



ANEJO Nº1. ESTUDIO DE SOLUCIONES

Redactor:

David Cisneros Lorente



ANEJO Nº1. ESTUDIO DE SOLUCIONES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. CONDICIONANTES

- 2.1. Naturales
- 2.2. Funcionales
- 2.3. Formales
- 2.4. Constructivos
- 2.5. Económicos

3. PLANTEAMIENTO GENERAL

4. DESCRIPCIÓN DE LAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

- 4.1. Atirantado de un plano de tirantes central tipo arpa
- 4.2. Viga de hormigón pretensado de canto variable
- 4.3. Arco de tablero inferior tipo “bow-string”

5. ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS Y ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

6. EVOLUCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

- 6.1. Arco
- 6.2. Tablero
- 6.3. Subestructuras
- 6.4. Equipamientos
 - 6.4.1. Barandillas
 - 6.4.2. Iluminación

7. CONCLUSIÓN



1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente Anejo es el estudio de las diferentes alternativas como solución al puente de acceso sur al parque de Tempelhof en Berlín, Alemania.

A continuación se muestra el proceso llevado a cabo en la elección de la solución final para el puente y que incluye tanto la selección de la tipología que mejor se adapta a las necesidades del proyecto como las diferentes soluciones de tablero y equipamientos.

2. CONDICIONANTES

2.1. Naturales

2.1.1. Topografía

El puente se haya ubicado en la ciudad de Berlín, capital de Alemania.

El paso de las vías del tren (4 en total, 2 de ellas de S-bahn, el metro de Berlín) supone un impedimento que coarta la ubicación de apoyos intermedios en la trinchera del ferrocarril. Se deberán buscar soluciones que eviten la construcción de pilas en el interior de las mismas siguiendo lo impuesto por el ente operador del ferrocarril.

2.1.2. Hidrología

El puente se haya ubicado sobre vías de ferrocarril, por tanto, en lo que respecta a este apartado, únicamente se deberá prestar atención a las posibles lluvias que se puedan dar en la zona y la gestión de la recogida de agua en el tablero del puente y sus accesos.

2.1.3. Acciones naturales

La estructura puede verse sometida fundamentalmente a dos tipos de acciones naturales:

- Acciones climáticas (lluvia, nieve, viento y temperatura): se diseñará la estructura de forma que resista las variaciones de longitud debidas a la temperatura y pueda evacuar las pluviales y soportar la carga nieve de forma eficiente.
- Acciones sísmicas: a pesar de tratarse de una zona donde pueden sucederse movimientos sísmicos, las condiciones del presente proyecto básico establecen que se obvie su efecto.

2.1.4. Zona de valor ambiental

La estructura se sitúa en una zona urbana que, en principio, no presenta un valor ambiental significativo. De todos modos, se deberán buscar soluciones y procesos constructivos que presenten poca afección a la totalidad del entorno y a la futura urbanización que se desarrollará en la zona norte de nuestra estructura.

2.1.5. Entorno

La tipología del puente deberá estar justificada según la integración con el entorno que lo rodea ya que la estructura se encuentra situada entre una zona industrial, en el lado Oberlandstrasse, en la que existen fábricas, almacenes, estudios de cine y concesionarios; y la futura zona urbanizada, del lado del parque de Tempelhof, además del uso lúdico que se le proporcionará a dicho parque.

2.1.6. Geotecnia

El terreno competente para cimentar se encuentra a profundidad a partir de la cota +42 m.s.n.m. Se encuentra constituido por arenas, prácticamente en su totalidad, y una zona de relleno de escombros la cual se intentará evitar.

Además, se mantendrá siempre un espesor de 0,80 metros sobre la zapata para proteger a la misma en las épocas de heladas.

El sistema de cimentación elegido (cimentación superficial) resulta muy competente en estratos de arenas en cuanto a asientos, pero se deberá prestar especial cuidado en otras comprobaciones como el deslizamiento.

Se puede encontrar todos los detalles geotécnicos en el *Anejo nº2 Informe Geotécnico*.

2.2. Funcionales

2.2.1. Trazado

El trazado en planta del puente es recto y debe resolver la conexión de la calle Oberlandstrasse (punto A) con la zona sur del parque de Tempelhof (punto B). La luz libre mínima exigida es de 32,422 m para respetar las distancias que el ente ferroviario solicita que no se invadan.

El trazado en alzado debe respetar las coordenadas de los puntos A (0+227,173, +49,42) y el punto B (0+000, +50,169). Las pendientes longitudinales se han impuesto por la administración quedando una pendiente de entrada al puente desde la calle Oberland de -3,5% y una pendiente de salida hacia el aeropuerto (parque de Tempelhof) del 3%.

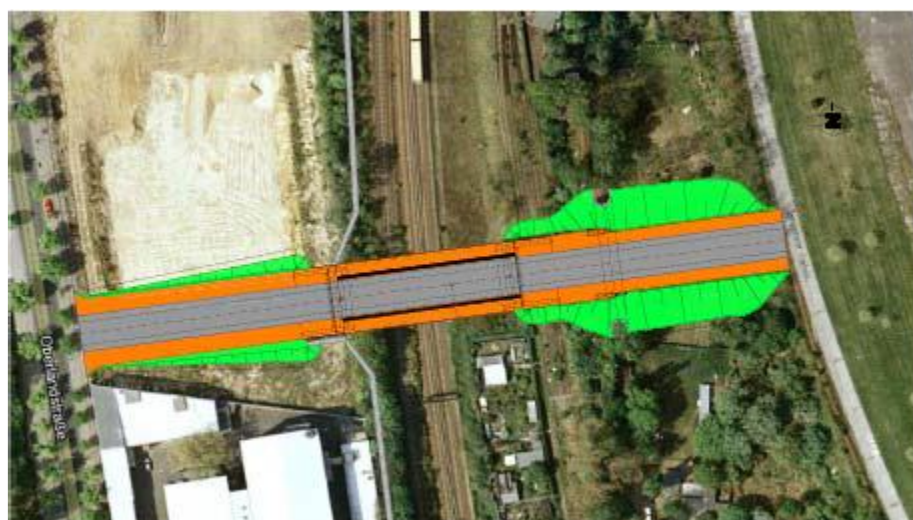


Figura I: REPRESENTACIÓN DEL TRAZADO EN PLANTA

2.2.2. Sección transversal

El ancho útil mínimo exigido es de 18,0 m, repartidos en 11,0 m para la calzada (2 carriles de 3,50 m y carril bici-arcén de 2,0 m en cada sentido) y 2x3,5 m para las aceras, reservadas para peatones.

