

ANEJO Nº2

ESTUDIO DE SOLUCIONES

■ ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. CONDICIONANTES	5
2.1 TRAZADO	5
2.2 ALZADO	6
2.3 SECCIÓN TRANSVERSAL	7
2.4 MONTAJE.....	7
3. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES ESTRUCTURALES.....	7
3.1 TRAMOS DE ACCESO	7
3.1.1 Solución A: losa de hormigón aligerada	7
3.1.2 Solución B: Cajón central de hormigón.....	8
3.1.3 Solución C: Tablero bijácena de hormigón	8
3.1.4 Solución D: Tablero bijácena mixto	9
3.2 TRAMO PRINCIPAL	9
3.2.1 Solución A: Arco bow-string	9
3.2.2 Solución B: Viga en celosía	10
3.2.3 Solución C: Pasarela atirantada	10
4. COMPARATIVA	11
5. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	12

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se va a desarrollar un análisis de soluciones estructurales atendiendo a su tipología, materiales y dimensiones. Dichas alternativas se compararán tanto en eficiencia estructural, estética y economía con la finalidad de adoptar aquella que satisfaga en mayor grado dichos objetivos.

Por último, una vez escogida la solución idónea, se definirá ésta en mayor grado de detalle.

2. CONDICIONANTES

La pasarela ciclo-peatonal objeto de estudio consta de dos tramos diferenciados: tramo principal y rampas de acceso a éste.

2.1 TRAZADO

El trazado en planta de la pasarela, tanto de las rampas de acceso como, consecuentemente, el tramo principal, está condicionado por el espacio disponible, ya que se tiene que encajar en el interior de una rotonda elevada (CV-509 a su paso por encima de la A-38 "variante de Sueca"). Así pues, los accesos se deberán ubicar en el terraplén de la propia rotonda, siendo el tramo principal el que salve la Autovía para comunicar ambos extremos.

En las obras llevadas a cabo por el Ministerio de Fomento en las cuales conectó la nueva A-38 con la Nacional N-332 a su paso por Sueca, así como la construcción de "un nuevo puente sobre el Júcar", dando origen a la CV-509 que conecta los municipios de Sueca y Fortaleny, entre otros, se ejecutó, junto a la cimentación de la rotonda elevada, la cimentación y marcos inferiores para una futura pasarela ciclo-peatonal, cuyo trazado previsto se corresponde con el trazado de la antigua CV-509.



Figura 1 Vista satélite de la ubicación de la pasarela. Resaltado en verde el trazado de la antigua CV-509

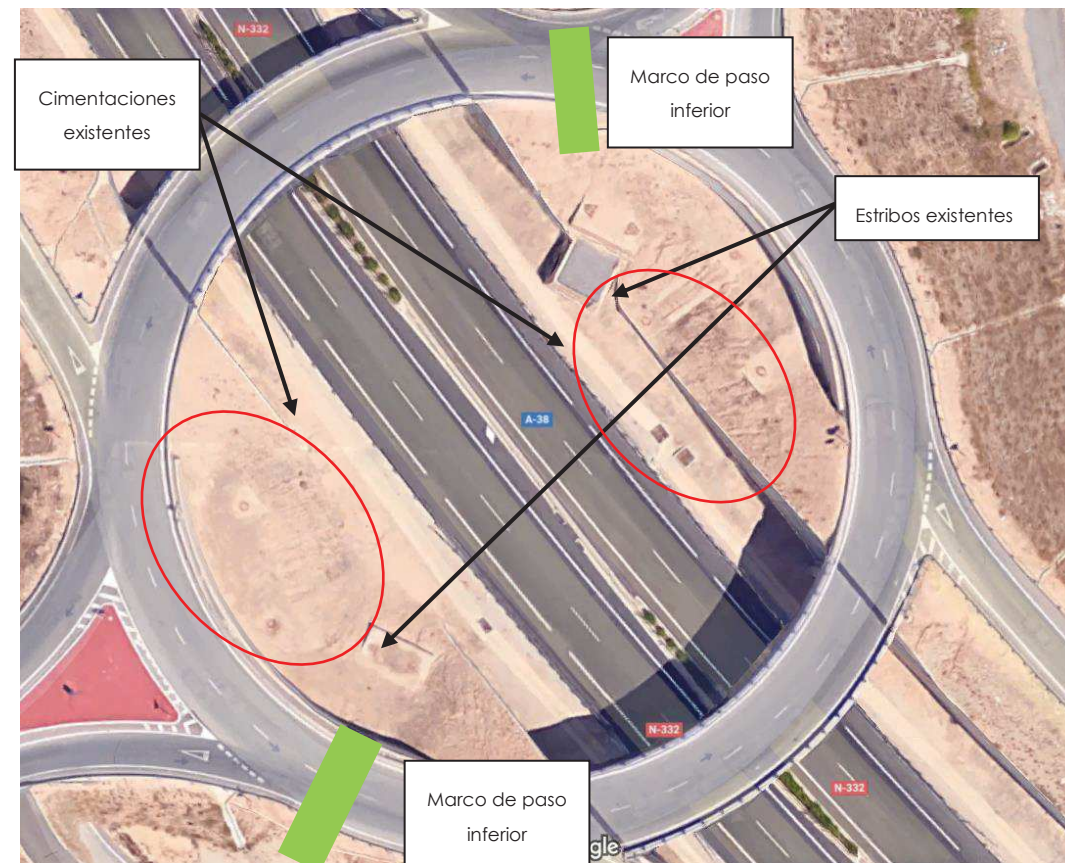


Figura 2 Vista satélite de la ubicación de la pasarela. Se muestran las cimentaciones existentes

Por los motivos citados, el trazado de la pasarela está fuertemente condicionado y preestablecido y no se ha considerado en este estudio de soluciones ninguna alternativa al mismo.

