



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

Trabajo final de grado

**Autores:** Arámbul Anthony, Andrea; Balbastre Camarena, Borja; Sedeño Porcar, Adrián; Soria Cabello, Alvaro

**Tutores:** Casanova Colón, José; Castro Bugallo, María Carmen; Domingo Cabo, Alberto; Izquierdo Silvestre, Francisco Ángel; Lázaro Fernández, Carlos Manuel; Monleón Cremades, Salvador

**Titulación:** Grado en Ingeniería Civil

**Curso:** 2014-2015



## AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar, y como no podía ser de otra forma, queremos agradecer a nuestros padres todo el apoyo que desde hace años nos brindan. Muchas son las veces en las que no hemos estado, muchos los enfados y nervios pagados con vosotros simplemente por ser los que más cerca estabais y vosotros siempre estáis a nuestro lado, siempre con nosotros en los buenos y no tan buenos momentos. Siempre apoyándonos cuando posiblemente ni nosotros mismos confiábamos en que podríamos llegar al punto en que hoy nos encontramos. Somos graduados en Ingeniería Civil y sin lugar a dudas el logro es compartido. Sin vosotros no estaríamos donde hoy estamos.

En segundo lugar a nuestros hermanos, a los que día a día han estado con nosotros o a los que desde casa os enviaban sus ánimos. También a todos los tíos y abuelos, nos olvidamos de ellos muchas veces pero son fundamentales en nuestra vida. Y a nuestros amigos, esos a los que no vemos en tiempo pero que al volver las cosas no han cambiado.

Por último, y no menos importante, a nuestros tutores, por atendernos y ayudarnos en cuantas dudas nos surgían. Llegados a este punto nos gustaría, con el permiso de los demás tutores, agradecer de especial manera a los profesores José Casanova, Carlos Lázaro y Salvador Monleón. Gracias por confiar en nosotros y permitirnos realizar este trabajo con vosotros, por transmitirnos todos vuestros conocimientos, por atendernos y ser pacientes con nosotros, por darnos ánimos y mostrarnos que el mundo de las estructuras es algo más. Este trabajo no va a hacer que nos separemos de ellas más bien nos anima a seguir.

## RESUMEN

El Ayuntamiento de Berlín propuso en julio de 2012 un concurso con carácter internacional para el Proyecto Básico para el Concurso del puente de acceso sur al parque de Tempelhof, fruto del desarrollo urbanístico del área cercana al nuevo parque de Tempelhof. Este Trabajo de Fin de Grado trata de recrear las condiciones del proyecto básico anterior con la finalidad de dar una solución detallada, de acuerdo a lo que se pide, a la necesidad propuesta. Para ello, se han propuesto y comparado una serie de alternativas posibles de acuerdo a las condiciones exigidas en el Pliego, de las cuales, se ha obtenido la solución propuesta para el concurso. Una vez obtenida, se ha diseñado toda la parte relativa a los equipamientos de la estructura. Posteriormente, para recrear las condiciones reales, se ha modelizado la estructura mediante la utilización de un programa de elementos finitos, con la finalidad de obtener los esfuerzos en toda ella. Una vez obtenidos los esfuerzos, se han hecho las diversas comprobaciones tanto estructurales como geotécnicas para asegurar la estabilidad de la estructura. Finalmente, se ha desarrollado un posible proceso constructivo y se ha elaborado el presupuesto de la solución.

## ABSTRACT

Berlin City Council proposed in July 2012 a contest with an international character to the Basic Project for the South Bridge Contest access to Tempelhof Park, the result of an urban development of the area near the new Tempelhof Park. This Final Degree Work tries to recreate the conditions of the previous basic project in order to give a detailed solution, according to what it is asked to the given the proposal. To do this, they have been proposed and compared a number of possible alternatives according to the conditions provided in the Pliego, from it has been obtained the solution proposed for the contest. Once obtained, it is designed all equipment related to the structure. Subsequently, to recreate the actual conditions, the structure has been modeled using a finite element program with the aim of obtaining efforts throughout it. Once the efforts have been obtained, various tests as structural as geotechnical have been realised to ensure the stability of the structure. Finally, we have developed a possible construction process and a budget of the solution has been developed.



## ***Índice general***

- I. *Documento Nº 1: Memoria*
  - I.1. *Anejo Nº1: Estudio de soluciones*
  - I.2. *Anejo Nº2: Informe geotécnico*
  - I.3. *Anejo Nº3: Diseño y comprobación de la cimentación*
  - I.4. *Anejo Nº4: Diseño y comprobación de la estructura*
  - I.5. *Anejo Nº5: Equipamientos*
  - I.6. *Anejo Nº6: Proceso constructivo*
  - I.7. *Anejo Nº7: Plan de obra*
  - I.8. *Anejo Nº8: Infografías*
- II. *Documento Nº 2: Planos*
- III. *Documento Nº 3: Presupuesto*



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

### Documento Nº 1. Memoria y Anejos

**Autores:** Arámbul Anthony, Andrea; Balbastre Camarena, Borja; Sedeño Porcar, Adrián; Soria Cabello, Alvaro

**Tutores:** Casanova Colón, José; Castro Bugallo, María Carmen; Domingo Cabo, Alberto; Izquierdo Silvestre, Francisco Ángel; Lázaro Fernández, Carlos Manuel; Monleón Cremades, Salvador

