



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Universidad Politécnica de Valencia

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

TRABAJO FINAL DE MÁSTER. CURSO ACADÉMICO 2016/17:

DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN PUENTE EXTRADOSADO SOBRE EL RÍO VALDELINARES, EN LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD FERROVIARIA MADRID EXTREMADURA. TÉRMINO MUNICIPAL DE PLASENCIA (CÁCERES).
- COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL -

Trabajo Final de Máster del autor:
David Cabrero García

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Tutor:
D. Julián Alcalá González

Septiembre 2017

Cotutor:
D. Juan José Clemente Tirado



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL

1. DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

1.1 ANEJO Nº1: LOCALIZACIÓN Y TOPOGRAFÍA

1.2 ANEJO Nº2: GEOLOGÍA

1.3 ANEJO Nº3: CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA

1.4 ANEJO Nº4: ESTUDIO DE SOLUCIONES

1.5 ANEJO Nº5: PLAN DE OBRA

1.6 ANEJO Nº6: CÁLCULOS ESTRUCTURALES

1.7 ANEJO Nº7: VALORACIÓN ECONÓMICA

2. DOCUMENTO Nº2: PLANOS





DOCUMENTO Nº I:

MEMORIA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN. OBJETO Y ALCANCE	1
2. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	1
3. OBJETO DEL PROYECTO	2
4. LOCALIZACIÓN.....	3
5. GEOLOGÍA	4
6. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA.....	4
7. ESTUDIO DE SOLUCIONES	5
8. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	5
9. PROCESO CONSTRUCTIVO	7
10. PLAZO DE EJECUCIÓN	7
11. RESUMEN DE LA VALORACIÓN ECONÓMICA.....	7
12. DOCUMENTOS DEL PROYECTO	8



1. INTRODUCCIÓN. OBJETO Y ALCANCE

La presente memoria corresponde al diseño y análisis estructural de un puente extradosado sobre el río Valdelinares, en la línea de alta velocidad ferroviaria Madrid - Extremadura. Concretamente, en su paso por el término municipal de Plasencia (Cáceres).

El contenido consiste en el estado del arte de puentes de hormigón extradosado, tanto su evolución como las tendencias actuales, así como del planteamiento de alternativas para llevar a cabo las obras de construcción de dicho puente que se proyecta como solución alternativa a la solución tradicional mediante tableros cajón de gran canto que ha sido llevada a cabo.

El viaducto de Valdelinares atraviesa un área de meandros de un barranco en una zona muy llana. Como el viaducto se ha resuelto con una solución tradicional mediante tableros cajón de gran canto, la rasante se ha tenido que elevar lo suficiente para permitir un gálibo razonable, lo que ha condicionado todo el diseño del tramo. Sin embargo, una tipología estructural que disponga los elementos resistentes sobre la rasante permitiría rebajar la cota de la misma, mejorando el trazado en alzado de manera sustancial.

Por ello se propone con este trabajo analizar la posibilidad de reemplazar el tablero cajón por un viaducto de pretensado extradosado, una tipología emergente en la actualidad.

El presente documento comprende, además de la visión sobre el estado del arte del hormigón extradosado y del planteamiento de alternativas para llevar a cabo el puente, todo lo necesario para la correcta ejecución del tablero, con sus respectivos dimensionamientos y análisis tanto estáticos como dinámicos.

Este proyecto constituye el Trabajo Final de Máster de los autores, y se presenta para cumplir el requisito necesario para la obtención del Máster Habilitante de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.

Este trabajo fue propuesto a los alumnos como Trabajo Final de Máster por D. Julián Alcalá González, profesor de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Valencia y aprobado por la Comisión Académica de Título de la misma.

El profesor D. Julián Alcalá González, ha suministrado toda la información necesaria para hacer posible el desarrollo del trabajo final de máster.

2. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

Documento Nº1

MEMORIA Cabrero García, David
Ottobriño Capdevila, Borja
Valles Murcia, Antonio

ANEJO Nº 01. LOCALIZACIÓN Y TOPOGRAFÍA Cabrero García, David
Ottobriño Capdevila, Borja
Valles Murcia, Antonio

ANEJO Nº02. GEOLOGÍA Cabrero García, David
Ottobriño Capdevila, Borja
Valles Murcia, Antonio

ANEJO Nº03. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA: Cabrero García, David
Ottobriño Capdevila, Borja
Valles Murcia, Antonio

ANEJO Nº04. ESTUDIO DE SOLUCIONES Valles Murcia, Antonio

ANEJO 05. PROCESO CONSTRUCTIVO Cabrero García, David
Ottobriño Capdevila, Borja
Valles Murcia, Antonio

ANEJO 06. CÁLCULOS ESTRUCTURALES Cabrero García, David
Ottobrino Capdevila, Borja

ANEJO 07. VALORACIÓN ECONÓMICA Cabrero García, David
Ottobrino Capdevila, Borja
Valles Murcia, Antonio

Documento Nº2

PLANOS Cabrero García, David
Ottobrino Capdevila, Borja
Valles Murcia, Antonio

3. OBJETO DEL PROYECTO

En el marco de la inclusión de la línea Madrid-Extremadura-Frontera portuguesa primero en el Plan Estratégico de infraestructuras 2005-2020 (PEIT) y más tarde en el PITVI (Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda 2012-2024), durante los últimos años se han ido redactando los proyectos constructivos de los tramos en los que se ha dividido la línea de Alta Velocidad, y acometiendo la construcción de los mismos en función de las disponibilidades presupuestarias.

Dado que ADIF pretende poner en valor en un futuro inmediato los tramos ya construidos de alta velocidad entre Monfragüe y Cáceres, se plantea la ejecución de sendas conexiones provisionales, la situada más al Norte junto al triángulo ferroviario de Monfragüe, y la situada más al Sur en las cercanías de Casar de Cáceres, posibilitando la puesta en servicio del nuevo trazado al paso por el embalse de Alcántara, con los viaductos sobre los ríos Tajo y Almonte, y eliminando el tramo sinuoso de Río Tajo, con numerosas curvas y de fuerte pendiente.

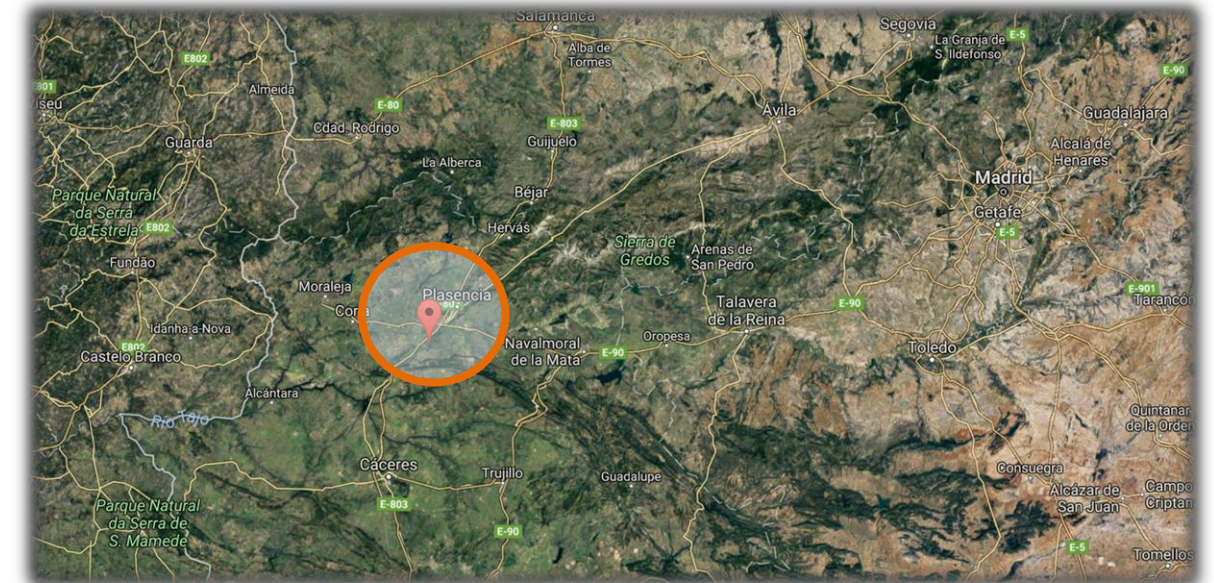
Además, la conexión planteada en Plasencia permitirá el acceso de los nuevos tramos construidos en Alta Velocidad a esta población, manteniendo la estación en su ubicación actual, cerca del casco urbano, lo que obliga a la construcción de dos ramales de conexión, uno en dirección Monfragüe/Madrid y otro en dirección Plasencia, reproduciendo en cierta manera un nuevo triángulo junto al ya existente de Monfragüe.