Las pendientes longitudinales, como ya se ha expuesto, corresponden al 3,5 % en el lado de Oberland y al 3 % en el lado del aeropuerto.

Las pendientes transversales en calzada (bombeo) y aceras se corresponden con el 2,5 % en calzada y de 2 % en aceras, con recogida de aguas en rigolas de 0,2 m de ancho.

2.2.3. Gálibos

Los gálibos, los cuales están impuestos por el ente operador del ferrocarril, se corresponden con una luz libre mayor de 32,422 m y un resguardo mínimo de 1,3675 m entre el inferior del tablero y la parte superior de los coches ferroviarios.

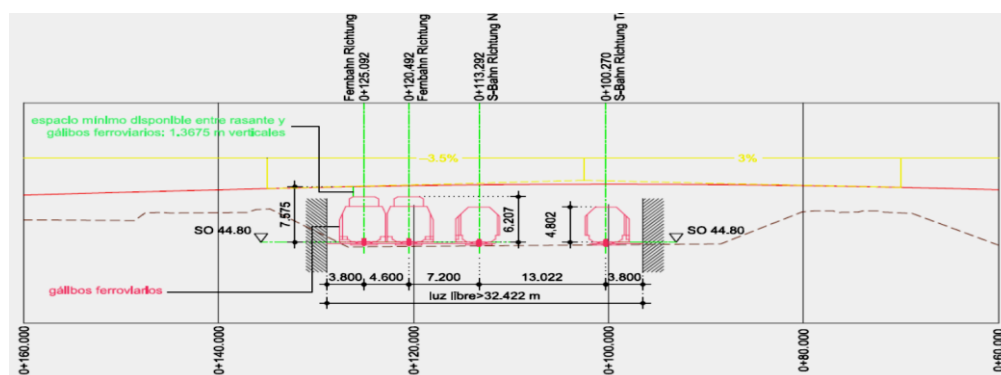


Figura II: REPRESENTACIÓN DE LOS GÁLIBOS IMPUESTOS POR EL FERROCARRIL

2.2.4. Conductos para servicio

Se dispondrá el espacio suficiente para ubicar los servicios necesarios para la instalación de la iluminación en la estructura.

2.3. Formales

2.3.1. Estética, durabilidad, funcionalidad y seguridad

Se dará especial preferencia a las soluciones englobadas en la seguridad y durabilidad sin despreciar el factor estético y sin descuidar el carácter creativo.

2.3.2. Entorno urbano

El diseño estético del conjunto de la obra deberá estar integrado con las estructuras próximas a la zona de actuación. Se dispondrá, en la zona de integración del lado Tempelhof, jardinería adecuada al entorno. Se deberá prestar especial atención a la forma de los equipamientos.

2.4. Constructivos

2.4.1. Mantenimiento del servicio del ferrocarril

Por imposición del ente ferroviario, se debe garantizar que el servicio no se vea interrumpido durante toda la construcción por las acciones llevadas a cabo por la obra.

2.4.2. Presencia de maquinaria pesada

Será necesario habilitar una zona para el almacén de la maquinaria (preferiblemente en el lado de Tempelhof) y facilitar un vial de acceso con anchura suficiente para el paso y maniobras de la forma.

2.4.3. Rellenos

Como en toda obra, se necesitará la ejecución de rellenos para la construcción de las rampas de acceso al puente. Estos se adaptarán a la topografía del emplazamiento, a las pendientes de operaciones de la maquinaria y se representarán en los planos correspondientes.

2.4.4. Plazos de ejecución

Es conveniente establecer un plazo máximo de ejecución que evite, en lo posible, la temporada invernal para evitar problemas climatológicos propios de Berlín. Se deberán buscar soluciones con procedimientos de construcción que agilicen la ejecución.

El plazo de ejecución previsto será de aproximadamente 9 meses y tres semanas.



2.4.5. Legislación

Siguiendo lo impuesto por los tutpres para este trabajo, se utilizará la normativa española.

2.5. Económicos

Atendiendo a la documentación original del concurso, el presupuesto máximo es de cuatro millones doscientos mil (4.200.000,00 €). Por este motivo, es conveniente tener en cuenta, en todo momento, el coste global tanto de la estructura como el de su mantenimiento para tratar de proyectar una solución lo más económica posible sin dejar de lado la funcionalidad, la seguridad y la estética.

3. PLANTEAMIENTO GENERAL

En primer lugar se expondrán las tipologías estructurales que, en base a las limitaciones y condicionantes expuestos en el apartado anterior, mejor se adaptan a los requisitos.

Desde un principio, se descartan la mayoría de soluciones cuyo elemento resistente se encuentra por debajo del tablero debido a la fuerte limitación de canto impuesta por los gálibos ferroviarios. De esta forma, se descartan las tipologías siguientes:

- Puente de tablero simplemente apoyado: el canto propio de este tipo de estructuras para las luces tratadas hace imposible el cumplir el resguardo mínimo exigido.
- Puentes de arco con tablero superior: del mismo modo que el anterior, establecer la rigidez por debajo del tablero no nos permite cumplir con el resguardo impuesto.

Existe un conjunto de características que se pueden fijar desde un primer momento y que serán comunes a todas las soluciones:

- Constarán de al menos un vano central o un único vano de entre 35 y 65 metros.
- El ancho del tablero cumplirá, al menos, lo expuesto en el apartado **2.2.2 Anchura del tablero**.
- El gálibo inferior deberá respetar un resguardo de 1,37 metros aproximadamente (en el punto crítico indicado en el **plano 5.1. Definición general. Alzado y planta**) para asegurar el paso de los ferrocarriles.
- Las pendientes longitudinales y las transversales serán las indicadas en el apartado **2.2.4 Pendientes**.

En el apartado siguiente se describen las propuestas y en el apartado número 5 los criterios de valoración.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

En base al planteamiento general de la sección anterior, se ha procedido a estudiar, de forma más precisa, tres tipologías que son las que mejor se adaptan a lo expuesto:

- Puente atirantado de un plano de tirantes central tipo arpa
- Puente continuo de tres vanos de hormigón pretensado y canto variable
- Puente arco de tablero inferior tipo "bow-string"

4.1. Puente atirantado de un plano de tirantes central tipo arpa

El puente presentado en primer lugar es un puente atirantado de un solo plano central de 6 tirantes dispuestos en arpa, y 3 tirantes de retenida dispuestos en el mismo plano que los anteriores. El criterio empleado para la disposición de un único plano de tirantes ha sido la separación de los dos sentidos de circulación por motivos de seguridad. Además, en cuanto a criterios estéticos, disponer un único plano de tirantes facilita que en una vista oblicua no se produzcan interferencias entre ambos planos de tirantes.

