



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Proyecto básico para el concurso del puente de acceso sur al parque de Tempelhof, Berlín. Solución A.

Trabajo final de grado

Anejo Nº1. Estudio de soluciones

Autor: Arámbul Anthony, Andrea
Tutor: Monleón Cremades, Salvador
Cotutor: Casanova Colón, José
Titulación: Grado en Ingeniería Civil
Curso: 2014-2015



Índice

- I. *Introducción*
- II. *Condicionantes*
- III. *Planteamiento de alternativas iniciales*
- IV. *Descripción de las alternativas*
 - IV.1. *Puente con arcos arriostrados laterales inclinados con tablero recto inferior*
 - IV.2. *Puente arco girado respecto a la vertical*
 - IV.3. *Puente viga*
 - IV.4. *Puente arco único de canto variable.*
- V. *Comparación de las alternativas.*
 - V.1. *Puente con arcos arriostrados laterales inclinados con tablero recto inferior*
 - V.2. *Puente arco girado respecto a la vertical*
 - V.4. *Puente viga*
 - V.5. *Puente arco único de canto variable.*
- VI. *Descripción de la solución adoptada*
 - VI.1. *Arco de hormigón*
 - VI.2. *Bloque de hormigón*
 - VI.3. *Tablero mixto.*
 - VI.4. *Anclaje de los tirantes.*
 - VI.5. *Estribos y subestructuras.*
 - VI.6. *Equipamientos.*
 - V.I.6.1. *Pavimento.*
 - V.I.6.2. *Imposta.*
 - V.I.6.3. *Defensas.*
 - V.I.6.4. *Barandillas.*
 - V.I.7. *Drenaje*
 - V.I.8. *Iluminación*
- VII. *Diseño del enlace, alrededores y parque*



I. Introducción

El objetivo del presente Anejo es el estudio de las diferentes alternativas que se plantean como solución a la necesidad de la construcción del puente de acceso Sur al Parque de Tempelhof. Las propuestas se basan en las tipologías de puentes más adecuadas según las condiciones de los pliegos, buscando siempre la innovación y sin perder de vista la optimización estructural.

Una vez escogidas las diferentes alternativas se procede a realizar un análisis de cada una de ellas. A continuación, se mostrará el proceso llevado a cabo en la elección de la solución final. Incluye tanto la selección de la tipología que mejor se adapta a las necesidades del proyecto como las diferentes soluciones de tablero y equipamientos.

II. Condicionantes

Se exponen a continuación los condicionantes que el pliego original del concurso de ideas indicaba para el Nuevo puente de acceso sur al parque de Tempelhof.

Arquitectónicos y formales:

Se espera de los participantes un diseño sofisticado en consecuencia con la finalidad de unión que tiene entre el parque de Tempelhof, la zona de Quartier Südring y los barrios circundantes. El mismo pasará por encima de la estación de S-Bahn, cuyo diseño no es objeto de este proyecto. Las proporciones, materiales y diseño deben estar utilizados adecuadamente prestando especial atención a elementos formales como pasamanos de barandilla o iluminación.

Funcionales:

El puente, de orientación N-S, se plantea como elemento de conexión entre la calle Oberlandstrasse y el límite sur del parque Tempelhof, salvando las vías de las líneas ferroviarias (4 en total, siendo 2 de ellas de la línea de metro de Berlín, S-Bahn).

El proyecto debe incluir el puente y las dos rampas de acceso, una desde la calle Oberlandstrasse y otra desde la zona sur del parque de Tempelhof. Las pendientes y cotas de los dos accesos son las siguientes:

- Acceso desde la calle Oberlandstrasse a cota +49.420 y pendiente de -3.5%
- Acceso desde el parque de Tempelhof a cota +50.169 y pendiente del 3%



Figura 1. TRAZADO EN PLANTA.

El trazado del puente debe ser recto y permitir un resguardo vertical mínimo de 1.35 m sobre la cota máxima de los vehículos ferroviarios.

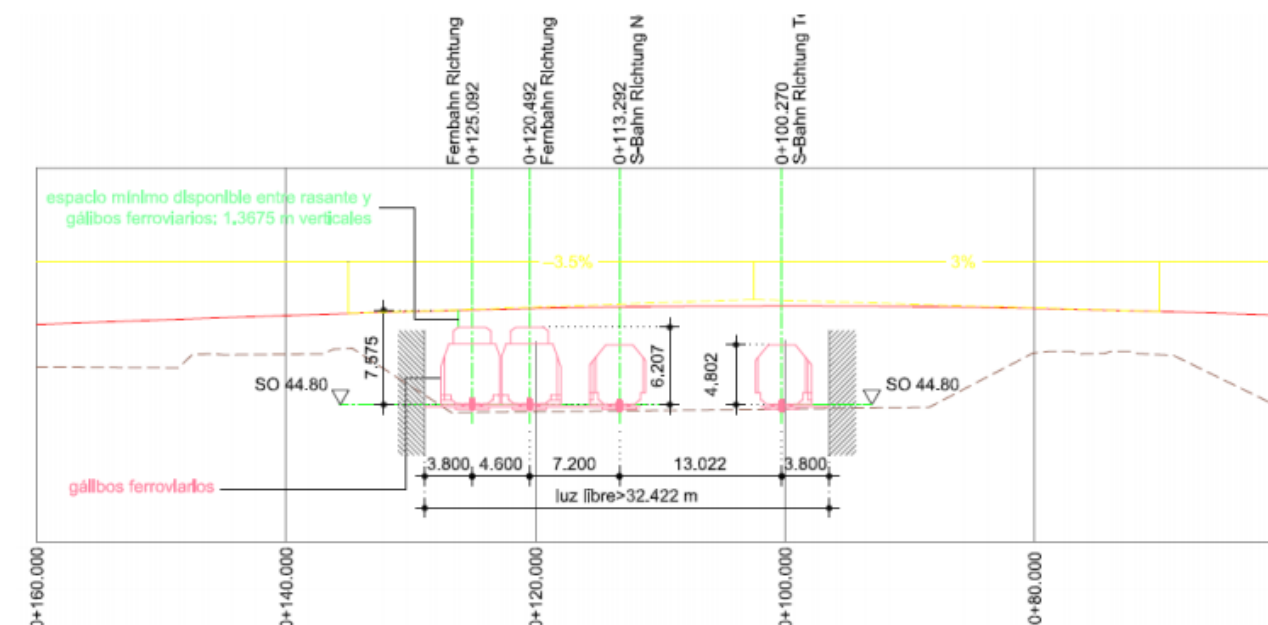


Figura 2. GÁLIBOS FERROVIARIOS.



La división de la sección transversal del puente de acuerdo con el pliego deberá ser como mínimo la siguiente:

- Ancho mínimo exigido de 18.0 metros divididos en dos carriles centrales de 3.5 m para calzada, dos carriles de 2.00 metros para carril bici y dos aceras de 3.5 metros.
- El bombeo para la calzada es de 2.5 % y el de las aceras del 2%, de modo que la sección transversal queda de la siguiente manera:

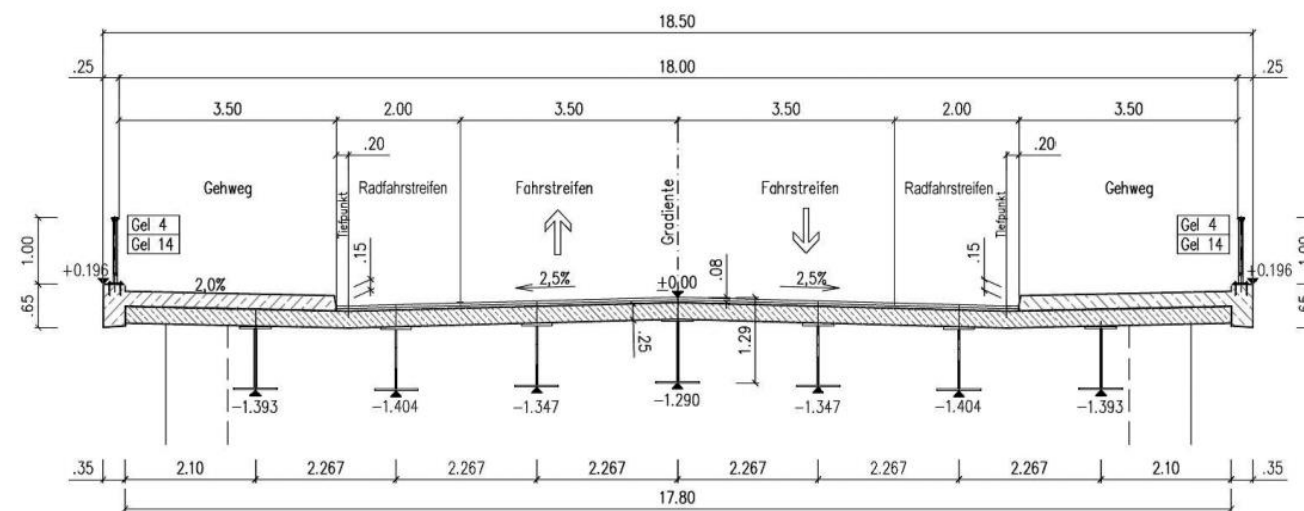


Figura 3. SECCIÓN TRANSVERSAL.

Técnicos:

- Construcción:** durante la ejecución de la obra no se colocarán apeos en vías de ferrocarril y se deberán cumplir las políticas de la empresa Deutsche Bahn AG, primera empresa ferroviaria de Alemania. Deberá protegerse además la electrificación de las vías existente.
- Reposición de servicios:** Deberán reponerse los servicios de agua potable, gas, comunicaciones, energía eléctrica de viviendas, negocios y alumbrado público.
- Drenaje:** el agua del punto más alto de la pendiente longitudinal se llevará hasta los terraplenes desde donde se llevará a las tuberías por construir.

No son necesarias medidas de protección acústica puesto que en el puente no se permiten velocidades superiores a 50 km/h y los edificios próximos no son viviendas.

Se analizará tanto la iluminación de los accesos como la del puente.

