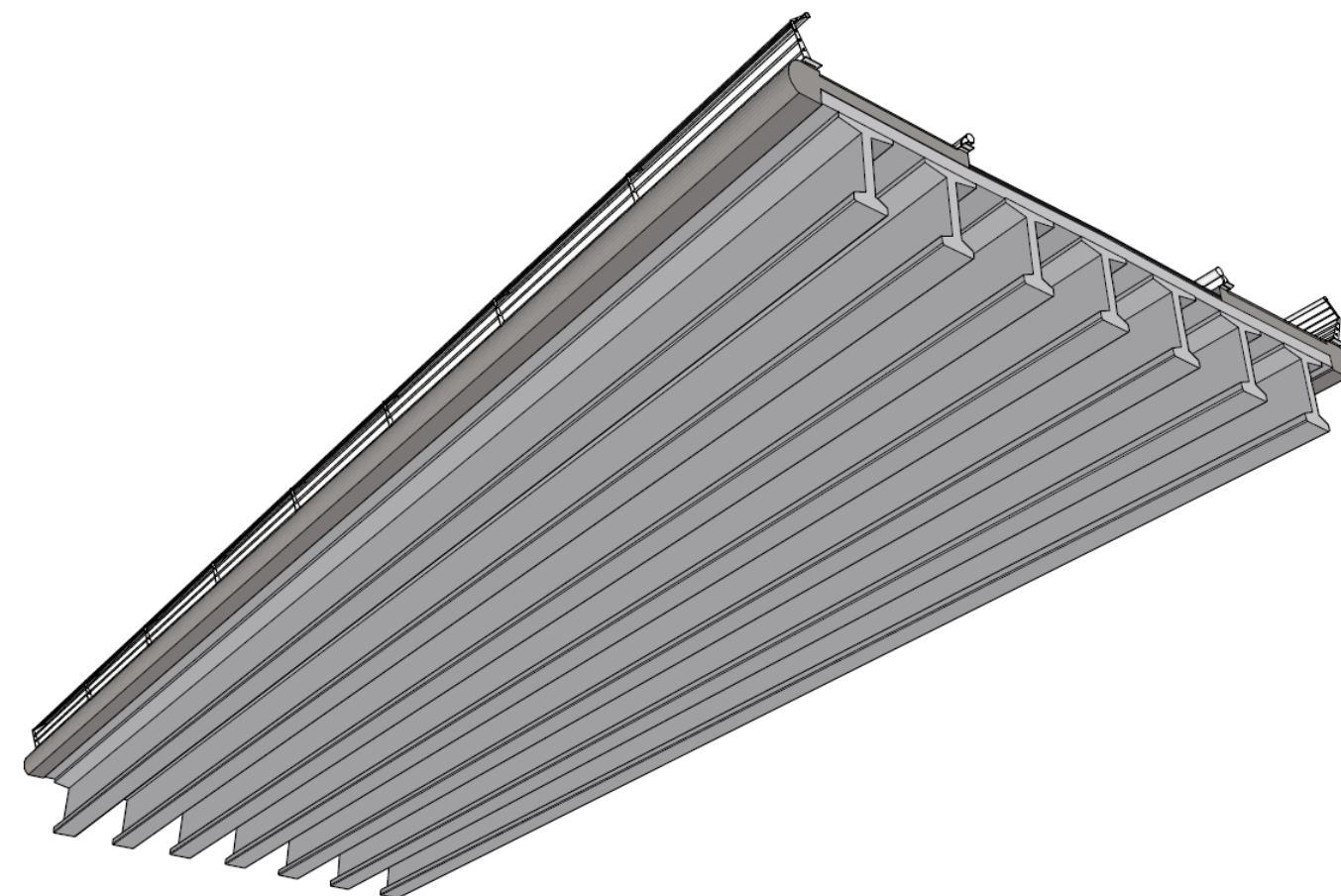


Figura 8. Vista inferior del tablero de la Alternativa 1.

5.2 Alternativa nº2: Vigas en artesa de hormigón pretensado

De la misma forma que en el caso anterior, se plantea una solución de hormigón pretensado, con un tablero forado en este caso por vigas en artesa, sobre las que se ejecutará una losa hormigonada “in situ” sobre prelosas pretensadas.

En este caso se proponen tres vigas, con una altura de aproximadamente dos metros y, como en el caso anterior, una longitud total de 42,5 metros y simplemente apoyadas en los estribos. El ancho de las vigas es, en su parte superior, de unos 3,5 metros, y de 1,75 en la parte inferior, y tienen un espesor de unos 15 centímetros. Además, se encuentran separadas a una distancia entre ejes de viga de 4,5 metros.

Como en el caso anterior, el número de vigas y sus dimensiones se optimizarán en caso de escoger esta alternativa.

En la siguiente figura se puede ver una vista en 3D de la segunda alternativa.