Como proyecto básico, el alcance del mismo debe ser la definición de las obras a realizar con el grado de detalle suficiente para poder determinar la ocupación en planta, y por lo tanto las expropiaciones necesarias para la ejecución de las obras.

4. LOCALIZACIÓN

El tramo en estudio se ubica en la comunidad de Extremadura, concretamente en la provincia de Cáceres. El proyecto se desarrolla íntegramente al suroeste del término municipal de Plasencia, concretamente, muy próximo a Mirabel, un municipio de tan sólo 687 habitantes.

A continuación, en las siguientes imágenes se muestra en el círculo naranja, la ubicación exacta en la que se proyecta el puente:



5. GEOLOGÍA

En el “Anejo Nº 2. Anejo geológico” se muestran la caracterización geológica de la zona de actuación, obtenida de los reconocimientos realizados para el “Proyecto de Construcción de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Extremadura. Talayuela – Cáceres. Tramo: Estación de Plasencia. Plataforma.”, que complementan las prospecciones previas ejecutadas en las campañas geotécnicas correspondientes a:

- Estudio Informativo de la “Línea Ferroviaria de Alta Velocidad Madrid-Extremadura. Tramo Talayuela-Cáceres”. UTE PROINTEC-SENER.
- Estudio Geológico-Geotécnico de la Línea Ferroviaria de Alta Velocidad Madrid-Extremadura. Tramo Talayuela Cáceres. Subtramo: Malpartida de Plasencia-Estación de Plasencia/Fuentidueñas. EUROCONSULT.

En el informe realizado se evalúa la estratigrafía, la tectónica, la geomorfología, la sismicidad y los riesgos geológicos de la zona.

Como se puede observar en el “Plano 2.1. Situación Geológica”, la actuación se encuentra en una zona de grauvacas y pizarras, superficialmente. En el “Plano 2.2. Planta Geológica” y en el “Plano 2.3 Perfil Geológico” se pueden distinguir los distintos materiales, detalladamente, a lo largo del viaducto, tanto en planta como en su sección longitudinal respectivamente.

6. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA

El “Anejo Nº 3. Climatología e hidrología” consta de dos partes diferenciadas y con objetivos diferentes. La primera parte consiste en la redacción de un análisis climatológico del entorno del Proyecto. Se han buscado datos de las principales estaciones meteorológicas de la zona, que se han procesado para extraer conclusiones de utilidad. Se han calculado diversos índices de clasificación climática, además de los valores medios de las principales variables (precipitación, temperatura, etc.).

La segunda parte del documento se centra en el cálculo de los caudales de avenida del cauce natural interceptado por la traza. Para ello es necesario realizar una serie de trabajos previos entre los que destacan los siguientes:

- Delimitación y definición de las características físicas de la cuenca interceptada por la traza.
- Recopilación y análisis de datos pluviométricos.
- Cálculo de los caudales máximos correspondientes a los distintos periodos de retorno considerados.

Para la redacción de este Anejo se han consultado los datos de las estaciones pertenecientes a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), así como las siguientes publicaciones climatológicas:

- Atlas Climático de España, editado por el Instituto Nacional de Meteorología.
- Tiempo y clima en España. Meteorología de las autonomías, de la editorial Dossat 2000.
- Datos Climáticos para Carreteras, editado por la División de Construcción de la Dirección General del MOPT.

7. ESTUDIO DE SOLUCIONES

El objetivo del presente apartado, correspondiente al “Anejo Nº 4. Estudio de Soluciones”, ha sido el estudio de diferentes alternativas como solución al tablero del viaducto sobre el arroyo de Valdelinares en Plasencia (Cáceres).

