



## **ANEJO Nº4. ESTUDIO DE SOLUCIONES**





## **ÍNDICE.**

### **1. OBJETO.**

### **2. CONDICIONANTES.**

2.1 Topografía.

2.2 Trazado.

2.3 Estéticos.

2.4 Económicos.

2.5 Ambientales.

2.6 Construcción.

### **3. CRITERIOS DE SELECCIÓN.**

3.1 Funcionalidad.

3.2 Conservación.

3.3 Economía.

3.4 Impacto ambiental.

3.5 Estética.

3.6 Construcción.

3.7 Plazo.

### **4. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES.**

4.1. Paso superior a la vía.

4.2. Paso inferior a la vía.

4.2.1. Paso inferior metálico o mixto.

4.2.2. Paso inferior prefabricado.

4.2.2.1. Paso inferior prefabricado resuelto mediante pórtico con paramento horizontal mediante losa "in-situ".

4.2.2.2. Paso inferior prefabricado resuelto mediante pórtico con paramento horizontal de vigas prefabricadas de hormigón.



4.2.3. Paso inferior fabricado "in-situ".

4.2.3.1. Paso inferior ejecutado "in-situ" resuelto mediante pórtico.

4.2.3.2. Paso inferior ejecutado "in-situ" resuelto mediante un marco.

5. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.

6. SOLUCIÓN ÓPTIMA.



## 1. OBJETO.

El objetivo de este documento es definir el proceso de elección de la tipología estructural más óptima para dar continuidad a la reposición del camino propuesto en cuestión, que es objeto de este proyecto.

Para llevar esto a cabo se describirán los condicionantes técnicos, se expondrán una serie de posibles soluciones estructurales, se definirán los criterios a aplicar para así poder analizar con ellos las propuestas técnicas planteadas. Por último, se concluirá justificando la elección de la mejor solución, ampliando la descripción de esta última.

En este documento, únicamente se comparan diferentes modalidades de paso inferior. Por este motivo, no se plantearán soluciones que excedan de este ámbito, como sería el caso de un paso superior.

Para realizar este proceso de elección, es habitual utilizar técnicas multicriterio que ponderen cada alternativa, de manera que esto permita escoger la solución con mayor puntuación ponderada.

En el presente proyecto, no se ha aplicado ninguno de estos métodos de elección de alternativas, por tanto únicamente se realizará una valoración de los criterios que más adelante se exponen para determinar la solución óptima.

## 2. CONDICIONANTES

### 2.1 Topografía.

En todo el trazado que supone la estructura, la variación de cota es muy reducida. Además, se considera que la zona donde se va a ejecutar la cimentación, es decir la losa inferior, será desbrozada, excavada y acondicionada para que resulte totalmente horizontal. Teniendo en cuenta estos aspectos podemos concluir que la topografía no es un condicionante importante para la definición de la solución a adoptar.

### 2.2 Trazado.

El gálibo vertical mínimo a adoptar a partir del pavimento del camino, deberá ser suficiente para permitir la circulación de los vehículos. El *Reglamento General de Vehículos* define como altura máxima de los vehículos 4.00 m, por ello se considera conveniente aumentar el gálibo vertical de la estructura hasta los 5.50 m para permitir el paso de eventuales transportes especiales.

El trazado en planta del camino a reponer se restituirá por completo tras la ejecución de la obra. Por esto se tratará, en la medida de lo posible, que el nuevo trazado tenga similitud con el original, por lo que la traza de la estructura deberá ajustarse al mismo.

La montera de tierras que se encuentra entre el techo de la estructura y la rasante de la autovía, condicionará la tipología de la superestructura de paso, ya que supondrá una sollicitación de acciones importante por parte de la estructura empleada.

La anchura total necesaria para el paso es de 10.00 m, que se distribuye en dos carriles de 3.00 m, arcones a ambos lados de 1.50 m y 0.50 m de cuneta a cada lado para permitir la colocación del sistema de drenaje del paso inferior. De acuerdo con la normativa aplicada, esta luz de 10.00 m se resolverá con un solo vano.

### **2.3 Estéticos.**

Este aspecto resulta ser de escasa importancia ya que la estética del paso inferior en comparación con el paisaje no supone un obstáculo a la vista que pueda causar cierto impacto visual. Únicamente sería objeto de mejorarlo estéticamente el vano por donde el usuario atraviesa el paso, dotándolo así de la mayor diafanidad posible.

### **2.4 Económicos.**

El compromiso social de la Administración Pública obliga a desear el menor coste posible en sus inversiones, convirtiendo el dinero disponible en un bien escaso económicamente hablando. Así pues, desear un coste reducido de la obra manteniendo su funcionalidad parece ser el único condicionante económico existente.

