

ANEJO 1: ESTUDIO DE SOLUCIONES



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de
Caminos, Canales y Puertos

Autor: Laura Martínez Pérez

ÍNDICE

1. OBJETO	1
2. CONDICIONES DE DISEÑO	1
2.1. Condiciones naturales	1
2.1.1. Topografía	1
2.1.2. Geotecnia y geología	1
2.1.3. Hidráulica	2
2.1.4. Sismicidad	2
2.2. Condicionantes geométricos	2
2.2.1. Alzado	2
2.2.2. Planta	2
2.2.3. Sección transversal	2
2.3. Otras condiciones a considerar	3
3. PLANTEAMIENTO PREVIO	3
4. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	4
4.1. Alternativa nº 1: Puente atirantado	4
4.2. Alternativa nº 2: Puente arco con tablero intermedio	7
4.3. Alternativa nº 3: Puente arco con tablero inferior	9
4.4. Alternativa nº 4: Puente viga de canto variable	12
4.5. Alternativa nº 5: Puente de vigas prefabricadas	14
5. ESTUDIO COMPARATIVO DE SOLUCIONES	16
5.1. Conceptos y subconceptos diferenciadores	16
5.1.1. Economía	16
5.1.2. Proceso constructivo	18
5.1.3. Seguridad	19
5.1.4. Estética e integración en el entorno	19
5.2. Metodología de comparación	20
5.3. Resultado de la comparación	21
6. CONCLUSIÓN	21
7. BIBLIOGRAFÍA	22

1. OBJETO

El presente Anejo tiene como objeto el estudio de las distintas propuestas para el diseño del puente sobre el río Vinalopó en la Circunvalación Sur de Elche (EL-20).

Para ello, se exponen a continuación los condicionantes marcados por la Administración y aquellos que se han de tener en cuenta por la topografía, hidrología, geotecnia y otros aspectos destacados del emplazamiento. Posteriormente se presenta cada una de las propuestas, definiendo en cada caso su estructura resistente y los aspectos importantes a tener en cuenta. Finalmente, se explica la metodología de evaluación empleada y se lleva a cabo el estudio comparativo de las alternativas.

A partir de todo lo anterior, se procede a la elección de la solución más idónea y que será desarrollada en los anejos posteriores que componen este Proyecto Básico.

2. CONDICIONES DE DISEÑO

En este apartado se explicarán las limitaciones, necesidades y condiciones que determinan la definición de cada una de las propuestas.

2.1. Condiciones naturales

2.1.1. Topografía

El puente se sitúa en el término municipal de Elche, sobre el río Vinalopó, entre la glorieta de Casas de León y la de Dolores, que forman parte de la Circunvalación Sur de Elche (EL-20).

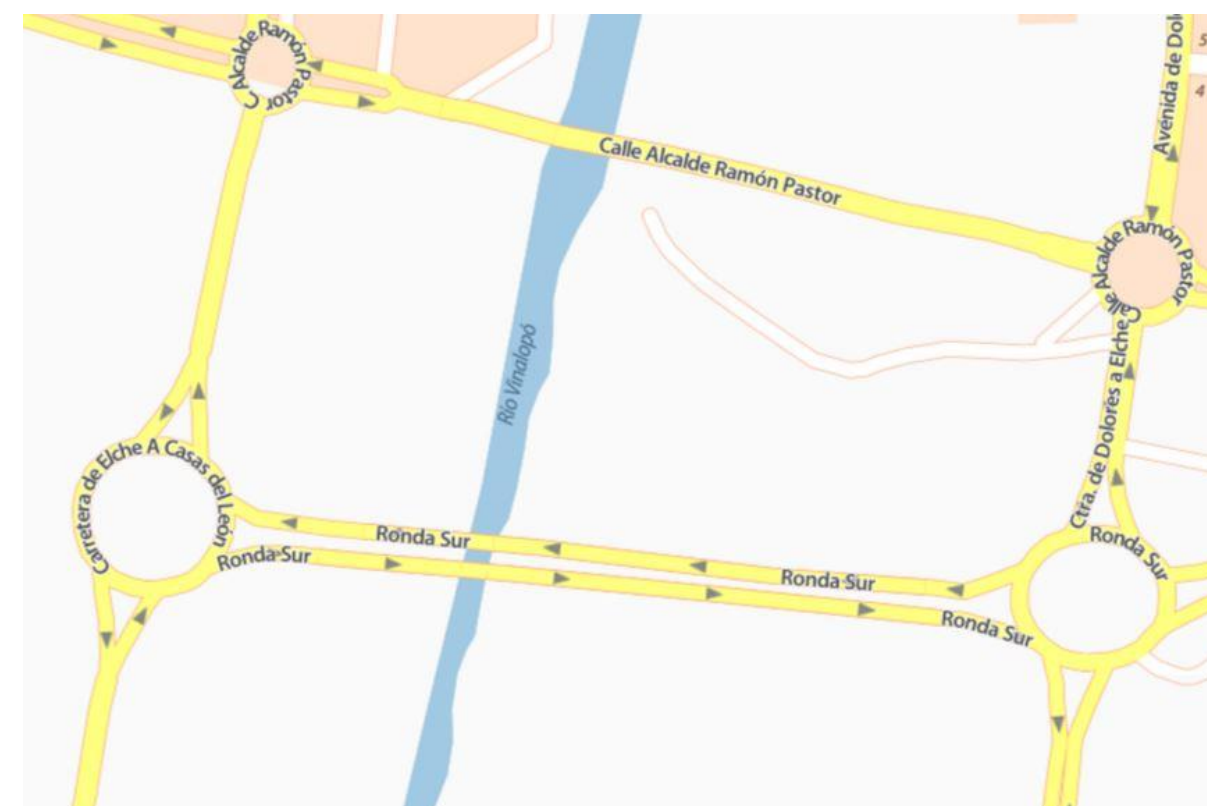


Figura 1. Ubicación del puente sobre el río Vinalopó en la Circunvalación Sur de Elche (EL-20)

2.1.2. Geotecnia y geología

La naturaleza del suelo es determinante para la elección de la cimentación. En este caso, con los estudios geotécnicos realizados en la zona se ha concluido que el suelo está formado por las fracciones granulométricas que se observan en la Figura 2.

Los materiales están constituidos por alternancias de arenas limosas con intercalaciones de gravas, que corresponden a los depósitos cuaternarios de abanicos aluviales del campo de Elche y del río Vinalopó. Estas formaciones presentan consistencia firme a muy firme, dada su cementación carbonatada; sin embargo, en las zonas donde es más débil la carbonatación, pueden ocurrir fenómenos de colapso en caso de inundación.

Geológicamente, los terrenos atravesados están formados por materiales cuaternarios, configurados por deposición de materiales detríticos.

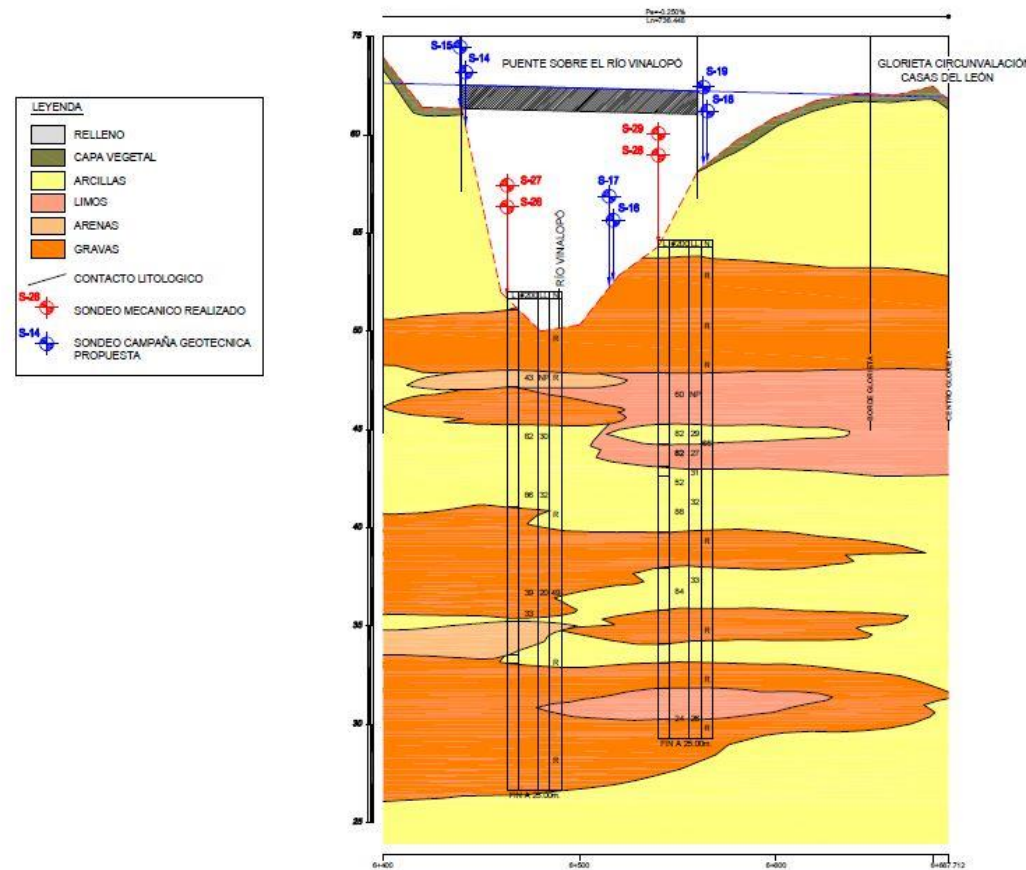


Figura 2. Geología y geotecnia del emplazamiento

2.1.3. Hidráulica

La Confederación Hidrográfica del Júcar no especifica ninguna limitación con respecto a la ocupación del cauce del río Vinalopó, ni de forma temporal ni permanente. Éste es un río con escaso caudal y con un régimen irregular, con largos períodos de sequía y grandes crecidas que pueden provocar daños materiales y humanos en sus inmediaciones. En la zona de Elche, este caudal se ve mermado por el aprovechamiento del mismo para los cultivos del campo de la zona. Durante el período estival el cauce fluvial se encuentra completamente seco. Por estos motivos, el nivel medio de la lámina de agua no condiciona la cota inferior del tablero del puente.

Por otro lado, es necesario tener en cuenta las condiciones impuestas por el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA). Éste especifica que cualquier elemento que discurra, se sitúe o cruce una zona inundable, no debe modificar los riesgos de inundación de la zona.

2.1.4. Sismicidad

El emplazamiento del puente se sitúa en una zona con una gran actividad sísmica. Se encuentra cerca de la falla de Crevillente, debido a ello existen numerosos epicentros sísmicos en las localidades cercanas al emplazamiento del puente. En Elche, la aceleración sísmica básica que considera la Norma Sismorresistente (NCSE-02) es de 0,15 g. La citada Norma establece la necesidad de tener en cuenta el efecto del sismo en el cálculo de todo tipo de estructuras situadas en zonas con una aceleración sísmica básica de cálculo igual o superior a 0,04 veces la aceleración de la gravedad, lo que corresponde al caso en el que nos encontramos.

2.2. Condicionantes geométricos

Es necesario cumplir una serie de limitaciones en el alzado, la planta y la sección transversal de la infraestructura, que vendrán condicionadas por el trazado de la circunvalación. Estas condiciones son las siguientes:

2.2.1. Alzado

La infraestructura respetará una pendiente longitudinal del 0,25% de este a oeste. La luz a salvar entre ambos márgenes del río será de 120 metros. La rasante se encuentra a una cota de 63 metros.

2.2.2. Planta

El trazado de la planta del puente ha de ser recto, siguiendo la alineación de la circunvalación, atravesando de forma ortogonal el cauce del río.

2.2.3. Sección transversal

Con respecto a la sección transversal, las características de la calzada correspondiente al puente han de ser las mismas que las de la circunvalación. Eso significa que la carretera estará formada por dos calzadas, cada una con dos carriles de 3,5 metros, un carril interior de 1 metro y otro exterior de 2,5 metros, lo que permite la posibilidad futura de aumentar la capacidad de la vía con un tercer carril en ambas calzadas. Estas calzadas estarán separadas por una mediana de 2 metros de ancho y, en ambos extremos, se permitirá la continuación del carril bici de la ronda, con una anchura de 2 metros, que también se empleará para el uso peatonal. A estas dimensiones prefijadas se le añadirá el espacio correspondiente para la colocación de defensas para peatones y vehículos.

La pendiente transversal del tablero será del 2% como mínimo desde el eje del mismo hacia los bordes, para el correcto drenaje de la calzada.

2.3. Otras condiciones a considerar

Se tendrá en cuenta la presencia de un camino de servicio que discurre por la margen izquierda del río Vinalopó y que en caso de que durante la construcción de la infraestructura se vea afectado, se deberá llevar a cabo una reposición de los servicios que en él se encuentran.

Por otro lado, también en la margen izquierda del río Vinalopó, se localiza un conjunto de edificaciones ilegales. Este detalle se tendrá en cuenta durante la construcción de la obra y los trámites anteriores a la misma.



Figura 3. Situación actual del emplazamiento

La Circunvalación Sur de Elche en el tramo en el que se sitúa el puente tiene función de vía colectora y distribuidora, que se encarga de conectar con las carreteras radiales que acceden al municipio. La velocidad de proyecto de la misma es de 60 km/h.