Sostenibilidad:

La estructura deberá requerir poco mantenimiento. Los materiales empleados para la construcción así como su transporte y colocación deberán respetar los criterios ambientales y tener una vida útil de elevada.

III. Planteamiento de alternativas iniciales.

Muchas son las tipologías que hoy en día se pueden plantear en el momento de diseñar un puente. Pasando desde soluciones *in situ*, prefabricadas, de hormigón o acero y las combinaciones posibles que con éstas se pueden realizar. Pero, si bien es cierto, sólo unas pocas se adaptan a las luces y condicionantes que los pliegos imponen, reduciendo, en algunos proyectos, a una o dos las tipologías posibles. Otros sin embargo, dan un abanico de posibilidades. Sea cual sea el marco en el que el puente se encuentre, la importancia funcional y estética deben ir de la mano, pues aquello que se construye debe ajustarse económicamente también. Es función del ingeniero aunar estos tres condicionantes y la durabilidad para obtener con ello los mejores proyectos posibles.

Según la tipología estructural nos encontramos con puentes:

- Rectos o viga: utilizan la flexión generalizada (flexión, cortantes, torsión, etc) como mecanismo fundamental para transmitir las cargas.
- Arco de tablero inferior, superior e intermedio: utilizan el propio arco como elemento fundamental de soporte del tablero.
- Atirantados o colgados: utilizan una serie de tirantes o un cable colgado o ambos a la vez como soporte principal del tablero

Todos estos de hormigón, armado o pretensado, acero o mixtos.

COLGANTES														
ATIRANTADOS														
ARCOS														
VIGAS														
PORTICOS														
	0	5	10	15	20	30	40	60	100	150	200	300	400	

	Óptimo
	Posible utilización

Figura 4. TIPOLOGÍA SEGÚN LUCES.

La tabla anterior, muestra lo rangos de luces óptimas según tipologías desde el punto de vista económico, pero es en el diseño de puentes urbanos, como el que nos acontece, en los que la búsqueda de unos determinados elementos formales hace que nos separemos de ella y sea la estética el elemento determinante. Es por ello que en el proceso de elección de las diferentes partes así como del puente en general el aspecto estético juega un papel fundamental.

Teniendo en cuenta los condicionantes que impone el pliego, se descartan todas aquellas soluciones cuyo elemento resistente se encuentra por debajo del tablero para poder cumplir así con los gálibos exigidos. De esta forma, se descartan las tipologías siguientes:

- Puentes pórticos de apoyos inclinados:** Se trata de una morfología que se adapta bien en cortes profundos del terreno, no siendo este el caso. Además, la disposición de los apoyos inclinados dificultaría en gran medida el cumplimiento de gálibos mínimos para el paso de los vehículos ferroviarios.



- **Puentes arco de tablero superior:** La necesidad de disponer la estructura resistente por debajo del tablero conduce al mismo inconveniente que la solución anterior.
- **Puentes colgantes:** La propia naturaleza de esta tipología hace que sea descartada desde un primer momento, dado que la luz a salvar es de tan solo unos 50 metros.
- **Puente atirantado:** A priori tiene el mismo inconveniente de luces que el caso anterior, no siendo una solución óptima en nuestro caso.

Eliminadas las tipologías anteriores las restantes son las siguientes:

- Puente arco con tablero inferior.
- Puente viga.

De estas 2 tipologías, surgen las 4 alternativas que se proponen y analizan, para seguidamente elegir aquella que más se ajusta en todos los aspectos al resultado buscado.

IV. Descripción de las alternativas.

Una vez analizadas las tipologías de puentes y elegidas aquellas que más se adecúan a los condicionantes, se procede a describir las propuestas planteadas.

En primer lugar se indican las características comunes de las propuestas:

- Pendientes longitudinales de 3% y 3.5% lado parque de Tempelhof y Oberlandstrasse respectivamente.
- Gálibo inferior 1.35 m sobre cota máxima de vehículos ferroviarios.
- Inexistencia de pilas en vías ferroviarias.
- Sistema constructivo que no impidiese la circulación de vehículos ferroviarios.
- Sistema resistente superior.
- Ancho de tablero que permita circulación en dos direcciones, carril bici, aceras y circulación en caso de accidente.

IV.1. Puente con arcos arriostrados laterales inclinados con tablero recto inferior

Descripción:

La alternativa planteada consta de dos arcos laterales inclinados hacia el exterior arriostrados mediante una nervadura y una malla. De estos arcos cuelgan péndolas que sujetan el tablero.

Los arcos son de hormigón pretensado prefabricados en taller y ensamblados en la explanada adyacente a la vía. De ellos cuelgan péndolas que soportarán el tablero mediante un anclaje como se indica en la figura 6 “Sección del tablero alternativa 1”. El tablero es de hormigón, construido en la explanada y trasladado mediante grúa.

Formado por una sección con perfiles en metálicos en voladizo y sección central en hormigón. De trazado recto y adaptado a la rasante exigida.

La nervadura arriostra los arcos ayudada por una malla formada por tirantes de acero. Siguen un diseño formado por parábolas e hipérbolas que trabajan solidarias entre sí.

Las características del puente cumplen las relaciones $f/l = 1/6$, $s/h = 0.14$; siendo s la separación entre péndolas, h el espesor del tablero, f la clave del arco y l la longitud entre apoyos.

Dimensiones:

- 60 m de luz
- 10 m de alto
- 8 m de separación entre tirantes
- 1 m de ancho de tablero
- 20 m de ancho con separación entre carriles de circulación y acera donde unen las péndolas con el tablero.

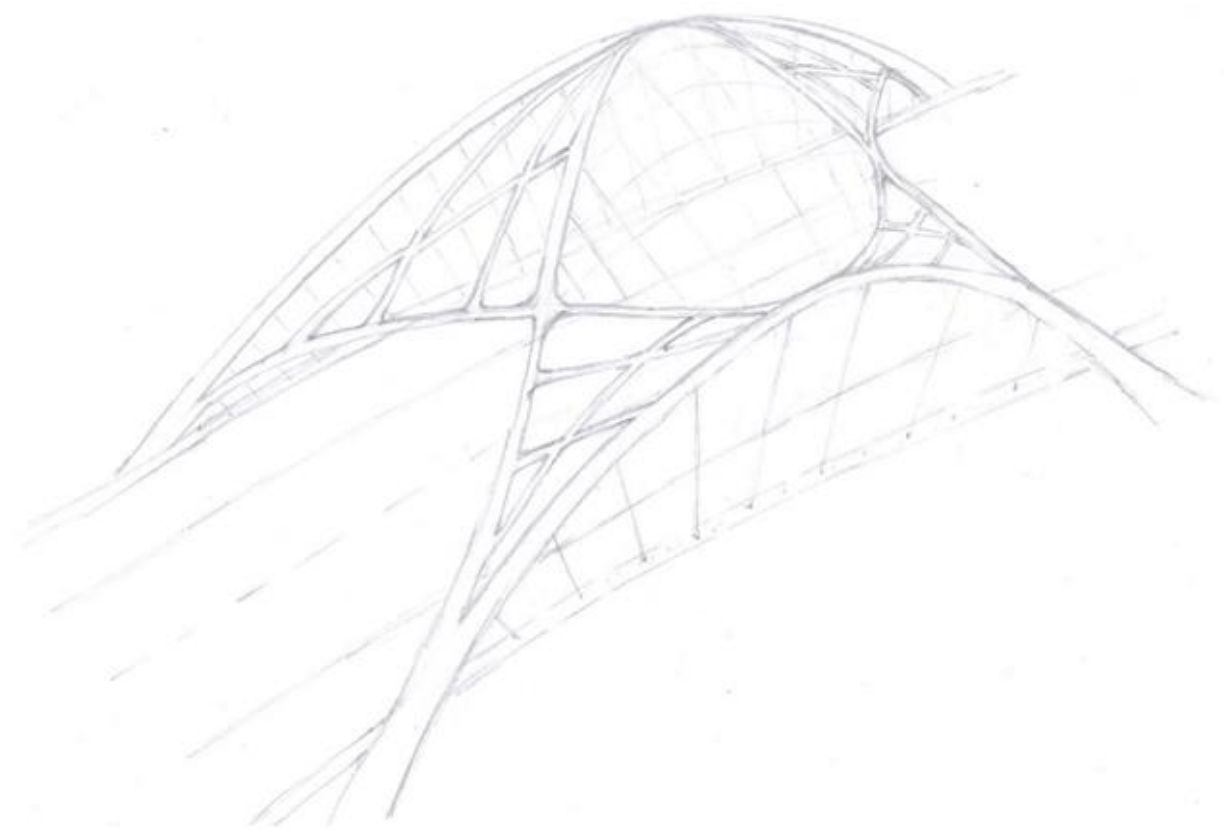


Figura 5. PLANTA DISPOSICIÓN PUENTE ALTERNATIVA 1

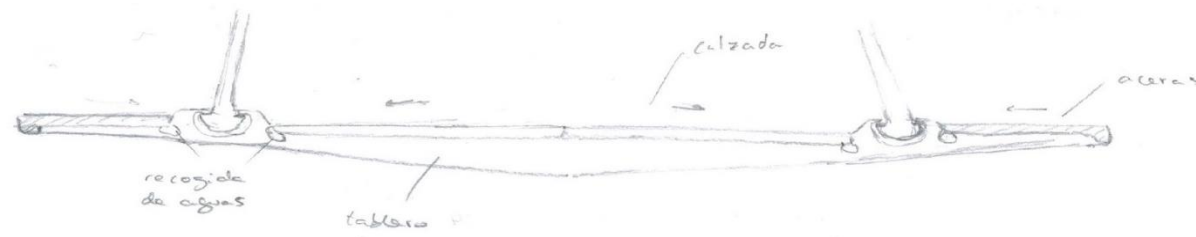


Figura 6. SECCIÓN DEL TABLERO ALTERNATIVA 1

IV.2. Puente arco girado respecto al eje vertical

Descripción:

La solución planteada está formada por un arco girado respecto al eje vertical que pasa por el centro del puente. De hormigón armado y sección trapezoidal, anclado al terreno y totalmente externo al tablero. Del centro del arco cuelgan péndolas que sustentan el tablero formando planos perpendiculares al arco en la sección de corte. El tablero está formado por una sección en cajón tricelular de hormigón con tres celdas separadas por dos almas. De los laterales del cajón salen los jabalcones. El ancho del cajón en su parte superior serán 11 m y en su inferior 9 metros. El espesor del alma central es de éste son 30 cm. Los jabalcones tendrán una longitud de 3.5 metros y un ancho variable de 0.8 metro en la unión con el cajón a 0.25 m en la parte exterior del tablero.

