



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MASTER

DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PUENTE SOBRE EL RÍO
SEGURA PARA LA CONEXIÓN DE LA CV-9220 Y LA CV-91
EN ORIHUELA (ALICANTE).

Presentado por

MOYÁ MAÑES, IGNACIO

Para la obtención del

Master en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2018/2019

Fecha: MARZO 2019

Tutor: LÁZARO FERNÁNDEZ, CARLOS



ÍNDICE

1. MEMORIA.
2. ANEJOS.
 - a. ANEJO ESTUDIO SOLUCIONES.
 - b. ANEJO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO.
 - c. ANEJO HIDRÁULICO.
 - d. ANEJO CÁLCULO ESTRUCTURAL.
3. PLANOS.
4. VALORACIÓN ECONÓMICA.

1. MEMORIA

ÍNDICE

1.1. OBJETO.....	1
1.2. DATOS DE PARTIDA.....	1
1.3. INTRODUCCIÓN.....	1
1.4. ESTUDIO DE SOLUCIONES.....	2
1.4.1. Puente Arco.....	2
1.4.2. Puente vigas dos vanos.....	2
1.4.3. Puente Vigas tres vanos.....	3
1.5. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	3
1.5.1. Descripción general.....	3
1.5.2. Estudio Hidrológico.....	5
1.5.3. Geología y Geotecnia.....	5
1.6. BASES DE CÁLCULO.....	6
1.6.1. Normativa utilizada.....	6
1.6.2. Acciones utilizadas.....	6
1.7. HIPÓTESIS DE CARGA.....	6
1.8. MODELOS DE CÁLCULO.....	7
1.8.1. Modelos en tablero.....	7
1.8.2. Modelos en las subestructuras.....	8
1.9. DOCUMENTOS DEL PROYECTO.....	9
1.10. CONCLUSIONES.....	9

1.1. OBJETO.

El presente Trabajo Final de Master (TFM) del máster habilitante de Caminos, Canales y Puertos, consiste en el diseño y análisis de la estructura sobre el río Segura en su paso por la localidad de Orihuela (Alicante), para ser exactos, la conexión entre la CV-9220 y la CV-91. Esta estructura permitirá salvar el cauce del río Segura en su paso por las dos carreteras mencionadas.

Con una serie de datos de partida, el objetivo consiste en realizar los estudios y cálculos necesarios para la elección de la solución ejecutada, obtener las dimensiones y armados de los elementos elegidos para el diseño, comprobar que dichos cálculos cumplen frente a los coeficientes de seguridad de los distintos estados limites que indican las normas vigentes que se han empleado y una relación valorada del proyecto.

1.2. DATOS DE PARTIDA

Se han tenido en cuenta una serie de documentos consultados para la realización del diseño y análisis del puente sobre el río Segura que se mencionan a continuación:

- "Anejo 4, Geología y Geotecnia". Desarrollado por la empresa CIVIS y confeccionado en base a la numerosa información existente en cuanto a ensayos y estudios en el ámbito más cercano a la traza y la zona de cimentación del puente sobre el río Segura, dado que se ha podido contar con los resultados de ensayos y estudios geotécnicos realizados en el "Proyecto Básico de la autovía CV-91", de la Generalitat Valenciana, en su tramo 1 y que planteaba un viaducto de paso sobre el Segura en el mismo punto del trazado del puente de estudio, con un completo estudio geotécnico acompañado de sondeos.
- "Proyecto de Construcción y Proyecto Modificado N°1 de las Obras de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Levante, tramo Orihuela-Colada de la Buena Vida", que, en este punto, para el paso de la CV-91, ha ejecutado un viaducto sobre la misma y la posible traza de la CV-95/ CV-91 del Proyecto Básico referido, y que igualmente sólo se ha realizado un estudio geotécnico completo, sino además ha implementado los procedimientos de una mejora de la estabilidad de los terraplenes necesarios.
- "Anejo Hidrología y Drenaje." Desarrollado por la empresa CIVIS y confeccionada para el diseño y análisis del río Segura a su paso por la zona de Orihuela. Dicho anejo, además, desarrolla una serie de cálculos hidráulicos en la zona de estudio mediante el programa informático HEC-RAS para el análisis de láminas de agua en canales naturales o artificiales.

1.3. INTRODUCCIÓN.

La zona de estudio se encuentra en la zona de Orihuela (Alicante) en el tramo entre la CV-9220 y la CV-91 en su paso por el río Segura.

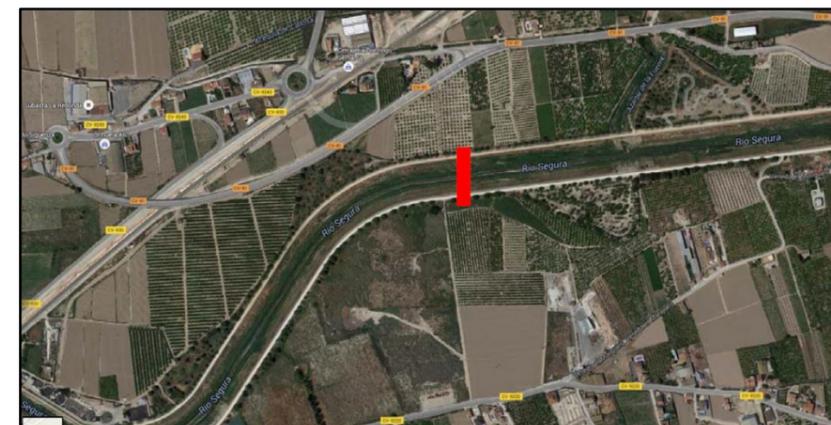


Ilustración 1. Emplazamiento de la obra.

