



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Proyecto básico para el “Concurso de puente del acceso sur al parque de Tempelhof, Berlín”. Solución D

TRABAJO FINAL DE GRADO. GRADO EN INGENIERÍA CIVIL. CURSO ACADÉMICO 2014/2015

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

Tutores: **José Casanova Colón**

Carlos Manuel Lázaro Fernández

Salvador Monleón Cremades

Cotutores: **María Carmen Castro Bugallo**

Alberto Domingo Cabo

Francisco Ángel Izquierdo Silvestre

Alumno: **Eric Belenguer Esteve**

Marcos Pastor Ortolá

Francisco Javier Pérez Esteban

Santiago Talavera Sánchez

Fecha: Junio 2015

Titulación: Grado en Ingeniería Civil

Índice de los documentos

Documento nº1: Memoria

Anejos a la memoria

Anejo nº2 Geológico-geotécnico

Anejo nº6 Infografías

Documento nº2: Planos

1.- Situación y emplazamiento

2.- Topografía y replanteo

3.- Planta general

4.- Trazado general y perfil longitudinal

5.1.- Definición general: Planta y Alzado

5.2.- Definición general: Sección tipo

6.- Planta de cimentación y perfil estratigráfico

7.1.- Estribo Oberland: Geometría

7.2.- Estribo Oberland: Armado

7.3.- Estribo Tempelhof: Geometría

7.4.- Estribo Tempelhof: Armado

8.1.-Pila Oberland: Geometria

8.2.- Pila Oberland: Armado

8.3.- Pila Tempelhof: Geometria y Armado

9.1.- Definición parte metálica: Definición geométrica

9.2.- Definición parte metálica: Secciones transversales

9.3.- Definición parte metálica: Vigas longitudinales

9.4.- Definición parte metálica: Distribución de conectadores

10.- Aparatos de apoyo y junta de dilatación

11.- Tirantes y desviador

12.1.- Losa: Armado superior

12.2.- Losa: Armado inferior

12.3.- Losa: Armado grecas y sección

13.- Equipamientos

14.- Proceso constructivo

Documento nº1: Memoria

Índice

1. Objeto, antecedentes y limitaciones.....	Pág.02
2. Objeto del proyecto básico.....	Pág.02
3. Normativa aplicada	Pág.02
4. Geología y geotécnia.....	Pág.02
4.1. Marco geológico.....	Pág.02
4.2. Trabajos realizados.....	Pág.03
4.3. Caracterización geotécnica de los materiales.....	Pág.03
4.4. Excavaciones.....	Pág.03
4.5. Cimentaciones.....	Pág.03
5. Estudio de soluciones.....	Pág.03
5.1. Condicionantes.....	Pág.03
5.2. Valoración alternativas.....	Pág.04
6. Descripción de la solución adoptada.....	Pág.05
6.1. Trazado.....	Pág.05
6.2. Estructura	Pág.05
6.2.1.Tablero.....	Pág.05
6.2.2.Subestructura.....	Pág.06
6.2.3.Torres y atirantamiento.....	Pág.06
6.3. Equipamientos.....	Pág.06
6.3.1.Imposta.....	Pág.06
6.3.2.Barandilla.....	Pág.06
6.3.3.Evacuación de aguas.....	Pág.06
6.3.4.Firme.....	Pág.07
6.3.5.Iluminación.....	Pág.07
6.3.6.Acera.....	Pág.07
6.3.7.Carril-bici.....	Pág.07
6.4. Proceso constructivo.....	Pág.07
7. Plan de obra.....	Pág.08
8. Impacto ambiental.....	Pág.08
9. Presupuesto.....	Pág.08
10. Documentos constituyentes del proyecto.....	Pág.09
11. Conclusión.....	Pág.09

1. Objeto, organización y alcance del TFG

Este proyecto sirve como Trabajo Fin de Grado a los alumnos Eric Belenguer Esteve, Marcos Pastor Ortola, Francisco Javier Pérez Esteban y Santiago Talavera Sánchez, tras haber cursado todas las asignaturas del Grado de Ingeniería Civil. El título oficial de este trabajo es **Proyecto básico para el “Concurso de puente de acceso sur al parque de Tempelhof, Berlín. Solución D”**.

El TFG está dirigido por los siguientes tutores:

- José Casanova Colon; Profesor titular de la U.P.V
- Salvador Monleón Cremades, Catedrático de la U.P.V.
- Carlos Manuel Lázaro Fernández; Profesor titular de la U.P.V.
- Francisco Ángel Izquierdo Silvestre; Catedrático de la U.P.V.
- María Carmen Castro Bugallo; Profesora colaboradora
- Alberto Domingo Cabo; Profesor titular de la U.P.V.