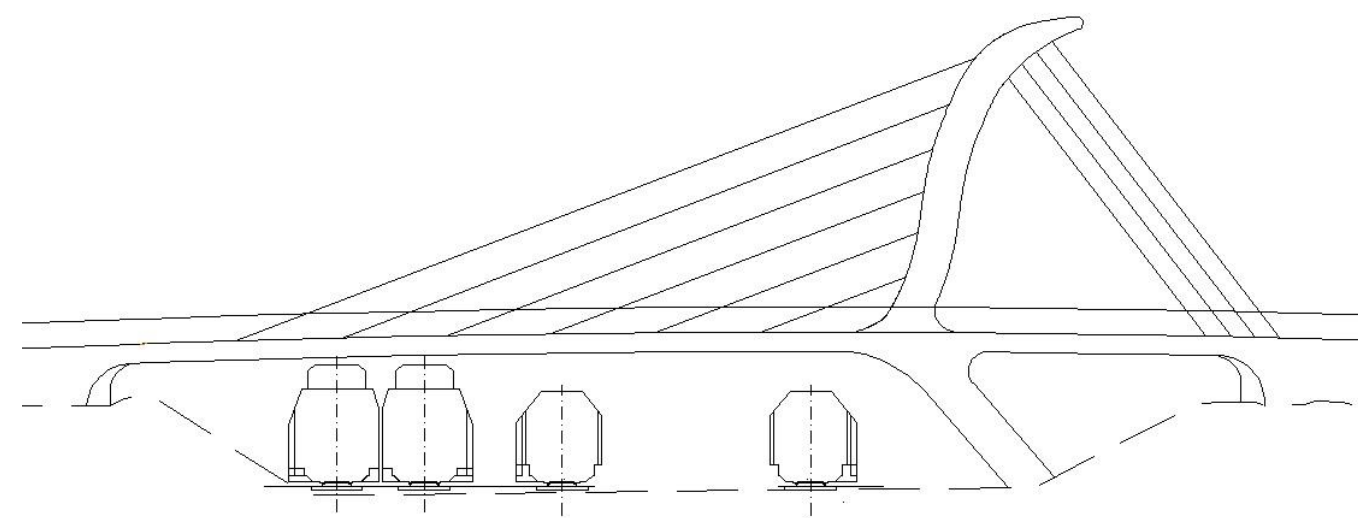


Figura III: ALZADO PUENTE ATIRANTADO

El vano principal tiene aproximadamente 40 metros y una altura de pilono cercana a 17 metros medidos desde la rasante. El ancho útil del tablero es de 18 metros que, con una mediana infranqueable de 2 metros, supone un ancho total de 20 metros. El pilono es de hormigón blanco armado.



El tablero está formado por dovelas de sección metálica y cuenta con diafragmas para dotar a la sección transversal de resistencia torsional. Además, se prevé la colocación de dos apoyos en los estribos para aumentar la resistencia a torsión del tablero. El método constructivo propuesto es por voladizos sucesivos, aprovechando los propios tirantes del sistema primario.

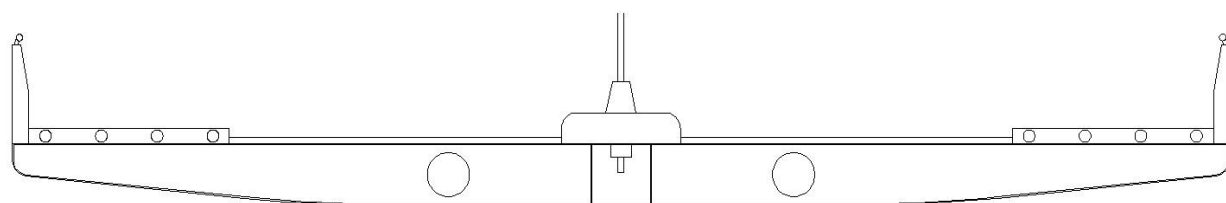


Figura IV: PRIMEROS BOCETOS DE LA BARANDILLA DEL PUENTE ATIRANTADO

En el croquis se describen dos posibles barandillas. La primera es de hormigón, con aberturas que simulan las ventanas de un avión; mientras que la segunda es metálica, con apoyos cada 2 metros soldados al extremo de la sección del tablero y pasamanos superior cuyos extremos acaban descendiendo hasta cota de la rasante. (Ver figura V)

La iluminación está constituida por iluminación rasante incrustada en la mediana, focos en cada tirante con objeto de iluminar el pylon y luminarias en el pasamano de la barandilla, que en sus extremos continúa la línea de luz a lo largo de la acera. Se propone una acera hueca para el paso de las instalaciones y conducciones.

En cuanto a la seguridad, la resistencia a torsión se consigue con los diafragmas y el doble apoyo en el estribo. La tensión en los cables será suficiente para soportar la flexión inducida por las cargas aplicadas.

Atendiendo a la funcionalidad, el ancho es suficiente y cumple con las restricciones impuestas por el Ayuntamiento de Berlín. En su posición final, el perfil longitudinal seguirá la rasante facilitada. Para el confort de los usuarios, se buscará el cumplimiento de los ELS de fisuración, vibraciones y deformación.

La durabilidad se ha tenido en cuenta mediante la aplicación de pintura anticorrosiva para el acero y pintura anticarbonatación para el hormigón. Además, se preverá el mantenimiento y retesado de los tirantes en el programa de inspecciones y mantenimiento en el proceso de construcción.