Finalmente, los materiales elegidos para la ejecución del puente deberán requerir poco mantenimiento y respetar los criterios ambientales, así como disponer de una vida útil elevada.

3. PLANTEAMIENTO PREVIO

En este epígrafe se comentan aquellas tipologías que, según los condicionantes expuestos en el apartado anterior, mejor se adapten a los requerimientos del presente proyecto. De esta forma, se hace una primera

preselección de las alternativas que cumplen las necesidades descritas y que posteriormente serán analizadas con más detenimiento mediante un estudio comparativo, con el objetivo final de alcanzar la solución definitiva y que será desarrollada a lo largo de este proyecto básico.

Para empezar, según se expone en la serie normativa “Obras de paso de nueva construcción” del Ministerio de Fomento, las tipologías que pueden ser objeto de debate según la longitud del vano para estructuras de hormigón son las que aparecen en la Figura 4. Los rangos de luces en los que se utiliza cada tipología aumentan en el caso de las estructuras metálicas y mixtas al disminuir el peso propio.

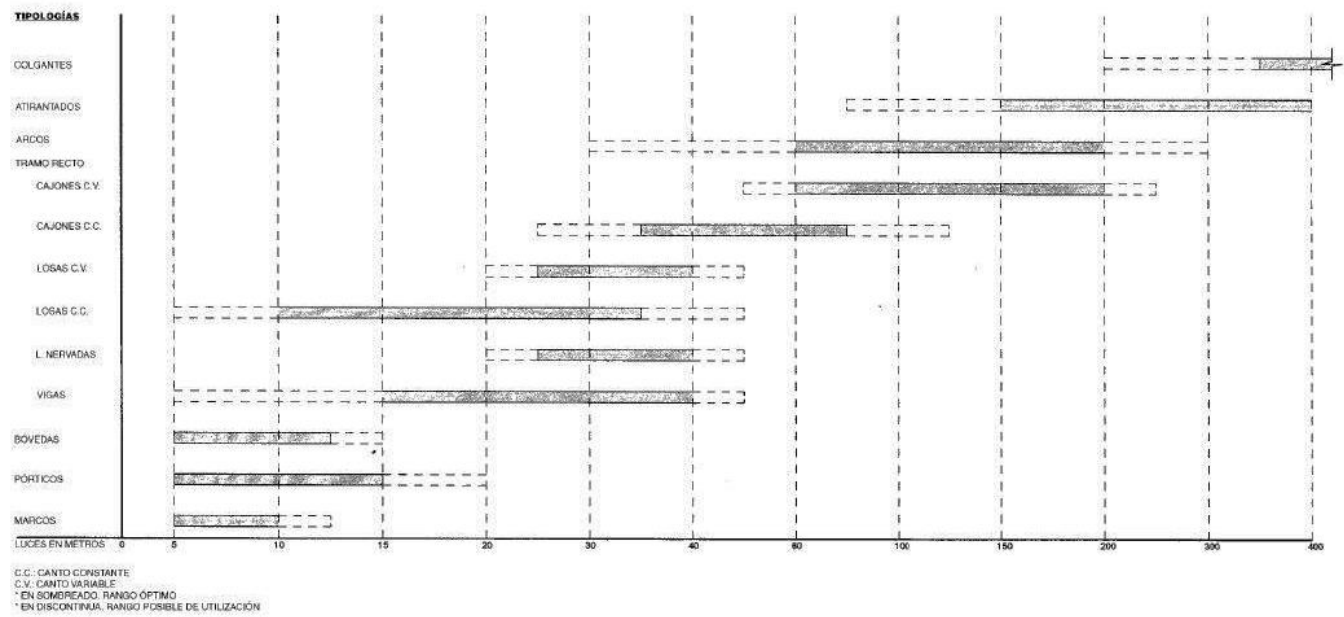


Figura 4. Rango de utilización más frecuente de obras de paso

Los condicionantes citados anteriormente no suponen ningún problema con respecto al gálibo inferior del puente que ha de guardarse, ya que el río no es transitable y suele tener un caudal escaso. Sin embargo, se presentarán soluciones cuyo sistema resistente se encuentre por encima del tablero, para evitar que en episodios de crecida del río Vinalopó la lámina de agua alcance aquellas partes del puente que se encargan de sostenerlo, con el consiguiente efecto negativo que podría ocasionar.

Por tanto, y ya que la distancia a salvar es de 120 metros, se proponen soluciones cuyo sistema resistente esté hecho de hormigón pretensado o acero, pudiendo usar el hormigón armado para las subestructuras del puente.

La localidad de Elche cuenta ya con varios puentes singulares que permiten el paso desde un lado a otro del río Vinalopó, por lo que sugerir una tipología atirantada o en forma de arco con un único vano de 120 metros,

a pesar de ser propuestas que suponen un presupuesto mayor, no supondría una falta de integración en el entorno, sino un nuevo referente arquitectónico para el municipio. La solución de un puente colgante se descarta desde un principio puesto que éste se emplea con luces mucho más elevadas; y la posibilidad de construir un puente pórtico en π cuyas pilas apoyen en los cajeros del cauce del río también se rechaza debido a los elevados esfuerzos horizontales que se le transmitirían al terreno y que podrían ocasionar su colapso, además no nos encontramos en un amplio valle, por lo que las pilas quedarían muy tendidas y no serían estructuralmente efectivas.

También cabe la posibilidad de construir pilas intermedias y dividir la longitud total en vanos más pequeños, puesto que se permite la interferencia en el cauce del río siempre y cuando se cumplan las condiciones exigidas por el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA). Empleando un tablero de hormigón pretensado y técnicas constructivas sencillas, se pueden plantear soluciones más económicas y no por ello menos estéticas.

Por consiguiente, se plantea un total de 5 alternativas, que se desarrollan en los apartados siguientes del presente anejo:

- Alternativa nº 1: Puente atirantado
- Alternativa nº 2: Puente arco con tablero intermedio
- Alternativa nº 3: Puente arco con tablero inferior
- Alternativa nº 4: Puente viga de canto variable
- Alternativa nº 5: Puente de vigas prefabricadas

4. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

4.1. Alternativa nº 1: Puente atirantado

La primera opción que se plantea es la ejecución de un puente atirantado con un único vano de 120 metros, cuyas torres, en un solo extremo del puente, y tablero serán de hormigón.

Las torres, paralelas entre sí, estarán unidas transversalmente mediante un tirante que permita el comportamiento monolítico de ambas y actuar frente a los esfuerzos horizontales a los que están sometidas. La sección de cada torre va disminuyendo desde la base hasta el extremo superior, empezando con una sección rectangular de 5 x 2,5 m y terminando en otra de 2 x 1 m, siendo tres de sus caras oblicuas al tablero y la cuarta se encuentra formando un ángulo recto con él. Estas torres estarán separadas entre sí desde sus caras interiores 29,5 metros, por lo que se sitúan sin interferir en el trazado de la calzada del puente. Su apariencia se puede observar en la siguiente figura:

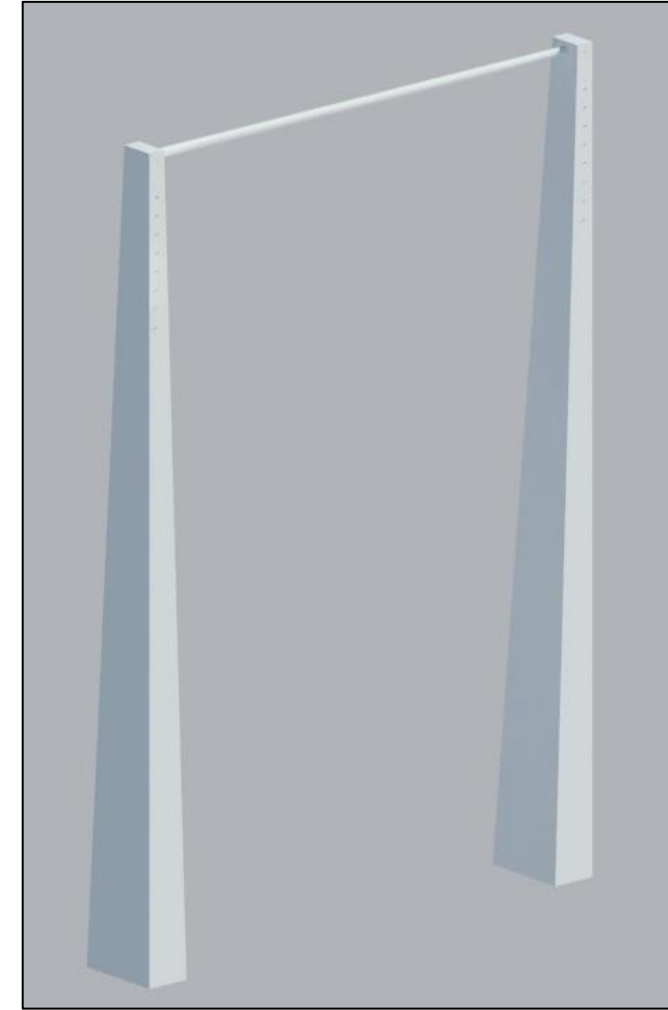


Figura 5. Detalle de las torres de la alternativa 1

Se dispondrán dos planos de tirantes en arpa, formado cada uno por 10 tirantes pretensados que se anclarán en el tablero cada 10 metros; mientras que formando un pequeño ángulo hacia los extremos del puente, se colocarán otros 10 tirantes de retenida sujetos en sus respectivos macizos de anclaje. Estos macizos de anclaje, debido a sus grandes dimensiones, quedarán semienterrados en el terreno y protegidos frente a los ataques químicos y la corrosión que podría causarles el medio circundante.

Con respecto al tablero, se ejecutará una losa con aligeramientos circulares, que mejoran la eficiencia estructural reduciendo el peso propio y manteniendo la rigidez. Este tablero será pretensado y fabricado in situ. En la zona donde se anclan los tirantes se realizará un macizamiento de la sección para poder resistir los grandes esfuerzos cortantes que transmiten. El canto de la losa será de 2 m.

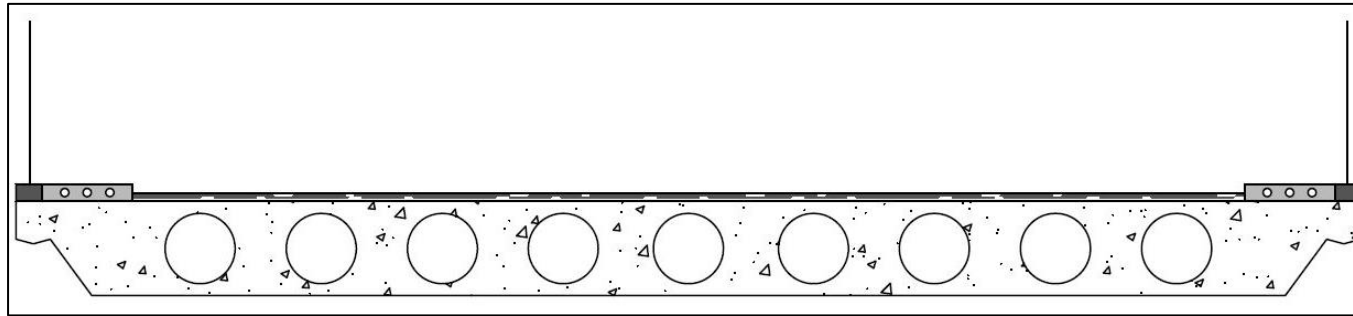
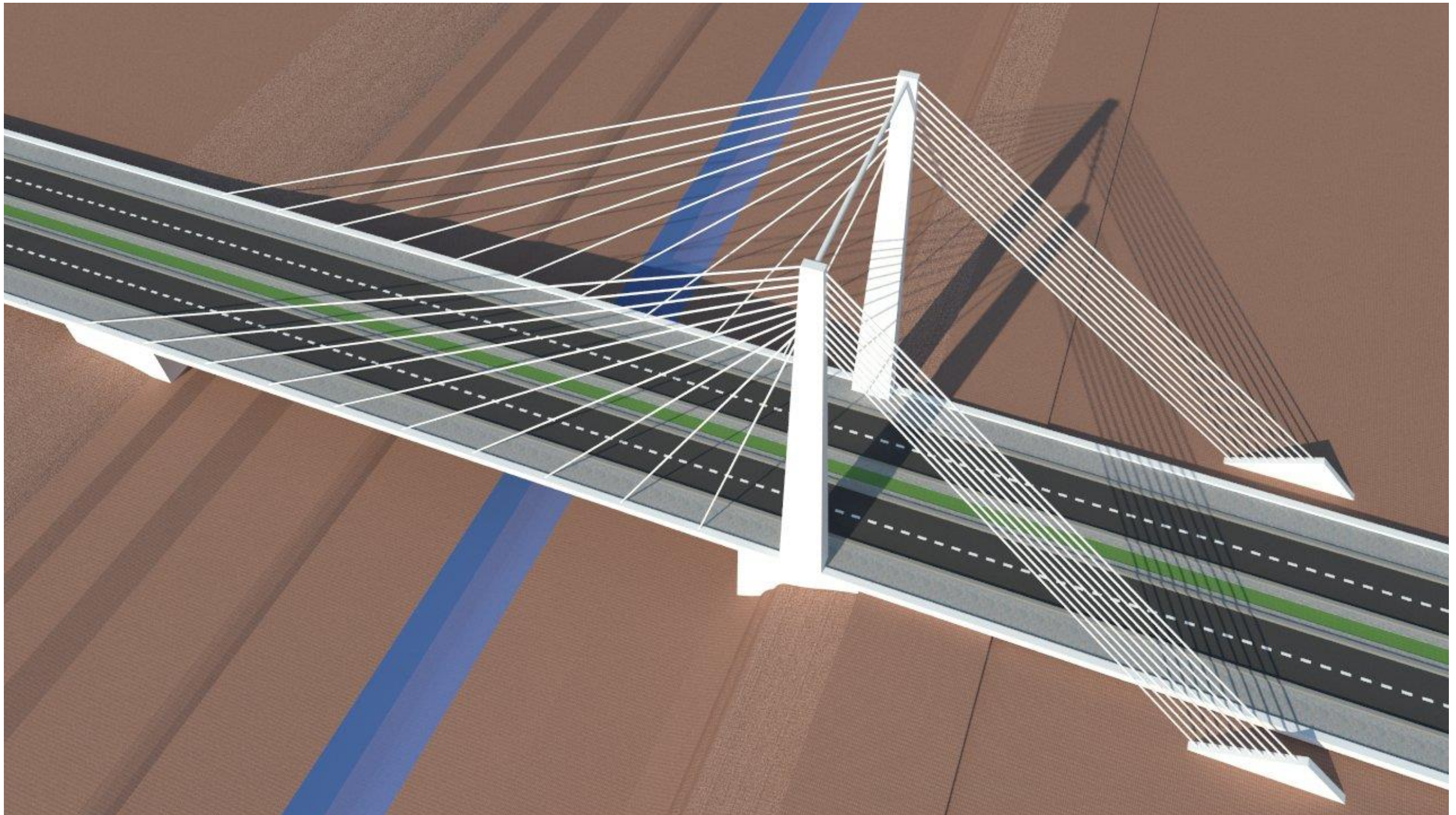


