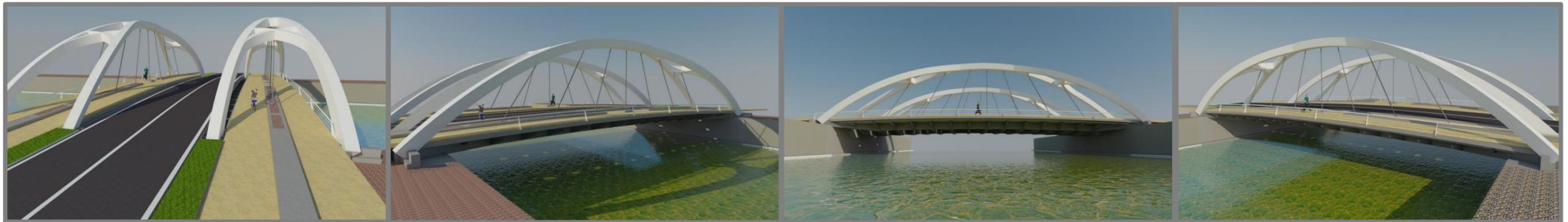




PROYECTO BÁSICO DE PUENTE SOBRE LA RAMBLA DE ALCALÁ EN BENICARLÓ (CASTELLÓN). DISEÑO Y COMPROBACIÓN DE LA ESTRUCTURA. SOLUCIÓN C

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS CANALES Y PUERTOS – UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



Titulación: Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2015/16

Autor: Tomás Martín Sosa

Tutor: María Carmen Castro Bugallo; **Cotutor:** Carlos Manuel Lázaro Fernández

ÍNDICE GENERAL

1. DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

1.1. ANEJO Nº1: ESTUDIO DE SOLUCIONES

1.2. ANEJO Nº2: ESTUDIO HIDRÁULICO

1.3. ANEJO Nº3: ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

1.4. ANEJO Nº4: DISEÑO Y COMPROBACIÓN DE SUBESTRUCTURAS

1.5. ANEJO Nº5: DISEÑO Y COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL

1.6. ANEJO Nº6: DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS

1.7. ANEJO Nº7: PROCESO CONSTRUCTIVO

1.8. ANEJO Nº8: PROGRAMA DE TRABAJOS

1.9. ANEJO Nº9: INFOGRAFÍAS

2. DOCUMENTO Nº2: PLANOS

3. DOCUMENTO Nº3: PRESUPUESTO

MEMORIA



TOMÁS MARTÍN SOSA



ÍNDICE

1. OBJETO DEL DOCUMENTO Y ORGANIZACIÓN DEL TFG.....	2	9. Plazo de ejecución.....	13
1.1 Descripción	3	10. Presupuesto	14
1.2 Alcance	3		
2. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO.....	3		
3. ANTECEDENTES, LIMITACIONES Y CONDICIONANTES	4		
3.1 Antecedentes y contexto de la obra	4		
3.2 Situación actual	5		
3.3 Condicionantes y limitaciones	5		
3.3.1 Limitaciones geométricas	5		
3.3.2 Condiciones climatológicas.....	6		
3.3.3 Factor constructivo y estético.....	7		
3.3.4 Otros factores técnicos	7		
4. NORMATIVA APLICADA.....	7		
5. HIDRÁULICA.....	7		
6. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA	8		
7. ESTUDIO DE SOLUCIONES.....	8		
7.1 Alternativas consideradas.....	8		
7.2 Justificación de la solución adoptada.....	10		
8. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	10		
8.1 Arco de acero	10		
8.2 Péndolas y anclajes.....	11		
8.3 Tablero mixto.....	11		
8.4 Estribos y subestructuras	11		
8.5 Equipamientos	12		
8.5.1 Pavimento	12		
8.5.2 Capa de estanqueidad	12		
8.5.3 Impostas.....	13		
8.5.4 Defensas	13		
8.5.5 Protección del hueco entre calzada y aceras.....	13		
8.5.6 Drenaje.....	13		
8.5.7 Iluminación	13		



1. OBJETO DEL DOCUMENTO Y ORGANIZACIÓN DEL TFG

El documento tiene la finalidad de ser el Trabajo de Fin de Grado de los alumnos Tomás Martín Sosa, Josep Molina Ruiz, Jesús Navarro Marco y Celia Traver Abella, compañeros de promoción de la misma titulación.

El trabajo está englobado en el marco de la competición del proyecto básico para el concurso de ideas de un puente sobre la Rambla de Alcalá en Benicarló (Castellón). Dicho trabajo ha estado tutorado por Don José Casanova Colón, Doña Carmen Castro Bugallo, Doña María Elvira Garrido de la Torre, Don Carlos Lázaro Fernández, Don Salvador Monleón Cremades y Don Francisco José Vallés Morán.

El trabajo se divide en 3 partes y los redactores de cada documento se indican a continuación. Además, se detallan aquellas partes que no han sido realizadas por el propio redactor del documento.

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA Y ANEJOS

La memoria ha sido redactada en grupo como documento final del trabajo realizado, donde se expone la definición y descripción de cada uno de los aspectos que conlleva el proyecto básico.

- **MEMORIA:** Tomás Martín Sosa
Josep Molina Ruiz
Jesús Navarro Marco
Celia Traver Abella

El primer aspecto del proyecto se trata del "Diseño conceptual y comprobaciones hidráulicas", y ha sido asignado al alumno Josep Molina Ruiz, el cual se ha encargado de la coordinación y redacción de los siguientes anejos.

- **ANEJO Nº1. ESTUDIO DE SOLUCIONES:** Josep Molina Ruiz

Hay que añadir, que el diseño conceptual de las diferentes alternativas y el estudio de soluciones se han realizado de forma conjunta en la asignatura de Concepción de Puentes, impartida por el profesor Salvador Monleón Cremades, tutor del presente trabajo. Con la valoración correspondiente ejecutada por el alumno Josep Molina Ruiz, se ha optado por la alternativa que mejor convenía. A partir del estudio de soluciones, se ha realizado una descripción más detallada de la solución adoptada desarrollada en el presente Proyecto Básico.
- **ANEJO Nº2. ESTUDIO HIDRÁULICO: COMPROBACIÓN ENCAUZAMIENTO E INTERACCIÓN CON LA ESTRUCTURA:** Josep Molina Ruiz

Tras la realización de diversos talleres donde se empleó el programa HEC-RAS para la modelización de la rambla, se ha llevado a cabo un análisis y comprobación de la interacción de la rambla con la estructura en caso de posibles avenidas.

El segundo aspecto se trata del "Diseño y comprobación de las subestructuras", asignado al alumno Jesús Navarro Marco, responsable de los siguientes anejos.

- **ANEJO Nº3. ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO:** Jesús Navarro Marco
- **ANEJO Nº4. DISEÑO Y COMPROBACIÓN DE SUBESRUCTURAS:** Jesús Navarro Marco

A continuación se desarrollo el "Cálculo estructural", asignado al alumno Tomás Martín Sosa.