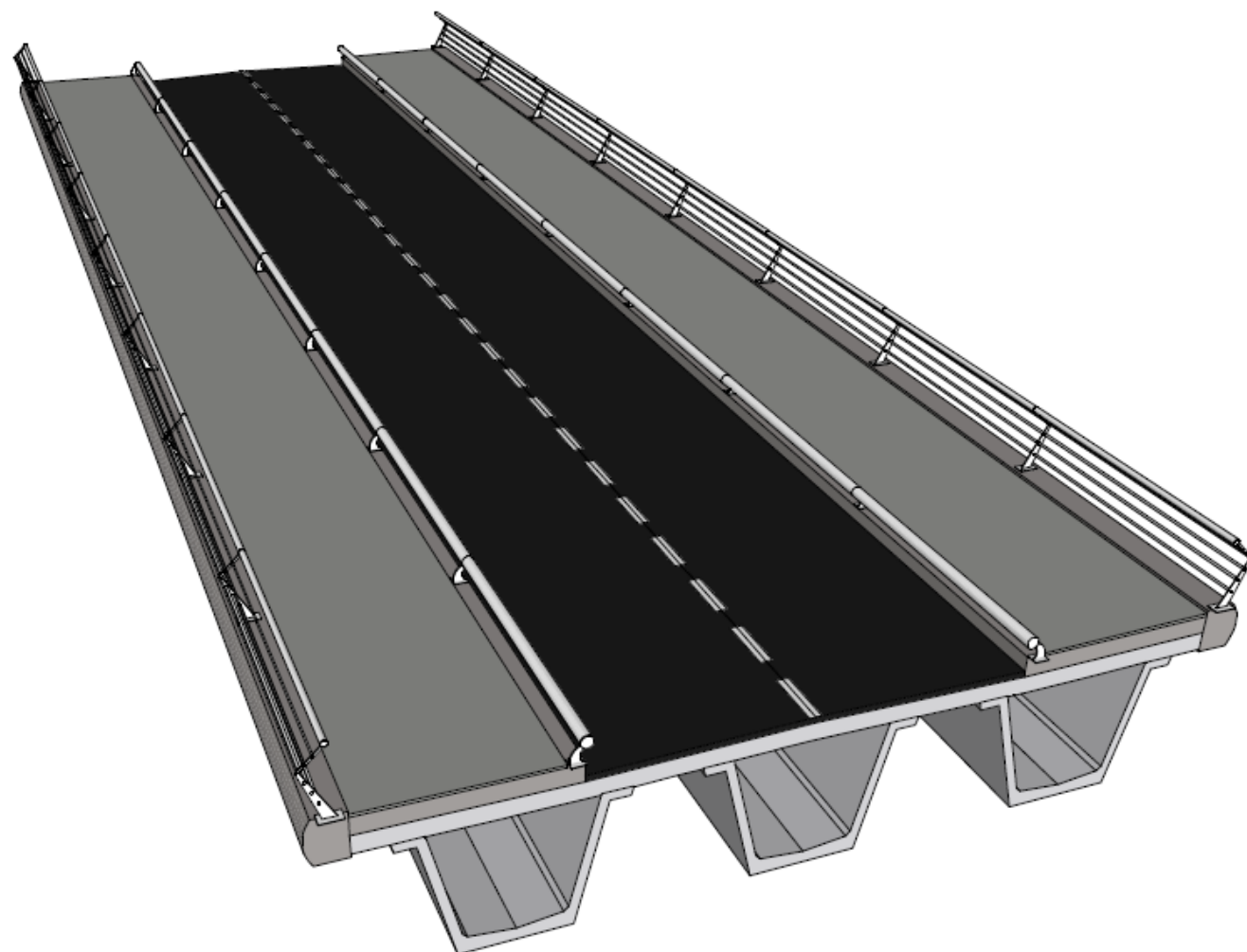


Figura 9. Representación en 3D de la Alternativa 2.

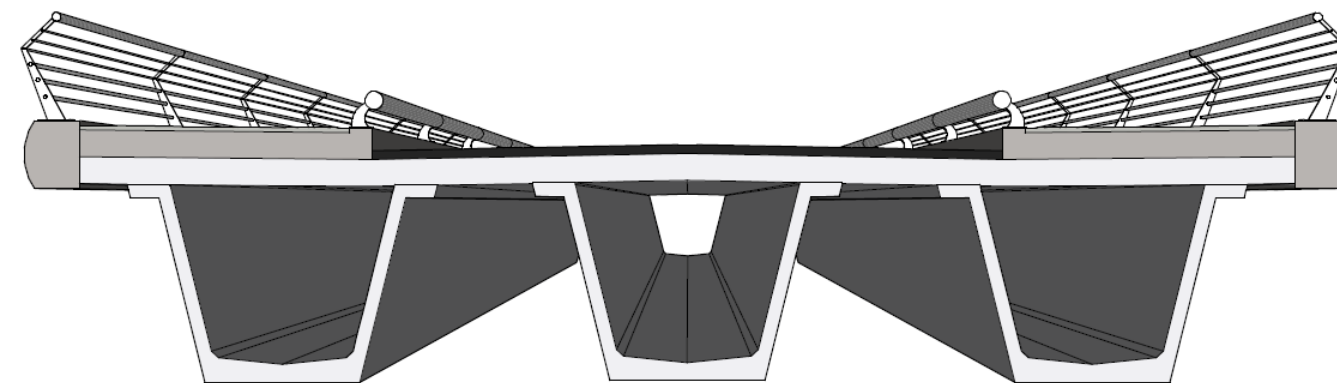


Figura 10. Sección transversal de la Alternativa 2.

También consta de una losa de hormigón armado ejecutada in situ sobre prelosas de 25 centímetros de espesor.