Como podemos observar el emplazamiento del puente permitirá salvar el cauce y realizar una conexión entre la CV-9220 y la CV-91. La autovía CV-91 junto con la CV-95 son dos autovías principales que pasan por la ciudad de Orihuela y que permiten la unión de esta ciudad con la costa y con carreteras de importancia nacional, como son la N-232 y la N340, a la vez que une la autopista AP-7 con la ciudad.



Ilustración 2. Diseño de la obra.

Orihuela es una ciudad con un gran patrimonio y una zona turística de gran importancia en la zona de Levante. En el año 2018, la superficie protegida era de 6.646.93 Ha, un 18.19% respecto a la superficie del municipio (36.544 Ha). Entre esta superficie se encuentra:

- Zona de protección especial para aves (ZEPA): 6582.83 Ha (99.04%).
- Lugar de interés comunitario (LIC): 4447.45 (66.91%).
- Microreserva (Mcr): 45.65 (0.69%).
- Zona húmeda (ZH): 5.71 (0.09%).

1.4. ESTUDIO DE SOLUCIONES

1.4.1. Puente Arco.

La elección del trazado en un solo tramo conlleva la elección de soluciones tipo atirantado o puente arco. Existen varios puentes a lo largo del río Segura que disponen de un puente arco, destacando el puente de La Vicaria con una longitud de 260 metros y una luz de 170 metros en el centro para superar el embalse.

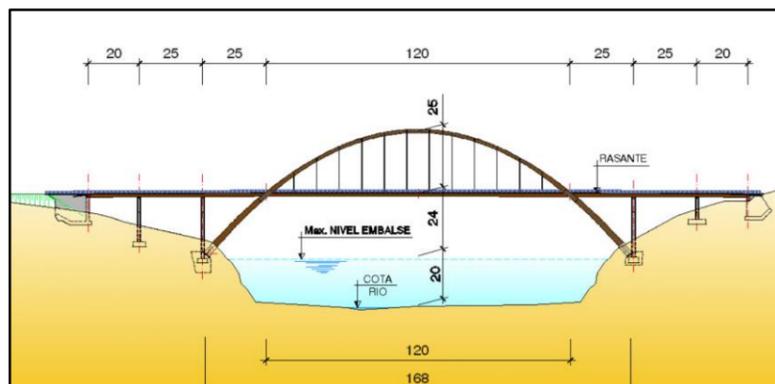


Ilustración 3. Puente La Vicaria

Para el arco, se podrán utilizar dos tipos de sección:

- Cajón metálico con una losa superior de hormigón
- Cajón de hormigón, ya sea pretensado o armado.
- El arco metálico o de hormigón.

La ley de momentos flectores del puente ante las cargas de tráfico, una de las cargas más importantes en el diseño del proyecto es la siguiente:

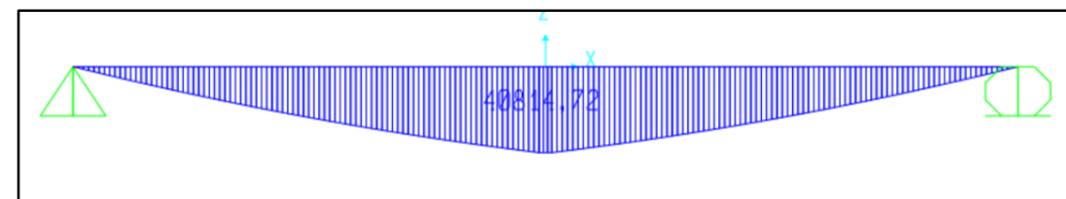


Ilustración 4. Ley de momento flector.

Para salvar el arco, se emplea secciones cuadradas metálicas como se indica en la foto siguiente.

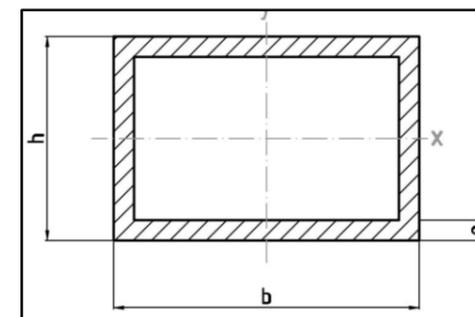


Ilustración 5. Sección transversal arco metálico.

Tanto el arco como las péndolas que cuelgan del arco y conectan con el tablero serán metálicas con una sección cuadrangular o circular con dimensiones necesarias para poder resistir los esfuerzos. Para el arco una sección rectangular con altura "h" mayor que "b" dará inercia al elemento para poder resistir los esfuerzos del arco.

1.4.2. Puente vigas dos vanos.

En la división del puente en dos vanos, la solución pasa por emplear un elemento de apoyo en la zona intermedia del cauce. Dicha elección está condicionada por la confederación hidrográfica del Segura.

Emplear un elemento de apoyo con sus elementos estructurales y geotécnicos no se recomienda por dicha confederación, además, esto obliga a colocar en el centro del cauce, lugar donde más concentración de agua se tiene en caso de avenidas, elementos que serán afectados por las avenidas, obligando a un estudio exhaustivo del comportamiento de los elementos.

Utilizar vanos de 44.65 metros en el diseño del puente condiciona, junto con una serie de recomendaciones de terceros, el diseño del material a emplear para salvar el cauce del río. Como bien hemos comentado anteriormente, la solución de emplear elementos como arcos o tirantes provoca un aumento considerable del puente.