- **ANEJO Nº5. CÁLCULOS ESTRUCTURALES:** Tomás Martín Sosa

Para calcular la estructura se realizaron una serie de talleres en los que se guiaba a los alumnos y enseñaba la interfaz del software SAP 2000. En estas reuniones se verificaba al inicio que los progresos esperados en la semana se cumplieren y se trabajaba en los futuros. Tras procesar dicho modelo en SAP 2000 y optimizar el dimensionamiento de las secciones se redactó este anejo verificando que se cumplía la normativa vigente.

Como último aspecto se ha desarrollado el "Diseño de equipamientos, proceso constructivo y valoración de la obra", asignado a la alumna Celia Traver Abella.

- **ANEJO Nº6. DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS:** Celia Traver Abella

Se ha realizado el diseño de los equipamientos de la estructura buscando un diseño sencillo y funcional. Dicho diseño ya se realizó para la asignatura de Concepción de puentes donde se desarrolló el diseño conceptual del puente del proyecto básico desarrollado, ampliando en este anejo su descripción.
- **ANEJO Nº7. PROCESO CONSTRUCTIVO:** Celia Traver Abella

Se ha desarrollado el proceso constructivo de la estructura, desde la demolición de la estructura actual hasta el final de la obra, considerando los posibles medios disponibles y el entorno existente.
- **ANEJO Nº8. PROGRAMA DE TRABAJOS:** Celia Traver Abella

Finalmente, considerando el proceso constructivo desarrollado se ha realizado una relación de tareas a ejecutar, así como sus duraciones y precedencias que quedan reflejadas en el diagrama de Gantt.
- **ANEJO Nº9: INFOGRAFÍAS:** Tomás Martín Sosa
Josep Molina Ruiz
Jesús Navarro Marco
Celia Traver Abella



- **DOCUMENTO Nº2: PLANOS:** Tomás Martín Sosa
Josep Molina Ruiz
Jesús Navarro Marco
Celia Traver Abella

- **DOCUMENTO Nº3: VALORACIÓN ECONÓMICA:** Celia Traver Abella

Finalmente se ha realizado una valoración económica del coste aproximado final de la obra, partiendo del precio unitario de cada una de las unidades de obra, obteniendo el Presupuesto de ejecución material y el Presupuesto final de licitación.

A continuación, se define la descripción, el objetivo y el alcance del proyecto básico, tal y como se indica en el enunciado del Trabajo de Fin de Grado.

1.1 Descripción

El trabajo presentado consiste en la elaboración de un concurso de ideas sobre el proyecto básico para un puente ubicado en el pueblo de Benicarló (Castellón), ubicado sobre el encauzamiento de la Rambla de Alcalá. La finalidad de la obra es sustituir la obra antigua, un puente de hormigón armado que facilitaba el paso por la Avenida del Papa Luna. Para ello cada equipo del Taller de Diseño Estructural realiza una solución distinta para resolver dicho problema.

Los aspectos que se deben considerar en el desarrollo del trabajo son los siguientes:

- Elaboración del programa de necesidades
- Encaje geométrico y funcional de la solución.
- Encaje en el entorno. Accesos.
- Evaluación de propuestas tipológicas y elección de la solución estructural.
- Diseño de las subestructuras y cimentaciones.
- Comprobación geotécnica y estructural de la cimentación.
- Diseño de la superestructura.
- Análisis estructural.
- Comprobaciones de la seguridad, durabilidad y funcionalidad de la estructura.
- Diseño de equipamientos.
- Proceso constructivo y plan de obra.
- Valoración económica de la propuesta.

1.2 Alcance

Las limitaciones del Proyecto Básico impuesta por los tutores en cuanto a su alcance son las siguientes:

- Por la naturaleza del trabajo, quedan excluidos del mismo los siguientes documentos:
 - Anejo de justificación de precios.
 - Estudio de impacto ambiental.
 - Estudio de seguridad y salud.
 - Pliego de Condiciones Técnica Particulares
 - Cuadros de precios Nº1 y Nº2.
- 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 las verificaciones geotécnicas y 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. Del mismo modo, 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. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

En el mes de noviembre de 2003, las fuertes inundaciones producidas en el municipio de Benicarló alrededor de la Rambla de Alcalá provocaron la necesidad de mejorar la capacidad hidráulica del cauce y la construcción de un nuevo puente sobre la Avenida del Papa Luna que respondiese mejor hidráulicamente frente a próximas crecidas. De este modo, como ya se ha mencionado anteriormente, el documento se basa en el desarrollo de una propuesta para el puente sobre la Rambla de Alcalá en Benicarló a nivel de proyecto básico. El motivo principal de este desarrollo es la estructura actual, que era una estructura bastante antigua, que obstruía en gran manera al cauce.

El emplazamiento de la obra se sitúa en pleno centro urbano de Benicarló, muy próximo y sensiblemente paralela a la línea de costa. Está situada sobre la Avenida del Papa Luna sobre el encauzamiento de la Rambla de Alcalá.

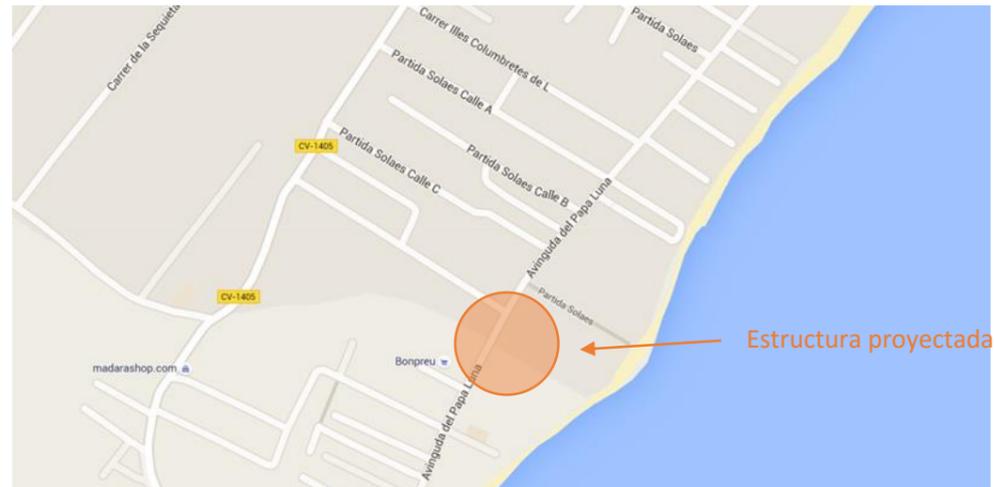


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona.

La obra se sitúa en una avenida bastante transitada dentro del municipio de Benicarló, zona turística que cuenta con un gran desarrollo, tanto urbanístico como comercial.

