



ANEJO I: ESTUDIO DE SOLUCIONES

GARCÍA UTRILLAS, RUBÉN

MANJÓN ALFARO, ELENA

MARTÍNEZ SORIA, JOAN LLUÍS

UÑA IVAR, LAURA



ÍNDICE

1. OBJETO
 - 1.1. ALCANCE DEL ESTUDIO
2. DATOS PREVIOS
 - 2.1. CONDICIONANTES
 - 2.2. ESTADO ACTUAL
3. NORMATIVA
4. PLANTEAMIENTO GENERAL DE SOLUCIONES
 - 4.1. ALTERNATIVA A. SOLUCIÓN DE HORMIGÓN
 - 4.1.1. PUENTE VIGA
 - 4.1.2. PUENTE LOSA
 - 4.1.3. PUENTE DE VANOS SIMPLES
 - 4.1.4. PUENTE CONTINUO HORMIGONADO MEDIANTE CIMBRA
 - 4.1.5. PUENTE CONTINUO CONSTRUIDO VANO A VANO
 - 4.1.6. PUENTE EMPUJADO
 - 4.1.7. PUENTE CONSTRUIDO POR AVANCE EN VOLADIZO
 - 4.1.8. PUENTE PÓRTICO DE APOYOS INCLINADOS
 - 4.2. ALTERNATIVA B. SOLUCIÓN DE ACERO
 - 4.2.1. PUENTES VIGA
 - 4.2.2. PUENTE ATIRANTADO
 - 4.2.3. PUENTE ARCO
 - 4.2.4. PUENTE COLGANTE
5. PRESELECCIÓN
 - 5.1. ALTERNATIVA A
 - 5.2. ALTERNATIVA B
6. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS
 - 6.1. ALTERNATIVA A
 - 6.1.1. PUENTE DE VANOS SIMPLES
 - 6.1.2. PUENTE CONTINUO HORMIGONADO MEDIANTE CIMBRA
 - 6.2. ALTERNATIVA B
 - 6.2.1. PUENTE VIGA EN CAJÓN
 - 6.2.2. PUENTE VIGA CELOSÍA
7. ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA

- 7.1. ALTERNATIVA A
- 7.2. ALTERNATIVA B

ANEJO I.I.

1. AFECCIÓN A LAS VÍAS
2. TRANSPORTE DEL MATERIAL
 - 2.1. VIGAS PREFABRICADAS
 - 2.1.1. POR CARRETERA
 - 2.1.2. POR FERROCARRIL
 - 2.2. VIGAS IN SITU
3. ACOPIO DEL MATERIAL
 - 2.3. VIGAS PREFABRICADAS
 - 2.3.1. VIGAS DE 30 M
 - 2.3.2. VIGAS DE 45 M
 - 2.4. VIGAS IN SITU
4. COLOCACIÓN DEL MATERIAL (CONSTRUCCIÓN)
 - 2.5. VIGAS PREFABRICADAS
 - 2.5.1. PROCESO CONSTRUCTIVO
 - 2.5.2. GRÚAS NECESARIAS
 - 2.6. VIGAS IN SITU
 - 2.6.1. CIMBRAS NECESARIAS
5. CONCLUSIÓN

1. OBJETO

El objeto del presente Estudio de Soluciones es la elección de las dos alternativas más adecuadas para la realización de la pasarela peatonal en la ciudad de Valencia, dando un acceso adecuado, confortable y seguro entre los barrios de Ruzafa y San Vicente, dotando a la vez de un mejor acceso a la estación de Alta Velocidad Española Valencia – Joaquín Sorolla, de aquí en adelante AVE – Valencia Joaquín Sorolla.

Para la elección de las dos soluciones idóneas, se presentan varias alternativas que satisfacen dichas necesidades, analizando con más detalles aquellas que se consideren más adecuadas.

Las alternativas a estudiar se dividirán por el material estructural a utilizar, siendo éstos: Hormigón (armado y pretensado) y Acero.

Para concluir el presente estudio, se escogerá la solución que mejor se adapte, para cada material, a las condiciones técnicas, constructivas, de mantenimiento, económicas y estéticas.

1.1. ALCANCE DEL ESTUDIO

En este apartado se pretende aclarar cómo se va a hacer la toma de decisiones, qué aspectos van a tener mayor importancia, y hasta qué punto se analizarán las soluciones.

No se van a tener en cuenta las pilas, cimentaciones o accesos a la pasarela, así como el tablero a disponer, ya que es un aspecto que va a tener representación en cualquiera de las soluciones, por lo tanto, no es relevante a la hora de tomar una decisión.

Uno de los criterios más importantes a la hora de elegir una alternativa es el aspecto económico, por lo que se precisa un cálculo más preciso a la hora de

calcular la cantidad de elementos que se van a utilizar. Por lo tanto, para la evaluación económica se tendrán en cuenta sólo los elementos estructurales que se diferencian en las alternativas disponibles, a modo de comparación.

Las comprobaciones estructurales que se van a realizar para el presente estudio de soluciones son las siguientes:

- Estado Límite Último de Solicitaciones Normales
- Estado Límite Último de Solicitaciones Tangenciales
- Estado Límite de Resistencia de Secciones

2. DATOS PREVIOS

En este apartado se definirán los condicionantes a los que estará sujeta la pasarela peatonal.

2.1. CONDICIONANTES

I. FUNCIONALIDAD

La pasarela peatonal debe comunicar de forma cómoda y funcional los barrios de Ruzafa y San Vicente de manera que tanto peatones como ciclistas, independientemente de su condición física, puedan tener acceso a ésta.

Su diseño deberá garantizar el flujo de tráfico con total seguridad. Se deberá tener en cuenta que la infraestructura dotará de un nuevo acceso, actualmente inexistente, a la Estación de AVE – Valencia Joaquín Sorolla, además de los barrios de Ruzafa y San Vicente. Por lo expuesto anteriormente, la infraestructura deberá garantizar un elevado flujo de peatones.

II. COMODIDAD

Para que las personas con movilidad reducida dispongan de un acceso cómodo a la pasarela, se eliminará cualquier barrera arquitectónica como pendiente, ancho y radio de giro, de los accesos y del paso superior.

Para ello se aplicarán los artículos 5 y 11 del RD 505/2007 del 20 de abril en el que cita:

Art. 5. Espacios situados en diferentes niveles

1. Entre los espacios accesibles ubicados en cotas distintas existirá al menos un itinerario accesible entre diferentes niveles que contará, como mínimo, con un medio accesible alternativo a las escaleras. Los edificios de pública concurrencia de más de una planta contarán siempre con ascensor accesible. Los edificios de viviendas con más de dos plantas sobre la de acceso, en función del número de viviendas edificadas por encima de dicha planta de acceso contarán con rampa o con ascensor accesible, o bien cumplirán las condiciones que permitan su instalación posterior.

2. Se dispondrá en cada planta frente a la puerta del ascensor del espacio que permita el acceso a los usuarios en silla de ruedas o de personas con discapacidad con otras ayudas técnicas, excepto cuando el espacio disponible no lo permitiera en caso de edificios existentes.

3. Se dispondrán elementos de información que permitan la orientación y el uso de las escaleras, las rampas y los ascensores.

Art. 11. Accesibilidad en los itinerarios peatonales

1. Los itinerarios peatonales garantizarán, tanto en el plano del suelo como en altura, el paso, el cruce y el giro o cambio de dirección, de personas, independientemente de sus características o modo de desplazamiento. Serán continuos, sin escalones sueltos y con pendientes transversal y longitudinal que posibiliten la circulación peatonal de forma autónoma, especialmente para peatones que sean usuarios de silla de ruedas o usuarios acompañados de perros guía o de asistencia.

2. En los casos en los que la intervención del punto anterior no sea posible, se ejecutará una solución con plataforma única donde quedará perfectamente diferenciada en el pavimento la zona preferente de peatones, así como la señalización vertical de aviso a los vehículos.

3. En cualquier caso, la posición de todos los elementos urbanos será tal que no interfiera en ningún caso el ámbito de paso establecido en los puntos anteriores. Se considera excepción cuando un elemento tenga un carácter puntual y no repetitivo, debiéndose garantizar si no el cruce y el giro, al menos el paso normal de peatones.

4. En las zonas de estancia tales como plazas, parques y jardines, áreas de juegos infantiles, playas urbanas, etc., se garantizará la existencia de un itinerario con las características determinadas en el presente Capítulo, así como la circulación en continuidad hasta los puntos de interés o de uso público.

5. Las personas con discapacidad que sean usuarias de perros guía o perros de asistencia gozarán plenamente del derecho a hacer uso de los espacios públicos urbanizados, sin que por esta causa puedan ver limitada su libertad de circulación y acceso.

Según el Real Decreto 110/1012 del 15 de Octubre y El Manual de Accesibilidad Universal:

- Ancho mínimo para permitir el cruce de dos sillas de ruedas: 200 cm
- Pendientes de las rampas entre 8 – 10 % con descansos cada 9 m
- Pendiente transversal ≤ 2 %
- Pendiente longitudinal:
 - Para un desnivel $\leq 0,40$ m \rightarrow 10 % de pendiente máxima
 - Para un desnivel $> 0,40$ m \rightarrow 6 % de pendiente máxima

III. LUZ A SALVAR

Puesto que el paso superior cruza la playa de vías de acceso a Valencia Estació del Nord, la luz a salvar es de aproximadamente 90 m.

Dado que ciertas vías son de apartadero, se abre la posibilidad de colocar pilas intermedias siempre y cuando no entorpezca el tráfico ferroviario.

IV. ESPACIO DISPONIBLE



Al situarse la pasarela en un lugar céntrico y estar rodeado de edificaciones, el espacio es un condicionante importante en cuanto a la limitación de zona de trabajo en la obra.

El espacio disponible no será determinante en el caso de tipología de acero, en la que no se estudiará, pero sí en la de hormigón, donde se definirá la tipología constructiva.

V. GÁLIBO

El gálibo establecido por ADIF para catenarias de ancho ibérico es de 4.300 mm sobre la cabeza del raíl. Para ello, aumentaremos el gálibo a 7 m para asegurar que el canto de la pasarela no entorpezca el paso de los trenes.

VI. TOPOGRAFÍA

La topografía no es un condicionante importante en nuestro caso, ya que no hay que salvar ningún desnivel y la cota a ambas partes de la pasarela es muy similar.

VII. ACCESOS A LA OBRA

En este caso el acceso a la obra es un gran condicionante, ya que ésta se encuentra en una zona urbana y hay que tratar de interrumpir lo menos posible el tráfico en esta zona.

VIII. ASPECTOS ESTÉTICOS

Al tratarse de una zona céntrica y estar en un espacio abierto por la ubicación de la playa de vías, hay que intentar en la medida de lo posible la integración estética de ésta en el entorno urbano.

Se deberá tener en cuenta la futura construcción del Parque Central de Valencia, debiéndose quedar íntegra la pasarela con la nueva infraestructura a construir.

IX. SITUACIÓN

La situación de esta obra va a ser un condicionante a tener en cuenta durante el proceso constructivo y a la fase de servicio de la infraestructura, puesto que al encontrarse salvando las vías de tren de entrada a Valencia se busca una solución que afecte lo menos posible el tráfico ferroviario durante la construcción y en ningún momento en su fase de servicio.

X. ECONOMÍA

Será requisito indispensable que la obra cumpla los requisitos anteriormente citados y la de viabilidad económica, favoreciéndose la solución más económica pero sin ser el único factor determinante.

2.2. ESTADO ACTUAL

La zona donde se va a ubicar se caracteriza por la presencia de tráfico ferroviario en toda su longitud, rodeada por viales y edificaciones. Por tanto, estamos ante una zona fuertemente urbanizada.

Actualmente se está llevando a cabo la primera fase de construcción del Parque Central de Valencia, que no afecta directamente nuestra zona pero sí alrededor de ésta.

3. NORMATIVA

La normativa a emplear en este estudio de soluciones es la siguiente:

- EHE – 08
- EAE
- CTE DBSE – A
- IAP – 11

4. PLANTEAMIENTO GENERAL DE SOLUCIONES

En el presente apartado se van a estudiar las diferentes tipologías que podemos emplear para resolver la pasarela peatonal, siempre cumpliendo los requisitos descritos anteriormente:

Luz a salvar	Canto tablero	Gálibo	Ancho tablero
≈ 90 m	variable	7 m	6 m

Tabla 1

Se realizarán dos soluciones diferentes, cada una con un material estructural diferente; siendo la Alternativa A de Hormigón, Armado o Pretensado, y la Alternativa B de Acero.

Ambas soluciones presentan los mismos condicionantes geométricos y estéticos, y se estudiarán según la funcionalidad y eficiencia estructural dependiendo en cada caso de su material.

A continuación se presentan las diferentes tipologías de cada material a estudiar para, seguidamente, preseleccionar las más adecuadas.

4.1. ALTERNATIVA A. SOLUCIÓN DE HORMIGÓN

I. HORMIGÓN ARMADO

4.1.1. PUENTE VIGA

Esta solución es la más sencilla de todas. Su construcción se basa en la colocación de vigas con sección de doble T o en cajón apoyadas en estribos o pilas. Sobre éstas se coloca la losa, pudiendo ser *in situ* o prefabricada.

Su comportamiento estructural es el de una viga apoyada en sus extremos, sólo transmite axiles a las pilas de la pasarela. Es, por tanto, una estructura isostática, en la que tan sólo estará sometida a flectores positivos en los centros de cada vano.

Permite salvar obstáculos con luces de 20 m.

Como ventaja es una solución sencilla desde el punto de vista constructivo y necesita poco mantenimiento, sin embargo suelen ser soluciones óptimas para puentes vehiculares y no peatonales.

4.1.2. PUENTE LOSA

Esta solución se basa en la construcción de una cimbra con posterior encofrado y hormigonado *in situ*.

Su comportamiento estructural es el de una viga continua con varios apoyos, lo que significa que estamos ante una estructura hiperestática. En este caso, a diferencia del anterior, en los apoyos de las pilas aparecerán momentos flectores negativos que contrarrestarán los flectores positivos de los vanos adyacentes.

Por lo expuesto anteriormente, los flectores serán más reducidos, que significa menor cantidad de acero para armar, que en el caso de viga simple pero se tendrá que tener en cuenta el cambio de signo de éstos, aumentando la complejidad estructural de la sección.

Esta tipología ofrece la posibilidad de adaptarse perfectamente a la geometría de la traza y presenta una mayor esbeltez que otras. Por ello, es conveniente cuando:

- Tenemos problemas de gálibo
- La traza es compleja

En cuanto al comportamiento estructural, es óptimo para luces menores de 20 m. La sección puede ser aligerada o maciza, dependiendo del canto y de la luz a salvar.

II. HORMIGÓN PRETENSADO

4.1.3. PUENTE DE VANOS SIMPLES

Se basa en la tipología anteriormente citada de *Puente Viga para Hormigón Armado*. En este caso, el hormigón pretensado nos permite llegar a luces de hasta 50 m.

Es sin duda la solución más económica y más sencilla en cuanto a ejecución constructiva.

Como inconveniente presenta una estética de carácter industrial, por lo que deberemos estudiar a fondo su integridad estética.

4.1.4. PUENTE CONTINUO HORMIGONADO MEDIANTE CIMBRA

Sistema constructivo parecido al mencionado anteriormente como *Puente Losa de Hormigón Armado*. En este caso, el hormigón pretensado nos permite llegar a luces de hasta 50 m.

Es el sistema de construcción con mayores posibilidades estéticas y de adaptación a las formas resistentes óptimas y a las exigencias del trazado. Puede constar de:

- Vigas
- Losas
- Pórticos de canto variable

Permite anchos variables y trazados curvos. La supresión de juntas proporciona comodidad y reduce la degradación. Su mantenimiento también es reducido.

Suele ser una solución poco económica, justificándose en algunos perfiles o para longitudes moderadas.

4.1.5. PUENTE CONTINUO CONSTRUIDO VANO A VANO

Su sistema constructivo se basa en la unión y sintetización de las ventajas de la prefabricación y la continuidad estructural, inherente a los puentes hormigonados *in situ*.