Figura 6. Sección transversal del tablero de la alternativa 1

Como nota, cabe destacar que la posición de solo dos torres en un extremo del puente, que corresponde a la margen derecha del río, es debido a la búsqueda de su integración en el entorno actual, puesto que aguas arriba el municipio de Elche cuenta con otro puente atirantado, el Puente de la Generalitat, cuya torre se sitúa en la margen izquierda del río. De esta forma, se intentaría buscar la “simetría” entre ambas construcciones.



Figura 7. Puente de la Generalitat



4.2. Alternativa nº 2: Puente arco con tablero intermedio

La segunda alternativa que se propone consiste en la ejecución de un puente cuyo sistema resistente está formado por dos arcos de hormigón con tablero intermedio asimétrico. Con esto, se divide la luz total en dos vanos, uno de 15 metros y otro de 105 metros. En este caso se invade el cauce del río, por lo que se debería hacer un estudio de la incidencia de este hecho en el curso natural del mismo.

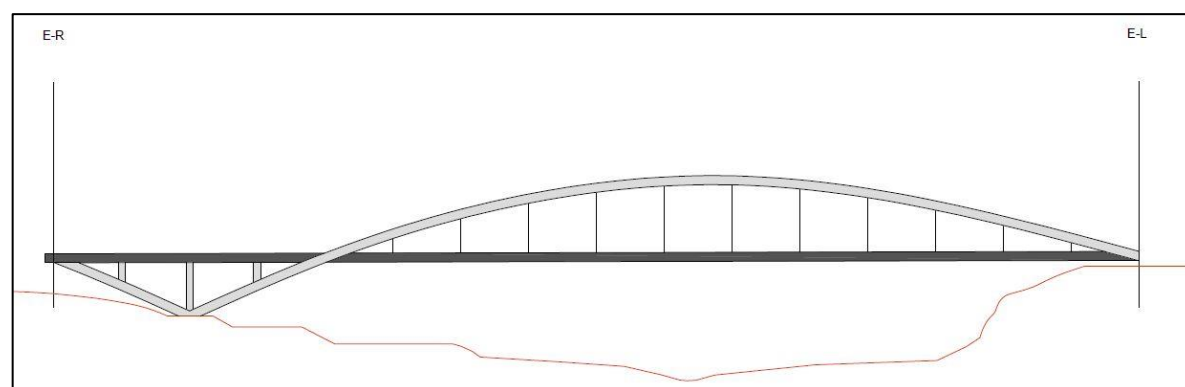


Figura 8. Alzado de la alternativa 2

Los arcos son de sección tubular constante, tanto longitudinal como transversalmente, y con un radio de 0,75 metros. Se ha decidido una sección constante puesto que el posible pandeo que se pudiera producir en los mismos se encuentra limitado por el efecto de arriostramiento que supone el tiro de las péndolas y además, el empleo de hormigón disminuye este efecto.

Los arcos arrancan del estribo izquierdo con cierta inclinación hacia el exterior, situándose por encima del tablero, alcanzando una altura máxima de 8 metros desde la rasante del tablero hasta su eje, tras una distancia de 45 metros. Conforme descienden van juntándose hasta apoyar sobre una cimentación dentro del cauce del río y luego, vuelven a ascender inclinados hasta terminar en el estribo derecho. En esta parte, el tablero se sitúa por encima de los arcos.

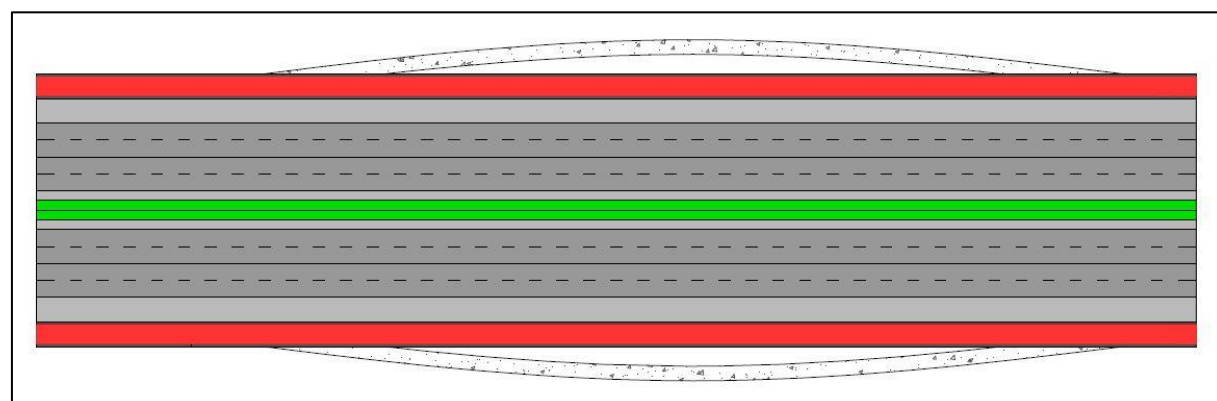


Figura 9. Planta de la alternativa 2

En la parte del tablero donde los arcos se sitúan por encima del mismo, éste queda sustentado mediante 11 péndolas flexibles separadas entre ellas 7,5 metros y ancladas a los extremos del tablero; mientras que en la parte donde los arcos discurren por debajo, el tablero se apoya en tres pilas que respetan la misma modulación que las péndolas. Esta diferenciación se debe a los esfuerzos que son transmitidos por el tablero a ambas sustentaciones.

Finalmente, el tablero correspondiente a esta solución actúa como un gran tirante. Éste está constituido por dos vigas cajón de hormigón, situadas en los extremos del tablero. El canto de los cajones es de 1,7 m y tienen un ancho de 2 m, entre ellos se sitúa una losa de 0,20 m de espesor que soporta las cargas del tráfico. Para disminuir la flexión local en la losa ésta se apoya sobre vigas transversales metálicas en doble T separadas 2,5 m que transmiten las cargas a los dos cajones principales. Sobre la losa se ejecutará el carril bici y el pavimento de la calzada, y para la correcta adherencia entre la losa y las vigas transversales se instalará una chapa grecada.

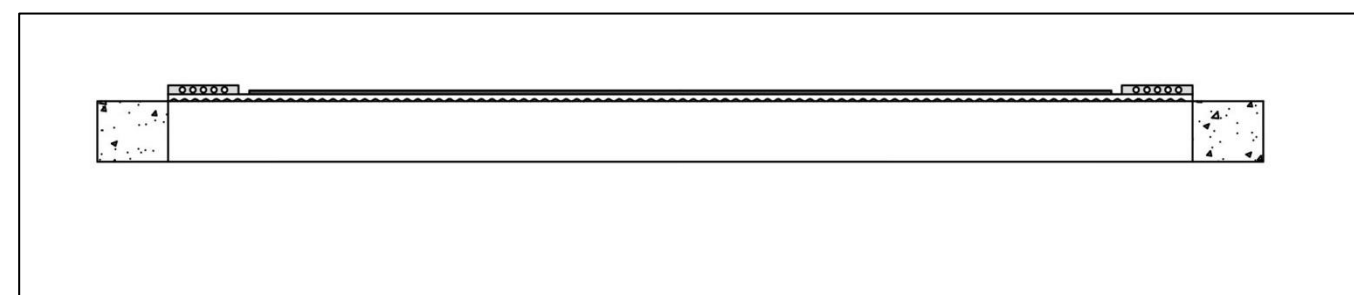
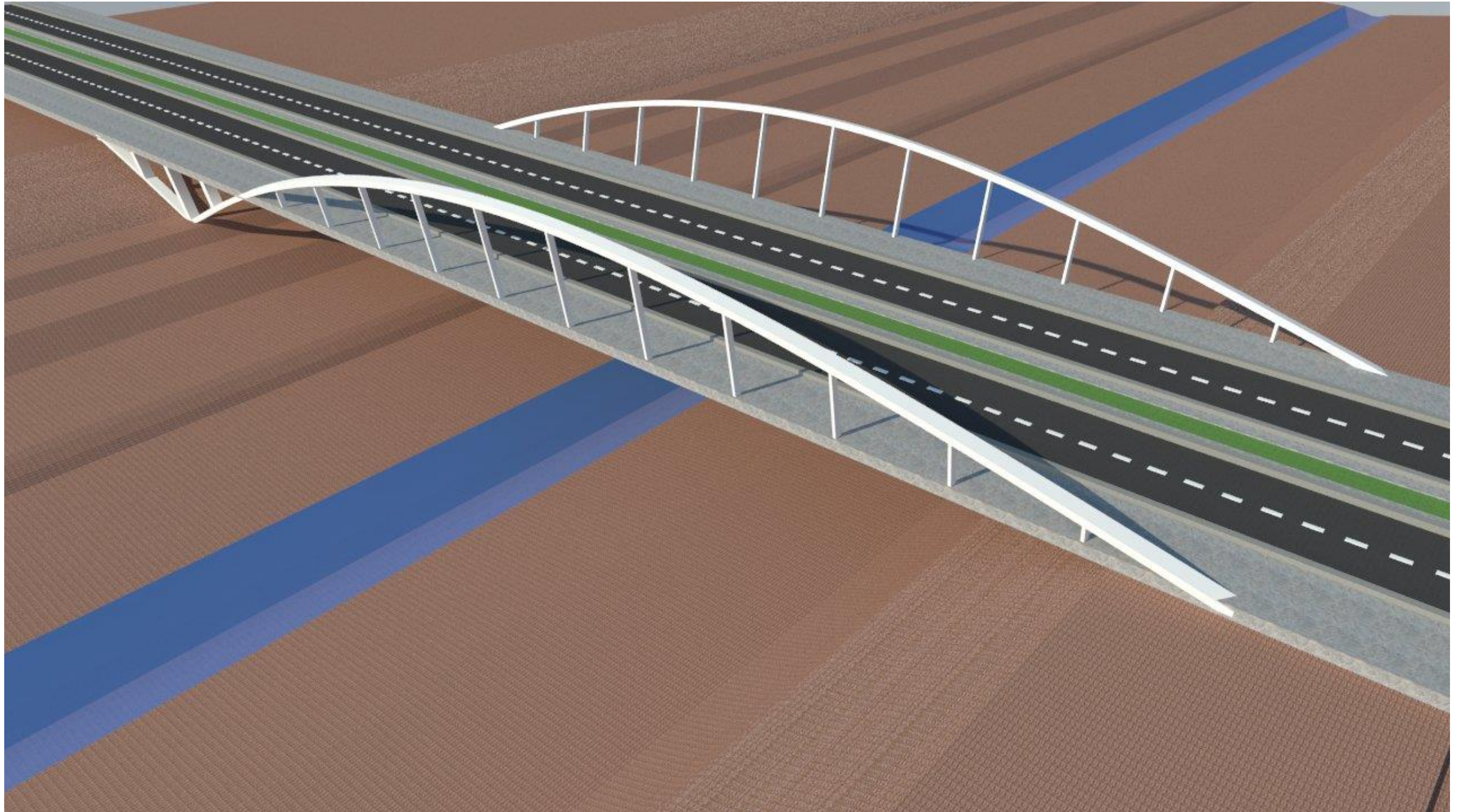


Figura 10. Sección transversal del tablero de la alternativa 2



4.3. Alternativa nº 3: Puente arco con tablero inferior

En este caso, se propone un puente cuyo sistema resistente es un arco de hormigón con péndolas rígidas, de hormigón también, que cubre la luz total de 120 metros de longitud.