3. ANTECEDENTES, LIMITACIONES Y CONDICIONANTES

3.1 Antecedentes y contexto de la obra

La obra antigua, de muy reducida sección hidráulica, limitaba en gran medida el paso del agua en épocas de crecidas, por lo que se decidió llevar a cabo la construcción de un nuevo puente que permitiese un mejor funcionamiento hidráulico. En la siguiente imagen se puede observar la gran capacidad de obstrucción del puente (figura 2).



Figura 2. Puente antiguo sobre la Rambla de Alcalá.

El puente fue uno de los puntos clave de las graves inundaciones que se produjeron en el mes de noviembre del año 2003, comentadas previamente, las fuertes trombas de agua provocaron el rápido desbordamiento de la Rambla a su paso por la Avenida del Papa Luna. El agua llegó a inundar propiedades situadas en las inmediaciones, ocasionando grandes daños en toda la zona. Estos hechos acentuaron la falta de capacidad hidráulica del puente, que no garantizaba una respuesta segura frente a crecidas.

Además, como se puede comprobar en la siguiente imagen (figura 3) y en la anterior (figura 2), es una obra en pésimas condiciones que se quedaba un poco obsoleta por lo que se requería su reforma (ya que está en una zona turística en el interior del municipio).



Figura 3. Estado de la zona.

3.2 Situación actual

Así en febrero de 2005, la Consellería de Infraestructures i Transport de la Generalitat Valenciana encargó la redacción del proyecto de construcción del nuevo puente. En la nueva propuesta, lo primordial a llevar a cabo, era conseguir un adecuado paso del cauce de la Rambla bajo el puente, por lo que se debía de resolver de forma correcta los problemas de desagüe y obstruir lo mínimo al cauce.

La propuesta del puente a desarrollar, de eje SO-NE sensiblemente paralelo a la costa, mantendría operativa la plataforma de la avenida, incluyendo en ella sus aceras y carril bici, y todo ello asegurando las características de desagüe del nuevo cauce, que era el factor más importante.



Figura 4. Vista general de la zona.

La futura propuesta (al igual que la preexistente) salvaría el paso de la Rambla de Alcalá, constituyendo un tramo de la Avenida del Papa Luna pero con una mejor eficiencia hidráulica, siendo una obra moderna y estética acorde con el desarrollo de la zona (con amplias urbanizaciones y comercios).

3.3 Condicionantes y limitaciones

Partiendo del concurso original del proyecto, existen una serie de condicionantes impuestos en el Pliego de Condiciones Técnicas Particulares con el objetivo de que la obra se adapte al entorno y cumpla las especificaciones por la que se construye. De este modo, las limitaciones que se van a cumplir para este Proyecto Básico son las siguientes, agrupadas según categorías:

3.3.1 Limitaciones geométricas

La solución debe cumplir una serie de limitaciones geométricas en alzado, planta y sección transversal que vienen impuestas por los pliegos del concurso que se detallan a continuación.

- Trazado en planta

El puente sobre el barranco de la Rambla de Alcalá debe ser de trazado recto, manteniendo la alineación actual de la Avenida del Papa Luna. En la siguiente imagen (figura 5) se puede observar el trazado recto.



Figura 5. Trazado recto en planta

- Trazado en alzado

El trazado en alzado y los gálibos exigidos quedan resumidos a continuación, y se muestran, a continuación, en las figuras 6 y 7.

- Acceso desde la margen derecha (A): (0+0.000, +3.260).
- Acceso desde la margen izquierda (B): (0+40.00, +3.260).
- Pendientes de entrada al puente en ambas márgenes: +5,4%.
- El gálibo impuesto en el encauzamiento es de 2.3 metros en todo el rectángulo de navegación de 8 metros por debajo del tablero (sobre la cara superior de la solera), tal y como se especifica en la figura siguiente.
- La luz libre exigida es de 40 m medidos entre los cajeros del encauzamiento.



Figura 6. Características del trazado

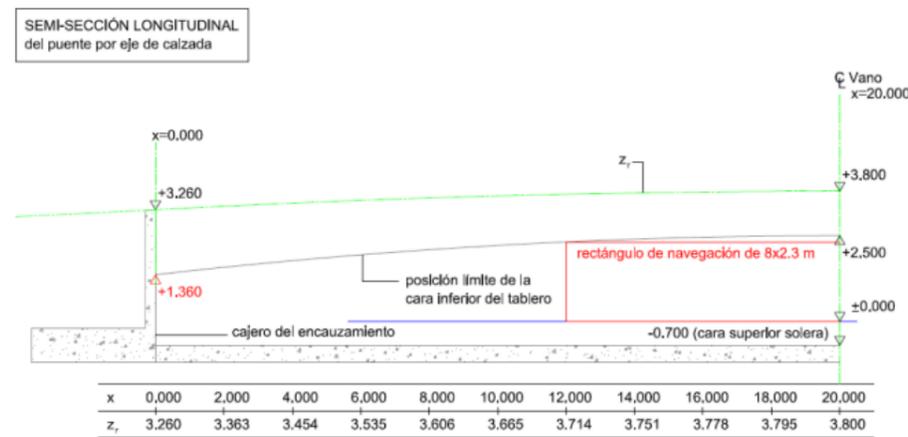


Figura 7. Gálibos impuestos en el encauzamiento

- Sección transversal

Las condiciones establecidas para la sección transversal son las siguientes, todas recogidas en la figura 8:

- Ancho útil total exigido de 17.45 m.
- Ancho repartido en 5.575 m para la acera de aguas abajo (incluido carril bici), más barrera de 0.2 m, más 7.5 m de calzada (2 carriles), más barrera de 0.2 m, más 3.975 m para la acera de aguas arriba.
- Pendiente transversal en la calzada de 1,5% en el mismo sentido en ambos carriles (reflejado en la figura 8).

- Pendiente transversal en la acera de 1.5% en diferentes sentidos dependiendo de la acera (reflejado en la figura 8)
- Recogida de aguas en rigolas de 0,2 m de ancho a pie de barreras.

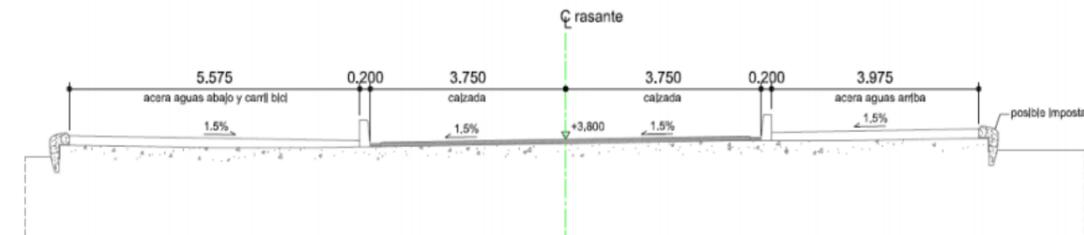


Figura 8. Resumen de condicionantes geométricos en la sección transversal

3.3.2 Condiciones climatológicas

El clima en Benicarló (Castellón) es cálido y templado. En invierno hay mucha más lluvia que en verano. El clima se considera Csa de acuerdo al sistema de clasificación Köppen-Geiger. La temperatura media anual en Benicarló se encuentra a 17.0 °C. La precipitación es de 508 mm al año. La precipitación media máxima está en octubre y es de unos 80 mm (Figura 9).