Su comportamiento estructural es el de una viga continua con varios apoyos.

En este sistema, el pretensado necesario en cada fase puede ajustarse al requerido en el servicio, con el consiguiente ahorro respecto a otras técnicas. También admite cantos variables y prefabricación de dovelas.

Se trata de una solución óptima para viaductos de gran longitud y luces cortas, pudiendo amortizar la inversión inicial de los equipos en la reutilización de los medios auxiliares para la construcción de los vanos sucesivos.

4.1.6. PUENTE EMPUJADO

Sistema constructivo prefabricado. Consta de dos etapas:

1. Construcción de la viga continua
2. Transporte y colocación por empuje a su posición final

Requiere medios auxiliares de coste razonable y proporciona buenas calidades de ejecución al centralizar todas las operaciones en una zona restringida y protegida. Como inconveniente, la necesidad de disponer zonas amplias de trabajo cerca de los estribos puede suponer un impedimento.

Al igual que en el caso de *Puentes Continuos Construidos Vano a Vano* sólo existen juntas de hormigonado entre fases.

Solución estructuralmente poco económica por las condiciones de sollicitación del empuje. Éste impone cantos importantes y constantes, que se adaptan mejor a los puentes de ferrocarril. Además, el pretensado impuesto debe centrarse y por lo tanto no se ajusta al requerido en servicio.

Óptimo para luces de aproximadamente 40 m, requiriendo apoyos o atirantamiento provisional si se superan.

4.1.7. PUENTE CONSTRUIDO POR AVANCE EN VOLADIZO

Su sistema constructivo se basa en la ejecución de la superestructura a partir de las pilas centrales. Éstas se ejecutan inicialmente, además de la primera dovela. En caso de ser por voladizo evolutivo la dirección de avance tendrá un sentido y en caso de ser por voladizos compensados tendrá dos sentidos.

En el caso de voladizo compensado, la colocación de las dovelas se realizará de manera que se mantenga el equilibrio y no transmita excesivos momentos a la pila.



El comportamiento estructural de la estructura dependerá de la disposición de las dovelas. En nuestro caso se comportará como un puente viga.

Permite abordar luces de 75 – 300 m, tanto en vanos simples compensados como en largos viaductos, sin necesidad de apoyar en el terreno y con medios auxiliares de coste moderado.

Admite canto variable y trazados curvos en planta.

Por otra parte, para que esta práctica no suponga sobrecoste es necesario reducir los esfuerzos durante el avance con algún dispositivo auxiliar, sea atirantamiento o estructura de suspensión provisional.

A la hora de estudiar el mejor diseño para pasarela es necesario un adecuado balance entre optimización resistente, sencillez y velocidad de ejecución.

4.1.8. PUENTE PÓRTICO DE APOYOS INCLINADOS

Solución constructiva derivada del puente arco que por morfología se adapta bien a cortes profundos en el terreno. Puede adaptarse a circunstancias distintas del terreno, como baja capacidad portante, o de la orografía, como pasos de escasa altura, incorporando células triangulares, pasivas o pretensadas respectivamente.

Su comportamiento constructivo se basa en compresiones en el vano principal, favorables para el hormigón, y fuertes empujes horizontales al terreno.

4.2. ALTERNATIVA B. SOLUCIÓN DE ACERO

4.2.1. PUENTES VIGA

Esta tipología es la más utilizada en puentes metálicos para luces pequeñas y medias (50-100 m) por estar condicionado por la longitud de la viga, se pueden presentar las siguientes disposiciones:

- Vigas de alma llena
- Vigas en cajón

— Vigas en celosía

Las vigas de alma llena o vigas armadas son muy utilizadas en soluciones con luces pequeñas entre 25 y 50 metros, lo que hace que en esta tipología sean necesarios apoyos intermedios.

Las vigas en cajón ofrecen una mejor resistencia a torsión, característica especialmente útil si el puente es curvo, pero tiene una limitación de luz similar a los puentes de vigas de alma llena.

Las vigas de celosía son también adecuadas para luces medias y pequeñas pero dado que es una pasarela peatonal y las cargas van a ser menores, esta tipología se puede adaptar a distintas luces variando las características y dimensiones de la celosía. Por lo que, esta última alternativa a diferencia de los otros dos casos de puentes viga podría evitarnos el poner apoyos intermedios.

4.2.2. PUENTE ATIRANTADO

Los elementos fundamentales de una pasarela atirantada son los tirantes, los cuales son cables rectos que atirantan el tablero, proporcionándole una serie de apoyos intermedios más o menos rígidos, otro elemento importante es la torre necesaria para elevar los tirantes, lo que introducirá unas tensiones verticales y horizontales en el tablero que este deberá resistir.

La forma en la que mejor trabajan estas estructuras es cuando la torre está en el centro anclando los cables en el propio tablero y eliminando así los cables de retenida, los cuales necesitan de espacio para poder ser anclados en el terreno y la disponibilidad de un terreno resistente.

Estas tipologías están pensadas para luces grandes y quizá para una luz de 90 metros sea una solución poco óptima.

En cuanto a funcionalidad este tipo de solución nos permite también tener un tablero ancho, sin embargo la colocación de los tirantes puede suponer un obstáculo, según donde se decida colocarlos. Esta solución permite también una esbeltez mayor en el tablero lo que ayudará al cumplimiento del gálibo.

En cuanto a eficiencia estructural, como se ha comentado anteriormente, los tirantes introducen unos esfuerzos axiales de compresión en el tablero, lo que hace que lo más conveniente pueda ser poner un tablero de hormigón, material que no presenta problemas frente a esfuerzos de compresión.

Se plantea también la opción de poner un tablero metálico por la ventaja de ser un material garantizado por el fabricante y siendo mucho más ligero que el hormigón, lo que al final se traducirá en un menor peso general y la estructura y menores cargas transmitidas al terreno.

4.2.3. PUENTE ARCO

En esta tipología tenemos tres posibilidades, según donde se ubique el arco respecto del tablero.

- Arco inferior
- Arco intermedio
- Arco superior

El **arco inferior o intermedio** trabaja transmitiéndole al terreno las compresiones que en él se generan, transformándose en una fuerza vertical y otra horizontal, esta tipología suele usarse donde hay terrenos muy resistentes como los rocosos. En este caso se tendrá muy en cuenta la posición del arco bajo el tablero, ya que la altura del gálibo es un condicionante de mucho peso en nuestra pasarela.

El **arco superior o bow-string** es una tipología que tiene triangulada la unión arco-tablero, lo que lo hace una solución intermedia entre un arco superior y una viga de canto fuertemente variable, se trata de un arco atirantado por el propio tablero, lo que elimina los empujes horizontales en los apoyos.

4.2.4. PUENTE COLGANTE

En este tipo de puentes, la estructura resistente básica está formada por los cables principales, que se fijan en los extremos del vano a salvar, y tienen la flecha

necesaria para soportar mediante un mecanismo de tracción pura, las cargas que actúan sobre él.

La ligereza de los puentes colgantes los hace más sensibles que ningún otro tipo al aumento de las cargas de tráfico que circulan por él, en nuestro caso, a tratarse de una pasarela peatonal, no va a tener que soportar grandes cargas por lo que éste no sería un problema.

Al igual que el arco, es una estructura que resiste gracias a su forma, en este caso salva una determinada luz mediante un mecanismo resistente que funciona exclusivamente a tracción, evitando gracias a su flexibilidad, que aparezcan flexiones en él.

5. PRESELECCIÓN

En el presente apartado analizaremos cada una de las opciones descritas anteriormente, con el fin de quedarnos con al menos tres alternativas para cada material, con el fin de estudiarlas más a fondo, haciendo un primer cálculo estructural que nos permita ver de manera más clara cómo se van a comportar cada una de estas tipologías.

5.1. ALTERNATIVA A

En la alternativa A, donde el material empleado es el hormigón, las primeras tipologías constructivas a descartar son:

PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO

Debido fundamentalmente a las luces que se están manejando, la cuantía de armado necesaria para cumplir los Estados Límites es desmesurada en relación a la sección de hormigón. Por tanto, se descartan el puente viga y el puente losa de hormigón armado.

PUENTE CONTINUO CONSTRUIDO VANO A VANO

Este sistema constructivo es rentable para puentes largos de luces cortas, pues se basa en la reutilización de los equipos auxiliares para construir los vanos. En nuestro caso, donde sólo tenemos 2 o 3 vanos, no es una solución rentable.

PUENTE EMPUJADO

Se descarta por la falta de espacio en la zona de las pilas extremas para colocar la maquinaria necesaria para empujar el tablero.

PUENTE CONSTRUIDO POR AVANCE EN VOLADIZO

En este caso se descarta debido a que este sistema, al estar construido a partir de las pilas centrales y avanzando hacia los extremos, es necesario trabajar en la zona cercana a los pilares, donde en nuestra pasarela están las vías de ferrocarril. Ya que no podemos dejar sin acceso a la Estación del Norte de Valencia, se descarta esta tipología.

PUENTE PÓRTICO DE APOYOS INCLINADOS

Debido a la orografía de la zona de la pasarela, no hay desnivel que salvar y, por tanto, no hay dónde colocar los apoyos inclinados. Se trata de una solución que no se ajusta a nuestras necesidades.

Por tanto, para la solución de hormigón, estudiaremos con más detalle las soluciones:

- Puente de vanos simples
- Puente continuo hormigonado mediante cimbra

5.2. ALTERNATIVA B

En el caso de emplear como material el acero se van a descartar las siguientes alternativas:

PUENTES DE VIGA DE ALMA LLENA

Comparándolas con las de viga en cajón, hemos concluido que en ambas deberán disponerse con apoyos intermedios, pero es más eficiente que la viga de alma llena por su mayor resistencia a torsión.

PUENTE ATIRANTADO Y PUENTE COLGANTE

La tipología de puente atirantado y la del puente colgante serían muy interesantes para nuestro proyecto por el tipo de material que estamos empleando aunque se van a rechazar principalmente por la falta de espacio. Estas tipologías admiten luces mucho mayores y están pensadas para disponerse en otro tipo de emplazamientos y el sistema de anclaje empleado para ambas soluciones requiere una mayor superficie.

PUENTES ARCO INFERIOR O INTERMEDIO

Estas dos opciones transmiten una fuerza inclinada al terreno desfavoreciendo las cargas transmitidas al terreno. Además, ocuparían parte del espacio reservado para el tránsito de los trenes, condición fundamental de la ejecución de la pasarela.

Por lo tanto, dentro de la solución de acero se hará un estudio más detallado de las siguientes tipologías:

- Puente viga en celosía
- Puente viga en cajón
- Puente arco (bow-string)

6. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS

En este apartado se pretende explicar cómo se va a hacer el estudio más detallado de las alternativas, y que aspectos van a ser determinantes para la elección definitiva.

Cada una de las tipologías a estudiar, incluyendo ambos materiales, se van a comentar según los siguientes aspectos.

- I. Estética e integración en el ambiente
- II. Proceso constructivo y afección al tráfico
- III. Conservación y mantenimiento
- IV. Economía.

También se va a realizar un cálculo estructural aproximado, para ver de mejor forma como se comportaría la estructura frente a las solicitaciones que puede sufrir.

6.1. ALTERNATIVA A

Se van a estudiar las alternativas:

- Puente de vanos simples
- Puente continuo hormigonado mediante cimbra

Mediante dos soluciones posibles:

- 3 vanos de 30 metros de luz
- 2 vanos de 45 metros de luz

Además, en función de la tipología se proponen diferentes tipos de vigas con cantos diferentes.

Para el puente de vanos simples se proponen las diferentes secciones para las vigas prefabricadas:

Sección	H(m)	CDG _v (m)	I _x (m ⁴)	I _y (m ⁴)	Área (m ²)	Perímetro (m)
Doble T	1,50	0,750	0,1925	0,0341	0,620	6,600
	1,80	0,900	0,4093	0,0737	0,925	7,900
Cajón recto	1,50	0,939	0,3879	0,6381	1,450	11,866
	1,80	1,083	0,7538	0,9053	1,933	13,059
Cajón inclinado	1,52	0,977	0,3481	0,5886	1,258	12,484
	1,80	1,078	0,6316	0,7464	1,562	13,758
	1,32	0,571	0,1182	0,1386	0,658	7,140

Cajón inclinado sin losa	1,60	0,69	0,2529	0,2966	0,963	8,639
--------------------------	------	------	--------	--------	-------	-------

Tabla 2

Sección	Radio de giro (m)		V ₁ (m)	V ₂ (m)	b _s (m)	b _i (m)	e _s (m)	e _i (m)
	X	Y						
Doble T	0,557	0,234	0,750	-0,750	1,00	1,00	0,20	0,20
	0,665	0,282	0,900	-0,900	1,20	1,20	0,25	0,25
Cajón recto	0,517	0,638	0,561	-0,939	3,00	1,08	0,20	0,25
	0,625	0,684	0,717	-1,083	3,00	1,30	0,25	0,30
Cajón inclinado	0,526	0,684	0,543	-0,977	3,00	1,00	0,20	0,26
	0,636	0,746	0,722	-1,08	3,00	1,06	0,20	0,32
Cajón inclinado sin losa	0,424	0,459	0,749	-0,571	1,59	0,88	0,18	0,26
	0,513	0,551	0,910	-0,690	1,92	1,07	0,21	0,32

Tabla 3

— Doble T

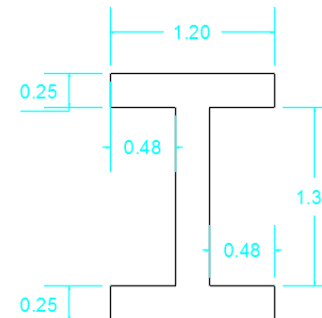


Figura 1

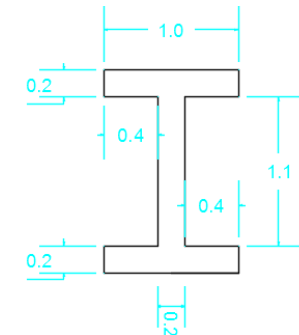


Figura 2

— Cajón recto

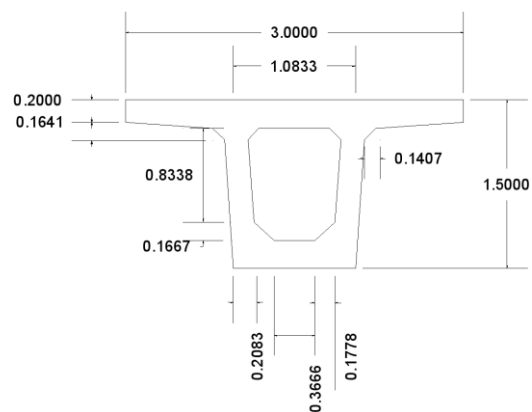


Figura 3

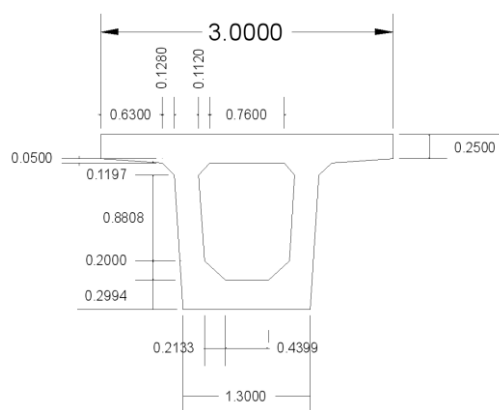


Figura 4

— Cajón inclinado

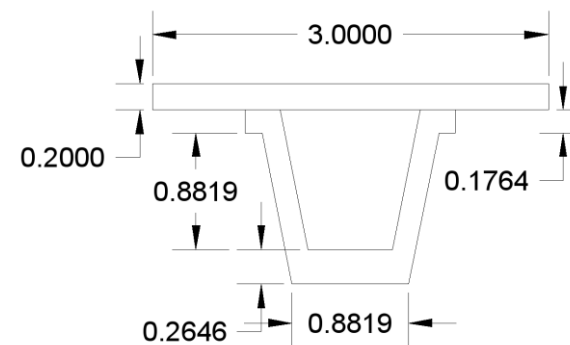


Figura 5

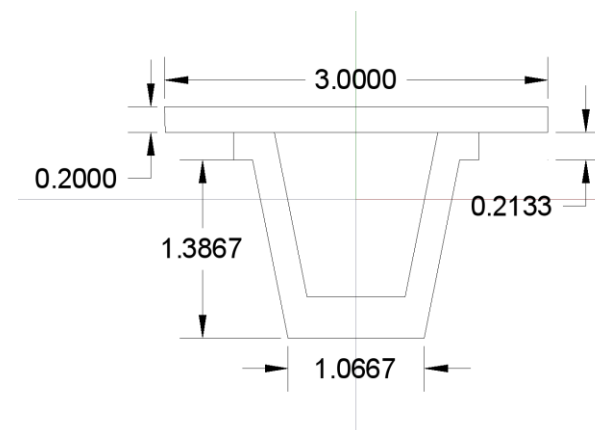


Figura 6

— Cajón inclinado sin losa

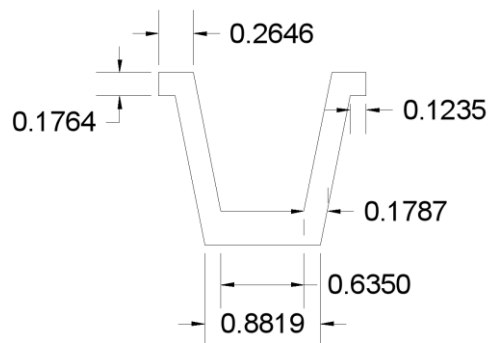


Figura 7

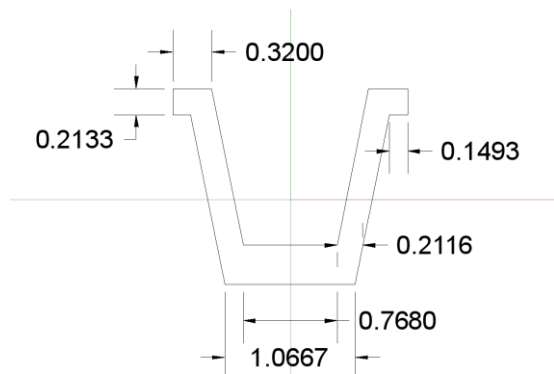


Figura 8

Para el puente continuo hormigonado mediante cimbra se proponen las siguientes secciones:

Sección	H(m)	CDG _y (m)	I _x (m ⁴)	I _y (m ⁴)	Área (m ²)	Perímetro (m)
Losa	1,00	0,603	0,3141	7,6800	3,599	17,671
aligerada	1,50	0,904	0,9521	8,0195	4,283	10,147
Losa	1,00	0,588	0,3287	8,0436	4,188	12,963
maciza	1,50	0,903	0,9875	8,7495	5,438	13,550

Tabla 4

Sección	Radio de giro (m)		V ₁ (m)	V ₂ (m)	b _s (m)	b _i (m)	e _s (m)	e _i (m)
	X	Y						
Losa	0,296	1,461	0,397	-0,603	6,00	2,50	0,25	0,25
aligerada	0,472	0,1368	0,596	-0,904	6,00	2,00	0,25	0,40
Losa	0,280	1,386	0,412	-0,588	6,00	2,50	0,25	0,25
maciza	0,426	1,269	0,597	-0,903	6,00	2,00	0,25	0,40

Tabla 5

— Losa aligerada

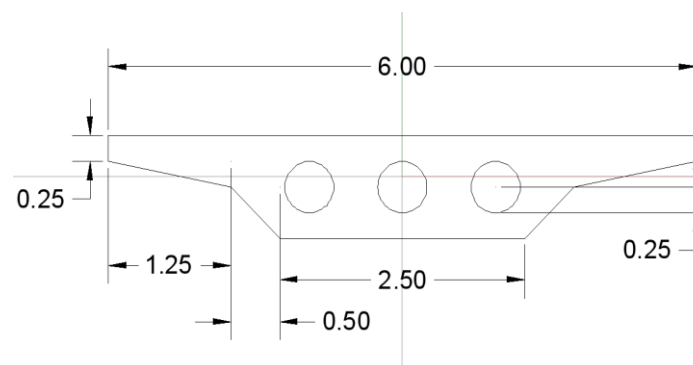


Figura 9

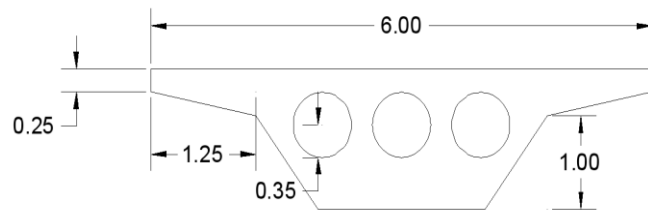


Figura 10

— Losa maciza

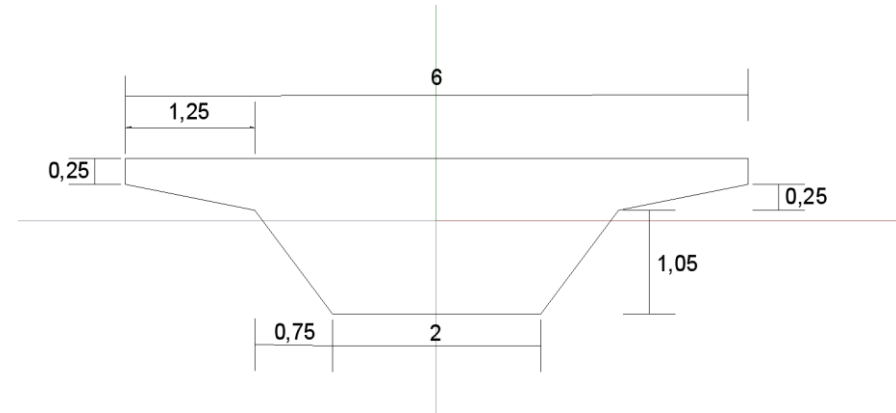


Figura 12

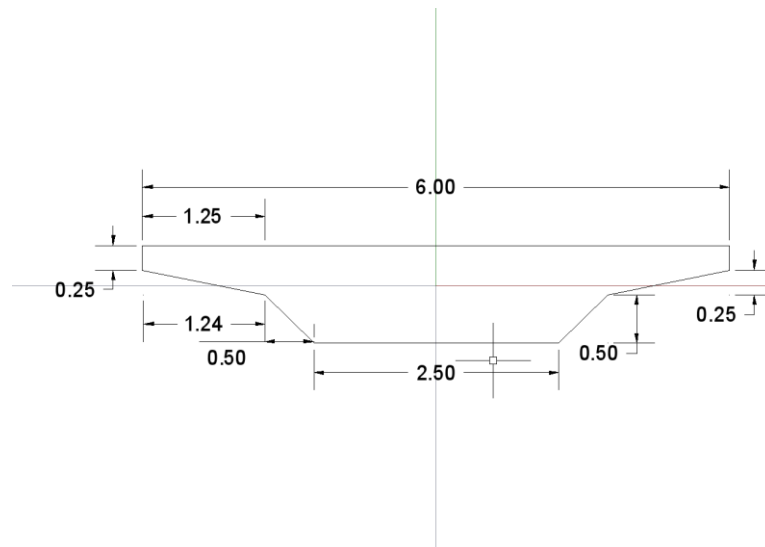


Figura 11

6.1.1. PUENTE DE VANOS SIMPLES

En esta tipología se ha estudiado la construcción con las diferentes vigas pretensas antes mencionadas, en las dos posibles luces.

Así pues, el esqueleto de la estructura contaría con tres o cuatro pilas, dos vigas prefabricadas de hormigón pretensado y una losa de hormigón armado superior.

Tipo de viga	H (m)	Luz (m)	Ancho (m)	Nº vanos	Nº de pilas
--------------	-------	---------	-----------	----------	-------------

Doble T	1,50	30	6	3	4
	1,80	45	6	2	3
Cajón recto	1,50	30	6	3	4
	1,80	45	6	2	3
Cajón inclinado	1,52	30	6	3	4
	1,80	45	6	2	3
Cajón inclinado sin losa	1,32	30	6	3	4
	1,60	45	6	2	3

Tabla 6

I. ESTÉTICA E INTEGRACIÓN EN EL AMBIENTE

La integración estética es un requisito indispensable, ya que la pasarela se encuentra en la entrada a Valencia por ferrocarril y, además, está en una zona urbana en la que está prevista la ejecución del parque central, por lo que deberá quedar integrada en el futuro entorno que la rodeará.

Esta tipología, en función de las diferentes soluciones propuestas en la tabla 6, proporcionan diferentes aspectos. Por un lado, las vigas con menor canto generan menor impacto visual que las de mayor canto, pero por contra, requieren 4 pilas en vez de 3.

Frente a la losa de hormigón “in situ”, las vigas prefabricadas proporcionan un aspecto más industrializado que no encaja demasiado bien con el aspecto que se le quiere dar a la pasarela.

II. PROCESO CONSTRUCTIVO Y AFECCIÓN AL TRÁFICO

En este apartado se deberá tener en cuenta la afección tanto al tráfico de automóviles como al tráfico ferroviario en todas las fases de la obra. En el ANEJO 1 se explicarán las ventajas y desventajas de ambas tipologías en lo referente al transporte, acopio y colocación de los elementos constructivos.

De él se extrae que en el procedimiento constructivo de las vigas prefabricadas serán necesarias grúas de grandes dimensiones para la colocación de las vigas, mientras que las vigas hormigonadas “in situ” requerirán el uso de cimbras porticadas para interrumpir lo mínimo posible el tráfico habitual de ferrocarriles.

III. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las vigas prefabricadas, al estar realizadas en taller con maquinaria especializada tienen mayores controles de calidad lo que suponen menores costes de conservación y mantenimiento.

Es de vital importancia minimizar al máximo las posibles fisuras, pues la zona de la pasarela se encuentra en ambiente IIIa, marino aéreo, y la corrosión de las armaduras puede producir colapso de la estructura. En este aspecto, esta tipología es mucho mejor que la losa “in situ”.

IV. PREDIMENSIONAMIENTO

El predimensionamiento se realizará cumpliendo el Estado Límite frente a solicitaciones normales y el Estado Límite de Servicio de fisuración.

La formulación a emplear será una simplificación del artículo 42 y 49 de la EHE – 08, pero siempre cumpliendo los requisitos mínimos.

ACCIONES

- Peso propio. Será en función de la sección resistente a emplear. Se calculará mediante el área de la viga por el peso específico del hormigón, tomando 25 kN/m^3

Sección	H (m)	Área (m ²)	q _{pp} (kN/m ²)
Doble T	1,50	0,620	17,30
	1,80	0,925	23,13
Cajón recto	1,50	1,450	36,25
	1,80	1,933	48,33
Cajón inclinado	1,52	1,258	31,45
	1,80	1,562	39,05
Cajón inclinado sin losa	1,32	0,658	16,45
	1,60	0,963	24,08

Tabla 7

Cabe destacar que en la tabla anterior dos soluciones están contempladas con losa colaborante (Cajón recto y Cajón inclinado) y dos soluciones sin losa colaborante (Doble T y Cajón inclinado sin losa).

- Carga muerta. Se toman los elementos no resistentes a la sección. En ellos estarán presentes los equipamientos a emplear y la losa de hormigón armado. Los valores a tomar son los siguientes:
 - Equipamientos. 5 kN/m
 - Losa de hormigón no colaborante. 18,75 kN/m-viga
- Cargas variables. Sobrecarga de uso en puentes peatonales, fijado por la IAP – 11 del Ministerio de Fomento, de 5 kN/m²

COMBINACIÓN DE ACCIONES

Como se ha citado anteriormente, se tendrá en cuenta el Estado Límite Último frente a solicitaciones normales para el dimensionamiento de la armadura pasiva y el Estado Límite Servicio para el dimensionamiento de la fuerza del pretensado. Para ello, la IAP – 11 define las siguientes expresiones.

Situación persistente o transitoria. ELU.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

γ_F ELU	Acciones desfavorables	Acciones favorables
Permanente	1,35	1
Variable	1,35	0

Tabla 8

Combinación frecuente. ELS.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

γ_F ELS	Acciones desfavorables	Acciones favorables
Permanente	1,00	1,00
Variable	1,00	0

Tabla 9

Factor de simultaneidad	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga de uso	0,40	0,40	0,00

Tabla 10

MATERIALES EMPLEADOS

El hormigón a emplear será HP-45/B/20/IIIa y HA-30/B/20/IIIa.

El acero pasivo será de B 500 SD y el activo Y 1860 C.

Los coeficientes de seguridad de los materiales serán $\gamma_c = 1,5$ para el hormigón y $\gamma_s = 1,15$ para las armaduras activas y pasivas.

ESFUERZOS

Para el cálculo de las diferentes secciones, primeramente hallaremos los esfuerzos que deberán soportar las secciones. Para ello utilizaremos las combinaciones de acciones y las acciones anteriormente descritas.

Los momentos solicitados para la solución de 2 vanos de luces de 45 metros son:

L 45	H (m)	q_{pp} (kN/m)	q_{cm} (kN/m)	q_{sc} (kN/m)	M_{ELS} (m·kN)	M_{ELU} (m·kN)
Doble T	1,50	15,50	24,25	15,00	11.453,91	18.538,24
	1,80	23,13	24,25	15,00	13.338,98	21.143,85
Cajón recto	1,50	36,25	5,50	15,00	11.962,05	19.224,24
	1,80	48,33	5,50	15,00	15.015,38	23.346,23
Cajón inclinado	1,52	31,45	5,50	15,00	15.491,25	23.988,66
	1,80	39,05	5,50	15,00	17.415,00	26.585,72
Cajón inclinado sin losa	1,32	16,45	24,25	15,00	11.694,38	18.862,88
	1,60	24,08	24,25	15,00	13.624,45	21.468,48

Tabla 11

Los momentos solicitados para la solución de 3 vanos de luces de 30 metros son:

L 30	H (m)	q_{pp} (kN/m)	q_{cm} (kN/m)	q_{sc} (kN/m)	M_{ELS} (m·kN)	M_{ELU} (m·kN)
Doble T	1,50	17,30	24,25	15,00	5.090,63	8.239,22
	1,80	23,13	24,25	15,00	6.004,69	9.473,20
Cajón recto	1,50	36,25	5,50	15,00	5.316,47	8.544,11
	1,80	48,33	5,50	15,00	6.673,50	10.376,10
Cajón inclinado	1,52	31,45	5,50	15,00	6.885,00	10.661,63
	1,80	39,05	5,50	15,00	7.740,00	11.815,88
Cajón inclinado sin losa	1,32	16,45	24,25	15,00	5.197,50	8.383,50
	1,60	24,08	24,25	15,00	6.055,31	9.541,55

Tabla 12

ARMADURA ACTIVA

El cálculo de la armadura se realizará mediante una ecuación simplificada en la que a partir de las cargas distribuidas se obtiene la fuerza de pretensado necesario. La expresión es la siguiente:

$$q = \frac{8 \cdot f \cdot P}{l^2}$$

Siendo los valores a introducir:

f. Excentricidad del cable con respecto al centro de gravedad de la sección.

P. Fuerza del pretensado

l. Luz del vano a salvar

q. Carga distribuida

Dado que las secciones serán prefabricadas, la excentricidad será constante en toda su sección. Para este predimensionamiento se fijará como la distancia del centro de gravedad restándole 100 mm.

Puesto que el momento en ELS se ha calculado anteriormente, la expresión para el cálculo de la armadura activa se simplifica de manera que:

$$P = \frac{M_{ELS}}{f}$$

A continuación, se calcula el pretensado necesario y el área de acero necesario para los casos de vanos de 45 y 30 metros.