A continuación, se define el trazado en planta de la pasarela:

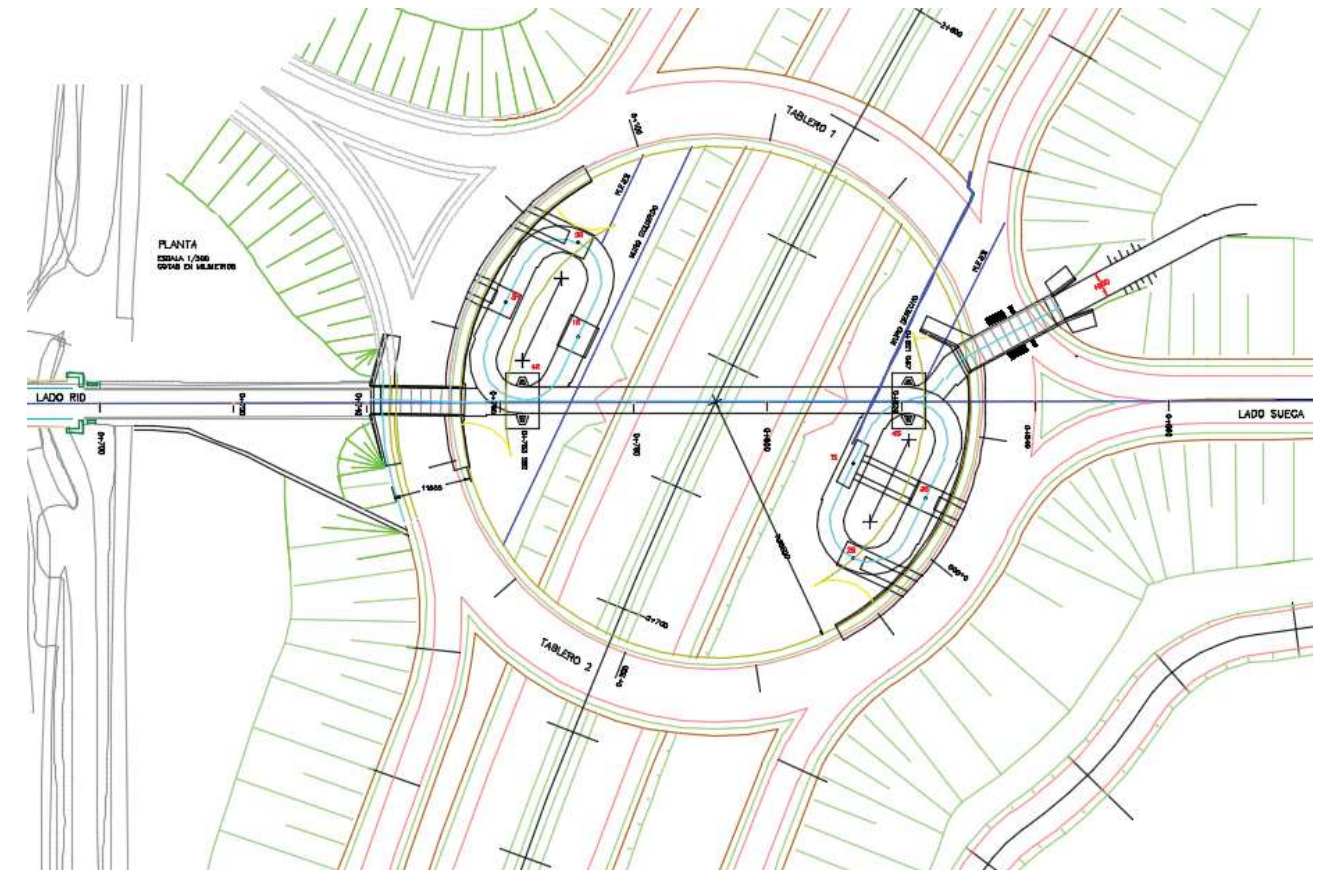


Figura 3 Trazado en planta de la pasarela

2.2 ALZADO

Respecto al alzado de la pasarela, existen TRES condicionantes principales: la pendiente máxima de las rampas de acceso (6%), el gálibo mínimo de una autovía por debajo de una pasarela (5,50 m) y la altura libre de un ciclista (2 – 2,25 m).

Según el desarrollo longitudinal del trazado anteriormente descrito, la pendiente de las rampas de acceso es del 5%. Con esta pendiente, se obtiene una altura libre de 3,20 m (medida entre rasantes) en el paso por la pila tipo pórtico que conecta las rampas de acceso con el tramo principal, y por último, el gálibo mínimo que se obtiene respecto al punto más elevado de la plataforma de la autovía es de aproximadamente 6,8 m.