El puente cumple las relaciones $f/l=0.2$; $h/s=0.11$

Dimensiones:

- luz: 60 m
- ancho: 18 m
- alto arco: 12 m
- ancho del tablero 1m
- separación tirantes: 7'5 m

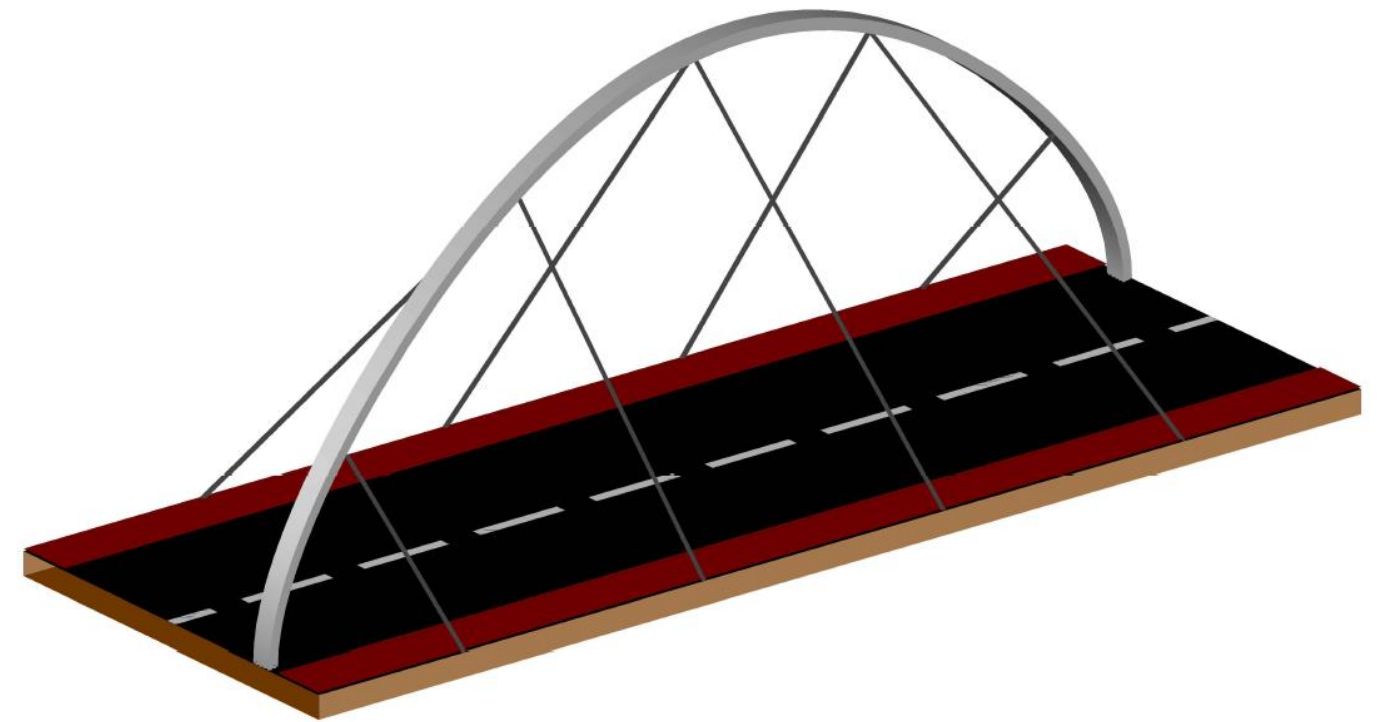


Figura 7. VISTA GENERAL ALTERNATIVA 2.

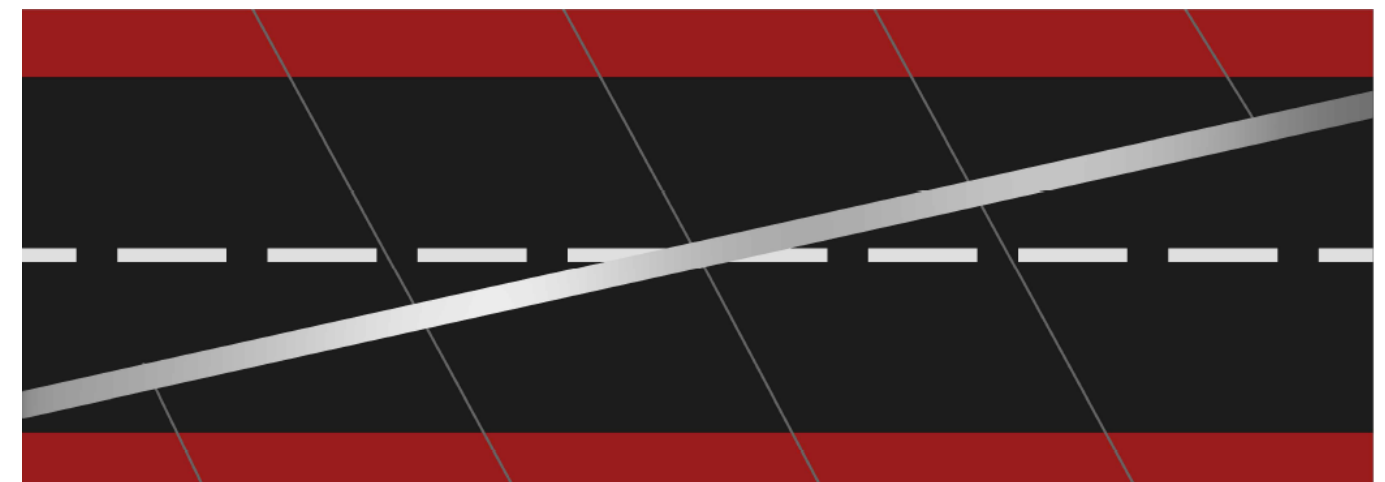


Figura 8. PLANTA ALTERNATIVA 2.

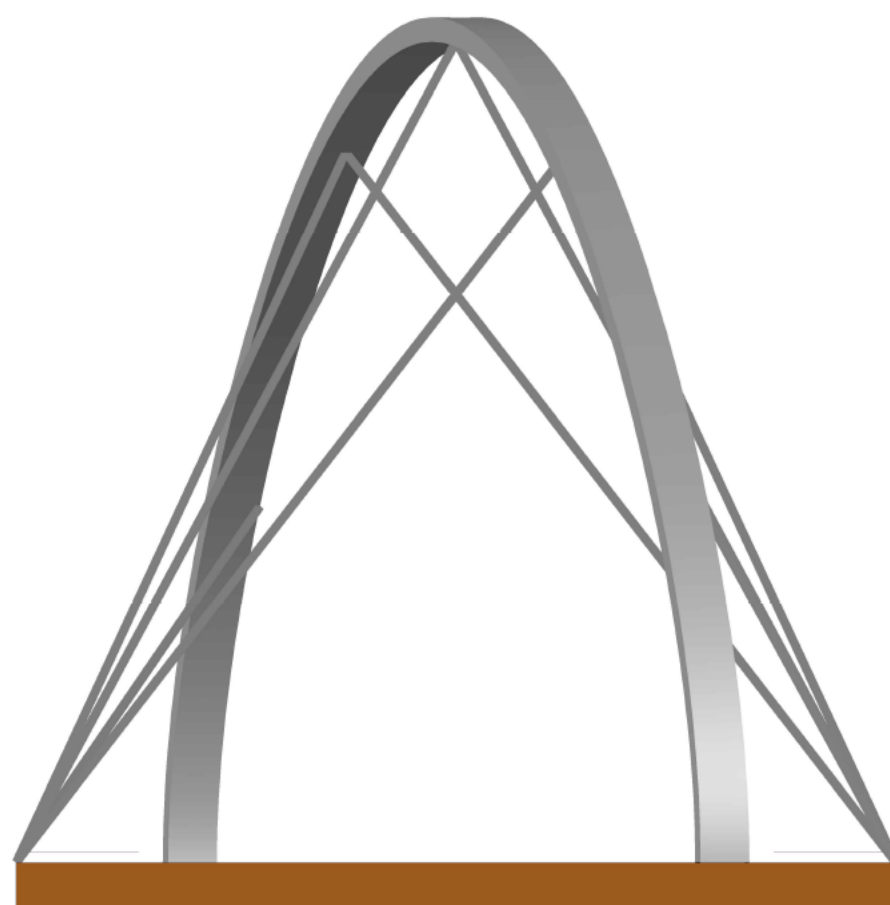


Figura 9. PERFIL ALTERNATIVA 2.

IV.3. Puente viga

Descripción:

La tercera solución consiste en un puente viga de canto variable con un vano central y dos vanos de compensación. Formado por cuatro vigas cajón pretensadas construidas en taller y llevadas a obras donde se colocan mediante grúa. Como se puede ver en la imagen, el tablero es recto en planta y está apoyado en ocho puntos en cada estribo, dos por viga. La sección varía, adaptándose a la rasante cambiando su ancho pasando de un ancho en estribos de 1.15m a uno de 0.70 m en centro de vano.