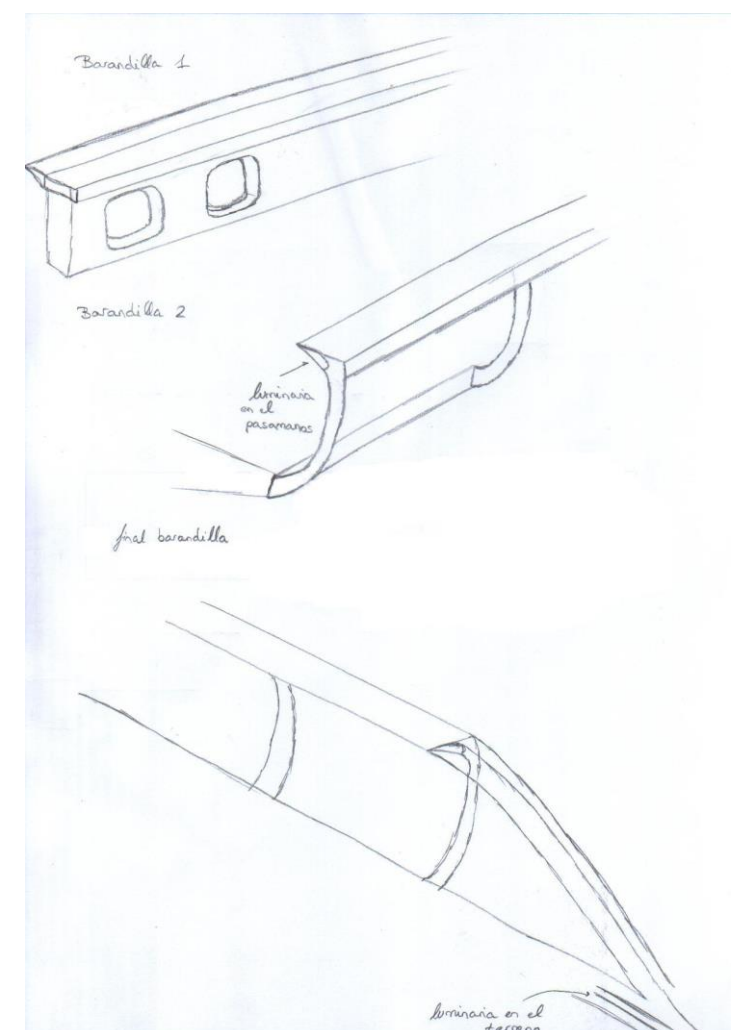


Figura V: PRIMEROS BOCETOS DE LA BARANDILLA DEL PUENTE ATIRANTADO

Por último se ha buscado simular la silueta de un avión, por la proximidad del antiguo aeropuerto de Tempelhof. Además, se mejora la calidad visual del entorno ofreciendo una panorámica interesante a la vista del usuario. (Ver alzado figura III)

4.2. Puente de viga de hormigón pretensado de canto variable

En esta segunda alternativa, el puente es un puente viga de hormigón pretensado de canto variable de tres vanos: un vano central de mayor longitud y dos vanos de menor longitud en los extremos.

El vano principal tiene aproximadamente 40 metros mientras que los vanos laterales tienen aproximadamente 12 metros, conformando un puente de unos 65 metros en total. El ancho útil del



tablero es de 18 metros y, como se le añade una pequeña barrera para separar ambos sentidos de circulación, el ancho está en torno a 19 metros. (Ver figura VIII)

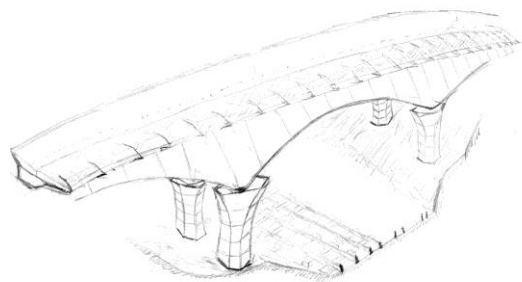


Figura VI: PERSPECTIVA DEL PUENTE VIGA DE HORMIGÓN

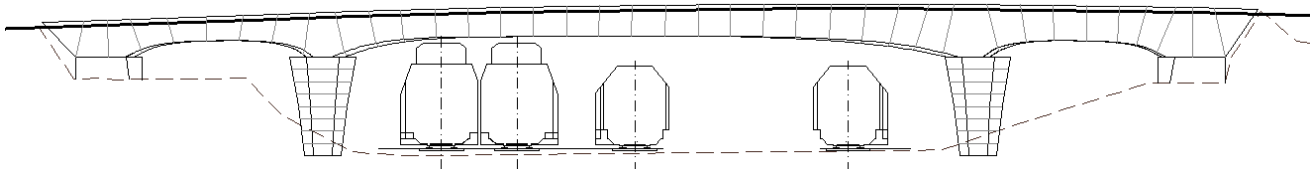


Figura VII: ALZADO DEL PUENTE VIGA DE HORMIGÓN

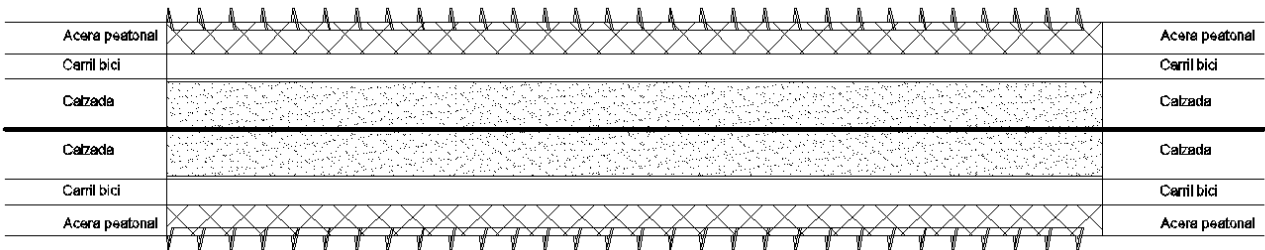


Figura VIII: PLANTA DEL PUENTE VIGA DE HORMIGÓN

El tablero está formado por dovelas de hormigón prefabricadas de sección variable para ambos cajones yuxtapuestos. Estos cajones apoyan sobre pilas hexagonales de sección variable. Por tanto, se disponen en total de 4 pilas de apoyo. Además se dispondrán jabalcones cada 2 metros que coincidirán con las barandillas. El método constructivo propuesto corresponde con el de vigas prefabricadas de gran tamaño.

La barandilla que se propone está formada por secciones laminadas de acero que sostengan entre sí un panel de vidrio de seguridad de doble capa y pasamanos superior de acero inoxidable cilíndrico.

La iluminación está constituida por farolas dispuestas al tresbolillo de forma que en un mismo apoyo se disponen tres luminarias: una de mayor altura para la iluminación de la carretera y otras dos, dispuestas con un ángulo de 60° entre ellas, a menor altura que la luminaria de la carretera, para el alumbrado de las aceras. Se propone una acera hueca para el paso de las instalaciones por debajo de la misma.