**Titulación:** Grado en Ingeniería Civil

**Curso:** 2014-2015



## **Índice**

*Memoria*

*Anejos a la memoria*

*Anejo nº1. Estudio de soluciones*

*Anejo nº2. Informe geotécnico*

*Anejo nº3. Diseño y comprobación de la cimentación*

*Anejo nº4. Diseño y comprobación de la estructura*

*Anejo nº5. Diseño de equipamientos*

*Anejo nº6. Proceso constructivo*

*Anejo nº7. Plan de obra*

*Anejo nº8. Infografías*



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 Memoria

**Autores:** Arámbul Anthony, Andrea; Balbastre Camarena, Borja; Sedeño Porcar, Adrián; Soria Cabello, Alvaro

**Tutores:** Casanova Colón, José; Castro Bugallo, María Carmen; Domingo Cabo, Alberto; Izquierdo Silvestre, Francisco Ángel; Lázaro Fernández, Carlos Manuel; Monleón Cremades, Salvador

**Titulación:** Grado en Ingeniería Civil

**Curso:** 2014-2015



## ***Índice***

- I. Objeto del documento y organización del TFG*
- II. Objeto del proyecto básico*
  - II.1. Situación*
  - II.2. Emplazamiento*
- III. Antecedentes, limitaciones y condicionantes*
  - III.1. Antecedentes*
  - III.2. Limitaciones*
- IV. Normativa*
- V. Geotécnica*
- VI. Estudio de soluciones*
- VII. Solución adoptada*
- VIII. Proceso constructivo*
- IX. Plazo de ejecución*
- X. Presupuesto*
- XI. Documentos*



## I. Objeto del documento y organización del TFG

Los siguientes documentos tienen la finalidad de ser el Trabajo de Fin de Grado de los alumnos Andrea Arámbul Anthony, Borja Balbastre Camarena, Adrián Sedeño Porcar y Álvaro Soria Cabello. Los mismos están englobados dentro del marco de la competición del proyecto básico para el concurso de ideas del nuevo puente de acceso sur al parque de Tempelhof. Es por tanto, un proyecto básico. Se define a continuación el alcance del mismo:

La selección justificada de los materiales y disposiciones geométricas de elementos estructurales y equipamientos quedarán justificadas en el diseño estructural y diseño de equipamientos respectivamente además, quedará todo recogido en los planos.

Las secciones y elementos que se analizarán para la verificación de las comprobaciones geotécnicas y estructurales son los críticos desde el punto de vista de la seguridad en la construcción. Se tendrán en cuenta siempre las comprobaciones de los principales ELS relacionados con funcionalidad y durabilidad.

Los alumnos han sido tutorados por Don José Casanova Colón, Doña Carmen Castro Bugallo, Don Alberto Domingo Cabo, Don Carlos Lázaro Fernández, Don Francisco Izquierdo Silvestre y Don Salvador Monleón Cremades.

El trabajo, como proyecto básico, ha sido dividido en 4 partes. Los redactores de cada una de estas partes son:

### Documento Nº1: Memoria y Anejos

- **Memoria:** Andrea Arámbul Anthony  
Borja Balbastre Camarena  
Adrián Sedeño Porcar  
Alvaro Soria Cabello
- **Anejo Nº 1. Estudio de soluciones:** Andrea Arámbul Anthony
- **Anejo Nº 2. Informe geotécnico:** Borja Balbastre Camarena
- **Anejo Nº 3. Diseño y comprobación de la cimentación:** Borja Balbastre Camarena
- **Anejo Nº 4. Diseño y comprobación de la estructura:** Adrián Sedeño Porcar.
- **Anejo Nº 5. Diseño de equipamientos:** Andrea Arámbul Anthony y Álvaro Soria Cabello
- **Anejo Nº 6. Proceso constructivo:** Alvaro Soria Cabello
- **Anejo Nº 7. Plan de obra:** Alvaro Soria Cabello

- **Anejo Nº 8. Infografías:** Andrea Arámbul Anthony  
Borja Balbastre Camarena  
Adrián Sedeño Porcar  
Alvaro Soria Cabello

**Documento Nº2: Planos:** Andrea Arámbul Anthony  
Borja Balbastre Camarena  
Adrián Sedeño Porcar  
Alvaro Soria Cabello

**Documento Nº3: Presupuesto:** Alvaro Soria Cabello

Quedan excluidos, por la propia naturaleza del trabajo, los siguientes documentos:

- Anejo de justificación de precios
- Pliego de condiciones técnicas particulares
- Cuadro de precios Nº1 y Nº2

Se excluye del alcance del presente TFG cualquier cálculo dinámico, incluido sismo y las comprobaciones de fatiga.

## II. Objeto del proyecto básico

En julio de 2012, fruto del desarrollo urbanístico del área cercana al nuevo parque de Tempelhof, el Ayuntamiento de Berlín propone un concurso con carácter internacional para la Construcción del Nuevo Puente de Acceso Sur al parque de Tempelhof. El futuro puente conectará la calle Oberlandstrasse, donde se encontrará la nueva zona residencial y comercial llamada Quartier Südring, con el límite sur del parque, salvando las vías de diversas líneas ferroviarias y dando continuidad a la red de transporte urbano y peatonal. Este proyecto básico trata de dar solución a esta necesidad a la vez que aportar un valor añadido a la futura zona residencial.

El objeto de este proyecto básico Puente de acceso Sur al parque de Tempelhof es dar una descripción detallada, a nivel de proyecto básico, de la solución que se plantea para resolver lo que el ayuntamiento de Berlín necesita.

