



# ANEJO N.º 01

# ESTUDIO DE SOLUCIONES



## Índice

<b>1. OBJETO.....</b>	<b>4</b>
<b>2. CONDICIONANTES.....</b>	<b>4</b>
<b>3. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS .....</b>	<b>6</b>
3.1. BOW-STRING.....	6
3.2. PUENTE ATIRANTADO .....	6
3.3. PUENTE VIGA.....	7
3.3.1. Viga en cajón prefabricadas de hormigón .....	7
3.3.2. Viga en cajón de hormigón “in situ” .....	8
3.3.3. Viga en cajón mixta.....	8
3.3.4. Puente losa.....	8
3.3.5. Vigas prefabricadas de hormigón pretensado.....	9
3.3.6. Vigas de hormigón “in situ” .....	9
3.3.7. Vigas metálicas .....	9
3.4. CELOSÍA METÁLICA SUPERIOR .....	10
<b>4. SOLUCIÓN ADOPTADA .....</b>	<b>12</b>
4.1. SOLUCIÓN ELEGIDA.....	12
4.2. TRAZADO EN PLANTA.....	12
4.3. TRAZADO EN ALZADO .....	13
4.4. SECCIÓN TIPO.....	13
<b>5. REFERENCIAS .....</b>	<b>15</b>
<b>ANEXO 1. DISEÑO DE LAS SOLUCIONES PROPUESTAS Y DETALLE DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA</b>	
.....	<b>16</b>



### Índice de figuras

Figura 1.Condicionantes del emplazamiento del paso superior sobre la Ma-19 .....	4
Figura 2. Emplazamiento del paso superior sobre la Autopista de Llevant (Ma-19).....	5
Figura 3. Boceto de solución como puente arco. ....	6
Figura 4. Alzado tipo de la solución atirantada propuesta. ....	6
Figura 5. Boceto de solución como puente de vigas en cajón.....	7
Figura 6. Tipología de secciones en cajón en función del ancho de plataforma. ....	8
Figura 7. Boceto de solución como puente losa con aligeramientos. ....	9
Figura 8. Boceto de solución como puente de vigas. ....	9
Figura 9. Puente de Nantenbach. Fotografía extraída de la documentación facilitada en el curso de "DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES" impartido por el profesor <i>Salvador Monleón Cremades</i> .....	10
Figura 10. Alzado tipo de la solución mediante estructura en celosía de acero superior.....	10
Figura 11. Concepción de las uniones de la celosía metálica superior.....	11
Figura 12. Rebajamiento de la celosía superior en Apoyo central. Detalle del canto en Apoyos extremos. .....	11
Figura 13. Relación de las distintas tipologías con las luces óptimas y su empleo, en función de los distintos materiales.....	12
Figura 14. Vista en planta del paso superior.....	12
Figura 15. Vista en planta del paso superior.....	13
Figura 16. Vista en alzado de la solución propuesta.....	13
Figura 17. Sección tipo losa hormigón pretensado en los estribos. ....	13
Figura 18. Sección tipo losa aligerada de la solución adoptada. ....	14

## 1. OBJETO

El objetivo del presente anejo es la descripción y análisis de las distintas soluciones para el paso superior y su elección, además de la descripción del emplazamiento.

La siguiente actuación tiene forma parte de la remodelación del enlace entre l'Autopista de Llevant Ma-19, Mercapalma, y Coll d'en Rabassa entre otros, para poder cumplir de forma efectiva con las necesidades de tráfico actuales y futuras. Con la modificación de los nuevos ramales se podrán realizar los movimientos de una forma más eficaz, basándose en estudios exhaustivos de la zona así del empleo de las instrucciones correspondientes.

La elección del paso superior debe satisfacer los condicionantes de orografía, infraestructuras y edificaciones cercanas lo que limita su elección en base a estos criterios.

## 2. CONDICIONANTES

El proyecto que se pretende definir está incluido en el conjunto de modificaciones y actuaciones que se incluyen en el desdoblamiento de la Autovía Ma-30, junto con los accesos a la misma y la Autopista de Llevant Ma-19, Mercapalma, Centre comercial, Coll d'en Rabassa i Camí fondo, con la finalidad de canalizar de una manera más efectiva y segura el tráfico actual, así como el previsto durante los próximos años.

El tránsito actual y el tránsito que se prevé en el futuro obliga a la remodelación completa de este enlace, con nuevos ramales que permitan todos los movimientos de un modo más eficaz.

En la actualidad, el concepto principal que rige el proyecto del enlace del Coll d'en Rabassa es la desagregación de del enlace principal entre la Autopista de Llevant y el *Segon Cinturó*, y de los enlaces del Coll d'en Rabassa por un lado y los polígonos por otro.

La actual posición del enlace entre las ambas vías de alta capacidad como son la Ma-19 y la Ma-30, viene determinado por su posición y ocupación, así como por las importantes condiciones de contorno existentes en las proximidades. Para evitar el máximo la afección a los elementos de patrimonio existentes, así como a la ocupación de suelo urbanizable situado al margen derecho de la Ma-19, o al lado del núcleo urbano del Coll d'en Rabassa, determina la traza de los nuevos enlaces del conjunto de actuaciones.



Figura 1. Condicionantes del emplazamiento del paso superior sobre la Ma-19



El diseño estructural que se pretende realizar se trata de uno de los cinco pasos superiores que comprenderán el proyecto global, desde el cual se dará acceso a Mercapalma, Centre comercial, desde el Coll d'en Rabassa e instalaciones de la zona. Este paso superior sobre la Autopista de Llevant Ma-19, tendrá como finalidad la substitución del paso superior existente en la calle Cardenal Rossell, y que mejorará la actual salida desde Coll d'en Rabassa.

El paso superior deberá salvar una luz de 108,1 metros, sobre la Autopista de Llevant (Ma-19), la cual deberá verse afectada lo mínimo posible, salvo en el proceso de construcción, durante el cual se podrá ver modificada para llevar a cabo la obra. Dicha autopista, tiene una mediana sobre la cual en caso de ser necesario se poder colocar un apoyo intermedio para reducir el vano.

Respecto al trazado en planta, las infraestructuras y edificaciones del alrededor obligan a trazar el puente curvilíneo, adaptándose así a los requerimientos y dando funcionalidad al enlace.



Figura 2. Emplazamiento del paso superior sobre la Autopista de Llevant (Ma-19)

Por otro lado, el trazado establecido, tendrán unas pendientes que se encontrarán establecidas entre el  $\pm 7$  y el  $\pm 8\%$ , dependiendo en sentido de avance, por lo que la rasante pronunciada será un factor clave a tener en cuenta. Además, el puente tendrá un peralte del 5,73%, decreciente hacia la parte interna de la curva en planta. Dichas pendientes, serán un factor clave en cuanto a la elección de la alternativa, ya que el gálibo mínimo se debe respetar sobre la autopista inferior.

La sección de la carretera constará de al menos 3 carriles de 3,5 metros de anchura, dos carriles con sentidos Norte-Sur, y uno en sentido contrario, en función de la necesidad de flujo.

Las acciones que deberá resistir, ya sean por el propio peso, cargas muertas o sobrecargas, y así como acciones naturales como climáticas o efectos sísmicos, no deben afectar a su estabilidad ni al paso sobre la Autopista del Llevant (Ma-19)

La información de trazado y de la vialidad se ha recogido del proyecto global que engloba el conjunto de actuaciones, siendo el objetivo del presente documento la definición y selección de una alternativa estructural de la obra de paso, con las respectivas valoraciones justificadas de las mismas.

### 3. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

#### 3.1. BOW-STRING

Se plantea la solución de un puente arco superior con tablero inferior. Esta solución resulta interesante por el hecho de que no se precisan apoyos intermedios, ya que el espacio existente para la cimentación de la pila intermedia es reducido, realizándose en la mediana de la Ma-19. Sin embargo, el hecho de no disponer de una pila intermedia hace que las cargas se concentren en los extremos del arco, absorbiendo los estribos las cargas verticales y el tablero las horizontales. Corresponde a una tipología muy eficiente y funcional.

La solución consta de un arco central en mediana, el cual mediante péndolas sustenta el tablero. El tablero estará formado por un cajón central y jabalcones o cuchillos transversales, con riostras en apoyos.