Dimensiones:

- Luz 35 m
- Ancho: 19 m
- 0.95 m de canto en centro luz y 1.40 m de canto en estribos

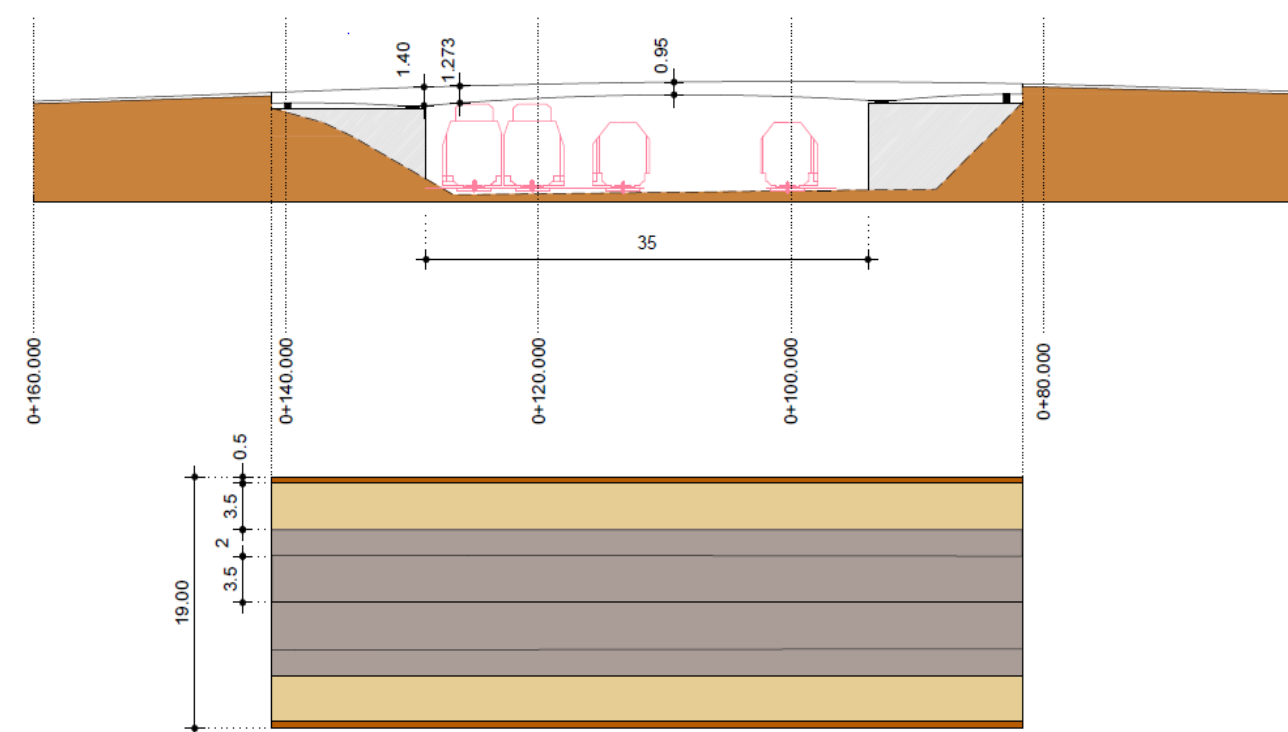


Figura 10. PLANTA Y ALZADO SOLUCIÓN 3.



Figura 11. SECCIÓN ALTERNATIVA 2.

IV.4. Puente arco único de canto variable

Descripción:

La cuarta y última solución consiste en un puente de arco central y canto variable que se desdobra en dos al llegar al final del mismo (zona del parque Tempelhof)

El arco es de hormigón armado, dividido en tres partes y con un hueco circular decorativo. Los arranques se construirán in situ y la zona central será prefabricada, en taller, mediante moldes adaptables a la forma del arco, del que se cuelgan las péndolas que sustentarán el tablero. Las péndolas irán ancladas en el lateral del arco y servirán de separación al carril bici y carretera de la acera. La línea media del puente se diseña en origen con una banda de separación, eliminada más adelante, por los condicionantes del pliego. La sección formada por un cajón metálico, con dos celdas en cuyos laterales van soldados jabalcones. Las características de los mismos se describen más adelante.

El puente cumple las relaciones $f/l=0.2$ y $h/s=0.12$

Dimensiones:

- Luz: 60m
- Ancho: 18m
- Alto del arco: 12 m
- Ancho del tablero: 0.9 m
- Separación de los tirantes: 7.5m

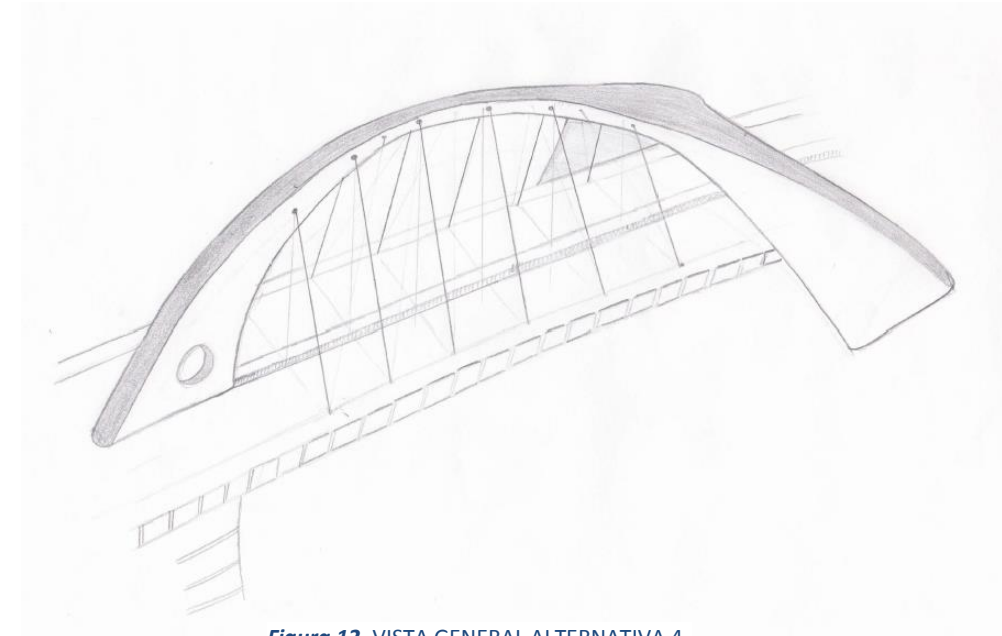


Figura 12. VISTA GENERAL ALTERNATIVA 4.

V. Comparación de las alternativas propuestas

Una vez descritas las diferentes alternativas propuestas se procede a realizar un análisis detenido de las mismas, considerando diferentes aspectos: económico, funcional y estético que permitan elegir la mejor alternativa desde todos los puntos de vista.

Se realizó una valoración aproximada de las diferentes alternativas con la finalidad de elegir de manera objetiva aquella que mejor se adaptase, como se ha dicho, desde todos los puntos de vista. El resultado fue el siguiente cuadro:

ALTERNATIVAS		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Funcionales	Unir la calle Overland con el nuevo parque de Tempelhofer Feld	SI	SI	SI	SI
	Salvar las vías de ferrocarril	SI	SI	SI	SI
Condicionantes medioambientales	Integración a la zona del parque	7	7.6	5.33	8.83
Urbanísticos	Adaptación de la estructura a la zona residencial de nivel medio-alto	8	7.33	6.66	9.33
Arquitectónicos	Adaptación a la arquitectura de la zona a ambos lados del puente	7.5	8.33	6.33	9.33
Tipología		7.33	7.33	9	9
Facilidad cálculo	Respecto a nuestro conocimientos	4.33	6	9	7.1
Facilidad de construcción	Métodos conocidos y válidos	8.33	8	8.66	8
Economía	Presupuesto aproximado aceptable	8.33	8	10	7.33
Eficiencia estructural		8.66	7.67	9.66	7.67
TOTAL		7.4	7.5	8.1	8.3



Como puede observarse la alternativa mejor desde muchos puntos de vista era la 4. Se analizará a continuación cada una de las 4 alternativas indicando de manera más detallada aquello que nos lleva a descartar o elegir la solución que más se acerca a la definitiva.

V.1. Puente arcos arriostrados laterales inclinados con tablero superior recto

Esta solución, pese a ser diferente, innovadora y estéticamente atractiva, se descartó por la gran complejidad constructiva que suponía la nervadura e inclinación de los arcos. Se buscaba una nervadura fina, que permitiese la creación de un espacio abierto pero “enjaulado” como tubo. Tal efecto se conseguía mediante unas nervaduras muy esbeltas, de forma que el hormigón que se debía colocar tenía muy poco espesor, pasándose a pensar en una solución metálica con la que no se conseguía el efecto estético buscado lo que llevó a descartar esta solución.

V.2. Puente arco girado respecto al eje vertical

La solución presentaba planos de tirantes que no cumplían con los requisitos de gálibo que la norma pide. Para cumplir con los mismos la altura del arco debía ser excesiva no adecuándose al efecto que se esperaba y a los requisitos que las reglas de buena práctica aconsejan en el caso de este tipo de arcos.

V.3. Puente viga

Es la solución más sencilla pero menos estética. Por la zona en la que se encuentra no solo el mecanismo resistente es importante sino también la riqueza que el puente aporte a las proximidades del antiguo aeropuerto, se busca un hito, un elemento que mejore la zona, que le de riqueza y con este puente no se satisface esa necesidad. Las relaciones luz flecha con las que fue diseñado eran demasiado justas. El canto de la viga resultaba muy elevado, pudiendo llegar a dar problemas con los gálibos de los vehículos ferroviarios. Por estos motivos se rechazó la solución.

V.4. Puente arco único de ancho variable

Esta solución, con los cambios que se indican en el siguiente apartado, es la que finalmente se eligió. Los motivos por los que fue seleccionada tienen que ver con la estética y resistencia ya que eran el que más se aproximaba al efecto buscado.

Por lo que respecta a la estética: el diseño, con algunas mejoras, será el original. Basado en formas curvas, esbeltas y elegantes. Por lo que respecta al mecanismo resistente: es bowstring ya que la parte metálica del tablero es la encargada de resistir las fuerzas horizontales que el arco transmite, además tiene coaccionados los momentos en los arranques mediante unos tirantes que más adelante se detallarán.

Algunos problemas que presentaba esta solución eran los gálibos y la definición de las parábolas de los arcos. Para solucionarlos se situó un bloque de hormigón en que se colocarán los anclajes de los tirantes, que servirá de separación física entre vehículos y peatones. En el siguiente apartado se describirán en detalle todos los elementos de la solución y su evolución.

