

Anejo nº 1:

ESTUDIO DE SOLUCIONES



Julia Beredas Muñoz

1. OBJETO DEL ANEJO3

1.1. ALCANCE DEL ESTUDIO3

2. PROGRAMA DE NECESIDADES.....3

2.1. LIMITACIONES GEOMÉTRICAS.....3

2.1.1. TRAZADO EN PLANTA3

2.1.2. TRAZADO EN ALZADO.....4

2.1.3. SECCIÓN TRANSVERSAL4

2.2. CLIMATOLÓGICOS.....5

2.3. MATERIALES ESTRUCTURALES Y TIPOLOGÍAS5

2.4. GEOTECNIA5

2.5. PROCESO CONSTRUCTIVO5

2.6. CONSIDERACIONES ESTÉTICAS.....5

3. PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA5

3.1. CUADRO TIPOLÓGICO5

3.2. PUENTES VIGA O PÓRTICO5

3.3. PUENTES SINGULARES5

3.4. CONCLUSIONES6

4. DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS PROPUESTAS6

4.1. ALTERNATIVA Nº1: SOLUCIÓN ATIRANTADA6

4.1.1. VISTA TRIDIMENSIONAL DE LA SOLUCIÓN Nº 1.....7

4.2. ALTERNATIVA Nº2: SOLUCIÓN ARCO DE TABLERO INTERMEDIO.....8

4.2.1.8

4.2.1. VISTA TRIDIMENSIONAL DE LA SOLUCIÓN Nº 2.....9

4.3. ALTERNATIVA Nº3: SOLUCIÓN ARCO DE TABLERO INFERIOR.....10

4.3.1. VISTA TRIDIMENSIONAL DE LA SOLUCIÓN Nº 3.....11

4.3.2.11

4.3.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN12

4.4. CRITERIO DE CONSTRUCCIÓN12

4.4.1. ECONOMÍA12

4.4.2. COMPLEJIDAD CONSTRUCTIVA DERIVADA DE LAS FORMAS 12

4.4.3. COMPLEJIDAD CONSTRUCTIVA DERIVADA DEL EMPLAZAMIENTO 13

4.5. CRITERIO DE IMPACTO AMBIENTAL 13

4.5.1. CONSIDERACIONES ESTÉTICAS 13

4.5.2. INTEGRACIÓN EN EL ENTORNO 13

4.6. CRITERIO DE NIVEL DE SERVICIO 13

4.6.1. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO 13

4.6.2. ACEPTACIÓN SOCIAL 14

4.7. CRITERIO ESTRUCTURAL..... 14

5. ESTUDIO COMPARATIVO.....14

5.1. MÉTODO EMPLEADO 14

5.2. JERARQUÍA DE DECISIÓN 15

5.3. VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA CADA CRITERIO 15

5.4. CONCLUSIONES..... 17

ANEJO Nº1: ESTUDIO DE SOLUCIONES

1. Objeto del anejo

En el presente anejo se describen las distintas alternativas planteadas para el concurso de ideas para el puente de acceso sur al parque de Tempelhof en Berlín, definiendo su sistema resistente, los detalles relevantes de cada opción y las diferencias que presentan entre ellas para ser posteriormente 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

En este apartado se detalla de que partes del proyecto básico van a analizarse las soluciones así como con que nivel de detalle se va a llevar a cabo el estudio.

Se plantean y analizan distintas soluciones estructurales para el puente de acceso sur al parque de Tempelhof.

Se evalúan los diseños estructurales propuestos según criterios que se basan en la buena práctica de estructuras de características similares (tipologías, luces...).

Se realiza una primera evaluación estructural en la que se excluyen los criterios geotécnicos y en función de los resultados obtenidos se valora la posibilidad de realizar una segunda evaluación en la que se introduzca este criterio.

Dado que nos encontramos en el contexto de los concursos de ideas, en los cuales lo que priman son las formas, la profundidad de la evaluación de las alternativas será acorde a dicho contexto.

2. Programa de necesidades

A continuación se describen las condiciones de contorno a aplicar a nuestro estudio de soluciones.

Se detallarán y comentarán una a una todas las necesidades, condiciones y limitaciones existentes que influyen en la toma de decisiones a la hora de proponer una solución para el presente proyecto básico.

2.1. Limitaciones geométricas

Se habrá de cumplir una serie de limitaciones geométricas en alzado, en planta y en sección transversal impuestas por los pliegos del concurso que se detallan a continuación.

2.1.1. Trazado en planta

- Trazado recto en planta que conecte los puntos A y B correspondientes al lado Oberlandstrasse y al lado Tempelhof respectivamente. Se muestra con claridad en la Figura 1.



Figura 1. Trazado en planta.

2.1.2. Trazado en alzado

- Acceso desde la calle *Oberland* (A): (0+227.173 , +49.420)
- Pendiente de entrada al puente desde la calle *Oberland*: -3.5%
- Acceso desde el aeropuerto de *Tempelhof* (B): (0+000 , +50.169)
- Pendiente de salida del puente hacia el aeropuerto: 3%
- La luz libre mínima exigida es de 32.422 m
- Longitud mínima de 35 m
- Se habrá de cumplir los gálibos ferroviarios que se detallan en la Figura 2.

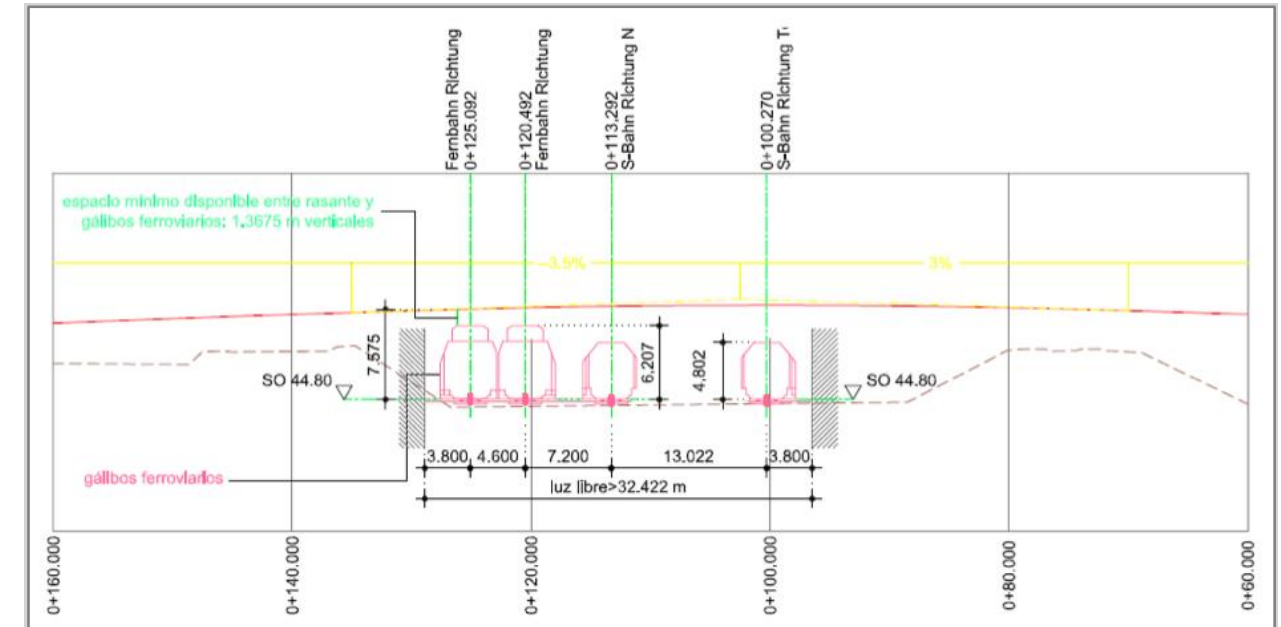


Figura 2. Limitaciones del trazado en alzado.