La confederación hidrográfica del Segura no permite realizar un encofrado en el cauce y por ello la solución de elementos de hormigón in situ se descarta para el diseño del tablero que salve la distancia del río.

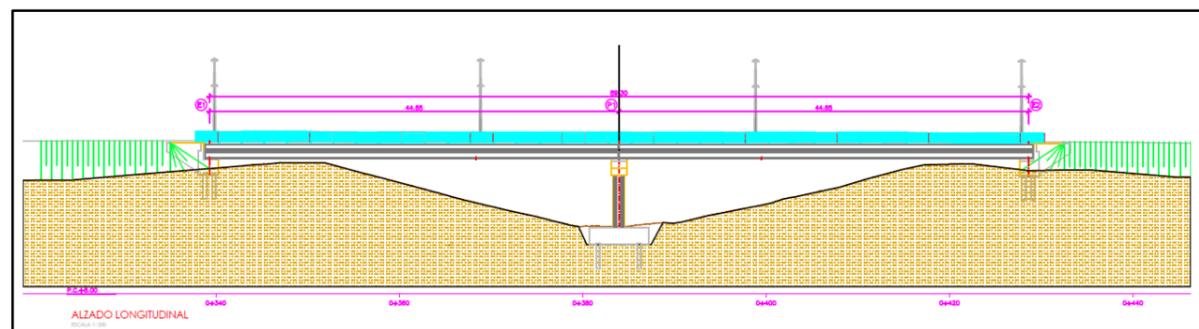


Ilustración 6. Puente de dos vanos.

La ejecución de vigas prefabricadas de 44.65 metros de longitud con sus respectivos esfuerzos a resistir obligará a emplear un canto especial para aguantar dichos esfuerzos a la vez que solventa el problema de salvar la distancia. A mayor longitud de la viga, para elementos biapoyados, se tiene que cumplir la relación de $L/20$ para cantos de vigas biapoyadas.

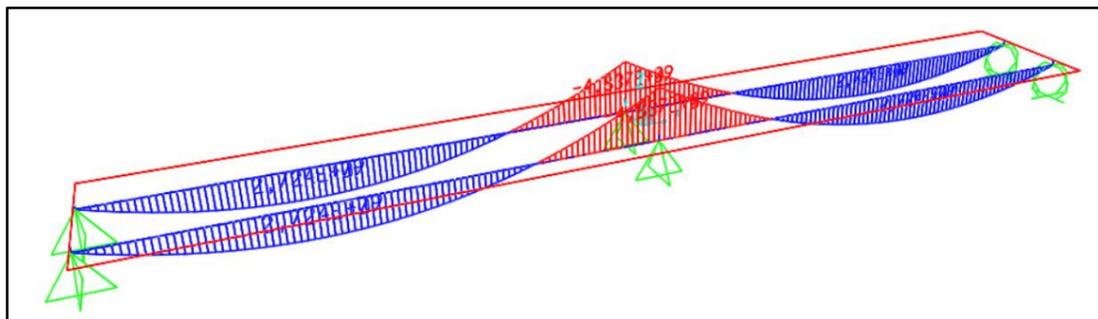


Ilustración 7. Ley de esfuerzos en puente con dos vanos.

Como hemos mencionado, el puente tendrá un elemento de apoyo en la zona media del cauce y en dicho elemento se tendrá que diseñar unos elementos resistentes para transmitir los esfuerzos de los dos vanos a los elementos de cimentación. Esto se traduce en un aumento considerable de los elementos geotécnicos para ser capaces de transmitir al terreno los esfuerzos que absorbe el puente.

1.4.3. Puente Vigas tres vanos.

Con la división en tres vanos se pasa de una subestructura al empleo de dos subestructuras en el diseño del trazado del puente. Con este nuevo trazado se pueden colocar los elementos de apoyo lejos de la zona de mayor importancia del cauce.

El poder desplazar los elementos intermedios del centro de cauce, zona donde más probabilidad se dará de la avenida del río, permite además una facilidad en la elaboración de las construcciones de los elementos intermedios, estudiando, según la confederación hidrográfica del Segura, cómo actuar en caso de invadir el cauce.

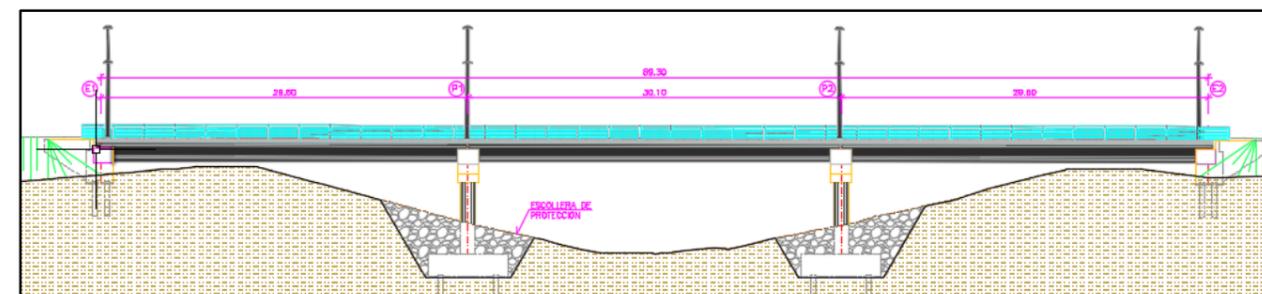


Ilustración 8. Vista alzado del puente de tres vanos.