La solución tipo planteada es la siguiente:

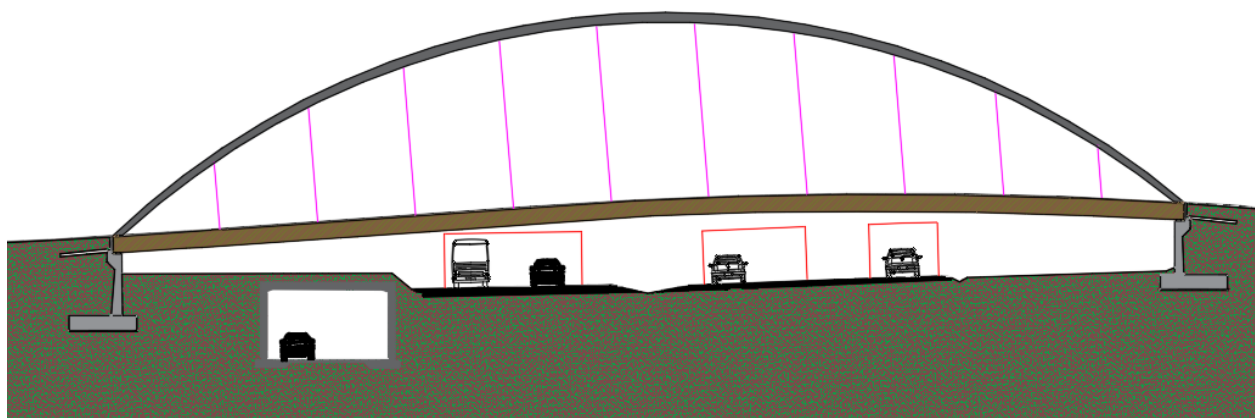


Figura 3. Boceto de solución como puente arco.

El Diseño de las proporciones iniciales de predimensionamiento se efectúan bajo las recomendaciones establecidas en la bibliografía de Salvador Monleón Cremades, "DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES".

En general, la proporción más habitual en cuanto al rebajamiento del arco es de  $L/f = 6$  y, como norma general, es habitual adoptar un valor comprendido entre 5 y 6.5. Rebajamientos fuera de estos límites solo pueden justificarse por características del emplazamiento, como la forma y gálibo, etc.

La esbeltez del arco, como norma general propone adoptar un valor entre  $L/d \in [80-100]$ .

La esbeltez del tablero viene condicionada por la separación entre péndolas, donde en función del número de péndolas se podrá reducir el canto del mismo.

La separación de péndolas adoptada en función de la luz máxima es de 10 m. La flecha del arco es de 18 m desde la rasante del tablero. El canto del arco es de 1 m frente a 1.75 m de canto del tablero

Además, el trazado curvo en planta presenta problemas para el correcto funcionamiento de esta tipología. Esencialmente el arco debe trabajar a compresión, sin embargo, para ajustarse al trazado en planta se le debe asignar la misma curvatura en planta, lo que induce a flexiones transversales del arco y un aumento notable de las dimensiones de éste.

Además de ello, el coste asociado a desarrollar este tipo de soluciones se ve incrementado notablemente en la superestructura frente a puentes tipo viga. Sin embargo, debido a que los esfuerzos horizontales son captados por el tablero, las subestructuras se reducen en cuanto a volumen y dimensiones, resultando más económicas. No obstante es una solución que suele oscilar los 1800-2100 €/m<sup>2</sup>.

#### 3.2. PUENTE ATIRANTADO

Se plantea la alternativa de un atirantado que sustente el tablero. La utilización del puente atirantado nos permite la sujeción de los tableros mediante cables que emergen de un pilono que se encuentra sobre el apoyo central, y divide la carretera a ambos lados.

Esta solución, es de gran utilidad en puentes con vanos largos, donde los tirantes reciben los esfuerzos a los que se somete la estructura, transmitiéndolos al pilono central, el cual trabajará a compresión. Además, es una tipología que juega mucho con la formas, encajando muy bien en el entorno.

El anclaje de los tirantes al tablero se diseña de forma que se distribuyan los esfuerzos debidos a las acciones permanentes homogéneamente, buscando reducir flectores máximos y mínimos localizados, intentando conseguir esfuerzos de magnitudes uniformes a lo largo del tablero. Por ello, el anclaje de los tirantes se realiza de manera que el tablero se subdivide en tramos equidistantes.

La altura de la torre queda determinada por la inclinación del tirante más tendido del vano principal, que suele fijarse entre 22° y 25°. Con dichas inclinaciones habituales en un predimensionamiento, la altura del pilono desde la rasante es de 10 m, 27.8 m en total desde la cimentación.

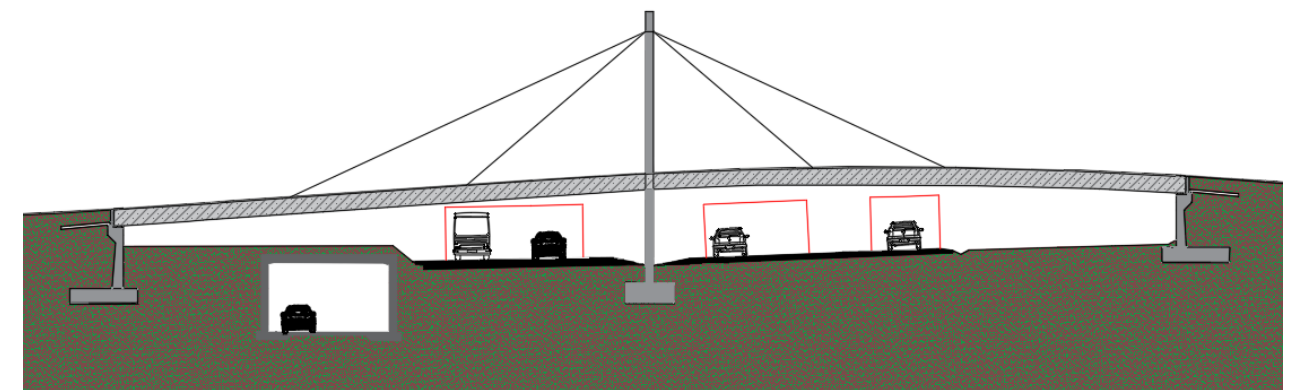


Figura 4. Alzado tipo de la solución atirantada propuesta.



Esta opción permitiría salvar las luces de ambos vanos de 54,05 metros gracias al pilono central ubicado en la mediana sobre la Autopista de Llevant Ma-19. No obstante, el trazado curvilíneo y además el peralte, son un inconveniente frente a otras soluciones debido al coste que supone y el nivel de dificultad de ejecución.

El proceso constructivo pide un avance por voladizos o un cimbrado conforme se va avanzando en cada vano. Puesto que es un atirantado de vanos compensados, se deben construir a la par, realizando ambos tramos simultáneamente y anclando los cables en el mismo instante, para no inducir flexiones excesivas al pilono. EL avance por voladizos no tiene sentido para la problemática y la luz que se pretende salvar, sin embargo, la opción de cimbrar requiere el corte del tráfico en ambos sentidos. La repercusión por cuestiones constructivas de la solución propuesta en este apartado es elevada, complicando los accesos y quizás, debiendo realizar accesos provisionales que incrementen el coste de la actuación.

### 3.3. PUENTE VIGA

Como solución, encontramos otra opción como es el puente de vigas en cajón. Las tipologías planteadas corresponden con las siguientes: tablero mixto o de hormigón pretensado. La elección del material tiene trascendencia estética, económica y funcional.

Como solución, encontramos otra opción como es el puente de vigas en cajón. Las tipologías planteadas corresponden con las siguientes: tablero mixto, de hormigón pretensado u hormigón armado. La elección del material tiene trascendencia estética, económica y funcional.

Dada la tipología de entorno y tratándose de un paso superior sobre una autopista, el contraste de grises del hormigón da un aspecto más integrado. No obstante, un cajón metálico es mucho más elegante y fino que un puente de vigas de hormigón, por una parte es más esbelto y por otra, para un mismo canto, la inclinación de las almas le hace menos alto. También permite hacer diseños más compactos de las pilas, requeridos por las condiciones de circulación bajo el tablero o por la menor disponibilidad de espacio para los aparatos de apoyo debido a la inclinación de las almas. El color terroso del acero encaja también en el entorno con la vegetación en las márgenes de la autopista, formando contrastes visuales interesantes.