Inicialmente, se aborda el estudio de las diferentes tipologías longitudinales aplicadas en la alta velocidad española tratando de exponer y justificar las ventajas y limitaciones de cada una de ellas y, asimismo, tratando de describir la evolución que media en estos más de quince años de presencia de la alta velocidad en España.

A continuación, se exponen los principales condicionantes y los distintos objetivos en los que se basa el planteamiento de las alternativas y la determinación de una solución final óptima.

Una vez se decide la tipología estructural a utilizar, se expone el estado del arte correspondiente, con el objetivo de conocer sus orígenes, su evolución a lo largo de la historia, sus características y las diferentes formas que puede adoptar para finalmente decidir de manera concreta la morfología de la sección transversal de la solución adoptada.

8. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Tras la realización del estudio de soluciones tal y como se ha descrito en el apartado anterior, la solución adoptada es la de “Puente de pretensado extradadoso mediante “velas” de hormigón”.

En el apartado correspondiente del “Anejo Nº 4. Estudio de Soluciones”, se describe detalladamente la solución finalmente adoptada, resultante de los cálculos estructurales realizados y de los condicionantes presentados.

Se trata de una estructura que consta de un único tablero de 6 vanos, con luces de 49,50 m en los vanos extremos y de 60 m en los cuatro vanos interiores, dando lugar a una longitud total de 339,00 m.

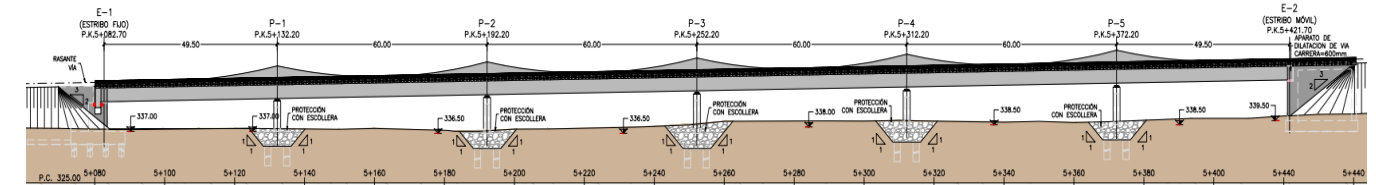


Figura 8.1. Alzado longitudinal

Entre los diferentes tipos de sección transversal posibles para el tablero de un puente con pretensado extradadoso, se ha decidido utilizar una sección donde el pretensado extradadoso se dispone embebido en el interior de una vela de hormigón, de altura variable, localizada en el centro del tablero, haciendo a su vez de separación entre las vías.

Como parte de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Extremadura, la sección respeta el ancho de los tramos conexos, tratándose de dos vías de ancho internacional (1435 mm) apoyada sobre traviesas de hormigón y balasto.

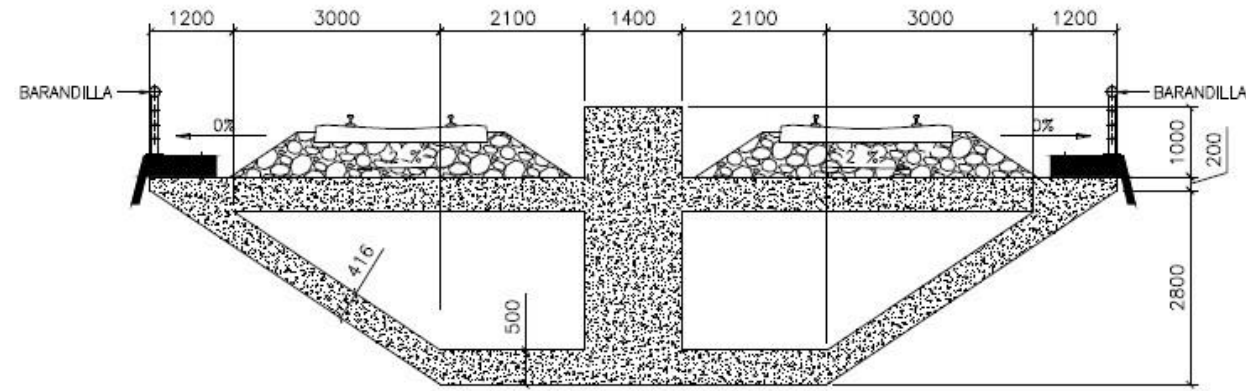


Figura 8.2. Sección transversal en el centro de vano.