Con la reducción de la longitud y del material, unido a la división de los vanos en un mayor número de zonas de apoyo intermedio, permite considerar elementos con dimensiones más livianas en comparación a la anterior solución.

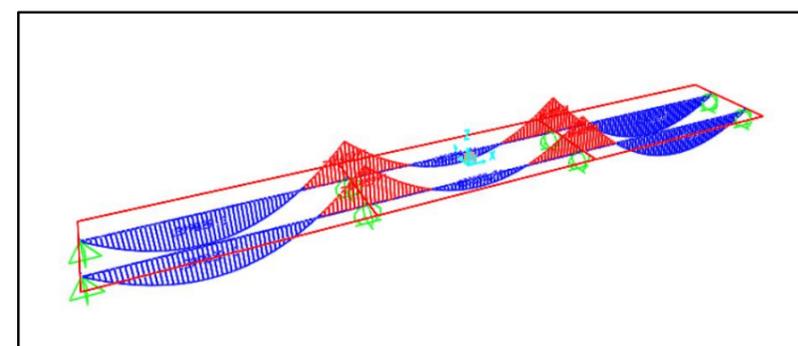


Ilustración 9. Ley de esfuerzos en puente de tres vanos.

Con la relación antes mencionada, $L/20$ para cantos de vigas apoyadas, estas nuevas longitudes permitirán salvar los vanos con un canto más reducido evitando emplear menos material y poder distribuir mejor el reparto de cara a poder aguantar los futuros esfuerzos.

1.5. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

1.5.1. Descripción general.

1.5.1.1. Tablero.

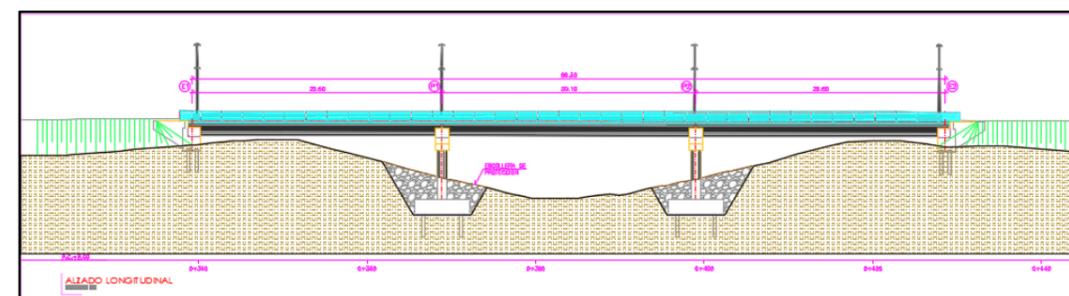


Ilustración 10. Sección longitudinal.

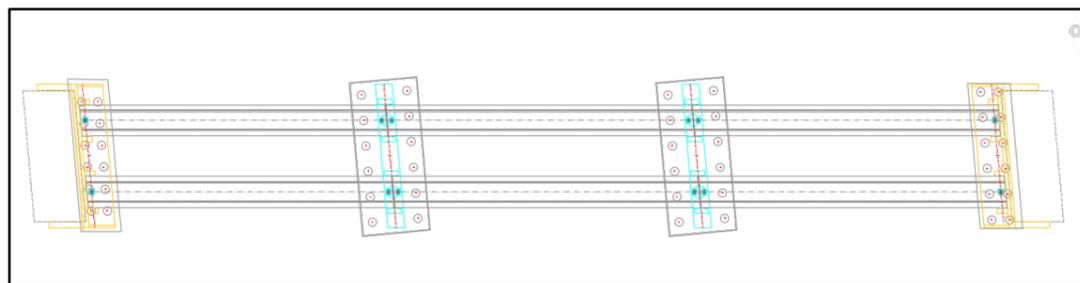


Ilustración 11. Sección en planta.

Se trata de un puente de vigas de planta recta y sensiblemente esviado, con tres vanos de 29.60+30.10+29.60 metros de luz, siendo por tanto la longitud del puente de 89.30 metros. La sección transversal tiene un ancho total de 14 metros, donde existen dos aceras de 2.50 metros y una calzada de 9.00 metros de ancho. El tablero está formado por dos vigas artesas prefabricadas pretensadas de un canto de 0.90 metros y con una losa de compresión de hormigón armado de 0.25 metros.

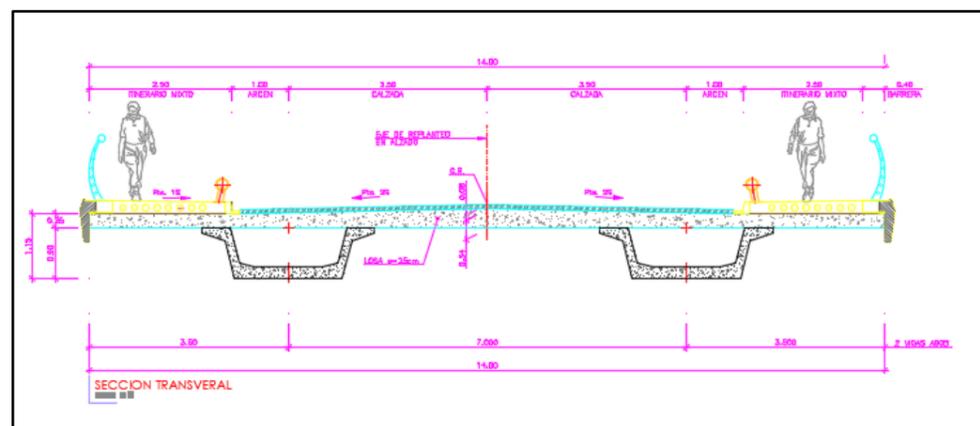


Ilustración 12. Sección transversal.