2.1.3. Sección transversal

- Ancho útil de 18 m, suma de lo mínimo exigido en calzada y aceras.
- Calzada de 11 m compuesta por dos carriles de 3,5m y 2 carriles bici de 2m cada uno, uno por sentido.
- 2 aceras de 3,5m cada una reservadas para uso peatonal.
- Pendiente transversal en la calzada de 2,5%.
- Pendiente transversal en la acera de 2%.
- Recogida de aguas en rigolas de 0,2 m de ancho.

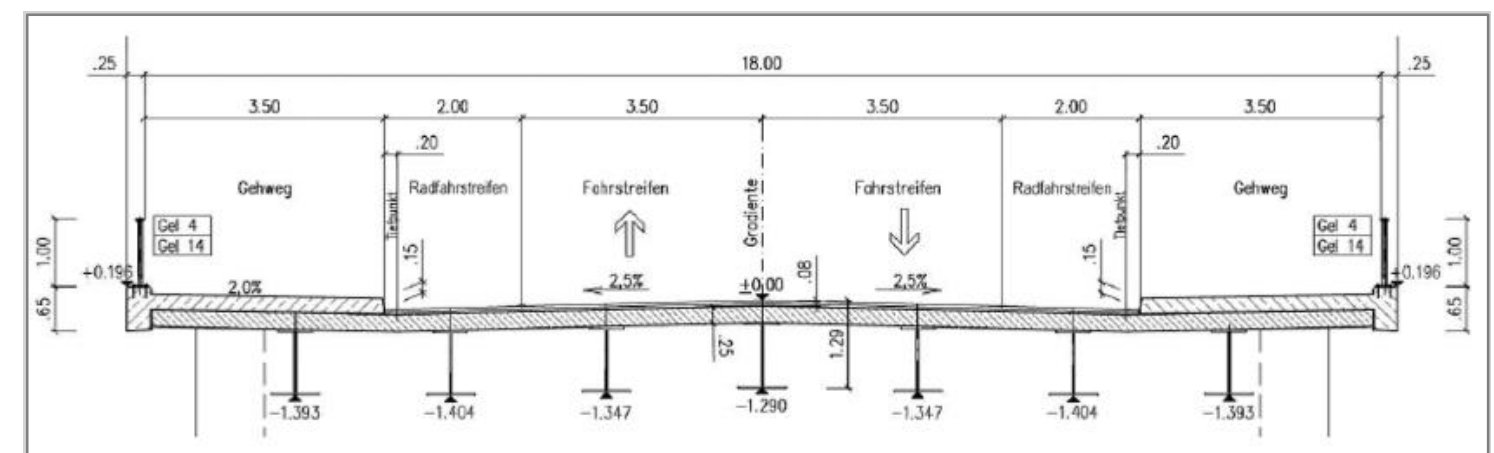


Figura 3. Definición tipo de la sección transversal.

2.2. Climatológicos

El clima en Berlín, la capital de Alemania y lugar en el que se sitúa nuestro puente es del tipo continental húmedo, con temperaturas promedio de 11 °C alcanzo un máximo de unos 37 °C en verano y un mínimo de -24 °C en invierno con un promedio de 1650h de sol al año.

Es una ciudad húmeda, en la que la lluvia está muy presente, habiendo precipitaciones entre 110 y 115 días al año distribuidos de forma más o menos uniforme a lo largo de los meses del año, siendo estas algo superiores en los meses de invierno.

2.3. 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 está únicamente sujeta a no disponer apoyos dentro de la trinchera del ferrocarril.

2.4. Geotecnia

Las limitaciones geotécnicas están indicadas en el Anejo Nº2 Informe Geotécnico , donde se encuentra el estudio geotécnico realizado por la empresa GBA, que será la base para diseñar el tipo de cimentación necesaria.

2.5. Proceso constructivo

Se buscará una solución cuyo proceso constructivo se adapte a la mínima interrupción posible del tráfico ferroviario.

2.6. Consideraciones estéticas

El emplazamiento de la obra implica una buena adecuación al entorno, una enorme zona verde que irrumpe con un entorno industrial (el ya existente) y urbano (el proyectado en el plan de urbanismo de la zona) por lo que la propuesta habrá de ser acorde a los 3 entornos quedando así integrada en el paisaje.

3. Planteamiento general del problema

En el siguiente apartado del anejo se analizan de las distintas posibilidades existentes en cuanto a materiales y tipologías que se podrían desarrollar como alternativa al problema.

Para el caso del presente proyecto básico el trazado está predefinido por los pliegos del concurso original del proyecto, de modo que no se estudia la variación del mismo. La solución de trazado, por lo tanto, será la conexión rectilínea que une los puntos A y B tal y como se muestra en la Figura 1 del apartado 2.1 del presente anejo.

3.1. Cuadro tipológico

En la Tabla 1 se resumen las distintas posibilidades tipológicas y en los apartados que siguen se procede a analizar la adecuación de cada posibilidad al caso particular del presente proyecto básico. La selección del material se relega a un segundo nivel por venir asociada a conceptos objetivos, esencialmente constructivos y de durabilidad.

Tipología	
Colgantes	
atirantados	
Arcos	Superior Tablero intermedio Inferior
Pórticos en pi	
Vanos simples	
Vanos continuos	

Tabla 1. Cuadro tipológico.

En la tabla 1 se pueden diferenciar dos grandes grupos en cuanto a tipología, por un lado puentes singulares, dentro de los cuales englobamos las tipologías de atirantado, arco, y colgante y por otro lado puentes viga o pórtico que son aquellos cuyo principal elemento resistente es el tablero.

3.2. Puentes viga o pórtico

Acogiéndonos únicamente a las exigencias técnico-económicas del proyecto básico, la solución más adecuada se situaría dentro de este grupo, ya que para la luz estrictamente necesaria a salvar (35 m. Aproximadamente) este grupo tipológico es el más empleado.