### **2.5 Ambientales.**

La estructura debe de ser proyectada para que su vida útil sea la especificada por la normativa con los mínimos costes posibles de mantenimiento. Estas condiciones inciden en la elección del tipo estructural, sus materiales o el proceso constructivo. Por tanto las soluciones metálicas o mixtas serán desaconsejables frente a las soluciones de hormigón por sus mayores costes de mantenimiento.

Para facilitar la conservación y siempre que sea compatible con la flexibilidad de la estructura, es aconsejable reducir al mínimo el número de juntas de dilatación, ya que estas introducen potenciales caminos de paso del agua. Esto se consigue optando por estructuras hiperestáticas o estructuras isostáticas con continuidad de la losa.

### **2.6 Construcción.**

No se dan restricciones en el proceso constructivo más allá de los de la propia naturaleza de la obra puesto que su traza es perfectamente accesible por carretera, el terreno está despejado en los alrededores, su luz y su gálibo son reducidos y no existe obligación de terminarla en un plazo temporal singularmente corto.

## **3. CRITERIOS DE SELECCIÓN.**



Para valorar las diferentes alternativas, se tendrán en cuenta una serie de criterios que se exponen a continuación. Como se ha citado, en este proyecto no se tendrá en cuenta ningún método de toma de decisiones.

### **3.1 Funcionalidad.**

En el cuál se identificará claramente la finalidad de la estructura, teniendo en cuenta la utilidad que supondrá construir la estructura, ejecutada para resolver el problema por el cual se ha planteado el estudio.

Desde un punto de vista estructural, el paso inferior además de ser útil, deberá soportar de forma segura las cargas que introduce la propia estructura, las relacionadas con la plataforma superior, las sobrecargas que introduce el tráfico durante la fase de servicio, las cargas que introduce el proceso de compactación en la fase de construcción, los empujes del terreno sobre la estructura, etc.

### **3.2 Conservación.**

Se refiere a la conservación durante la vida útil de la estructura en la fase de servicio.

### **3.3 Economía.**

Es un criterio fundamental e importante a la hora de tomar decisiones, puesto que es el condicionante habitual en la elección de una de las soluciones que se plantean. Su valoración será más positiva cuanto más económica sea la solución.

### **3.4 Impacto ambiental.**

Se centra en el efecto barrera que pueda causar la ejecución de la estructura sobre el medio ambiente. Su valoración será más positiva cuanto mayor sea el nivel de mejora introducido por la estructura en el entorno en el cual se desarrolla.

### **3.5 Estética.**

Es importante que las estructuras se integren en el entorno de la mejor manera en la medida de lo posible, resultando así agradables al usuario ya que será en todo momento consciente de su existencia.

### **3.6 Construcción.**

El proceso constructivo de una estructura va ligado directamente al tipo estructural, por lo que las limitaciones que este tenga incidirán en la solución elegida.

### **3.7 Plazo.**

El tiempo de duración del proceso constructivo de la solución planteada es un factor importante, puesto que en función del tiempo invertido en la ejecución del paso inferior, la obra se encarecerá más o menos.

#### **4. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES.**

Para llevar a cabo la obra se deberá adoptar previamente una solución estructural, que sea capaz de resistir los empujes inducidos por las tierras, las cargas que transmiten los vehículos al paso por la autovía, etc. Estos esfuerzos son tanto verticales como horizontales, por lo tanto se estudiarán soluciones estructurales a base de paramentos verticales y horizontales de modo que trabajen de la forma más efectiva y óptima posible.

Se plantean diversas soluciones:

##### **4.1. Paso superior a la vía.**

Esta solución se descarta dado que debido a que la ejecución de un paso superior haría inviable económicamente dicha solución. Por lo tanto, esto favorece a la ejecución de la otra alternativa propuesta, es decir, la construcción de un paso inferior.

##### **4.2. Paso inferior a la vía.**

Esta opción plantea la ejecución de un paso a nivel inferior a la vía, ya que la propia geometría de la zona y las condiciones del trazado de la vía favorecen a la elección de esta solución.

Como se ha comentado antes, para la ejecución de dicho paso inferior se tendrá que adoptar una solución estructuralmente capaz de soportar los esfuerzos que el terreno genera sobre la estructura, así como los esfuerzos que genera el paso de los trenes sobre dicha estructura.

Dentro de esta opción, se plantean varias alternativas diferentes, como el paso inferior metálico o mixto, el paso inferior prefabricado y el paso inferior fabricado in-situ.

###### **4.2.1. Paso inferior metálico o mixto.**

Esta solución es descartada debido a que la estructura estará totalmente en contacto con el terreno, lo que limitará su durabilidad y favorecerá la aparición de los fenómenos de corrosión, y en consecuencia el uso de elementos anticorrosión que encarecerán el coste de ejecutar esta solución, además de no proporcionar un incremento sustancial de la durabilidad.