1.5.1.2. Subestructuras.

La subestructura está formada por dos estribos y dos pilas intermedias, todos ellos pilotados mediante pilotes circulares in situ.

Pilas Intermedias.

Las dos pilas están formadas por pórticos aproximadamente 6.75 metros de altura con dos fustes circulares de sección maciza y un diámetro de 1.20 metros cada uno, Los fustes se encuentran articulados en cabeza mediante un dintel continuo de 0.80 metros de canto y 1.7 metros de ancho y una longitud de 11 metros.

Ilustración 13. Planta dintel y cimentación de pilas.

La cimentación de estas pilas intermedias se resuelve mediante un encepado con unas dimensiones de 15x6.50 metros cuadrados y un canto de 1.80 metros que se apoya sobre 12 pilotes in situ de sección circular y con un diámetro de 0.80 metros. La longitud total de los pilotes es de 47 metros. En el dintel se disponen de cuatro topes sísmicos transversales (2 topes para cada sentido).

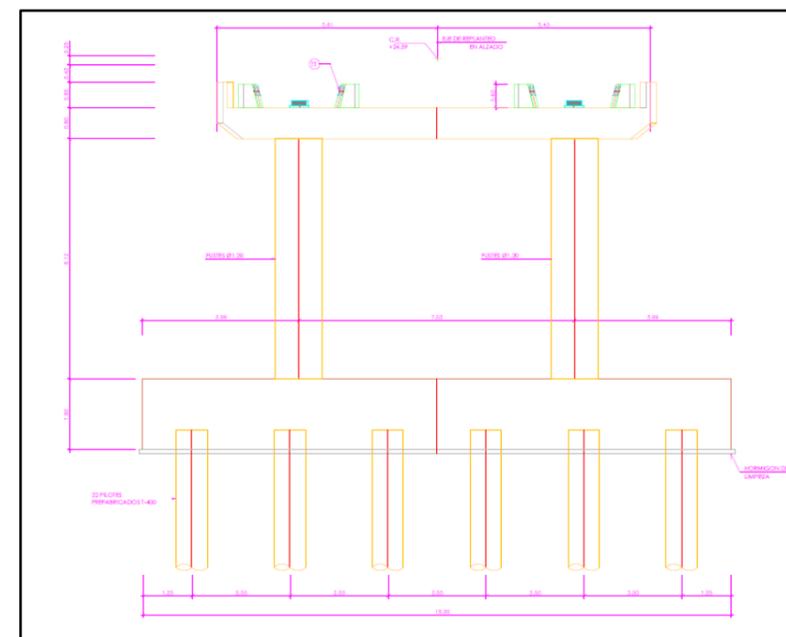


Ilustración 14. Alzado y sección tipo de pilas.

Estribos.

Los estribos se resuelven mediante un cargadero pilotado, de dimensiones en planta de 14x3.90 metros cuadrados y un canto de 1.50 metros, del que arranca un murete para la contención de tierras del terraplén, de 1.50 metros de altura y espesor variable entre 0.60 y 0.30 metros.

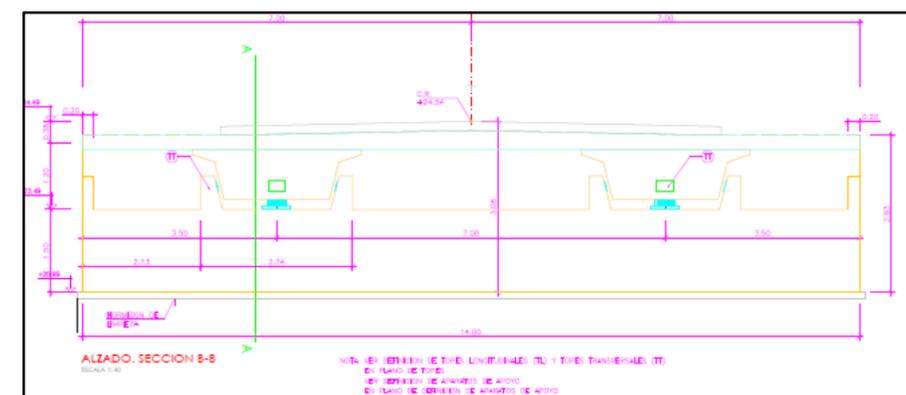


Ilustración 15. Alzado y sección tipo de estribo

El cargadero está apoyado en un total de 12 pilotes circulares de diámetro 0.8 metros y con una longitud aproximada de 47 metros. En el estribo se disponen cuatro topes sísmicos, dos de ellos longitudinales, una para cada viga, que se acoplan en el murete; otros dos topes transversales para el movimiento transversal.

1.5.2. Estudio Hidrológico.

En el anejo hidráulico aportado como base de datos para el desarrollo del análisis de las diferentes situaciones, estudia las frecuencias de los caudales máximos de las cuencas que son atravesadas por el diseño de la traza del puente de estudio.

1.5.3. Geología y Geotecnia.

En dicho apartado se intenta caracterizar la geología y la geotecnia del proyecto sobre el río Serpis. Al estar en una zona con alta sismicidad (Orihuela) y con un terreno que atraviesa un río, la importancia de este anejo condiciona el diseño del puente.