En cuanto a economía y funcionalidad, los puentes mixtos aprovechan los diferentes materiales de manera funcional, disponiendo el hormigón en zonas de compresión y el acero en las zonas de tracción, aprovechando la totalidad del material. Sin embargo, los puentes de hormigón pretensado son muy funcionales, garantizando en servicio que todas las secciones del paso superior están comprimidas, aprovechando la naturaleza resistente del material.

Este tipo de puentes pueden adaptarse a distintos trazados y luces, siendo muy versátiles en cuanto a estos aspectos. incluyendo formas curvadas. La diferencia entre otros puentes como son los puentes viga, es su facilidad para resistir torsiones.

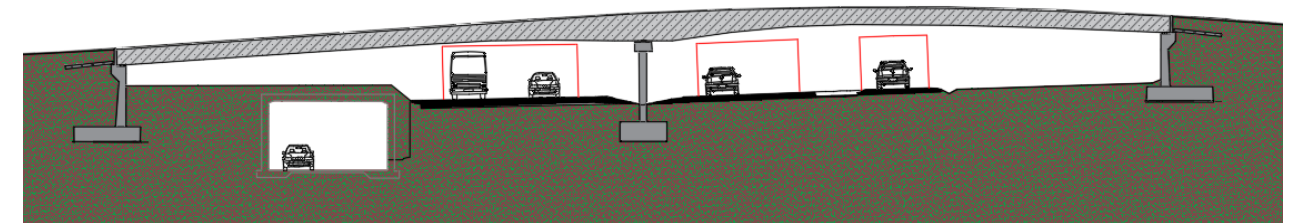


Figura 5. Boceto de solución como puente de vigas en cajón.

Como ventajas y desventajas, cabe destacar que este tipo permite realizar tableros de gran dimensión y poder salvar así grandes luces. No obstante, el aumento de luces en dicha tipología afecta necesariamente al coste de operación, además de que el mantenimiento del mismo es más costoso que el anterior, debiendo garantizar en cada sección un canto mínimo de 2.20 m.

#### 3.3.1. Viga en cajón prefabricadas de hormigón

La solución de viga en cajón prefabricada de hormigón, correspondería a vigas de 54 metros de longitud, que se deberán transportar por carretera hasta el emplazamiento, siendo esto un gran coste, además de la imposibilidad debido a los condicionantes del alrededor. En adición, se puede comprobar que, aunque estamos en el rango de longitudes en las que se puede aplicar dicha solución, el canto mínimo por mantenimiento del interior del cajón puede ser un inconveniente para respetar el gálibo inferior.

La tipología de la sección depende fundamentalmente del ancho, tal como se recomienda en la siguiente figura, extraída de la publicación de MONLEÓN, S. "DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES", donde para el presente caso, la sección en cajón unicelular es la más adecuada.

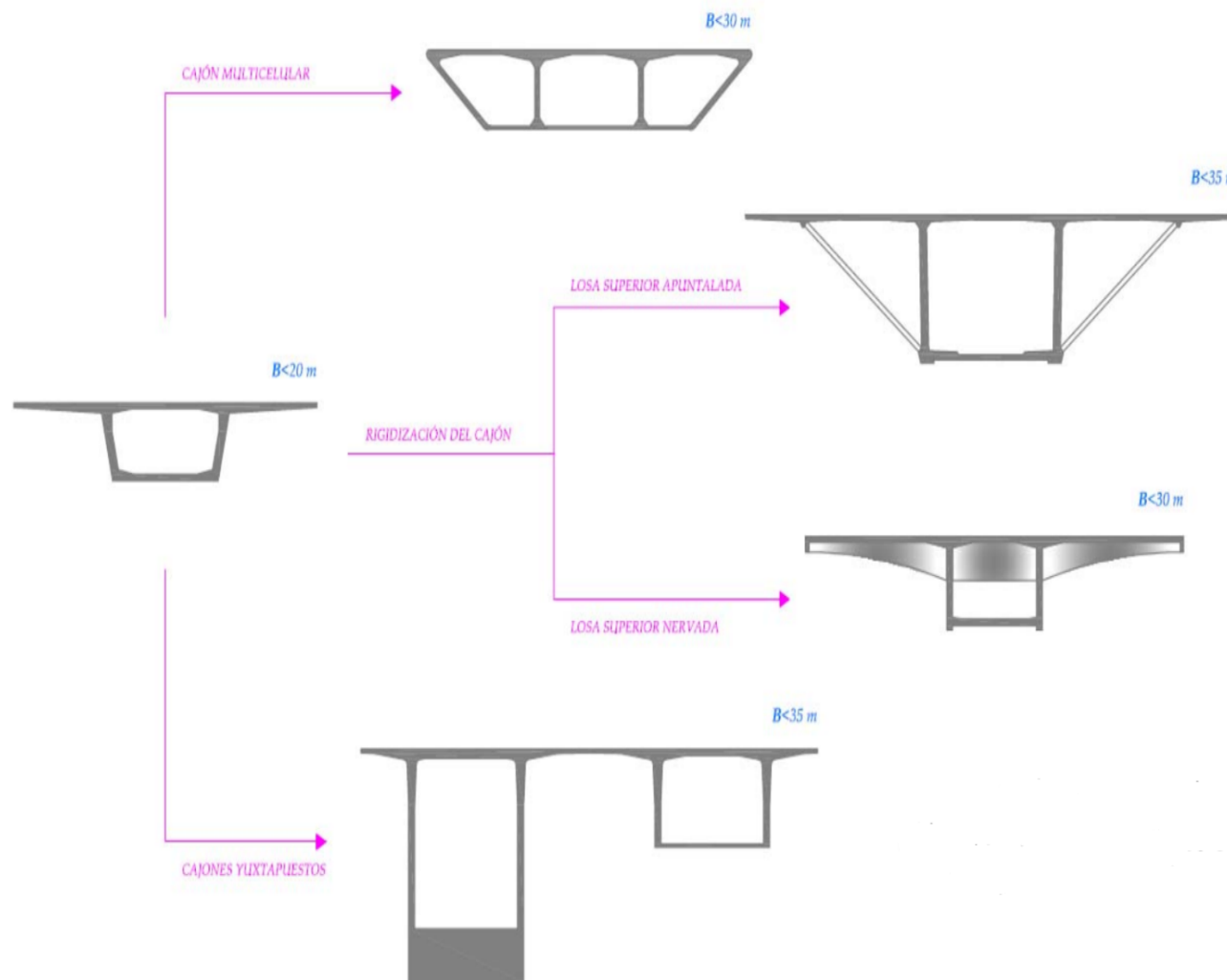


Figura 6. Tipología de secciones en cajón en función del ancho de plataforma.

### 3.3.2. Viga en cajón de hormigón "in situ"

Con el cajón de hormigón in situ, podemos solventar los problemas de transporte de las piezas de larga longitud por carretera con transportes especiales, no obstante, los problemas de mantenimiento en su interior persistirán y, además, el gálibo mínimo no se cumpliría. Por otro lado, el plazo de ejecución se verá incrementado, debido a la complejidad de montaje de la ferralla y los diferentes paneles de encofrado. Además, los resultados de calidad y control se verán mermados frente a una solución prefabricada.

### 3.3.3. Viga en cajón mixta

Un puente viga en cajón metálico, suele tener ventajas respecto a las soluciones análogas en hormigón, debido a la reducción de peso propio y a los cantos ya que estos suelen ser inferiores. Cuando se realiza

una estimación del canto, se puede observar que se deben cumplir para predimensionamiento las siguientes relaciones:

$$h_s \geq \frac{L}{30} \text{ En apoyos}$$

$$h_s \geq \frac{L}{40} \text{ En centro de vano}$$

De esta forma, el canto en apoyos estaría del orden de 1.8 m y en centro de vano sobre 1.35 m.

El trazado en planta puede ser rectilíneo o curvilíneo. Las secciones en cajón presentan un mejor comportamiento frente a la torsión que los tableros bi-jácena, además de que exigen un canto mucho menor que las soluciones de vigas, por lo que para la problemática que se pretende resolver, únicamente se plantea la solución de vigas en cajón metálicas.

Por otro lado, estos son más fáciles de transportar y de montar que los de hormigón, no obstante, el transporte por carretera sigue siendo un problema en este tipo, además del mayor coste que presentan frente a los de hormigón. Por lo que la limitación de su uso queda restringida por el transporte de estos.