En los apoyos, la vela de hormigón alcanza su máxima altura (4 m). Variación debida a las necesidades estructurales de sección a lo largo del tablero, así como a la trayectoria de los diferentes tendones que se disponen en su interior.

Además, en las zonas de apoyo, tanto en las pilas como en ambos estribos, la sección se presenta macizada tal y como se muestra a continuación:

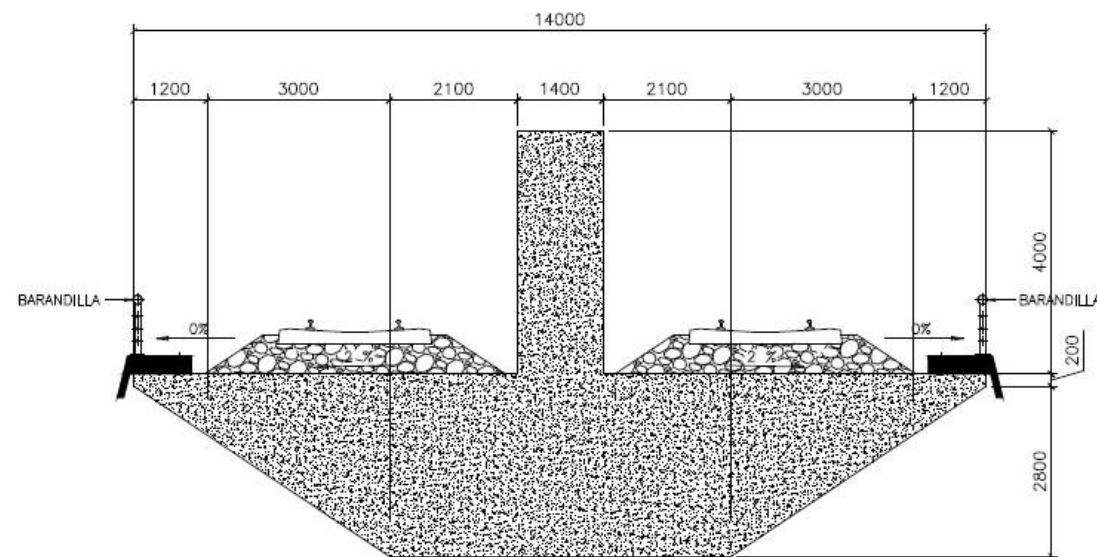


Figura 8.3. Sección transversal sobre las pilas

En cuanto al sistema resistente global del puente, mencionar que se complementa la acción del pretensado extradadosado con la resistencia de la sección variable en cajón. Por el interior de la vela transcurre el pretensado, siendo más eficiente debido al incremento de brazo mecánico. Esta vela es el elemento principal y sobre el que se fundamenta el sistema resistente del puente. Con ella se consigue tanto aumentar la rigidez de la sección frente a cargas verticales como desarrollar el pretensado fuera de la sección típica.

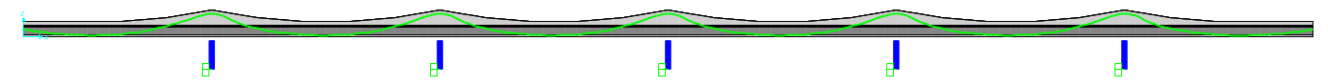


Figura 8.4. Trazado teórico del pretensado.

La línea verde que recorre la sección es la línea central que define el pretensado. Como podemos observar viaja por el interior de la vela sobrepasando la rasante del tablero, lo que, como se ha mencionado, incrementa el brazo mecánico del pretensado y favorece a contrarrestar los momentos flectores negativos en los apoyos.

Estos tendones siguen un trazado parabólico por la vela de la sección, respetando una serie de puntos de paso. Cada fase tiene cuatro puntos de paso ineludibles.

Como se puede deducir del párrafo anterior, la estructura se desarrolla en fases, tal y como se detalla más adelante en el apartado correspondiente al proceso constructivo.