L 45	H (m)	M_{ELS} (m·kN)	e (m)	P_{ki} (kN)	P_o (kN)	A_p (cm ²)
------	-------	------------------	-------	---------------	------------	--------------------------

Doble T	1,50	11.453,91	0,65	17.621,40	19.579,33	105,26
	1,80	13.338,98	0,8	16.729,98	18.588,86	99,94
Cajón recto	1,50	11.962,05	0,84	14.257,51	15.841,68	85,17
	1,80	15.015,38	0,98	15.273,50	16.970,55	91,24
Cajón inclinado	1,52	15.491,25	0,88	17.663,91	19.626,57	105,51
	1,80	17.415,00	0,98	17.806,74	19.785,27	106,37
Cajón inclinado sin losa	1,32	11.694,38	0,47	24.828,82	27.587,57	148,32
	1,60	13.624,45	0,59	23.092,29	25.658,10	137,95

Tabla 13

L 30	H (m)	M _{ELS} (m·kN)	e (m)	P _{Ki} (kN)	P _O (kN)	A _p (cm ²)
Doble T	1,50	5.090,63	0,65	7.831,73	8.701,92	46,78
	1,80	6.004,69	0,8	7.505,85	8.339,84	44,84
Cajón recto	1,50	5.316,47	0,84	6.336,67	7.040,75	37,85
	1,80	6.673,50	0,98	6.788,22	7.542,47	40,55
Cajón inclinado	1,52	6.885,00	0,88	7.850,62	8.722,91	46,90
	1,80	7.740,00	0,98	7.914,11	8.793,46	47,27
Cajón inclinado sin losa	1,32	5.197,50	0,47	11.035,03	12.261,15	65,92
	1,60	6.055,31	0,59	10.263,24	11.403,60	61,31

Tabla 14

A continuación calcularemos el número de cordones a emplear. Para ello tomaremos cordones de 0,60 pulgadas, con un área aproximada de 150 mm².

L 45	H (m)	P _O (kN)	A _p (cm ²)	nº
------	-------	---------------------	--------------------------------------	----

Doble T	1,50	19.579,33	105,26	71
	1,80	18.588,86	99,94	67
Cajón recto	1,50	15.841,68	85,17	57
	1,80	16.970,55	91,24	61
Cajón inclinado	1,52	19.626,57	105,51	71
	1,80	19.785,27	106,37	71
Cajón inclinado sin losa	1,32	27.587,57	148,32	99
	1,60	25.658,10	137,95	92

Tabla 15

L 30	H (m)	P _O (kN)	A _p (cm ²)	nº
Doble T	1,50	8.701,92	46,78	32
	1,80	8.339,84	44,84	30
Cajón recto	1,50	7.040,75	37,85	26
	1,80	7.542,47	40,55	28
Cajón inclinado	1,52	8.722,91	46,90	32
	1,80	8.793,46	47,27	32
Cajón inclinado sin losa	1,32	12.261,15	65,92	44
	1,60	11.403,60	61,31	41

Tabla 16

Puesto que el número de cordones necesarios para la solución de 2 vanos de 45 metros es excesivo, descartamos esta solución.

Una vez obtenidos el número de cordones, se deberá comprobar que el espesor inferior de las secciones es suficiente para albergar la armadura activa.

Según el artículo 37.2.4.1. de la EHE – 08 se establecen los recubrimientos mínimos necesarios en función de:

— Ambiente IIIa

- Hormigón Pretensado
- Vida útil de proyecto de 100 años
- CEM II/A-D

$$r_{\min} = 35 \text{ mm}$$

Siendo elementos prefabricados con control intenso, el margen de recubrimiento es de $\Delta r = 0 \text{ mm}$.

$$r_{\text{nom}} = 35 \text{ mm}$$

Se establecen en el artículo 70.2.2.3. las distancias mínimas entre armaduras activas pretesas, siendo:

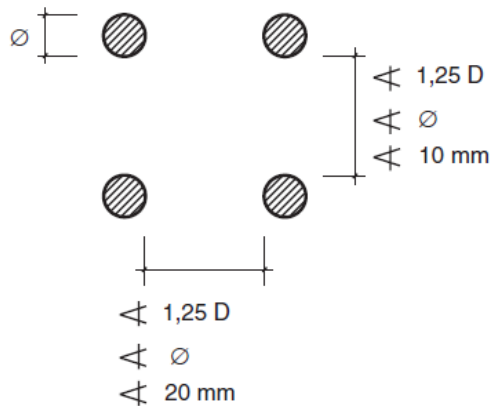


Figura 13

Estableciendo un $r_{\text{mec}} = 43 \text{ mm}$ y una $s_H = s_V = 1,25 \cdot D = 25 \text{ mm}$

La disposición de los cordones en una capa estará definida por:

$$\frac{\text{cordones}}{\text{capa}} = \frac{b_{\text{inf}} - 2 \cdot r_{\text{mec}}}{s_H + \varphi}$$

L 30	H (m)	A (cm ²)	nº	b _{inf}	b _{libre}	Cordones /capa
Doble T	1,50	46,78	32	1,00	0,904	23
	1,80	44,84	30	1,20	1,104	28
Cajón recto	1,50	37,85	26	1,08	0,984	25
	1,80	40,55	28	1,30	1,204	30
Cajón inclinado	1,52	46,90	32	1,00	0,904	23
	1,80	47,27	32	1,06	0,964	24
Cajón inclinado sin losa	1,32	65,92	44	0,88	0,784	20
	1,60	61,31	41	1,07	0,974	24

Tabla 17

Por lo que deberos colocar dos capas de armaduras pretesas. A continuación se verifica que el ancho de cada sección es suficiente.

$$e_{\text{nec}} = 2 \cdot r_{\text{mec}} + s_V + \varphi = 0,127 \text{ m}$$

L 30	H (m)	A (cm ²)	nº	e _i	e _{nec}	Verificación
Doble T	1,50	46,78	32	0,20	0,127	✓
	1,80	44,84	30	0,25	0,127	✓
Cajón recto	1,50	37,85	26	0,20	0,127	✓
	1,80	40,55	28	0,25	0,127	✓
Cajón inclinado	1,52	46,90	32	0,20	0,127	✓
	1,80	47,27	32	0,20	0,127	✓
Cajón inclinado sin losa	1,32	65,92	44	0,18	0,127	✓
	1,60	61,31	41	0,21	0,127	✓

Tabla 18

ARMADURA PASIVA

Para el cálculo de la armadura pasiva se realiza la comprobación a Estado Límite Último frente a sollicitaciones normales.

Suponiendo que la zona de dimensionamiento será siempre zona C, sólo será necesaria armadura inferior de tracción, que se halla de la siguiente expresión:

$$A_s = \frac{M_{2d} - M_{2c}(x) - M_{2p}(x)}{f_{yd} \cdot (d_s - d')}$$

En la tabla siguiente se resume el cálculo de la armadura pasiva para cada sección.

L 30	H (m)	M _{2d} (m·kN)	x _{FN}	M _{2c} (m·kN)	M _{2p} (m·kN)
Doble T	1,50	8.239,22	0,302	-361,07	-9.091,61
	1,80	9.473,20	0,231	-161,10	-10.671,37
Cajón recto	1,50	8.544,11	0,098	161,99	-7.356,05
	1,80	10.376,10	0,097	162,24	-9.651,08
Cajón inclinado	1,52	10.661,63	0,012	128,37	-9.250,09
	1,80	11.815,88	0,011	145,66	-11.251,80
Cajón inclinado sin losa	1,32	8.383,50	0,839	-2.564,55	-11.083,01
	1,60	9.541,55	0,549	-1.56,81	-12.806,74

Tabla 19

L 30	H (m)	d _s (mm)	d' (mm)	A _s (m²)	Verificación
Doble T	1,50	1.435	65	-0,0008	✓
	1,80	1.735	65	-0,0014	✓
Cajón recto	1,50	1.435	65	0,0017	A _{smin}
	1,80	1.735	65	0,0007	A _{smin}
Cajón inclinado	1,52	1.455	65	0,002	A _{smin}
	1,80	1.735	65	0,005	A _{smin}
Cajón inclinado sin losa	1,32	1.255	65	-0,0003	✓
	1,60	1.535	65	-0,003	✓

Tabla 20

De la tabla anterior se entiende que, en las secciones en doble T y Cajón inclinado sin losa, no es necesaria la disposición de armadura pasiva.

En las soluciones de cajón recto y cajón inclinado con losa colaborante será necesaria la disposición de armadura pasiva por mínimos geométricos o mecánicos.

V. VALORACIÓN ECONÓMICA

Dado que los equipamientos de la pasarela van a ser iguales independientemente de la tipología escogida, en este apartado sólo se valorará el coste del hormigón necesario para las diferentes secciones, teniendo en cuenta el número de pilas que hacen falta para dichas secciones.

El volumen de hormigón de cada pila, de dimensiones 1 x 1 x 7 metros es de 7 m³.

Por tanto, para una longitud total de la pasarela de 90 metros, y fijando los precios del hormigón y del acero:

- Hormigón HA-30/B/20/IIIa con Distintivo de calidad Oficialmente Reconocido → 88,30 €/m³.
- Acero para armadura pasiva B 500 SD → 1,22 €/kg.
- Acero para armadura activa Y 1860 C → 8,00 €/kg .

Tipo de viga	H (m)	Volumen hormigón vigas (m³)	Volumen hormigón pilas (m³)	Área de acero activo (cm²)	Área de acero pasivo (m²)	Precio total (€)
Doble T	1,50	55,80	28	46,78	-0,0008	33.839,60
	1,80	83,25	28	44,84	-0,0014	35.166,94
Cajón inclinado	1,50	113,22	28	37,85	0,0017	35.327,83
	1,80	140,58	28	40,55	0,0007	38.407,83
Cajón recto	1,52	130,50	28	46,90	0,002	42.227,29
	1,80	173,97	28	47,27	0,005	48.860,61
Cajón inclinado sin losa	1,32	59,22	28	65,92	-0,0003	44.959,51
	1,60	86,67	28	61,31	-0,003	44.777,77

Tabla 21

Tal y como refleja la tabla XX, la sección más cara es la de cajón recto con un canto de 1,80 metros, mientras que la sección más barata es la doble T con canto 1,50 metros.

La diferencia de precio entre la sección más cara y la más barata es de unos 15.000 € por lo que, teniendo en cuenta el coste total del proyecto, no es un factor determinante para la elección de la sección.

6.1.2. PUENTE CONTINUO HORMIGONADO MEDIANTE CIMBRA

En esta tipología se han estudiado diferentes secciones de losas, con cantos entre 1,00 y 1,50 metros, en función de las dos luces posibles entre pilas: 30 y 45 metros.

I. ESTÉTICA E INTEGRACIÓN EN EL AMBIENTE

Al ser una tipología constructiva hormigonada “in situ”, es posible darle diferentes formas a las vigas, aportándole a la pasarela un aspecto menos industrializado y con mejores cualidades estéticas que en el caso de las vigas prefabricadas.

Por tanto, en el aspecto estético y de integración es mejor solución la pasarela continua hormigonada mediante cimbra.

II. PROCESO CONSTRUCTIVO Y AFECCIÓN AL TRÁFICO

Como se ha dicho anteriormente, este aspecto se explica más adelante en el anejo 1. De él sacamos la conclusión de que la ejecución de la pasarela mediante vigas hormigonadas “in situ” requiere un espacio para las torres de la cimbra que no disponemos. Para poder montar dichas torres, habría que desmontar más vías de ferrocarril, por lo que complica mucho la obra, no en el proceso constructivo, sino a la hora de pedirle los permisos correspondientes a ADIF.

III. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

El hormigonado “in situ” proporciona peores resultados en cuanto a la calidad de ejecución, por tanto, es previsible que esta solución, a largo plazo, presente mayores costes de conservación y mantenimiento que la solución de vigas prefabricadas.

IV. PREDIMENSIONAMIENTO

Las acciones, combinación de acciones, materiales utilizados y los esfuerzos se definen en el apartado 6.2.1. de este anejo.

ARMADURA ACTIVA

L 45	H (m)	ELS		ELU	
		M _{d1-} (m·kN)	M _{d2+} (m·kN)	M _{d1-} (m·kN)	M _{d2+} (m·kN)
Losa	1,00	-25.559,30	14.377,10	-37.580,52	21.139,04
aligerada	1,50	-29.887,73	16.811,85	-43.423,91	24.425,95
Losa	1,00	-29.286,56	16.473,70	-42.612,33	23.969,43
maciza	1,50	-37.196,72	20.923,15	-53.291,04	29.976,21

Tabla 22

L 30	H (m)	ELS		ELU	
		M _{d1-} (m·kN)	M _{d2+} (m·kN)	M _{d1-} (m·kN)	M _{d2+} (m·kN)
Losa	1,00	-11.359,69	6.389,84	-16.702,45	9.395,13
aligerada	1,50	-13.283,44	7.471,93	-19.299,52	10.855,98
Losa	1,00	-13.016,25	7.321,64	-18.938,81	10.653,08
maciza	1,50	-16.531,88	9.299,18	-23.684,91	13.322,76

Tabla 23

L 45	H (m)	e _{vanos} (m)	e _{apoyo} (m)	P _{0,VANOS} (kN)	P _{0,APOYOS} (kN)
Losa	1,00	0,503	0,297	31.758,57	-95.620,27
aligerada	1,50	0,804	0,496	23.233,62	-66.952,81
Losa	1,00	0,488	0,312	37.508,40	-104.296,88
maciza	1,50	0,803	0,497	28.951,37	-83.158,32

Tabla 24

L 30	H (m)	e _{vanos} (m)	e _{apoyo} (m)	P _{0,VANOS} (kN)	P _{0,APOYOS} (kN)
Losa	1,00	0,503	0,297	14.114,92	-42.497,90
aligerada	1,50	0,804	0,496	10.326,06	-29.756,80
Losa	1,00	0,488	0,312	16.670,40	-46.354,17
maciza	1,50	0,803	0,497	12.867,28	-36.959,26

Tabla 25

En este caso al ser Hormigón Postesado, la armadura activa estará distribuida por tendones, cuyas características son:

9/0,60' con A = 1350 mm²

L 45	H (m)	A _p (cm ²)	Tendones
Losa	1,00	170,74	13
aligerada	1,50	124,91	10
Losa	1,00	201,66	15
maciza	1,50	155,66	12

Tabla 26

L 30	H (m)	A _p (cm ²)	Tendones
------	-------	-----------------------------------	----------

Losa	1,00	75,89	6
aligerada	1,50	55,43	5
Losa	1,00	89,62	7
maciza	1,50	69,188	6

Tabla 27

Según el artículo 37.2.4.2. de la EHE – 08 se establecen los recubrimientos de armaduras activas postesas, donde:

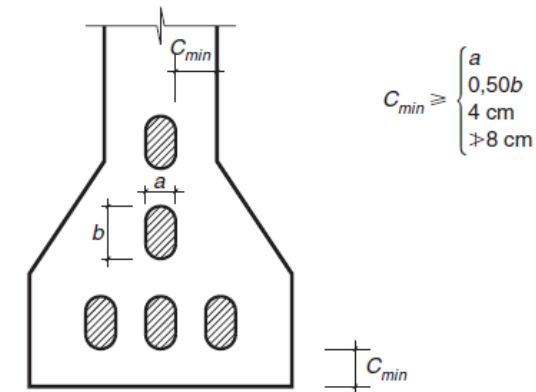


Figura 14

Donde $c_{min} = 75 \text{ mm}$

Se establecen en el artículo 70.2.2.4. las distancias mínimas entre armaduras activas postesas. Éstas deberán ser iguales al mayor de los valores siguientes:

- Dirección horizontal
 - a) Diámetro de la vaina → 75 mm
 - b) Dimensión vertical de la vaina, o grupo de vainas
 - c) 5 centímetros
- Dirección horizontal
 - a) Diámetro de la vaina → 75 mm
 - b) La dimensión horizontal de la vaina
 - c) 4 centímetros

- d) 1,6 veces la mayor de las dimensiones de la vainas individuales que formen un grupo de vainas

Puesto que el ancho de la base de las soluciones es mayor a 2 metros, ambas soluciones admiten los tendones por mínimos geométricos.

ARMADURA PASIVA

De la misma manera que se ha calculado la armadura pasiva mínima a disponer en el apartado 6.2.1. de este anejo, procederemos al cálculo de la armadura pasiva para las soluciones *in situ*.