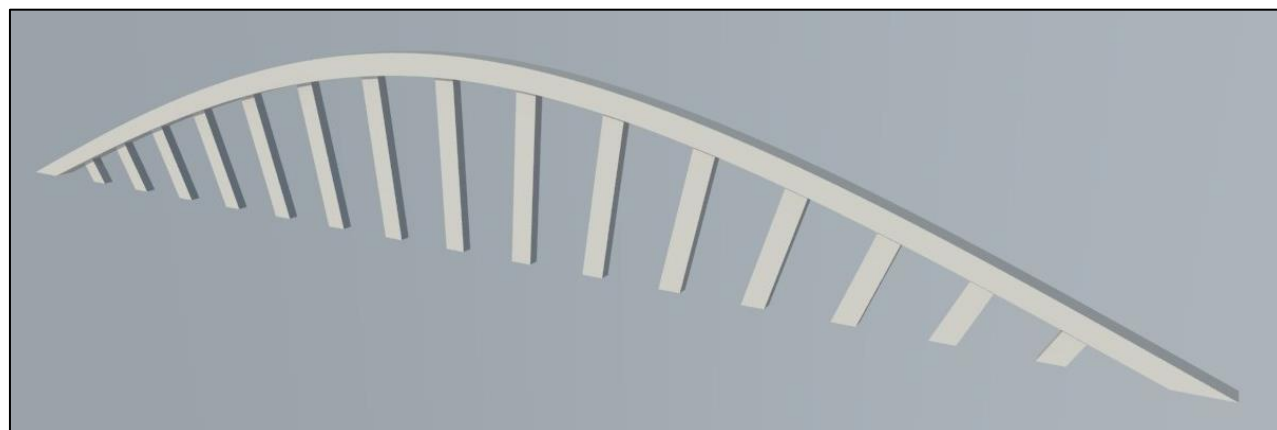


Figura 11. Alzado del arco de la alternativa 3

El arco estará formado por un total de 15 péndolas rígidas separadas entre sí 7,5 metros. Estas péndolas están empotradas en el plano longitudinal, con lo que se consigue un comportamiento longitudinal similar al de una viga Vierendel, donde los montantes son las péndolas rígidas, a las que se les proporciona cierta inclinación, el cordón superior es el arco, y el cordón inferior es el tablero. Con la elección de péndolas rígidas y su disposición se busca deliberadamente la colaboración resistente, principalmente a flexión.

El primer estudio que se hace define un solo arco colocado en el plano de la mediana de la calzada. El arco se caracteriza por tener una sección rectangular constante en todo su recorrido. Alcanza su máxima altura en el centro-luz del puente, siendo esta de 17 metros.

En este caso, el tablero se configura como tirante del arco y estaría formado de una sola viga cajón de hormigón, que actuaría como viga longitudinal, cuyo eje coincidiría con el eje del arco. Las péndolas serían ancladas sobre un macizamiento colocado en dicha viga. El ancho total del tablero se obtiene mediante la disposición de cuchillos metálicos cada 2,5 metros. Sobre este esqueleto metálico se acomoda una chapa grecada, sobre la cual descansa una losa colaborante de hormigón armado de 20 centímetros de espesor. La configuración de todos los elementos de dicho tablero se pueden observar en la Figura 12.

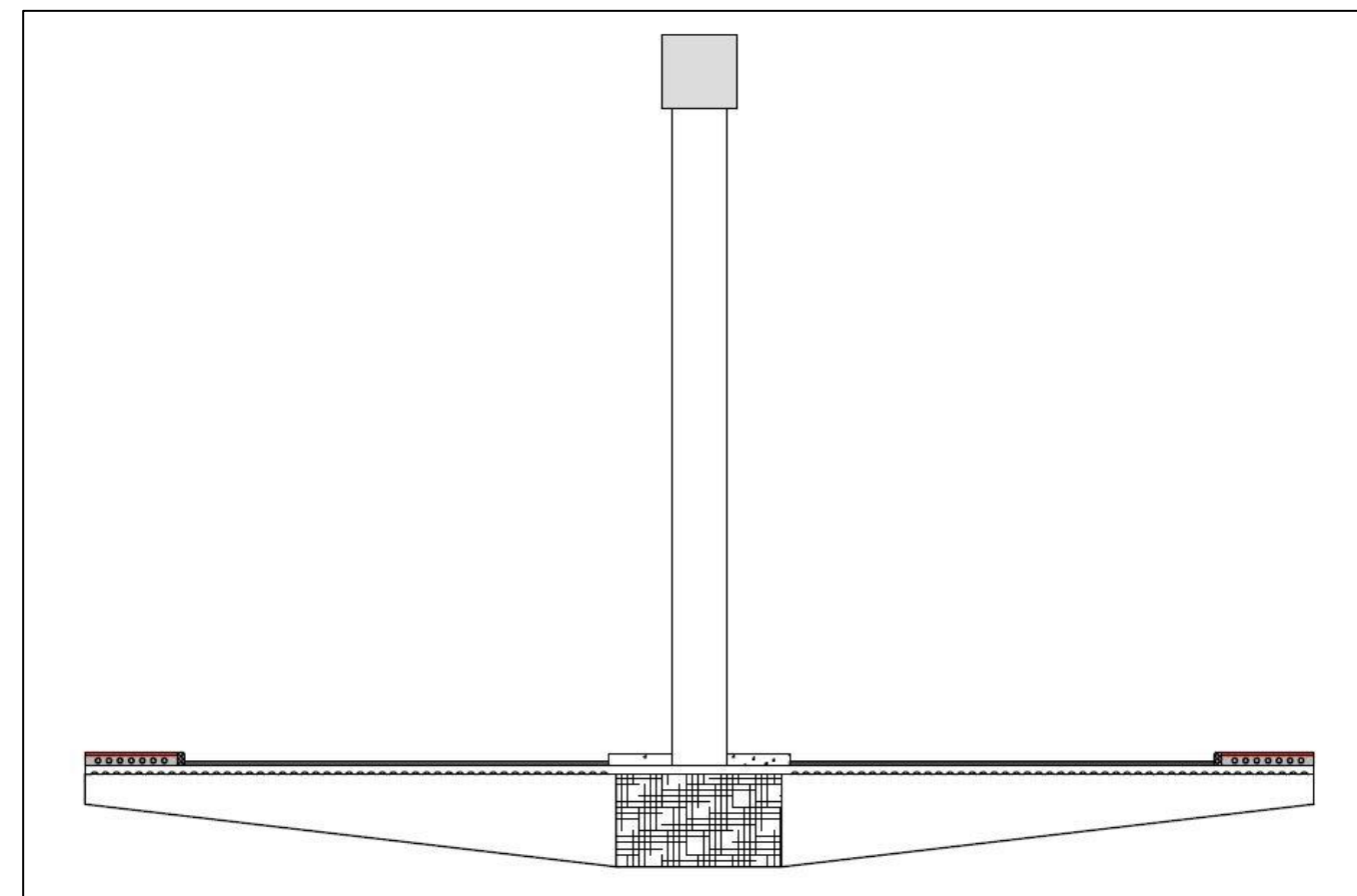


Figura 12. Sección transversal del tablero de la alternativa 3

Sin embargo, esta configuración con un único arco central presenta un gran inconveniente: su baja rigidez a torsión, que obliga a soluciones con un mayor canto del tablero y a alturas del arco superiores.

Por este motivo, se propone una segunda solución que consiste en el desdoblamiento de este arco, que seguirá teniendo las mismas características pero en este caso la altura de cada uno de ellos podrá disminuir ya que se realiza un reparto de las cargas. En este caso, los arcos se situarán entre la calzada y el carril bici, separando la zona de tránsito de vehículos de la zona peatonal.

El tablero de esta solución consta de dos cajones de hormigón, que constituyen las vigas longitudinales principales sobre las que se situarán los arcos. Estos cajones se encuentran separados el uno del otro desde sus ejes 26 metros. El entramado se completa mediante vigas de piso metálicas con sección en T colocadas entre los cajones y separadas entre sí 2,5 metros, que conformarán la base para la calzada del puente; y cuchillos metálicos, situados en el mismo plano que las vigas transversales y que materializan la parte del tablero que corresponde al carril bici. La parte superior del tablero se desarrollará de la misma forma que en la solución con un único arco.

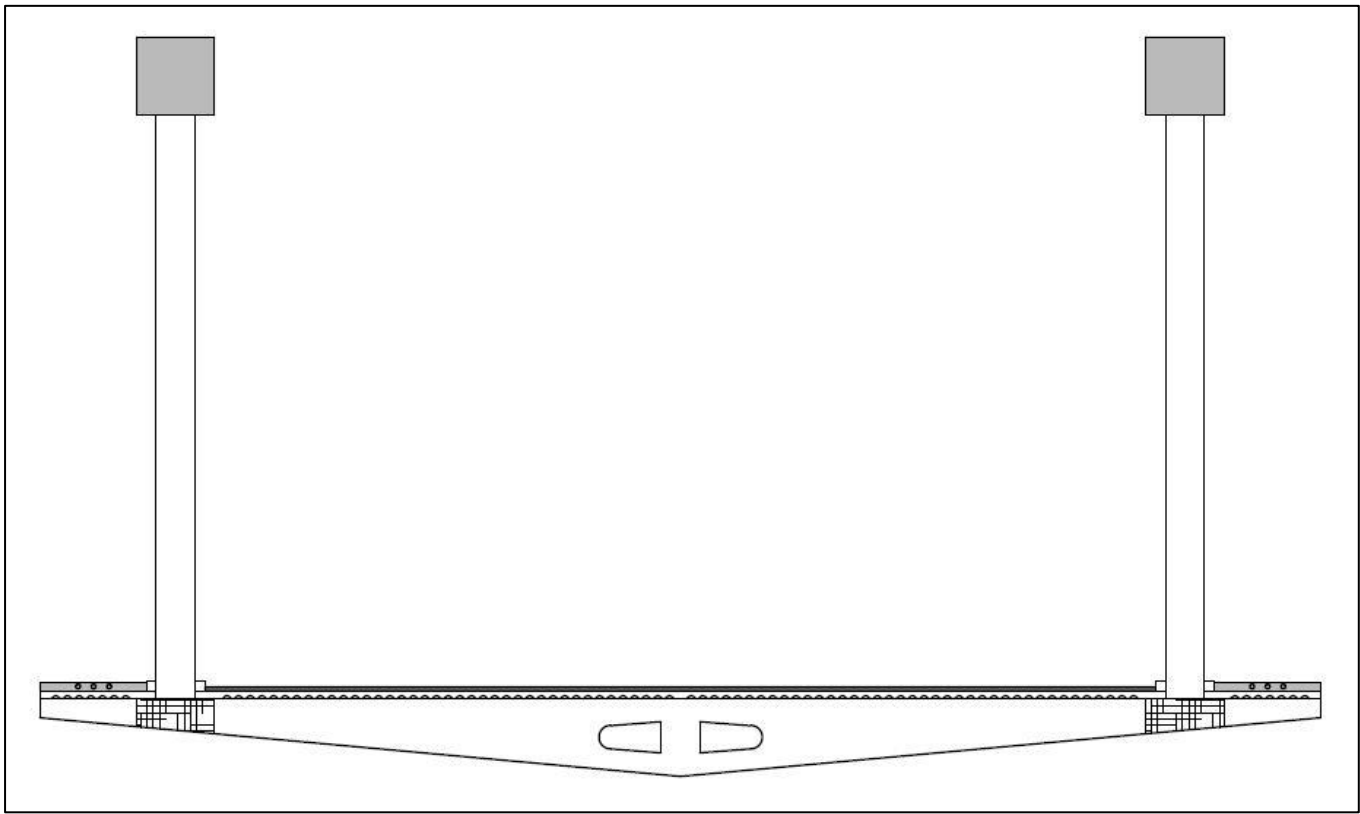
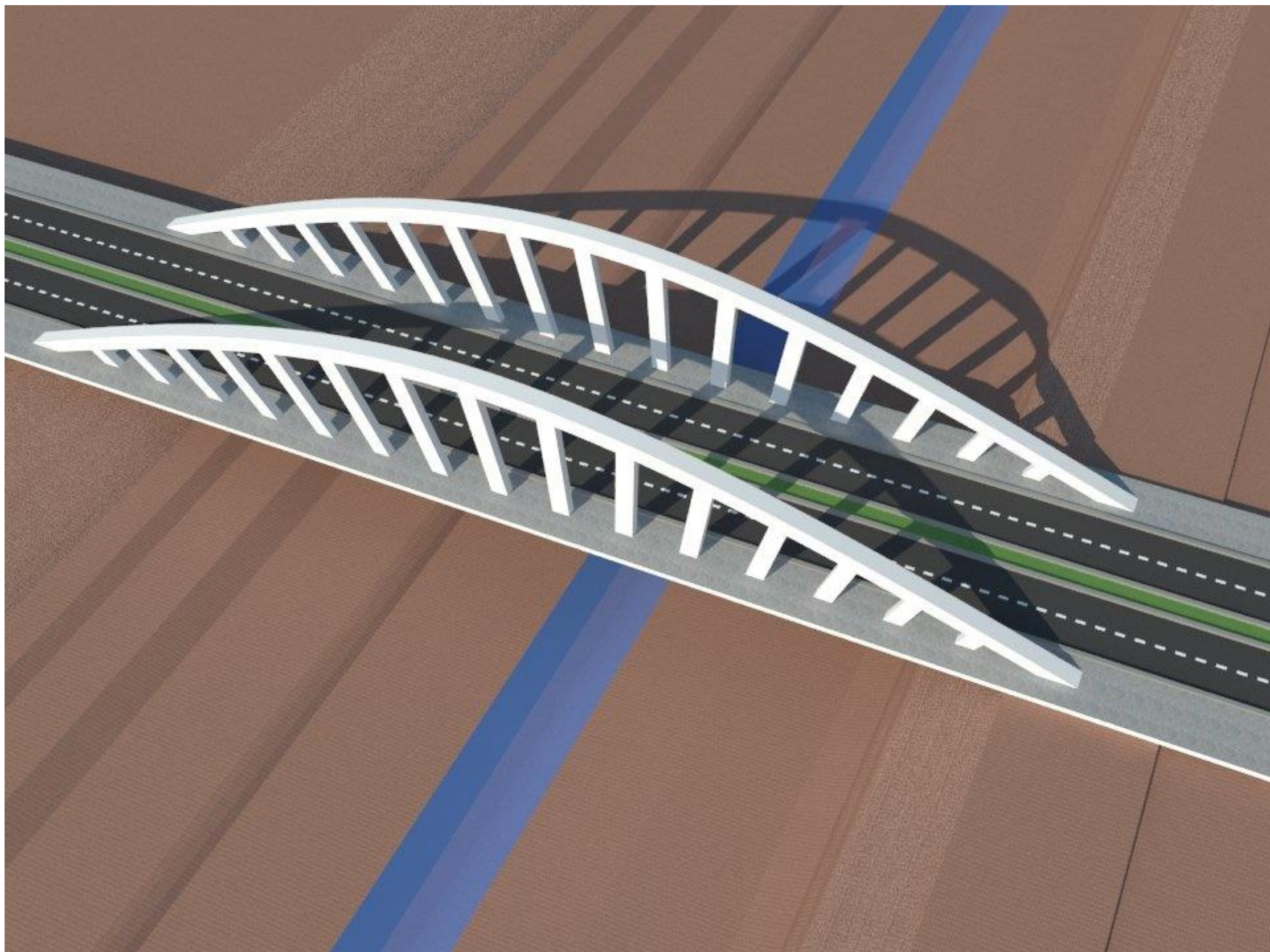