###### **4.2.2. Paso inferior prefabricado.**

La ejecución de un paso inferior resuelto mediante prefabricados estará formado básicamente por hastiales prefabricados y una zapata hormigonada "in-situ", siendo el alzado un muro prefabricado dotado de contrafuertes con sus respectivas esperas de unión. Además se colocará una losa superior horizontal que se encargará de soportar los esfuerzos generados por el continuo paso de vehículos por la autovía A-7.

El uso de determinados elementos estructurales prefabricados ofrece numerosas ventajas, entre las que destacan el control de costes, el ahorro de apuntalamientos, cimbras y encofrados, la reducción de plazos debido a la rapidez de ejecución, la posibilidad de realizar de forma simultánea la fabricación de los elementos prefabricados y otros trabajos realizados

"in-situ" tales como cimentaciones, etc. Otra ventaja importante es la mejora de calidad y acabado que se obtiene frente a los métodos "in-situ" convencionales.

Por el contrario, también existen ciertas desventajas, como pueden ser el coste económico que supone, los grandes medios de transporte y montaje que se requieren para su transporte y colocación en obra, así como también la resolución de las uniones entre los elementos prefabricados o entre elementos prefabricados y elementos "in-situ", ya que pueden llegar a ser muy complicadas si se trata de estructuras hiperestáticas.

Cabe destacar, que además de las grandes ventajas que suponen los elementos prefabricados como es la reducción de plazos, en este caso no será un aliciente en la elección de una alternativa, puesto que se trata este de un proyecto académico que formaría parte de un proyecto más amplio al que corresponden las obras de la autovía del Mediterráneo (A-7), en su tramo Cocentaina-Muro de Alcoy.

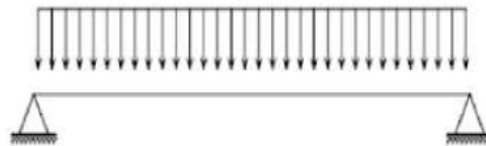
#### **4.2.2.1. Paso inferior prefabricado resuelto mediante pórtico con paramento horizontal mediante losa "in-situ".**



Esta solución se trata de un pórtico prefabricado formado por una losa de hormigón fabricada "in-situ" apoyada sobre el muro prefabricado. En este tipo de pórticos, las zapatas siempre deben realizarse "in-situ", que tendrán unas dimensiones variables en función de las características del terreno. El hecho de que el terreno no tuviera unas características competentemente apropiadas, las dimensiones de la zapata serían elevadas, lo cual favorecería a descartar esta solución por resultar muy costoso en cuanto a su ejecución. Por tanto sería mucho más económica la colocación de una losa inferior.

Como se muestra gráficamente a continuación, la unión entre el muro y la losa produce un aumento considerable en la ley de momentos flectores en comparación con la ley de flectores de la unión biempotrada, ya que esta solución está resuelta de forma biapoyada.

Situación de unión de un prefabricado



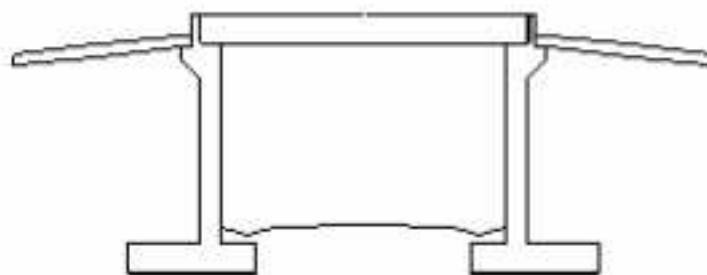
Ley de momentos flectores



A la unión simple entre elemento estructural fabricado "in-situ" (losa) y un elemento prefabricado (muro) se produce un aumento del momento máximo, esta nueva situación produce un cambio en las necesidades estructurales de la losa, es decir, se produce un aumento en la sección de la losa de hormigón, de la misma manera que se produce un incremento en la cuantía de acero por metro cúbico de hormigón, lo cual supone un encarecimiento considerable de la estructura.

#### 4.2.2.2. Paso inferior prefabricado resuelto mediante pórtico con paramento horizontal de vigas prefabricadas de hormigón.

Esta posible solución consistiría en resolver la losa superior mediante vigas de hormigón prefabricado, las cuales aportan una resistencia elevada frente a las cargas producidas por el paso de vehículos.



Estructura con losa superior apoyada sobre hastiales.

Como se ha comentado en el apartado anterior, el principal inconveniente en las estructuras resueltas mediante prefabricados es la unión entre los elementos, en este caso la unión vigas-hastiales, tratándose así de uniones simples o rótulas. Por este motivo, el momento flector máximo aumenta, generando la necesidad de aumentar la sección de las vigas, lo cual conlleva un aumento de la cuantía de acero por metro cúbico de hormigón.