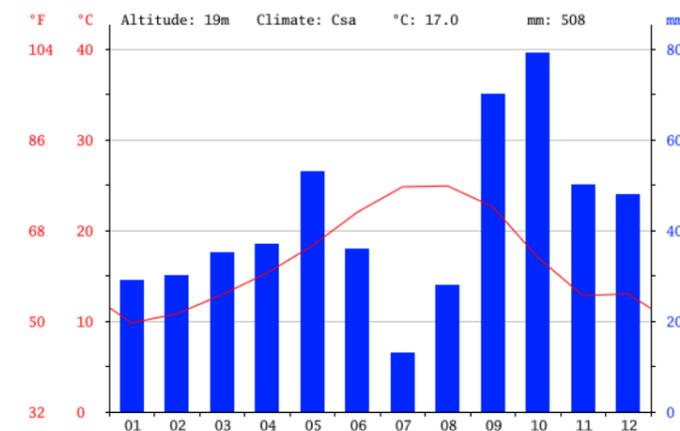


Figura 9. Climograma. Fuente: (Climate -data,2016)

El clima en esta zona podemos agruparlo dentro del característico clima mediterráneo por ser un clima templado en el que destacan inviernos lluviosos y templados, y veranos secos y calurosos, con otoños y primaveras variables, tanto en temperaturas como en precipitaciones.

En la zona de Benicarló las precipitaciones no suelen ser constantes y persistentes durante el año, pero en muchas ocasiones se producen fuertes tormentas que en muy poco tiempo son capaces de producir grandes cauces de agua sobre las ramblas.

3.3.3 Factor constructivo y estético

Se optará por una solución que sea eficiente desde el punto de vista hidráulico, teniendo gran capacidad para desaguar las aguas del cauce que discurre por la Rambla Alcalá (sobre todo en momentos de lluvias torrenciales). Por otro lado, la solución debe quedar completamente integrada en el entorno de la zona, el cual, como se ha indicado anteriormente, se encuentra en gran desarrollo urbanístico y comercial. Deberá ser una solución estética acorde al entorno urbano en el que se encuentra y debe dar un aspecto de sencillez y ligereza para estar integrada en el emplazamiento que se encuentra en las proximidades del mar.

3.3.4 Otros factores técnicos

- Materiales estructurales. La selección de los materiales estructurales es libre, pero siempre prestando especial atención a la durabilidad y mantenimiento futuro.
- Tipologías. La tipología está únicamente sujeta a no disponer apoyos dentro del encauzamiento de la rambla (en servicio).
- Longitud y luces. La longitud del puente será la requerida para respetar una luz libre de 40 m (ancho del cauce).

4. NORMATIVA APLICADA

La normativa empleada para el desarrollo del trabajo, teniendo en cuenta lo indicado en el "Alcance" del trabajo previamente definido, es la siguiente:

- Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP11).
- Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE 08).
- Instrucción Española de Acero Estructural (EAE 2011).
- Eurocódigo 2 Proyecto de estructuras de Hormigón (UNE-EN 1992-1-1).
- Guía de cimentaciones en obras de carretera (2009)
- Norma 5.2-IC Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras (2016).
- "Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera" (1982).

5. HIDRÁULICA

El estudio hidráulico realizado tiene el objeto de analizar la interacción entre el cauce de la rambla y el puente proyectado. Para ello se analiza mediante el programa HEC-RAS y se estudian diferentes alternativas en situación de avenida, los periodos de retorno, y sus respectivos caudales y niveles del mar a considerar son los siguientes:

Periodo de retorno (T)	Caudal (m ³ /s)	Nivel del mar (msnm)
500	615	1.89
100	310	1.74
25	132	1.62

Para estas situaciones de avenida se va a estudiar el tramo final del cono aluvial de la Rambla de Alcalá, zona en la que se ubica el puente proyectado. Se pretende comprobar el funcionamiento hidráulico del encauzamiento propuesto entre el PK 0+000 (desembocadura) y el PK 0+250. El análisis debe tener en cuenta el cumplimiento de dos aspectos importantes:

- La capacidad hidráulica y resguardos mínimos (del propio encauzamiento, y en particular el paso bajo la estructura proyectada).
- La estabilidad de los revestimientos asignados.

Los revestimientos asignados a la rambla son los siguientes:

Descripción	PK	Revestimientos propuestos
Tramo de enlace con futura Fase 2 y aproximación a Fase 1	0 + 230 - 0 + 175	Escollera recebada $D_m = 0.25$ m y $k = 0.02$
Caída hidráulica aguas arriba del puente	0 + 175 - 0 + 165	Escollera recebada $D_m = 0.25$ m y $k = 0.02$
Losa horizontal bajo la estructura cota -0.70 msnm	0 + 165 - 0 + 141	Hormigón
Escalón negativo	0 + 141 - 0 + 140	Hormigón
	0 + 140 - 0 + 135	Escollera recebada $D_m = 0.80$ m y $k = 0.32$
Tramo horizontal cota -0.50 msnm	0 + 135 - 0 + 110	Escollera vertida $D_m = 0.80$ m
	0 + 110 - 0 + 050	Material granular natural $D_m = 0.06$ m
Tramo final de enlace con salida al mar	0 + 050 - 0 + 000	Material granular natural $D_m = 0.06$ m

De este modo, una vez introducida toda la geometría de la rambla, las condiciones de contornos y los caudales asociados a las situaciones de proyecto a estudiar, se verifica el correcto funcionamiento hidráulico del encauzamiento.

6. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

Desde el punto de vista geológico, el término de Benicarló se caracteriza por poseer un terreno plano-ondulado con pendientes inferiores al 8% mayoritariamente.

A pesar de predominar la llanura costera, Benicarló presenta una gran variedad de figuras de relieve con diversidad de pendientes, lo que lleva a concluir que la zona de estudio no tiene una regularidad en cuanto a su geomorfología, aunque sí se observa una cierta concentración de las mismas (figura 3).