Figura 13. Sección transversal elegida para la alternativa 3



4.4. Alternativa nº 4: Puente viga de canto variable

Con esta alternativa se plantea la ejecución de un puente viga, con canto variable, y con tres vanos, uno central de 60 metros y dos laterales de 30 metros cada uno de ellos.

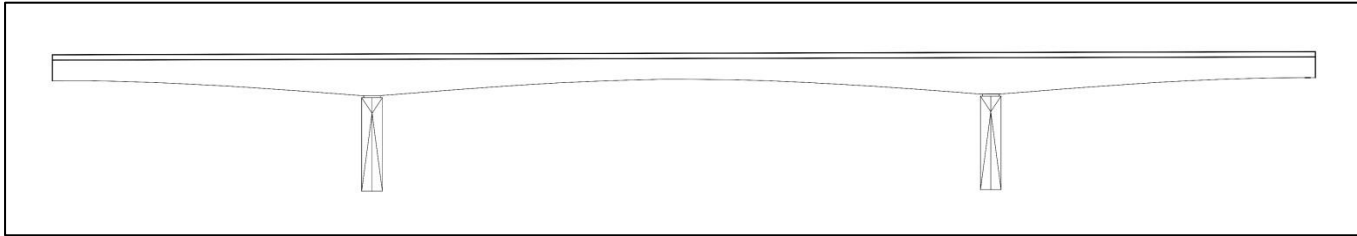


Figura 14. Alzado de la alternativa 4

El tablero de esta solución consiste en un único cajón cuatricelular de hormigón pretensado, construido in situ, que cubre los 29,4 metros de ancho que necesita el puente para continuar con el trazado de la circunvalación. La separación entre almas es de 4,60 m y la longitud de la losa inferior es de 16,20 m. La parte correspondiente a los voladizos del cajón y que soporta las cargas del carril bici es de sección constante, mientras que la losa superior del cajón que queda por debajo de la calzada se construye proporcionando la pendiente que se establece en las condiciones de proyecto. La transición entre los voladizos y las almas de los extremos del cajón se efectúa mediante un aumento de la sección de hormigón, para evitar la posible aparición de fisuras.

Los 120 metros de tablero se ejecutarán de forma continua, siendo solo necesario juntas de dilatación sobre los estribos. Su canto varía, siendo máximo sobre las pilas y con un valor de 4,058 m, mientras que su valor mínimo se produce en el centro del vano principal, siendo de 2,558 m. Ésta variación del canto se ajusta a la ley de flectores de una viga continua multiapoyada. Para adaptar el tablero y adecuar éste lo máximo posible a las leyes de flectores, se ejecuta el intradós curvo, con trazado parabólico.

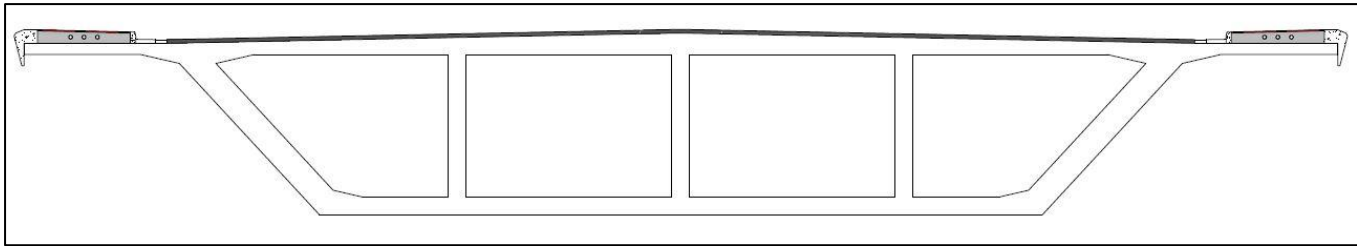


Figura 15. Sección transversal de la alternativa 4

La elección de una sección en cajón se debe a que son capaces de resistir grandes momentos flectores, tanto positivos como negativos; su sección cerrada le proporciona una gran rigidez torsional; su elevado radio de giro les proporciona un excelente rendimiento para el pretensado; y además, al estar huecos se pueden obtener tableros ligeros frente a soluciones macizas.

Con respecto a las pilas que conforman los apoyos intermedios de la estructura, consisten en dos pantallas de hormigón armado con una anchura igual a la de la losa inferior del cajón del tablero, un espesor de 2 metros, y una altura inferior a 10 metros, siendo la pila izquierda más alta que la derecha pues su cimentación se encuentra a menor cota. La geometría de las pilas se puede observar en la Figura 16, siendo este diseño elegido con la finalidad de conseguir una estética general del puente en el que prioricen las formas rectas con cantos angulosos. Por otro lado, la preferencia por una pantalla de tal longitud se debe a la escasa altura que hay entre el terreno y la cota inferior del tablero y a los efectos hidrodinámicos que provocaría el agua en caso de una avenida importante.

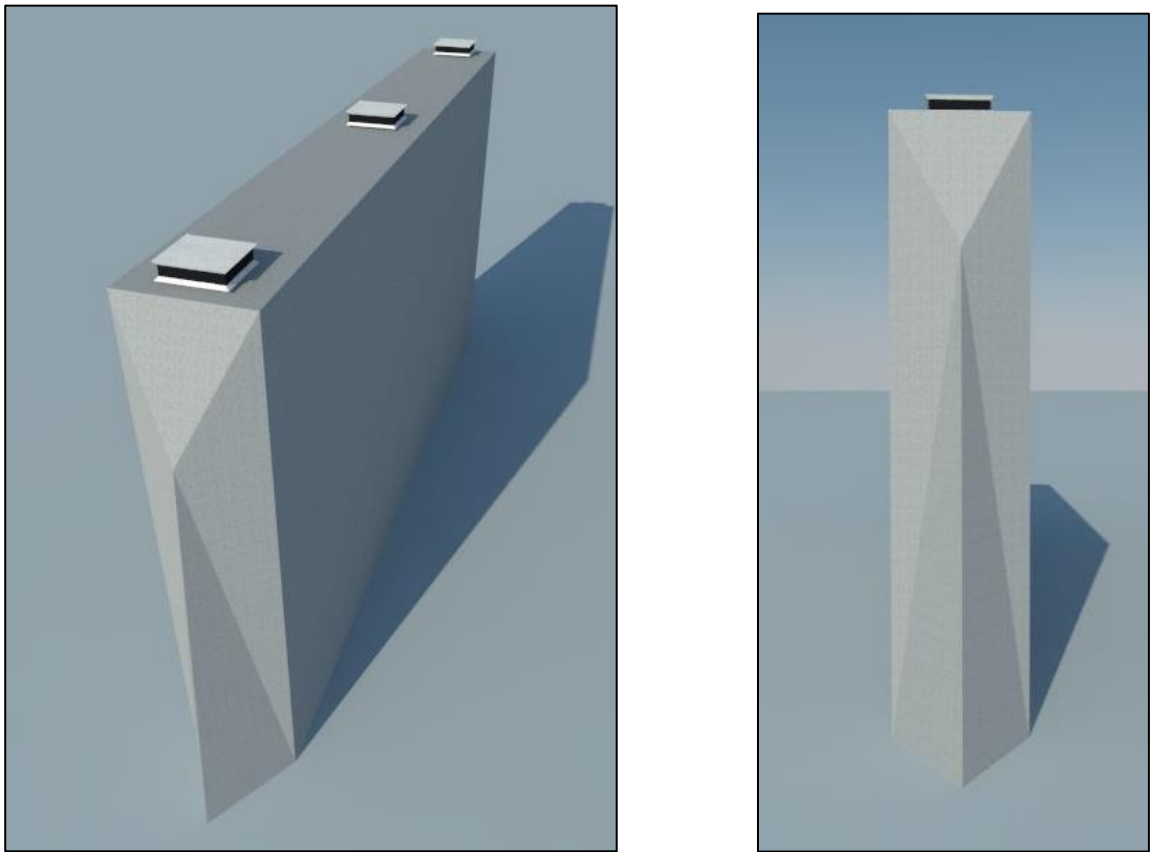
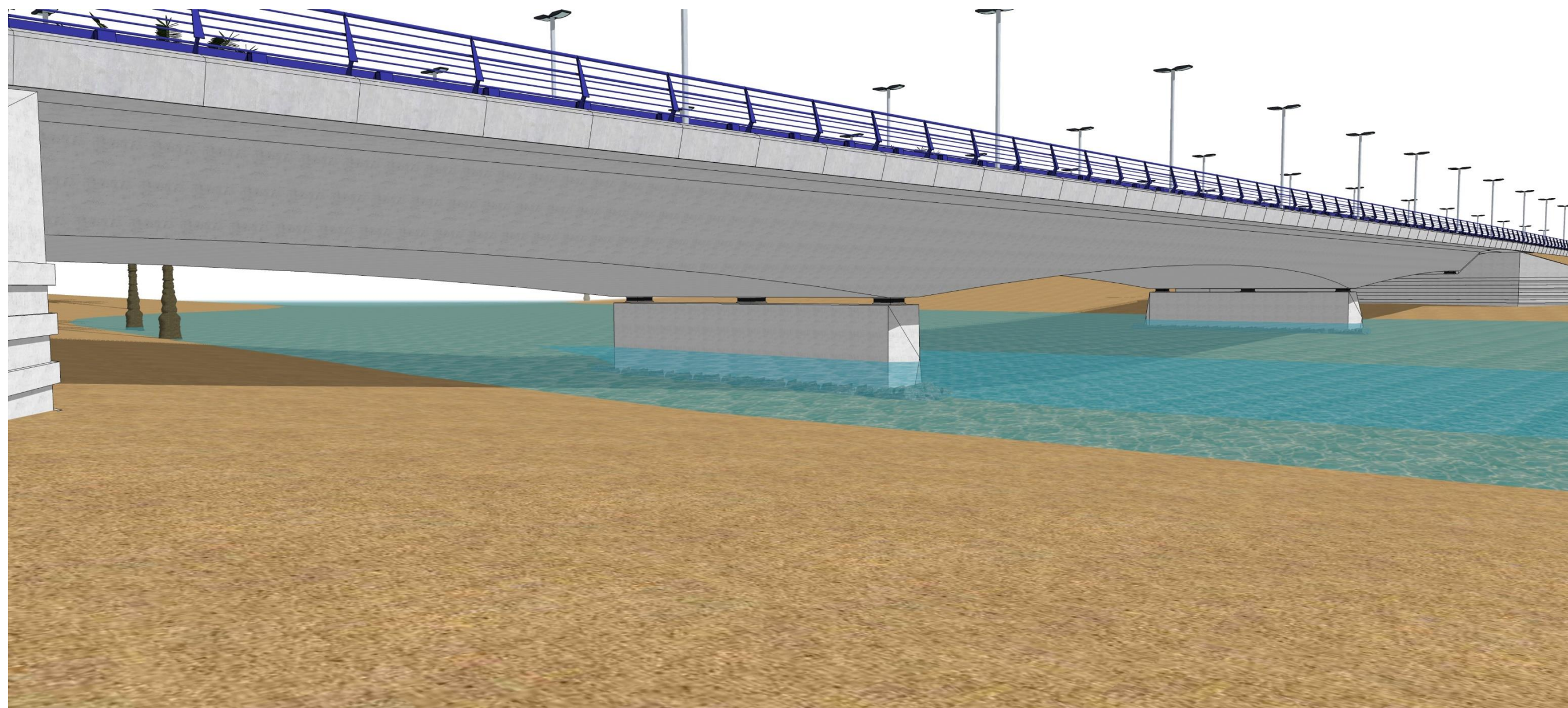


Figura 16. Pilas de la alternativa 4



4.5. Alternativa nº 5: Puente de vigas prefabricadas

Finalmente, la quinta solución consiste en una estructura prefabricada que consta de 27 vigas doble T de 40 metros de longitud cada una, que se apoyan en dos filas de pilas intermedias construidas in situ, formando de esta forma tres vanos de igual longitud.