L 45	H (m)	M _{d1-} (m·kN)	M _{d2+} (m·kN)	x _{F+} (m)	x _{F-} (m)
Losa	1,00	-37.580,52	21.139,04	0,201	0,275
aligerada	1,50	-43.423,91	24.425,95	0,142	0,218
Losa	1,00	-42.612,33	23.969,43	0,232	0,308
maciza	1,50	-53.291,04	29.976,21	0,176	0,266

Tabla 28

L 45	H (m)	As+ (m²)	Verificación	As- (m²)	Verificación
Losa	1,00	0,0021	A _{smin}	-0,1501	✓
aligerada	1,50	0,0000	A _{smin}	-0,1126	✓
Losa	1,00	0,0007	A _{smin}	-0,1714	✓
maciza	1,50	-0,0002	✓	-0,1379	✓

Tabla 29

L 30	H (m)	M _{d1-} (m·kN)	M _{d2+} (m·kN)	x _{F+} (m)	x _{F-} (m)
Losa	1,00	-16.702,45	9.395,13	0,089	0,126
aligerada	1,50	-19.299,52	10.855,98	0,064	0,098
Losa	1,00	-18.938,81	10.653,08	0,102	0,142
maciza	1,50	-23.684,91	13.322,76	0,079	0,120

Tabla 30

L 30	H (m)	As+ (m²)	Verificación	As- (m²)	Verificación
Losa	1,00	-0,0004	✓	-0,0692	✓
aligerada	1,50	-0,0004	✓	-0,0511	✓
Losa	1,00	-0,0015	✓	-0,0793	✓
maciza	1,50	-0,0008	✓	-0,0628	✓

Tabla 31

V. VALORACIÓN ECONÓMICA

Bajo las mismas condiciones que en la solución de vigas prefabricadas, los precios de las diferentes secciones propuestos para esta tipología son:

LUZ 30 m:

Tipo de viga	H (m)	Volumen hormigón vigas (m³)	Volumen hormigón pilas (m³)	Área acero activo (cm²)	Área acero pasivo (m²)	Precio total €
Losa	1,00	323,91	28	75,89	-0,0696	73.966,68
aligerada	1,50	385,47	28	55,43	-0,0515	67.838,44
Losa	1,00	376,92	28	89,62	-0,0808	86.407,66
maciza	1,50	489,42	28	69,188	-0636	84.793,24

Tabla 32

LUZ 45 m:

Tipo de viga	H (m)	Volumen de hormigón (m³)	Volumen hormigón pilas (m³)	Área acero activo (cm²)	Área acero pasivo (cm²)	Precio total €
Losa	1,00	323,91	21	170,74	0,0021	128.767,85
aligerada	1,50	385,47	21	124,91	0,0000	106.490,43
Losa	1,00	376,92	21	201,66	0,0007	149.717,92
maciza	1,50	489,42	21	155,66	-0,0002	133.049,12

Tabla 33

Después de analizar este apartado, queda patente que la sección hormigonada “in situ” es más costosa que la propuesta de vigas prefabricadas.

6.2. ALTERNATIVA B

Se van a estudiar las alternativas:

- Puente viga en cajón
- Puente viga en celosía
- Puente arco (bow-string)

6.2.1. PUENTE VIGA EN CAJÓN

Esta tipología estaría compuesta por dos vanos, de 45 metros cada uno, ambos salvados mediante dos vigas en cajón mixtas apoyadas sobre un apoyo central y en ambos extremos.

Luz	Canto (m)	Ancho (m)	Número de pilas	Número de vanos
90	1,9	6	3	2

Tabla 34

I. ESTÉTICA E INTEGRACIÓN EN EL AMBIENTE

Esta tipología tiene un aspecto visual muy lineal, y en el entorno urbano en el que nos encontramos puede que diese un aspecto demasiado industrializado puesto que al ser una zona ferroviaria, que además está en proceso de cambio para dotarla de mayores servicios y estética al encontrarse muy deteriorada, la pasarela se mantendría en la línea de estética industrial de la zona, aspecto que queremos evitar. También cabe comentar que la pila intermedia dotaría de un elemento más a la pasarela aumentando el impacto visual.

II. PROCESO CONSTRUCTIVO Y AFECCIÓN AL TRÁFICO

Este es un punto delicado en cualquiera de las tipologías estudiadas, puesto que nos encontramos en un entorno urbano, concretamente en el centro de la ciudad.

En esta alternativa es aún más complicado, ya que se trata de transportar dos vigas en cajón de 45 metros cada una, para evitar tener que soldar piezas tan grandes en obra que luego provoquen ciertos errores en un futuro. En conclusión, tanto el transporte como el acopio de estas vigas resulta muy complicado debido al poco espacio que hay en la zona de la obra y al difícil acceso a esta.

III. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

En este aspecto, esta puede ser la tipología más ventajosa. Al tratarse de dos vigas de una longitud ya determinada en taller, se evita soldar en obra o la unión de los perfiles mediante uniones, que son las primeras afectadas al actuar la corrosión, causa principal de deterioro de las estructuras metálicas.

IV. PREDIMENSIONAMIENTO

Se ha diseñado una sección mixta, la solución consta de un cajón con 3 almas y una losa de hormigón colaborante de 25 centímetros de espesor.

En esta sección se ha comprobado el Estado Límite Último de Resistencia de la sección y el Estado límite de Servicio. La comprobación de flecha se realizará en la sección más solicitada, al ser vanos biapoyados se estudiará la sección central. Únicamente se ha comprobado uno de los vanos puesto que ambos tienen la misma longitud. A continuación se exponen los cálculos realizados.

Características generales:

Ancho (m)	Largo (m)	Medio (m)
6	90	45

Tabla 35

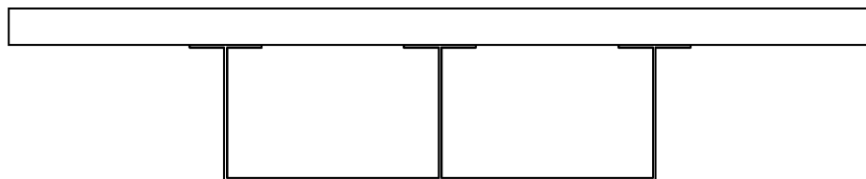


Figura 15

MATERIALES EMPLEADOS

Las características de los materiales a emplear son las siguientes:

γ_s (kN/m ³)	γ_c (kN/m ³)	f_{yk} (MPa)	E (Pa)	f_{ck} (MPa)
77,0085	25	355	$2,1 \cdot 10^{11}$	35

Tabla 36

ACCIONES

- Peso propio. Será en función de la sección resistente a emplear. Se calculará mediante el área eficaz del hormigón en una sección mixta y el área del cajón de acero:

Características del hormigón, a partir de su área eficaz respecto al acero:

Ancho (m)	h (m)	Área (m ²)	Área eficaz (m ²)	Peso total (kN)	Peso/m (kN/m)
6	0,25	1,5	0,108	1687,50	37,50

Tabla 37

Características del acero:

Sección	Ancho (m)	H (m)	Nº	Área (m ²)	Peso total (kN)	Peso/m (kN/m)
Alas	0,02	0,50	3	0,03	103,96	2,31
Almas	0,90	0,02	3	0,054	187,13	4,16
Base de la viga	0,02	3,00	1	0,06	207,92	4,62
TOTAL	-	-	-	-	-	11,089

Tabla 38

	Peso propio (kN/m)
Losa	37,500
Cajón Acero	11,089
TOTAL	48,589

Tabla 39

- Carga muerta. Se toman los elementos no resistentes a la sección. En ellos estarán presentes los equipamientos a emplear: iluminación, barandillas, etc. Los valores a tomar son los siguientes:
 - Equipamientos. 5 kN/m
- Cargas variables. Sobrecarga de uso en puentes peatonales, fijado por la IAP – 11 del Ministerio de Fomento, de 5 kN/m²

COMBINACIÓN DE ACCIONES

Al igual que en la solución del Hormigón estudiaremos las situaciones de Estado Límite Último y Estado Límite de Servicio, conservando las mismas fórmulas y coeficientes.

CÁLCULO

Total carga distribuida	ELU	ELS
(kN/m)	112,85	65,59

Tabla 40

COMPROBACIÓN ELS	
Momento último (kN·m)	30014,56818
Momento máximo en el CL (kN·m)	28564,00514
CUMPLE	

Tabla 41

Para el cálculo de la flecha tendremos en cuenta la inercia de la sección homogeneizada. Siendo el resultado el siguiente:

COMPROBACIÓN ELS	
Flecha máxima permitida (m)	0,0375
Flecha de cálculo en el CL (m)	0,351083387
NO CUMPLE	

Tabla 42

Esta tipología nos cumple a momento último por lo que podríamos ejecutarla sin problemas, el problema surgiría en la fase de servicio ya que la flecha que se produce es 100 veces mayor a la permitida. Por lo que esta solución es algo arriesgada ya que al ejecutarla pondríamos en riesgo la seguridad de los peatones.

V. VALORACIÓN ECONÓMICA

En las tres tipologías se va a valorar únicamente el coste del acero, puesto que todas ellas poseen una losa de hormigón y equipamientos, que se valorarán económicamente en su anejo correspondiente.

Escogiendo un valor económico de referencia para el acero de 2€ el kilo, obtenemos los siguientes resultados:

CÁLCULO COSTE DEL ACERO	
Peso acero (kN/m)	11,089
Peso total (kN)	998,030
Peso (kg)	10.1736,000
Precio €	203.472,000

Tabla 43

6.2.2. PUENTE VIGA CELOSÍA

Esta tipología está formada por una sola viga de 90 metros de longitud, para salvar la luz entera sin apoyos intermedios, y 6 metros de canto. El canto de las vigas en celosía está comprendido entre 1/15 y 1/20 de la luz del puente, es decir entre 4,5 y 6 metros de alto. En este proyecto se ha escogido un canto de 6 metros, obteniendo así una mayor inercia y poder mejorar la flecha, ya que como hemos visto en el caso anterior, puede suponer un problema en la tipología tipo viga.

La ventaja de la viga en celosía respecto a la viga en es que variando las dimensiones de la celosía se puede conseguir salvar la luz con un solo vano. Por lo que tendrá las siguientes características:

Luz (m)	Canto (m)	Ancho (m)
90 m	6 m	6 m

Tabla 44

Geometría

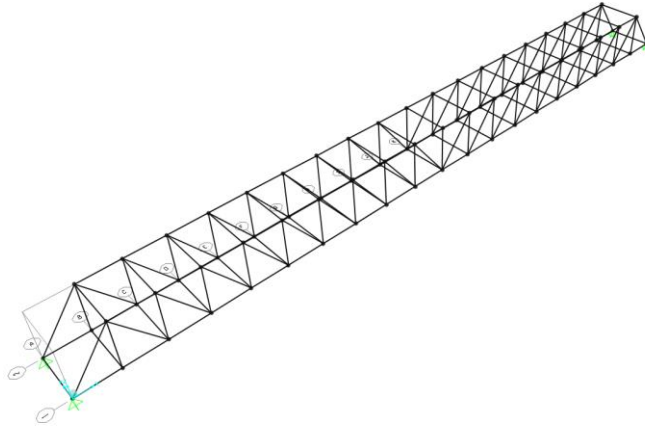


Figura 16

I. ESTÉTICA E INTEGRACIÓN EN EL AMBIENTE

Esta tipología es muy parecida a la anterior en cuanto a que es una pasarela de aspecto visual muy simple, pero en este caso al evitarnos el apoyo intermedio nos proporcionaría un aspecto más lineal. Pero al tratarse de una celosía seguiría generando un impacto visual muy grande de carácter industrializado.

II. PROCESO CONSTRUCTIVO Y AFECCIÓN AL TRÁFICO

Como en el caso anterior este es el punto que más problemas provoca. En este caso, el transportar una viga de 90 metros hasta el lugar de la obra no es posible sin interrumpir el tráfico, por lo que habría que transportarla en elementos más pequeños y finalmente montarla en obra.

También se tendrá muy en cuenta la seguridad de los trabajadores ya que, al partir la viga en distintos tramos, se deberán de soldar en condiciones muy

exigentes, puesto que en todo momento se intentará interrumpir lo mínimo posible el tráfico de los trenes que se dirigen a la Estación del Norte.

III. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

La conservación de todas las tipologías será similar, con la desventaja en este caso de las soldaduras se efectuarían en obra, por lo que el control de ejecución sería menor comparado con el que se efectuaría en taller, provocando mayores problemas en un futuro.

IV. PREDIMENSIONAMIENTO

ACCIONES

- Peso propio. En este caso tenemos una viga completamente formada de acero por lo que el peso propio será el conjunto de todos los perfiles que la forman:

Sección	Área (m ²)	Peso total (kN)	Peso/m (kN/m)
Alas	0,03	103,96	2,31
Almas	0,054	187,13	4,16

Tabla 45

Perfiles Transversales		IPE 400	
Numero perfiles	Área (cm ²)	Peso Total (kN)	Peso/m (kN/m)
21	84,50	82,00	0,911

Tabla 46

Perfiles longitudinales		TUBO 800x800x20		
Base (mm)	Altura (mm)	Espesor (mm)	Área (cm ²)	Peso Total (kN)
800	800	20	62,40	432,48

Tabla 47

Diagonales TUBO 800x800x20				
Base (mm)	Altura (mm)	Espesor (mm)	Área (cm ²)	Peso Total (kN)
800	800	20	62,40	432,48

Tabla 48

Arriostramientos IPE 400			
Número	Área (cm ²)	Peso Total (kN)	Peso/m (kN/m)
19	84,50	74,182	0,824

Tabla 49

Peso propio (kN/m)	
Perfiles transversales	0,91101
Perfiles longitudinales	18,261
Diagonales	13,615
Arriostramientos	0,824
TOTAL	33,611

Tabla 50

- Carga muerta. Se toman los elementos no resistentes a la sección. En ellos estarán presentes los equipamientos a emplear: iluminación, barandillas, etc. y la losa de hormigón, que en este caso, no forma parte de la estructura. Los valores a tomar son los siguientes:
 - Equipamientos. 5 kN/m
 - Losa de hormigón de 0,2 metros de canto. 30 kN/m
- Cargas variables. Sobrecarga de uso en puentes peatonales, fijado por la IAP – 11 del Ministerio de Fomento, de 5 kN/m²

COMBINACIÓN DE ACCIONES

Al igual que en la solución del Hormigón estudiaremos las situaciones de Estado Límite Último y Estado Límite de Servicio, conservando las mismas fórmulas y coeficientes.

Total carga distribuida	ELU	ELS
(kN/m)	133,124	80,610

Tabla 51

COMPROBACIÓN ELU	
Tensión máxima admitida (MPa)	338,095
Tensión máxima en el CL (MPa)	263,109
CUMPLE	

Tabla 52

COMPROBACIÓN ELS	
Flecha máxima permitida (m)	0,075
Flecha de cálculo en el CL (m)	0,1915
NO CUMPLE	

Tabla 53

Como podemos observar en este caso tampoco cumpliríamos la condición de servicio. Realizando un proceso iterativo, se ha ido comprobando las dos situaciones con distintos perfiles pero no se ha conseguido resolver este problema, para ello necesitaríamos un canto mucho mayor, pero con esta tipología no se puede realizar.

MODELIZACIÓN CON EL SAP2000

Al tener una interacción entre elementos longitudinales y transversales, se decide modelizar en el programa SAP 2000, que se trata de un programa de cálculo estructural, en dos o tres direcciones, mediante elementos finitos.

El modelo empleado es uno de tipo 3D compuesto por barras unidas entre ellas mediante nudos. Se ha introducido la sección completa de la pasarela con las siguientes características.

A continuación mostraremos unas figuras mostrando la deformada producida en servicio y los diagramas de los distintos esfuerzos que actúan en el conjunto de la cercha.

