



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS



PROYECTO BÁSICO DE PUENTE SOBRE LA RAMBLA  
DE ALCALÁ EN BENICARLÓ (CASTELLÓN).  
DISEÑO DE LOS EQUIPAMIENTOS, PROCESO CONSTRUCTIVO  
Y VALORACIÓN DE LA OBRA.  
SOLUCIÓN A

Grado en Ingeniería Civil. Curso 2015 - 2016

Autor: Ignacio Sánchez D'Ocon  
Tutor: Salvador Monleón Cremades  
Cotutor: José Casanova Colón



## ÍNDICE GENERAL

1. DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA
  - ANEJO Nº 1: ESTUDIO DE SOLUCIONES
  - ANEJO Nº 2: ESTUDIO HIDRÁULICO: COMPROBACIÓN DE ENCAUZAMIENTO E INTERACCIÓN CON LA ESTRUCTURA
  - ANEJO Nº 3: INFORME GEOTÉCNICO
  - ANEJO Nº 4: DISEÑO Y COMPROBACIÓN DE LA CIMENTACIÓN
  - ANEJO Nº 5: DISEÑO Y COMPROBACIÓN DE LA ESTRUCTURA
  - ANEJO Nº 6: DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS
  - ANEJO Nº 7: PROCESO CONSTRUCTIVO
  - ANEJO Nº 8: PROGRAMA DE TRABAJOS
  - ANEJO Nº 9: INFOGRAFÍA
  
2. DOCUMENTO Nº 2: PLANOS
  
3. DOCUMENTO Nº 3: PRESUPUESTO



PROYECTO BÁSICO DE PUENTE SOBRE LA RAMBLA DE ALCALÁ EN BENICARLÓ (CASTELLÓN). SOLUCIÓN A.

# DOCUMENTO Nº 1

## MEMORIA

*Titulación:* Grado en Ingeniería Civil

*Autor:* Ignacio Sánchez D'Ocon

*Tutor:* Salvador Monleón Cremades

*Cotutor:* José Casanova Colón



## ÍNDICE

1. OBJETO DEL DOCUMENTO Y ORGANIZACIÓN DEL TFG .....	3	8. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA .....	9
2. OBJETO DEL PROYECTO BÁSICO .....	3	8.1. Modelo estructural .....	10
2.1. Situación .....	3	8.2. Interpretación de los resultados del modelo.....	11
2.2. Emplazamiento .....	3	8.3. Descripción de los elementos resistentes .....	12
3. ANTECEDENTES, LIMITACIONES Y CONDICIONANTES.....	4	8.3.1. Vigas longitudinales .....	12
4. NORMATIVA APLICADA .....	4	8.3.2. Vigas transversales.....	12
5. ESTUDIO HIDRÁULICO .....	4	8.3.3. Péndolas rígidas .....	12
5.1. Interacción de la estructura con el cauce.....	4	8.3.4. Arcos .....	12
5.2. Geometría del encauzamiento .....	5	8.4. Aparatos de apoyo y juntas de dilatación .....	13
5.3. Información del encauzamiento.....	5	9. PLAZO DE EJECUCIÓN.....	14
5.4. Condiciones de contorno .....	5	10. PRESUPUESTO .....	15
5.5. Escenarios tenidos en cuenta para comprobaciones .....	6	11. CONCLUSIÓN .....	15
5.6. Resultados generales.....	6		
5.7. Conclusiones .....	7		
6. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA .....	7		
7. ESTUDIO DE SOLUCIONES .....	9		
7.1. Planteamiento inicial del problema.....	9		
7.2. Descripción de propuestas a estudiar.....	9		
7.2.1. Propuesta A: arco con tablero inferior.....	9		
7.2.2. Propuesta B: puente viga de canto variable biempotrado .....	9		
7.2.3. Propuesta C: puente atirantado.....	9		
7.3. Conclusiones .....	9		

## 1. OBJETO DEL DOCUMENTO Y ORGANIZACIÓN DEL TFG

El objeto del documento es desarrollar un Trabajo Final de Grado, en el marco del Grado en Ingeniería Civil. De esta forma, se pretende lograr la aplicación de los conocimientos adquiridos a lo largo de los cuatro años de titulación, colaborando en una primera experiencia de diseño, ajuste, definición, comprobación hidráulica, geotécnica y estructural, medición y valoración de una estructura singular, así como de elaboración de la documentación técnica correspondiente.