Cabe destacar que el desarrollo de una propuesta dentro de este grupo tipológico habría de tener especial cuidado en la limitación impuesta por los gálibos ferroviarios ya que al encajar una solución a la rasante, el espacio máximo disponible para el tablero es de aproximadamente 1,37 m, que para la luz que se exige, puede resultar en un tablero muy esbelto que dependiendo del material a emplear puede requerir diseños más complejos de lo habitual dentro de la tipología.

3.3. Puentes singulares

La necesidad de conseguir un tablero muy esbelto se podría solventar con una solución tipológica de este tipo aunque tal y como se ha mencionado en el apartado anterior, acogiéndonos únicamente a las exigencias técnico-económicas del proyecto básico, la solución mas adecuada sería una solución de puente viga, ya que el desarrollo de tipologías singulares se emplea habitualmente en luces considerablemente mayores que no pueden salvarse con otras tipologías.

Pero las características del emplazamiento, junto con el plan de desarrollo urbanístico al que pertenece el proyecto nos obligan a no considerar únicamente las exigencias técnicas, sino a tener en cuenta otros factores como son el valor añadido que puede proporcionar una estructura más sugerente o escultórica como son las tipologías singulares.

La ubicación de la obra, una gran capital, Berlín, la proximidad a una zona con valor histórico, el antiguo aeropuerto de Tempelhof, unido a que la estructura a proyectar forma parte de un plan de desarrollo urbanístico,

puede llevarnos a plantearnos la posibilidad de proyectar el “puente hito” o “puente escultura”, un diseño que proporcione un nuevo referente arquitectónico para la ciudad.

Cabe destacar que dentro de este grupo tipológico la posibilidad de Arco inferior como estructura resistente no sería viable ya que a pesar de que nos permitiría conseguir un tablero lo suficientemente esbelto para cumplir los gálibos ferroviarios, habría que realizar excavaciones innecesarias e irnos a una luz muy superior a la necesaria para que no fuera el propio arco el que no cumpliera dichos gálibos. Además, sería un arco muy tendido y por consiguiente, poco eficiente, que transmitiría esfuerzos horizontales muy elevados al terreno, que se vería muy castigado.

Dentro de este grupo tipológico habría que irse a estructuras en las cuales el elemento resistente principal estuviera por encima del plano del tablero para no interferir en los gálibos ferroviarios que son el principal limitante a la hora de desarrollar la propuesta.

3.4. Conclusiones

De los apartado anteriores concluimos que el emplazamiento del puente a proyectar y las condiciones del entorno del mismo nos llevan darle peso al diseño y a decantarnos por la elección de desarrollo de alternativas dentro del grupo de tipologías singulares.

Por ello finalmente se plantean un total de 3 alternativas dentro de este grupo, que se describen con detalle en el siguiente epígrafe.

- Alternativa nº 1: Solución atirantada
- Alternativa nº 2: Solución arco de tablero intermedio
- Alternativa nº 3: Solución arco de tablero inferior

4. Descripción de alternativas propuestas

4.1. Alternativa nº1: Solución atirantada

Definición general:

Se plantea la ejecución de un puente atirantado de hormigón con un único vano de 60 metros de luz con 2 planos de tirantes en arpa (9 tirantes por plano) y tirantes de retenida a estribos (3 tirantes por plano)

Tablero:

La sección tipo que se plantea, tal y como se observa en la Figura 4, consiste en un tablero mixto formado por una losa de hormigón ejecutada sobre una chapa colaborante que apoya en el esqueleto metálico compuesto por dos vigas longitudinales principales con sección en cajón y un conjunto de vigas de piso en doble T.

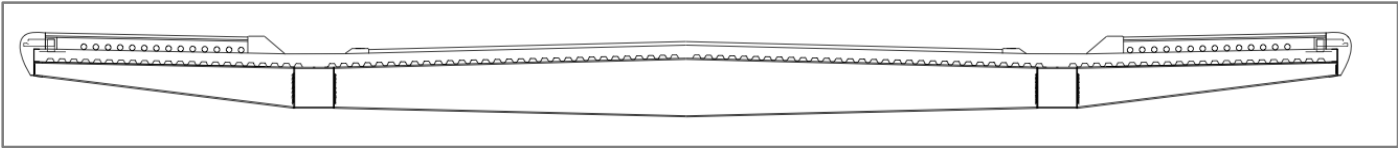


Figura 4. Sección tipo planteada Alternativa nº 1. Tablero.

Tirantes:

Tal y como se aprecia en la siguiente página, se plantea un sistema de tirantes pretensados en arpa compuesto por dos planos verticales paralelos con 9 tirantes cada uno, que se anclan en un pilono coplanario compensado por 3 tirantes de retenida.

Se ha optado por una disposición de tirantes cada 6 m de forma que la flexión que podemos llamar local, la debida a la distancia entre los apoyos generados por los tirantes, es insignificante respecto a la flexión que se produce por la deformación general de la estructura.

Torres:

Se proponen dos torres paralelas inclinadas verticalmente en el plano longitudinal del puente con un geometría que recuerda ligeramente a la temática de aviación, relacionada con el antiguo uso del parque de Tempelhof, una de las zonas próximas al emplazamiento del puente.

4.1.1. Vista tridimensional de la solución nº 1



4.2. Alternativa nº2: Solución arco de tablero intermedio

Definición general:

En esta alternativa se plantea un puente en acero formado por dos vanos, de 40 y 30 metros respectivamente. En el primer vano el tablero queda sustentado por dos arcos de tablero intermedio paralelos entre si de los que cuelgan 12 cables que se anclan al tablero sujetándolo. El vano menor se sustenta apoyado en el estribo en uno de los extremos y mediante una unión rígida a una pila inclinada con directriz curva que simula la continuación del arco del vano anterior.

Tablero:

Dado que la configuración del tablero puede adoptar la misma sección tipo que la planteada para la solución atirantada, se ha optado por proponer la misma sección tipo para esta solución.

Péndolas:

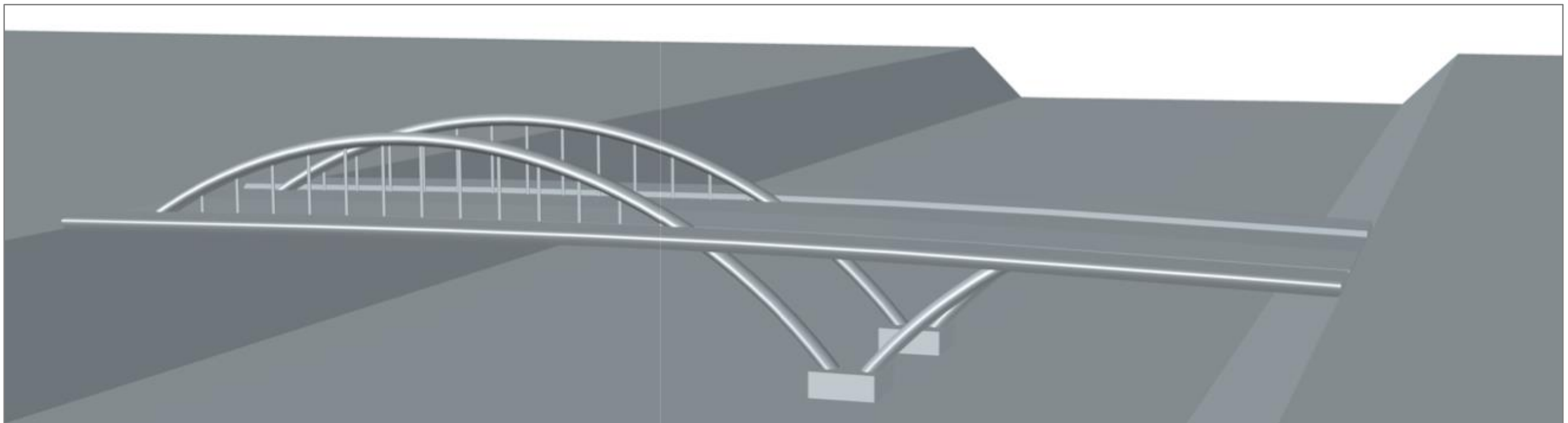
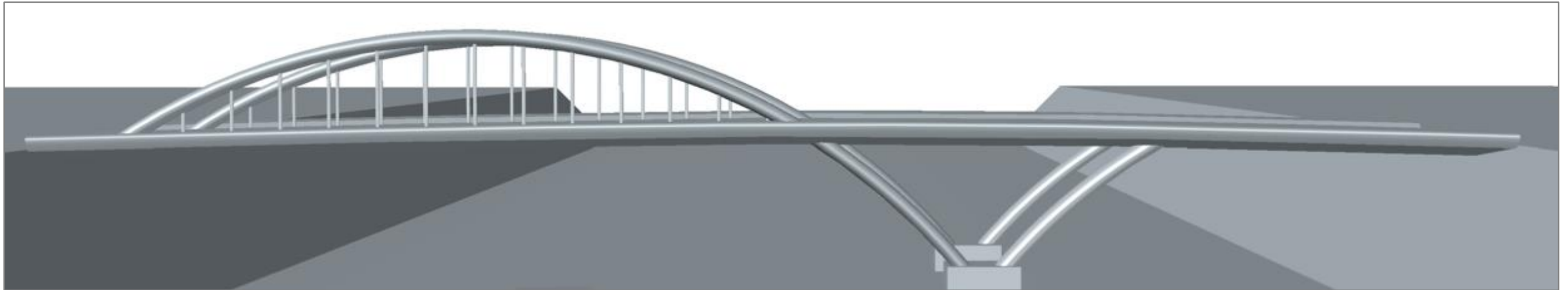
La sustentación del vano cuyo esqueleto resistente es el arco, se realizará mediante un sistema de péndolas flexibles formado por 12 cables verticales colgados de cada uno de los arcos en sus respectivos planos y con una separación entre péndola y péndola de 3 metros.

Arco y pila:

Como ya se ha descrito con brevedad anteriormente nos encontramos ante dos arcos paralelos respecto al plano vertical que pasa por el eje de la calzada cuyas directrices se encuentran dentro de un plano vertical.

El arco presenta una sección tubular tal y como se muestra en la siguiente página.

4.2.1. Vista tridimensional de la solución nº 2



4.3. Alternativa nº3: Solución Arco de tablero inferior

Definición general:

Por último en esta alternativa se plantea la ejecución de un puente en acero tipo arco con tablero inferior o *bowstring* de 70 metros de luz. Se compone de dos arcos con una pequeña inclinación hacia el exterior unidos al tablero de modo que la estructura quede simplemente apoyada en los estribos.

Tablero:

El tablero del puente es un tablero mixto formado por 4 vigas longitudinales de acero en cajón, dos de ellas en la calzada con directriz recta en planta y las otras dos en las pasarelas con directrices curvas. El conjunto del tablero se realiza mediante vigas de piso transversales de acero con sección en doble T, sobre las que descansa una losa colaborante de hormigón armado que se hormigona sobre una chapa grecada atornillada a las vigas de acero y conectada a las mismas mediante los correspondientes conectores.

arranques de sus directrices desde la viga. La sección de dichas péndolas es romboidal variable con menor tamaño en la unión al tablero y aumentando con la altura hasta llegar al arco.

Por otro lado, las péndolas flexibles, también un total de 13 por arco, se unen a la viga del lado correspondiente de directriz curva en planta, es decir, la de la pasarela, con el fin de reducir los grandes flectores que se producen en los cuchillos del hueco.

Arco:

Los dos arcos se sitúan uno a cada lado de la calzada y están inclinados hacia el exterior de la misma, con sus respectivos arranques a nivel de los estribos unidos rígidamente a las vigas longitudinales. Presentan una sección variable de acero en cajón cerrado pentagonal con forma de corona asimétrica en su centro luz, y cuadrilátera rectangular en los arranques.