### 3.3.4. Puente losa

La tipología de puentes tipo losa, con hormigón pretensado, ofrecen una mayor esbeltez que los puentes tipo cajón, o vigas entre otras. Otro factor a tener en cuenta es que éstas ofrecen la posibilidad de adaptarse perfectamente a la geometría de la traza. De este modo, podemos decir que esta tipología de tableros es especialmente indicada cuando:

- Existan problemas de gálibo, ya que el canto del tablero que se puede conseguir es bastante reducido en comparación con los puentes en cajón de hormigón. En cuanto al canto se refiere, las losas presentan la ventaja de no necesitar mantenimiento interior y no disponer de un canto mínimo de 2.20 m (recomendado) por dicho motivo, pudiendo reducir el canto.
- El trazado sea complejo, ya sea por tener una planta curvilínea agresiva, o la posibilidad de utilizar anchos variables.

El rango de luces óptimo (en cuanto a economía, funcionalidad y aprovechamiento de los materiales) a salvar mediante la tipología de puente viga se muestra gráficamente en la Figura 9. Dicho rango suele estar entre los 10 y 50 metros, siendo las luces inferiores a 20 metros para puentes de hormigón armado, y hormigón pretensado para luces superiores a 20 metros. Además, es aconsejable utilizar cantos variables a partir de los 25 metros.



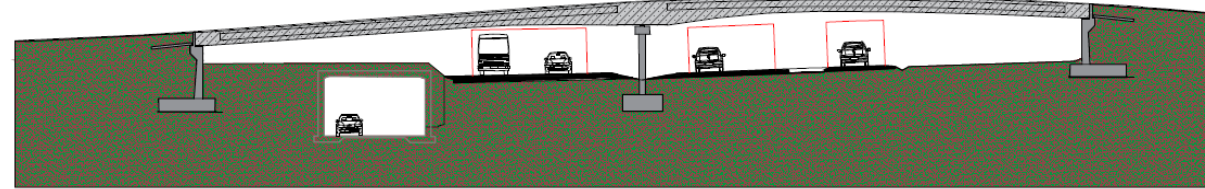


Figura 7. Boceto de solución como puente losa con aligeramientos.

Otra característica a tener en cuenta es la utilización de aligeramientos para cantos superiores a 1,2 metros, ahorrando un volumen importante de hormigón.

En base a los diferentes puentes realizados de dicha tipología y diferentes publicaciones de la experiencia propia de diversos autores reconocidos como (*Javier Manterola, Salvador Monleón, etc.*), la esbeltez relativa que exige dicha tipología para el contexto planteado es el siguiente:

$$\frac{1}{35} \geq \frac{H}{L} \geq \frac{1}{45} \text{ En centro de vano}$$

$$\frac{1}{18} \geq \frac{H}{L} \geq \frac{1}{22} \text{ En apoyos}$$

De esta forma, el canto en apoyos aproximado es 1.20-1.50 m mientras que en centro de vano se podría llegar a 2.50 o 3.00 m

### 3.3.5. Vigas prefabricadas de hormigón pretensado

Respecto a los tableros de vigas, son una solución para los problemas constructivos y de resistencia. Esta opción, permite resistir las flexiones cuando los tableros son rectos, repartiendo uniformemente o concentrando en nervios la rigidez longitudinal de la estructura. Además, los elementos longitudinales se pueden realizar por separado y colocarse entre pilas, siendo piezas más ligeras y a la vez cuando se trata de vigas prefabricadas se puede evitar el uso de cimbras costosas, así como evitar apoyar en el terreno al ejecutar el tablero.

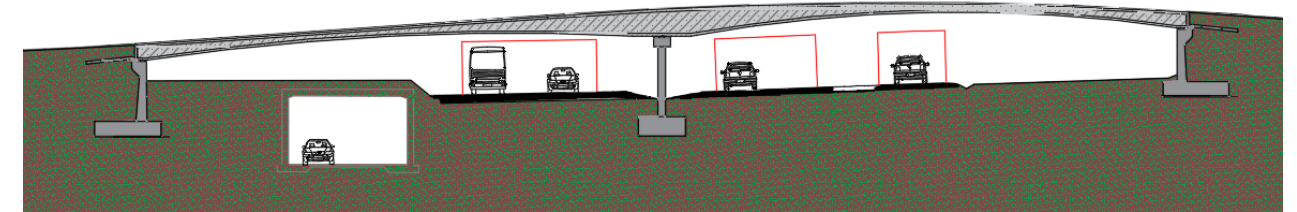


Figura 8. Boceto de solución como puente de vigas.

Las vigas de hormigón, tienen formas bien perfiladas, y la utilización se suele encontrar en vanos con longitudes inferiores a los 20 metros.

Los puentes con vigas prefabricadas, in situ o en planta, se pueden aplicar para luces pequeñas, que llegan hasta los 40 o 45 metros. No obstante, el transporte de las vigas hasta nuestro emplazamiento imposibilita su uso, y la realización de las vigas prefabricadas in situ, por falta de espacio deben ser también descartadas como opción.

### 3.3.6. Vigas de hormigón "in situ"

Los tableros hormigonados in situ, mediante cimbra convencional o autoportante, ayudan con el reparto uniforme de la rigidez, además, la utilización de nervios longitudinales decrece con la luz, simplificando la forma.

Otro de los inconvenientes, es que la industrialización de estas vigas es solo rentable cuando el número de vanos es importante, no siendo nuestro caso, y el trazado curvilíneo y con peralte sigue siendo un problema para su empleo.

### 3.3.7. Vigas metálicas

Los puentes de vigas metálicas nos dan opción a ajustarse a cantos constantes o variables, y se pueden disponer bajo calzada, a media altura o encima del tablero.

Al igual que los tableros tipo cajón metálicos, las ventajas del reducido peso propio y los cantos inferiores a otras soluciones análogas de hormigón, aunque su construcción es más sencilla que los puentes mixtos tipo cajón, y el mantenimiento es más económico y fácil que el tipo cajón.

Tienen la singularidad del buen aprovechamiento del material, así como una estética singular. No obstante, el mantenimiento es costoso, y para salvar la luz de la autopista, puede ser un canto considerable a tener en cuenta que nos dificultaría su emplazamiento.

El dimensionamiento de los cantos de las vigas metálicas en comparación con la luz del vano deberá estar entre el siguiente orden:

$$\frac{1}{22} \geq \frac{H}{L} \geq \frac{1}{28} \text{ En centro de vano}$$

$$\frac{1}{18} \geq \frac{H}{L} \geq \frac{1}{23} \text{ En apoyos}$$

Por lo que, si aplicamos la longitud de cada vano, esta opción quedaría fuera de las soluciones de nuestro paso superior.

#### 3.4. CELOSÍA METÁLICA SUPERIOR

Por último, el puente con una estructura superior es una opción que tiene como característica fundamental que la rigidez de la estructura se encuentra en la parte superior por la celosía. La celosía metálica suele asemejarse a los fletores a los que va a estar envuelto el puente, para así poder aprovechar los materiales de forma más eficiente y aportar cierta estética al conjunto dentro del entorno. La celosía superior estará conformada por un cordón superior, cordón inferior y diagonales, compuestos por perfiles armados, basado en el concepto empleado en el puente ferroviario de Nantenbach, sobre el Río Main (Baviera, Alemania). En el se emplean perfiles armados que aportan mayor rigidez a la estructura y una mayor seguridad frente a la inestabilidad de dichos elementos. En la siguiente figura se pueden apreciar los detalles y la vista general del Puente de Nantenbach, extraída de la documentación facilitada por *Salvador Monleón Cremades* en el curso impartido de "DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES".