Deformada

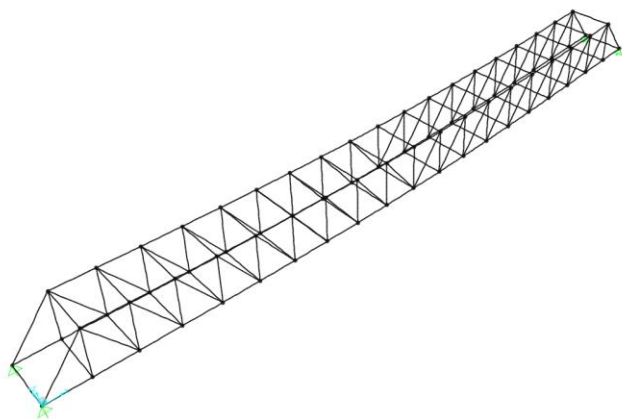


Diagrama de axiles

Diagrama de cortantes en el eje 2-2 (y)

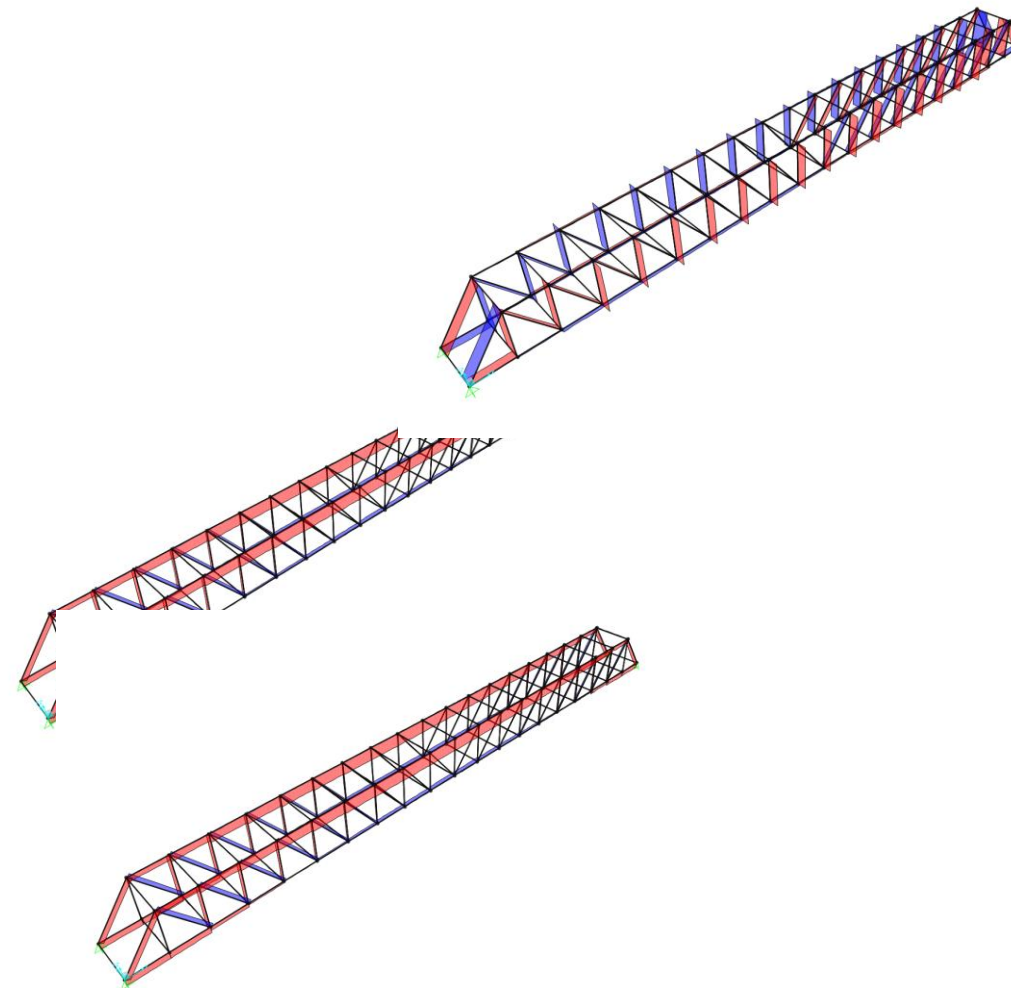


Diagrama de cortante en el eje 3-3 (z)

Diagrama de momentos en 2-2 (Y)

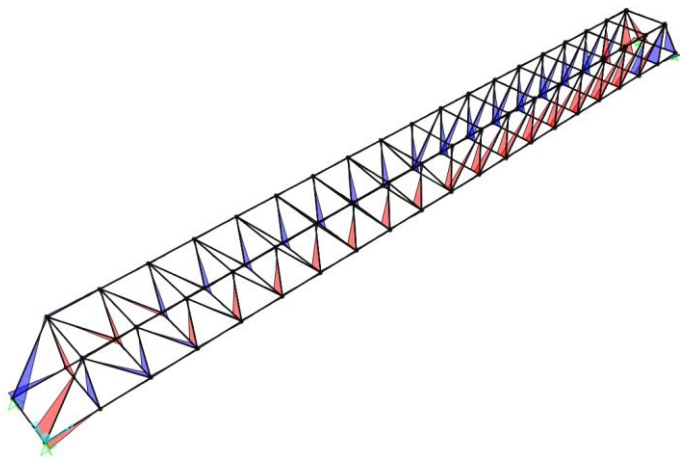


Figura 17

Diagrama de momentos en el eje 3-3 (Z)

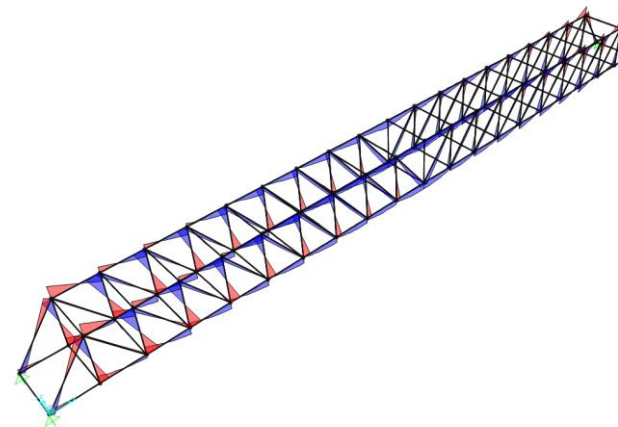


Figura 18

Diagrama de torsores

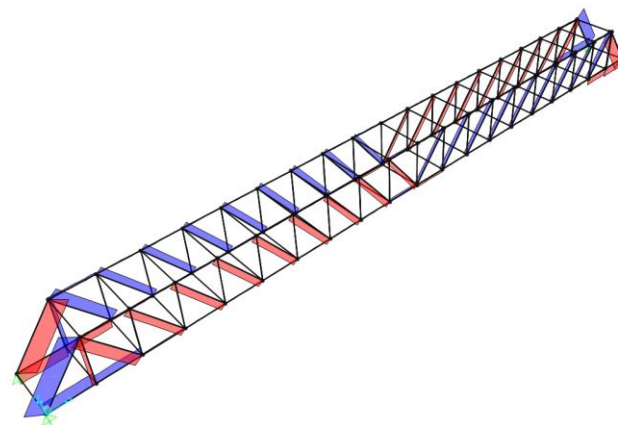


Figura 19

V. VALORACIÓN ECONÓMICA

En las tres tipologías se va a valorar únicamente el coste del acero, puesto que todas ellas poseen una losa de hormigón y equipamientos, que se valorarán económicamente en su anejo correspondiente.

Escogiendo un valor económico de referencia para el acero de 2€ el kilo, obtenemos los siguientes resultados:

CÁLCULO COSTE DEL ACERO	
Peso acero (kN/m)	33,611
Peso total (kN)	3.024,955
Peso (kg)	308.354,280
Precio €	616.708,560

Tabla 54

6.2.3. PUENTE ARCO (BOW-STRING)

La solución que se plantea es una pasarela con un arco superior y un tablero metálico ya que para esta solución se precisa de un material que resista bien las tracciones del tablero.

En cuanto a funcionalidad permite tener un ancho de tablero grande y estar despejado para el paso de peatones y bicicletas, además al tener el arco en la parte superior, a diferencia de las otras posibilidades dentro de esta misma tipología, que permite cumplir con el gálibo y no entorpecer el paso inferior de la pasarela.

Estructuralmente, atendiendo a los esfuerzos que se producirán en el tablero, el material es el más idóneo por tener una alta resistencia a la tracción, como se ha mencionado anteriormente. En cambio, los esfuerzos en el arco serán de compresión, por lo que el acero no sería el material más adecuado a emplear, en este caso hay otro material como es el hormigón que resiste mejor dichos esfuerzos, por lo que habrá que estudiar detalladamente el comportamiento en este caso.

GEOMETRIA

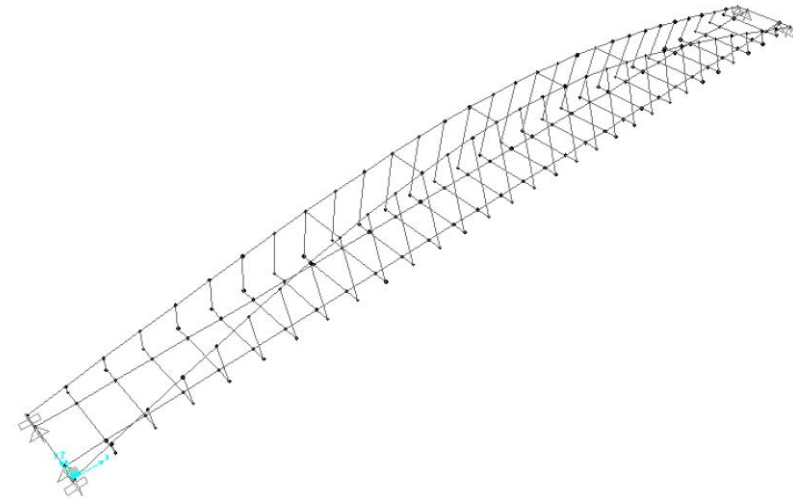


Figura 20

Las características generales para esta solución son las siguientes:

Luz (m)	Canto (m)	Ancho (m)	Altura del arco	Número de péndolas
90	1	6	8,5	14/lado

Tabla 55

I. ESTÉTICA E INTEGRACIÓN EN EL AMBIENTE

En cuanto a la tipología del arco, cabe decir que tiene un impacto visual mayor, pero dado que la zona está en proceso de cambio para dotarla de mayores servicios y zonas verdes, dado que su estado actual está muy deteriorado, esta tipología se integraría en el ambiente y dotaría de más elegancia que las dos anteriores.

II. PROCESO CONSTRUCTIVO Y AFECCIÓN AL TRÁFICO

Al ser un vano de 90 metros de longitud y no poder transportarlo a la obra montado sin cortar el tráfico, se transportará desmontado y se irá montando en obra desde las pilas al centro mediante grúas que eleven los perfiles hasta su emplazamiento final. Después se montará el tablero también en varios perfiles.

III. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

Este aspecto es similar a las otras dos opciones, puesto que, al ser estructuras metálicas, su principal problema es la corrosión por lo que habrá que diseñar la estructura para minimizar lo máximo posible este efecto.

Como en la alternativa anterior, el hecho de materializar las uniones en obra aumenta la posibilidad de que aparezcan problemas durante la vida útil de la estructura.

IV. PREDIMENSIONAMIENTO

ACCIONES

- Peso propio. Aquí igual que con la cercha, tenemos una viga completamente formada de acero por lo que el peso propio será el conjunto de todos los perfiles que la forman:

Perfiles Trasversales		IPE 400	
Numero perfiles	Área (cm ²)	Peso Total (kN)	Peso/m (kN/m)
31	84,50	121,03	1,35

Tabla 56

Perfiles longitudinales	TUBO 800x800x20
-------------------------	-----------------

Base (mm)	Altura (mm)	Espesor (mm)	Área (cm ²)	Peso Total (kN)	Peso/m (kN/m)
800	800	20	62,40	432,48	4,81

Tabla 57

Perfiles del arco		TUBO 800x800x20			
Base (mm)	Altura (mm)	Espesor (mm)	Área (cm ²)	Peso Total (kN)	Peso/m (kN/m)
800	800	20	62,40	432,48	4,81

Tabla 58

Péndolas		TUBO Ø60		
Número	Diámetro (mm)	Área (cm²)	Peso Total (kN)	Peso/m (kN/m)
14/lado	60	402,98	287,01	3,19

Tabla 59

Peso propio (KN/m)	
Perfiles transversales	1,35
Perfiles longitudinales	4,81
Perfiles del arco	4,81
Péndolas	3,19
TOTAL	13,16

Tabla 60

- Carga muerta. Se toman los elementos no resistentes a la sección. En ellos estarán presentes los equipamientos a emplear: iluminación, barandillas, etc. y la losa de hormigón, que en este caso, no forma parte de la estructura. Los valores a tomar son los siguientes:

→ Equipamientos. 5 kN/m

→ Losa de hormigón de 0,2 metros de canto. 30 kN/m

- Cargas variables. Sobrecarga de uso en puentes peatonales, fijado por la IAP – 11 del Ministerio de Fomento, de 5 kN/m²

COMBINACIÓN DE ACCIONES

Al igual que en la solución del Hormigón estudiaremos las situaciones de Estado Límite Último y Estado Límite de Servicio, conservando las mismas fórmulas y coeficientes.

CÁLCULO

Total carga distribuida	ELU	ELS
(kN/m)	116,472	68,28

Tabla 61

COMPROBACIÓN ELU	
Tensión máxima admitida (MPa)	338,095
Tensión máxima en el CL (MPa)	156,461
CUMPLE	

Tabla 62

COMPROBACIÓN ELS	
Flecha máxima permitida (m)	0,075
Flecha de cálculo en el CL (m)	0,074
CUMPLE	

Tabla 63

Esta solución es la única que nos cumple la flecha máxima permitida, puesto que con esta tipología se puede jugar con el canto de la sección, aumentando así la inercia de la estructura en su conjunto y disminuyendo la flecha en el CL.

MODELIZACIÓN CON EL SAP2000

Al igual que con la viga en cercha, emplearemos el SAP 2000 para comprobar de manera más minuciosa los cálculos hechos a mano, así como el comportamiento de la estructura en su conjunto, teniendo en cuenta tanto los esfuerzos longitudinales como transversales. A continuación mostraremos las deformaciones del arco y los diagramas de esfuerzos más representativos.