Se resume la caracterizar del tramo, tanto geológicamente como geotécnicamente, además, de estudiar la importancia de la sismicidad de la zona.

En el anejo 2 de este proyecto se encuentra con más detalle el estudio geológico y geotécnico del proyecto.

1.5.3.1. Caracterización Geológica.

El área de estudio queda enclavada dentro de la Cordillera Bética. Desde el punto de vista geográfico, la Cordillera Bética comprende un conjunto de montañas y valles que ocupan el margen S y SE de la Península Ibérica. Se extiende desde el Golfo de Cádiz hasta las costas de la Comunidad Valenciana situadas al S del Júcar, con una longitud de 600 km y una anchura de casi 200 km.

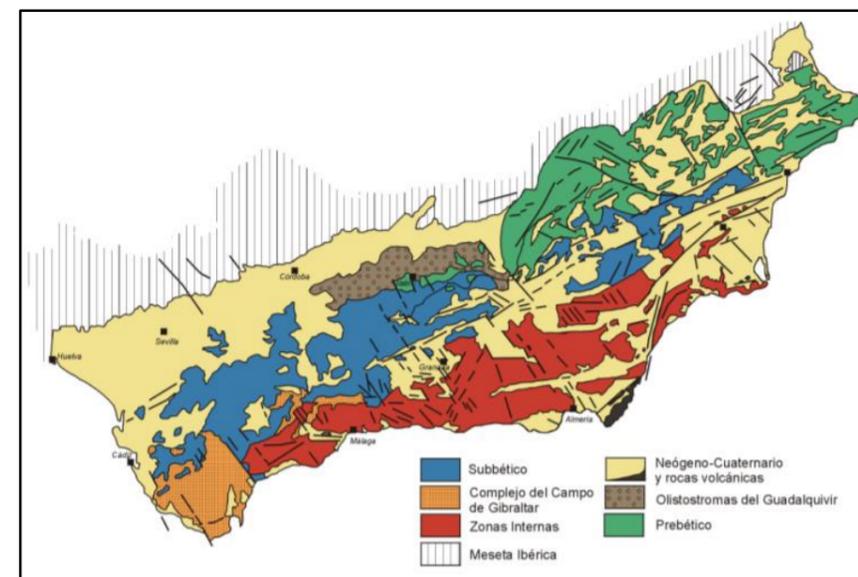


Ilustración 16. Mapa geológico de la Cordillera Bética.

Desde el punto de vista geológico, la representación de la Cordillera Bética dentro de la Comunidad Valenciana es relativamente pequeña, sólo ocupa las comarcas que van desde la Safor y la Vall d'Albaida hasta la Vega Baja, es decir, toda la provincia de Alicante, donde está situado el trazado del puente.

El área de trabajo representa una depresión intramontañosa de las Cordilleras Béticas, concretamente de la Zona Interna de la Cordillera Bética. Se trata de un substrato antiguo, mesozoico-terciario tectonizado con estilo Alpino. Sobre este substrato se dispone de un relleno de materiales neógenos y cuaternarios.

1.5.3.2. Sismicidad.

La peligrosidad sísmica del territorio nacional se define por medio del mapa de peligrosidad sísmica incluido en la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02. Este mapa suministra para cada punto del territorio y expresada en relación con el valor de la gravedad, la aceleración sísmica básica a_b , valor característico de la aceleración horizontal máxima de la superficie del terreno correspondiente a un periodo de retorno de 500 años.

En relación con la NSCE-02, la zona queda definida por los siguientes parámetros en función del valor asignado al término municipal de Orihuela:

- Aceleración sísmica básica: $a_b/g=0.16$
- Coeficiente de contribución $K=1$

1.6. BASES DE CÁLCULO

1.6.1. Normativa utilizada.

Para el Trabajo Final de Máster se ha empleado la normativa siguiente:

- Ministerio de Fomento. EHE-08. Instrucción de Hormigón Estructural.
- EC-2. Eurocódigo 2, "Proyecto de Estructuras de Hormigón".
- Ministerio de Fomento. Nota técnica sobre aparatos de apoyo para Puentes de Carreteras. 1995.
- UNE—EN 1337-3. Apoyos estructurales. Parte 3: Apoyos Elastoméricos.
- Ministerio de Fomento. IAP-11. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto del puente de carreteras. 2011.
- Ministerio de Fomento. NCSP-07. Norma de Construcción Sismorresistente. Puentes. 2007.
- Ministerio de Fomento. Guía de Cimentaciones en obras de Carretera. 2002.

1.6.2. Acciones utilizadas.

Las acciones utilizadas en la redacción del proyecto son aquellas que indica la norma vigente para el análisis de puentes:

1.6.2.1. Acciones Permanentes.

- Peso propio de los elementos.
- Cargas muertas.

1.6.2.2. Acciones Permanentes valor no constante.

- Reológicas: fluencia y retracción.
- Pretensado.
- Acciones debidas al terreno.
- Acciones variables: sobrecarga de uso.

1.6.2.3. Acciones Térmicas.

- Rango componente uniforme de la temperatura.
- Componente diferencial de la temperatura.

1.6.2.4. Acción del Viento.

- Acción del viento sobre el tablero:
 - Empuje provocado por viento transversal.
 - Empuje provocado por viento longitudinal.
- Acción del viento sobre las pilas.

1.6.2.5. Acción Sísmica.

- Acción sísmica sobre el dintel.
- Acción sísmica sobre las pilas.
- Acción sísmica sobre tablero.