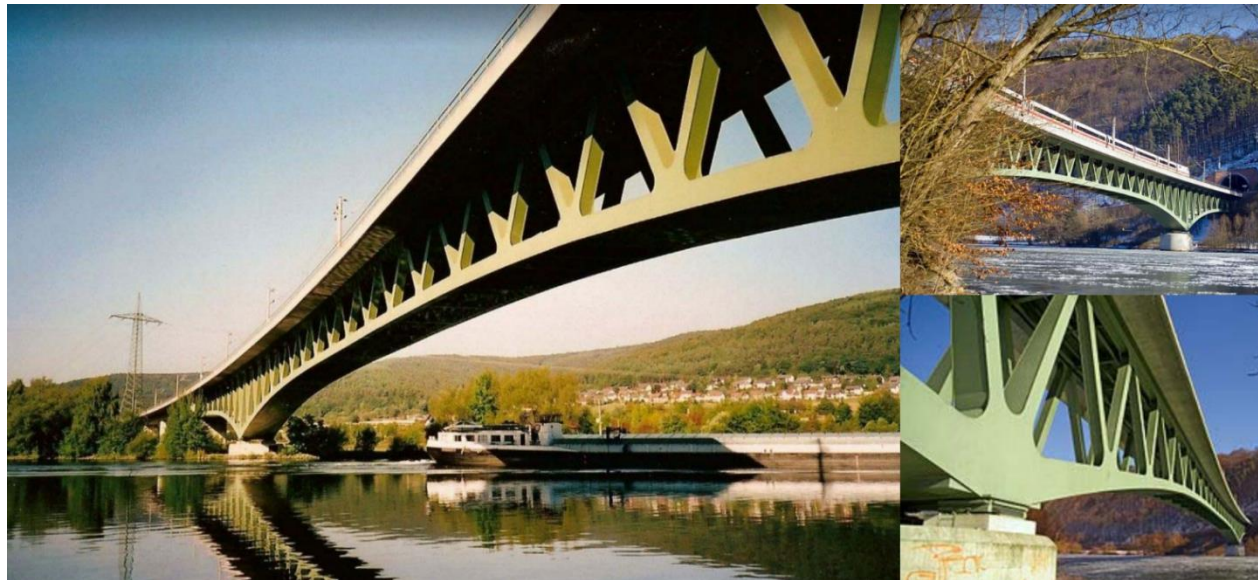


Figura 9. Puente de Nantenbach. Fotografía extraída de la documentación facilitada en el curso de "DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES" impartido por el profesor *Salvador Monleón Cremades*.

A continuación se muestra un alzado tipo de la solución estructural planteada.

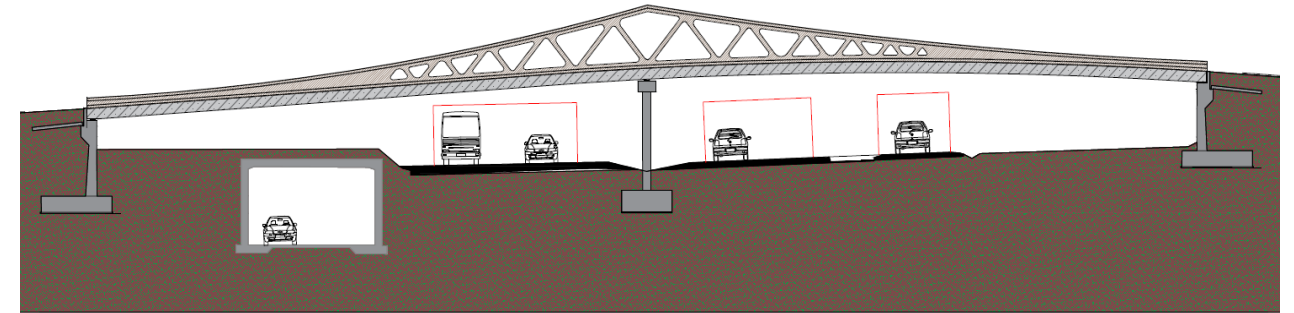


Figura 10. Alzado tipo de la solución mediante estructura en celosía de acero superior.

La celosía aporta un factor estético importante, así como el acabado de la estructura metálica. A partir de aproximadamente 1.50 m de canto, el alma se cierra, pasando a ser una estructura de alma triangulada a alma llena. El motivo es puramente geométrico, ya que respetando el canto del cordón inferior y superior, y la longitud necesaria para realizar las uniones de las triangulaciones a los mismos, la geometría de los huecos en la celosía vista en alzado, es prácticamente de dimensiones considerablemente reducidas.

Los nudos de la celosía serían rígidos, resistiendo desplazamientos y giros, por lo que la estructura gana rigidez en cuanto a la deformabilidad de la misma. A continuación, se muestra un detalle tipo de la concepción de las uniones, adoptando un fuerte valor estético de cara a los usuarios del paso superior, ya que la solución se propone para ser vista está proyectada para ser vista.

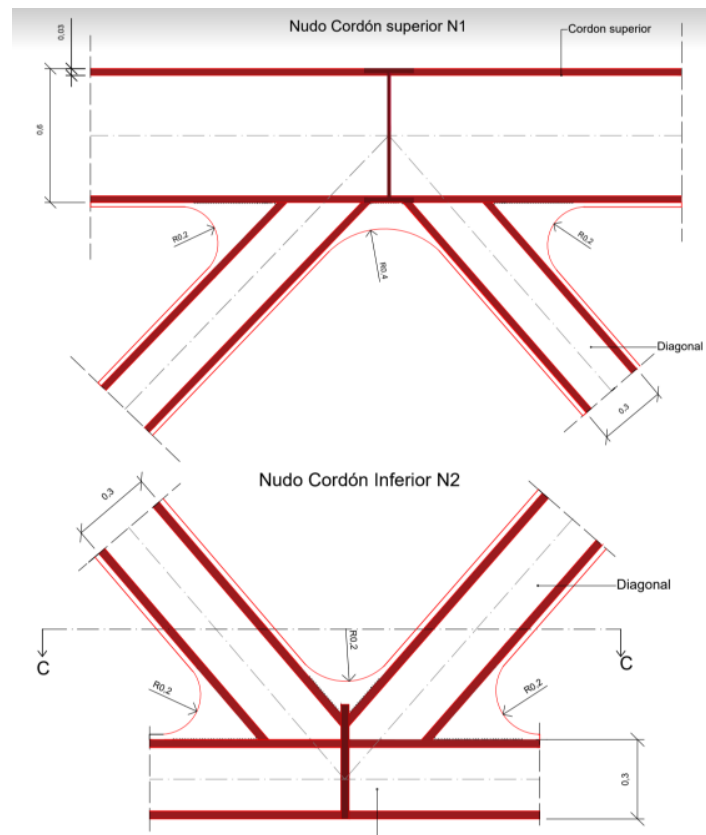


Figura 11. Concepción de las uniones de la celosía metálica superior.

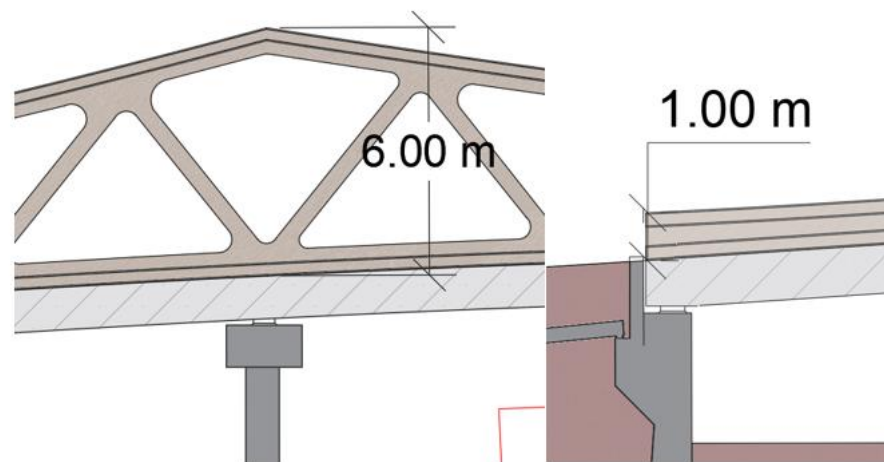


Figura 12. Rebajamiento de la celosía superior en Apoyo central. Detalle del canto en Apoyos extremos.

Sin embargo, el proceso constructivo es mucho más laborioso y costoso frente a las tipologías de puente planteadas anteriormente. El plazo de ejecución puede verse incrementado debido a las numerosas operaciones específicas de soldadura y atornillado que se deben efectuar, además de la conexión propia

al tablero de hormigón. En conclusión, por criterios de emplazamiento, esta solución puede llegar a ser demasiado compleja, debido a los esfuerzos solicitados debido al trazado curvilíneo y con pendiente.

Además, el coste económico de esta solución se ve incrementado respecto a las soluciones de hormigón planteadas, debido a las numerosos trabajos de unión de elementos que deben realizarse mediante personal específico y cualificado.