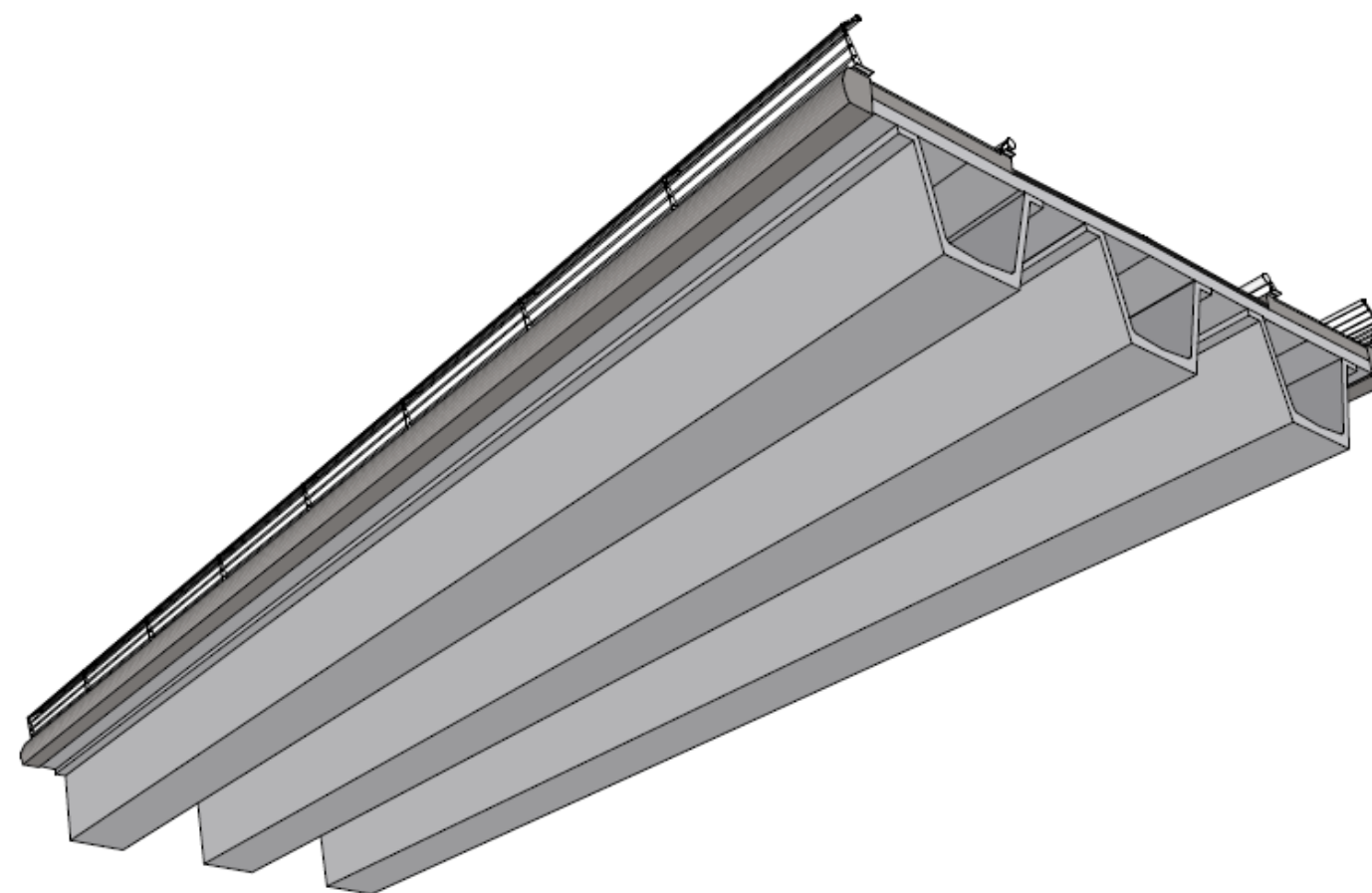


Figura 11. Vista inferior del tablero de la Alternativa 2.

5.3 Alternativa nº3: Losa aligerada de hormigón pretensado

En esta alternativa se plantea una solución de hormigón pretensado ejecutada totalmente “in situ”.

La losa diseñada tiene forma trapezoidal, y consta de tres aligeramientos de forma circular en el interior de 1,10 m de diámetro. Con estas dimensiones quedan 30 cm de separación desde el hueco hasta el final de la sección.

Cabe destacar que pese a la representación en el modelo 3D, los aligeramientos quedarán también macizados en los apoyos, para resistir los elevados esfuerzos cortantes que aquí se producen.

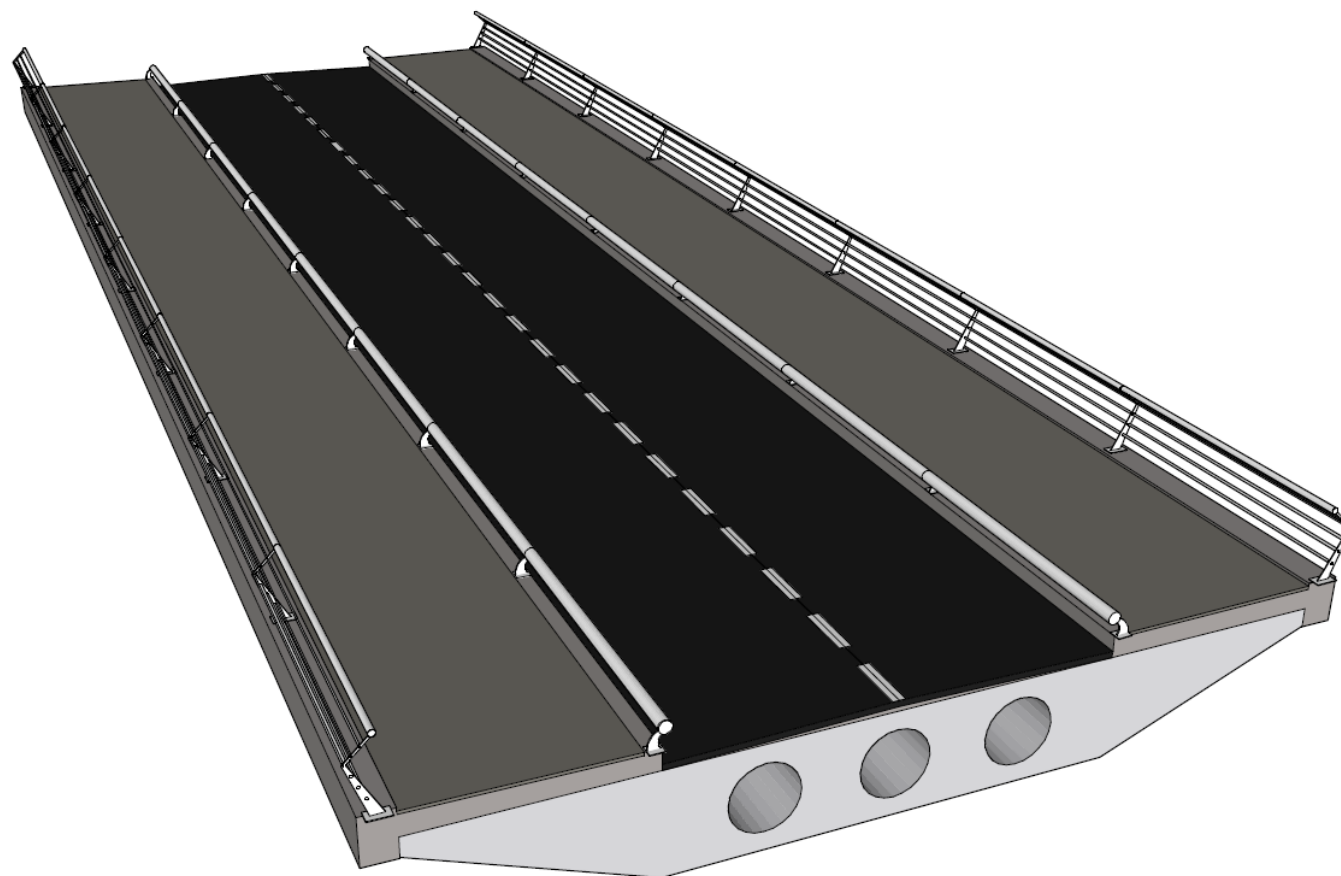


Figura 12. Representación en 3D de la Alternativa 3.