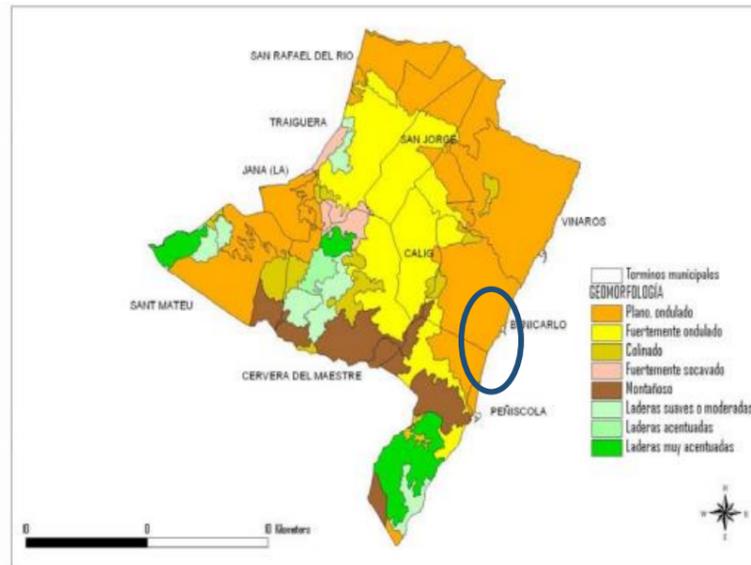


Figura 10. Geomorfología de la zona

La zona de estudio, indicada con un círculo azul, se encuentra dentro de la zona de terreno plano-ondulado.

Los terrenos sobre los que se asienta la estructura pertenecen al cuaternario y se pueden distinguir dos zonas: la zona costera donde predomina el cuaternario de playa (Q), que se caracteriza por estar compuesto por materiales detríticos; y la zona interior, donde predomina el cuaternario indiferenciado (Q) caracterizado por grandes acumulaciones de cantos rodados calizos con potentes intercalaciones arcillosas (obtenido a partir de los datos difundidos por el IGME).

Posteriormente, y desde nuestro punto de vista, se ha caracterizado el terreno debajo de la estructura, estando constituido principalmente por gravas, mientras que la rambla desemboca en la playa con arenas en su mayoría. Por otro lado, las paredes del cauce están conformadas por arcillas con algo de margas. Además, aguas abajo del puente se pueden encontrar lodos de decantación por encima de las gravas.

El problema geotécnico se basa en la definición del tipo de cimentación a realizar. Se decide realizar una cimentación profunda con pilotes perforados de hormigón armado “in-situ” (el tipo de cimentación queda convenientemente desarrollada en el anejo nº3 “Estudio Geológico-Geotécnico”). Dichos pilotes van a trabajar por fuste, son pilotes flotantes, ya que en el terreno existente la capacidad portante crece paulatinamente con la profundidad, con lo que los esfuerzos se van a ir transmitiendo a través del fuste principalmente.

La posibilidad de ejecutar una cimentación superficial se descarta debido a la gran superficie de cimentación necesaria, ya que los esfuerzos a transmitir son bastante elevados. Además, no se permite construir una zapata que invada el cauce de la rambla, por lo que las cargas transmitidas a la zapata serían excéntricas en el caso de realizar una cimentación superficial.

Por otro lado, la posibilidad de realizar una cimentación semiprofunda o mediante cajones indios también se descarta por la necesidad de un recinto totalmente estanco, dicha medida supone una dificultad y un coste económico excesivo comparado con el puente a proyectar.

7. ESTUDIO DE SOLUCIONES

La solución adoptada ha sido escogida tras haber realizado un estudio de distintas alternativas y analizar cual se adaptaba más a las condiciones consideradas. Esto se ha llevado a cabo basándose en las características del emplazamiento y a los condicionantes existentes, desarrollados en el “Anejo nº1 Estudio de soluciones”. Dadas las limitaciones geométricas (principalmente el cumplimiento de un gálibo limitante por debajo del tablero), conviene una solución cuyo mecanismo resistente se encuentre por encima del tablero, de este modo las tipologías posibles son:

- Puente arco con tablero inferior
- Puente viga
- Puente atirantado

7.1 Alternativas consideradas

Las cuatro alternativas que se han propuesto se basan en las tipologías comentadas en el párrafo anterior, aunque cabe destacar que al encontrarse en pleno núcleo urbano se pretende realizar una solución estética y atractiva.

- La primera solución adoptada es un puente viga con el mecanismo resistente principal por encima del tablero, se propone una doble viga superior tipo Warren a la cual se le añaden montantes verticales con la finalidad de mejorar su eficiencia estructural. Se trata de una solución mixta: con tablero de hormigón y vigas trianguladas de acero situadas entre la separación de la acera y la calzada.

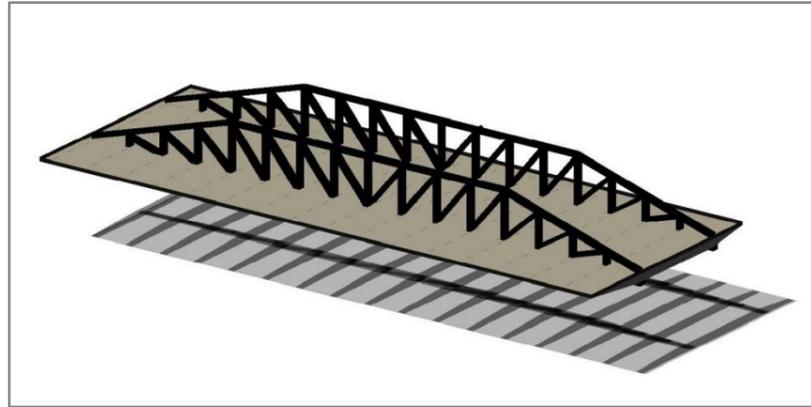


Figura 11. Puente viga Warren.

- La segunda alternativa es un puente arco con tablero inferior o bowstring realizado de acero, se disponen dos arcos rectos (uno a cada lado del tablero) situados entre la calzada y las aceras. El mecanismo resistente lo formaría el arco junto al emparrillado del tablero formado por dos nervios longitudinales (a los que se anclan las péndolas) y las vigas de piso.

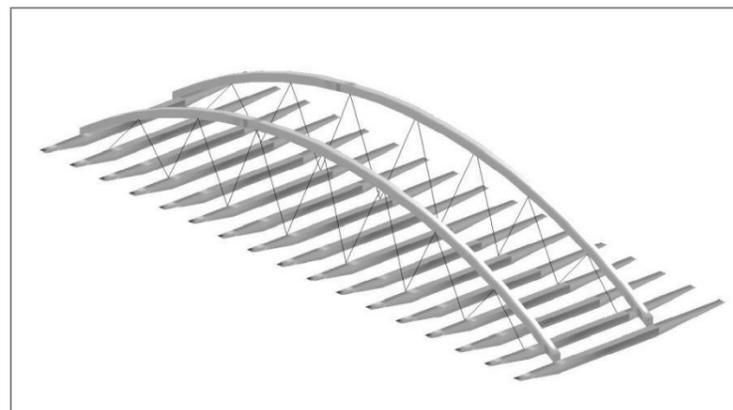


Figura 12. Puente arco.

- La tercera propuesta se basa en un puente atirantado, con dos pilonos en cada uno de los lados del puente que proporcionan dos planos de tirantes paralelos ubicados entre la calzada y la acera. El tablero es mixto, formado por dos vigas longitudinales en cajón (a las que se anclan los tirantes), vigas de piso transversales y una losa colaborante de hormigón. Aunque es una solución utilizada para luces mayores se considera que esta propuesta podría encajar en el entorno.