## 4. SOLUCIÓN ADOPTADA

### 4.1. SOLUCIÓN ELEGIDA

La solución escogida para nuestro paso superior debe cumplir con una serie de condicionantes debido a la complejidad de su emplazamiento. Debido a las edificaciones que existen alrededor del diseño del nuevo enlace, hace que el trazado haya de ser singular, llegando a pendientes alrededor de 8%, con un trazado en planta curvilíneo, para poder salvar una longitud de 108 metros.

Para el presente rango de luz, las soluciones de hormigón pretensado resultarán más económicas frente a las mixtas, debido a las laboriosas y costosas operaciones de montaje del mismo, además de las uniones que conformen el diseño del mismo. Por ello, las soluciones planteadas a continuación se referirán a tipologías de hormigón pretensado.

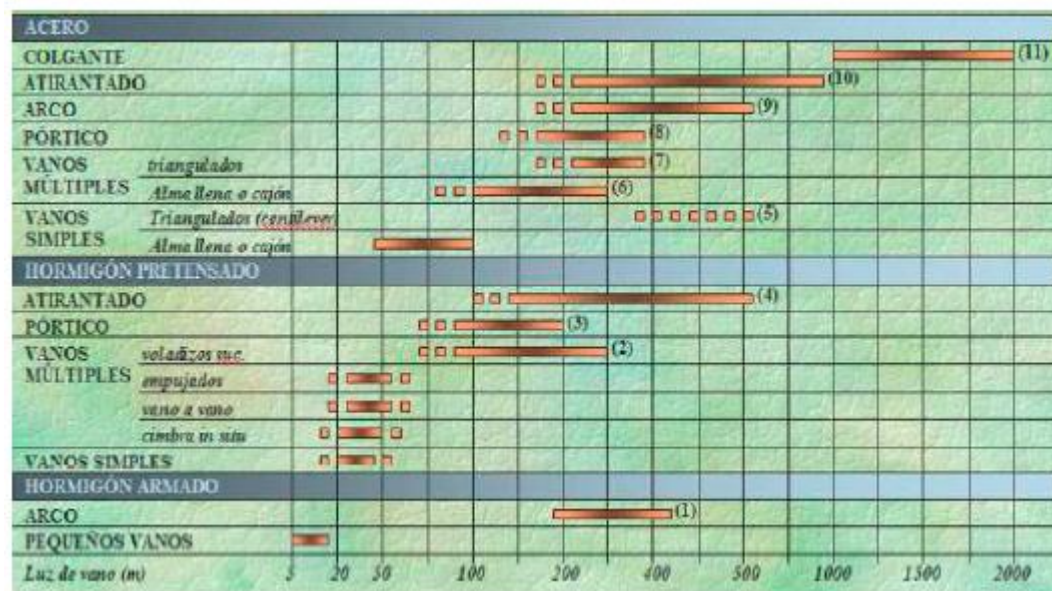


Figura 13. Relación de las distintas tipologías con las luces óptimas y su empleo, en función de los distintos materiales.

En el emplazamiento, actualmente existe una autopista cuyo IMD característico nos muestra la importancia de dicha ubicación, por lo que la afección a esta autopista ha de ser la mínima posible, para poder facilitar el flujo de vehículos ligeros y pesados, cuyo porcentaje es de suma importancia. Además, por criterios del proyecto, existirá un peralte de 5,73% constante decreciente hacia el lado interno de la curva.

La posibilidad de transportar estructuras prefabricadas que salven la distancia entera se han descartado debido a los alrededores, por lo que se premiará el uso de estructuras que puedan ser fabricadas in situ, o cuyo transporte no exceda los límites e interrumpa el tráfico de la autopista inferior.

Así, quedando limitado el canto del puente se ha escogido losa aligerada postesada.

### 4.2. TRAZADO EN PLANTA

El puente tendrá un trazado curvilíneo visto en planta, cuyo radio interior está situado en el Sureste. El tablero por su parte, tendrá una anchura total de 14,5 metros sobre el cual se dispondrán 3 carriles. Los carriles tendrán una anchura de 3,5 metros cada uno de ellos, mientras que el arcén interior y exterior tendrán distintas dimensiones, siendo las anchuras de ellos 1 metro y 1,55 metros respectivamente. Por último, las barreras de contención existentes están situadas a los extremos del puente en planta, y la anchura de trabajo será de 0,75 metros.

Los carriles que se dispondrán en el puente serán dos carriles en sentido Norte-sur, y un carril en sentido contrario.

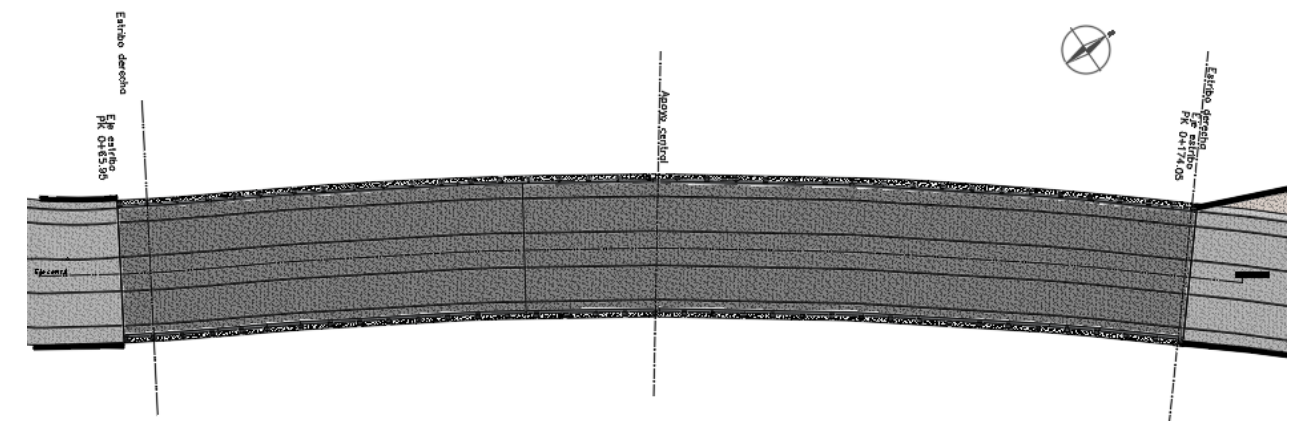


Figura 14. Vista en planta del paso superior.

El tablero estará dividido en dos vanos de misma longitud, 54,05 metros, el cual se apoyará en ambos estribos, y un apoyo central a mitad vano. Dichos estribos, alineados al eje central de la carretera, vendrán justificados por el trazado impuesto para salvar los condicionantes que se encuentran en las inmediaciones de la actuación.



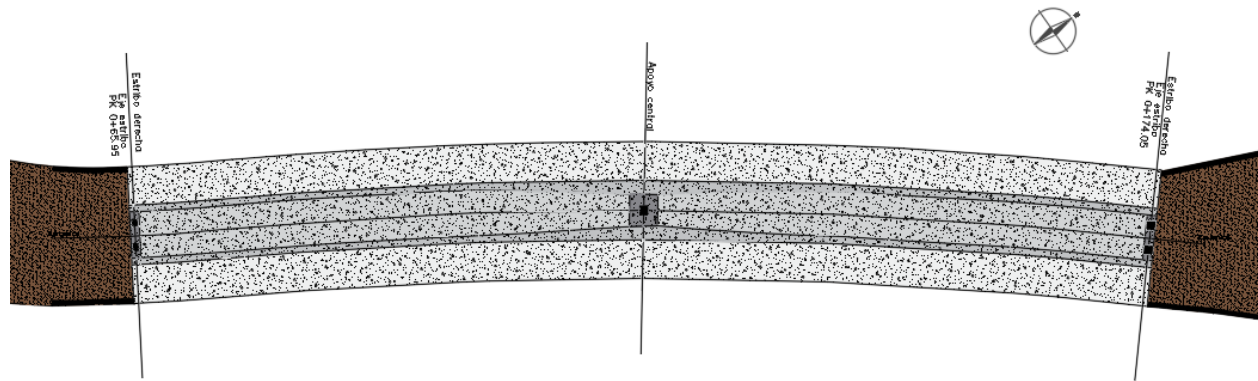


Figura 15. Vista en planta del paso superior.

Como se puede observar en la imagen anterior, el paso superior en la vista inferior del estribo, tendrá variaciones en cuanto a la parte inferior del tablero, que vendrá determinado por el canto variable que se dispondrá en el paso superior.