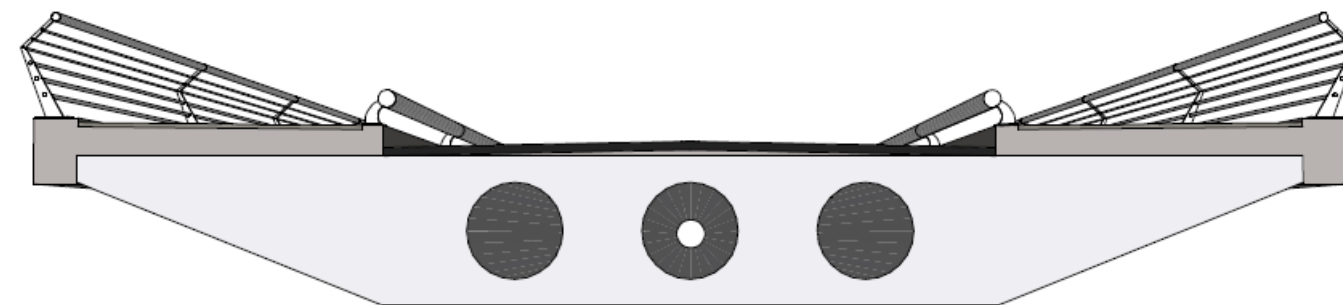


Figura 13. Sección transversal de la Alternativa 3.

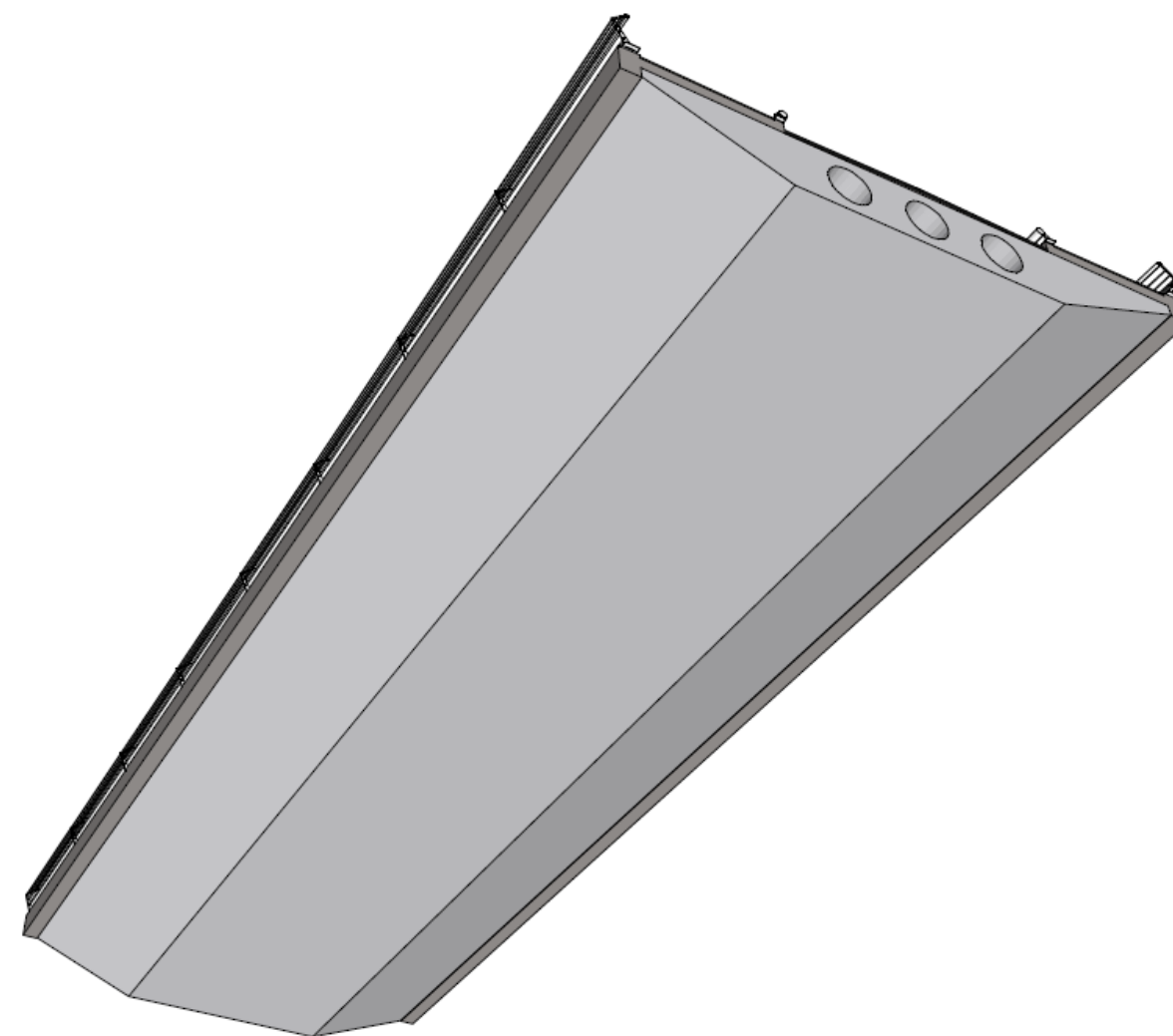


Figura 14. Vista inferior del tablero de la Alternativa 3.