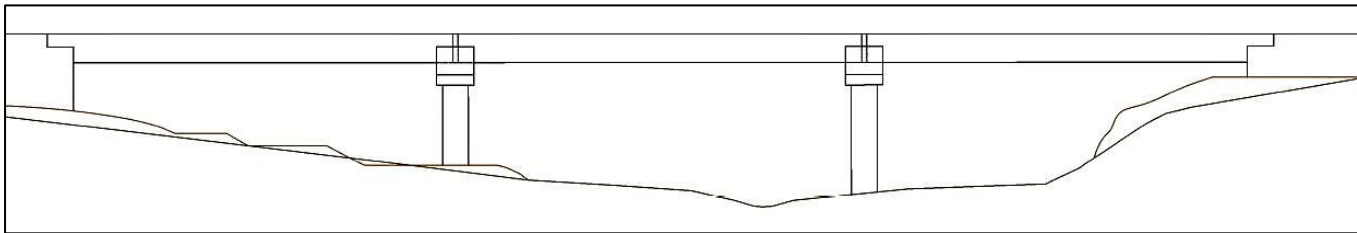


Figura 17. Alzado de la alternativa 5

Las vigas en doble T son pretensadas y tienen un canto constante de 2,35 m. La separación entre ejes de vigas es de 3,2 m, con el fin de disminuir la flexión transversal que se produce en la losa superior. Este espacio entre vigas será ocupado por prelosas que facilitarán la ejecución de la losa superior. La elección de este tipo de viga prefabricada se debe a su gran facilidad de colocación y montaje y su menor peso respecto a otro tipo de vigas.

Sobre estas vigas y prelosas, que actúan de encofrado perdido, se colocará una losa sobrepuesta ejecutada in situ de un espesor de 0,22 m. Para ello, se realizará una prolongación de los cercos que arman las almas de las vigas. Esta losa será continua entre vanos, desconectada adecuadamente en torno a los apoyos extremos, creando de esta forma tramos semi-continuos y favoreciendo la función que ha de cumplir la junta de dilatación que se colocará entre cada vano. Justo encima de la losa se ejecutará la superestructura del puente.

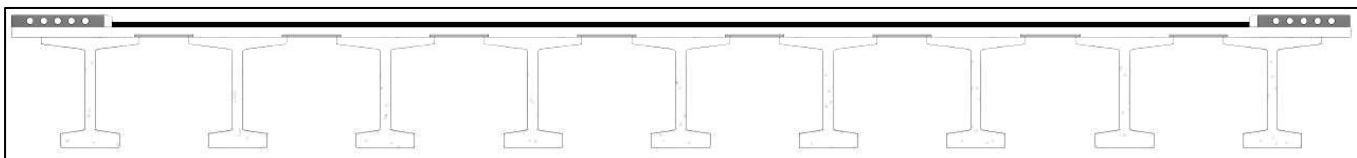


Figura 18. Sección transversal de la alternativa 5

Finalmente, estas vigas irán apoyadas sobre un capitel que recoge las cargas del tablero y las transmite a cada una de las pilas que se han fabricado in situ. En total, se dispondrán 3 pilas por fila de apoyo, con una sección circular, lo que disminuye el efecto erosivo del agua sobre ellas. En este caso se decide la construcción in

situ de las pilas puesto que la morfología irregular del terreno conlleva a la ejecución de pilas con diferentes alturas, lo que económicamente es más factible de esta forma.

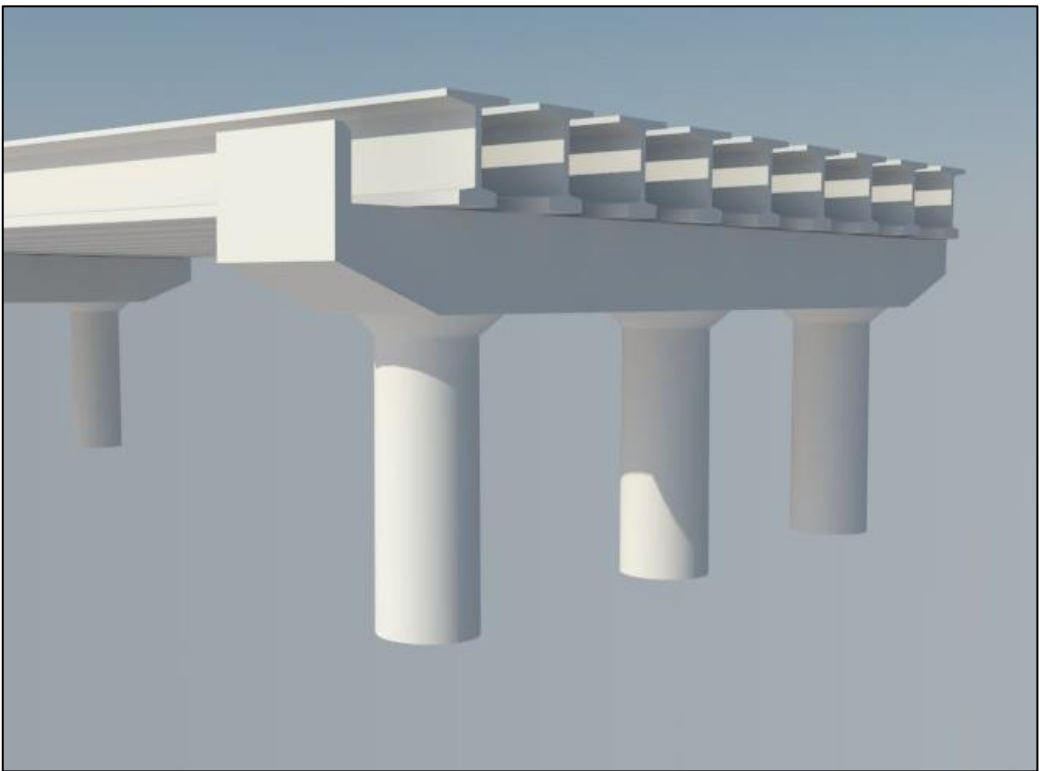


Figura 19. Detalle de las pilas de la alternativa 5

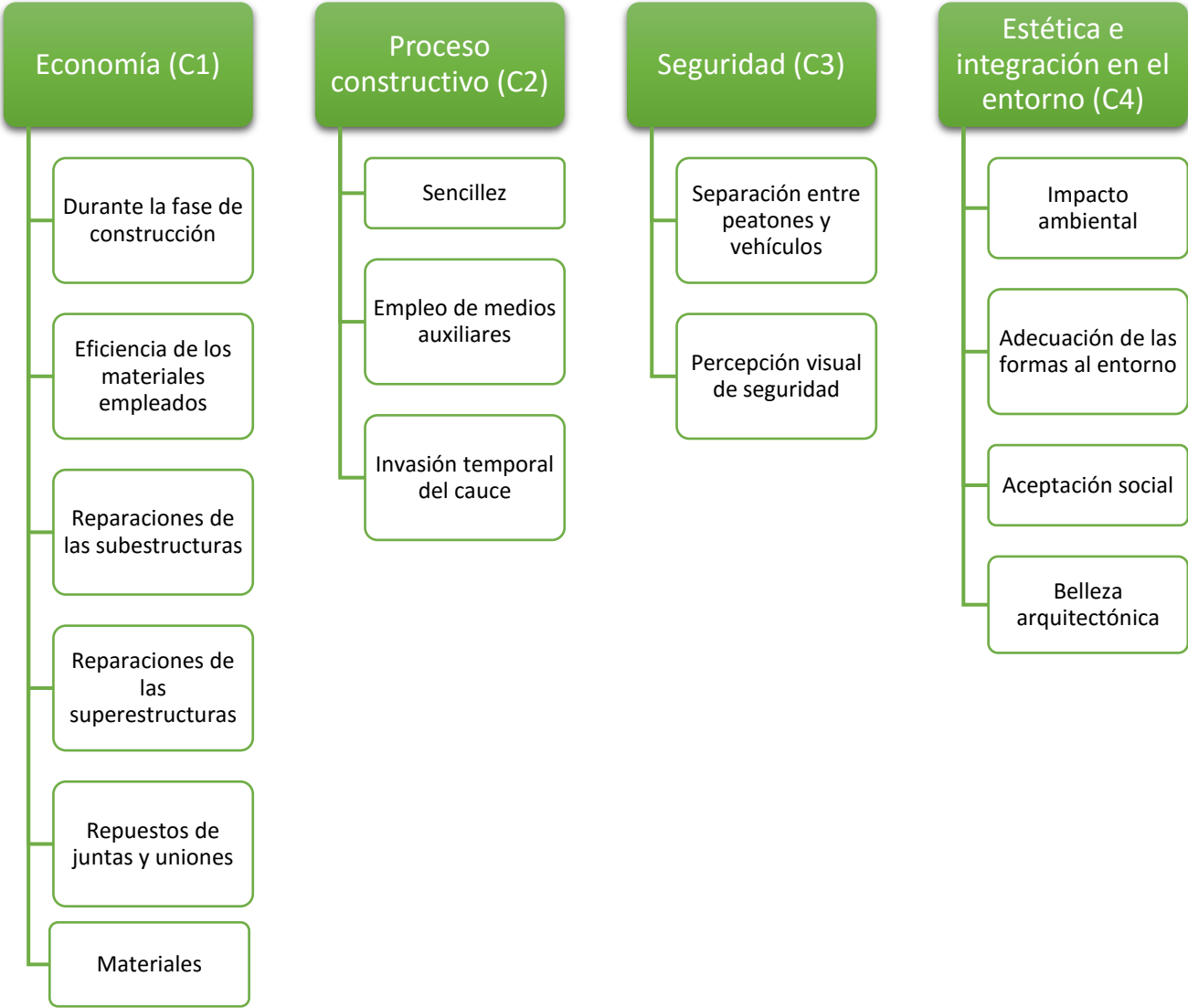


5. ESTUDIO COMPARATIVO DE SOLUCIONES

Tras el desarrollo de cada una de las alternativas propuestas, se lleva a cabo un proceso de comparación, basado en un conjunto de criterios y subcriterios que han de ser referencia en cualquier trabajo de ingeniería. Con esto, se pretende obtener un resultado numérico que permite la elección de una de las soluciones como aquella que mejor se ajusta a las necesidades y los requisitos impuestos.

5.1. Conceptos y subconceptos diferenciadores

A continuación se exponen aquellos criterios que han sido evaluados para cada alternativa, adjuntándoles unos pesos elegidos de forma puramente subjetiva por los integrantes del presente Trabajo Fin de Grado.



5.1.1. Economía

El criterio al que se le ha asociado un mayor peso es a la economía (C1). Tal y como está la situación actual de España con respecto al marco económico, es imprescindible que las soluciones que se planteen se encuentren dentro de unos rangos monetarios accesibles para las Administraciones. Se ha considerado analizar económicamente cada una de las alternativas diferenciando entre aquellos gastos que se generan durante la fase de construcción, y los que se producen durante la fase de explotación y mantenimiento de la estructura una vez ejecutada.

5.1.1.1. Economía: Fase de construcción (C1.1)

Se ha puntuado cada alternativa basándonos en presupuestos de obras, que son ejemplo de buena práctica estructural, con características similares en cuanto a tipología, materiales empleados y luces.

A raíz de esa información, se ha puntuado de forma más desfavorable a la alternativa del atirantado con un 1/5 pues son muchos los elementos que conforman la estructura y muchas las cimentaciones que se han de efectuar, además de que los métodos empleados para ello son más sofisticados, y por tanto, más caros. Por otro lado, las alternativas cuyo sistema resistente es un arco se han puntuado de forma parecida, con un 2/5 al arco con tablero intermedio y un 2,5/5 al arco con tablero inferior. Esta pequeña diferencia se debe a que el arco de la alternativa 2 posee una pila en medio del cauce, lo que significa que se ha de construir una cimentación más y esto aumentará los costes en la fase de construcción. Por otro lado, la diferencia entre ambas alternativas no es superior puesto que la altura del arco de la alternativa 3 es considerablemente superior a la de la alternativa 2, lo que también incrementa el presupuesto. Finalmente, las alternativas compuestas por un tablero de vigas sobre pilas tendrán un coste inferior a las demás pues su proceso constructivo es relativamente sencillo y los materiales empleados son más económicos, ya que lo único que tendría un presupuesto superior sería el armado pasivo y el pretensado. Entre estas dos alternativas, la que está formada por elementos prefabricados tendrá una puntuación de 5/5, considerándola la más barata de las opciones, mientras que la alternativa 4 se puntuará con un 4/5 pues para su construcción hará falta una cimbra cuajada que aumentará considerablemente los costes.