VI. Descripción de la solución adoptada

La solución adoptada plantea, desde el primer momento, un arco superior de hormigón como elemento resistente y de soporte de las péndolas. Este arco es un bowstring con el giro coaccionado en apoyos y con forma parabólica en su alzado. Además de esta forma parabólica en alzado otra peculiaridad del mismo es que a aproximadamente 2/3 de su longitud el arco, que empieza siendo único, se desdobra para ser dos. Desde una vista de perfil derecho esta separación del arco en dos crea una parábola en el espacio, como una abertura que nos permite la entrada al parque de Tempelhof. Las péndolas pasan a estar anclados dos a dos a la parte metálica del arco y quedan así en el centro del éste. La sección del arco es trapezoidal y variable en todo su desarrollo.

En planta el puente es recto y en alzado, tanto transversal como longitudinalmente, se adapta a las pendientes exigidas por los pliegos. Las formas parabólicas complican en gran medida el cumplimiento de los gálibos, y es que los tirantes debían ser capaces de anclar el tablero y permitir el paso de vehículos. Surge entonces la necesidad de separar los carriles bici de las aceras mediante un bloque de hormigón, que más adelante se planteará como un elemento útil para la separación de carriles de circulación y aceras, así como la instalación de la iluminación y de las conducciones. Una vez conseguido el encaje general del puente y de los tirantes y dada la forma del arco se procede a diseñar estribos (estos han de conjugar con la estética curva del arco) y elementos de equipamiento, tales como desagües, imposta iluminación y barandillas, todo ello buscando, además de su funcionalidad, la forma estética de encaje con el tablero y el arco parabólico, que a su vez buscarán las formas del entorno urbano en el que se encuentra.

Además, el diseño del puente se completa con una urbanización y ajardinamiento de la zona afectada. Incluye la construcción de un parque con zona de merenderos, paseo, un lago y zona recreativa y el enlace que dará acceso desde la calle Oberlandstrasse y desde el parque de Tempelhof al puente. La definición de todos estos elementos se explicará más adelante durante éste y los diferentes anejos.

Dimensiones:

Las medidas definitivas del puente son:

- Luz: 60 m
- Ancho: 25.5 m
- Alto: 12 m
- Separación tirantes: 7'5 m



Figura 13. VISTA GENERAL SOLUCIÓN FINAL.

VI.1. Arco de hormigón

Arco de hormigón armado formado por dos parábolas una en alzado y otra en la bifurcación del arco a la salida en el lado aeropuerto, el diseño de estas parábolas se ajusta a los gálibos exigidos para vehículos, 5.5 metros como mínimo.

Las ecuaciones de estas dos parábolas son las siguientes:

- Alzado: $y = -0.0133x^2 + 0.8x$
- Bifurcación: $y = -0.1398x^2 + 8.8$

El arco consta de una estructura metálica interior, formada en arranques y centro por secciones tipo como las que se indican en el plano 10.2 Definición del arco. Geometría del arco. La finalidad de la utilización de estas secciones es ayudar al hormigón a soportar los esfuerzos que en el arco se producen.

De la parte metálica del centro del arco van anclados los tirantes, la unión de los tirantes al arco y la estructura metálica del tablero se resuelve como se muestra en el plano 13.5. Detalles. Péndolas.

Materiales:

- Hormigón C50/60
- Acero S-355 J2



Figura 17. ALZADO PARÁBOLA LONGITUDINAL.

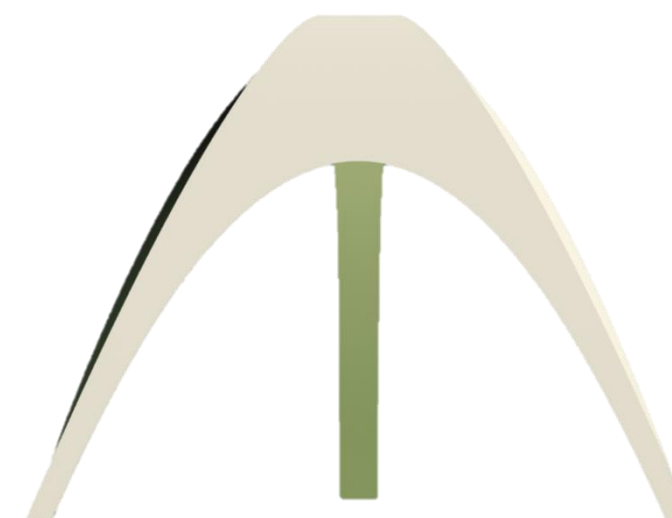


Figura 18. PERFIL DERECHO, PARÁBOLA LATERAL.

VI.2. Bloque de hormigón

El bloque de hormigón surge de la necesidad de proporcionar un gálibo adecuado a vehículos y bicicletas. En principio el anclaje de los tirantes se planteaba entre el carril bici y las aceras pero no permitía cumplir gálibos. Se tomó la decisión de colocar un bloque de hormigón que permitiese alejar la colocación del anclaje con lo que se aumentaban los gálibos. Se planteaba en un principio con un ancho 2.0 m, no obstante, se hacía imposible cumplir con los gálibos mínimos necesarios que son de 2.3 m para bicicletas y de 5.5 m para vehículos. Finalmente, su ancho es de 2.5 m, por su interior discurren los conductos necesarios para soportar la instalación eléctrica de la iluminación horizontal del puente que en él se adosa, tiene por tanto la altura necesaria para que la iluminación colocada cumpla con los requisitos exigidos por el programa DIALUX 4.1.2.

Para su diseño se han planteado varias soluciones, las cuales se pueden observar a continuación:

▪ Solución 1:

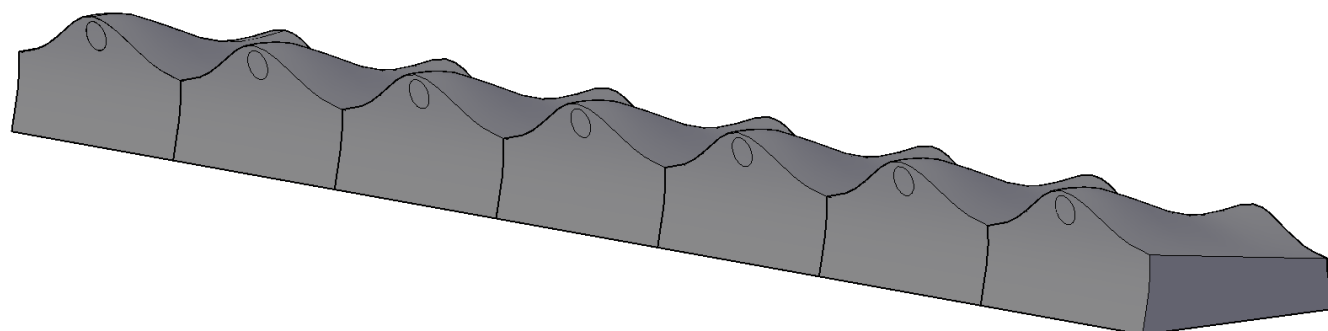


Figura 19. VISTA EN PERSPECTIVA

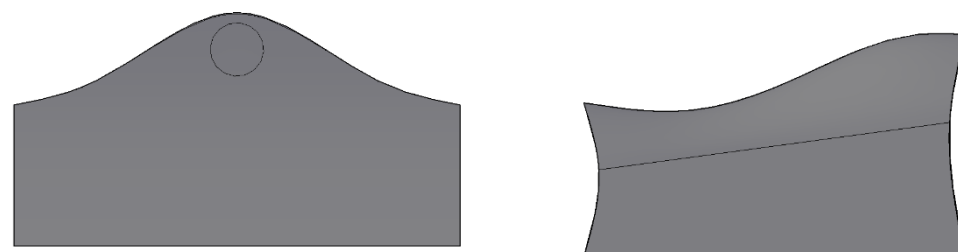


Figura 20. ALZADO Y PERFIL SOLUCIÓN 1

Esta solución se rechazó por ser difícil de construir y de estética demasiado cargada en conjunto con el del puente.

▪ Solución 2:

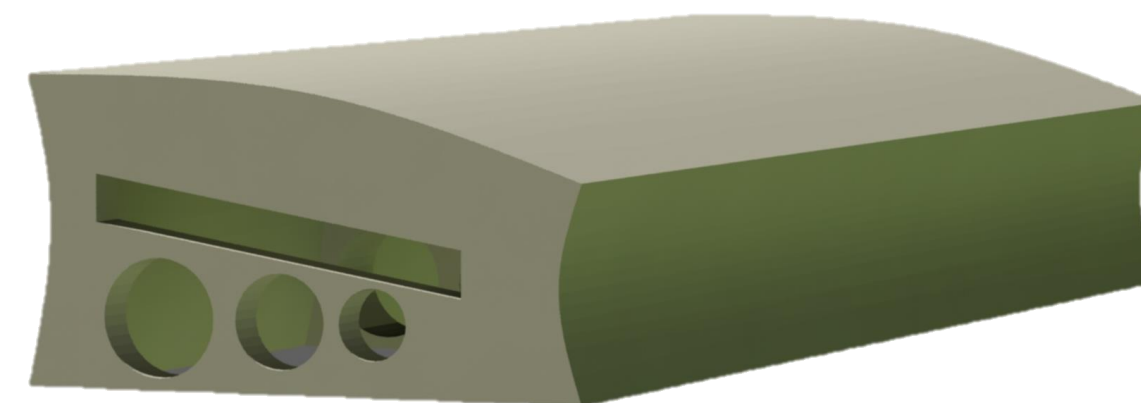


Figura 21. VISTA EN PERSPECTIVA

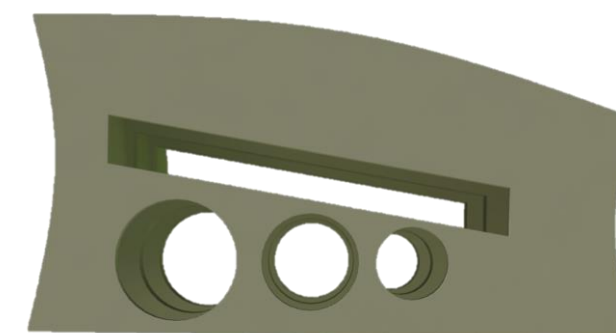


Figura 22. ALZADO CON CONDUCCIONES

Basada en la solución 1, se redujo la complejidad del paramento alabeado, mediante un trazado parabólico. Esta solución es la que finalmente se ha adoptado.