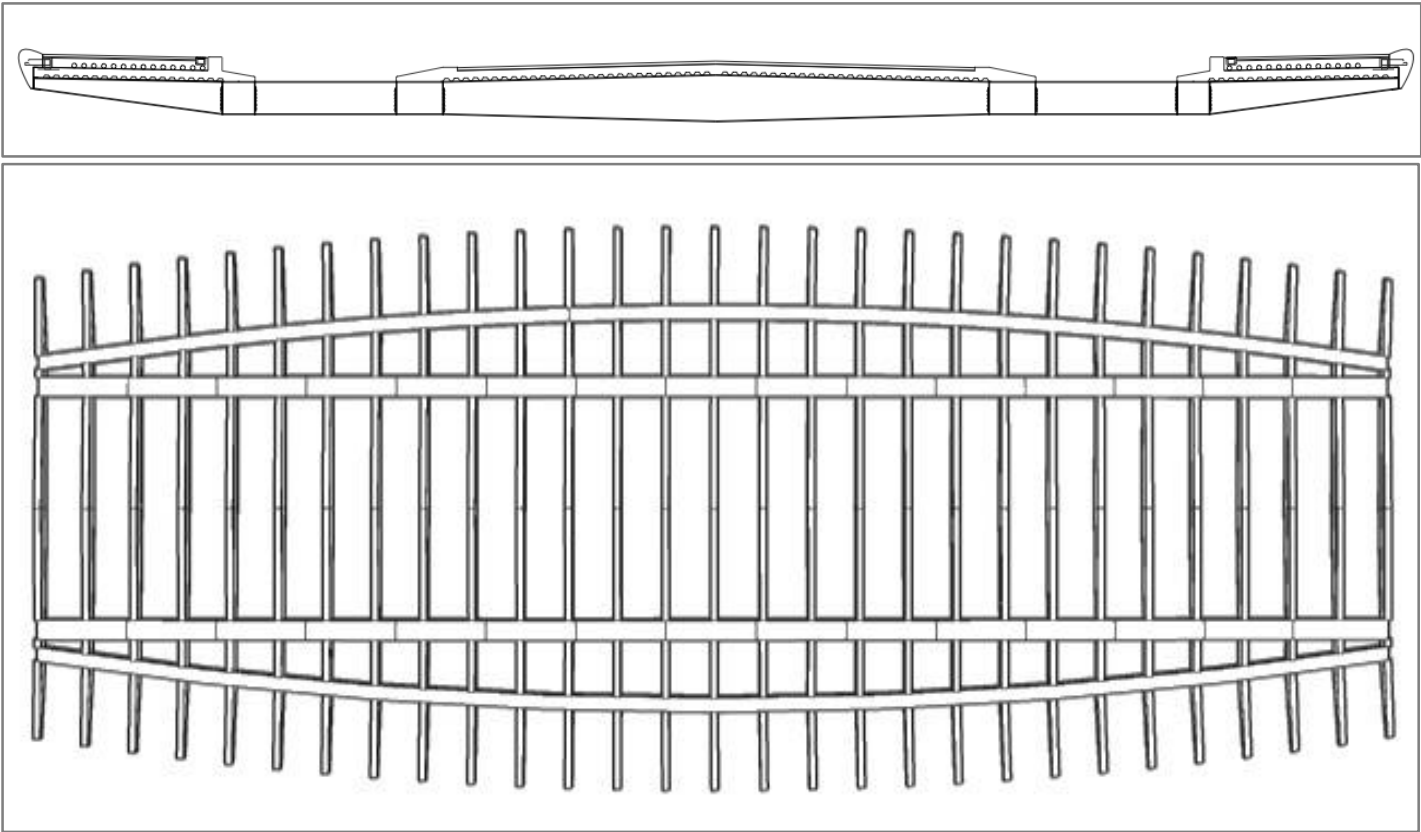


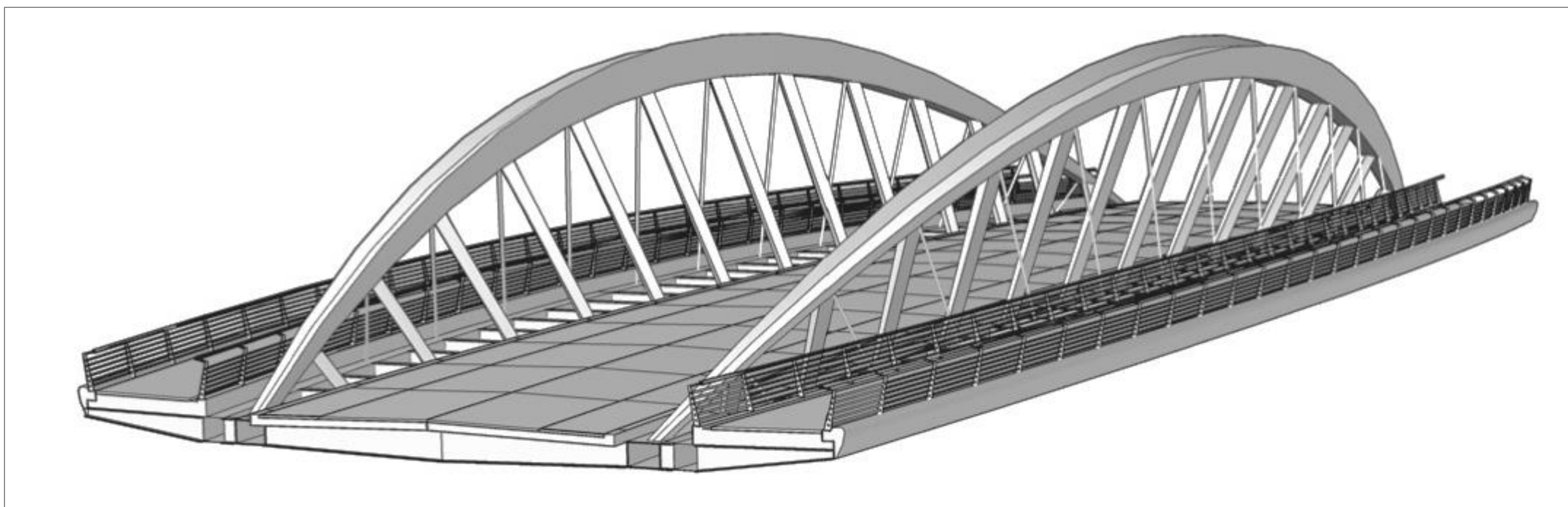
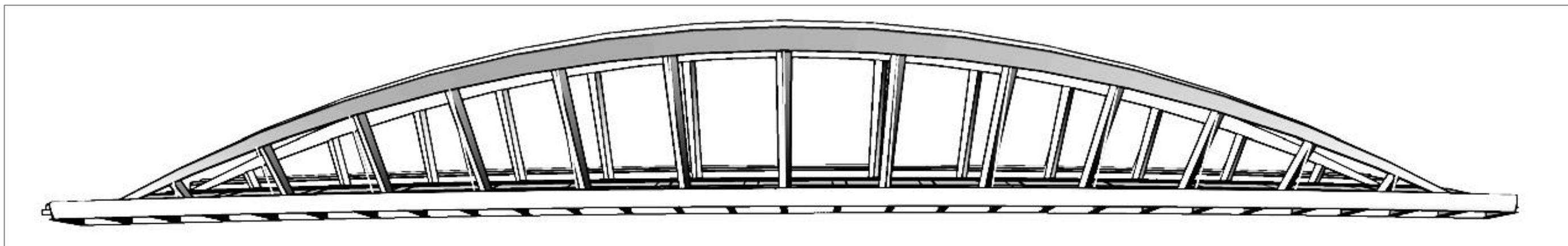
Figura 5. Sección tipo planteada, alternativa nº3. Tablero.

Péndolas:

La unión arco-tablero se realiza mediante un conjunto de péndolas rígidas y flexibles, formando un total de 52 péndolas a lo largo de todo el puente.

Las péndolas rígidas, un total de 13 por arco, se unen rígidamente a la viga de directriz recta en planta del lado correspondiente, es decir, a la de la calzada. Tienen una separación de 5 metros entre si, medidos entre los

4.3.1. Vista tridimensional de la solución nº 3



4.3.2. 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			
C1	Criterio de construcción	C1.1	Economía
		C1.2	Complejidad constructiva derivada de las formas
		C1.3	Complejidad constructiva derivada del emplazamiento
C2	Criterio de impacto ambiental	C2.1	Consideraciones estéticas
		C2.2	Integración en el entorno
C3	Criterio de nivel de servicio	C3.1	Conservación y mantenimiento
		C3.2	Aceptación social
C4	Criterio estructural		

Tabla 2. Definición de criterios.

Para poder proceder a la posterior evaluación de las alternativas, hemos decidido partir de una puntuación de 1 a 10 para cada criterio evaluado en cada una de las alternativas. Con esto conseguimos tener una información de partida que nos permita realizar posteriormente una valoración comparativa.