Por tanto, adoptando una pendiente del 5% en las rampas de acceso, se cumplen los tres requisitos con un cierto margen.

Respecto a la rasante del tramo principal, ésta formará un acuerdo circular de manera que se efectúe el cambio de rasante entre las rampas de acceso (de 5% ascendente a 5% descendente) de una manera suave. Dicho acuerdo se ha diseñado con un radio de curvatura de 580 m.

A continuación, se muestra el desarrollo longitudinal de la pasarela:

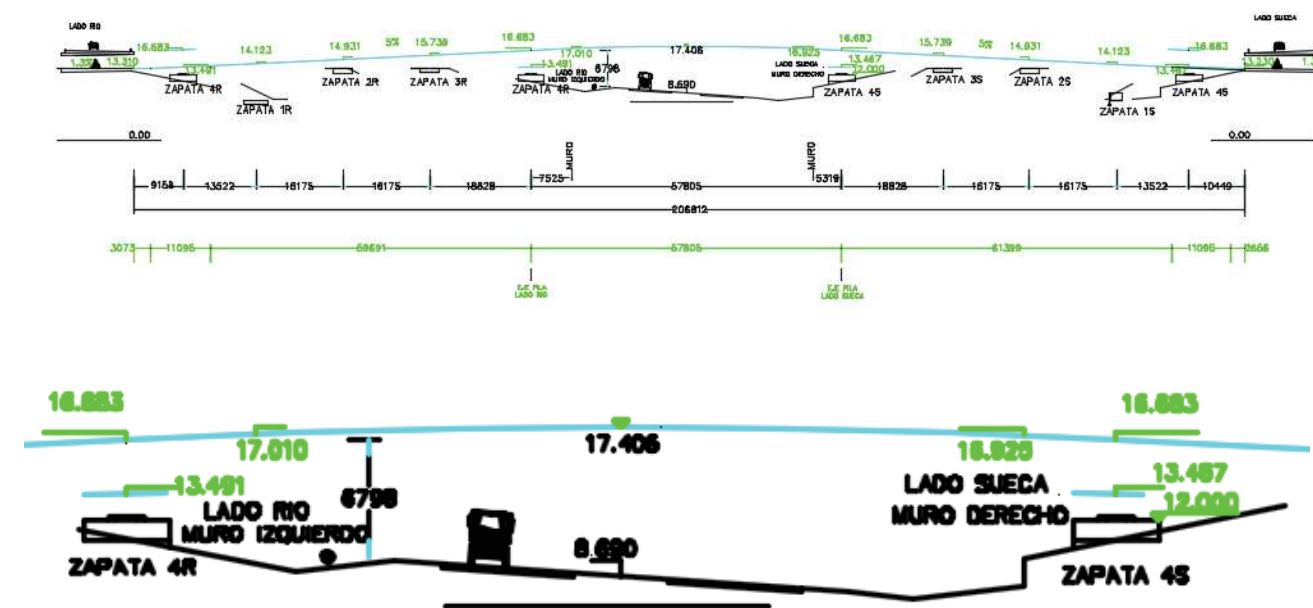


Figura 4 Desarrollo longitudinal de la pasarela completa (arriba) y del tramo principal (abajo)

2.3 SECCIÓN TRANSVERSAL

Existen básicamente dos condicionantes en cuanto a la sección transversal de la pasarela.

Por un lado, la entrada a las rampas de acceso a través de los marcos inferiores dispuestos en el terraplén de la rotonda, cuya sección es de 4 m de ancho por 2,50 m de altura, limita la anchura del tablero de la pasarela, que deberá ser de 4 m.

Por otro lado, la altura existente entre los dos niveles de las pilas pórtico (estribos del tramo principal), por las que discurre las rampas de acceso, en su nivel inferior, y dan entrada al tramo principal, en su nivel superior, limita la distancia entre la rasante en ambos puntos, que no podrá ser inferior a 2,25 m. Por este motivo, el diseño de la sección transversal estará condicionado a satisfacer dicho gálibo como mínimo, buscando, en la medida de lo posible, soluciones en las que la rasante esté lo más baja posible respecto al canto total de la sección.

2.4 MONTAJE

En aras de alterar lo mínimo posible el tráfico por la autovía A.38, la búsqueda de la solución estructural de la pasarela tendrá como objetivo, entre otros, la facilidad de montaje. Por tanto, se hace evidente la necesidad de diseñar una estructura que se construya fuera del lugar del emplazamiento y se ensamble en su ubicación final.

3. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES ESTRUCTURALES

Una vez establecidos los condicionantes al diseño de la pasarela, en cuanto a trazado, alzado y sección, se va a proceder al prediseño y análisis de posibles soluciones estructurales.

Se va a dividir la pasarela en dos tramos, los cuales se estudiarán por separado: tramos de acceso y tramo principal.

3.1 TRAMOS DE ACCESO

Respecto a los tramos de acceso, se va a estudiar dos soluciones en cuanto a su tipología: tablero tipo losa de hormigón y tablero tipo viga de hormigón y/o acero.

3.1.1 Solución A: losa de hormigón aligerada

Esta solución tiene una relación $h/L = 1/30$. Los aligeramientos se ejecutarán mediante cilindros de poliespán embebidos en el hormigón, interrumpidos en las secciones de apoyo en pilas y estribos.