9. PROCESO CONSTRUCTIVO

El esquema resistente de la estructura va cambiando durante las distintas fases del proceso constructivo por lo que el sistema debe resistir tanto las sollicitaciones finales como las que se producen durante la ejecución. Ello implica que deben ser tenidas en cuenta todas las fases del método constructivo.

En el *“Anejo Nº 5. Plan de obra”* se ha expuesto de forma detallada y gráfica el desarrollo de la construcción. A continuación se realiza un resumen de las distintas fases del proceso:

La ejecución comenzará con una serie de trabajos previos consistentes en la preparación y desbroce del terreno, seguidos de un replanteo. Se prosigue con el movimiento de tierras necesario para la ejecución de las cimentaciones de los estribos.

Posteriormente se ejecutan las pilas y los estribos. Dado que este Trabajo Final de Máster está centrado en el análisis del tablero, la materialización de los elementos de la subestructura no es objeto del mismo. Por ello se realiza una explicación del proceso constructivo de los elementos de la superestructura.

Las fase inicial de la ejecución del tablero es el montaje de cimbra y el encofrado exterior. Posteriormente se procede con el armado de la losa inferior, las almas exteriores y el alma central, teniendo en cuenta también la ubicación de las vainas de pretensado. Seguidamente se anclan los aligeramientos de poliestireno expandido y arma la losa superior de la sección en cajón. En ese punto se ejecuta la primera fase de hormigonado, que coincide con la rasante del tablero. Tres días después se encofra la vela y se realiza la segunda fase de hormigonado. Tres días después del hormigonado de la vela, y si las probetas dan la resistencia mínima adecuada, se tesan la pase. Mientras fraguaba el hormigón de la vela, se habrá aprovechado para enfilar las vainas y preparar el material necesario para el tesado.

Una vez la estructura ha sido tesada, se considera que entra en carga y es autoportante, por lo que puede procederse al desencofrado y descimbrado de esa fase. Mientras se realizaba las tareas de hormigonado de la primera fase, se iniciarán las fases de montaje de cimbra y encofrado de la segunda fase para reducir los tiempos globales de ejecución.

Este proceso se repite en las seis fases de la estructura con pequeñas variaciones, explicadas en el anejo citado al inicio de este punto.

10. PLAZO DE EJECUCIÓN

El plazo de ejecución global de la obra es de aproximadamente 30 semanas, mientras que la ejecución del tablero tiene una duración de 19 semanas.

En el *“Anejo Nº 5. Plan de obra”* se ha expuesto un resumen de las tareas y actividades así como de una representación gráfica de la evolución temporal estimada de la obra mediante un diagrama de Gantt donde aparecen las distintas relaciones de precedencia entre actividades.

11. RESUMEN DE LA VALORACIÓN ECONÓMICA

En el *“Anejo nº 7. Valoración económica”* se presentan los listados de las diferentes unidades de obra, así como el precio que se le aplica a cada una de ellas calculado de acuerdo con las procedencias y teniendo en cuenta los precios de los jornales, materiales y maquinaria que son normales en la zona.

La valoración del coste de ejecución del tablero asciende a CUATRO MILLONES CIENTO CUARENTA Y DOS MIL TRESCIENTOS SETENTA Y OCHO euros.

12. DOCUMENTOS DEL PROYECTO

Documento Nº 1: Memoria

- Anejo Nº 1. Localización y Topografía
- Anejo Nº 2. Geología
- Anejo Nº 3. Climatología e Hidrología
- Anejo Nº 4. Estudio de Soluciones
- Anejo Nº 5. Plan de Obra
- Anejo Nº 6. Cálculos estructurales
- Anejo Nº 7. Valoración económica

Documento Nº 2: Planos e Infografía

ANEJO Nº 1. LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO

- 12.1 LOCALIZACIÓN
- 12.2 REPLANTEO

ANEJO Nº 2. GEOLOGÍA

2.1 SITUACIÓN GEOLÓGICA GENERAL

- 2.1.1 PLANTA DE SITUACIÓN GEOLÓGICA GENERAL. LEYENDA
- 2.1.2 PLANTA DE SITUACIÓN GEOLÓGICA GENERAL

2.2 PLANTA

- 2.2.1 PLANTA GEOLÓGICA. LEYENDA
- 2.2.2 PLANTA GEOLÓGICA

2.3 ALZADO

- 2.3.1 PERFIL GEOLÓGICO. LEYENDA

2.3.2 PERFIL GEOLÓGICO (1/2)

2.3.3 PERFIL GEOLÓGICO (2/2)

ANEJO Nº 3. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA

- 3.1 SITUACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS
- 3.2 MAPA DE LLUVIAS
- 3.3 DELIMITACIÓN DE CUENCAS
- 3.4 USOS DEL SUELO