5.1.1.2. Economía: Eficiencia de los materiales empleados (C1.2)

Con esto nos referimos al uso del material estrictamente indispensable para dotar a la sección de la resistencia suficiente, de forma que una propuesta será menos eficiente cuando se produzca un mayor exceso de material para unas mismas cargas.

Considerando los elementos resistentes que conforman las tres primeras alternativas, todos ellos se diseñan ajustando las dimensiones de los mismos para que sean capaces de resistir las cargas a las que están sometidos, por lo que se les otorga una puntuación alta para este subcriterio. En el caso de la alternativa 4, la

variación del canto que se le proporciona a la viga cajón se realiza conforme la ley de flectores, por lo que en principio, se emplea el material rigurosamente necesario para conseguir la resistencia necesaria en función de las cargas que ha de soportar el tablero. Por último, la alternativa menos eficiente es la prefabricada debido a su canto constante en todo su recorrido.

5.1.1.3. Economía: Reparaciones de las subestructuras (C1.3)

Con esto se quiere puntuar de forma desfavorable a aquellas alternativas que tengan mayor posibilidad de necesitar reparaciones en sus subestructuras que supongan en coste económico adicional al realizado durante la fase de construcción. Se ha tenido sobre todo en cuenta los efectos de la socavación que se puedan ocasionar en pilas y estribos y que significaría una reposición o mejora de las protecciones empleadas para evitar o disminuir dicho fenómeno.

Por tanto, aquellas alternativas en las que existan pilas que invadan el cauce, como serían las alternativas 2, 4 y 5, tendrían mayor probabilidad de fallos por socavación. La alternativa 2 se ha puntuado con un 3/5, puesto que solamente cuenta con una pila, que además se encuentra alejada de la lámina de agua del río en condiciones normales. La alternativa 4 y la 5 son las más afectadas en el caso de una avenida extraordinaria, por lo que sus puntuaciones son de 2/5 y de 1/5 respectivamente, penalizando más a la alternativa 5 pues sus pilas quedarían más dañadas por la acción del agua en el caso de avenida debido a que su vano central es menor y sus pilas se encuentran más próximas. Por último, para la alternativa del atirantado se ha considerado que sus subestructuras quedarían más dañadas debido a que han de soportar cargas mayores que las producidas en la alternativa 3, por lo que el coste de sus reparaciones sería más importante, y por tanto se le ha otorgado una puntuación de 4,5/5 para la alternativa atirantada y de 5/5 para la alternativa de arco con tablero inferior.

5.1.1.4. Economía: Reparaciones de las superestructuras (C1.4)

En este caso se hace hincapié en las reparaciones que han de realizarse ante el posible deterioro de algún elemento que forme parte del sistema resistente de la estructura, como sería en el caso de que se produzca el impacto de un objeto sobre el arco que sostiene la estructura, o sobre las vigas que conforman el tablero, o bien, la reposición de tirantes y péndolas por deterioro excesivo o plastificación.

En el caso de las alternativas cuyo sistema resistente son los arcos, el arco de la alternativa 3, que se sitúa separando la calzada del carril bici tendrá más posibilidad de verse afectado por el impacto de un coche que el arco de la alternativa 2, sin embargo, el tablero de la alternativa 2 se sujeta mediante péndolas flexibles, que tienen problemas de plastificación o pérdidas de tensión que requieren reparación costosa, mientras que las péndolas del arco de la alternativa 3 son rígidas, por lo que no sufrirán daños considerables a no ser que algo choque contra ellas. Por lo que las puntuaciones en este caso son de 2/5 para la alternativa 2, pues presenta dos

casos desfavorables de reparación, y de 3/5 para la alternativa 3. Por otro lado, teniendo en cuenta el gran número de tirantes que forman el sistema resistente de la alternativa 1 y que estos pueden sufrir deterioros importantes a lo largo de su vida útil, ha sido puntuada con un 4/5. Finalmente, sería raro que se produjera algún daño significativo del tablero de las estructuras de las soluciones 4 y 5, ya que la lámina de agua queda con un resguardo de casi 6 metros en el caso de una avenida con un período de retorno de 500 años y sería raro que los objetos que transportara en ese momento el río impactaran con el tablero. Por tanto, estas dos alternativas han sido puntuadas con un 5/5.

5.1.1.5. Economía: Repuestos de juntas y uniones (C1.5)

Con este subcriterio se pretende penalizar a aquellas soluciones con exceso de juntas, puesto que esto supondrá mayores problemas de durabilidad de los materiales si la junta no se encuentra en perfectas condiciones, sobre todo de estanqueidad, con sus respectivas consecuencias, y un gasto adicional en el caso del deterioro de la misma y su reposición. Por otro lado, también se considerará desfavorable el empleo de muchas uniones en los elementos que conforman la estructura, ya que será necesario su seguimiento y comprobación, así como su renovación si fuera necesaria, para evitar cualquier fallo que se pudiera producir.

La solución prefabricada será la que tenga un mayor número de juntas, por lo que quedará penalizada por ello con una puntuación de 1/5. El tablero de la solución 3 está formado por vigas transversales y cuchillos unidos a las vigas longitudinales, por lo que serán muchas las uniones que se han de efectuar y que se deberán comprobar y reparar en caso de mal estado, por lo que la puntuación en este caso es de 2/5. En el caso de la solución atirantada y de la solución del arco con tablero intermedio, el anclaje de las péndolas al tablero podría ser objeto de reparación en caso de deterioro. En este caso, en la solución atirantada los tirantes no solo irán unidos al tablero, sino que han de anclarse también a los macizos de anclaje, aumentando el número de uniones, por lo que se le otorga una puntuación de 3/5, mientras que a la alternativa 2 se le puntúa con un 4/5. Por último, la alternativa 4 no tiene ningún problema de los descritos hasta ahora, pues es una solución con únicamente dos juntas de dilatación en cada extremo y un tablero ejecutado in situ continuo, por consiguiente, su puntuación es de 5/5.

5.1.1.6. Economía: Materiales (C1.6)

Para esto, se ha tenido en cuenta la durabilidad de cada uno de los materiales que forman parte de la estructura, pensando en el gasto necesario para su mantenimiento en perfectas condiciones en un futuro.

Aquellas alternativas cuyos elementos sean todos de hormigón serán las más baratas a la hora de su mantenimiento futuro, por lo que la alternativa 4 se puntúa con un 4,5/5 y la alternativa 5 con un 5/5. Esta pequeña diferencia se debe a que la alternativa 5 está compuesta por materiales prefabricados, por lo que el

hormigón empleado estará sometido a más controles de calidad y los acabados serán mejores, además de que se pueden conseguir mayores resistencias y mejores prestaciones. En el caso de las otras tres alternativas, son estructuras mixtas en mayor o menor medida, con lo que ello conlleva, es decir, pinturas anticorrosión en elementos metálicos que suponen un coste y además, el material en sí tiene un coste de adquisición superior al hormigón. La alternativa 1 será la más cara durante la fase de mantenimiento pues los macizos de anclaje, como se ha comentado, quedan enterrados en el terreno, por lo que los cables deberán ser tratados ante el deterioro que pudiera causarle esta disposición. Por otro lado, los arcos de las alternativas 2 y 3 son de hormigón, sin embargo, para la alternativa 3 se han elegido péndolas rígidas de hormigón también y para la alternativa 2, péndolas flexibles de acero, por lo que la puntuación será mejor para la alternativa 3.

5.1.2. Proceso constructivo

El siguiente criterio al que se le ofrece un mayor peso es al proceso constructivo (C2). Este criterio se considera importante ya que de él dependen otros factores que afectan a la obra en su conjunto, como puede ser la economía y los plazos de ejecución.

5.1.2.1. Proceso constructivo: Sencillez (C2.1)

Para la evaluación de este criterio nos hemos basado en otras obras ingenieriles de las mismas características en cuanto a tipología, materiales empleados y luces de vanos. Con esto, se puntuó de forma más desfavorable aquellas alternativas cuyo proceso constructivo requiera técnicas o métodos de ejecución más complicados, lo que equivale la mayor parte de veces al aumento del presupuesto de la obra y de los plazos de ejecución.

Las valoraciones realizadas son similares a las hechas para el subcriterio C1.1, puesto que son factores que suelen ir ligados: un mayor coste en la fase de construcción equivale al empleo de métodos o técnicas constructivas más complejas. Por tanto, la solución atirantada será la que posea una mayor complejidad a la hora de su construcción, contando con un gran número de elementos auxiliares, y su puntuación es de 1/5. Con respecto a ambas soluciones con arco, la alternativa 2 será más compleja debido a la inclinación de los arcos y que además cuenta con una pila intermedia; por lo que la valoración de la alternativa 2 es de 2/5 y de la alternativa 3 es de 3/5. El proceso constructivo de la alternativa 4 consiste en la ejecución de las subestructuras y posteriormente la ejecución del tablero con ayuda de una cimbra cuajada, por lo que es un proceso relativamente fácil y se valora con un 4/5. Finalmente, la alternativa más sencilla es la prefabricada, puesto que las vigas que constituyen el tablero se colocarían sobre las pilas construidas in situ con la ayuda de unas grúas y a continuación se ejecutaría la losa de hormigón sobre ellas, así es que esta alternativa tiene una calificación de 5/5.

5.1.2.2. Proceso constructivo: Necesidad de medios auxiliares (C2.2)

Durante la construcción de las infraestructuras van a ser necesarios obras y medios auxiliares para la correcta ejecución de las mismas, como pueden ser las grúas que levantan las vigas prefabricadas o las cimbras que se colocan para sostener el tablero hasta que es capaz de hacerlo por sí mismo. A mayor cantidad de medios auxiliares o mayor complejidad de los mismos, menor será la puntuación proporcionada a las soluciones.

Para el caso de la alternativa 5, solo serán necesarias grúas con capacidad portante y de elevación suficientes para levantar las vigas que componen el tablero de la estructura y los encofrados para la ejecución de la subestructura in situ, por lo que será la solución mejor valorada. Las dos estructuras con arco como sistema resistente se ejecutan de la misma forma, pues en ambas los arcos son de hormigón y el tablero es mixto. Entonces, primero se construyen las dos vigas cajón in situ con ayuda de apoyos intermedios sobre el cauce, luego se montan los arcos mediante voladizos sucesivos atirantados con torres provisionales, y finalmente se unen las vigas transversales y los cuchillos a las vigas longitudinales con la ayuda de grúas para situarlas en su posición y se ponen en carga las péndolas, pudiendo así quitar los apoyos auxiliares de las vigas en cajón. Por tanto, estas soluciones son las más penalizadas por la gran cantidad de medios auxiliares que emplean. Para la estructura atirantada se necesitarán encofrados para las torres, para los macizos de anclaje, para los estribos y para el tablero. Tras la ejecución de los tres primeros elementos, se procede a la construcción del tablero mediante un encofrado deslizante, y se va avanzando conforme se van colocando tirantes que atraviesan las torres y se anclan en los macizos. Además, también son necesarios gatos que permitan el tesado de los tirantes y grúas capaces de elevar los tirantes hasta la parte superior de las torres. Su puntuación por tanto es intermedia. Finalmente, para la construcción de la alternativa 4 se precisan encofrados para las pilas, los estribos y el tablero, y se emplea una cimbra cuajada debido a la poca altura del paso superior y a la posibilidad de poder invadir el cauce, por lo que no son demasiados los elementos auxiliares que se necesitan.

5.1.2.3. Proceso constructivo: Invasión temporal del cauce (C2.3)

A pesar de que la Administración permite la invasión del cauce del río Vinalopó, tanto de forma temporal para la construcción de la obra, como de forma permanente mediante la ejecución de pilas intermedias, se han penalizado aquellas alternativas que en fase de construcción necesiten elementos auxiliares que se tengan que situar obligatoriamente en el cauce del río, debido a que esto podría ser causa de pérdidas materiales y económicas, junto a sus correspondientes consecuencias, en el caso de la presencia de una riada.

La alternativa que mantendrá el cauce ocupado durante más tiempo es la alternativa 4, pues tanto para la construcción de las pilas y los estribos como para el tablero serán necesarios medios auxiliares ubicados sobre el cauce. Además, la cimbra que se ha de emplear para llevar a cabo la construcción del tablero será una cimbra cuajada, que invadirá buena parte del cauce. Por tanto, esta alternativa se valora con un 1/5. Por el contrario, la

alternativa 5 será la que necesite menos espacio del cauce para su construcción y se le asigna una nota de 5/5. Las otras tres soluciones estudiadas tendrán un tiempo y un espacio de ocupación del cauce similar, con la pequeña diferencia de que la alternativa 2 tiene una pila intermedia y necesitará medios auxiliares para construirla que invadirán el cauce, por lo que se le otorga una puntuación de 2/5. Finalmente, el tiempo de invasión de la solución atirantada para la construcción del tablero es inferior al necesario para la solución de arco con tablero inferior, por lo que se las valorará con un 4/5 y un 3/5, respectivamente.