El proyecto básico se ha realizado conjuntamente entre todos los integrantes del grupo, habiendo participado activamente todos ellos en cada una de las partes de éste. Ahora bien, cada componente se ha responsabilizado de una parte del proyecto, ocupándose de coordinar toda la documentación correspondiente. Se ha dividido el trabajo de la siguiente manera:

Documento nº1

- **Memoria**
 - Eric Belenguer Esteve
 - Marcos Pastor Ortola
 - Francisco Javier Pérez Esteban
 - Santiago Talavera Sánchez
- **Anejo nº 1: Estudio de soluciones**
 - Marcos Pastor Ortola
- **Anejo nº 2: Anejo geológico-geotécnico**
 - Santiago Talavera Sánchez
- **Anejo nº 3: Diseño y comprobación estructural**
 - Eric Belenguer Esteve
- **Anejo nº 4: Diseño de equipamientos**
 - Marcos Pastor Ortola
 - Francisco Javier Pérez Esteban
- **Anejo nº 5: Plan de obra**
 - Francisco Javier Pérez Esteban
- **Anejo nº 6: Infografías**
 - Eric Belenguer Esteve
 - Marcos Pastor Ortola
 - Francisco Javier Pérez Esteban
 - Santiago Talavera Sánchez

Documento nº2: Planos

- Eric Belenguer Esteve
- Marcos Pastor Ortola
- Francisco Javier Pérez Esteban
- Santiago Talavera Sánchez

Documento nº3: Presupuesto

- Francisco Javier Pérez Esteban

En cuanto al alcance de este Trabajo de Fin de Grado, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Por la naturaleza del trabajo, quedan excluidos del mismo los siguientes documentos:
 - Anejo de justificación de precios.
 - Pliego de Condiciones Técnicas Particulares.
 - Cuadros de precios Nº1 y Nº2.
 - Estudio de Impacto Ambiental
- El diseño estructural abarcará tanto las disposiciones geométricas como la selección justificada de los materiales. Ambos quedarán recogidos en los planos.
- El diseño de equipamientos abarcará tanto las disposiciones geométricas como la selección justificada de los materiales. Ambos quedarán recogidos en los planos.
- La comprobación de la seguridad incluye tanto las verificaciones geotécnicas como las estructurales. El alcance de las mismas se limitará a la comprobación de las secciones y elementos críticos para la seguridad de la construcción, así como los principales ELS relacionados con la funcionalidad y la durabilidad. Queda específicamente excluido del TFG cualquier tipo de cálculo dinámico, incluso el relacionado con el sismo, puesto que los alumnos de Grado de Ingeniería Civil no han recibido la formación necesaria para abordarlo. Por el mismo motivo, quedan excluidas las comprobaciones de fatiga.
- En el caso de las estructuras metálicas, los planos de detalle abarcarán los elementos especiales principales de la construcción (rigidización, diafragmas transversales, riostras de apoyo, anclajes) así como los detalles tipo de uniones.
- En las estructuras de hormigón, los planos de detalle contendrán la disposición general de las armaduras y detalles tipo (refuerzos locales en zonas de apoyo o de anclaje, armaduras de rasante y/o punzonamiento).

2. Objeto del proyecto básico

El objeto del presente proyecto básico, enfocado para el concurso de ideas convocado por el Ayuntamiento de Berlín, consiste en la definición de las obras necesarias para la construcción del puente del acceso sur al parque de Tempelhof de Berlín (Alemania). Este concurso fue realmente convocado por el ayuntamiento de la ciudad de Berlín en Julio de 2012 y el plazo de presentación de propuestas venció el 28 de septiembre de 2012.

3. Antecedentes

Las obras se sitúan íntegramente en la ciudad de Berlín (Alemania). Concretamente, dentro de esta ciudad, se encuentran el límite sur del parque de Tempelhof. Este parque es un antiguo aeropuerto, ya en desuso, que ha sido reconvertido en un parque. El puente que se pretende construir, supondrá un nexo de unión entre este parque y la calle Oberland.

El puente debe salvar cuatro vías ferroviarias, dos de ellas de S-bahn (metro de Berlín), que circulan en trinchera.

En la actualidad la calle Oberland acoge numerosas industrias de transformación de tamaño moderado, talleres y comercios. En la zona cercana a la obra que se encuentra entre esta calle y el parque se prevé una futura urbanización.

4. Normativa aplicada

La normativa que se aplica para llevar a cabo el presente proyecto es la siguiente:

- IAP-11 Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera
- EAE-2011 Instrucción de acero estructural.
- Eurocódigo 1 Bases de proyecto y acciones en estructuras. (Para ciertas acciones propias de Berlín)
- Eurocódigo 2 Proyecto de estructuras de hormigón.
- Eurocódigo 3 Proyecto de estructuras de acero. (Para ciertos detalles remitidos por la EAE)
- EHE-08 Instrucción de hormigón estructural. (Únicamente en algunas recomendaciones de armado)
- Instrucción de carreteras 5.1-IC: Drenaje superficial.
- Secciones de firme. Instrucción de carreteras. Norma 6.1-IC.
- Guía de cimentaciones en obras de carretera

5. Geología y geotecnia

5.1. Marco geológico

En cuanto a la geomorfología, la zona de proyecto se sitúa en la parte sureste de Berlín, en un valle glaciar modelado por tres glaciaciones cuaternarias con sus periodos interglaciares respectivos. Éste valle ha sido en su última etapa afectado por la dinámica fluvial, presentando depósitos superficiales de materiales principalmente granulares. Las litologías afectadas por el proyecto son arenas, escombros (arena de préstamos) y desechos de materiales de construcción.

Por lo que respecta a la estratigrafía el Pérmico Inferior está representado por rocas volcánicas en “Facies Roja” y el Pérmico Superior por la “Facies Salina”, muy típica del norte de Alemania que presenta una potencia de unos 2000 metros. El Triásico se muestra con su típica “Facies Germánica”, la misma que aflora en la Comunidad Valenciana. Así, se tiene un Buntsandstein (detritos) con 776 metros de areniscas y argelitas rojas, un

Muschelkalk (carbonatos) con 271 metros de calizas y dolomías, y un Keuper (arcillas) con 136 metros. El Terciario, también con potencias de centenares de metros, está representado por un Mioceno constituido por paquetes de sedimentos marinos y continentales. Finalmente, el Cuaternario con una potencia de unos 50 metros, recubre los materiales terciarios. Ofrece tres periodos glaciares (Elster, Saale y Weichsel) en los que se depositan materiales granulares y morrenas, y dos periodos interglaciares, en los que predomina la sedimentación de limos, arcillas, arenas fluviales y depósitos de turbas.