Como se puede apreciar en las imágenes extraídas de la modelización en 3D, se trata de una solución ligera, que minimiza el impacto visual de la estructura en su entorno.

5.4 Alternativa nº4: Tablero mixto con viga metálica de sección en cajón

Para esta alternativa se plantea una solución mixta, con una viga metálica de acero en forma de cajón sobre la que apoyará una losa de hormigón armado ejecutada in situ.

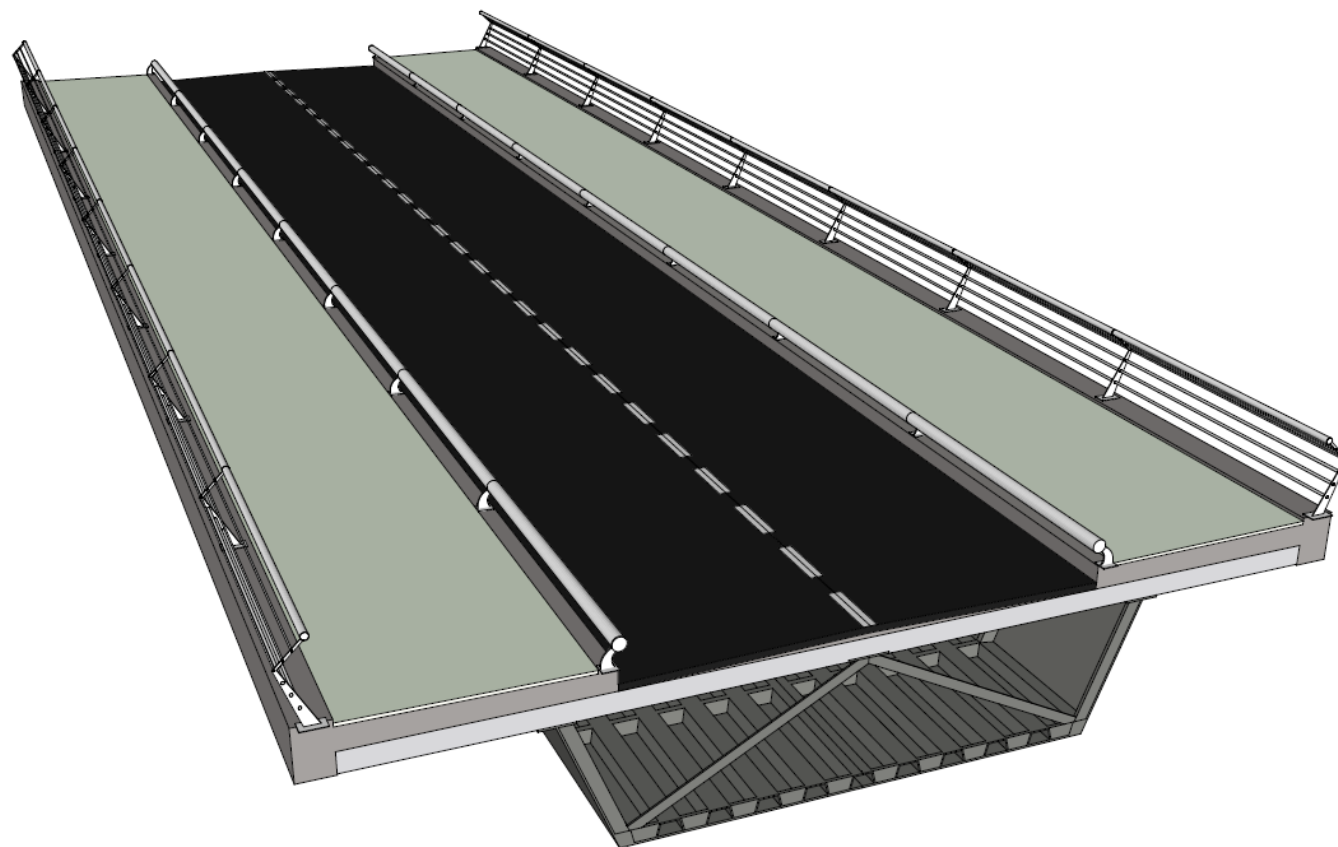


Figura 15. Representación en 3D de la Alternativa 4.

El cajón metálico consta de rigidizadores tanto en el sentido longitudinal como en el transversal. Además, debido a su anchura y para evitar un gran vuelo de la losa de hormigón, se opta por disponer perfiles metálicos circulares separados 2,5 metros, apoyados en el centro de la sección por uno de los extremos, y en los bordes del cajón metálico por el otro.

La losa de hormigón estará conectada al perfil metálico mediante conectores dispuestos de manera uniforme.

El número de conectores, las dimensiones de la sección y de los rigidizadores se optimizarán en el caso de optar por esta alternativa, ya que las dimensiones prediseñadas se han basado, como en los casos anteriores, en estructuras de características similares.

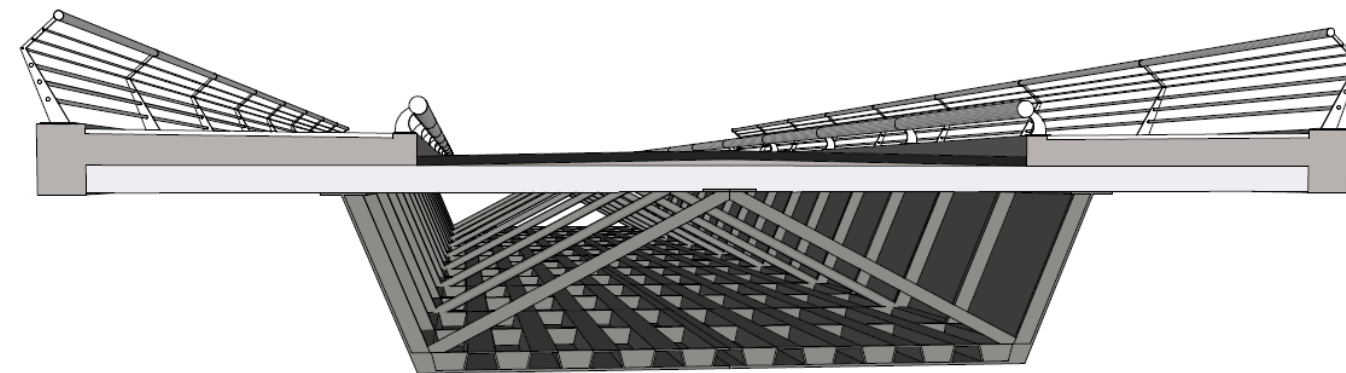


Figura 16. Sección transversal de la Alternativa 4.