ANEJO Nº 4. ESTUDIO DE SOLUCIONES

ANEJO Nº 5. PLAN DE OBRA

- 5.1 PROCESO CONSTRUCTIVO (1/2)
- 5.2 PROCESO CONSTRUCTIVO (2/2)

ANEJO Nº 6. CÁLCULOS ESTRUCTURALES

- 6.1 PLANO GENERAL
- 6.2 PRETENSADO (1/3)
- 6.3 PRETENSADO (2/3)
- 6.4 PRETENSADO (3/3)
- 6.5 ARMADO – FASE 1 CONSTRUCCIÓN
- 6.6 ARMADO – FASE 2-5 CONSTRUCCIÓN
- 6.7 ARMADO – FASE 6 CONSTRUCCIÓN
- 6.8 ARMADO – DETALLES

ANEJO Nº 7. VALORACIÓN ECONÓMICA

13. REFERENCIAS

- MINISTERIO DE FOMENTO. (2010). *Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril IAPF*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- MINISTERIO DE FOMENTO. (2010). *Instrucción de hormigón estructural. EHE-08*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- MINISTERIO DE FOMENTO. (2012). *Instrucción de acero estructural. EAE-11*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- AENOR (2013). *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación. UNE-EN 1992-1-1*. Madrid: AENOR.
- VV.AA. (2000). *Obras de paso de nueva construcción – Conceptos generales*. Madrid: Ministerio de Fomento Dirección General de Carreteras. Mayo 2000.
- CHIO G. (2000). *Comportamiento estructural y criterios de diseño de los puentes con pretensado extradadoso*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- TSUKAMOTO A., OKAGAWA H., YOSHINO S. y KONISHI Y. (2002). *Construction of an extradosed bridge by incremental launching method*. 1st fib Congress: Concrete Structures for the 21st Century, Japan.
- LLOMBART J.A. y REVOLTÓS J. (2004). *Puente extradadoso sobre el río Deba (Autopista Vitoria - Gasteiz – Eibar)*. Revista Hormigón y Acero Nº 231. 1^{er} trimestre 2004.
- KASUGA A. (2006). *Extradosed bridges in Japan*. Structural concrete, Vol. 7, Nº 3, pp 91-103.
- MERMIGAS K. K. (2008). *Behaviour and Design of Extradosed Bridges*. Thesis. University of Toronto.
- SOBRINO J. (2009). *Puentes atirantados y extradadosos*. III Simposio internacional sobre diseño y construcción de puentes. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- BENJUMEA J., CHIO G. y MALDONADO E. (2010). *Comportamiento estructural y criterios de diseño de los puentes extradadosos: Visión general y estado del arte*. Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 25, Nº 3, pp. 383-398.
- SUÁREZ M. (2011). *Análisis del comportamiento estructural de puentes extradadosos durante construcción*. Tesis de pregrado. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- BENJUMEA J., CHIO G. y SUÁREZ M. (2013). *Comportamiento estructural de puentes extradadosos durante su construcción por voladizos sucesivos*. Revista EIA, Vol. 10, Nº 20, pp. 111-125.
- TORROJA J.A., DE VILLAR J.M., GAMINO J. y MAZARIEGOS A. (2015). *Origen e historia de los puentes extradadosos*. Jornada técnica anual de ACHE. 11 de Junio de 2015.

Considerando que el presente Proyecto ha sido redactado de acuerdo con las Normas Técnicas y Administrativas en vigor, y que con los documentos que integran este Proyecto se encuentran suficientemente detallados todos y cada uno de los elementos, se somete a la consideración de la superioridad para su aprobación si procede.

Valencia, Septiembre de 2017

AUTOR DEL PROYECTO



Fdo: David Cabrero García