En cuanto a la seguridad, la sección variable de hormigón con dos cajones yuxtapuestos y sin disponer almas interiores, es decir, cajones unicelulares, será suficiente para asegurar la resistencia del puente frente a cualquier tipo de solicitación.

Atendiendo a la funcionalidad, el ancho es suficiente y cumple con las restricciones impuestas por la Administración. En su posición final, el perfil longitudinal seguirá la rasante facilitada. Para el confort de los usuarios, se buscará el cumplimiento de los ELS de fisuración, vibraciones y deformación.

La durabilidad se ha tenido en cuenta mediante la disposición de elementos prefabricados de fácil reparación o sustitución y de difícil erosión para asegurar la durabilidad del mismo.

Con la construcción de este puente se pretende introducir un elemento alternativo a la arquitectura del entorno proporcionando una visión interesante e integradora de la conexión de la calle Oberland con el Parque de Tempelhof de forma que, la presencia del puente, no produzca un impacto visual negativo de la panorámica del entorno. Además, para los futuros andenes de las vías de ferrocarril, se proporcionará una cubierta visual que dividirá el espacio en dos ambientes diferenciados para los viandantes y los usuarios del ferrocarril.

4.3. Arco de tablero inferior tipo *bow-string*

Como última propuesta se presenta un puente arco atirantado o *bow-string* con dos arcos exentos paralelos situados entre la calzada y las aceras, de un solo vano y tablero inferior.

El vano tiene aproximadamente 65 metros y una altura de arco cercana a 13 metros medidos desde la rasante. El ancho útil del tablero es de 18 metros que, con el ancho de 0,75 m de cada arco y 0,25 m de cada barandilla, se obtiene un ancho total de 20 metros.

El tablero está formado por dos vigas longitudinales en forma de T invertida, vigas transversales formadas por perfiles en I unidas entre sí por cruces de San Andrés. El conjunto formado por las vigas transversales y las triangulaciones se apoyan durante la construcción y hasta su unión en las vigas longitudinales, así como los cuchillos.

El arco consta de sección en cajón rectangular de canto variable haciéndose éste menor en su clave.



La unión arco – vigas longitudinales se materializa mediante nueve péndolas separadas seis metros y medio entre sí. Dichas péndolas se conforman con cable trenzado de acero.

El método constructivo propuesto consiste en las siguientes fases: montaje de las vigas longitudinales y unión de los cuchillos a ellas en una zona apartada de las vías en primer lugar, fabricación y colocación de las células de triangulación, elevación del conjunto y sostenimiento sobre apoyos provisionales, construcción y colocación del arco y péndolas mediante grúas telescópicas y por último retirada de dichos apoyos (entrada en carga de las péndolas)

La barandilla está formada por chapa gruesa laminada de acero corten en forma de triangulación con pretil del mismo material. Además consta de pasamanos de acero inoxidable bruñido y cables también de acero inoxidable con sus respectivos juegos de tensores.

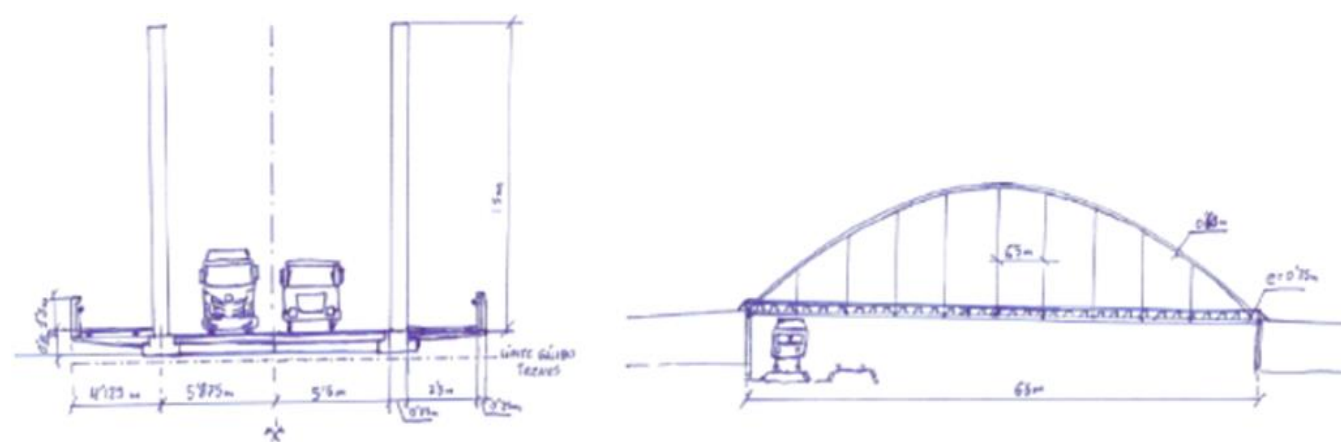


Figura IX: PERSPECTIVA GENERAL DEL PUENTE BOW-STRING

La iluminación está constituida por focos para la calzada incrustados en el propio arco, y con luminarias tipo LED integradas en el pretil para la acera.

Se propone una acera hueca acabada en madera de ipé para el paso de las instalaciones.

En cuanto a diseño resistente, la particularidad de los arcos atirantados reside en la cancelación de los empujes horizontales al recoger estas componentes en los dos "tirantes" longitudinales que unen los arranques de cada arco y a su vez permiten materializar un tablero bijácena. De ese modo, para acciones gravitatorias, a la cimentación se transmitirán únicamente reacciones verticales. Globalmente, se trata en definitiva de una estructura isostática.

Atendiendo a la funcionalidad, el ancho es suficiente y cumple con las restricciones impuestas por la Administración. En su posición final, el perfil longitudinal seguirá la rasante facilitada. Para el confort de los usuarios, se buscará el cumplimiento de los ELS de vibraciones y deformación.

La durabilidad se ha tenido en cuenta mediante la utilización de acero patinable en la gran mayoría de elementos. Además se preverá el mantenimiento y comprobación de estado de los tirantes siguiendo el programa de inspecciones.

Condicionantes como el entorno urbano, el ferrocarril y los tonos pardos y verdáceos de la vegetación colindante invitan a la construcción del puente combinando el óxido y la madera en una obra que, sin querer ser protagonista, intenta mejorar la calidad del entorno de una zona cuyo uso residencial y de ocio está en auge.

Además con la iluminación bajo el arco se intenta emular las grandes salas de espera del antiguo aeropuerto de Tempelhof, dando lugar a un elemento más que interesante que aúna el pasado, presente y futuro del contexto del Berlín actual.

5. ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS

Una vez expuestas las tres alternativas se valoran las ventajas e inconvenientes que presentan cada una de ellas y finalmente se selecciona la solución que mejor se adapte a las necesidades. El criterio de selección de la solución es puramente subjetivo por parte de los integrantes del grupo.

La primera alternativa posee interesantes valores estéticos al disponer los elementos resistentes (sistema primario, formado por los tirantes) por encima del tablero, configurando una estructura singular, que aportaría valor añadido a la futura zona urbana y a la entrada al gran parque público que es en la actualidad el antiguo aeropuerto de Tempelhof.

El diseño de esta estructura debe estudiarse detenidamente para asegurar la eficiencia del sistema resistente. Como se puede observar en el apartado 2.1.6. Geotecnia, el terreno está compuesto con arenas, por lo que en cuanto a asientos de la cimentación no encontraremos problemas pero se deberá prestar atención al deslizamiento por la componente horizontal que transmitiría el pilono a la cimentación. Además, el disponer un plano central de tirantes conlleva problemas de torsión en el tablero frente a cargas excéntricas que se deberían estudiar con detenimiento. Por este motivo de escoger finalmente esta alternativa, se deberían pulir estos aspectos del diseño y adoptar las siguientes medidas:

- Estudiar medidas efectivas para combatir los torsores que se generarían en el tablero, para lo que se debería prestar especial atención al diseño de la sección del tablero.
- Plantear un cambio en el diseño del pilono para no concentrar excesivas cargas en el terreno.
- Sería factible estudiar la disposición de dos planos de tirantes para combatir más eficazmente la torsión.



Se debe tener en cuenta que pese a llevar a cabo estas modificaciones el esquema resistente de esta solución no es el más adecuado para las luces de vano necesaria, resultando una solución económicamente desfavorable con respecto a las dos siguientes.

Además, esta solución supondría sobreanchos por la existencia de la mediana infranqueable y por la necesidad de disponer pequeños arcones en el lado de la mediana para ofrecer el suficiente ancho en un solo sentido, en caso de verse obligado a desviar el tráfico por posibles accidentes, lo que conllevaría un sobrecoste con respecto a las otras soluciones.

La segunda alternativa se presenta como una solución que aporta la rigidez a la estructura por debajo del tablero. Sin embargo, esta solución presenta el problema de que el valor estético quedaría restringido a la vista inferior de nuestra estructura aunque tendría una función integradora en el entorno presente. Además al tratarse de una solución de vigas pretensadas existe el problema de la limitación de canto de nuestra estructura impuesto por el ente operador del ferrocarril.

De igual modo, en caso de elegirse esta solución se debería plantearse:

- Estudiar las formas en la parte superior del tablero para otorgar estética a la solución.
- Estimar la posibilidad de diseñar una viga de canto variable asimétrica (con mayor canto en el lado menos limitante) para ofrecer mayor resguardo a los vehículos ferroviarios.

La última alternativa se propone en la misma línea que la primera propuesta, siendo esta última diferente en las formas. El juego del arco en cuanto a la transmisión de esfuerzos es más sofisticado y ofrece una estética menos agresiva que el puente atirantado. Es una solución que presenta rigidez estructural por encima del tablero de manera que se puede ofrecer un valor estético al entorno. Además presenta un sistema resistente (*bow-string*) que reduce considerablemente los esfuerzos horizontales en cimentación al tratarse de un sistema biapoyado que transforma estos empujes en tracciones en la viga longitudinal, además las cimentaciones consistirían en dos estribos de manera que las presiones verticales transmitidas al terreno serían inferiores a las transmitidas por las otras dos soluciones anteriores.

También cabe destacar que esta solución es la que resulta más ligera de las propuestas hasta el momento.

Esta solución presenta el problema de la inestabilidad de los arcos por tratarse de arcos exentos.

Si resultase la elegida se debería prestar atención a los siguientes aspectos:

- Atender al diseño del arco con el fin de que sea capaz de resistir efectivamente fuera de su plano, en caso de mantener los arcos exentos.
- Definir un diseño más eficiente para las vigas longitudinales que las actuales vigas en T invertidas.
- Estudiar un proceso constructivo que evite la colocación de apoyos provisionales durante un largo periodo de tiempo.

En la siguiente lista se resumen las ventajas e inconvenientes de cada una de las tres soluciones:

Puente atirantado de un plano de tirantes central tipo arpa

Ventajas:

- Valor estético
- Rigidez estructural superior al tablero
- Secciones esbeltas, ventaja interesante por la limitación de canto.

Inconvenientes:

- Comportamiento estructural deficiente frente a cargas asimétricas, por lo que se deberá prestar especial atención al diseño de sección del tablero.
- Peso de la estructura elevado.
- Coste de la estructura y subestructuras elevado.
- Tipología no acorde a la luz a salvar.
- Proceso constructivo en suspensión sobre las vías de manera prolongada.

Puente de viga de hormigón pretensado de canto variable

Ventajas:

- Buen comportamiento estructural frente a cargas asimétricas.
- Función integradora.
- Coste contenido.
- Tipología acorde a la luz a salvar.

Inconvenientes:

- Limitación de canto por el resguardo exigido.
- Sistema de construcción en voladizo (suspensión) sobre las vías durante un tiempo prolongado.



Arco de tablero inferior tipo *bow-string*

Ventajas:

- Valor estético.
- Sistema estructural simple.
- Mayor ligereza que las propuestas anteriores.
- Aceras autodrenantes.
- Posibilidad de un proceso constructivo no invasivo sobre las vías del ferrocarril.

Inconvenientes:

- Inestabilidad global de los arcos exentos, requeriría un estudio para asegurar la seguridad estructural.

6. EVOLUCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

A continuación se expone la evolución que ha experimentado el diseño del puente escogido desde sus inicios hasta el resultado final. Este proceso se ha dividido en los diferentes elementos que componen la estructura, comenzado por la parte resistente y finalizando por los equipamientos.

6.1. Arco

Desde un principio se buscó que el arco dotara al puente de un aspecto visual interesante confiriéndole una sección variable en canto y anchura y que además el aumento de ancho fuera asimétrico con respecto al plano de unión de las péndolas. Este hecho hace que el arco presentará un efecto “*visera*” sobre las aceras y que además resulta beneficioso estructuralmente aportando más rigidez para combatir la inestabilidad del arco fuera de su plano. El único cambio que se registró en el arco fue disponer dos rigidizadores en lugar de tres como en su prediseño y pasar de un espesor de chapa de 32 mm a 20 mm para realizar un diseño más optimizado.