### II.1. Situación

El puente de Acceso Sur al parque de Tempelhof se localiza en la ciudad de Berlín, al noroeste de Alemania. Berlín es la capital del país y uno de sus dieciséis estados federales, está rodeado por el estado federal de Brandenburgo. Se trata de la ciudad más poblada de Alemania y una de las más pobladas de Europa. De los 892 km<sup>2</sup> de superficie con que cuenta la ciudad, 60 corresponden a ríos o espejos de agua y 264 a parques o zonas verdes, entre las que se encuentra el parque de Tempelhof.

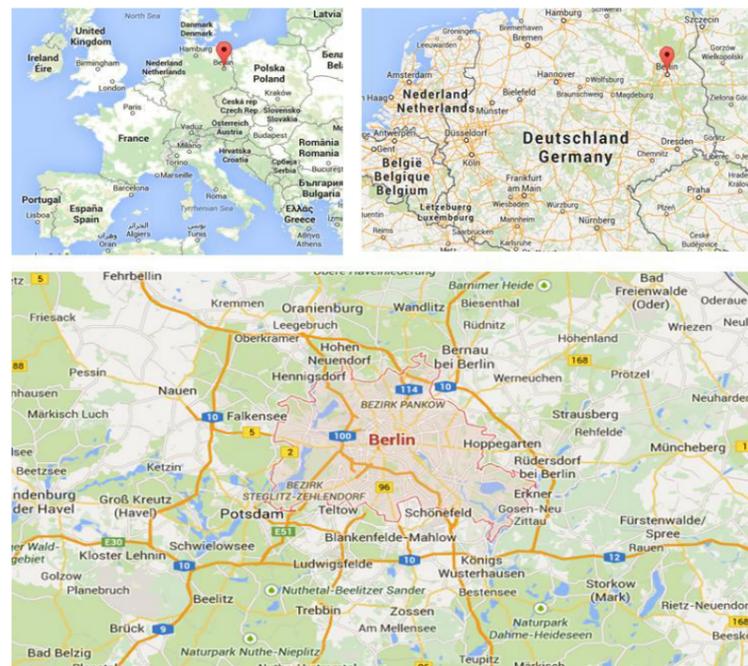


Figura 1. UBICACIÓN DE BERLÍN

## II.2. Emplazamiento

El emplazamiento de la obra a realizar se extiende desde la zona sur del parque Tempelhof hasta la calle Oberlandstrasse. El parque se sitúa en los distritos municipales de Tempelhof-Schöneberg muy cerca del centro histórico de la ciudad. Se ubica en el punto Kilométrico 0+227.173 de la calle Oberlandstrasse y perpendicular a ésta hacia la zona sur del parque Tempelhof.

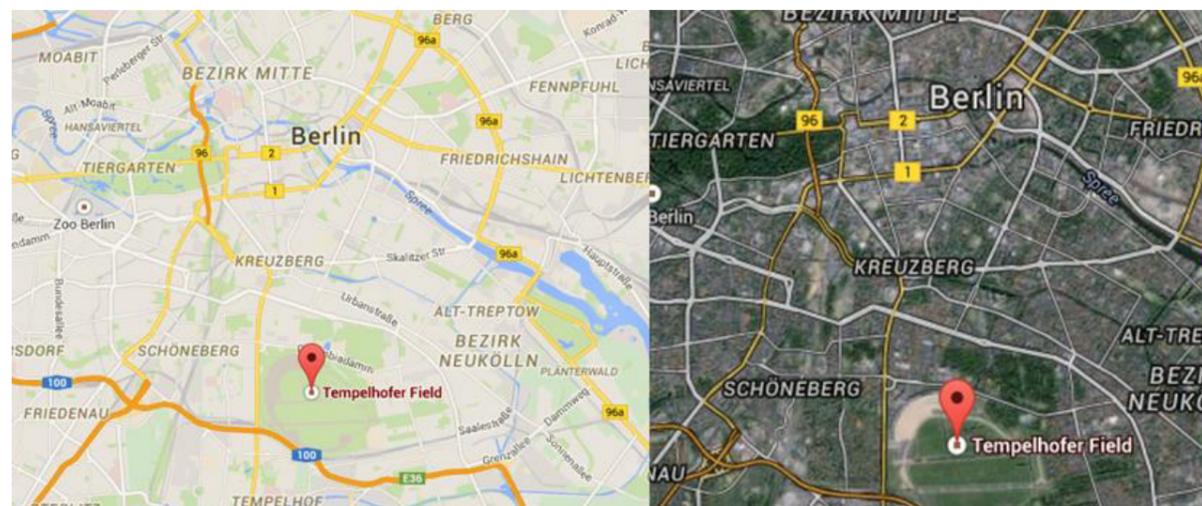


Figura 2. EMPLAZAMIENTO DEL PARQUE

## III. Antecedentes, limitaciones y condicionantes

### III.1. Antecedentes

Como se ha indicado, la obra se sitúa cerca del parque de Tempelhof, en el antiguo aeropuerto con el mismo nombre. Los orígenes del aeropuerto de Tempelhof datan de los años 20, pero no es hasta el año 1936 cuando se inicia la construcción de la nueva terminal. Surge como parte del ambicioso y monumental plan urbanístico de reconstrucción de Berlín de Albert Speer, arquitecto jefe del Tercer Reich. El diseño del edificio se le encomienda a Ernst Sagebiel, con un estilo de líneas inspiradas en el clasicismo y monumentalidad. Una vez concluido, en el año 1941, era la construcción más grande del mundo.