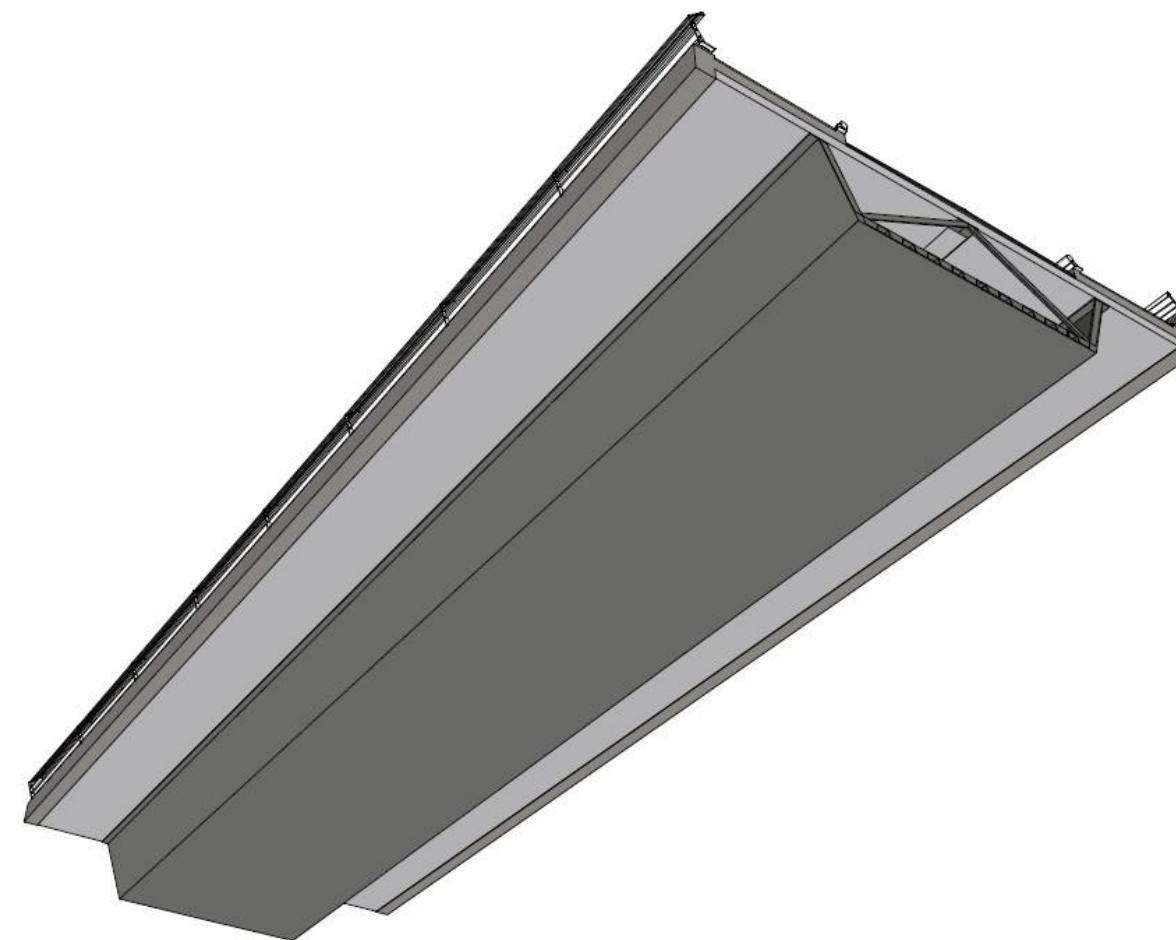


Figura 17. Vista inferior del tablero de la Alternativa 4.

6 Criterios de selección

Los principales criterios que se han tenido en cuenta para la evaluación de cada una de las alternativas planteadas y posterior elección de una de ellas han sido los siguientes:

Criterios para la evaluación de las alternativas			
C1	Criterios socioeconómicos	C1.1	Coste económico
		C1.2	Aceptación social
C2	Criterios estéticos	C2.1	Consideraciones estéticas
		C2.2	Integración en el entorno
C3	Criterios constructivos	C3.1	Facilidad de la actuación
		C3.2	Duración de las obras
C4	Conservación y mantenimiento		
C5	Criterio estructural		

Tabla 2. Definición de los criterios

Para poder proceder con la posterior evaluación de las alternativas, se decide partir de una puntuación del 1 al 10 para cada criterio evaluado. La puntuación de 10 significará en cada caso la máxima adecuación de una determinada solución al criterio evaluado.

A lo largo de los siguientes apartados se exponen las puntuaciones que se decide otorgada a cada alternativa, además de los motivos que han llevado a cada una de las valoraciones.

6.1 Criterios socioeconómicos

6.1.1 Coste económico

La valoración económica de cada una de las alternativas se ha realizado basándose en costes de estructuras de características similares a las planteadas (tipología, luces, materiales...). Para esta valoración se tendrá en cuenta el precio de los materiales que la componen, así como la cantidad de material empleado.

Cabe destacar que también se ha tenido en cuenta el sobrecoste producido por determinados elementos constructivos, bien sean encofrados, cimbras, apeos...

La Alternativa nº1 se ha valorado con una puntuación de 7/10.

Obtiene la mayor puntuación en cuanto a este criterio, debido a su simplicidad y facilidad constructiva. Esta alternativa permite el empleo de materiales prefabricados de hormigón, cuya puesta en obra se puede realizar únicamente sin el empleo de medios que encarezcan la estructura.