El nivel freático se encuentra en el entorno entre los 32 y 33 metros cuya afección a la estructura es nula en todos y cada uno de los casos analizados.

5.2. Trabajos realizados

Se ha ejecutado una campaña de investigación geotécnica particular para el proyecto del puente del acceso sur al parque de Tempelhof. Se requiere la información precisa para ofrecer una caracterización geotécnica adecuada de los materiales implicados en el ámbito del proyecto. Las prospecciones recopiladas se basan en ensayos tanto granulométricos como de penetración dinámica (DPH). Los resultados tanto de los ensayos como de la campaña de investigación geotécnica se pueden consultar en el anejo nº2 “Anejo nº2: Geológico-geotécnico”.

Para las penetraciones dinámicas, se propuso intentar alcanzar profundidades entre 25 y 30 metros, pero los rechazos se alcanzaron a profundidades comprendidas entre 9.40 y 24 metros. Para la caracterización de las zonas de los terraplenes de acceso, se perforaron cinco sondeos y se realizaron cinco ensayos de penetración dinámica DPH, fijándose antes del inicio de la campaña profundidades de alcance entre 10 y 15 metros.

Durante la campaña de investigación geotécnica se controló la posición del nivel freático en los sondeos. En marzo de 2012, el nivel freático estaba estabilizado en el lado norte a la cota +32.63 y a la cota +32.60 al lado sur.

5.3. Caracterización geotécnica de los materiales

Nivel	Clasificación DIN 18196	Potencia (m)	Compacidad	Pesos específicos (kN/m ³)		Coeficiente de Permeabilidad (m/s)
				Aparente	Saturado	
A1	SE, OH-SU	2,10 – 3.10	Floja a media	16.0	****	$2 \cdot 10^{-4} - 9 \cdot 10^{-5}$
A2	A	0.50 – 9.30	Muy floja a floja	16.0	****	$2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$
B1	OH	0.20	Floja	****	****	*****
B2	SE	0.00-7.80	Floja a media	17.0	19.0	$6 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-4}$
B3	SE	>18.00	Media a densa	18.0	20.0	$6 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-4}$

Puede consultarse la localización exacta de los estratos en el plano nº6 “PLANTA DE CIMENTACIÓN Y PERFIL ESTRATIGRÁFICO”

5.4. Excavaciones

Todas las excavaciones excepto la pila con apoyo de teflón requieren una entibación provisional para llevarse a cabo. Ello se realizará mediante el tablestacado y vaciado del terreno para la posterior ejecución de las cimentaciones de la estructura. Las características de las excavaciones se incluyen en la siguiente tabla:

Excavación	Altura máxima	Observaciones
Estribo Oberland	3 m	Tablestacado hasta profundidad de 6,7 metros
Pila bajo torre	5 m	Tablestacado hasta profundidad de 9,20 metros
Pila del lado Tempelhof	2 m	Excavación sin entibación previa mejora del terreno
Estribo Tempelhof	2,5 m	Tablestacado hasta profundidad de 5,60 metros previa mejora del terreno

5.5. Cimentaciones

Las cimentaciones a considerar en la estructura son:

- Estribo del lado Oberland
- Pila del lado Oberland
- Pila del lado Tempelhof
- Estribo del lado Tempelhof

La solución de cimentación superficial es viable, buscando el plano de apoyo a partir de la cota +42.00. La comprobación de las cimentaciones se realizará siguiendo la “*Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera*” del Ministerio de Fomento. Dada la heterogeneidad y el marcado carácter granular que presenta el terreno de cimentación, deberá cuidarse la comprobación de asientos para los cuales se establece un límite de asiento diferencial de 1cm.

Otro condicionante a considerar será la mejora del terreno en la zona de escombros. En dicho entorno se abordará la vibrocompactación y mejora del terreno para evitar el incumplimiento de la limitación de asientos y del resto de limitaciones que se contemplan en la normativa.

Queda fuera del alcance del proyecto el análisis de la estabilidad global de las cimentaciones debido a que no es objeto del proyecto básico.

6. Estudio de soluciones

6.1. Condicionantes

El primer paso para poder proyectar cualquier puente, o estructura, es establecer las posibles soluciones al problema en cuestión. Todas las alternativas deben satisfacer los requisitos básicos de cualquier obra ingenieril: Funcionalidad, seguridad, durabilidad y economía. Además, se añadirán otros criterios establecidos por los propios proyectistas como son la estética y la integración en el entorno del emplazamiento de la estructura, entre otros.

Una vez definidas las diferentes alternativas, se evaluará y realizará un proceso de análisis jerárquico (AHP), el cual permite evaluar la consistencia de las valoraciones permitiendo tener controlado el grado de subjetividad inducido, para llegar a escoger la solución que mejor se adapta a todos los condicionantes considerados.

La asignación de los pesos relativos a cada criterio, se realizará mediante una comparación pareada entre los criterios establecidos, proceso en el cual se basa el mencionado proceso de análisis jerárquico. Para el presente proyecto se definen en el apartado 4.2 *Valoración alternativas*, del presente documento.