VI.3. Tablero mixto

Una vez determinados los espacios mínimos funcionales que requiere el puente y tomando las indicaciones mínimas presentes en los pliegos que se han comentado anteriormente como condicionantes, se desarrolla la sección del tablero.

Ésta consta de un espacio central necesario para el apoyo del arco de 1.2 m, dos calzadas, una a cada lado del arco de 3.5 metros, un bordillo de separación de la calzada y el carril bici de 25 centímetros, un carril bici a cada lado de 2 metros de ancho, un bloque de hormigón 2.5 metros, aceras de 3.5 metros y barandilla e imposta de 0.250m. Esta solución proviene de la combinación de los requisitos del pliego y de los requisitos funcionales de nuestra solución, que determinan el espacio mínimo para cumplir los gálibos.

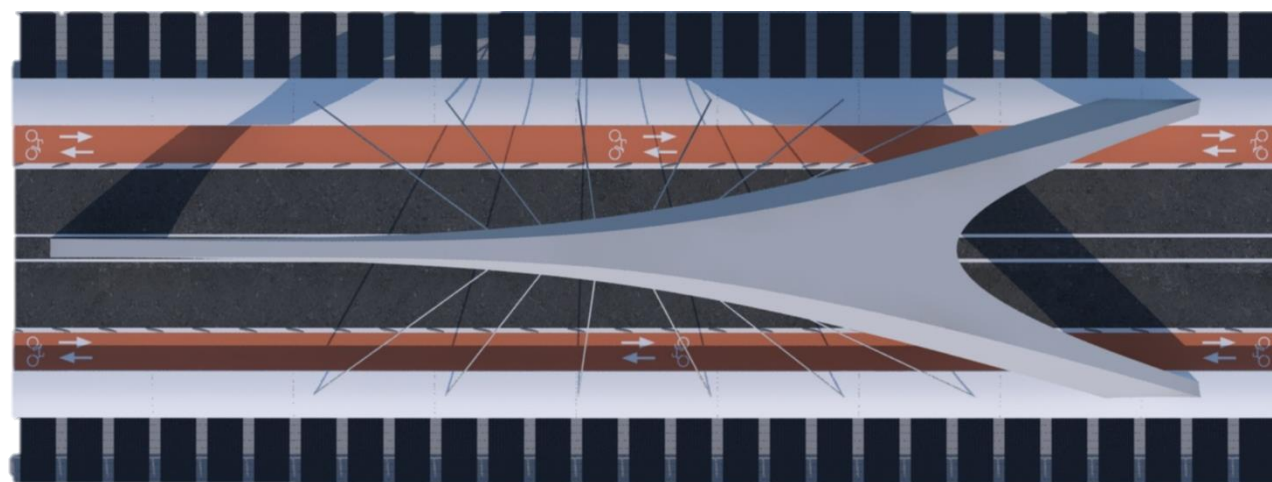


Figura 23. PLANTA DEL PUENTE.

Los elementos que forman parte de la estructura irán evolucionando a medida que el análisis estructural se vaya completando. Para más detalle se recomienda consultar el "Anejo nº 4 Diseño y comprobación estructural" redactado por los alumnos Borja Balbastre Camarena y Adrián Sedeño Porcar.

En un primer momento se plantea de la siguiente solución:

- Jabalcones con diseño propio.
- Vigas longitudinales conformadas con dos perfiles HEB 700 unidos mediante soldadura formando un cajón.
- Vigas transversales con perfiles IPE 700

Esta solución planteaba dos defectos básicos

1. No se adaptaba a las pendientes de bombeo y pendientes longitudinales que propone el pliego de prescripciones técnicas.

2. La solución propuesta de soldar los dos perfiles HEB para conformar el cajón resultaba de elevada dificultad constructiva, al no permitir la correcta unión en obra.

Por tanto, se propone resolver estos dos problemas. Para ello:

1. Se da un canto variable a los perfiles de manera que tengan canto máximo coincidente con el centro de la sección transversal y mínimo en las zonas de colocación de los desagües. Esta disposición favorece al cálculo estructural ya que aporta mayor canto al perfil en el punto central, donde mayor flector positivo ha de resistir. Permite además una reducción del tamaño de las vigas longitudinales ya que no se trata de un elemento determinante en el cálculo.
2. Se sustituye la unión de los dos perfiles para formar el cajón por un cajón metálico de dimensiones dadas y que permite la unión en obra mediante soldadura solapando parte inferior con elemento superior. Esta disposición aporta mayor facilidad constructiva.

La solución definitiva comprende esta disposición:

- Cuchillos armados dispuestos bajo de las aceras con sección variable separados 2.5 m. Las dimensiones de las secciones son de 700 mm en el entronque con el cajón y de 150 mm en la sección extrema del puente. Los espesores tanto de alma como de ala son de 25 mm.
- Vigas longitudinales dispuestos bajo los bloques de conducciones entre el carril bici y la acera con sección constante en cajón y de 7.5 m de longitud. Las dimensiones de las secciones son de 1000 mm de ancho por 700mm de alto con espesores de 25 mm.
- Vigas transversales armadas situadas bajo carril bici y calzada con sección variable separados 2.5 m. Las dimensiones de las secciones son de 700 mm en el entronque con el cajón y de 900 mm en la sección central del puente. Los espesores del alma son de 15 mm y del ala de 22 mm.

Para permitir llevar los esfuerzos que el arco produce a las vigas que deben resistirlo, se colocan unas vigas diagonales, las cuales están unidas solidariamente a una viga transversal que actúa como riostra bajo del arranque del arco en el lado Oberlandstrasse. Éstas diagonales se prolongan hasta unirse a las vigas longitudinales, y sus dimensiones son las mismas que las vigas transversales.

Sobre estas vigas metálicas apoya la chapa grecada que hará de encofrado para la losa de hormigón. La chapa grecada escogida es el perfil: HA- 60/200 (4 grecas). Esta chapa grecada, junto con los 20 cm de hormigón, permite una losa de 26 cm en la cual se dispondrá el armado necesario que más adelante en el Anejo nº4: "Diseño y comprobación de la estructura" redactado por Borja Balbastre Camarena y Adrián Sedeño Porcar, se detalla.

VI.4. Péndolas y sus anclajes

Las péndolas son los elementos cuya función es sostener el tablero. Para cumplir con los gálibos necesarios, además de definir las parábolas del arco, se han tenido que colocar las péndolas en la zona central del arco, perjudicando notablemente a la función estructural del arco

Las escogidas son los H1000 4T15 del catálogo de Freyssinet. Éstas van unidas al tablero y al arco mediante un sistema roscado en la propia péndola y una horquilla. La horquilla va unida a una cartela que se fija mediante soldadura al cajón longitudinal, y que lleva la inclinación del cable. Los anclajes al tablero se definen cada 7'5 m y al arco, en su parte central visto en alzado y con coordenadas determinadas. Por su importancia y necesidad de una buena ejecución se encuentran completamente definidos en el plano 13.5 Detalle. Péndolas.

VI.5. Estribos y subestructuras

Los estribos se plantean como un elemento masivo de hormigón armado. Se diferencian dos estribos. Por un lado, en el extremo en el que solo forma un apoyo -lado Oberlandstrasse- hay un estribo de forma curva como prolongación visual del arco. En el otro lado, en el cual el arco se abre en dos, tenemos un estribo de líneas rectas y sencillas que deja entrever la bifurcación del arco.

El estribo curvo se planteó en un principio de forma recta pero rompía con la estética general del puente por este motivo, tras probar con varias curvas se opta por una forma parabólica que sigue el trazado del arco en alzado. En planta la forma es una curva creciente hacia el interior del tablero. El recto inicialmente se pensó curvo, tras ver el resultado en AutoCAD se optó por una solución recta y más elegante que no recargaba tanto el aspecto exterior del puente.

Los aparatos de apoyo elegidos para que descansa el puente sobre los estribos son dos tipos:

Por un lado, se han dispuesto aparatos de apoyo de neopreno zunchado de la marca CTT Elastomeric Bearings o similares.

Por otro lado, debido a las grandes cargas transmitidas por la superestructura, se ha visto la necesidad de recurrir a los aparatos de apoyo tipo POT de la marca Tetron CD®, desarrollados por Freyssinet, que incorporan discos de elastómero confinado, o similares, entre los cuales se pueden distinguir las distintas gamas:

Hay 3 tipos de aparatos de apoyo:

- TETRON CD®/ FX: Está constituido por un pot, un pistón y un disco de elastómero. El aparato de apoyo Tetron CD®/FX actúa como una articulación puntual y puede transmitir esfuerzos horizontales en cualquier dirección, ya sea por adherencia a las estructuras o por medio de dispositivos de anclaje.
- TETRON CD®/ GL: Está constituido por un aparato de apoyo fijo cuyo pistón está recubierto por un disco de politetrafluoretileno (P.T.F.E.) sobre el cual se desplaza la placa superior de deslizamiento unida a la superestructura. Este diseño posibilita que el aparato se deslice libremente (es multidireccional), permitiendo desplazamientos en todas las direcciones horizontales. El aparato de apoyo Tetron CD® / GL no ha sido diseñado para transmitir esfuerzos horizontales.

- TETRON CD®/ GG: Se compone de un aparato de apoyo multidireccional provisto de una guía. Este aparato de apoyo deslizante guiado (o unidireccional) sólo permite los desplazamientos en la dirección del guiado, que se obtiene por medio de una guía central fijada en el pistón o en la placa de deslizamiento, o mediante topes laterales unidos a la placa. El aparato de apoyo Tetron CD® / GG puede transmitir esfuerzos horizontales en la dirección perpendicular al eje de guiado.