1.7. HIPÓTESIS DE CARGA.

- Estado Límite Último

Para los estados límites últimos (ELU) se considerará las situaciones persistentes y transitorias, y las accidentales con o sin sismo.

- Situaciones persistentes o transitorias.

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones, excepto en el ELU fatiga, se realizan de acuerdo con el siguiente criterio:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Situaciones accidentales (con sismo y sin sismo).

Situaciones accidentales sin sismo:

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones se realizarán de acuerdo con el siguiente criterio:

$$\sum_{j > 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \gamma_{G^*,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} G_{k,j} \psi_{2,i} Q_{k,i} + \gamma_A A_k$$

Situaciones accidentales con sismo:

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones se realizarán de acuerdo con el siguiente criterio:

$$\sum_{j>1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{i>1} \gamma_{G^*,i} G_{k,i}^* + \gamma_{Q,1} \psi_{2,1} Q_{k,1} + \gamma_A A_{Ek}$$

- Estado Límite de Servicio
 - Combinación Característica (poco probable o rara)

$$\sum_{j>1} G_{k,j} + \sum_{i>1} \gamma_{G^*,i} G_{k,i}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Combinación Frecuente

$$\sum_{j>1} G_{k,j} + \sum_{i>1} \gamma_{G^*,i} G_{k,i}^* + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Combinación Casi-Permanente

$$\sum_{j>1} G_{k,j} + \sum_{i>1} \gamma_{G^*,i} G_{k,i}^* + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

1.8. MODELOS DE CÁLCULO.

1.8.1. Modelos en tablero.

Para el tablero se ha empleado la herramienta SAP 2000 para el cálculo longitudinal y transversal. En dicha herramienta se ha reproducido mediante la teoría de vigas el proyecto de estudio para obtener los esfuerzos más desfavorables.

- Cálculo Longitudinal.

Se ha realizado un estudio en la totalidad del puente para el comportamiento de los diferentes vanos, ya que el puente está unido mediante la losa superior del tablero.

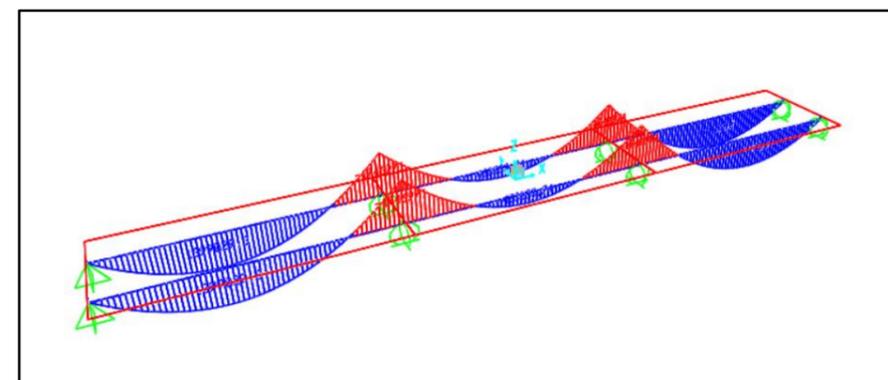


Ilustración 17. Puente de estudio.

Para realizar un cálculo más exhaustivo, al ser un puente biapoyado con una unión parcial de la losa superior del tablero, se ha realizado un estudio individualizado de los vanos que componen la estructura.

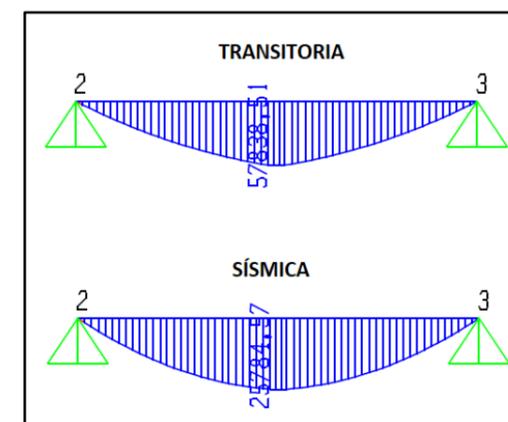


Ilustración 18. Esfuerzos en los vanos individuales.

- Cálculo transversal.

Para el cálculo transversal, se ha reproducido mediante la teoría de vigas la formación del tablero, es decir, la unión entre las vigas y la losa superior. Dicha unión, empleando la herramienta SAP 2000 y la

teoría de vigas, da como resultado un elemento con dos apoyos, que simulan las vigas arteras, y la losa superior con dos voladizos.

Con este modelo se ha podido reproducir por metro lineal, el comportamiento de la losa superior de cara a resistir los esfuerzos en su unión con las vigas que conforman el tablero. Es importante recalcar la importancia de la losa superior para la resistencia de esfuerzos transversales y su posterior transferencia a los elementos de apoyo.

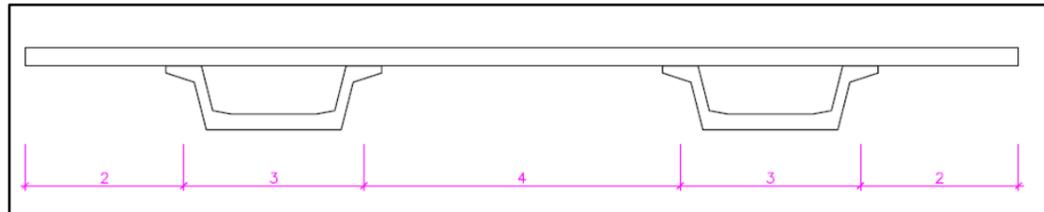


Ilustración 19. Sección de análisis del tablero en sentido transversal.