Así pues, en la siguiente tabla se resumen todos los condicionantes que se han establecido bien por parte de la Administración en las bases del concurso, así como los definidos por los proyectistas.

CONDICIONANTES	Naturales		Topografía de la zona	El puente debe conectar la calle Oberland y el parque de Tempelhof	
			Geología y geotécnica	Se tiene un suelo con unas características variables. No hay afección al nivel freático. No existen sulfatos que puedan afectar al hormigón.	
			Cercanía al centro urbano de Berlin	Se debe prestar atención a la estética de la solución así como al diseño de sus equipamientos.	
			Funcionalidad	Se debe salvar las vías ferroviarias entre la calles Oberland y el parque de Tempelhof.	
			Trazado	Trazado recto en planta. Trazado en alzado respetando los gálibos impuestos, así como las pendientes de entrada y salida al puente, establecidos en las bases del concurso.	
			Vías inferiores. Gálibos	Se deben respetar los gálibos impuestos en las bases del concurso, tanto los inferiores correspondientes a las exigencias del trazado ferroviario, así como alas superiores indicados en la norma, para el caso en que la solución presente su sistema primario por encima del tablero.	
			Anchura del tablero	De acuerdo con las bases del concurso, las soluciones deberán tener un ancho del tablero de al menos 18 m (2 carriles de 3.5m, 2 carriles bici de 2m y aceras de 3.5m)	
			Otras características técnicas	Materiales	La elección del tipo de material a utilizar es libre.
				Proceso constructivo	Se debe respetar el tráfico ferroviario en todo momento. Únicamente se podrá interrumpir éste durante unas horas por la noche, en el caso de ser necesario.
				Elementos estructurales	No se pueden diseñar apoyos dentro de la trinchera del ferrocarril. Se permite disponer de apoyos provisionales en la trinchera.
		Otros	Economía	Como en todas las obras públicas, se deberá intentar optimizar el presupuesto cumpliendo todos los condicionantes establecidos.	
			Integración en el entorno urbano	La solución debe prever el entorno futuro de la estructura, aumentando la integración de éste en ella.	

A la vista de todos los condicionantes expuestos, la alternativas que se han considerado son:

- Alternativa 1 (A1): Arco con tablero intermedio.
- Alternativa 2 (A2): Arco Bowstring.
- Alternativa 3 (A3): Pórtico en "pi".
- Alternativa 4 (A4): Extradosado.

4.2 Valoración de alternativas

Para la valoración de las distintas alternativas se han considerado los siguientes criterios:

- Economía
- Estética
- Integración en el entorno urbano

Tras realizar un proceso de análisis jerárquico (AHP), es decir, realizar una matriz de comparaciones pareadas y chequear que el índice de consistencia es adecuado (inferior al 10%), se ha obtenido la distribución de pesos entre los criterios. De la misma manera, para cada uno de los criterios se ha sometido a un proceso de análisis jerárquico para obtener la valoración de cada una de las alternativas. En la siguiente tabla se resumen todos los resultados obtenidos.

CRITERIO	PESO	PRIORIDAD		VALORACIÓN
Economía	12.2 %	A1	21.4 %	0.026108
		A2	35.9 %	0.043798
		A3	21.4 %	0.026108
		A4	21.3 %	0.025986
Estética	32.0%	A1	28.1 %	0.08992
		A2	14.0 %	0.0448
		A3	7.9 %	0.02528
		A4	50.0 %	0.16
Integración en el entorno urbano	55.8%	A1	23.0 %	0.12834
		A2	15.8 %	0.088164
		A3	10.1 %	0.056358
		A4	51.1 %	0.285138

Alternativa	Prioridad obtenida
A1	24.46 %
A2	17.71 %
A3	10.78 %
A4	47.05 %

El resultado final refleja que la solución que mejor se adapta a los condicionantes expuestos, considerando la importancia relativa de éstos, es la alternativa 4 (A4) correspondiente a una solución de tipo extradosado.

7. Descripción de la solución adoptada

El puente desarrollado en el presente proyecto básico se enmarca en el conjunto de las obras de construcción del acceso sur al parque de Tempelhof, Berlín (Alemania).

En la solución adoptada se ha buscado despejar al máximo la zona en la que se va a emplazar el puente. Como en un futuro se prevé que se vaya a urbanizar la zona cercana a la estructura, se ha pensado en una alternativa que no suponga una gran barrera física al paso entre las zonas que quedan a los lados de ésta. Por esta razón, el puente que se ha proyectado es considerablemente de mayor longitud que el de las alternativas anteriores. Para poder materializar esta idea se ha pensado en un puente atirantado extradosado.

El puente tiene una distancia total de 109.5 metros, repartidos en tres vanos de 42 m, 40.50 m y 27.5 m, numerados desde el lado del acceso al puente desde la calle Oberland hacia el otro extremo del puente, que corresponde con el acceso desde el parque de Tempelhof, respectivamente.

7.1. Trazado

Como ya se ha comentado en el apartado 4 de este documento, el trazado de la solución viene impuesto por los condicionantes establecidos por la propia Administración en las bases del concurso. De esta manera el trazado de la solución adoptada corresponde con un trazado recto en planta, que conecta los puntos de acceso al puente, es decir, el acceso desde la calle Oberland (P.K. 0+227.173, Z=+49.420) y el acceso desde el lado Tempelhof (P.K. 0+000, Z= +50.169).