Se trata de una solución que se adaptaría bien a la curvatura en planta, de canto reducido y por tanto sin comprometer excesivamente la altura libre de paso y económica.

Sin embargo, no es tan eficiente como una solución que concentre la rigidez longitudinal en el centro de la sección, y sería necesario su construcción in-situ, mediante un sistema de cimbras.

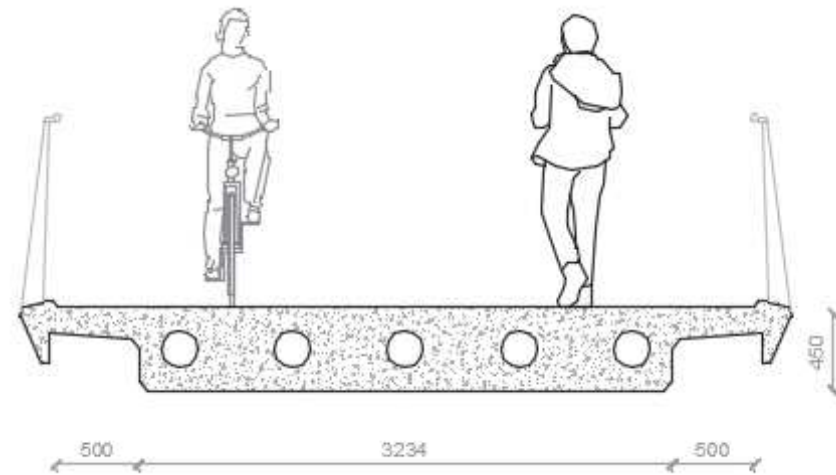


Figura 5 Solución A: Losa aligerada. Cotas en mm

3.1.2 Solución B: Cajón central de hormigón

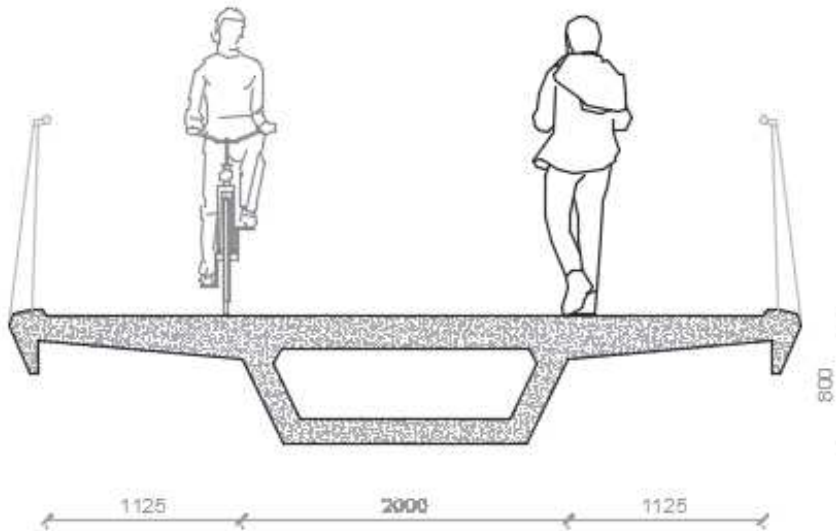


Figura 6 Solución B: Cajón central de hormigón. Cotas en mm

Esta sección presenta una relación h/L de $1/18$, que sigue siendo asumible con los condicionantes existentes.

Esta solución es más eficiente frente a la flexión longitudinal que la anterior, ya que concentra su rigidez en el centro de la sección, permitiendo, además, disponer de pilas centrales con un único apoyo, transmitiendo la flexión transversal mediante torsión.

También es una solución económica y, posiblemente, más estética que la anterior, debido a que las almas inclinadas ofrecen un efecto de mayor esbeltez.

Por último, el problema del montaje sigue estando presente, ya que estos tramos se deberían construir in-situ por su dificultad de transporte.

3.1.3 Solución C: Tablero bijácena de hormigón

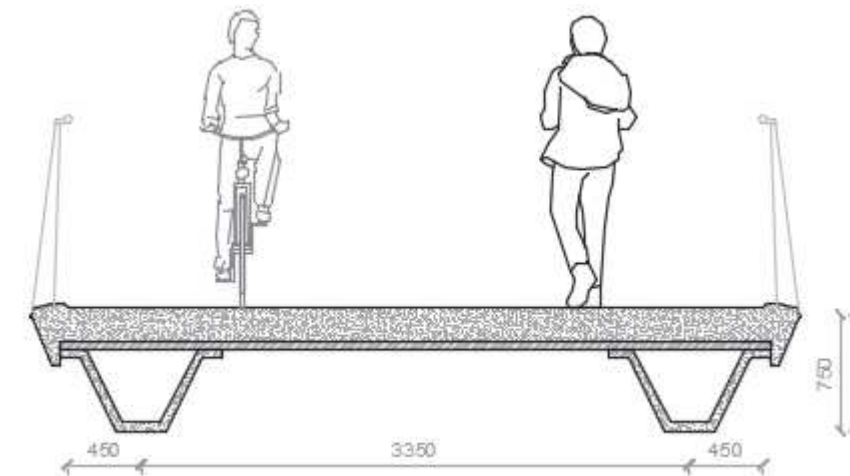


Figura 7 Solución C: Tablero bijácena de hormigón. Cotas en mm

Esta solución se compone de dos vigas en artesa de hormigón, que se prefabricarían para posteriormente colocarlas en su lugar definitivo. Una vez colocadas, se dispondrían prelosas de hormigón a modo de encofrado perdido para hormigonar in-situ la losa. Debido a que no se disponen vigas de piso, el espesor de dicha losa aumenta. En general, la relación h/L de esta solución es de $1/20$.