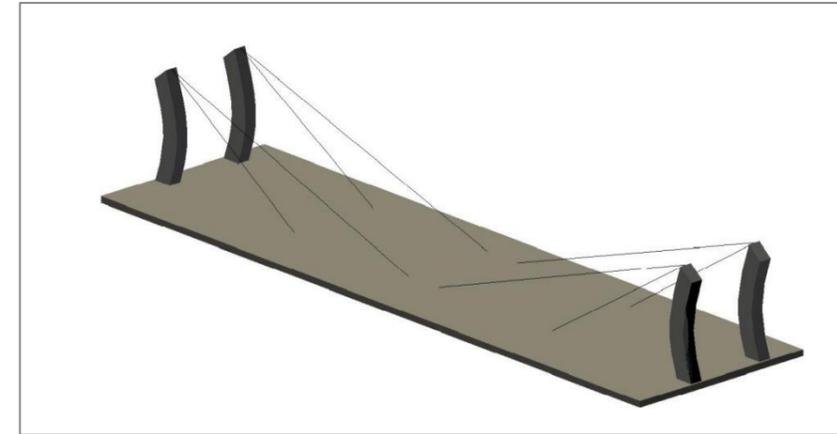


Figura 13. Puente atirantado.

- La última alternativa consiste en la ejecución de un puente arco con tablero inferior mixto, se disponen dos arcos en la mitad de ambas aceras con la peculiaridad de que cada arco se bifurca en sus arranques formando dos patas inclinadas. Dichos arcos de acero se conectan al tablero mediante péndolas flexibles, mientras que el tablero es mixto: formado por un emparrillado de dos nervios longitudinales y vigas de piso transversales, y una losa colaborante de hormigón armado.

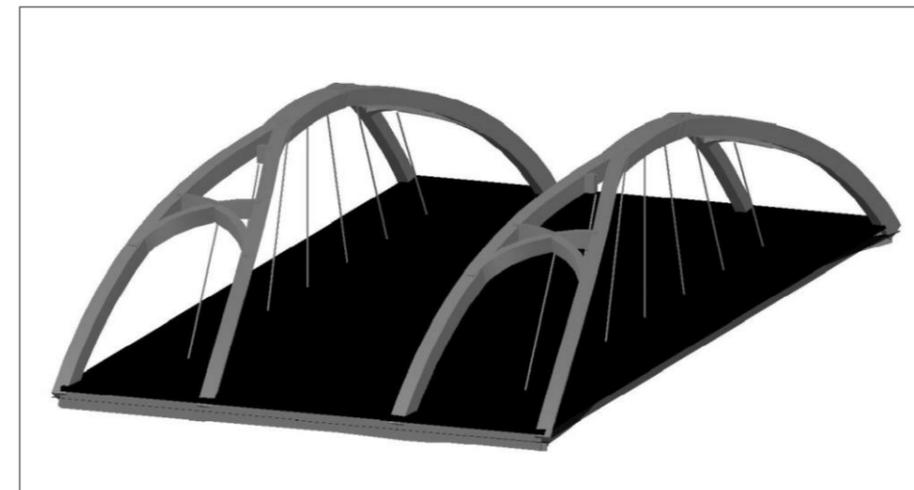


Figura 14. Puente arco con bifurcación en sus arranques.

7.2 Justificación de la solución adoptada

Las distintas alternativas descritas previamente se han valorado teniendo en cuenta una serie de criterios definidos a continuación.

- Criterio estructural

Se ha considerado el nivel de optimización estructural de las alternativas dentro de la tipología planteada, realizando cálculos estructurales elementales al tratarse de un Proyecto Básico.

- Criterio constructivo

Se ha tenido en cuenta la viabilidad constructiva del proceso de ejecución de cada una de las alternativas, basándose en procesos de construcción válidos así como en su facilidad y disposición de los medios necesarios.

- Criterio funcional

Se valora el grado de conservación y mantenimiento de cada estructura planteada y del coste que esto conlleva. Se tiene en cuenta los materiales utilizados.

- Criterio estético

La obra se sitúa en pleno centro urbano, por lo que la estética es un papel fundamental en la estructura. Al tratarse de un proyecto académico se ha valorado más la estética de la solución que otros aspectos limitantes como puede ser el coste de la obra.

- Criterio de impacto ambiental

Se ha considerado principalmente que se trata de una obra urbana muy próxima a la costa, y que se pretende realizar una estructura singular pero que afecte lo mínimo posible al entorno de la estructura.

- Criterio económico

Se ha valorado el coste económico de cada una de las propuestas, así como el de sus procesos de construcción, basándose en estructuras similares existentes. A pesar de que en este caso no es un factor limitante porque al tratarse de un trabajo académico no se ha fijado ningún límite económico, se ha considerado el volumen de material utilizado, el nivel de complejidad de ejecución y el coste de mantenimiento durante su vida útil, considerando la proximidad de la estructura al mar.

A partir de los criterios expuestos, se ha realizado un análisis en función de la importancia que tiene cada uno de ellos para la elección de la solución óptima. Finalmente, se ha concluido en la elección de la alternativa 4 "Puente en doble arco con bifurcación en sus arranques", ya que es la que se adapta mejor a las características exigidas siendo además, una estructura con un nivel estético destacable que supondría un elemento visual positivo en el entorno de la obra.

8. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

La solución escogida es un puente arco de acero con tablero inferior mixto. Los arcos se disponen en dos planos verticales en la mitad de ambas aceras, con la peculiaridad de que cada arco se bifurca en sus arranques formando dos patas inclinadas (siendo cuatro puntos de arranque de cada arco). El sistema estructural del tablero mixto está formado por: dos nervios longitudinales en cajón cerrado (dispuestos en el medio de las aceras), unas vigas de piso transversales en doble T dispuestas cada 2,5 m y la losa de hormigón colaborante dispuesta sobre el entramado formado por las vigas de piso y los nervios (apoyada sobre la chapa grecada). El arco se conecta al tablero mediante péndolas flexibles inclinadas que se unen a los nervios longitudinales.



Figura 15. Vista arranques.

8.1 Arco de acero

Los arcos dispuestos son de acero y su sección transversal es en cajón. La geometría del arco en alzado es circular y la parte central del arco en planta es recta, coincidiendo con la proyección en planta de las vigas longitudinales del tablero. Mientras que las bifurcaciones adoptan una forma circular en planta. Como se puede observar en la figura 16.

El acero que compone el arco es de tipo S355 J2.