Entre sus elementos más importantes destaca la terminal semicircular, de más de 1.200 metros de longitud; la secuencia de torres y porches, con edificios de viviendas en curva dando a la calle; la gran plaza exterior de acceso al edificio y, hacia el espacio aéreo y la gran marquesina metálica de más de 50 metros de vuelo, que resuelve la cubierta plana del edificio.

El Departamento del Senado para el Desarrollo Urbanístico de la ciudad de Berlín, encargado de la renovación del área de Tempelhof y preocupado por su futuro desde los años 90 saca a información pública, en la primavera de 2008, el plan director que divide el área de los alrededores del antiguo aeropuerto de Tempelhof en cuatro distritos destinados a diferentes usos que dejan en medio un espacio abierto de 230 hectáreas destinado a la creación de un parque para diferentes usos. Una de esas zonas es la de Quartier Südring, al lado de la autopista A100 y en la zona sur del parque. El desarrollo de esta zona supone la necesidad de la unión del parque de Tempelhof con la misma lo que lleva a plantearse la construcción de un puente que salve superiormente las vías del ferrocarril y que una la calle Oberlandstrasse, límite norte de la zona Quartier Südring, con el parque, dando continuidad a la red de transporte urbano y peatonal.

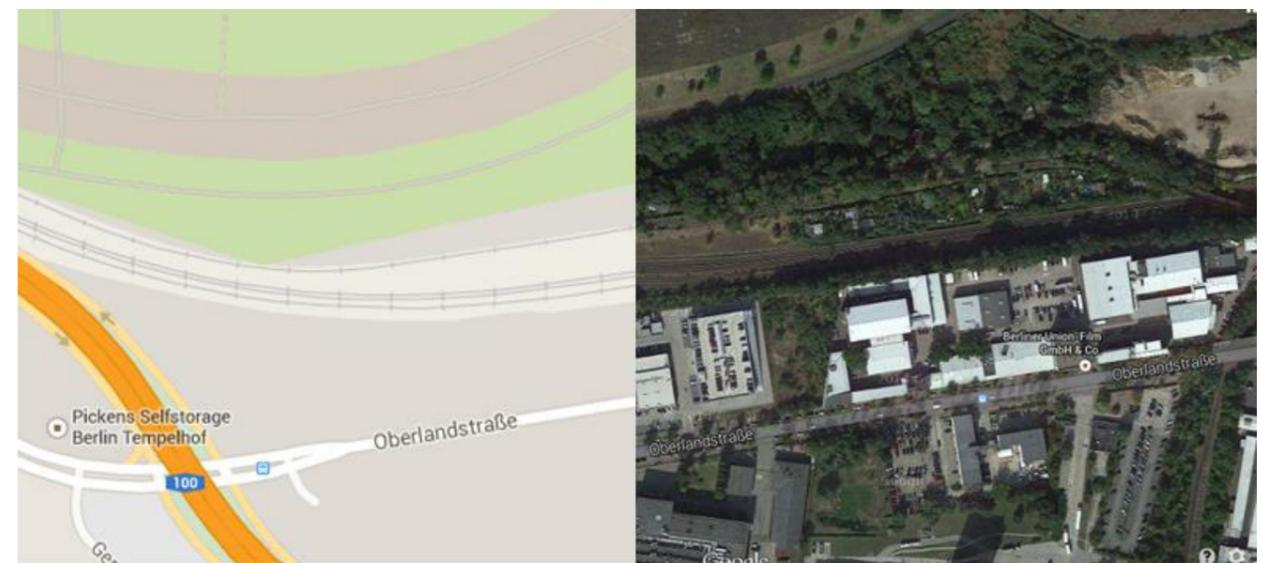


Figura 3. EMPLAZAMIENTO PUENTE DE ACCESO SUR AL PARQUE DE TEMPELHOF



Figura 3. VISTAS DE LAS PROPUESTAS URBANÍSTICAS DEL ÁREA DE TEMPELHOF

### III.2. Limitaciones y 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:

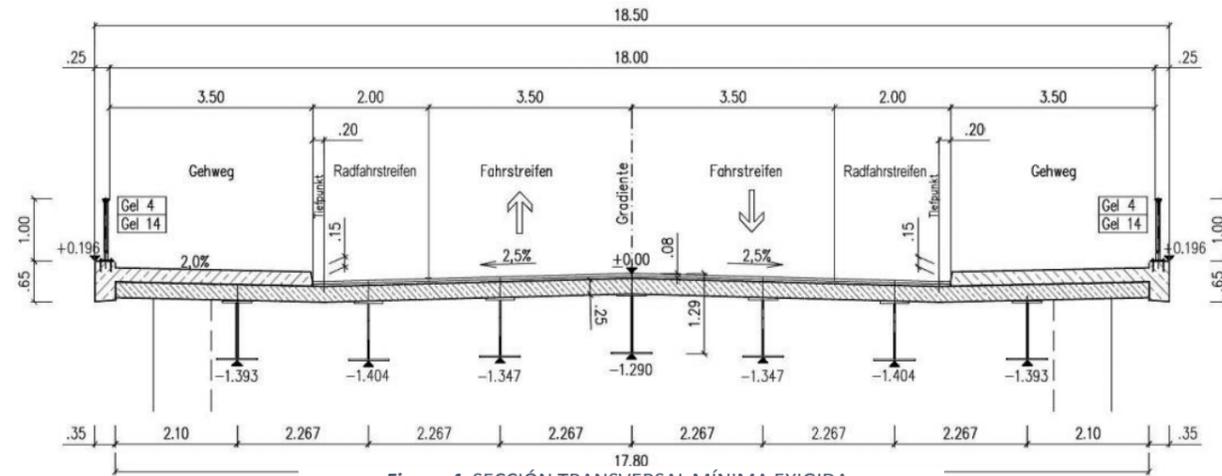
El proyecto debe incluir el puente y las dos rampas de acceso, una desde la calle Oberlandstrasse y otra desde la zona sur del parque de Tempelhof. Las pendientes y cotas de los dos accesos son las siguientes:

- 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%

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.

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:



#### 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.
- **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 elevada.

## IV. Normativa

La normativa aplicada por indicación de los tutores es la siguiente:

- Instrucción sobre las acciones para el proyecto de puentes de carretera IAP-11.

Ésta se complementará con otras como:

- La normativa europea de los Eurocódigos 0, 1 y 2.
- La instrucción sobre el acero estructural EAE.
- La instrucción sobre hormigón estructural EHE-08.
- Las instrucciones 5.1 IC y 5.2 IC sobre drenaje y drenaje superficial respectivamente.
- La guía de cimentaciones en obras de carreteras.
- Instrucción 6.1. IC "Secciones de firme".

## V. Geotecnia

Tras el estudio de la información proporcionada para la realización del proyecto, se ha llegado a una serie de conclusiones, las cuales se explican ampliamente en el "Anejo nº2. Informe geotécnico, y que se resumen en las siguientes:

- La cimentación superficial es viable, buscando el plano de apoyo a partir de la cota +42.00, no obstante, en caso de realizar una cimentación profunda, los pilotes deberían apoyarse sobre el estrato B3.
- Dada la heterogeneidad y el marcado carácter granular que presenta el terreno de cimentación, deberá cuidarse la comprobación de asentos.
- El recubrimiento mínimo de las cimentaciones superficiales por motivos de heladas es de 80 centímetros.
- Debe comprobarse la estabilidad de las excavaciones temporales a ejecutar.
- El fondo de las cajas de excavación de las cimentaciones, previo drenaje, deberá compactarse con tres o cuatro pasadas de bandeja vibrante pesada.
- En el estribo sur, es conveniente la sustitución del nivel A hasta la cota +46,70, aproximadamente, por material seleccionado, compactándose el fondo de la excavación como se ha indicado anteriormente, pero añadiendo una cierta humedad.



- Se recomienda la sustitución de un espesor de 1,50 m por debajo de cimentación, por un material seleccionado granular, debidamente compactado (al 98% o 100% de la densidad Próctor Normal).
- Los materiales de los niveles A1 y B2 pueden ser reutilizados para los terraplenes. Sin embargo, debe tenerse presente que las arenas del nivel B2, bastante uniformes, son difíciles de compactar, exigiendo métodos vibratorios y adición de agua.
- No se disponen de análisis del agua subterránea, pero algunos ensayos existentes no han mostrado componentes agresivos al hormigón.

Teniendo en cuenta las conclusiones anteriores, se ha optado por la realización de dos cimentaciones superficiales de dimensiones rectangulares, cuyos valores se muestran en los diversos documentos que completan el Proyecto Básico, solicitadas mediante esfuerzos verticales de compresión y momentos flectores importantes.

En el “Anejo nº3. Diseño y comprobación de la cimentación” redactado por Borja Balbastre Camarena, se han desarrollado ampliamente las comprobaciones geotécnicas pertinentes de los posibles modos de fallos que pueden sufrir las subestructuras de las que dispone la obra. A continuación se muestra un resumen de los resultados analizados de acuerdo con la “Guía de cimentaciones en obras de carretera” desde un punto de vista geotécnico:

En primer lugar, cabe decir que las correlaciones adoptadas tanto para la transformación de los resultados del ensayo DPH al ensayo SPT, la adoptada para obtener el módulo de elasticidad a partir del SPT como la utilizada para obtener el ángulo de rozamiento, no proporcionan datos exactos, sin embargo, si pueden ser una guía útil a la hora de obtener valores aproximados de los distintos parámetros del suelo, por ello se ha optado por la utilización de diversas correlaciones, las cuales se pueden observar más detalladamente en el anejo propuesto anteriormente.

En segundo lugar, se ha comprobado la estabilidad global de los taludes tanto durante la fase de construcción de la obra como durante la fase definitiva de ésta, obteniéndose unos factores de seguridad que cumplen con la “Guía de cimentaciones en obras de carretera”.

En tercer lugar, se han calculado los asentamientos máximos para ambas cimentaciones obteniendo resultados admisibles por la normativa utilizada.

A continuación, se ha analizado la seguridad de ambas zapatas frente a hundimiento, obteniéndose unos factores de seguridad elevados para ambas; valores que cumplen ampliamente con la normativa utilizada.

Seguidamente, los resultados obtenidos para la comprobación de la cimentación frente a deslizamiento han sido admisibles; factores de seguridad que cumplen ampliamente los resultados exigidos en la normativa.

Finalmente, se han estudiado tanto la situación que provoca el vuelco plástico de la cimentación, como el posible vuelco rígido de éstas, logrando coeficientes de seguridad aceptables por la normativa.