6.2. Tablero

Al igual que ocurre con el arco, el tablero se definió desde un principio como un tablero constituido por una chapa colaborante que hace las funciones de encofrado y a la vez resiste conjuntamente una vez el hormigón vertido se ha endurecido. La chapa grecada elegida es la correspondiente a la marca HIASA modelo HA-60/220 la cual cuenta con un espesor de 1,2 mm y un canto máximo de losa de 25 cm en la zona de nervaduras.



Figura X: PERSPECTIVA QUE OFRECE EL DISEÑO DEL ARCO

6.3. Subestructuras

Lo que se refiere a las subestructuras, desde un inicio se decidió cimentar mediante estribos pero, en este caso, su diseño sí ha ido evolucionando.

La primera idea fue la de realizar un estribo cerrado para el lado de Oberlandstrasse, para impedir que las tierras cubrieran las vías del ferrocarril, y un estribo abierto en el lado del aeropuerto para realizar zona ajardinada por la parte inferior del puente. El diseño que se barajó es el mostrado a continuación.

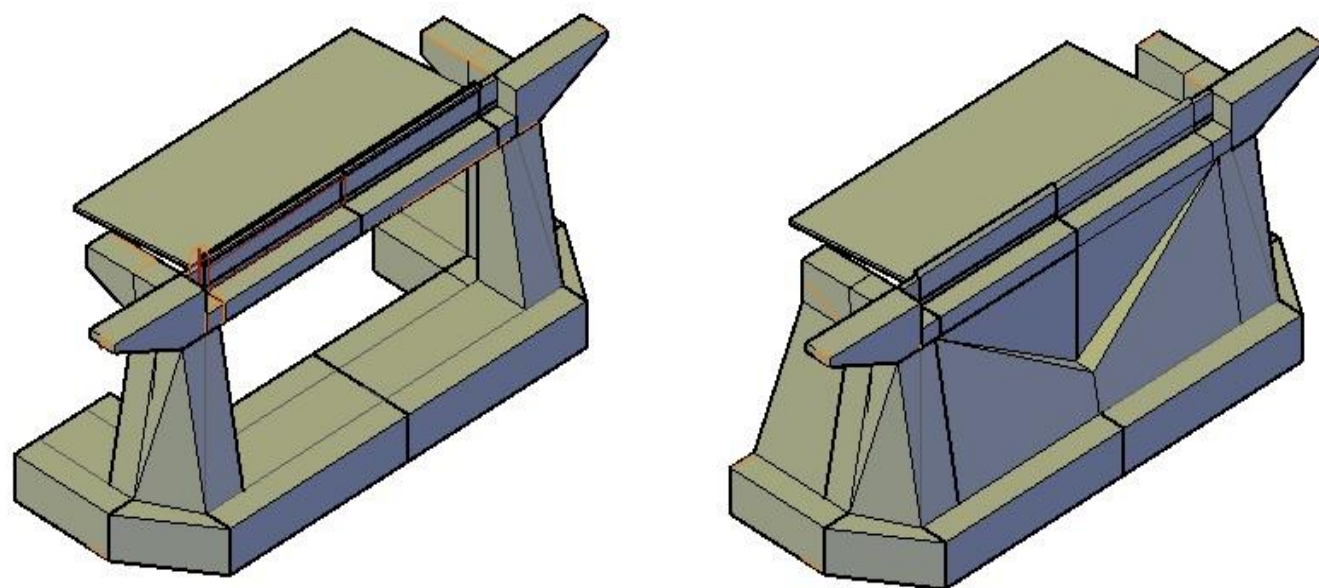


Figura XI: PERSPECTIVAS DE LOS ESTRIBOS PRIMITIVOS

A este diseño se le encontraron algunos inconvenientes como por ejemplo la continuación de las aceras, por lo que se debía aumentar el ancho de los estribos o buscar una solución eficiente a este problema.

Sin embargo, se planteó una segunda alternativa la cual constaba de dos estribos iguales para el lado norte y para el lado sur, ambos cerrados y con derrame de tierras por las aletas para permitir una zona ajardinada en los terraplenes de acceso al puente.

Esta segunda alternativa ha resultado la escogida por solventar el problema de la continuación de las tierras y por proporcionar lo buscado con el estribo abierto, es decir, la posibilidad de ajardinar las zonas próximas al puente.

El diseño elegido de los estribos es el mostrado en la figura XII.

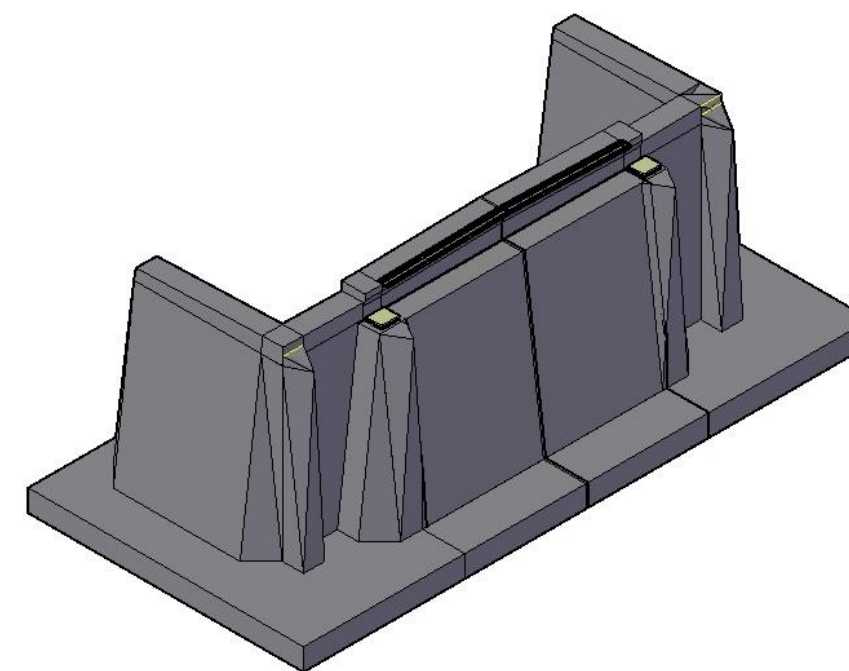


Figura XII: PERSPECTIVA DEL ESTRIBO FINAL

6.4. Equipamientos

En cuanto al tema de equipamientos se estudió el diseño tanto de las barandillas como de la iluminación a disponer en nuestra estructura.