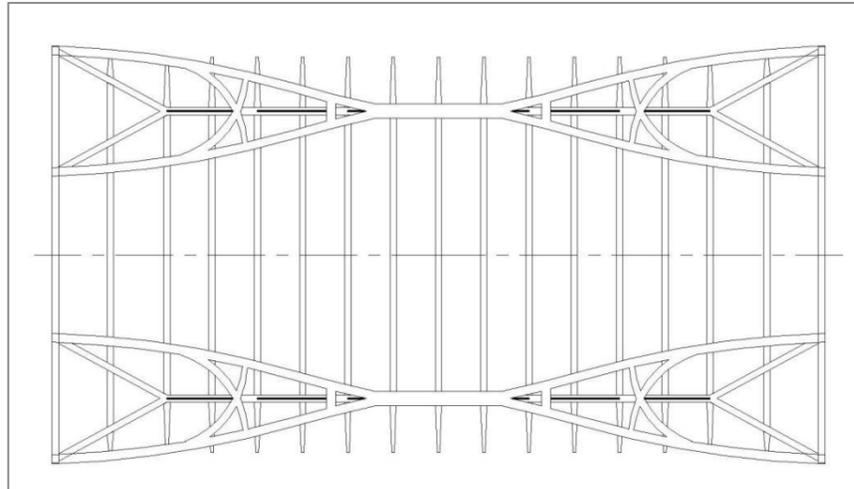


Figura 16. Vista en planta del arco y el emparrillado metálico.

8.2 Péndolas y anclajes

La unión de los arcos al tablero se materializa con un conjunto de péndolas flexibles. Dichas péndolas se disponen en el plano vertical formado por las vigas longitudinales y los arcos, mientras que en alzado son inclinadas.

Las péndolas están separadas entre sí 5 m, siendo de sección circular constante en todo el plano vertical. La unión de las péndolas flexibles tanto al arco como a las vigas longitudinales se materializa con una serie de diafragmas dispuestos de forma coincidente con las vigas transversales a 2.5 m

8.3 Tablero mixto

El diseño de la sección del tablero se realiza teniendo en cuenta la disposición de un hueco longitudinal de 1 m entre las aceras laterales y la calzada. El cumplimiento del gálibo para los peatones en la entrada de las aceras a través de los arcos, provoca un sobreancho en el puente que se utilizará para realizar dos huecos longitudinales y ahorrar el hormigón correspondiente a la losa. A través del hueco longitudinal se pueden observar las vigas de piso a través de una rejilla electrosoldada tipo Trámex.

El tablero está formado por un emparrillado de vigas de acero y por una losa colaborante de hormigón sobre chapa grecada, como se ha mencionado previamente. El hormigón utilizado en la losa es HA-30/F/20/IIIa, con armaduras tipo B500 SD.

El emparrillado resistente del tablero está formado por:

- Vigas longitudinales rectas dispuestas en la mitad de las aceras, son vigas en cajón de sección constante.
- Vigas de arriostamiento, dispuestas en el emparrillado en las proximidades al estribo coincidentes en planta con la abertura de los arcos en dos patas inclinadas.

- Vigas de piso transversales, dispuestas entre los nervios longitudinales a lo largo de todo el tablero. Son vigas de sección en doble T variable. La viga, en el centro luz, adopta una sección constante mientras que al aproximarse a los nervios longitudinales decrece su sección en los últimos 2,5 metros para poder realizar la unión con los nervios longitudinales cómodamente.
- Cuchillos transversales, dispuestos entre los nervios longitudinales y los extremos de las aceras. Son vigas en doble T de canto variable, con mayor canto en la proximidad del nervio longitudinal y menor en los extremos del puente.

El acero dispuesto en las vigas que conforman el emparrillado es de clase S355 J2. Por otro lado, la chapa grecada se dispone sobre dicho emparrillado, atornillada a las vigas y hace de encofrado perdido para la losa de hormigón. La chapa grecada es galvanizada modelo EUROCOL 60 (e=1mm) o similar.



Figura 17. Alzado general de la estructura.

8.4 Estribos y subestructuras

Las subestructuras se realizan mediante una cimentación profunda en pilotes perforados de hormigón in situ, debido a la presencia de terreno cohesivo en ambos estribos y la envergadura de la estructura proyectada. Cada uno de los estribos presenta una cimentación mediante 24 pilotes de diámetro 1 metro, dispuestos en dos filas paralelas al muro principal del estribo y atados mediante un encepado de dimensiones 24.90x6x1m.

El estribo se trata de un estribo cerrado recto, y cuenta con una losa de transición y las correspondientes canaletas de desagüe para evacuar el agua. Así mismo, el trasdós del estribo cuenta con una lámina drenante y queda relleno mediante material granular filtrante, que recoge el agua con la ayuda de un geotextil y la conduce hacia el tubo que se encuentra al pie del estribo.

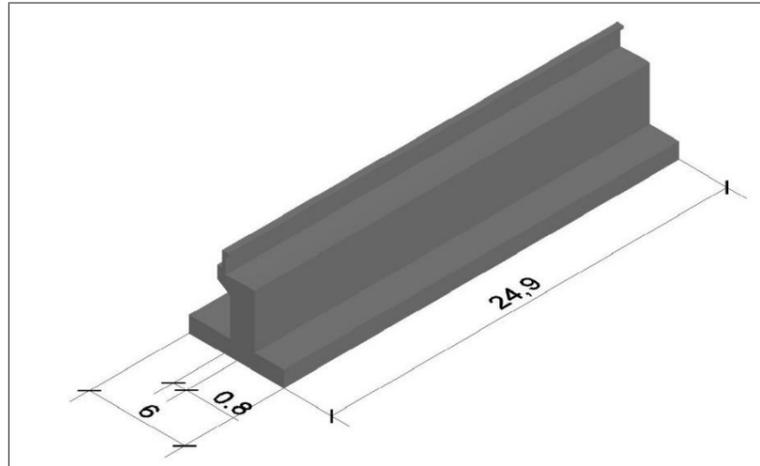


Figura 18. Vista en tres dimensiones del estribo.

El alzado del estribo se ha realizado mediante pequeños escalones, debido a las pendientes transversales con las que cuenta la sección transversal del puente y las distintas cotas en las que apoyan las vigas diagonales en cada uno de los cuatro apoyos. Así mismo, el murete de guarda acaba en vuelta como un murete vertical, de forma que evita que las tierras de los lados invadan los apoyos.

Los aparatos de apoyo se proyectan de neopreno zunchado, eligiendo las mejores dimensiones en función de las reacciones y movimientos que presenta la estructura, así como comprobando si es necesario su anclaje en función de las reacciones mínimas. Con todo ello, se selecciona un aparato de apoyo TIPO A 500x600x10(11+4) o similar.

8.5 Equipamientos

A continuación, se realiza una breve descripción de los equipamientos del puente. Estos se explican con mayor detalle en el Anejo nº 6 “Diseño de Equipamientos”.

8.5.1 Pavimento

El pavimento del puente se divide en tres partes claramente diferenciadas: el carril bici, el pavimento urbano y la calzada para el paso de los vehículos. De este modo, se tiene:

- Pavimento urbano

Se dispone un pavimento “REPEN UNITO – Mármol” del fabricante ZENITH C o similar. Las piezas son de 60x30x3 cm y su acabado flameado le otorga excelentes características antideslizantes, además de una gran estética que encaja perfectamente con el entorno de la Avenida.