Tal y como se puede observar en el anejo propuesto en párrafos anteriores, los resultados obtenidos para ambas cimentaciones muestran factores de seguridad muy del lado de la seguridad, lo que quiere decir, que desde un punto de vista geotécnico, las cimentaciones están sobredimensionadas, pudiéndose así optimizar sus dimensiones. No obstante, las dimensiones propuestas para ambas zapatas han sido necesarias desde el punto de vista dimensional del puente y estructural de la cimentación. Como conclusión, puede corroborarse que tanto las subestructuras realizadas en la obra como las cimentaciones cumplen lo exigido por la “Guía de cimentaciones en obras de carretera”.



## VI. Estudio de soluciones

Debido a las características del emplazamiento y a los condicionantes del pliego, explicados en el “Anejo nº1 estudio de soluciones” redactado por Andrea Arámbul Anthony la mejor alternativa era utilizar una solución cuyo mecanismo resistente no se encontrase por debajo del tablero planteándose cuatro alternativas:

- Puente con arcos arriostrados laterales inclinados con tablero recto inferior
- Puente arco girado respecto al eje vertical
- Puente viga
- Puente arco único de canto variable

De entre las 4 alternativas planteadas el puente viga quedó descartada por la poca holgura en cuanto a gálibos que permitía pero sobre todo lo que se busca con el nuevo puente es que sea una referencia, un hito, en consonancia con el aspecto general que quiere dársele a los alrededores del parque de Tempelhof.

Las 3 restantes soluciones eran puentes arco de tablero inferior:

- El primero de ellos tenía una estética singular formada por dos arcos arriostrados inclinados exteriormente (arriostramiento en forma de tela de araña) que planteaba dificultades constructivas de forma que se decidió descartarla.
- El segundo de ellos proponía un arco girado respecto al eje vertical. La consecución de los gálibos exigidos para carreteras suponía grandes dificultades y una modificación estética que no se adecuaba a la idea original.
- El último de ellos consistía en un arco único de sección variable que se abría en dos arcos al llegar a la entrada al aeropuerto de Tempelhof. Pese a plantear dificultades para cumplir gálibos y también en la definición de las parábolas que forman los arcos la estética general se adapta a lo inicialmente buscado. Para solucionar los problemas que se indican se definieron las parábolas de modo que su forma cumpliera con los gálibos además para permitir el anclaje de los tirantes en un punto más alejado del carril bici y que así también en los tirantes se cumplieren los gálibos mínimos se decide colocar un bloque de hormigón (utilizado para paso de las conducciones e iluminación) dentro del cual se esconde el anclaje de los tirantes con la estructura metálica.

## VII. Solución adoptada

Como se ha indicado en el apartado anterior la solución adoptada es la cuarta de las propuestas, indicando a continuación los resultados finales del proceso de diseño. Las soluciones adoptadas y las imágenes se indican en el “Anejo nº1 Estudio de soluciones” redactado por Andrea Arámbul Anthony.

El puente escogido consta de un único arco de tablero superior de hormigón armado, cuya sección varía, desde inicio hasta el fin. Empieza siendo un único arco para pasar a bifurcarse en dos aproximadamente a 2/3 de su longitud. En principio existían dificultades para conseguir los gálibos que la norma exige teniéndose que buscar una solución adecuada a la estética general, decidiendo colocar un bloque de hormigón que sirviese de separación entre la acera y la carretera. Se aprovecha este bloque de hormigón para iluminar horizontalmente el puente y para albergar conducciones así como, para proporcionar la seguridad necesaria a los peatones que utilicen el puente.

Las dimensiones finales son las siguientes:

- LUZ: 60 m
- ANCHO: 25.5 m
- ALTO DEL ARCO: 12 m
- SEPARACIÓN ENTRE TIRANTES: 7.5 m

El **arco** es de hormigón armado C30/37 con armaduras de acero S-355 J2. Sus curvas quedan definidas por las siguientes parábolas:

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

El **tablero** consta de una zona central de 1,5 m donde se apoya la parte inicial del arco, 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 0.250 metros. 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.

El criterio seguido para la selección definitiva de las vigas dispuestas es el constructivo. El resultado final consta de:

- 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 dispuestas 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 700 mm 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.

Sobre estas vigas metálicas apoya la chapa grecada que hará de encofrado para la losa de hormigón. El perfil escogido es: HA- 60/200 (4 grecas). Su disposición junto con los 20 cm de hormigón da lugar a una losa de 26 cm. Se detalla más adelante su armado en el Anejo nº4: "Diseño y comprobación de la estructura" redactado por Adrián Sedeño Porcar.

Para soportar el tablero se disponen **péndolas**. Los escogidos son el modelo H1000 7T15 de la marca Freyssinet o similares. Deben de ser capaces de resistir los esfuerzos que el puente transmite. Puede observarse el anclaje en el plano 13.5 Detalle. Péndolas.

Los **estribos**: Por un lado, en el extremo en el que solo forma un apoyo 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. Quedan definidos en los planos 8. Subestructuras

Los **aparatos de apoyo**: los elegidos son aparatos de apoyo tipo POT. Se han escogido de la marca Freyssinet, o similares, los siguientes modelos:

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 5. VISTA EN PLANTA DE LOS APOYOS

Las **juntas de dilatación**: de la marca Transflex modelo 150 o similares. Que permitan unos desplazamientos 38(+9) mm.