6.4.1. Barandillas

La barandilla se tuvo claro desde un principio el diseño de la misma, únicamente se pulieron aspectos como el grosor de las chapas o el diámetro del pasamanos. Se ha procurado que cumpla la normativa al tratarse de una barandilla con huecos hacia el exterior teniendo especial cuidado en la separación en vertical de los cables.

La barandilla va unida a los extremos de los cuchillos y se realiza el acabado de la parte entre montantes de la barandilla con la colocación de una imposta de hormigón prefabricada.

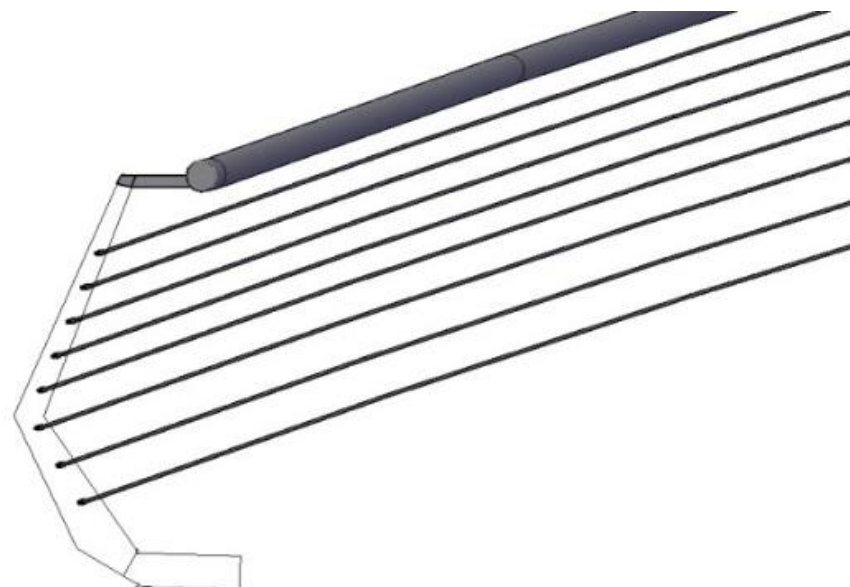


Figura XIII: DISEÑO DE LA BARANDILLA

6.4.2. Iluminación

Por último el tema a tratar es la evolución de la iluminación, la cual ha variado de iluminación horizontal para calzada e iluminación en el pretil de la acera por las expuestas a continuación.

Éstas consisten en luces horizontales empotradas en el carenado para la iluminación de las aceras (TRILUX Pareda R Plan LEDww ET 26 distribuidas cada dos metros u otras de similares características) y focos ornamentales que iluminan la zona interior del arco (TRILUX 8521 RE2R/1800-830 1G1 ET u otro similar).

Para la iluminación de la calzada se buscó iluminación horizontal pero tras multitud de pruebas no se encontró una luminaria que cumpliera las especificaciones de iluminación en puentes de carretera, por ello, la decisión final ha sido una iluminación con un diseño agradable.

La luminaria escogida ha sido la correspondiente a la marca TRILUX modelo Palme 330-FP/1x70HIT G3 IND u otro producto de similares características, la cual se puede ver a continuación.

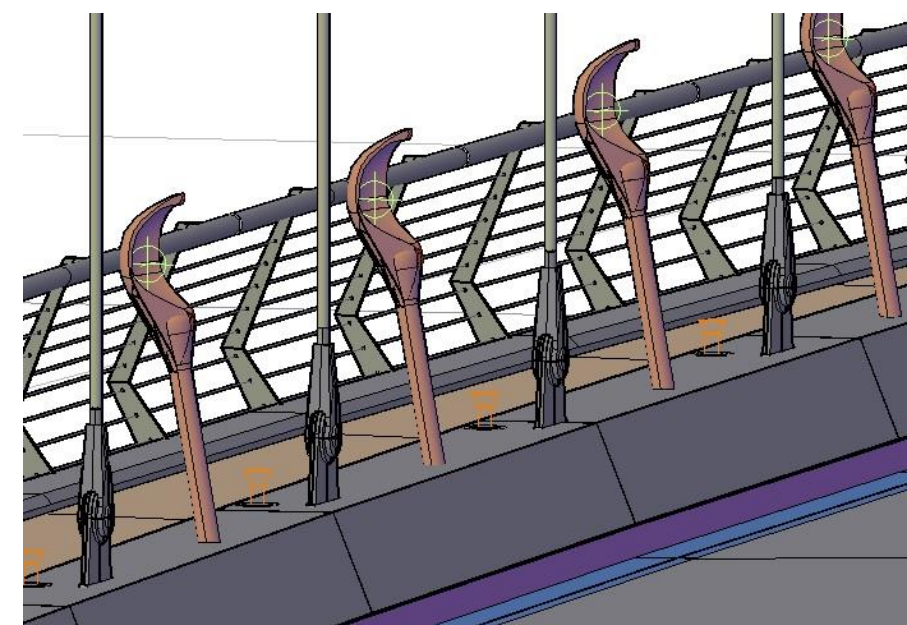


Figura XIV: PERSPECTIVA QUE OFRECE LAS ILUMINARIAS ACONSEJADAS

7. CONCLUSIÓN

En el presente documento se ha procedido al planteamiento de alternativas para el proyecto básico de puente de acceso sur al parque de Tempelhof, Berlín.

Se ha partido de la consideración de los condicionantes funcionales, constructivos, estéticos y económicos, analizando las tipologías más adecuadas para el citado puente.

Se han planteado un total de 3 alternativas, realizando una breve descripción de su geometría, estructura resistente y materiales, estudiando sus ventajas y escogiendo la alternativa que mejor se adapta a las necesidades.

La solución finalmente adoptada para el **CONCURSO DE IDEAS DEL “PUENTE DEL ACCESO SUR AL PARQUE DE TEMPELHOF, BERLÍN”**, es la correspondiente al puente arco tipo *bow-string* de acero de tablero inferior fundamentalmente por criterio subjetivo de los integrantes del grupo y por interés en estudiar el comportamiento de dicha tipología, además, se han tenido en cuenta criterios estructurales y funcionales, minimizándose los problemas de cimentación y de limitación de canto y optando por una estructura ligera.