#### **4.2.3. Paso inferior fabricado "in-situ".**

Como en el caso de la solución prefabricada, en este tipo de solución existen varias formas de resolver la estructura, las cuales se describen a continuación:

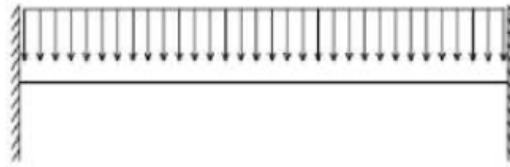
En primer lugar, es importante comentar que la solución resuelta mediante bóveda queda descartada por la elevada complicidad que resulta tanto por su dimensionamiento y cálculo como por la ejecución de la misma.

##### **4.2.3.1. Paso inferior ejecutado "in-situ" resuelto mediante pórtico.**

Esta solución presenta alguna ventaja con respecto a las soluciones planteadas anteriormente, como es el caso del tipo de unión. En esta alternativa, la unión losa superior-muro se resuelve con un empotramiento debido a la fabricación del pórtico "in-situ". De este modo, el momento flector máximo producido es más pequeño que en el caso de los prefabricados. Esta disminución del momento flector máximo supone que la sección de la losa superior sea menor, lo que supone una menor necesidad de cuantía de armado por metro cúbico de hormigón. Todo esto supone un ahorro importante en costes con respecto a los casos expuestos anteriormente.



Situación del pórtico fabricado in-situ



Ley de momentos flectores

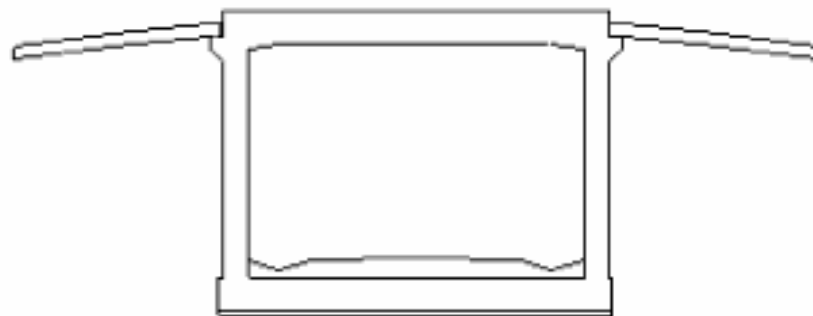


Si las características del terreno no resultan ser adecuadas, se deberán ejecutar las zapatas con dimensiones elevadas, lo que supondría un encarecimiento en los costes que plantearía la posibilidad de descartar esta alternativa.

#### 4.2.3.2. Paso inferior ejecutado "in-situ" resuelto mediante un marco.

En esta solución, del mismo modo que la del pórtico fabricado "in-situ", la unión hastiales-losa horizontal se resuelve mediante un empotramiento, el cual reduce su momento flector máximo produciendo que la sección necesaria de la losa horizontal sea menor. De igual modo, disminuirá la cuantía de acero por metro cúbico de hormigón.

También se obtiene un mejor apoyo de la base que en el caso de las zapatas en el pórtico, generando así una mejor distribución de las cargas que introduce el marco sobre el terreno.



Marco cerrado.



A continuación se adjunta una figura donde se puede observar la tipología estructural aconsejable para ejecutar este tipo de obras. Estas recomendaciones vienen dadas por la *Guía de Obras de paso de nueva construcción*

En ella se puede observar que para luces reducidas como es nuestro caso, 10.00 m, es aconsejable la solución tipo marco frente a otras como pórticos o bóvedas



## 5. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.

Después de haber analizado y comparado las distintas alternativas expuestas se toma la decisión de elegir como solución óptima la ejecución del **paso inferior fabricado "in-situ" mediante marco de hormigón armado**.

Como ya se ha comentado, en este caso no se ha realizado ningún método numérico para ayudar a la toma de decisión (como puede ser un análisis tipo criterio: PRES), únicamente se ha realizado una valoración de los criterios de selección definidos anteriormente para cada alternativa y una comparación de las ventajas e inconvenientes que supondría la ejecución de las diferentes alternativas expuestas, llegando a la conclusión de que la mejor opción es la indicada.

## 6. SOLUCIÓN ÓPTIMA.

Después de haber realizado la justificación de la solución adoptada, se puede concluir que se ha elegido como solución óptima la realización del Paso inferior ejecutado "in-situ" resuelto mediante un marco.

Así pues, llevando a cabo la construcción del marco se consigue una estructura realizada con hormigón armado en su totalidad, totalmente cerrada, donde su tablero está rígidamente unido a los hastiales presentando así un esquema estructural biempotrado, su techo es plano, minimiza el número de juntas al hormigonarse enteramente "in-situ" y posee una cohesión estructural óptima para combatir los posibles movimientos diferenciales derivados de los esfuerzos tectónicos.