En el trazado en alzado, se ha dispuesto una pendiente de entrada al puente desde la calle Oberland de -3.5%, mientras que la pendiente de salida impuesta hacia el aeropuerto es del 3%, de manera que se cumplen todas las exigencias establecidas en las bases del concurso.

7.2. Estructura

La solución por la que finalmente se ha optado, se ejecutará mediante una estructura mixta, debido a que el esqueleto del tablero estará formado por vigas metálicas a las que está unida, mediante una correcta disposición de conectores (véase plano nº 9.4) una losa de hormigón armado. Adicionalmente, para las subestructuras también se ha empleado hormigón armado. A continuación se procede a explicar escuetamente los componentes de la estructura, cuyo dimensionamiento y comprobación se puede ver detalladamente en el *Anejo nº3: Diseño y comprobación estructural*.

7.2.1. Tablero

El tablero está constituido por un esqueleto metálico, formado por vigas longitudinales, vigas transversales y cuchillos, al que está unida una losa de hormigón de 25 centímetros de espesor mediante conectores, la cual se hormigonará sobre una chapa grecada que actúa de encofrado perdido.

7.2.1.1. Vigas longitudinales

En el tablero hay dos vigas longitudinales, que serán las que recojan todos los esfuerzos existentes en la estructura debidos a las cargas actuantes y los transmitan a las subestructuras.

Estas vigas son de canto variable, teniendo un canto máximo sobre pilas de 2.5 m y un canto mínimo sobre los vías de los trenes y en el centro de los otros vanos de 0.85m. El ancho es constante, siendo de 1.5m en toda la longitud del puente, prolongándose el ala superior con dos patines de 0.25m con el objetivo de establecer una mejor conexión entre la viga y la losa. La viga estará macizada con hormigón en la zona de anclaje de los cables y en la unión monolítica entre la torre y las pilas más cercanas al lado de la calle Oberland. A su vez, en los tramos de canto variable de la viga se dispondrá una losa de hormigón de 0.25 cm en la parte inferior de ésta, con el fin de evitar la abolladura de la chapa inferior, ya que en los tramos de apoyo estará sometido a momentos negativos.

Las dimensiones de las chapas serán de 20 mm en las almas y 30 mm en las alas.

La longitud de estas vigas es de 110.20m, es decir, la longitud total del puente y se colocan con una separación entre ejes de 12m.

7.2.1.2. Vigas transversales

Las vigas transversales son vigas doble T armadas. Estas vigas también tienen un canto variable para, de esta forma, dar la pendiente necesaria para el bombeo exigido de la calzada que es de 2.5 %, siendo este canto de 0.6m en los extremos y 0.72m en el centro.

Están compuestas por chapas de 25 mm de espesor y 300 mm de ancho en las alas y una chapa de 16mm de espesor en las almas.

Se colocan cada 2.5m y su longitud es de 10.5m, que es la distancia entre caras interiores de las vigas longitudinales. Dentro de éstas se dispondrá un diafragma en cada punto de unión con una viga transversal.

7.2.1.3. Cuchillos

Los cuchillos se colocan cada 2.5m, coincidiendo con las vigas transversales y estando formadas las alas por chapas de las mismas dimensiones. La longitud de los cuchillos es de 3m y su canto es variable, siendo el máximo 0.6m en el empotramiento con la viga y 0.2m en el extremo del cuchillo. El cuchillo proporciona la pendiente transversal necesaria a la acera que es de 2%.

7.2.1.4. Losa de hormigón armado

La losa de hormigón armado está hormigonada sobre una chapa grecada que actúa como encofrado perdido. Por tanto, tendrá un canto total y útil variable debido a las grecas. Como simplificación se supondrá que tiene un canto de 0.222m y su sección es rectangular, lo que proporciona un área y una inercia prácticamente iguales a las reales. La losa se unirá al resto de componentes del tablero mediante conectadores. La losa se armará con una armadura base y se reforzarán zonas puntuales con grandes esfuerzos con armadura de refuerzo.

7.2.2. Subestructuras

En cuanto a las subestructuras, todas ellas serán de hormigón armado. Estas subestructuras serán dos estribos y dos líneas de pilas con dos pilas cada una, con la misma forma por razones estéticas pero con comportamiento completamente distintos.

7.2.2.1. Estribo del lado Oberland

Este estribo está formado por un muro de 10.5m de alto desde la cota de cimentación, de los que 9m son de alzado de muro y 1.5m de canto de zapata. La longitud del muro es de 19.5 m partiendo de sus extremos dos aletas perpendiculares a éste que van reduciendo su canto hasta que es nulo. Sobre este muro se disponen dos neoprenos de dimensiones 250x400mm sobre los que se apoyan ambas vigas longitudinales.

7.2.2.2. Pilas unidas monolíticamente con el tablero

Las pilas unidas monolíticamente tienen una altura de 6.8m desde la cara superior de la zapata la cual tiene unas dimensiones de 6x6x1.5m. Su sección en coronación es de 2x1.5 metros, mientras que en la base esta sección rectangular se convierte en una sección hexagonal cuyo rectángulo exinscrito tiene unas dimensiones de 3x1.5 m. Esta pila se ha armado teniendo en cuenta su armadura de cálculo y las armaduras mínimas requeridas por el Eurocódigo para vigas y pilares, ya que es un pilar sometido a grandes esfuerzos flectores y cortantes. Como se ha comentado con anterioridad, la viga está macizada en su unión con las pilas y la torre, por lo que habrá que dejar armaduras de espera de la pila para materializar esta unión.