Criterio	Sub-criterio	Puntuación		
		Atirantado	Arco intermedio	Arco superior
Construcción	Economía (10)	6	5	6
	Complejidad constructiva derivada de las formas (0)	8	7	7
	Complejidad constructiva derivada del emplazamiento (0)	3	4	2
Impacto ambiental	Estética (10)	5	8	6
	Integración (10)	4	8	7
Nivel de servicio	Conservación y mantenimiento (0)	8	6	7
	Aceptación social (10)	5	8	7
Estructural	Eficiencia estructural (10)	7	6	8

Tabla 3. Valoración de alternativas.

En la Tabla 4 se resumen las puntuaciones sobre 10 otorgadas. Para cada sub-criterio se indica entre paréntesis cual es la puntuación más favorable dentro del rango 0-10.

A continuación se procede a justificar las puntuaciones de partida que se ha asignado a cada criterio para cada alternativa.

4.4. Criterio de construcción

4.4.1. Economía

Basándonos en estructuras de características similares a las alternativas planteadas (tipología, luces...) que son ejemplo de buena práctica estructural se ha realizado una valoración aproximada de la economía de cada una de las alternativas, otorgándoles las puntuaciones que aparecen en la Tabla 4.

4.4.2. Complejidad constructiva derivada de las formas

La alternativa del arco superior se ha valorado con una puntuación de 7/10.

Lo que se propone en esta alternativa es una combinación de formas curvas y secciones irregulares y variables, por lo que la realización de las piezas que componen nuestra estructura, es quizá la mas compleja de las tres posibilidades.

Pero por otro lado con la tecnología actual, la realización de formas complejas no supone un problema en la ejecución de las infraestructuras. Los talleres en los que se realizan las piezas disponen de tecnología lo suficientemente avanzada como para realizar todo tipo de formas. Por esto, no consideraremos que sea motivo de puntuar negativamente en este criterio.

Sin embargo hay que tener en cuenta que no estamos hablando de una estructura sencilla, compuesta por vigas prefabricadas cuyo montaje sea completamente mecánico y conocido. Por esto, hemos decidido darle una puntuación de 7/10 considerando la dificultad del montaje de todos y cada uno de los componentes del puente, su posterior colocación con maquinaria especializada y los procesos de hormigonado y acabado una vez que la estructura este ya situada en su posición definitiva.

La alternativa del arco intermedio se ha valorado también con una puntuación de 7/10.

Las piezas que componen esta alternativa son menos elaboradas en cuanto a forma que las del arco superior. Pero como ya hemos dicho, esto no interfiere en la dificultad constructiva ya que la mayoría de piezas se realizan en taller y disponen de la tecnología suficiente para conseguir realizar todo tipo de formas. En cambio si cabe destacar la diferencia en cuanto a la dificultad del montaje en obra, en este caso al componerse la estructura de 2 vanos de menor luz, se simplifican las operaciones, pero por otro lado, realizando dos vanos, introducimos un nuevo apoyo, y con eje la ejecución de otra cimentación.

Teniendo en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior, se ha considerado que debe puntuar de igual forma que la alternativa de arco superior ya que tiene un punto más a favor (el montaje en obra más sencillo) y un punto en contra (la ejecución de una cimentación extra). Por ello, se ha asignado una puntuación de 7/10.

Por último, la alternativa del atirantado se ha puntuado con un 8/10.

La geometría de las piezas que componen esta alternativa, es quizá la más simple de las tres que se proponen. Son generalmente rectilíneas y planas por lo que la elaboración de las piezas que se encargan en taller será más sencilla y rápida. En contraposición a esto, hay que tener en cuenta el aumento del numero de cimentaciones a realizar, ya que se necesitaran 2, una para cada estribo, 2 una para cada pilono, y 2 más para cada macizo de anclaje para los tirantes de retenida. Además el hecho de que las torres de hormigón estén inclinadas dificulta la

ejecución de los encofrados. Por ello se ha considerado que la complejidad constructiva global de la estructura es algo superior a las alternativas anteriormente valoradas, otorgándole así una puntuación de 8/10.

4.4.3. Complejidad constructiva derivada del emplazamiento

La alternativa del arco superior se ha valorado con una puntuación de 2/10 ya que estudiando la disponibilidad de grúas lo suficientemente potentes como para movilizar toda la estructura y espacio para emplazarlas se podría plantear el levantamiento de toda la estructura, que habrá sido ensamblado en una superficie adyacente a su posición definitiva, en una única fase. De este modo minimizaríamos al máximo la interrupción del tráfico ferroviario.

Tanto la alternativa del atirantado como la alternativa del arco intermedio necesitan de medios auxiliares de sostenimiento para la realización de sus estructuras, el arco superior por componerse de dos vanos y el atirantado que por su propio diseño, tiene componentes y tareas que se han de ejecutar in situ (las torres y el pretensado de los cables). Por lo que la interrupción ferroviaria es mayor que la de la otra alternativa. Así pues se han asignado las puntuaciones de 3/10 y 4/10 respectivamente a las alternativas de atirantado y arco intermedio.

La breve diferencia entre ambas puntuaciones se debe a que se ha considerado que la ejecución del arco intermedio se habría de realizar desde la cimentación de la parte del arco que arranca desde la trinchera y la ejecución del mismo interferiría durante más tiempo que lo que supondría la ejecución del tablero del atirantado.

4.5. Criterio de impacto ambiental

4.5.1. Consideraciones estéticas

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

Considerando la geometría aislada de cada una de las alternativas, se ha valorado la propuesta atirantada con una puntuación de 6/10 ya que la elaboración del diseño ha sido poco rigurosa en el cuidado de detalles. 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.

Este conjunto de características hace que la percepción visual recibida por el puente sea de una estructura poco llamativa y atractiva.

A la alternativa del arco con tablero intermedio se le ha asignado una puntuación de 8/10. Es un diseño geométricamente sencillo, compuesto principalmente por elementos creados a base de líneas curvas y con una geometría global que genera un impacto visual de continuidad, serenidad y armonía.

Por otro lado, al ser un estudio previo, la alternativa aun no está del todo desarrollada y para su valoración se ha tenido en cuenta que la geometría de la misma ofrece muchas posibilidades de enriquecimiento arquitectónico en ciertas partes de la estructura, como puede ser el arranque del arco que se encuentra con la pila del vano contiguo.

La alternativa del arco superior se ha valorado con una puntuación de 7/10. De las tres alternativas planteadas es la más elaborada, combina las geometría curvas del arco y las pasarelas con los vértices y aristas de los polígonos

irregulares que componen la mayoría de sus secciones. La variación de la sección del arco enriquece su percepción visual ya que esta armoniza con la geometría del arco. En contraposición, es la alternativa más masiva y la percepción visual de toda la estructura puede ser algo pesada.

4.5.2. 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.