Deformada en ELS

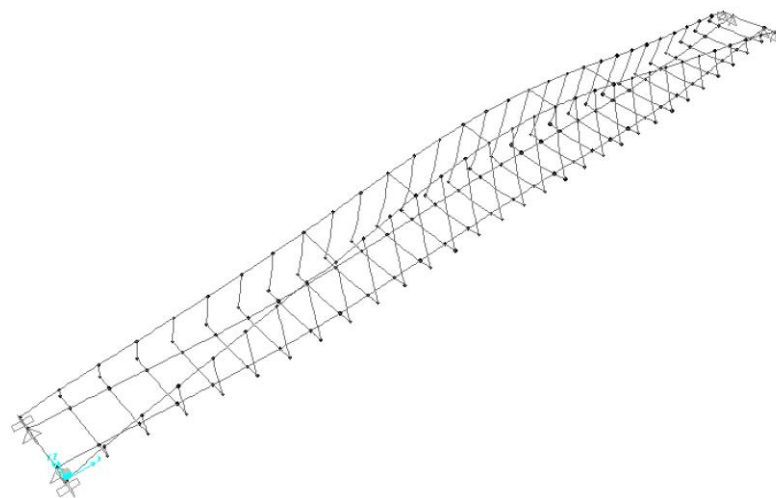


Figura 21

Diagrama de axiles

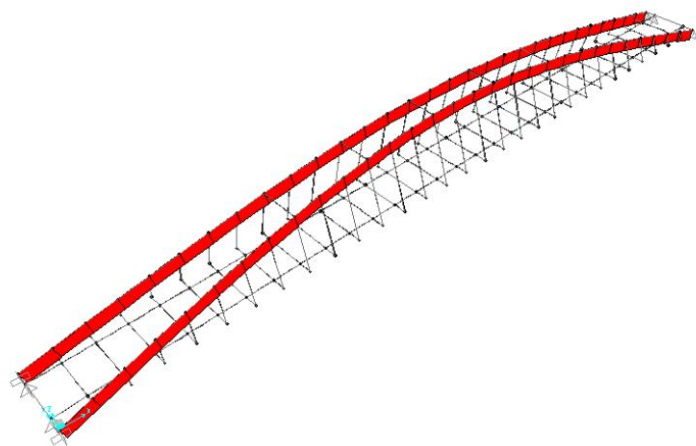


Figura 22

Diagrama de momentos en el eje 2-2 (Y)

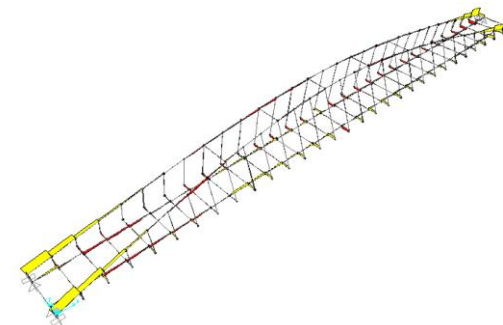


Figura 23

Diagrama de cortantes en el eje 3-3 (Z)

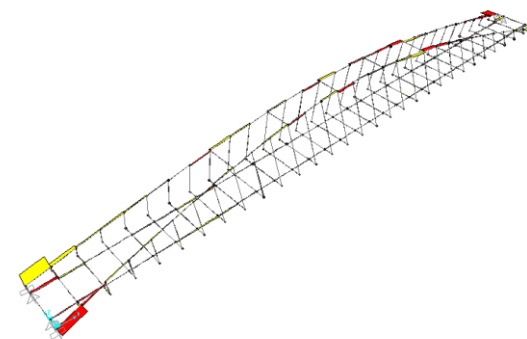


Diagrama de momentos en el eje 2-2 (Y)

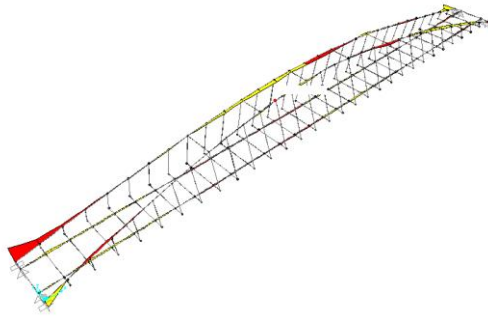


Figura 24

Diagrama de momentos en el eje 3-3 (Z)

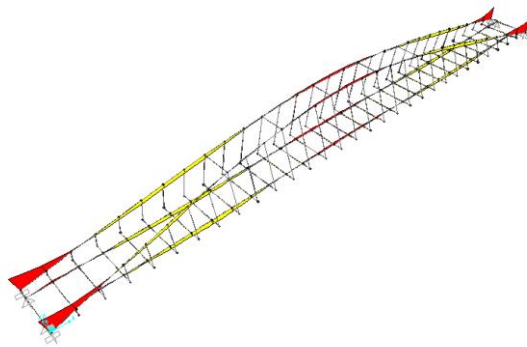


Figura 25

Diagrama de torsiones

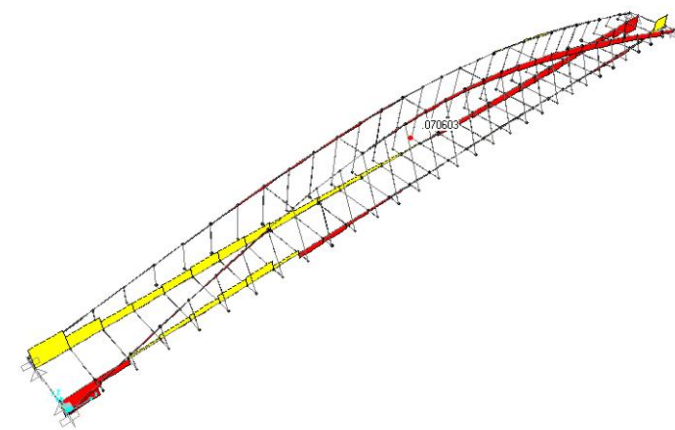


Figura 26

V. VALORACIÓN ECONÓMICA

En las tres tipologías se va a valorar únicamente el coste del acero, puesto que todas ellas poseen una losa de hormigón y equipamientos, que se valorarán económicamente en su anejo correspondiente.

Escogiendo un valor económico de referencia para el acero de 2€ el kilo, obtenemos los siguientes resultados:

CÁLCULO COSTE DEL ACERO	
Peso acero (kN/m)	21,397
Peso total (kN)	1.925,742
Peso (kg)	196.303,974
Precio €	392.607,948

Tabla 64

7. ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA

7.1. ALTERNATIVA A

Al hacer una comparación de las dos tipologías constructivas con las que nos hemos quedado después de la preselección inicial se obtienen las siguientes conclusiones.

En el primer apartado evaluado, estética e integración en el ambiente, se considera que la tipología de hormigón “in situ” se adapta mejor a los requisitos de la pasarela en este aspecto, pues nos proporciona soluciones de tablero más esbeltas y menos industrializadas que las vigas prefabricadas. Sin embargo, este es un apartado muy subjetivo, y si se elige la sección prefabricada adecuada, el resultado puede ser muy parejo.

En el segundo apartado, proceso constructivo y afección al tráfico, se llega a la conclusión de que la mejor tipología es la prefabricada. En la comparación realizada en el Anejo 1 nos damos cuenta de que para poder realizar el tablero de la pasarela “in situ”, las cimbras necesarias son demasiado grandes para el sitio que disponemos, pues estamos fuertemente coaccionados por las vías de ferrocarril.

Sin embargo, hay que ser conscientes de los problemas que presenta la opción de la construcción con vigas prefabricadas. Debido a sus dimensiones y peso, las distancias que tienen que salvar las grúas para la colocación de las propias vigas es muy elevada, por tanto, es necesario construir plataformas de trabajo para que las grúas puedan acercarse más a la ubicación final de las vigas. Aún así, se necesitan grúas de gran tamaño y potencia, que pueden resultar muy costosas.

Respecto a la conservación y el mantenimiento, es mejor opción la construcción mediante vigas prefabricadas, pues la ejecución en fábrica tiene mayor calidad que en obra, y sus controles son más estrictos.

Y por último, teniendo en cuenta el coste del material utilizado para la construcción del tablero, resulta mucho más rentable la solución de vigas prefabricadas. Sin embargo, esta solución puede acabar siendo más costosa debido al alquiler de las grúas y la construcción y desmontaje de la plataforma de trabajo.

Por todo esto, y principalmente por la imposibilidad de la construcción de las cimbras necesarias para la tipología hormigonada “in situ”, escogemos la tipología de puentes de vanos simples con vigas de sección en cajón inclinado o artesa con un canto de 1,60 m y una luz entre pilas de 30 m, a la que se le añadirá una losa superior de hormigón cuyo canto se definirá en el ANEJO III ESTRUCTURAL.

7.2. ALTERNATIVA B

Al hacer una comparación de las tres tipologías según los aspectos que se han estudiado de cada una de ellas, se obtienen las siguientes conclusiones.

Las opciones A y B son bastante similares en cuanto a la tipología, teniendo en cuenta que la opción A debe llevar un apoyo intermedio, lo que implicaría un coste adicional por la construcción de una tercera pila.

Dado que tenemos la opción de poder materializar la pasarela con un solo vano, y de esta forma interrumpir menos el tráfico de trenes bajo esta, que es un factor importante dado que nos encontramos en la vía ferroviaria principal de entrada a la ciudad, descartamos la opción A por ser una tipología que no admite luces mayores a unos 50 metros, lo que exige un apoyo intermedio.

Las tipologías de las opciones B y C son bastante diferentes, en el caso de la celosía, estéticamente es menos agradable que el arco, por lo comentado anteriormente respecto de este aspecto, nos encontramos en una zona bastante deteriorada, con naves antiguas de la estación de trenes, y una tipología como la celosía le daría un aspecto todavía más industrial, cosa que se pretende evitar. Otro factor a tener en cuenta en cuanto a la estética es el proyecto del parque central diseñado para esta zona, este proyecto dotaría a la zona de unos mejores servicios, así como un mejor aspecto por la creación de zonas verdes, por lo que se debe, en la medida de lo posible, que esta pasarela quede integrada en su futuro ambiente, siendo la opción C, la más estética por la forma del arco.

En cuanto a afección al tráfico y proceso constructivo ambas opciones cuentan con el inconveniente de tener que ser transportadas hasta la obra desmontadas, ya que, ambas soluciones cuentan con un único vano de 90 metros de longitud, que no se puede transportar montado sin cortar el tráfico.



En cuanto al proceso constructivo, la celosía se tendría que montar en el suelo para luego una vez montada elevarla mediante una grúa que la posicione en su emplazamiento definitivo, teniendo en cuenta que el espacio para efectuar operaciones en la obra es bastante reducido esto se convierte en un problema para el proceso constructivo de esta tipología.

En el arco, en cambio, se tiene la opción de montar el arco desde los extremos simultáneamente para que se compensen los esfuerzos, reteniendo los arcos provisionalmente desde los extremos mediante cables, a la vez que se van colocando las péndolas para que el tablero cuelgue de ellas, hasta que el arco se junte en el centro y se puedan soltar los cables de retenida, este proceso constructivo, permite una optimización del espacio en obra al realizarse el trabajo de montaje en el mismo emplazamiento donde se va a ubicar la pasarela definitivamente.

En lo referente a conservación y mantenimiento, ambas opciones van a tener planes de inspección y mantenimiento muy similares, por lo que no es un aspecto determinante a diferenciar entre ambas tipologías.

La valoración económica observamos que la opción B tiene una cantidad de acero bastante mas elevada que la opción C lo que hace que la opción B sea la opción más cara.

Con estos factores analizados, la solución finalmente escogida es la opción C, la tipología de arco superior (bow-string), por la optimización del espacio a la hora de la construcción de la pasarela principalmente, y puesto que, económicamente esta opción es más barata.

ANEJO I.I.

En la construcción de la pasarela peatonal el mayor problema con el que nos encontramos es la imposibilidad de invadir la playa de vías de ferrocarril. Esto afecta directamente al transporte, almacenamiento y colocación de las piezas prefabricadas. Además, la periferia de la zona de la obra es urbana, por lo que tampoco se dispone de mucho espacio para el acopio de los materiales.

Por tanto, una buena organización en los plazos y en la sincronización de tareas es fundamental con tal de afectar lo menos posible al funcionamiento habitual de los trenes, especialmente en la construcción “in situ” de las cimentaciones y las pilas.

En este estudio se expondrán las ventajas e inconvenientes de las vigas prefabricadas y las vigas “in situ”, tratando de elegir la mejor tipología para la construcción de la pasarela.

Esto no solo afecta a la construcción o colocación de los elementos, sino también al transporte y acopio, por tanto, también evaluaremos cuál de las dos tipologías aporta mayores ventajas o, mejor dicho, menores inconvenientes.

Debido a las restricciones con las que nos encontramos a la hora de ocupar el terreno de las vías, la primera tipología constructiva a contemplar es la de vigas prefabricadas.

1. AFECCIÓN A LAS VÍAS

La pasarela se plantea para salvar la playa de vías que da acceso a la Estación del Norte de Valencia, la más concurrida de la ciudad.

En el tramo en el que se ubica la pasarela hay dispuestas 15 vías de ferrocarril, de las cuales sólo 8 están en funcionamiento. Esta es la situación actual de la playa de vías:

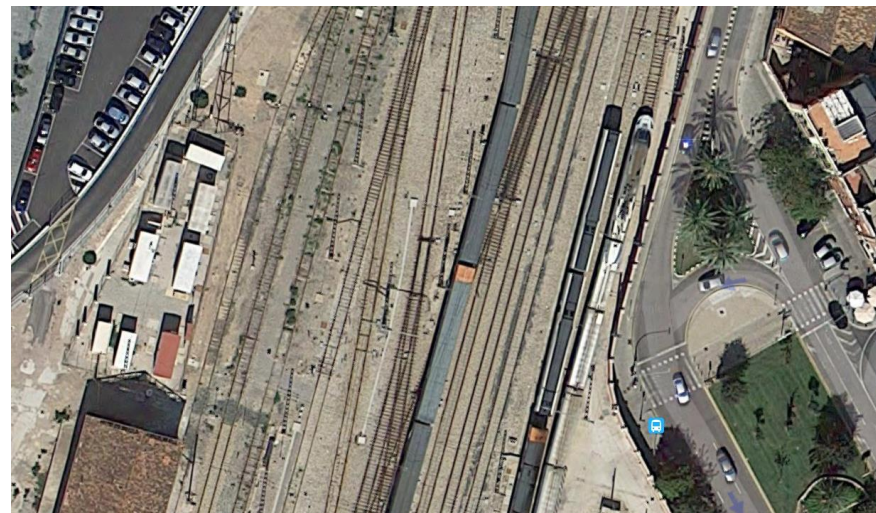


Figura 27

Planteando la hipótesis de que las vías que no están utilizadas se pueden retirar, el espacio útil es el representado en la siguiente imagen, donde en rojo se muestran las vías que se pueden retirar y en naranja las que se tendrán que invadir puntualmente a lo largo del proceso constructivo.



Figura 28

Por tanto, existe la posibilidad de disponer pilas intermedias sin afectar al funcionamiento de los trenes, aunque evidentemente será muy difícil, si no imposible, no interrumpir la circulación habitual de los trenes en algún momento durante la construcción de la pasarela, debiéndose prevenir desvíos para no dejar sin transporte a la ciudad de Valencia.

2. TRANSPORTE DEL MATERIAL

2.1. VIGAS PREFABRICADAS

Las dimensiones que se plantean en este estudio de soluciones para las vigas prefabricadas son de 30 y 45 metros de largo, cantos de 1,5 a 1,8 metros y anchos de hasta 3 metros, con un peso para la viga en cajón sin losa con canto 1,80 m de 73,62 tn por viga. Esto implica que requieren de permisos especiales para su transporte.

Por proximidad, se plantea la construcción de las vigas en la fábrica de PACADAR de Buñol, Valencia. La ubicación de la fábrica no plantea ningún inconveniente para la movilización de las piezas, pues está ubicada en un polígono industrial pegado a la autovía A-3 que da acceso a Valencia. Así pues, contamos con dos alternativas para el transporte desde la fábrica hasta la obra:

2.1.1. POR CARRETERA

Aparentemente es la mejor solución para el transporte, pero dadas las dimensiones de las piezas, podemos tener problemas en el acceso a la obra por la calle Filipinas.

2.1.2. POR FERROCARRIL

Este medio de transporte nos aporta la ventaja de que las piezas llegan directamente al lugar de la obra, sin tener que realizar cortes de circulación. Además, se puede utilizar cualquier vía que tenga uso de garaje para la descarga de las piezas.

El problema está en cómo cargar las piezas en el tren, pues la estación de ferrocarril de Buñol no cuenta ni con las infraestructuras ni con los accesos necesarios.

2.2. VIGAS “IN SITU”

Basándonos solamente en el transporte del material, las vigas “in situ” se plantean como una solución mucho más factible. En este caso, se descarta la opción del transporte por ferrocarril, ya que los materiales pueden provenir de diferentes lugares y el transporte por carretera está mucho más normalizado, además de ser más barato.

3. ACOPIO DEL MATERIAL

Ya que el material no se puede almacenar próximo a la ubicación de la pasarela, pues no se puede interrumpir la circulación de los trenes, el acopio se realizará próximo a la pila Oeste, es decir, la de la Estación Joaquín Sorolla, ya que es donde

más espacio hay, dejando sólo lo imprescindible en la calle Filipinas, pues el espacio allí es muy angosto.

3.1. VIGAS PREFABRICADAS

Contamos con dos soluciones de longitudes de 30 y 45 metros.

3.1.1. VIGAS DE 30 m

En este caso, se trata de 3 vigas de 30 metros de longitud. Por tanto, se acopian dos de ellas en la zona de la Estación Joaquín Sorolla, que hay más espacio, y la otra en la calle Filipinas. Esto es así porque la secuencia constructiva es determinante, y con tal de no disponer grúas de mayor tamaño, las vigas se montarán desde ambos lados de la playa de vías.