7.2.2.3. Pilas en las que el tablero está simplemente apoyado

En estas pilas el tablero está simplemente apoyado sobre la pila mediante un neopreno con una placa de teflón, con lo que se consigue que el tablero únicamente transmita esfuerzo axial de compresión a la pila. Por tanto, esta pila se armará con las armaduras mínimas exigidas para pilares. En cuanto a sus dimensiones son las mismas que para las pilas anteriores, exceptuando que la longitud de éstas es de 6.2m.

7.2.2.4. Estribo del lado Tempelhof

El estribo del lado Tempelhof está formado por un muro frontal de 19.5m de largo, 10m de alto desde el plano de cimentación de los cuales 1.5m son de canto de la zapata y 8.5m son de alzado del muro, y un ancho de zapata de 5 m. De los extremos de este muro parten dos aletas con muy poco ángulo respecto de éste (25°), las cuales están retranqueadas 3.5m. Estas aletas pierden altura a razón de una inclinación de 2/3. Sobre este muro se disponen dos neoprenos de dimensiones 250x400 mm sobre los cuales irán apoyadas las vigas longitudinales.

7.2.3. Torres y atirantamiento

Las torres tienen una forma similar a la de las pilas aunque de dimensiones más reducidas. Tanto la base como la coronación tienen una forma hexagonal. En la primera el rectángulo exinscrito mide 2x1m, mientras que en

la segunda mide 3.5x1m. En los laterales tienen una hendidura que es nula en la base y va ganando profundidad conforme se acerca a la coronación, de la cual parten las pantallas que servirán de cubrición para los cables.

Estos cables, cuyo diámetro de vaina es 13 cm, los cuales son pasantes a través de la torre. Esto se realiza con desviadores los cuales están formados por perfiles tubulares metálicos, debidamente unidos y rigidizados, los cuales quedan embebidos en el hormigón de la torre. Dentro de estos desviadores se alojan los cables con sus respectivas vainas. El anclaje de los cables que queda sobre los trenes será un anclaje pasivo que quedará completamente dentro de la viga longitudinal, mientras que el anclaje del vano central será desde el que se tese. Como se ha comentado con anterioridad, ambas zonas de anclaje estarán macizadas.

La torre estará principalmente sometida a esfuerzos de compresión, por lo que se ha armado con las armaduras mínimas requeridas para pilares.

7.3. Equipamientos

Se describen a continuación los equipamientos diseñados para el puente: impostas, evacuación de aguas, iluminación, pavimentos, separador carril-bici, barandillas y los bordillos para las aceras. Si se precisa mayor información acerca de cualquier aspecto relacionado con éstos, puede consultarse en el Anejo nº 4 *Diseño de equipamientos*, de la presente memoria.

7.3.1. Imposta

La imposta que se ha diseñado para este puente es prefabricada, donde la geometría viene determinada por la adaptabilidad al tablero y la estética general del puente. El anclaje al tablero se realizará dejando unas esperas en la zona de anclaje y realizando el hormigonado de éstas en una segunda fase, simultáneamente a la ejecución de las aceras.

7.3.2. Barandillas

Se han dispuesto las barandillas de la casa Garda, el modelo Illuminated Handrail. Se tratan de unas barandillas que cumplen con las exigencias que marca la normativa. La justificación de esta elección se basa fundamentalmente por cuidar la estética del puente, que como ya se ha comentado, es un factor muy importante a tener en cuenta.

Estas barandillas seleccionadas, además de colaborar con la estética del puente, llevan instalada una luminaria en el pasamano.

7.3.3. Evacuación de las aguas

El diseño del conjunto de elementos necesarios para la evacuación de las aguas se ha realizado según la instrucción 5.2IC.

Tras los cálculos realizados, que se encuentran en el anejo nº4 de la memoria: *Diseño de equipamientos*, se ha decidido diseñar una rejilla con los huecos oblícuos, cuya fabricación se encarga a una fundición. La disposición de las rejillas no es la óptima ya que ha prevalecido la seguridad de los ciclistas

Las rejillas dispuestas como sumideros son de dimensiones 200*250*20 mm, en el *Documento Nº2 Planos*, específicamente en el plano nº13 puede verse con más detalle su diseño.

Se disponen 19 sumideros en la parte más desfavorable del puente, que mide 80m. Por lo que para la totalidad del tablero, se colocan 27 sumideros, es decir, uno cada 4m.

7.3.4. Firme

Para la determinación de un adecuado firme para los viales que discurren por el puente, así como para los accesos, al no disponer de un estudio de tráfico específico, se ha realizado considerando una categoría de tráfico T31, de acuerdo con la nomenclatura que establece la Instrucción de carreteras. Sin embargo este punto deberá recalcularse en el proyecto de construcción.

Así pues tras el dimensionamiento realizado se ha obtenido un firme sobre el puente compuesto por una capa de rodadura de 6cm de espesor (AC22surf S), para el firme en los terraplenes de acceso al puente se ha dimensionado un paquete de firme compuesto por zahorra artificial, capa de mezcla bituminosa base de 10 cm (AC22 base S) y capa de rodadura de 6 cm (AC22 surf S) con sus respectivos.

También se ha diseñado una capa de estanqueidad. Para la unión de ésta con el hormigón del tablero se realizará un riego de imprimación con emulsión tipo ECR-1.