Los **equipamientos**:

- **Pavimento**: Para la acera franjas grises y blancas del catálogo de GLS los modelos Grecogres Venato Grain grafito y Grecofres Venato Grain Glaciar, respectivamente. Para el carril bici pavimento continuo con capa de pintura. Para la calzada: 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. Todas estas elecciones pueden ser cambiadas por otras con características similares.
- El **bloque de hormigón** final para el hueco es un prisma alabeado en los laterales que dan a la calzada y acera, con huecos interiores que permiten el paso de conducciones. En los laterales que dan al carril bici
- La **imposta**: Sirve de encofrado de la acera con diseño curvo.
- Las **defensas**: Barandillas cada 2.5 m de cristal y pasamanos metálico. Defensa del arco mediante biondas
- El **drenaje**: El modelo elegido es de Reja de Fundición Dúctil modelo RCA20 color negro del catálogo GLS cada 2.5 metros en el lateral del carril bici.



- La **iluminación**: Horizontal en todo el puente mediante dos tipos de focos insertado en el bloque de hormigón:
  - Lado vía ciclista: WE-EF 611-5553 ETC150-CMH150/T6 [A\_ASC] Nº de artículo : 611-5553
  - Lado vía peatonal: WE-EF 618-7943 CRO234-CMH39 T4 [A] Stainless nº de artículo : 618-7943
  - Accesos: Martini 76009.68 Squadra (1x300W. QT-DE 12 R7s)

Quedan definidos los equipamientos en los planos 14.1 y 14.2. Equipamientos.

- **Diseño del enlace, alrededores y parque**

El proyecto incluía también el tratamiento de los alrededores del puente, se propone la creación de una zona de descanso y otra de recreo en la que encontramos una zona de parque infantil y dos zonas donde comer.

Los enlaces del puente con la calle Oberlandstrasse y el parque de Tempelhof se resuelven con una intersección al mismo nivel en la que se indica la prioridad de paso a vehículos y bicicletas mediante señalización horizontal. Se abandona la iluminación horizontal en las calzadas que dan acceso al puente y se opta por una iluminación vertical mediante farolas.

Para asegurar una correcta separación de los vehículos y el arco se marcará la posición del mismo en la calzada mediante una franja de 1.5 m con franjas oblicuas, además como se ha dicho, biondas colocadas en la parte delantera del arco protegen el mismo.

## **VIII. Proceso constructivo**

El proceso que se prevé para la ejecución del puente es el siguiente:

En primer lugar y previo el inicio de la obra, se retirarán los servicios afectados.

### **Preparación de la obra**

Retirada de posibles instalaciones afectadas y preparación del terreno. Operaciones de desbroce e instalaciones de obra. Ejecución de una rampa de acceso para la maquinaria en el lado norte.

### **Movimiento de tierras**

Inicio de la excavación para las zapatas, a la vez que se va rellenando la zona de accesos a lo largo de toda la obra.

### **Subestructuras**

Ejecución de las zapatas: Encofrado, vertido de hormigón de limpieza, armado y hormigonado.

Ejecución de estribos sobre las zapatas: Se encofrarán y hormigonarán. Una vez finalizados los estribos se colocarán los elementos necesarios para el apoyo del puente, pots y neoprenos. Se ejecutarán asimismo los tirantes requeridos en la bases del arco para anclarlo a la subestructura.

### **Prefabricación y transporte de la estructura metálica**

Durante la ejecución de la cimentación y de forma que se solapen los trabajos se realizará el encargo de toda la estructura metálica. Se transportan por separado los siguientes elementos:

- Cuchillos (3.75 metros)
- Cajones longitudinales (7.5 m)
- Medias vigas transversales (8 m)
- Arco dividido en 9 tramos de menos de 12 m cada uno
  - Cajones 1 a 3
  - Cajones 4 a 7
  - Cajones 8 a 11
  - Cajones 12 a 16
  - Cajones 17 a 21
  - Cajones 22 a 24 Derecha y 22 a 24 Izquierda
  - Cajones 25 a 27 Derecha y 25 a 27 Izquierda

En obra se realizará el ensamblaje tanto de arco como de tablero. El tablero quedará unido mediante soldadura en tramos de 7.5 metros (un cajón a cada lado), 6 medias vigas transversales y 6 cuchillos, de forma que todo el conjunto forme un módulo que más adelante se colocará entre cada tirante.



Por otro lado el arco se unirá también mediante soldadura en la zona de montaje en tres tramos. El tramo izquierdo con los cajones del 1 al 7. El tramo central hasta el cajón 21 y el tramo derecho desde el 22 hasta el final.

#### **Superestructura. Primer tramo de tablero y arco metálico**

Sobre ambos estribos se colocará el primer tramo de tablero metálico. Se procederá asimismo al montaje de los apeos del arco. La colocación del arco en los arranques requiere de apeos previamente dispuestos a ambos lados de los estribos de forma que en ningún momento interrumpan la circulación de trenes. Será necesaria la instalación de redes anticaída de objetos y personal durante esta fase y las siguientes. Una vez colocados los dos tramos iniciales (cajones de 1 a 7 y de 22 a 27), se realizará el izado del tramo central del arco. La operación de izado por su peligrosidad será realizada en horario nocturno sin paso de vehículos ferroviarios.

Tras estas operaciones se hormigona el arco en los arranques. El proceso será llevado a cabo mediante el uso de un camión bomba.