En el estribo del lado de la calle Oberlandstrasse se colocan los apoyos:

- **A1:** es FX 45000-2250
- **1D:** Neopreno zunchado 800x800x11(18+5)
- **1I:** Neopreno zunchado 800x800x11(18+5)

En el estribo del lado de parque Tempelhof se colocan los apoyos:

- **A28I:** GG 20000-1000-50
- **A28D:** GL 18000-50-20

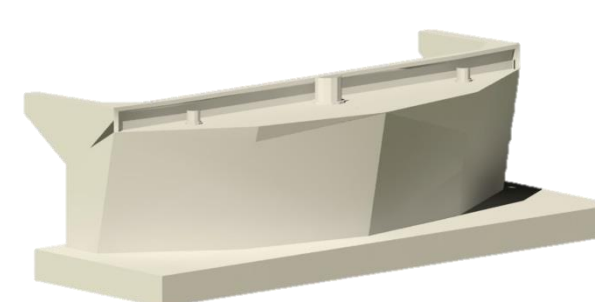


Figura 24. ESTRIBO LADO OBERLANDSTRASSE

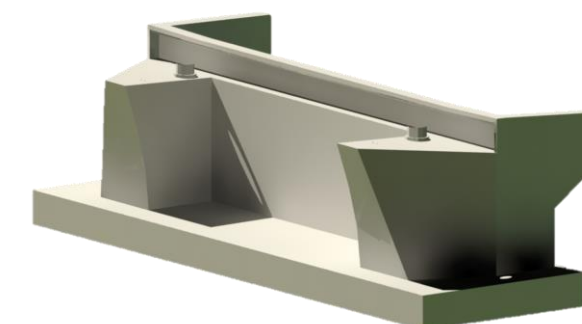


Figura 25. ESTRIBO LADO TEMPELHOF



Por lo que respecta a las juntas de dilatación del puente se ha decidido colocar juntas de dilatación de elastómero reforzado, éstas son las que más se adaptan a los movimientos máximos de nuestro puente que están en torno a los 32mm. Las juntas elegidas son de la marca transflex, o similar. Sus características técnicas son las siguientes:

Modelo	Capacidad de mov	Altura	Anchura	Long módulo	Ancho mínimo del espaldón.	φPerno
150	38 (+-19) mm	1750 mm	35 mm	1750 mm	270 mm	12 mm



Figura 26. JUNTAS DILATACIÓN.

VI.6. Equipamientos

Los equipamientos se plantean buscando en todo momento una solución integral y respetuosa con las líneas generales y diseño que se tenía del puente en origen.

Se describirán en detalle y se expondrá el cálculo necesario en el Anejo nº5: “Diseño de equipamientos” redactado por Andrea Arámbul Anthony y Alvaro Soria Cabello, se encuentran definidos gráficamente en los planos de Equipamientos 14.1 y 14.2. En este apartado se comentará únicamente como pasan a formar parte del proyecto y algunas de sus características.

VI.6.1. Pavimento

Se plantea desde un principio la solución adoptada y comentada en el Anejo nº5: “Diseño de equipamientos” redactado por Andrea Arámbul Anthony y Alvaro Soria Cabello para el pavimento bituminoso. Como resumen de lo indicado en esa parte: la categoría de tráfico es T2 según la norma “6.1. IC Secciones de firme”, el espesor máximo que permite la IAP-11 es de 10 cm por lo tanto, sobre la losa de hormigón, se reparten esos 10 cm en 4 cm para la capa de rodadura y 6 cm para la capa de intermedia-base. Para la capa de rodadura se utilizará una mezcla bituminosa semidensa en caliente AC16surfS y para la capa intermedia-base una mezcla bituminosa densa en caliente AC22binD. Como ligante, por estar en una zona térmica media se colocará, un B60/70.

El pavimento elegido para la acera VENATTO CERÁMICA TECNOLÓGICA TEXTURE y se situarán en las aceras de manera que formen una franja bicolor con el modelo “GLACIAR SOFT”40x16 como línea general y cada 2,5 metros una franja de baldosas grises tipo “TENERIFE”40x60. La disposición incluye juntas de 1,2 cm rellenas mediante material elástico para exteriores. El carril bici, se plantea en un primer momento de forma similar al de la acera, con adoquín tipo loseta boira mix del catálogo general de GLS, optándose finalmente por una opción más económica y práctica que es la de pavimentarlo de forma continua y de la misma manera que el pavimento de la calzada y con una capa de pintura superficial de color similar al que hay en la calle Oberlandstrasse.

VI.6.2. Imposta

La imposta sufre ciertos cambios que tienen que ver con su diseño y adaptación a la estética del puente. Se diseñó en principio como un elemento prefabricado rectilíneo para más adelante conformarse como un elemento integrado que incluye su función como encofrado de la acera así como un diseño curvo concordante con la forma buscada en el arco.

A continuación podemos comparar el diseño inicial con el definitivo:

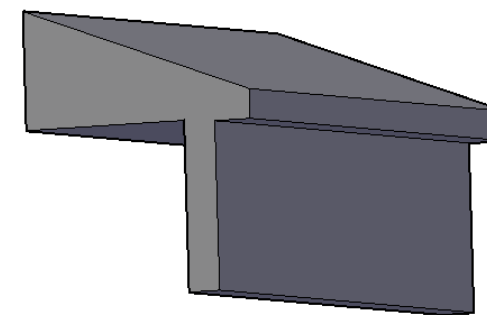


Figura 27. DISEÑO INICIAL IMPOSTA.



Figura 28. DISEÑO FINAL IMPOSTA.

VI.6.3. Defensas

El diseño de bordillos y barandillas se propuso ya desde el principio siguiendo la estética del puente mediante formas curvilíneas (en el diseño de ambos casos).

Dada la disposición del arranque del arco, el cual se encuentra en la mediana de la carretera, se han dispuesto una serie de biondas con la finalidad de evitar posibles colisiones de vehículos que puedan dañar la estructura

VI.6.4. Barandillas

Se planteó inicialmente la disposición de barandillas cada metro, no obstante, se analizaron varias alternativas hasta concluir una disposición de éstas cada 2.5 metros de distancia, coincidiendo con los jabalcones, iluminación y anchura del bloque de hormigón. El pasamano también se hace más amplio respecto al diseño inicial con la finalidad de resultar más cómodo para los transeúntes

VI.7. Drenaje

Para el diseño del drenaje se justifica el cálculo “Anejo nº5: Diseño de equipamientos redactado por Alvaro Soria Cabello”. Los elementos de drenaje dispuestos se obtienen de catálogo- Resulta más sencillo obtener una pieza de drenaje ya realizada y darle una separación adecuada para desaguar los posibles caudales que tengamos en caso de lluvia. La disposición que se obtiene por cálculo es de un elemento de desagüe cada 2.5 m en el lateral del carril bici.

V.I.8. Iluminación

Inicialmente, la iluminación de la estructura se resolvió mediante el empleo de farolas, por su sencillez, cada 7.5 metros, coincidiendo éstas entre tirantes. Se hicieron unos primeros esbozos sobre las farolas que se pueden observar para tratar de resolver con una única farola la iluminación de la calzada y la vía peatonal. No obstante, esta solución, para la tipología de puente empleada, no resultaba convincente. Parecía más adecuada la opción de colocar iluminación horizontal. Para la comprobación de este tipo de luminaria se empleó el programa informático Dialux 4.12. Se aprovechó el bloque de hormigón, comentado en apartados anteriores, para situar en éste la iluminación, diseñándose de acuerdo con los parámetros proporcionados por el programa.

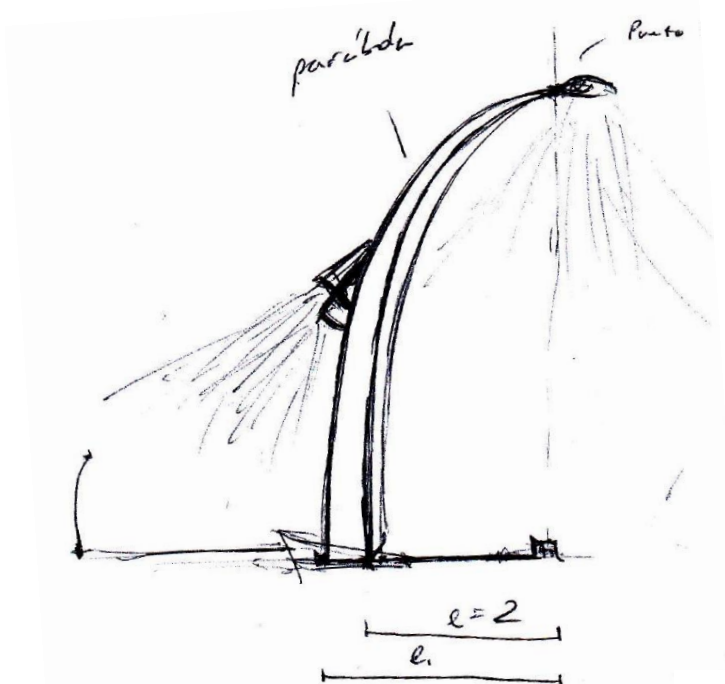


Figura 29. BOCETO FAROLA.

La solución adoptada cuenta con luces en ambos lados del paramento del bloque de hormigón, separadas 2.5 metros entre sí. Las luminarias dispuestas para la iluminación de la calzada y la vía ciclista se encuentran situadas a una altura de 1.15 metros respecto la calzada, mientras que las luminarias para la iluminación de la vía peatonal se encuentran a 0.75 metros de altura respecto del pavimento el proceso de cálculo y diseño se explica en el “Anejo nº5: Diseño de Equipamientos” redactado por Andrea Arámbul Anthony y Alvaro Soria Cabello.