Para consultar el proceso de dimensionamiento llevado a cabo, así como para consultar cualquier otro aspecto técnico se remite al lector al Anejo nº4 de la memoria "*Diseño de equipamientos*".

7.3.5. Iluminación

El diseño de la iluminación se ha llevado a cabo por el software DiaLux 4.12.

Se ha optado por una iluminación bilateral frente a frente de forma que los mástiles se sitúan entre el carril bici y la acera. Las farolas funcionarán de forma que iluminen la parte del carril bici y calzada correspondiente, por otro lado, la iluminación de lado peatonal se realizará mediante la propia iluminación de la barandilla.

Se han dispuesto farolas del modelo Viatana/9000-740 26 ETDD Viatana, cada 15m.

Para ver el proceso de cálculo realizado, así como para consultar otros detalles de la disposición de las farolas dispuestas se remite al lector al Anejo nº4 de la memoria "*Diseño de equipamientos*".

7.3.6. Aceras

7.3.6.1. Pavimento

El pavimento elegido para las aceras es de la casa comercial Porcelanosa, el modelo KVDRO HUESO. Se trata de un pavimento que debido a su composición material, lo convierte en un pavimento adecuado para las zonas de tráfico peatonal, como son las aceras, e incluso el paso ocasional de vehículos si fuese necesario por algún motivo.

Su colocación es convencional, disponiendo únicamente una capa de mortero de agarre entre la losa de hormigón armado y las baldosas que conforman este pavimento.

Para más detalles se remite al lector al Anejo nº4 de la memoria "*Diseño de equipamientos*".

7.3.6.2. Bordillos

Los bordillos dispuestos en las aceras son de la casa comercial GLS Prefabricados de hormigón.

La elección de éstos se ha realizado basándonos en la búsqueda de un bordillo cuyas características geométricas lo establecieran como no rebasable.

Para más detalles se remite al lector al Anejo nº4 de la memoria "*Diseño de equipamientos*".

7.3.7. Carril bici

7.3.7.1. Pavimento

Para la elección del carril bici se ha dispuesto un Sistema Compodur Plus Color S/Hormigón, de la casa comercial Composan. Se trata de un revestimiento rugoso de pavimento de hormigón obtenido mediante la puesta en obra de un sistema multicapa.

7.3.7.2. Separadores carril bici

Se han dispuesto los separadores del carril bici de la casa comercial Zebra, específicamente el modelo Zebra13, donde sus características técnicas se encuentran desarrolladas en el Anejo nº4 de la memoria “*Diseño de equipamientos*”

7.4. Proceso constructivo

La ejecución de las obras comenzará en primer lugar con trabajos previos consistentes en el desbroce, preparación del terreno y replanteo de la obra. Se proseguirá con la mejora del terreno mediante vibrocompactación.

Al mismo tiempo comenzará el movimiento de tierras y las excavaciones necesarias para la ejecución de las cimentaciones empezando por las que no están afectadas por la mejora del terreno, siendo necesarias tablestacado en determinadas zonas de las excavaciones para evitar derrames de tierras o interferencias con las vías ferroviarias.

Conforme se completen las excavaciones se podrá comenzar a ejecutar las cimentaciones empezando por el hormigón de limpieza y el relleno de hormigón en masa y el posterior encofrado, ferrallado y hormigonado de las zapatas. A continuación se procederá a los rellenos localizados sobre cimentaciones para restituir la rasante del terreno.

Una vez finalizadas las cimentaciones, se construirán los estribos. Ambos estribos están formados por muros ménsula por lo que una vez completados se procederá a la ejecución de las losas de transición como de los rellenos localizados en el trasdós del muro con material filtrante así como un colector en la base del muro para evitar la acumulación de agua en el trasdós del muro y a la colocación de los aparatos de apoyo.

A continuación se comenzará a realizar el encofrado y ferrallado para la ejecución del hormigonado de las pilas, teniendo distinto acabado de coronación dependiendo de su función. Para las pilas 2 (Tempelhof) en las cuales las vigas estarán simplemente apoyadas se les colocará los aparatos de apoyo deslizante, las pilas que irán rígidamente unidas con las vigas se dispondrán las armaduras de espera para la posterior ejecución de las “cabezas de martillo” para el empotramiento con las vigas longitudinales.

Simultáneamente, se acopiarán las distintas partes metálicas, como son las vigas longitudinales, vigas transversales y cuchillos que serán fabricadas en taller y transportadas por partes hasta la obra donde se ensamblarán formando un esqueleto metálico.

Antes de poder posicionar el esqueleto metálico sobre las pilas es necesaria la construcción de apoyos provisionales en el primer y segundo vano, para disponer de un apoyo extra durante la fase de construcción. Esto ayudará a que las partes del esqueleto metálico a colocar mediante grúa sean menores y a resistir los esfuerzos generados por el peso propio de la estructura metálica y del peso del hormigón fresco de la losa que se ejecutará una vez posicionado la estructura metálica

Una vez finalizado el primer tramo de esqueleto metálico, este es el del vano sobre las vías, formado por vigas longitudinales vigas de piso y cuchillos, se procederá a su colocación mediante grúa hasta su posición sobre los apoyos. Se procederá del mismo modo con las distintas partes de la estructura metálica.

Una vez estén posicionados los esqueletos metálicos, se procede a la unión de las vigas longitudinales dándoles continuidad, así como ejecutar la “cabeza de martillo” en la unión rígida para conectar la pila con las vigas longitudinales.