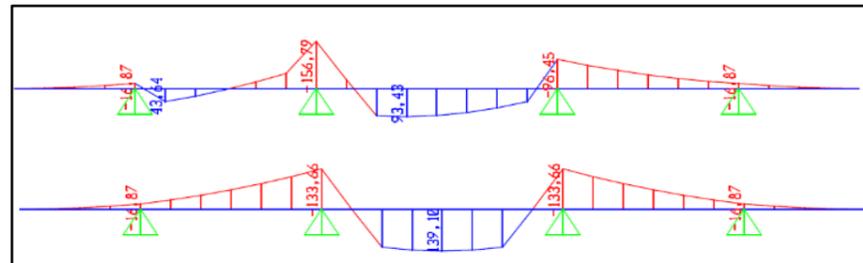


Ilustración 20. Esfuerzos transversales del tablero.

1.8.2. Modelos en las subestructuras.

1.8.2.1. Modelos en las pilas intermedias.

Para el trabajo de las subestructuras intermedias que dividen el trazado del puente en tres vanos, se ha empleado, al igual que para el cálculo del tablero, la herramienta del SAP 2000 y su proyección mediante la teoría de vigas.

En este caso, se ha modelizado de manera global la totalidad de la subestructura para ver el comportamiento de manera global y después poder realizar un estudio de manera individualizado de las partes que forman las subestructuras.

Para el caso de los elementos geotécnicos, al disponer de elementos de gran longitud y ser una situación de difícil resolución, se ha decidido que la mejor solución era emplear el comportamiento de dichos elementos geotécnicos según la norma "Guía de Cimentaciones de Obras y Carreteras".

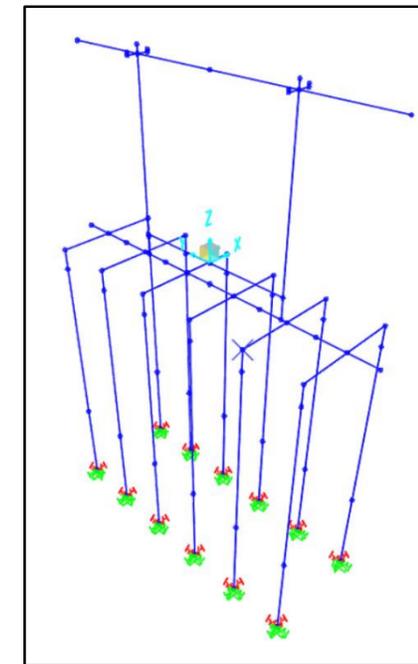


Ilustración 21. Modelización de las pilas intermedias.

1.8.2.2. Modelo en los estribos.

El caso de la otra subestructura que forma el puente es diferente a lo estudiado. Al ser un elemento que se puede considerar más rígido que los otros elementos que forman el puente, su estudio debe ser más exhaustivo. En este caso, se han empleado otro tipo de elementos para su estudio. Al ser una estructura formada por varias partes, cada cual más diferente a la otra, se emplean los elementos llamados "SHELL" en la herramienta del SAP 2000.

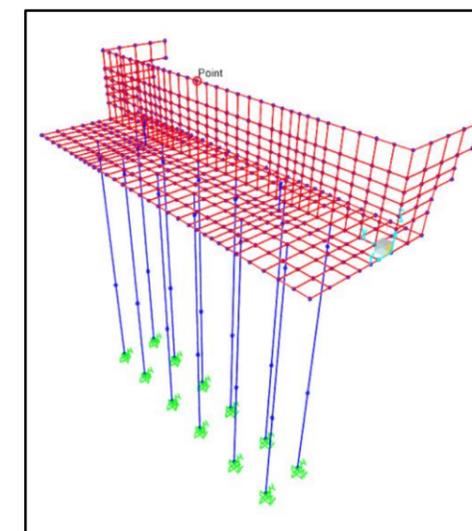


Ilustración 22. Modelización de los estribos.

1.9. DOCUMENTOS DEL PROYECTO.

- Memoria
- Anejos
 - Anejo Estudio de Soluciones.
 - Anejo Geológico-Geotécnico.
 - Anejo Hidráulico.
 - Anejo Estructural.
- Planos
 - Localización.
 - Vista General
 - Sección transversal
 - Tablero
 - Vigas
 - Losa superior
 - Apoyos y Topes Estructurales
 - Pilas Intermedias
 - Geometrías.
 - Armado
 - Estribo
 - Geometrías.
 - Armado.

1.10. CONCLUSIONES.

El objetivo del trabajo final de máster (TFM) ha sido el estudio estructural de un puente de tres vanos con la particularidad de la importancia del sismo en las acciones que afectan a la totalidad de la estructura. Se ha puesto énfasis en cómo se desarrolla un cálculo con sismo en un puente de vigas y cómo se trasladan las fuerzas horizontales del tablero al terreno mediante el empleo de los elementos que confirman el puente. En los diferentes anejos se puede observar con detalle los cálculos empleados y las decisiones tomadas para el cumplimiento de lo indicado por las normas vigentes en materia de diseño y cálculo de puentes. Además, dado la particularidad del emplazamiento, una zona de una considerable acción sísmica, se puede comprobar el comportamiento de topes estructurales para disipar los elevados esfuerzos del sismo ante la dificultad de emplear elementos comunes para poder resistir los elevados esfuerzos.

Febrero 2019

El alumno autor del proyecto



Fdo: Ignacio Moyá Mañes.