La Alternativa nº2 se ha valorado con una puntuación de 8/10.

Como en el caso anterior, esta alternativa también emplea hormigón prefabricado, además del mismo método constructivo. Pese a presentar formas más complejas en el diseño, se le otorga la misma puntuación debido a estar formada por menos vigas que la Alternativa 1.

La Alternativa nº3 se ha valorado con una puntuación de 4/10.

La baja puntuación que se otorga a esta alternativa es debida al elevado número de elementos auxiliares que necesita para su ejecución. Pese a parecer a priori más económica, el empleo de equipos como cimbras o encofrados incrementa los costes de la estructura.

La Alternativa nº4 se ha valorado con una puntuación de 3/10.

El empleo de gran cantidad de piezas metálicas fabricadas en taller encarece en gran medida la estructura.

6.1.2 Aceptación social

La aceptación social de una nueva infraestructura viene principalmente condicionada por tres factores, que son la economía, la estética y la funcionalidad. En nuestro caso particular las tres alternativas que se plantean ofrecen el mismo servicio. Las tres proporcionan la unión entre dos puntos inconexos hasta el momento. Por esto, la aceptación social vendrá condicionada únicamente por dos factores, la economía y la estética.

Se pueden presentar tres variantes de ciudadano en cuanto al criterio que emplearía para evaluar las alternativas. Por un lado, estaría aquel para el cual el factor más importante a tener en cuenta sería la economía de la infraestructura, no interesándose por el valor estético que pudiera aportar esta; por otro lado, estaría el opuesto, aquel que dejando de lado la economía de la propuesta, la valoraría únicamente juzgando la percepción visual de la misma; y, por último, estaría el ciudadano que valoraría la combinación de ambos factores.

Valorando la posibilidad de los tres perfiles sociales posibles, se han asignado las siguientes puntuaciones: **5/10 para la Alternativa nº1, 6/10 para la Alternativa nº2, 5/10 para la Alternativa nº3 y 4/10 para la Alternativa nº4.**

6.2 Criterios estéticos

6.2.1 Consideraciones estéticas

Para puntuar este factor se ha tenido en cuenta el análisis de la estética de la estructura como elemento aislado del entorno en el que se emplaza.

La Alternativa nº1 se ha valorado con una puntuación de 2/10.

Es un diseño simple con una geometría formada a base de líneas rectas y vértices poligonales, con espesores constantes y pocos elementos que destaquen sobre el resto de la estructura. Estas características hacen que la percepción visual de la misma sea de una estructura poco llamativa

La Alternativa nº2 se ha valorado con una puntuación de 4/10.

Pese a ser una alternativa también simple, sus formas más suaves le proporcionan un aspecto más atractivo.

La Alternativa nº3 se ha valorado con una puntuación de 7/10.

Esta alternativa proporciona una sensación de ligereza, debida tanto a su reducido canto como a la transición suave entre este desde el centro de la sección hacia los laterales. Esta sensación que produce al verse desde fuera es lo que le otorga la puntuación más elevada.

La Alternativa nº4 se ha valorado con una puntuación de 7/10.

También se le otorga una elevada puntuación, en este caso debido tanto a la combinación de acero con hormigón, como a la simplicidad de sus formas.

6.2.2 Integración en el entorno

Para puntuar este factor se ha tenido en cuenta el análisis de la estética de la estructura analizando la concordancia con el entorno de su emplazamiento. En este caso se están diseñando estructuras que buscan mayoritariamente la funcionalidad, no hay ninguna solución singular que pueda mejorar en gran medida el entorno en que se ubicará. Por ello, como se puede ver a continuación, las puntuaciones otorgadas a cada una de las alternativas son similares.

La Alternativa nº1 se ha valorado con una puntuación de 4/10.

Una estructura de estas características es más habitual de encontrar en puentes de carreteras interurbanas que en el interior de una ciudad.

La Alternativa nº2 se ha valorado con una puntuación de 6/10.

Las vigas artesa le aportan a la estructura una mayor sintonía con el entorno. Además, existen más puentes ejecutados mediante vigas en artesa a lo largo del cauce. Por ello se le ha otorgado mayor puntuación que en el caso anterior.

La Alternativa nº3 se ha valorado con una puntuación de 6/10.

Esta alternativa, de la misma forma que la anterior, se considera mejor adaptada al entorno por las transiciones suaves entre vértices.

La Alternativa nº4 se ha valorado con una puntuación de 6/10.

La adaptación de esta alternativa a su entorno puede ser considerada similar a las anteriores, ya que posee formas similares.

6.3 Criterios constructivos

6.3.1 Facilidad de la actuación

En el criterio económico ya se han tenido en cuenta los métodos constructivos empleados para, junto con los materiales empleados, obtener una valoración aproximada de las alternativas. En este apartado se valorarán los métodos constructivos no solo por su economía, sino también por otros factores, como la

seguridad y salud de los trabajadores al emplear cada método, la afección al entorno por el empleo de maquinaria, etc.

La Alternativa nº1 se ha valorado con una puntuación de 9/10.

Su construcción consiste únicamente en la colocación de las vigas mediante una grúa, para después sobre las prelosas pretensadas ejecutar la losa. Se trata de un procedimiento simple y seguro, que se puede llevar a cabo sin emplear gran cantidad de maquinaria.

La Alternativa nº2 se ha valorado con una puntuación de 10/10.

El procedimiento es idéntico al del caso anterior, aunque con el empleo de menor número de vigas, por lo que se le ha otorgado mayor puntuación.

La Alternativa nº3 se ha valorado con una puntuación de 3/10.

En este caso, el empleo de la cimbra, encofrados y demás elementos hace que el proceso de ejecución sea más complejo, así como disminuye la seguridad de los trabajadores. Por ello se le otorga la menor puntuación.

La Alternativa nº4 se ha valorado con una puntuación de 6/10.

Presenta mayor complejidad debido al elevado número de uniones metálicas. Pese a ello, una opción constructiva puede ser realizar todo el montaje en la explanada de que se dispone, para a continuación colocarla sobre los estribos mediante una grúa. Este método incrementaría la seguridad de los trabajadores en gran medida, ya que no sería necesario el trabajo en altura. Por todas estas razones se le otorga mayor puntuación.