La alternativa atirantada se ha puntuado con un 4/10. El motivo principal de dicha calificación se debe al impacto visual causado por las dos torres al contextualizar la estructura en el entorno en el que se emplaza. Las torres causan un impacto visual negativo ya que son dos elementos puntuales de gran tamaño que se elevan por encima de la altura media de los edificios del entorno próximo a nuestra estructura, generando un punto de inflexión en el medio que rompe con el estándar de la zona. Se ha considerado que la altura de las torres interfiere negativamente en la armonía de la estructura cuando la situamos en el emplazamiento.

Se ha asignado una puntuación de 8/10 a la alternativa del arco intermedio ya que el hecho de situarla en emplazamiento no hace que varíe la percepción visual de la estructura respecto al analizarla de forma aislada. Tal y como se ha valorad en el criterio de consideraciones estéticas es un diseño geométricamente sencillo, compuesto principalmente por elementos creados a base de líneas curvas y con una geometría global que genera un impacto visual de continuidad, serenidad y armonía. Esta geometría se adapta perfectamente al entorno en el que se emplaza nuestra estructura ya que en un futuro próximo se plantea la realización de una zona residencial.

Además, hay que tener en cuenta que esta alternativa ofrece la posibilidad de enriquecer urbanísticamente la zona dándole algún tipo de uso recreativo a la explanada libre que queda bajo el segundo vano.

La estética integrada en el entorno del la alternativa del arco superior proporciona un aspecto robusto, masivo y puntual al igual que la alternativa atirantada, pero a diferencia de esta, la altura máxima de la estructura no sobrepasa la media de los edificios adyacentes consiguiendo así no aclamar en exceso la atención en un entorno donde no es necesario hacerlo. Además el propio diseño de la estructura, al ser un arco superior muy robusto dotado con péndolas rígidas recuerda a una tipología muy empleada en emplazamientos ferroviarios como son las vigas metálicas superiores. De modo que conseguimos así un puente con aspecto ferroviario, con una estética cuidada, de altura inferior a los futuros edificios adyacentes y correctamente integrado en el entorno. Es por esto que se otorga una puntuación de 7/10 para este criterio.

4.6. Criterio de nivel de servicio

4.6.1. 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 mas o menos intensivas.

Las tres alternativas se componen tanto de elementos metálicos como de hormigón, por lo que no se puede hacer una notable diferencia en cuanto a las necesidades de conservación derivadas de los materiales que se emplean.

Pues todas ellas están sujetas a los habituales problemas de corrosión de elementos metálicos que requieren un cuidado y riguroso mantenimiento. Por ello la puntuación de las tres alternativas será elevada.

Sin embargo, en cuanto a la accesibilidad de los elementos encontramos notables diferencias.

La propuesta atirantada requiere la inspección periódica de los tirantes y pasada su vida útil la sustitución de los mismos y el acceso al anclaje de estos en las torres es costoso y requiere de medios especiales debido a al altura de los pilonos. Por ello se ha asignado una puntuación de 8/10

En la alternativa del arco superior, la mayor parte de los elementos estructurales están por encima del plano del tablero, esto facilita las inspecciones y evita en gran parte la necesidad de medios especiales para realizar las tareas de conservación. Por otro lado hay que tener en cuenta que esta propuesta consta también de barras flexibles que requieren revisiones periódicas y mantenimiento riguroso. Por ello se ha asignado una puntuación de 7/10.

Finalmente la propuesta del arco con tablero intermedio al igual que la del arco superior proporciona la ventaja de tener la mayor parte de los elementos estructurales por encima del plano del tablero a excepción de los arranques del arco, que en este caso particular, por su emplazamiento, el acceso no presenta ninguna dificultad. Por ello se ha asignado una puntuación de 6/10.

4.6.2. 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 tras alternativas que se plantean ofrecen el mismo servicio. Las tres proporcionan la unión entre dos puntos inconexos hasta el momento, que a raíz del nuevo plan de desarrollo de la zona, necesitan conectar la zona de uso industrial existente con la futura zona proyectada de uso residencial. Por esto, en el caso particular de nuestra infraestructura, 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: 7/10 para la propuesta atirantada, 8/10 para la propuesta de arco con tablero intermedio y 7/10 para la propuesta de arco superior.

4.7. 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 y a nivel de proyecto básico, en lugar de elaborar cálculos estructurales profundos se han valorado las alternativas basándonos en estructuras de características similares en luces y tipologías asignando así las puntuaciones que aparecen en la tabla 4 del epígrafe 4.3.2.

5. Estudio comparativo

5.1. Método empleado

Para realizar el estudio comparativo de alternativas se ha optado por realizar un análisis multicriterio, concretamente, se ha realizado el conocido como proceso analítico jerárquico (PAJ) o más común mente conocido como AHP que son sus siglas en inglés (Analytical Hierarchy Process).

Este proceso facilita el análisis multicriterio basado en importancias relativas y por tanto se consigue con un una elección más rigurosa y apropiada que mediante la aplicación directa del “juicio” o “sentimiento” de los expertos.

Es un técnica muy extendida en su uso para la toma de decisiones con atributos múltiples. Descompone el problema en una jerarquía y asegura que tanto los aspectos cuantitativos como los cualitativos de un problema sean incorporados al proceso de evaluación durante el cual la opinión se extrae sistemáticamente de comparaciones entre pares (pairwise)

El núcleo del AHP es una comparación de atributos entre pares ordinales; sub-criterios en este contexto, en los cuales se especifican las preferencias. Para un criterio dado, las comparaciones son realizadas por pares de sub-criterios, primero planteando la pregunta “¿Cuál de los dos es el más importante?” y segundo “¿Por cuánto?”. La fortaleza de la preferencia es expresada mediante la escala de Saaty.

1	C1 y C2 son igualmente importantes
3	C1 es ligeramente más importante que C2
5	C1 es moderadamente más importante que C2
7	C1 es fuertemente más importante que C2
9	C1 es extremadamente más importante que C2
2,4,6,8	Valores intermedios
1/3	C2 es ligeramente más importante que C1
1/5	C2 es moderadamente más importante que C1
1/7	C2 es fuertemente más importante que C1
1/9	C2 es extremadamente más importante que C1
1/2,1/4,1/6,1/8	Valores intermedios

Tabla 4. Escala de Saaty.

Estas comparaciones resultan en una matriz de comparaciones, a partir de la cual mediante una técnica de vectores propios se obtienen los pesos relativos de los sub-indicadores. Posteriormente se repite el proceso pero esta vez realizando la comparación del escalón superior de la jerarquía, es decir, criterios, para finalmente obtener una solución definitiva de Alternativa más apropiada.