El ancho de la sección puede ser variable, aumentando el vuelo de la losa, ofreciendo la oportunidad de disponer de mayor anchura en el tramo principal, pudiendo así segregar el tráfico ciclista y de viandantes mejorando la seguridad y el confort.

3.1.4 Solución D: Tablero bijácena mixto

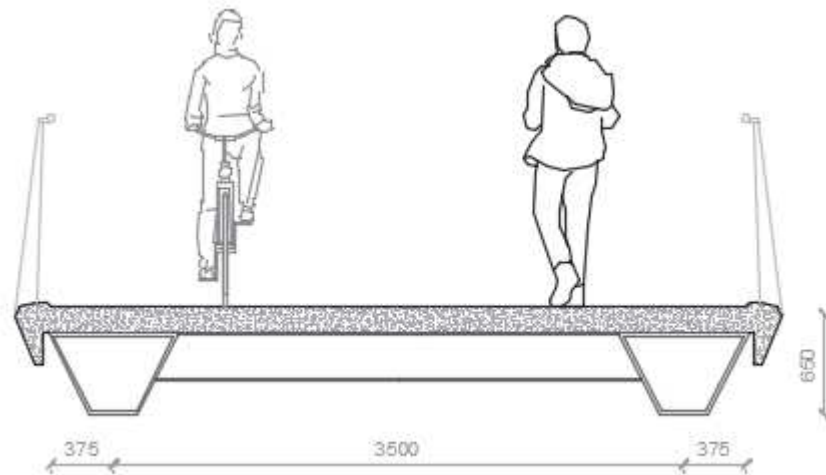


Figura 8 Solución D: Tablero bijácena mixto. Cotas en mm

Esta solución es similar a la anterior, pero en este caso se ha optado por disponer dos vigas en cajón de acero unidas entre sí mediante vigas de piso y una losa de hormigón.

De igual manera, las vigas de acero se fabricarían en taller y se colocarían en su lugar definitivo mediante grúas. Para hormigonar la losa, es posible colocar chapa grecada (colaborante o no) que actúa como encofrado.

Al disponer vigas de piso, el espesor de la losa de hormigón se reduce. Por otro lado, la anchura del tablero puede ser variable, pudiendo disponer vigas en voladizo soldados a los cajones para soportar la losa.

3.2 TRAMO PRINCIPAL

En cuanto al tramo principal, se van a estudiar tres alternativas de tipología: puente arco (bow-string), puente viga en celosía, puente atirantado.

3.2.1 Solución A: Arco bow-string

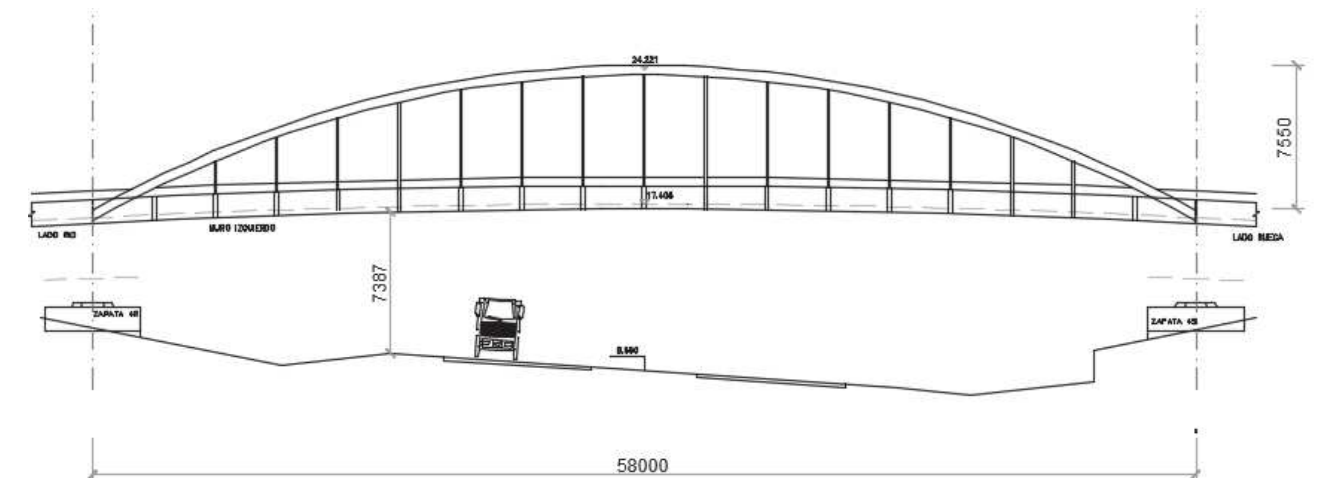


Figura 9 Solución A: Puente bow-string. Cotas en mm

La primera solución planteada consiste en un arco tipo *bow-string*. Esta tipología suele presentar una relación L/f de entre 5 y 6,5 para puentes, por tanto tratándose de una pasarela se ha aumentado a 7,5.