6.3.2 Duración de las obras

Este criterio está íntimamente ligado al anterior, ya que, a mayor facilidad constructiva, menor duración de las obras. Por ello, las puntuaciones otorgadas son similares para cada una de las alternativas a las del caso anterior.

Se han asignado las siguientes puntuaciones: **10/10 para la Alternativa nº1, 10/10 para la Alternativa nº2, 3/10 para la Alternativa nº3 y 6/10 para la Alternativa nº4.**

6.4 Conservación y mantenimiento

En este criterio se evalúa el grado y coste de mantenimiento que requiere cada una de las alternativas. Para ello se ha tenido en cuenta principalmente la accesibilidad a los elementos, la dificultad del mantenimiento de los mismos y los materiales empleados, en función de los cuales las tareas de conservación serán más o menos intensivas.

La Alternativa nº1 se ha valorado con una puntuación de 9/10.

El constar de elementos con secciones abiertas facilita el acceso a todas las partes de la estructura, y por tanto su mantenimiento.

La Alternativa nº2 se ha valorado con una puntuación de 8/10.

La penalización con respecto al caso anterior es debida a sus secciones cerradas. Pese a ello, sigue siendo una estructura de fácil mantenimiento y conservación.

La Alternativa nº3 se ha valorado con una puntuación de 10/10.

Su sección de hormigón y con una forma sencilla hace que sea fácil llevar a cabo las tareas de mantenimiento y conservación.

La Alternativa nº4 se ha valorado con una puntuación de 4/10.

Secciones mixtas, uniones metal-hormigón... todos estos elementos dificultan la conservación y mantenimiento de la estructura.

6.5 Criterio estructural

En este criterio se tendrá en cuenta el nivel de optimización de cada alternativa dentro de su tipología. Para ello, con el fin de no realizar un trabajo excesivamente laborioso, en lugar de elaborar cálculos estructurales profundos, se han valorado las alternativas basándonos en estructuras de características similares en luces y tipologías, evaluando a partir de ellas la adecuación de nuestras propuestas al problema que se plantea. Todas las alternativas están dentro del rango de uso de las tipologías que las definen.

Teniendo esto en cuenta, en este criterio se valora a las **Alternativas nº1 y nº2 con una puntuación de 9/10**, a la **Alternativa nº3 con una puntuación de 7/10**, debido a encontrarse en el límite del rango de luces habituales, y a la **Alternativa nº4 con una puntuación de 8/10**.

6.6 Resumen de la valoración de alternativas

En la Tabla 3 se resumen las puntuaciones sobre 10 otorgadas a cada una de las alternativas en el criterio evaluado:

Valoración de las alternativas					
Criterios		Alternativa nº1	Alternativa nº2	Alternativa nº3	Alternativa nº4
C1	C1.1	8	8	4	3
	C1.2	5	6	5	4
C2	C2.1	2	4	7	7
	C2.2	4	6	6	6
C3	C3.1	9	10	3	6
	C3.2	10	10	3	6
C4		9	8	10	4
C5		9	9	7	8

Tabla 3. Puntuaciones otorgadas en cada criterio a cada una de las alternativas.

7 Estudio comparativo

Una vez definidos los criterios a tener en cuenta para la evaluación de alternativas, y la puntuación que obtiene cada alternativa en cada uno de ellos, se procede al estudio comparativo.

Para ello, en primer lugar, se le asigna a cada uno de los criterios un peso. Éste vendrá definido por la relevancia que presentan unos criterios sobre otros, impuesta por los condicionantes que se vienen comentando a lo largo de este anejo.

En la siguiente tabla se recogen los pesos que se le asignan a cada uno de los criterios:

Peso asignado a cada criterio		
Criterios		Peso
C1	C1.1	30
	C1.2	5
C2	C2.1	5
	C2.2	10
C3	C3.1	15
	C3.2	15
C4		15
C5		5
Total		100

Tabla 4. Pesos de cada uno de los criterios.

Como se puede observar, la máxima puntuación que puede llegar a obtener una alternativa sería de 100 puntos.

Se le asigna la puntuación más elevada al criterio de economía de la obra, seguido por el de conservación y mantenimiento (ligado también a la economía) y los constructivos, que en total tienen la misma relevancia que el criterio económico.

El resto de los criterios poseen un peso similar, siendo por tanto de la misma importancia.

A partir de estos pesos, y ponderando para la valoración de cada una de las alternativas, obtendremos cual es la que mejor se adapta.

Valoración de las alternativas						
Criterios		Peso	Alternativa nº1	Alternativa nº2	Alternativa nº3	Alternativa nº4
C1	C1.1	30	8	8	4	3
	C1.2	5	5	6	5	4
C2	C2.1	5	2	4	7	7
	C2.2	10	4	6	6	6
C3	C3.1	15	9	10	3	6
	C3.2	15	10	10	3	6
C4		15	9	8	10	4
C5		5	9	9	7	8
TOTAL		100	73,5	77	48	44,5

Tabla 5. Puntuaciones totales obtenidas para cada alternativa.

Las alternativas con mejor puntuación global son las de mayor economía, así como las que mayor simplicidad presentan en el proceso constructivo, siendo ligeramente superior la puntuación obtenida por la Alternativa 2: Vigas en artesa de hormigón pretensado.

8 Conclusiones

A lo largo de este anejo se han desarrollado, evaluado y comparado una serie de alternativas que pueden ser soluciones adecuadas para este proyecto de construcción.

De este desarrollo se ha obtenido que la alternativa mejor valorada es la solución mediante **Vigas en artesa de hormigón pretensado**, la cual se desarrollará a lo largo del presente proyecto.

El valor obtenido es similar al que se obtiene para la solución de vigas de hormigón pretensado en doble T, por lo que se podría considerar también como una solución válida. Pese a ello se opta por la Alternativa 2, no solo por la mayor puntuación obtenida, sino también debido a su similitud con el resto de los puentes ya ejecutados a lo largo del Río Seco.