- Pavimento de la calzada

Se dispone un firme cuyo espesor de la capa de rodadura adoptado es de 60 mm, y el tipo de mezcla en función del espesor y del tipo de capa es una mezcla semidensa AC22surf S. Por último, el tipo de ligante a utilizar es un betún 50/70 ya que Benicarló se encuentra en una zona térmica estival y el tipo de tráfico es T41 (a través de los datos obtenidos de la IMD de la zona).

- Carril bici

El carril bici se realiza mediante un pavimento Sika formado por una capa de regularización, una capa base y una de sellado, de color rojo tipo Ral 3009 o similar. Es un pavimento adecuado ya que soporta un importante grado de desgaste mecánico. Además, es un pavimento de fácil colocación, cuya explicación se desarrolla en el “Anejo Nº5: Diseño de equipamientos”.



Figura 19. Vista equipamientos.

8.5.2 Capa de estanqueidad

La capa de estanqueidad, para evitar la filtración de agua hacia el hormigón armado y la losa colaborante, dispuesta es un “ParaforPonts” del fabricante SIPLAST o similar. Es una capa de estanqueidad que se adecua a las superficies transitables por peatones y vehículos, siendo posible su utilización bajo la mezcla bituminosa (o cualquier otra superficie de apoyo).



8.5.3 Impostas

Las impostas se han realizado mediante un diseño propio sencillo que encaja con el conjunto estético del puente. Se dispone imposta tanto en la parte externa de la acera como en la parte interna, ya que existe un hueco longitudinal entre la calzada y la acera.

Se trata de una imposta prefabricada de hormigón armado con módulos de 2.5 metros de longitud (distancia entre ejes de las vigas de piso). La geometría queda totalmente detallada en el Plano nº X y los aspectos constructivos se explican en el "Anejo nº5: Diseño de equipamientos".

8.5.4 Defensas

Las defensas dispuestas en el puente son las barandillas sobre ambos lados de las pasarelas y las barreras rígidas dispuestas en ambos lados de la calzada. A continuación, se detallan ambas:

- Barandillas sobre pasarelas

Las barandillas se ubican a ambos lados de las pasarelas y se compone por una serie de montantes verticales de acero inoxidable separados cada 2,5 metros (coincidiendo con la separación de las vigas de piso del tablero).

Sobre los montantes reposa un pasamanos de acero inoxidable. Se colocan cables longitudinales de diámetro 10 mm que atraviesan los montantes y que realizan una función puramente estética y de protección. La geometría del diseño expuesto se describe con mayor detalle en el Plano nº10.

- Defensa contra la calzada

La defensa sobre la calzada se trata de una barrera rígida de hormigón armado hormigonada in situ, su geometría ha sido diseñada en función de la seguridad y de la estética del puente. La barrera rígida cuenta con una altura de 60 cm (quedando 40 cm por encima de la rasante de la calzada) y un ancho de 20 cm que sobresale de las dimensiones de la calzada en cada uno de los lados.

La geometría de la defensa puede consultarse con mayor detalle en el Plano nº10.

8.5.5 Protección del hueco entre calzada y aceras

Para la protección del hueco longitudinal entre las aceras y la calzada se ha optado por la utilización de una rejilla electrosoldada tipo Trámex, ligera y resistente altamente utilizada en el sector industrial. Sus características se definen con más detalle en el Anejo nº6 Diseño de equipamientos.

Se trata de una rejilla de dimensiones de marco 1000x1000mm, con luz de malla 30x30mm, pletinas portantes de 30x2mm y separador redondo, del fabricante SAIGO o similar.

8.5.6 Drenaje

El sistema de drenaje del puente para la evacuación de las aguas pluviales se realiza mediante imbornales para un caudal de diseño de período de retorno de 25 años. Se colocan tres filas de imbornales, una en cada acera y una en la calzada. Los imbornales en las aceras se van a situar en la parte interna del tablero, mientras que la fila de imbornales en la calzada se sitúa en la parte aguas abajo del puente.

Se realiza mediante sumideros obtenidos del catálogo Benito (o similar). Son rejillas de fundición dúctil de la tipología C-250, que se adaptan perfectamente al entorno del puente. Se disponen 14 sumideros en cada fila, con una separación entre ellos de 2.5 metros.

8.5.6 Iluminación

La iluminación del puente se va a diferenciar tres zonas: la iluminación de las pasarelas, la iluminación de la calle y la iluminación de la calzada.

- Iluminación de la calzada

En el caso de la iluminación de la calzada, se decide integrar los focos en los arcos, optando por una iluminación a base de lámparas que recorren el interior del arco. Los focos se disponen cada 5 m y el tipo de marca especializada para las lámparas escogida es Disano o similar

- Iluminación de las pasarelas

En las pasarelas se coloca la iluminación en los pasamanos de las barandillas, los pasamanos de la casa DW Windsor contienen unos LED Handrail con un ángulo de iluminación asimétrico hacia el interior de la pasarela de 56º.

- Iluminación de la calle

En la calle se opta por farolas colocadas frente a frente, con un tipo de foco idéntico al utilizado en el arco (Disano o similar). Cabe destacar que se potencia más la iluminación de la zona del puente (la calzada) ya que es lo que se pretende que resalte, obteniendo un resultado más estético y visual.

9. Plazo de ejecución

El plazo de ejecución mínimo para la construcción del puente se ha obtenido mediante la representación de las diferentes tareas a realizar en un diagrama de Gantt. Para el desarrollo del diagrama se suponen meses de cuatro semanas, con cinco días laborables a la semana y jornadas de ocho horas diarias de duración. Además se utiliza un coeficiente reductor de los días laborables anuales del 5%.

De este modo, se tiene que un plazo total de 244 días laborables lo que supondría un total de 342 días naturales. Para aproximar más a la realidad, se añaden 9 días festivos que se corresponden con un período de un año, y se tiene en cuenta una disminución del 5% de días laborables anuales para considerar la posibilidad de interrupción



de las obras por condiciones meteorológicas adversas o avenidas en la rambla que impedirían el correcto y seguro funcionamiento de las obras. Considerando todo ello, se obtiene un total de 364 días naturales, y por lo tanto un plazo de ejecución de aproximadamente 12 meses.

10. Presupuesto

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL: 1,650,886.48 €

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de UN MILLÓN SEISCIENTOS CINCUENTA MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y SEIS EUROS CON CUARENTA Y OCHO CÉNTIMOS.

Presupuesto de ejecución material por metro cuadrado de estructura: 1970 €/m²

TOTAL PRESUPUESTO DE LICITACIÓN: 2,457,014.35 €

Asciende el presente presupuesto de licitación a la expresada cantidad de DOS MILLONES CUATROCIENTOS CINCUENTA Y SIETE MIL CATORCE EUROS CON TREINTA Y CINCO CÉNTIMOS.

Valencia, Junio 2016

Fdo: Tomás Martín Sosa

Fdo: Josep Molina Ruíz

Fdo: Jesús Navarro Marco

Fdo: Celia Traver Abella