Existirían dos variantes para esta solución: dos arcos gemelos o un arco central.

En la primera, los arcos podrían ser rectos o inclinados, respetando siempre la altura libre de paso en caso de que se inclinen hacia dentro.

En la segunda, sería necesario aumentar la anchura del tablero, lo cual significaría la segregación del tráfico con las ventajas antes citadas, pero aumentando el coste de la pasarela.

Respecto al tablero, cualquier solución planteada debe tratar de localizar la rasante del mismo lo más baja posible, para no exceder la pendiente de las rampas de acceso, y no comprometer la altura libre

de paso por los estribos del tramo principal. Por tanto, el canto de las vigas del tablero se elevará por encima de la calzada.

3.2.2 Solución B: Viga en celosía

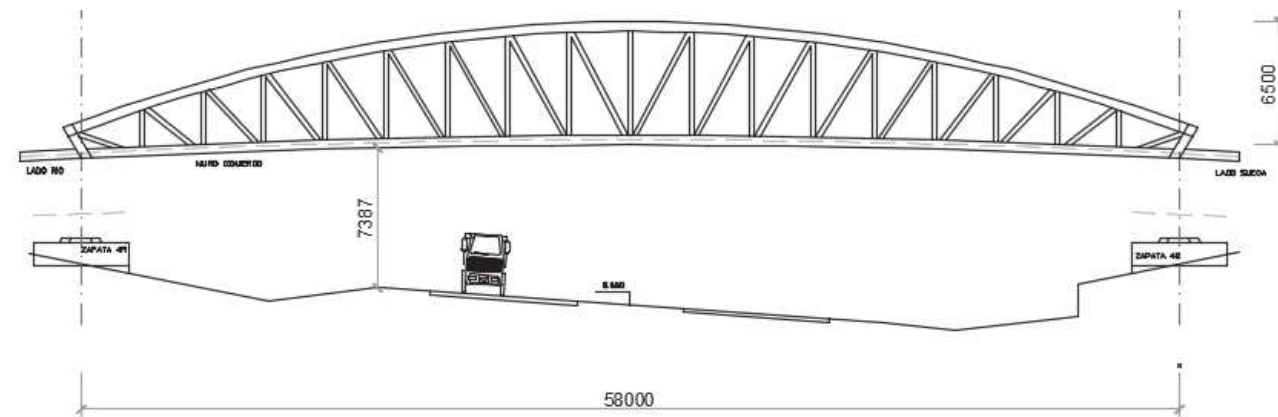


Figura 10 Solución B: Puente viga en celosía. Cotas en mm

Esta solución es muy similar a la anterior, pero debido a la esbeltez del arco, el comportamiento se asemeja más a una viga que a un propio arco.

Es una alternativa estética y funcional que se podría prefabricar en taller para después proceder a su montaje en obra.

El peso de la pasarela podría ser un condicionante, ya que las cimentaciones de los estribos son superficiales y descansan sobre un relleno no excesivamente competente.

3.2.3 Solución C: Pasarela atirantada

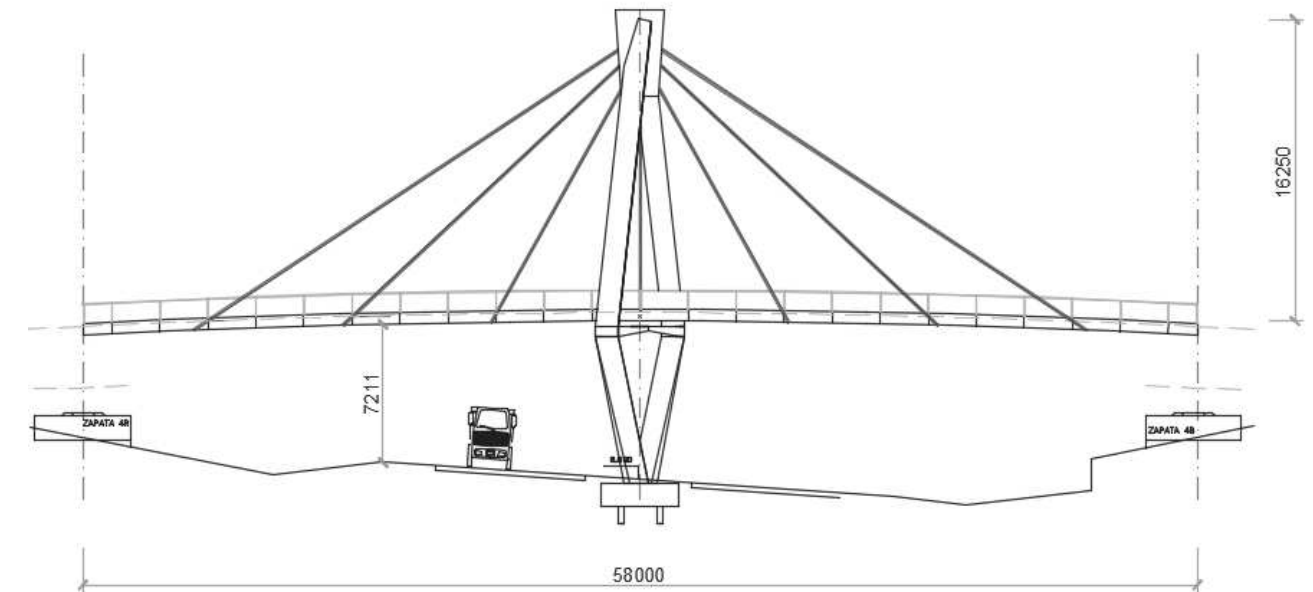


Figura 11 Solución C: Pasarela atirantada. Cotas en mm

La primera gran diferencia de esta alternativa, respecto a las otras, a parte de ser una tipología completamente distinta, radica en la construcción de un nuevo pilono central, cuya cimentación se ejecutaría mediante pilotes hincados.