5.1.3. Seguridad

En tercer lugar, el criterio que se ha considerado fundamental y que todas las alternativas han de satisfacer es el de la seguridad (C3). Peatones, ciclistas y vehículos han de estar seguros, y además, tener una sensación de seguridad cuando crucen el puente. Para ello será muy importante todo lo relacionado con los equipamientos de seguridad, como son las barandillas y las defensas contra vehículos, así como la iluminación. Hay que destacar que todas las alternativas tienen que cumplir con el principio básico de seguridad, es decir, contar con el equipamiento necesario y proporcionar la visibilidad adecuada, por tanto lo que se evalúa con este criterio es la mayor o menor capacidad de cada solución de proporcionar las siguientes condiciones:

5.1.3.1. Seguridad: Separación entre peatones y vehículos (C3.1)

Ya se ha mencionado que todas las alternativas constan de las barreras necesarias para separar de forma material la calzada del carril bici, y también, dentro de la misma calzada, los dos sentidos de circulación. Además, todas respetarán los requisitos de iluminación correspondientes. No obstante, se considerará que una alternativa es más segura si junto con todo lo demás, también cuenta con un elemento del sistema resistente del puente que separe la zona de vehículos de motor de la de peatones. De esta forma, en el caso de que se produzca alguna salida de la calzada de un vehículo, primero actuaría el pretil instalado y luego el elemento resistente, disminuyendo la probabilidad de que este vehículo invada el carril bici.

Según esto, la alternativa 3 es la única que satisface este subcriterio, por lo que se le valorará con un 5/5, mientras que todas las demás alternativas tendrán una puntuación de 1/5.

5.1.3.2. Seguridad: Percepción visual de seguridad (C3.2)

En este caso se evalúa la sensación de seguridad que ofrece el puente debido a sus formas y a los elementos que lo componen.

En primer lugar, la alternativa 4 ha sido valorada con la máxima puntuación debido a la robustez de la solución, y a la presencia de tres vanos con luces moderadas, y por tanto, varios puntos de apoyo, lo cual favorece la sensación de firmeza y estabilidad. En el caso de la alternativa 2, se ha optado por una puntuación de

4/5 puesto que los arcos dan la impresión de acoger el tablero y la presencia de varias péndolas a lo largo de su recorrido incrementa esta buena sensación, además, a esto hay que añadirle la presencia de la pila intermedia que disminuye la luz del vano principal. En cuanto a la propuesta atirantada, la presencia de dos torres en un único extremo del puente aporta dinamismo pero al mismo tiempo puede presentar una sensación de inestabilidad, por lo que se le ha puntuado con un 3/5. La alternativa 3 es la única que presenta voladizos en su sección y por ello se ha puntuado con un 2/5, ya que la existencia de estos crea una sensación de inseguridad o incertidumbre. Finalmente, la alternativa peor puntuada ha sido la prefabricada, a pesar de ser la de tipología más común, ya que el proceso de montaje de la misma consigue generar cierta desconfianza al no apreciarse arriostramiento ninguno.

5.1.4. Estética e integración en el entorno

Por último, el criterio al que se le ha considerado menos relevante ha sido el de estética e integración en el entorno (C4). Esto se debe principalmente al emplazamiento donde se encuentra el puente, es decir, justo al terminar el casco urbano del término municipal de Elche. Se han estudiado diferentes subcriterios relacionados entre sí y cuya explicación se ofrece a continuación:

5.1.4.1. Estética e integración en el entorno: Impacto ambiental (C4.1)

En la actividad, la cuestión ambiental se identifica como una de las más importantes preocupaciones de la humanidad. Actualmente los ingenieros civiles, siguiendo el principio de construir obras que sean amigables con el medio ambiente, se han preocupado por limitar y lograr reutilizar la mayor cantidad de residuos que se generan durante el proceso de construcción. En este caso daremos por hecho que en todas las alternativas se realizará un Estudio de Impacto Ambiental acorde con las características de cada una de ellas, por lo que los problemas típicos de deterioro del medio ambiente se verán limitados. No obstante, con este subcriterio queremos penalizar a aquellas alternativas que por la naturaleza de su tipología afecte de algún modo al ecosistema circundante, sobre todo a la fauna de los alrededores, en especial, a las aves.

Por tanto, aquellas alternativas cuyo sistema resistente se sitúe por encima del tablero, y que además dispongan de elementos de considerable altura, pueden ocasionar problemas al vuelo de las aves. Según esto, la solución atirantada sería la más problemática debido a la inclinación de sus tirantes; mientras que en el caso de las soluciones con arco, la alternativa 2 se considera un poco más desfavorable, pues al contar con péndolas flexibles, se complica la visibilidad de las mismas, lo que podría generar el choque accidental de las aves de la zona. En cuanto a las alternativas 4 y 5, las cuales no ofrecen ningún obstáculo que impida el correcto vuelo de las aves, sí puntuamos de manera más favorable a la alternativa 4 pues la variación de su canto produce una disminución del área ocupada por el tablero y favorece el paso de las aves por debajo de la estructura.

5.1.4.2. Estética e integración en el entorno: Adecuación de las formas al entorno (C4.2)

Para puntuar este subcriterio se ha realizado un análisis de las estructuras según su concordancia con el entorno, tanto actual como futuro, de su emplazamiento.

Se tiene en cuenta que el emplazamiento no se sitúa dentro del casco urbano de Elche, por lo que no es vital que la estructura se convierta en un hito arquitectónico de la ciudad, como ocurre con todos los otros puentes que cruzan el río Vinalopó, los cuales sí se encuentran en una zona de ocio y recreo. Sin embargo, su proximidad al casco urbano y a la zona de recreo exige cierto esmero a la hora de elegir el diseño de la estructura.

Por otro lado, el análisis también se realiza según su relación con el entorno futuro del emplazamiento. Se considera que en un futuro se proceda a la continuación del encauzamiento del río Vinalopó, el cual acaba unos 500 metros aguas arriba de donde se localiza el puente. Por consiguiente, si esto se hiciera, la zona de paseo alcanzaría las inmediaciones de la estructura y para que se produzca una correcta integración del puente debería caracterizarse por formas elegantes y que proporcionaran una sensación de belleza a las personas que paseen por el encauzamiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, la alternativa mejor integrada con vista a los puentes situados aguas arriba sería la atirantada, ya que en su diseño precisamente se ha considerado la presencia del Puente de la Generalitat y por ello se han colocado las torres en el extremo derecho del puente y se ha pintado del mismo color. Las dos soluciones en forma de arco también encajarían perfectamente en el entorno, sobre todo tras una ampliación del encauzamiento, por tratarse de estructuras capaces de convertirse en hitos arquitectónicos de la ciudad. En cuanto a la alternativa 4, no consta de una tipología que permita alardear de sus formas, sin embargo, su diseño es elegante y concordaría perfectamente en la actualidad, e incluso tras una ampliación del encauzamiento. Finalmente, la solución prefabricada sería la que más desentonaría por su sobriedad y su sencillez, tanto en la actualidad como en un futuro.

5.1.4.3. Estética e integración en el entorno: Aceptación social (C4.3)

La construcción de una nueva infraestructura siempre viene condicionada por la sociedad a la que afecta, por tanto, es un factor a tener en cuenta. Esta sociedad critica tres aspectos: la funcionalidad de la infraestructura, su coste y su estética. En el caso que vamos a analizar, la funcionalidad de todas las alternativas es la misma, es decir, materializar la continuación de la Circunvalación Sur de Elche a su paso por el río Vinalopó. Por lo que en este caso, la aceptación social está solo condicionada por la estética y la economía de la infraestructura en cuestión.

Aquí se han calificado como los peor aceptados por la sociedad a la alternativa 1 y la alternativa 5. El primero de ellos por parecer un gasto excesivo dado su monumentalismo que no es obligatorio por las características de su emplazamiento, mientras que el segundo podría ser criticado por su falta de estética y su no concordancia con la serie de puentes que cruzan el río Vinalopó a su paso por Elche. La alternativa 4 ha sido puntuada con 5/5 ya que precisamente carece de las dos propiedades que se acaban de criticar. En este caso, la estructura consta de una estética apropiada al entorno actual poco llamativo y su coste se ajusta a la situación económica de la población en el momento de la construcción. En cuanto a los puentes formados por arcos, económicamente son más moderados que la solución atirantada, y estéticamente pueden resultar bastante atractivos, siendo la alternativa 2 la que presenta mayor belleza gracias a su asimetría que dota a la estructura de un mayor dinamismo.

5.1.4.4. Estética e integración en el entorno: Belleza arquitectónica (C4.4)

Para la evaluación de este subcriterio se tendrá en cuenta que las soluciones transmitan una sensación de belleza, de armonía y de proporción entre las distintas dimensiones de los elementos.

La forma de valorar las alternativas en este caso ha sido bastante subjetiva, aunque en base a opiniones varias. Por un lado, claramente las dos soluciones de vigas son las menos atractivas, y dentro de estas dos, la peor puntuada ha sido la alternativa 5 debido a que el canto constante proporciona un efecto de sencillez y sobriedad. En cuanto a la solución atirantada, ofrece una sensación de majestuosidad y monumentalismo por sus grandes dimensiones y por la tipología en sí misma, pero sus elementos carecen de formas arquitectónicas llamativas o que aporten belleza, como podemos observar en la geometría de sus torres, por lo que ha sido valorada con un 4/5. La alternativa del arco con tablero inferior sí se considera una obra atractiva debido a la peculiaridad de la orientación de sus péndolas, que difiere de lo habitual, por lo que se ha calificado con un 4,5/5. Por último, la alternativa 2 se ha valorado con la puntuación más alta gracias a la asimetría de sus formas y al recorrido inclinado que realizan sus arcos, pues esto añade un toque de complejidad que aumenta su belleza.

5.2. Metodología de comparación

Para llevar a cabo la comparación entre las diferentes soluciones planteadas en el presente anejo se ha hecho uso de una matriz multicriterio o de priorización. Esta herramienta permite orientar la toma de decisiones tomando como base varios criterios comunes, que son los que se han comentado en el epígrafe anterior.

A cada uno de los criterios y subcriterios se les ha otorgado un porcentaje (peso) según la importancia que los componentes de este Trabajo Fin de Grado le hemos querido conceder, siempre bajo un juicio que hemos estimado correcto y considerando las necesidades que ha de satisfacer la estructura. La forma de ponderar cada uno de los criterios y subcriterios ha sido la siguiente:

Criterio	C1						C2			C3		C4			
Peso (%)	33						28			22		17			
Subcriterio	C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C1.5	C1.6	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2	C4.1	C4.2	C4.4	C4.5
Peso (%)	45	25	10	10	5	5	40	30	30	50	50	25	25	25	25

Tabla 1. Pesos de cada criterio y subcriterio

Cada subcriterio ha sido puntuado del 1 al 5, siendo el valor 1 el más desfavorable. Después estas puntuaciones se han convertido en valores del 0 al 1, siendo 0 el valor correspondiente a la peor puntuación (1) y 1 el que le corresponde a la mejor (5).

Puntuación de 1 a 5	Puntuación de 0 a 1
1	0
2	0,25
3	0,5
4	0,75
5	1
Los valores que no se encuentran en la tabla se consiguen mediante una interpolación	

Tabla 2. Relación entre las diferentes ponderaciones empleadas

Estos valores serán multiplicados por los respectivos pesos que se les ha otorgado a cada subcriterio y sumados, obteniéndose de esta forma la puntuación total de cada criterio para cada alternativa, sobre un total de 100. Para terminar, se vuelve a multiplicar el valor de cada criterio por el peso que se ha definido para cada uno, se suman todos los valores de cada alternativa, y se consigue el resultado final objeto de comparación.

La suma de todas las puntuaciones ponderadas de cada una de las alternativas proporcionará un valor numérico, siempre inferior a 100, que permite decidir cuál de las opciones barajadas se considera mejor según los criterios definidos.

5.3. Resultado de la comparación

Con todo lo expuesto, se ha obtenido el siguiente cuadro en el que se indican los resultados de la comparación y las puntuaciones que se han otorgado a cada alternativa para cada subcriterio:

	Pesos	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
C1	33					
C1.1	45	1	2	2,5	4	5
C1.2	25	4	4,5	5	4	2
C1.3	10	4,5	3	5	2	1
C1.4	10	4	2	3	5	5
C1.5	5	3	4	2	5	1
C1.6	5	2	3	4	4,5	5
C2	28					
C2.1	40	1	2	3	4	5
C2.2	30	3	2	2	4	5
C2.3	30	4	2	3	1	5
C3	22					
C3.1	50	1	1	5	1	1
C3.2	50	3	4	2	5	1
C4	17					
C4.1	25	2	3	3,5	5	4,5
C4.2	25	5	5	5	4	2
C4.3	25	2	4	3	5	2
C4.4	25	4	5	4,5	3	1
TOTAL	100	38,35	44,53	58,82	64,06	55,71

Tabla 3. Puntuaciones otorgadas a cada una de las alternativas

6. CONCLUSIÓN

Tras el análisis de las alternativas y la explicación de cada una de sus ventajas e inconvenientes que se han evaluado para discernir qué solución es la más adecuada, se concluye que la **Alternativa nº 4, el puente viga con canto variable**, es la que más se adapta a las exigencias y requisitos del proyecto, siendo ésta una solución económica y sencilla, pero no por ello carente de una estética que concuerda con las características del emplazamiento. Todas las propiedades de esta solución se desarrollarán en los Anejos siguientes, donde se procederá a su dimensionamiento final.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. *Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02)*, Ministerio de Fomento, 2009.
- [2]. *Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA)*, Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio, Comunidad Valenciana, 2015.
- [3]. *Obras de paso de nueva construcción*, Ministerio de Fomento, 2000.
- [4]. *Curso de Concepción de Puentes. Parte (I): diseño de puentes*, Profesor Salvador Monleón Cremades, Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2013.