5.2. Jerarquía de decisión

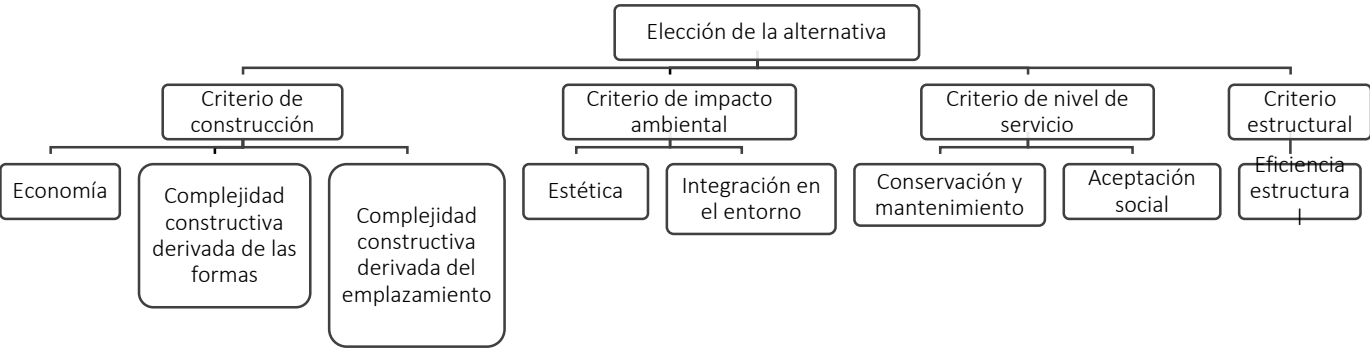


Figura 6. Esquema jerárquico de decisión.

5.3. Valoración de alternativas para cada criterio

Alternativas		
A1	A2	A3
Solución atirantada	Solución arco de tablero intermedio	Solución arco superior bowstring

Tabla 5. Nomenclatura de alternativas.

C1.1	A1	A2	A3	Vector de prioridad
A1	1,00	0,33	0,33	0,14286
A2	3,00	1,00	1,00	0,42857
A3	3,00	1,00	1,00	0,42857

Tabla 6. Matriz de comparación para el sub-criterio C1.1.

C1.2	A1	A2	A3	Vector de prioridad
A1	1,00	3,00	1,00	0,43
A2	0,33	1,00	0,33	0,14
A3	1,00	3,00	1,00	0,43

Tabla 7. Matriz de comparación para el sub-criterio C1.2.

C1.3	A1	A2	A3	Vector de prioridad
A1	1,00	3,00	1,00	0,43
A2	0,33	1,00	0,33	0,14
A3	1,00	3,00	1,00	0,43

Tabla 8. Matriz de comparación para el sub-criterio C1.3.

MATRIZ DE PRIORIDADES C1			
	SC1	SC2	SC3
A1	0,14286	0,43	0,43
A2	0,42857	0,14	0,14
A3	0,42857	0,43	0,43

Tabla 9. Matriz de prioridades para el criterio C1.

	C1.1	C1.2	C1.3	Vector de prioridad
C1.1	1,00	0,33	0,20	0,14286
C1.2	3,00	1,00	0,33	0,42857
C1.3	5,00	3,00	1,00	0,42857

Tabla 10. Matriz de comparación de sub-criterios de C1.

VETOR DE PRIORIDAD GLOBAL C1	
0,39824105	A1
0,173187521	A2
0,428571429	A3

Tabla 11. Vector de prioridad global del criterio C1.

C2.1	A1	A2	A3	Vector de prioridad
A1	1,00	0,20	0,33	0,10616
A2	5,00	1,00	3,00	0,63335
A3	3,00	0,33	1,00	0,26050

Tabla 12. Matriz de comparación para el sub-criterio C2.1.

C2.2	A1	A2	A3	Vector de prioridad
A1	1,00	0,20	0,33	0,11

A2	5,00	1,00	1,00	0,48
A3	3,00	1,00	1,00	0,41

Tabla 13. Matriz de comparación para el sub-criterio C2.2.

	C2.1	C2.2	Vector de prioridad
C2.1	1,00	0,33	0,25
C2.2	3,00	1,00	0,75

Tabla 14. Matriz de comparación de sub-criterios de C2.

MATRIZ DE PRIORIDADES C2		
	SC1	SC2
A1	0,10616	0,11
A2	0,63335	0,48
A3	0,26050	0,41

Tabla 15. Matriz de prioridades del criterio C2.

VECTOR DE PRIORIDAD GLOBAL C2	
0,112758417	A1
0,51800454	A2
0,369237043	A3

Tabla 16. Vector de prioridad del criterio C2.

C3.1	A1	A2	A3	Vector de prioridad
A1	1,00	0,20	0,33	0,11958
A2	5,00	1,00	0,33	0,33122
A3	3,00	3,00	1,00	0,54921

Tabla 17. Matriz de comparación para el sub-criterio C3.1.

C3.2	A1	A2	A3	Vector de prioridad
A1	1,00	0,20	0,33	0,11
A2	5,00	1,00	1,00	0,48
A3	3,00	1,00	1,00	0,41

Tabla 18. Matriz de comparación para el sub-criterio C3.2.

	C3.1	C3.2	Vector de prioridad
C3.1	1,00	0,33	0,25
C3.2	3,00	1,00	0,75

Tabla 19. Matriz de comparación de sub-criterios de C3.

MATRIZ DE PRIORIDADES C3		
	SC1	SC2
A1	0,11958	0,11
A2	0,33122	0,48
A3	0,54921	0,41

Tabla 20. Matriz de prioridades del criterio C3.

VECTOR DE PRIORIDAD GLOBAL C3	
0,116113516	A1
0,442472342	A2
0,441414141	A3

Tabla 21. Vector de prioridades del criterio C3.

C4	A1	A2	A3	Vector de prioridad
A1	1,00	3,00	0,33	0,26050
A2	0,33	1,00	0,20	0,10616
A3	3,00	5,00	1,00	0,63335

Tabla 22. Matriz de comparación para el criterio C4.

	C1	C2	C3	C4	Vector de prioridad
C1	1,00	3,00	3,00	0,33	0,25165
C2	0,33	1,00	1,00	0,20	0,09670
C3	0,33	1,00	1,00	0,20	0,09670
C4	3,00	5,00	5,00	1,00	0,55495

Tabla 23. Matriz de comparación de criterios.

MATRIZ DE PRIORIDADES GLOBAL				
	C1	C2	C3	C4
A1	0,39824105	0,112758417	0,116113516	0,26050
A2	0,173187521	0,51800454	0,442472342	0,10616
A3	0,428571429	0,369237043	0,441414141	0,63335

Tabla 24. Matriz de prioridades global.

VECTOR DE PRIORIDADES GLOBAL	
0,266911427	A1
0,195374562	A2
0,537714011	A3

Tabla 25. Vector de prioridades global.

5.4. Conclusiones

Dado que de las tres alternativas planteadas, la obtenida como solución más favorable es la que presenta un complejidad geotécnica menor, no es conveniente realizar un nuevo análisis introduciendo el criterio geotécnico ya que de este modo nos estamos quedando del lado de la seguridad.

De modo que finalmente, acogiéndonos a los resultados obtenidos del análisis multicriterio realizado en el apartado anterior, hemos escogido como solución definitiva a desarrollar y proyectar en nuestro proyecto básico la alternativa nº3, arco superior bowstring.