#### 4.3. TRAZADO EN ALZADO

Por otro lado, el trazado en planta que se ha de solventar es, siendo una de las particularidades del proyecto, ha de salvar el gálibo mínimo sobre la autopista, por lo que las restricciones o particularidades del trazado hacen que se haya adoptar pendientes del 7% y 8%. No se ha podido realizar menores pendientes debido a las edificaciones colindantes, por lo que será un condicionante particular.

Además, el gálibo será más limitante en la parte del radio interior del trazado en planta ya que existe un peralte constante a lo largo del puente de 5,73%.

En el estribo izquierdo desde el eje central, la cota a la que se encuentra el trazado es de 12,590 metros, llegando a una cota de 16,257 metros en el apoyo central, gracias a una pendiente que llega a valores del 7%. El estribo de la derecha se encuentra a una cota de 15,993 metros, desde pendientes ascendentes hasta una pendiente negativa en sentido de avance del 8%. Gracias a estas pendientes, se pueden salvar los gálibos mínimos.

La solución adoptada será una viga losa aligerada pretensada con canto variable, con un canto de 1,7 metros en el centro de vano, y hasta 2,9 metros en la sección de apoyo central.

Respecto a los estribos y apoyo central, la parte inferior de la losa será horizontal para poder así, colocar los apoyos de neopreno para su mejor funcionamiento.

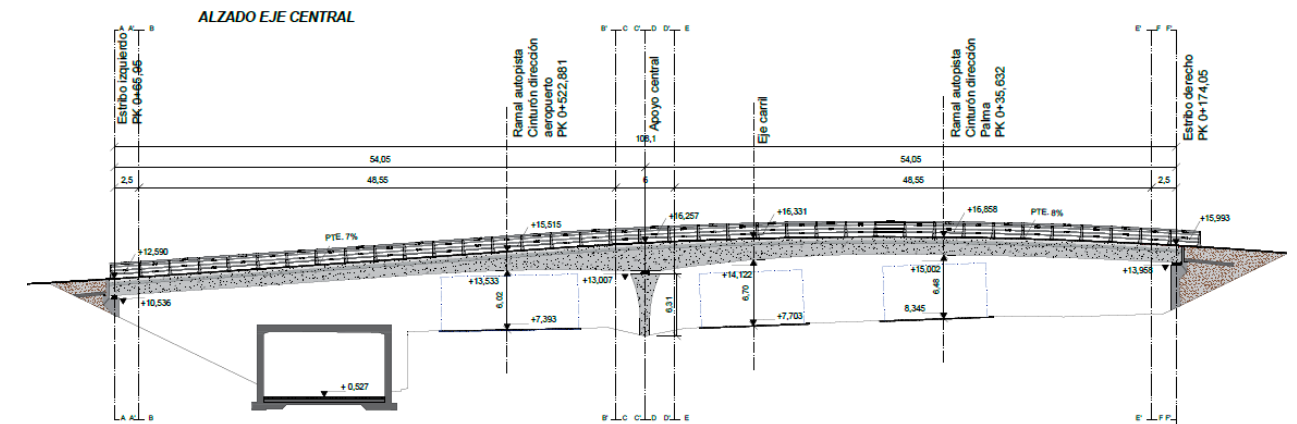


Figura 16. Vista en alzado de la solución propuesta.

#### 4.4. SECCIÓN TIPO

La sección tipo escogida, será una viga losa aligerada con pretensado. Dicho aligeramiento se realiza para minimizar el peso propio en secciones no limitantes, siendo los estribos y el apoyo central, donde la sección maciza ayudará a soportar los esfuerzos de flexión y cortante que está inducido nuestro paso superior entre otros.

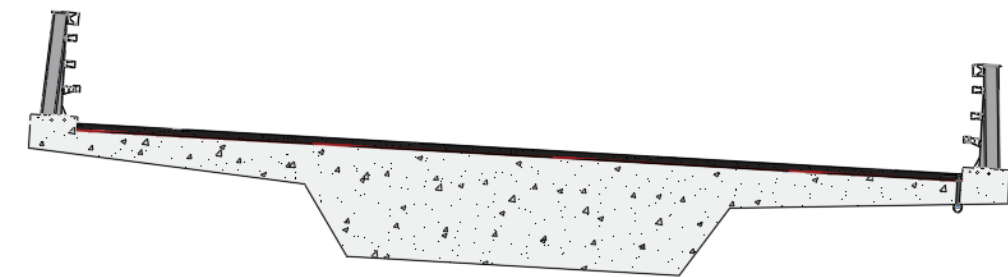


Figura 17. Sección tipo losa hormigón pretensado en los estribos.

De este modo, se han diseñado 4 cilindros de polietileno expandido, que se quedarán embebidos en el hormigón, permitiendo una reducción del peso propio de este.

La sección postesa contará con un número de cables que ayudará a coser las tracciones que puedan aparecer en nuestro paso superior, y se verá más adelante el cálculo de estas.

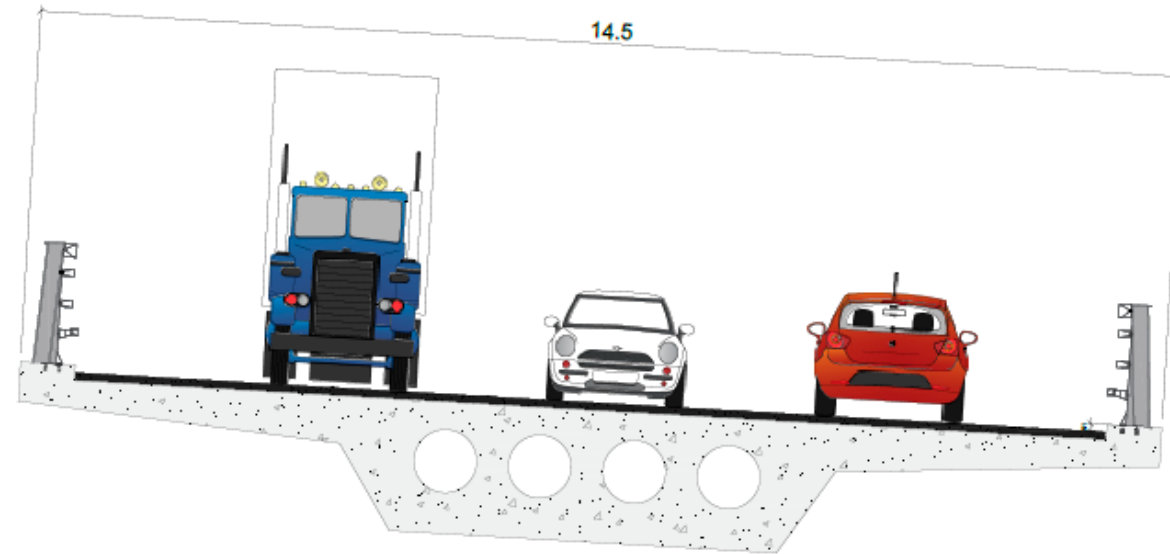


Figura 18. Sección tipo losa aligerada de la solución adoptada.

Por otro lado, la sección no será constante, y además de los aligeramientos que se dispondrán en la solución adoptada, el canto variable será otra de las características de la solución adoptada. Dicho canto variable al igual que los aligeramientos, ayudarán a minimizar el peso propio del paso superior, así como a ayudar a superar las limitaciones de gálibo mínimo, cuya restricción nos obliga a utilizar el mínimo canto posible para no impedir el tráfico por la Autopista Ma-19. En cuanto a las secciones que se colocarán junto a los estribos y al apoyo central, necesitará un mayor canto, con el objetivo de poder resistir los esfuerzos que aparecerán en dichas secciones debido a las cargas solicitantes que debe hacer frente la estructura. Dicha variación de canto, se puede observar en la *Figura 16. Vista en alzado de la solución propuesta*.