Este nuevo pilono debe estar alineado con el eje de la autovía, por tanto, no sería perpendicular al eje de la pasarela, sino que formaría un ángulo de 25° respecto a este. Sin embargo, los tirantes sí estarían alineados con la pasarela, anclando en el pilono mediante una "laja". De esta manera, los esfuerzos se transmiten de los tirantes a la laja y de ésta al pilono, disminuyendo los efectos de la oblicuidad entre pilono y tablero. Además, todo el tablero estaría suspendido mediante tirantes, incluida la sección en C_L de forma que se evita la *ventana de Homberg* pudiendo establecer un canto constante para el tablero.

Por otro lado, con esta solución se conseguiría reducir considerablemente el peso del tablero, facilitando el montaje del mismo y reduciendo la carga sobre los estribos.

Respecto a los planos de atirantamiento, se presentan dos alternativas: un plano central y dos planos inclinados.

En cuanto a la primera opción, el pilono sería en forma de diamante, la sección transversal estaría formada por un cajón central y vigas en voladizo. Sería necesario aumentar la anchura del tablero y segreggar el tráfico.

Respecto a la segunda opción, el pilono podría ser en forma de diamante, en forma de "V" o en forma de "Y", siendo la primera la que mejor se comportaría por el hecho de que el tablero no es ortogonal con el pilono. La sección transversal estaría formada por dos cajones laterales y vigas transversales de piso. La altura del pilono vendría condicionada por el ángulo de los tirantes tanto en alzado como en sección, para no interferir con la altura libre de paso.

4. COMPARATIVA

En este apartado se van a comparar las distintas soluciones, según un análisis multicriterio, tanto para los tramos de acceso como para el tramo principal y la interacción de ambos.

Los criterios a valorar son: eficiencia estructural, estética, economía, facilidad de montaje, integración con el entorno, mantenimiento y motivación académica.

Estos criterios se valorarán en una escala del 1 al 10 siendo el 10 el máximo valor.

Tabla 1 Análisis multicriterio para las alternativas estructurales

CRITERIOS	TRAMOS DE ACCESO				TRAMO PRINCIPAL		
	Losa	Cajón	Bijácena de hormigón	Bijácena mixto	Arco	Celosía	Atirantado
Eficiencia estructural	4	7	5	8	8	6	7
Estética	6	7	8	8	6	6	8
Economía	8	6	6	5	8	7	5
Montaje	3	3	6	9	7	7	6
Integración	6	6	6	8	8	8	8
Mantenimiento	4	4	5	7	7	7	6
Motivación académica	3	7	6	8	6	6	9
TOTAL	34	40	42	53	50	47	49