3.1.2. VIGAS DE 45 m

Teniendo en cuenta los mismos criterios que en las vigas de 30 metros la única solución posible es el acopio de una viga en cada lado de la playa de vías.

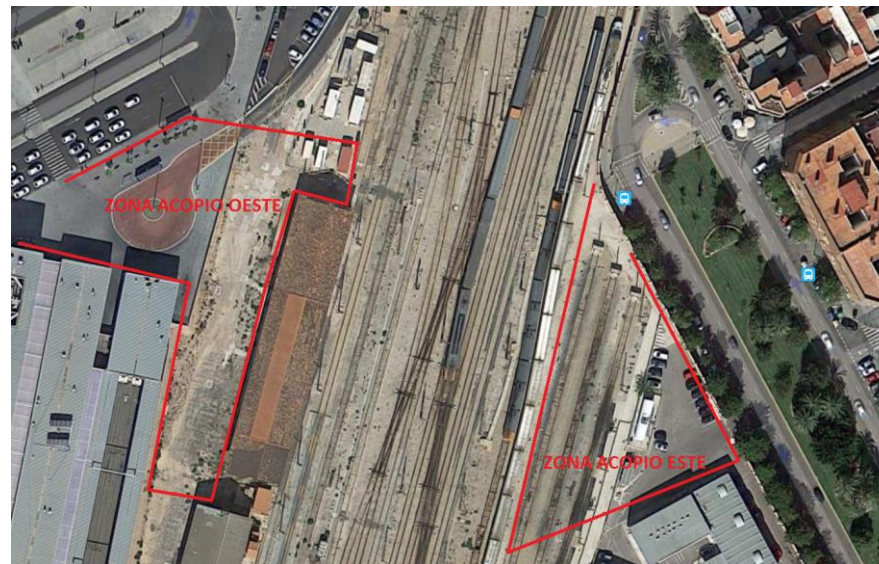


Figura 29

3.2. VIGAS “IN SITU”

El acopio de los materiales para la construcción de vigas “in situ” es mucho menos problemático debido a su menor volumen. Se reduce mucho la problemática del espacio para el almacenamiento y, con una buena planificación en los pedidos y recepción de los materiales, es una solución mucho mejor que las vigas prefabricadas.

4. COLOCACIÓN DEL MATERIAL (CONSTRUCCIÓN)

Es la fase más complicada de todas, ya que es cuando verdaderamente vamos a invadir las vías del tren.

4.1. VIGAS PREFABRICADAS

Para ver si es factible esta tipología desde el punto de vista constructivo hay que hacer un estudio de las grúas necesarias para la colocación de las vigas, en función de la distancia desde la posición en planta de la grúa hasta la zona de acopio y la ubicación definitiva, el gálibo a salvar y el peso de cada pieza. Además, en el radio necesario de la grúa no puede haber ningún obstáculo tales como edificios, lo que dificulta mucho la ubicación de la grúa en la calle Filipinas.

La colocación de las vigas prefabricadas se haría en horario nocturno para minimizar en la medida de lo posible los riesgos y entorpecer lo menos posible el tráfico de trenes, pues por la noche es mucho menor que por el día.

4.1.1. PROCESO CONSTRUCTIVO

El primer vano que se ejecutará es el Este. Para ello, se cortará la circulación en la calle Filipinas en el sentido hacia la avenida Ausias March, siendo necesario desviar el tráfico por la Gran Vía Marques del Turia. Se cortará también la circulación de dos vías de ferrocarril según la figura 30, desviándose el tráfico a las vías centrales.

A modo de aclaración, en las figuras siguientes referentes a la colocación de las vigas, se representa la colocación de una sola viga. La sección de la pasarela está compuesta por dos, pero el procedimiento sería el mismo.

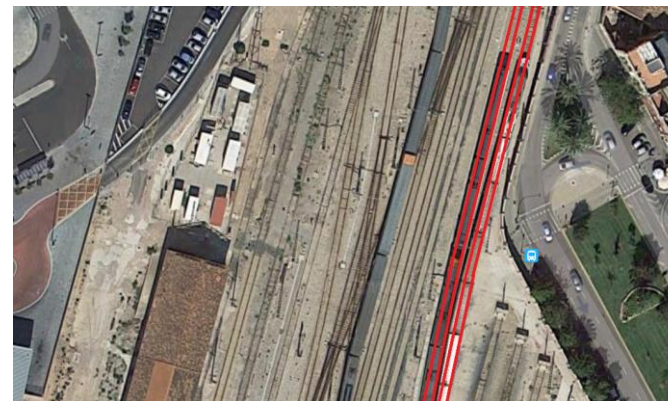


Figura 30

Se colocarán las grúas en la calle Filipinas, tal y como se muestra en la Figura 31, y dispondrán la viga Este en su ubicación final.

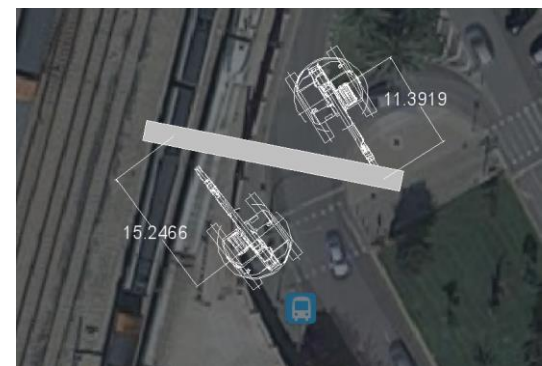


Figura 31

La distancia máxima a la que una grúa ha de ser capaz de levantar la viga es de 15,25 m.

En una segunda fase, será necesaria la construcción de un terraplén de balasto sobre las vías de la zona Oeste para la colocación de la viga central, estableciendo la zona de trabajo que se muestra en la figura 32.

Como la viga no se puede levantar con su orientación definitiva debido a las catenarias, se levantará paralela a ellas y luego se rotará.

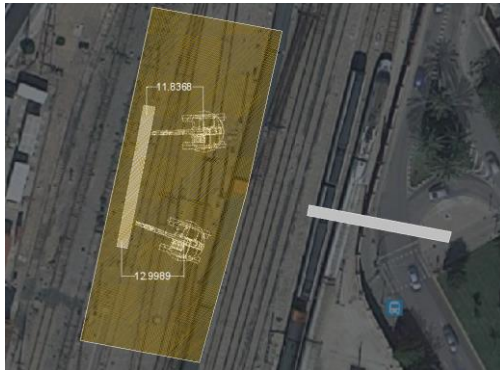


Figura 32

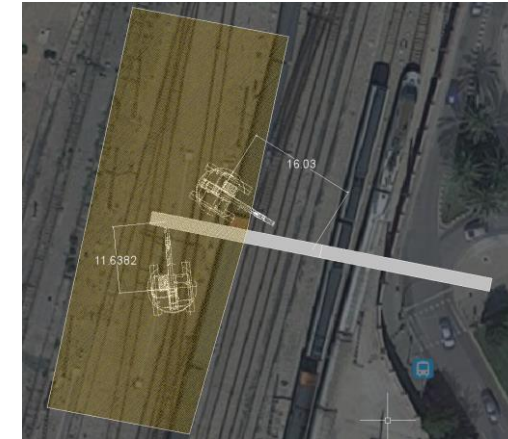


Figura 33

La distancia máxima a la que una grúa ha de soportar el peso de la viga es de 16 m.

Será necesario inutilizar las siguientes vías (rojo), desviando el tráfico ferroviario a las vías de la zona Este.



Figura 34

Para la colocación de la última viga, la Oeste, se retirará el terraplén de balasto para la zona de trabajo, estando habilitadas todas las vías. Las grúas se dispondrán según la siguiente imagen:

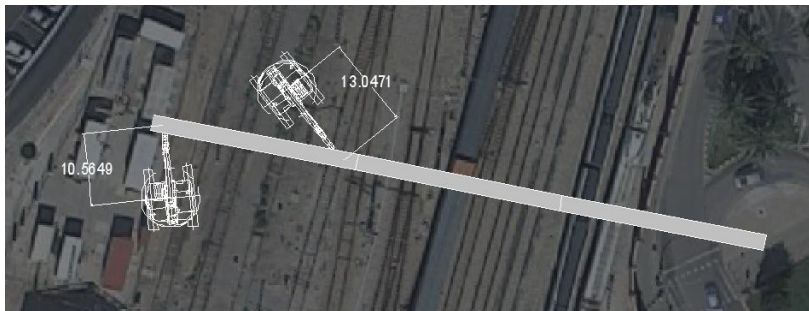


Figura 35

La distancia máxima a la que la grúa ha de soportar el peso de la viga es 13,1 m.

4.1.2. GRÚAS NECESARIAS

Para poder determinar el tipo de grúa necesaria es necesario establecer ciertos parámetros:

- Dimensiones del elemento: seleccionaremos la viga cajón inclinado sin losa de 1,8 m de canto 30 m de largo y un ancho de 1,92 m en su partes superior, con un peso de 73,62 tn.
- Carga en punta = $\frac{73,62}{2} = 36,81$ tn.
- Alcance: Las grúas este deberá tener un alcance como mínimo de 16 m.
- Altura bajo gancho: o distancia a la vertical entre el nivel del suelo y el nivel del gancho en vacío subido al máximo. En este caso será necesaria una altura de 10 metros.
- Altura rodante: o altura máxima bajo gancho a la que la grúa puede trasladarse con la carga. Estimamos 7 metros.

Con estos requisitos, y basándonos en el catálogo de GRÚAS PALAU S.A, proponemos la utilización de dos grúas LIEBHERR LTM 1200/1, con las siguientes características:

Carga máxima (tn)	Pluma principal (m)	Plumín fijo (m)	Peso por eje (tn)	Peso total (tn)
200	82	43	12	60

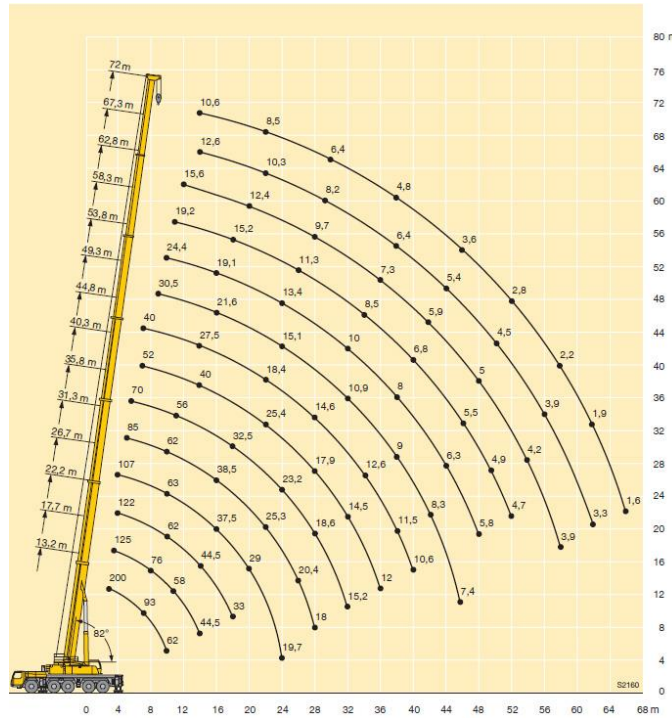


Figura 36

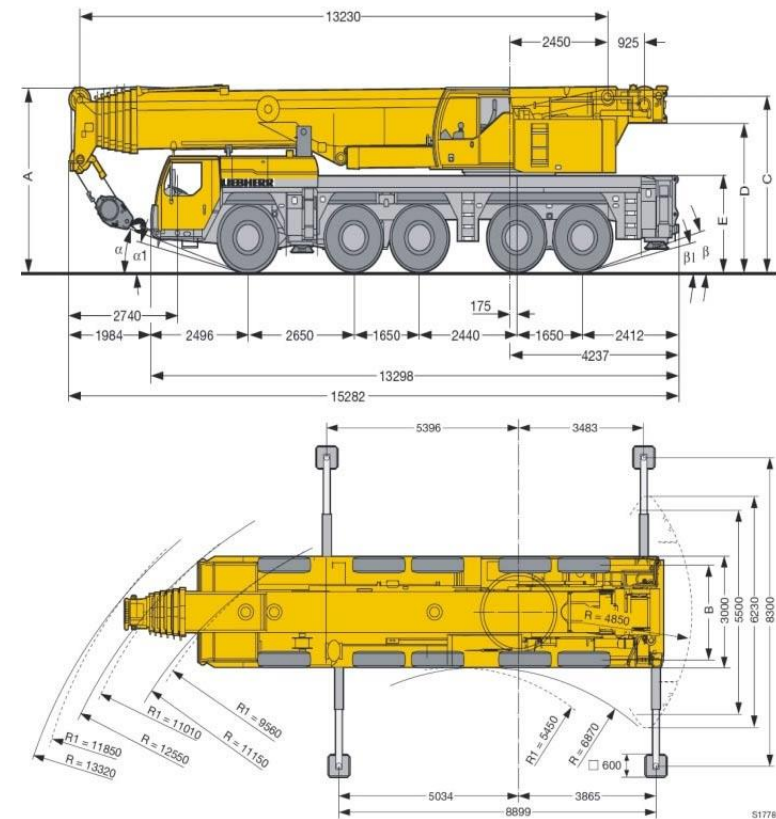


Figura 37

4.2. VIGAS "IN SITU"

El mayor inconveniente con el que nos encontramos en esta tipología es la necesidad de cimbras para la construcción de la pasarela. Debido a que esta tipología requiere más tiempo para la construcción, es necesario permitir el paso

de los trenes por debajo de la construcción del puente, salvo en operaciones puntuales.

Por ello, es necesaria la utilización de cimbras porticadas, haciendo coincidir los apoyos con los huecos entre vías y respetando las distancias de seguridad que permitan el paso de los trenes.

4.2.1. CIMBRAS NECESARIAS

Para poder determinar el tipo de cimbras necesarias es necesario establecer ciertos parámetros:

- Dimensiones del elemento: la sección utilizada en el predimensionamiento del puente continuo hormigonado mediante cimbra es la losa aligerada con dos posibles cantos, 1 y 1,5 metros. Para el estudio de la cimbra se tomará la de menos dimensión, con un peso de 2.699,25 kN y una longitud de 30 metros.
- Con una longitud de 30 metros se tienen 3 vanos, por lo que la cimbra se dispondrá en 3 pórticos

Sistemas	Soportes	Torres	Vigas
	H-30 (300 kN) H-45 (450 kN)	PAL (220 kN) A200 (1.800 kN) A250 (2.500 kN) M250 (5.000 kN)	HEB 300/360/600 HEB HEA emparejadas Barto H33

Figura 38

Según el catálogo de MECANOTUBO, para estas características necesitamos unas torres M250, que resisten hasta 5.000 kN, pero por dimensiones no es posible construirlas, pues no hay tanto espacio entre las vías de tren.

5. CONCLUSIÓN

La realización de este anejo nos muestra que las dos tipologías presentan problemas importantes para su construcción. Mientras que las vigas prefabricadas requieren la construcción de una pasarela de trabajo invadiendo las vías de ferrocarril, la construcción “in situ” necesita de una cimbra porticada de grandes dimensiones.

Respecto al transporte y acopio, la tipología “in situ” es más factible, pues no presenta tantos problemas de movilidad y almacenamiento, pero dado que las zonas de acopio son grandes y los accesos son amplios, la tipología de vigas prefabricadas es factible también.

Sin embargo, la tipología “in situ” presenta problemas de ejecución más difícilmente solucionables que la construcción mediante vigas prefabricadas, pues las dimensiones de las torres de la cimbra porticada necesarias para resistir los esfuerzos durante la construcción de la pasarela son más grandes que el espacio disponible entre carriles.

Además, teniendo en cuenta que el tráfico de trenes, salvo en momentos puntuales, va a ser constante, la tipología de vigas prefabricadas tiene menor grado de accidentes, pues las actividades con peligro a dañar las vías se pueden programar en horario nocturno, cuando el tráfico de trenes es muy bajo o prácticamente nulo.