En este punto se ejecutará la torre donde está embebido el desviador, por donde pasarán las vainas de los tirantes. Para la colocación de los anclajes pasivos en la zona interior de la viga longitudinal se habrá dispuesto un marco de posicionamiento donde estarán sujetos los anclajes hasta la ejecución del relleno con hormigón. En la chapa inferior de la viga longitudinal se habrán dispuesto unas ventanas dando acceso a los marcos de posicionamiento que permitirá el paso de los cordones de acero y la manipulación de las cuñas. Una vez se hayan pasado y posicionado todos los cordones se procederá al cierre de las ventanas para ejecutar al relleno con hormigón. Los anclajes activos se colocarán en el cajado dispuesto en la viga longitudinal del vano 2.

Con el emparrillado completado se colocarán los módulos de chapa grecada que servirán como encofrado perdido para la losa de hormigón armado. En el momento en que la chapa esté fijada se constituirá la losa de hormigón armado, esta quedará unida solidariamente a toda la estructura metálica mediante, conectadores y a la propia chapa grecada.

Una vez la losa haya adquirido la suficiente resistencia se procederá al tesado de los cables mediante gatos hidráulicos desde los anclajes activos, esto provocará el levantamiento del tablero, por lo que se producirá la separación entre el tablero y los apoyos provisionales, permitiendo por tanto el desmontaje de estos.

De aquí en adelante se comenzará a la ejecución de pavimentos y a la instalación de equipamientos. En primer lugar se comenzará por la ejecución del paquete del firme en los terraplenes de acceso al puente y sobre el tablero que solo se dispondrá capa de estanqueidad, capa de rodadura y los riegos correspondientes.

Al mismo tiempo se podrá ejecutar la acera formada por el bordillo prefabricado, el pavimento y el relleno de hormigón disponiendo las conducciones para servicios

Por último se instalará el resto de equipamientos como la imposta, las luminarias, los elementos de drenaje, la barandilla... y la ejecución del pavimento del carril bici y el pintado de marcas viales.

8. Plan de obra

El plazo de ejecución de las obras, conforme se especifica en el Plan de Obra del anejo 5 *Plan de Obra*, es de aproximadamente 11 meses (234 días de trabajo).

En dicho anejo se encuentran los plazos parciales previstos para cada una de las tareas a realizar durante la construcción del puente, así como una representación gráfica de la evolución temporal estimada mediante un diagrama de Gantt en el cual aparecen las relaciones de dependencia entre tareas.

9. Presupuesto

9.1. Presupuesto de ejecución material

A partir de las mediciones realizadas sobre los planos constituyentes del Documento nº 2 y para cada unidad de obra recogida en el Documento nº 3 Presupuesto se ha elaborado el presupuesto de ejecución material, que asciende a la cantidad de **TRES MILLONES TRESCIENTOS NOVENTA Y SIETE MILL NOVECIENTOS ONCE EUROS CON CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS (3.397.911'43 €)**

9.2. Presupuesto global de licitación

Se obtiene a partir del presupuesto de ejecución material introduciendo los gastos generales (16%), el beneficio industrial (6%) y el IVA

Asciende el presupuesto global de licitación a la cantidad de **CUATRO MILLONES OCHOCIENTOS NOVENTA Y DOS MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y DOS EUROS CON SESENTA Y OCHO CENTIMOS (4.892.652'68 €)**

10. Documentos constituyentes del proyecto

Documento nº1: Memoria

Anejos a la memoria

- 1.- Estudio de soluciones
- 2.- Informe geológico-geotécnico
- 3.- Diseño y comprobación de la estructura
- 4.- Diseño de equipamientos
- 5.- Plan de obra
- 6.- Infografías

Documento nº2: Planos

- 1.- Situación y emplazamiento
- 2.- Topografía y replanteo
- 3.- Planta general
- 4.- Trazado general y perfil longitudinal
- 5.1.- Definición general: Planta y Alzado
- 5.2.- Definición general: Sección tipo
- 6.- Planta de cimentación y perfil estratigráfico
- 7.1.- Estribo Oberland: Geometría
- 7.2.- Estribo Oberland: Armado
- 7.3.- Estribo Tempelhof: Geometría
- 7.4.- Estribo Tempelhof: Armado
- 8.1.- Pila Oberland: Geometría
- 8.2.- Pila Oberland: Armado
- 8.3.- Pila Tempelhof: Geometría y Armado
- 9.1.- Definición parte metálica: Definición geométrica

9.2.- Definición parte metálica: Secciones transversales

9.3.- Definición parte metálica: Vigas longitudinales

9.4.- Definición parte metálica: Distribución de conectadores

10.- Aparatos de apoyo y junta de dilatación

11.- Tirantes y desviador

12.1.- Losa: Armado superior

12.2.- Losa: Armado inferior

12.3.- Losa: Armado grecas y sección

13.- Equipamientos

14.- Proceso constructivo

Documento nº3: Presupuesto

11. Conclusión

Con todo lo expuesto en la presente memoria y en sus anejos, así como en el resto de documentos que integran el presente proyecto básico, se considera el mismo lo suficientemente desarrollado, se somete a la aprobación del Tribunal.

Valencia, Junio 2015.



Eric Belenguer Esteve



Marcos Pastor Ortola



Francisco Javier Pérez Esteban



Santiago Talavera Sánchez