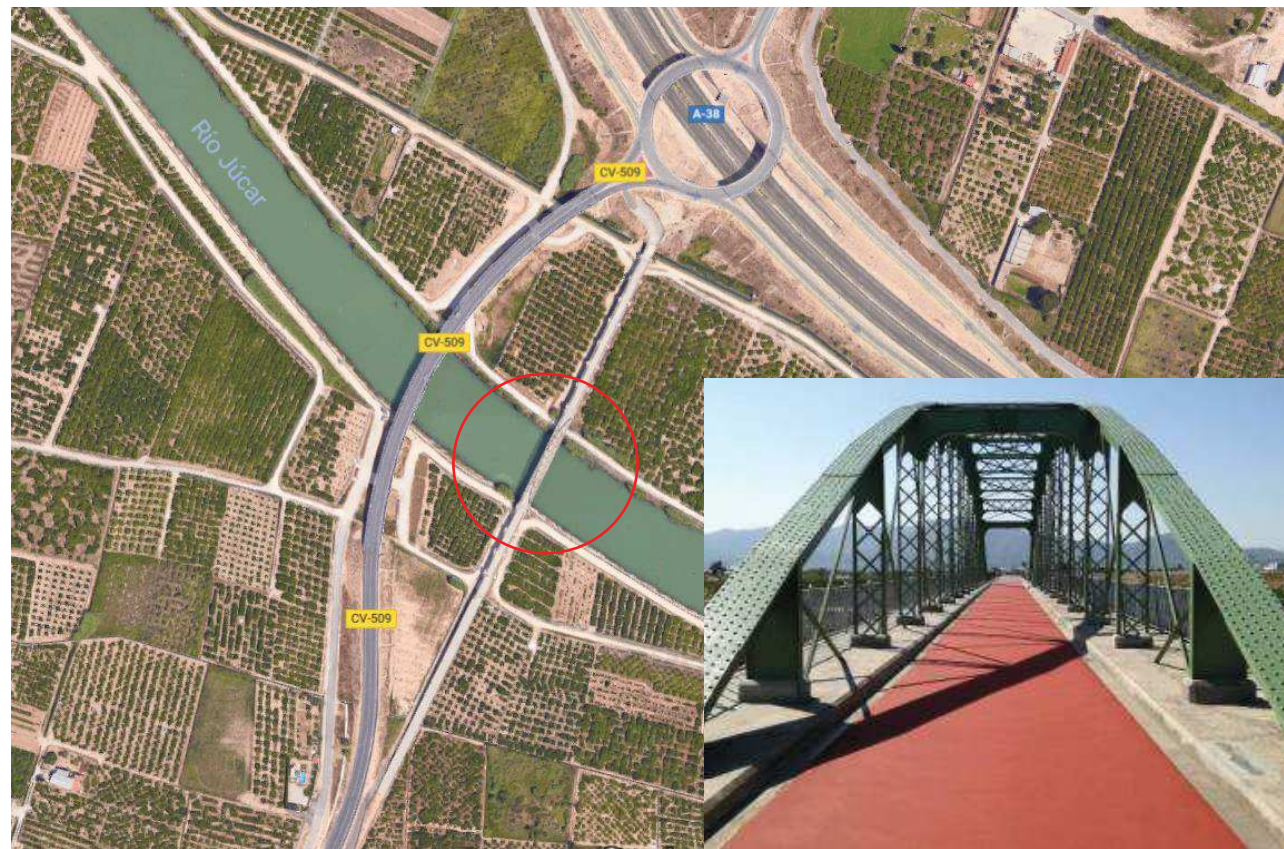
Una vez comparadas las alternativas, y teniendo en consideración la integración de los tramos de acceso con el tramo principal, y con el resto de elementos estructurales y condicionantes (trazado, altura libre etc.) se ha decidido que las alternativas que mejor se adaptan al caso de estudio son la tipología atirantada para el tramo principal y la solución de tablero bijácena mixto para los tramos de acceso.

Esta decisión, además del análisis multicriterio, se ha visto influenciada por el siguiente motivo.

En las cercanías a la localización en la que se ubica la pasarela, se encuentran ya cinco puentes cuya tipología estructural es el arco en *bow-string*.

Entre los más destacados por su cercanía son:

- Puente de Alfonso XIII, que comunicaba los municipios de Fortaleny y Sueca por el antiguo trazado de la CV-509 y que actualmente se ha rehabilitado para formar parte del itinerario ciclo-peatonal entre estos municipios como parte de la Fase I de dicho recorrido. Esta es la estructura que dará paso a la pasarela proyectada en este estudio.



- Nuevo puente sobre la variante de Sueca.

Se trata de una estructura nueva, actualmente en construcción, que comunicará la autovía A-38 con la Nacional N-332 a la salida de Favara.



Por ello, se ha optado por proyectar una estructura cuya tipología es completamente diferente de las ya existentes en la zona y que, por tanto, serviría de precedente abriéndose un hueco entre ellas.

Por último, como justificación de la solución adoptada respecto a los tramos de acceso, se ha decidido la opción de tablero bijácena mixto por su mejor adaptación con el tramo principal y por su facilidad de montaje, pudiendo prefabricarse en taller y colocarse en obra de una manera más o menos sencilla.

5. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Las rampas de acceso se resuelven mediante dos cajones metálicos en forma de artesa unidos transversalmente mediante vigas de piso formadas por perfiles IPE. La sección se complementa con una losa de hormigón conectada a la sección de acero mediante conectadores y chapa grecada que a su vez hará de encofrado colaborante. Dicha losa se rematará en sus extremos con una imposta.

EL ancho de la sección variará en el último tramo de la rampa hasta igualarse con la anchura del tramo principal. Dicha variación se consigue ampliando la losa de hormigón que apoyará en cuchillos de acero soldados a los cajones longitudinales.

El tramo principal estará formado por un pilono central de hormigón armado y un tablero mixto de hormigón y acero sustentado mediante tirantes de acero de alta resistencia anclados al pilono.

La sección del tablero estará compuesta por un cajón multicelular de acero dispuesto en el centro de la sección, sobre el que se soldarán vigas en voladizo hasta completar la anchura. Los extremos de

estas vigas se conectarán mediante una viga de borde de sección tubular con la finalidad de que trabajen conjuntamente reduciendo la deformación transversal.

El tablero se sustentará por un único plano central de tirantes, por lo que transmitirá las cargas excéntricas a los estribos mediante torsión del cajón central y flexión de los nervios de borde.

Los tirantes se pretensarán, hasta conseguir una contraflecha de construcción, desde el extremo activo, ubicado en el tablero.

El pilono central será en forma de diamante y estará alineado transversalmente con el eje de la autovía, formando un ángulo de 25° respecto al eje de la pasarela. Los tirantes anclarán en el pilono en una pieza de hormigón que irá alineada con la pasarela, de manera que el plano de atirantamiento estará comprendido en el eje longitudinal de la misma.

El pilono estará unido entre sí mediante una riostra de hormigón que resistirá los empujes al vacío generados por la compresión. Debido a que dicha riostra trabajará a tracción, ésta se pretensará de manera que se optimice la sección de la misma.