Para el montaje del tablero se hace necesaria la colocación previa de los tirantes de forma que aguanten las vigas. Se va izando el tablero en cuatro fases desplazándose un módulo por cada lado en cada fase.

El siguiente paso será montar la chapa grecada que hará de encofrado junto con la imposta prefabricada en los extremos. Una vez se haya dispuesto el encofrado se armará y hormigonará la losa.

Tras el hormigonado y endurecimiento de la losa se procederá al encofrado del tramo central del arco. Se colocará la armadura adicional necesaria en el arco (se considera que los cajones forman gran parte del armado) y se procederá al vertido del hormigón en tres fases, también mediante bomba.

El siguiente paso en la ejecución de la obra será realizar la pavimentación tanto de accesos como de la estructura. Se colocarán los bloques de hormigón y bordillos así como defensas del arco. Tras la colocación del bloque de separación de acera y carril bici se seguirá con la pavimentación de las aceras.

#### **Barandillas, iluminación y marcas viales**

El montaje de barandillas, instalación de conductos y desagües, reposición de servicios así como la señalización (pintado marcas viales y carril bici) será llevado a cabo en las últimas fases de la obra, dando por finalizada la construcción del puente.

El proceso se explica con más detalle en el “Anejo Nº6. Proceso constructivo. Redactado por Alvaro Soria Cabello.”

### ***IX. Plazo de ejecución:***

El plazo de ejecución es de **205 días** desde el inicio de los trabajos. Se puede consultar la duración detallada de las tareas en “Anejo nº 7. Plan de obra” Redactado por Alvaro Soria Cabello

### ***X. Presupuesto***

El presupuesto total asciende a **TRES MILLONES CINCUENTA Y SIETE MIL SEISCIENTOS UN EUROS CON OCHO CÉNTIMOS**, como queda detallado en el “Documento nº3.Presupuesto” redactado por Alvaro Soria Cabello.

### ***XI. Documentos***

#### **Documento Nº1: Memoria y Anejos**

- **Memoria:**
- **Anejo Nº 1.** Estudio de soluciones
- **Anejo Nº 2.** Informe geotécnico
- **Anejo Nº 3.** Diseño y comprobación de la cimentación
- **Anejo Nº 4.** Diseño y comprobación de la estructura
- **Anejo Nº 5.** Diseño de equipamientos
- **Anejo Nº 6.** Proceso constructivo
- **Anejo Nº 7.** Plan de obra
- **Anejo Nº 8.** Infografías

#### **Documento Nº2: Planos:**

- 1.1 Localización general. Situación
- 1.2 Localización general. Emplazamiento
2. Topografía
3. Definición general acceso
4. Trazado
5. Planta y alzado
- 6.1 Secciones del tablero. Vista frontal y trasera
- 6.2 Sección del tablero. Sección tipo
7. Planta de replanteo
- 8.1 Subestructuras. Definición geométrica estribo 1
- 8.2 Subestructuras. Definición geométrica estribo 2
- 8.3 Subestructuras. Secciones estribos
- 8.4 Subestructuras. Detalles de anclaje, losa de transición y junta
- 8.5 Subestructuras. Estribo 1. Armado aleta izquierda
- 8.6 Subestructuras. Estribo 1. Armado sección característica



- 8.7 Subestructuras. Estribo 1. Armado por cargas concentradas
- 8.8 Subestructuras. Estribo 2. Armado aleta izquierda
- 8.9 Subestructuras. Estribo 2. Sección característica
- 8.10 Subestructuras. Estribo 2. Armado por cargas concentradas
- 9. Definición arco y tablero con coordenadas
- 10.1. Definición del arco. Estructura metálica
- 10.2. Definición del arco. Geometría del arco
- 10.3. Definición del arco. Geometría secciones con conectadores
- 10.4. Definición del arco. Armado
- 11. Definición del tablero. Estructura metálica
- 12.1 Losa. Armado y despiece 1
- 12.2 Losa. Armado y despiece 2
- 13.1 Detalles. Apoyos del tablero
- 13.2 Detalles. Unión arco-tablero central
- 13.3 Detalles. Unión arco-tablero apoyos traseros
- 13.4 Detalles. Uniones metálicas
- 13.5 Detalles. Péndolas
- 13.6 Detalles. Conectores chapa y pavimento
- 14.1 Equipamientos. Vista general. Imposta sumideros y bordillo
- 14.2 Equipamientos. Barandilla y bloque de hormigón
- 15.1 Proceso constructivo. Rampas de acceso y excavación
- 15.2 Proceso constructivo. Subestructura y primer tramo de tablero.
- 15.3 Proceso constructivo. Ejecución del arco
- 15.4 Proceso constructivo. Ejecución del tablero
- 15.5 Proceso constructivo. Ejecución de arco y tablero

Valencia, 9 de Junio de 2015:

LOS AUTORES:

Fdo. Arámbul Anthony, Andrea

Fdo. Balbastre Camarena, Borja

Fdo. Sedeño Porcar, Adrián

Fdo. Soria Cabello, Alvaro

### Documento N°3: Presupuesto

## ***XII. Conclusión***

Se pretende con esta memoria presentar de forma breve y ordenada todos los aspectos del puente. Con todo lo expuesto en la presente memoria, así como en el resto de documentos de este proyecto básico, se cumple con las condiciones mínimas establecidas por la Administración según las bases del "Concurso de idea del nuevo puente de acceso sur al parque de Tempelhof".