VII. Diseño del enlace, alrededores y parque

El proyecto que se analiza incluía también la solución al acceso desde la calle Oberlandstrasse y desde el parque de Tempelhof al puente así como el ajardinamiento de los alrededores del mismo. La zona de actuación se muestra a continuación:

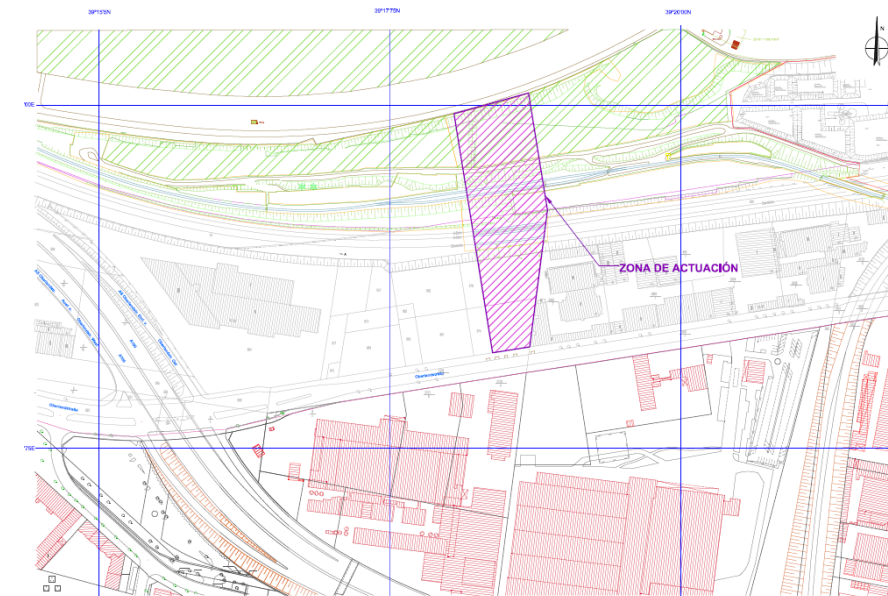


Figura 30. ZONA DE ACTUACIÓN

Como solución al acceso desde la calle Oberlandstrasse así como desde el parque de Tempelhof se propone la colocación de señalización horizontal a la salida del puente en forma de “ceda el paso” en lugar de un triángulo físico para facilitar el giro tanto a izquierdas como a derechas. En la calle de Oberlandstrasse se interrumpirán las líneas de separación de carril por la marca vial M-1.7 que indica separación de carril de entrada o salida en vía con una velocidad media $vm < 100$ Km/h.

El carril bici, por ambos lados del puente, tiene continuidad con el existente en la calle, permitiendo el cruce del puente a través del paso de cebra para peatones y bicicletas que se propone a ambos lados del puente.

La separación entre carriles se propone como una franja de 1.5 continua y rellena de franjas oblicuas para dar la suficiente separación de los vehículos al arco y para permitir, en caso de cierre de un carril, el cambio de carril de los vehículos del otro sentido. Se propone una barrera de protección del arco formada por biondas de carretera.

Los accesos al puente están iluminados mediante farolas colocadas en los laterales de la carretera en el lugar en el que en el puente se encuentra el hueco de hormigón. La luminiscencia necesaria de las farolas ha sido calculada, al igual que la iluminación horizontal del puente, con el programa DIALUX 4.1.2. por lo que se ajusta a los requisitos necesarios de las carreteras. Las barandillas del puente se continuarán hasta la finalización de los nuevos taludes. Para el parque de alrededor se propone un ajardinamiento mediante césped de toda la zona a actuar, en la que se



incluye como se muestra en el plano nº 3 “Definición general acceso” una zona con parque infantil y una zona de descanso a la derecha del puente que es donde mayor espacio hay.

En la zona de descanso se propone la creación de un lago en el que se colocará una pasarela de madera para poder cruzar de un lado a otro y una zona de picnic con merenderos y una fuente en su centro.

Por lo que respecta al parque se propone la colocación de un arenero, balancines y columpios, sobre un pavimento de seguridad de caucho. También una zona de estacionamiento de bicicletas y, como en el caso anterior, de una zona de picnic con merenderos. Todos los caminos que dan acceso a las diferentes zonas del parque serán de grava blanca. En todas las zonas se colocarán bancos, farolas y papeleras.

La delimitación de la zona de actuación se marca con bardisas, a su lado se colocarán setos boj, prunus laurocerasus o similares. Los árboles que se plantarán serán fresnos, castaños de indias u otras especies propias de la zona en concordancia con el parque y la vegetación de alrededor.

La delimitación de la carretera se separará mediante membrilleros en flor u otros árboles o plantas de tamaño pequeño y aspecto colorido.

VIII. Vistas solución definitiva.



Figura 31. INFOGRAFÍA. VISTA LADO OBERLANDSTRASSE

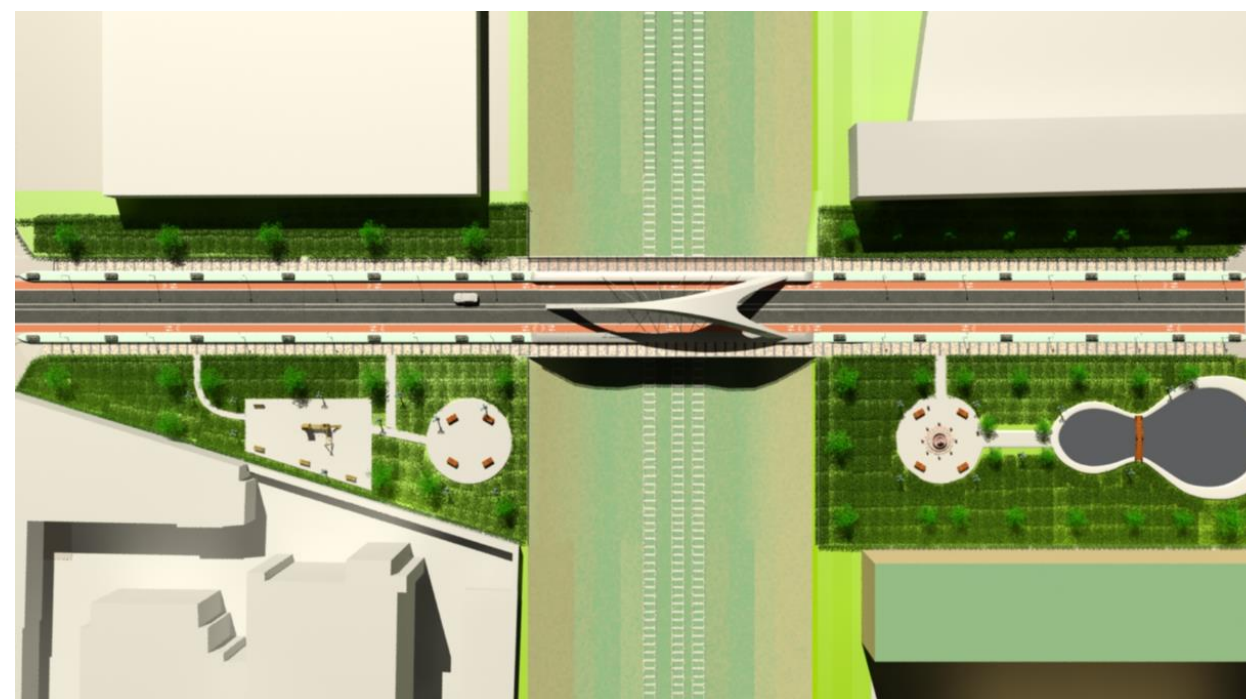


Figura 32. INFOGRAFÍA. VISTA EN PLANTA



IX. Conclusiones

Intentado resolver las necesidades del ayuntamiento de Berlín y teniendo en cuenta todos los condicionantes que el pliego original del proyecto básico para el concurso del puente de acceso sur al parque de Tempelhof exigía se intenta, a lo largo de este anejo, explicar el proceso de elección y diseño de la alternativa más adecuada para el emplazamiento singular en el que nos encontramos sin olvidar aspectos constructivos, funcionales y resistentes. Es por ello, que en los puentes urbanos nos apartamos de las soluciones más óptimas estructuralmente para centrarnos en soluciones más estéticas que cumplan la función formal buscada y que se adapten.

En la parte final del documento se explica el proceso seguido en el diseño de los equipamientos. Por último, se propone una solución para el enlace del puente con las calles que une y la urbanización de la zona de actuación.



ANEXO AL ANEJO Nº1 ESTUDIO DE SOLUCIONES. BIBLIOGRAFÍA

Libros

FREYSSINET (2010). *Tetron CD®. Aparatos mecánicos de apoyo*. Francia: Editorial soletanche Freyssinet
CARLOS FERNANDEZ CASADO S.L. OFICINA DE PROYECTOS. *De parte a parte*. Madrid
MONLEÓN CREMADES, S. (2013). *Curso de concepción de puentes. Parte (I): Diseño de puentes*. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, S., DURÁN FUENTES, M., NOVOA RODRÍGUEZ, M., CHÍAS NAVARRO, P., ABAD BALBO, T., NÁRDIZ RODRÍGUEZ, C., FERNÁNDEZ TROYANO, L y HADID Z. (2009). *Puentes de España. Tránsitos de culturas*. Barcelona: LUNWERG, S.L.
GLS PREFABRICADOS. *Catálogo* 2011. Lleida

Normativa

España. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. IAP-11, Mayo de 2012.
España. Orden circular 36/2015 sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles. TOMO I Y TOMO II. 2015.

Páginas web

MEXPRESA
< http://www.mexpresa.com/productos/juntas_t.php > [Consulta: 1 de Mayo de 2015]
FREYSSINET. *Catálogo de tirantes*.
< <http://www.freyssinet.es/pages/tirantes.html#sistema2000> > [Consulta: 17 de Mayo de 2015]

Tesis y proyectos.

Jorgera Lucerga, JJ. (2007). *Estudio del comportamiento de los puentes arco espaciales*. Director: Javier Manterola Armisén. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
Perea Morales, Carlos. (2012). *Proyecto constructivo de un puente sobre la riera de Rubí*. Tutores: José Manuel Gonzalez López y Jesús Miguel Bairán García. Proyecto de fin de carrera. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.