## 5. REFERENCIAS

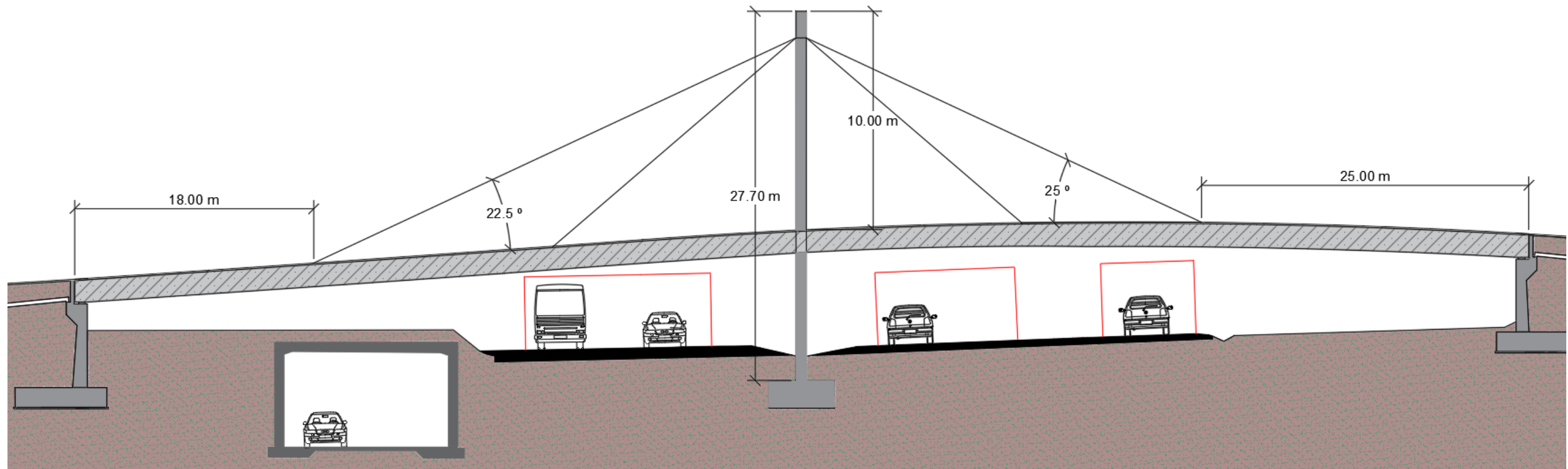
- MONLEÓN CREMADES, S. *Introducción a la construcción de puentes. Tableros losa*. Departamento de los Medios Continuos. Universitat Politècnica de València (UPV), València, España.
- MONLEÓN CREMADES, S. *Diseño Estructural de Puentes. Tableros de vigas*. Departamento de los Medios Continuos. Universitat Politècnica de València (UPV), València, España.
- IDOM CONSULTORÍA Y ARQUITECTURA, S.A. (2013). *Projecte de millora dels nous accesos des de l'autopista de Llevant (Ma-19) a Mercapalma, Centre comercial, Coll d'en Rabassa, camí fondo (Ma-5011) i Ma-30 (Millora d'accessos a Palma)*
- AGUDELO ZAPATO, J.A. (2012). "Predimensionamiento de Puentes Losa" <http://estructurando.net/2012/11/12/predimensionamiento-de-puentes-losa/> [Consulta 13 Febrero de 2018]
- AGUDELO ZAPATO, J.A. (2012). "Predimensionamiento de Puentes Mixtos Tipo Cajón" <http://estructurando.net/2012/06/19/predimensionamiento-de-puentes-mixtos-tipo-cajon/> [Consulta 13 Febrero de 2018]
- NAVARRO MARCO, J. (2016). *Proyecto básico de puente sobre la Rambla de Alcalá en Benicarló (Castellón)". Anejo 1. Estudio de Soluciones. Solución C.* [Consulta 15 Febrero de 2018]



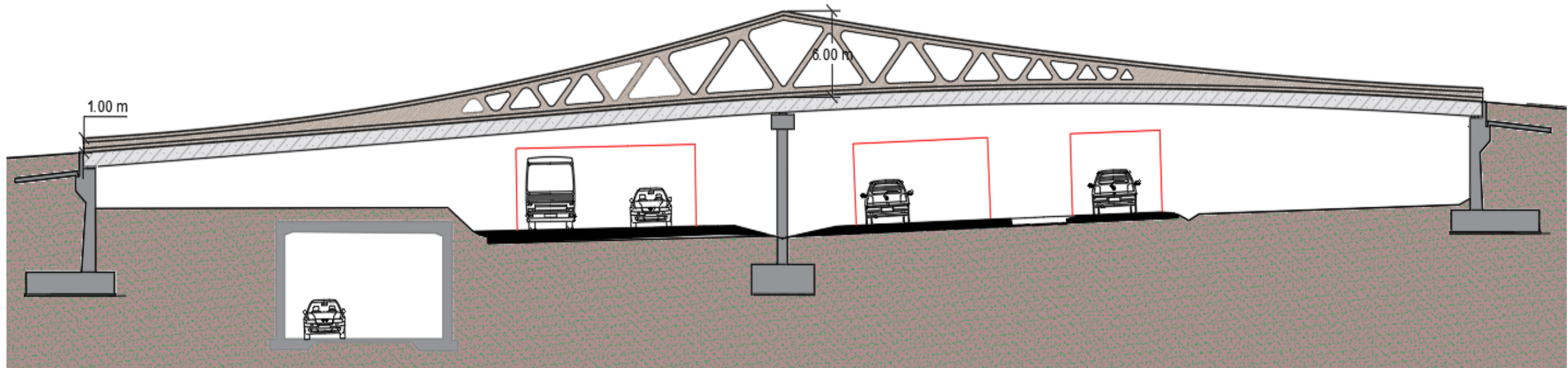
# ANEXO 1. DISEÑO DE LAS SOLUCIONES PROPUESTAS Y DETALLE DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA



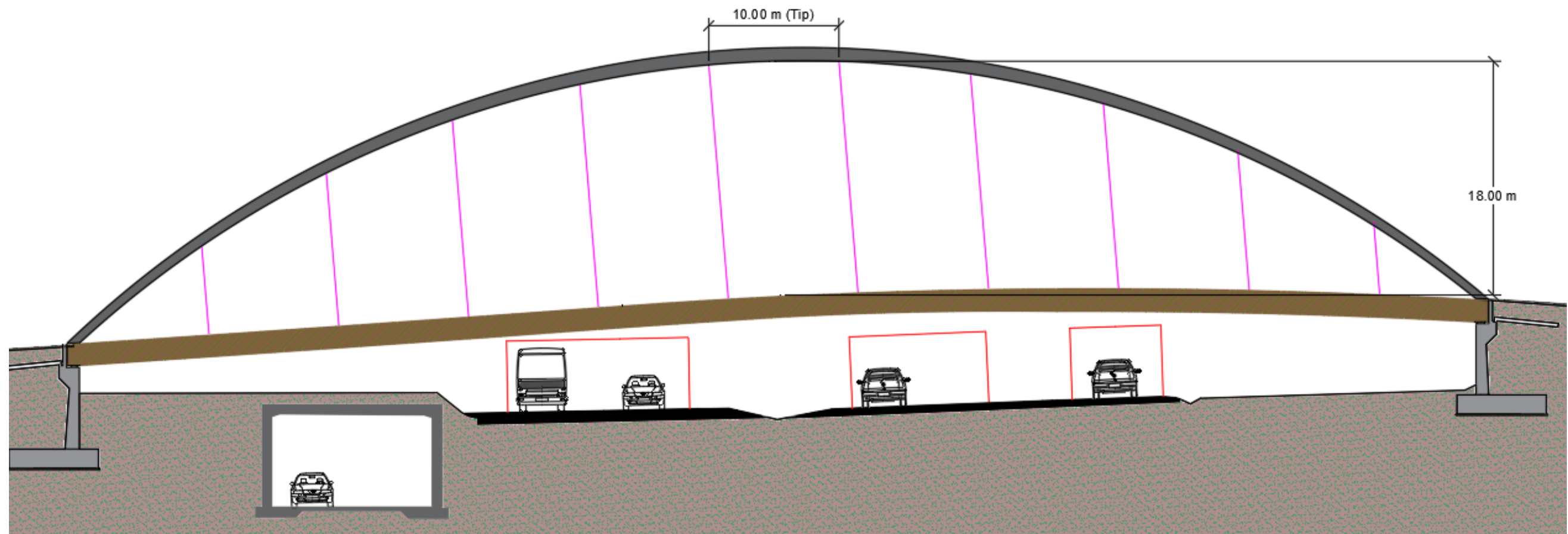
## SOLUCIÓN ATIRANTADA



## SOLUCIÓN DE ESTRUCTURA CON CELOSÍA SUPERIOR



## SOLUCIÓN BOW-STRING



## SOLUCIÓN FINAL ADOPTADA