El resultado de este proceso será la elaboración de un proyecto básico, proporcionando una solución cuyo alcance vendrá limitado por esta circunstancia. A tal efecto, quedan excluidos del TFG los siguientes documentos:

- Anejo de justificación de precios.
- Estudio de impacto ambiental.
- Estudio de seguridad y salud.
- Pliego de Condiciones Técnicas Particulares.
- Cuadros de precios nº 1 y nº 2.

Asimismo, no se realizarán cálculos dinámicos o comprobaciones de fatiga, puesto que no se dispone de la formación necesaria.

La organización del TFG comprenderá la realización de sesiones semanales, en las que los alumnos intervinientes son orientados por los profesores y ponen en común los avances realizados. En ellas, se establecerán directrices comunes a todos los grupos y se discutirán aspectos individuales cuando puedan resultar de interés para los demás participantes. Además, se podrá recurrir a tutorías, en las que participará un profesor con los alumnos del grupo, con el fin de revisar el trabajo realizado y establecer orientaciones específicas para su continuación.

Todos los alumnos de cada grupo participarán en los trabajos y talleres de las distintas ramas, al menos hasta que se haya encauzado cada solución. A partir de entonces, cada alumno se encargará individualmente de la parte que le ha sido asignada. En este caso, la división es la siguiente:

- Diseño conceptual y comprobaciones hidráulicas: Aníbal Franco Quevedo Porrino.
- Diseño y comprobación de las subestructuras: Belén Piñol Gómez.
- Diseño y comprobación de la estructura: Ester García Castillo.
- Diseño de los equipamientos, proceso constructivo y valoración de la obra: Ignacio Sánchez D'Ocon.

## 2. OBJETO DEL PROYECTO BÁSICO

El objeto de este proyecto básico consiste en desarrollar una solución de puente para un concurso de ideas en un marco técnico-administrativo. El concurso fue convocado en febrero de 2005 por la Conselleria d'Infraestructures i Transport de la Generalitat Valenciana. La motivación principal por la cual se encargó la redacción del proyecto fue la de mejorar la capacidad hidráulica de la estructura existente, la cual era insuficiente. Además, debido al desarrollo urbanístico y comercial de la zona esta necesidad se acrecentó.

El puente a proyectar se encuentra sobre el encauzamiento de la Rambla de Alcalá en Benicarló (Castellón). La futura estructura sustituirá la antigua obra de marcos de hormigón armado que daba continuidad a la Avenida del Papa Luna.

### 2.1. Situación

El puente sobre el encauzamiento de la Rambla de Alcalá se encuentra en Benicarló, municipio de la Comunidad Valenciana situado en la costa norte de la provincia de Castellón.



Figura 1. Situación de la ciudad de Benicarló. Fuente: Google Maps.

### 2.2. Emplazamiento

El emplazamiento de la obra a realizar se encuentra en el propio municipio de Benicarló, en una avenida muy cercana a la costa. Se trata de una zona cuya expansión ha aumentado considerablemente en los últimos años. Cabe destacar que el uso de la zona es principalmente residencial.



Figura 2. Vista aérea del cauce en la zona de estudio. Fuente: Google Maps.

La propuesta de puente a desarrollar, de eje SO-NE sensiblemente paralelo a la costa, mantendrá la misma plataforma operativa de la avenida, tanto de la calzada como de las aceras y el carril bici.

### 3. ANTECEDENTES, LIMITACIONES Y CONDICIONANTES

Se establecen diferentes condiciones geométricas para proyectar la obra, tal y como se observa en la Figura 3:

- Trazado en planta: el trazado en planta del puente debe ser recto, manteniendo la alineación de la Avenida del Papa Luna, de eje SE-NO y sensiblemente paralelo a la costa.

Trazado en alzado: los gálibos exigidos se recogen en la siguiente lista:

- o Acceso desde margen derecha: (0+0.000, +3.260)
- o Pendiente de entrada al puente desde margen derecha: -5.4%
- o Acceso desde margen izquierda: (0+40.000, +3.260)
- o Pendiente de salida del puente en margen izquierda: +5.4%
- o El gálibo impuesto se puede observar en la Figura 3.
- o La luz libre exigida es de 40.000 m, entre cajeros del encauzamiento.

Sección transversal:

- o El ancho útil exigido es de 17,45 m, repartido en 5,575 m en la acera de aguas abajo (incluyendo carril bici), con dos barreras de 0,2 m; 7,5 m de calzada (en dos carriles) y 3,975 m en la acera de aguas arriba.
- o Pendiente transversal de calzada y acera igual a 1,5%.

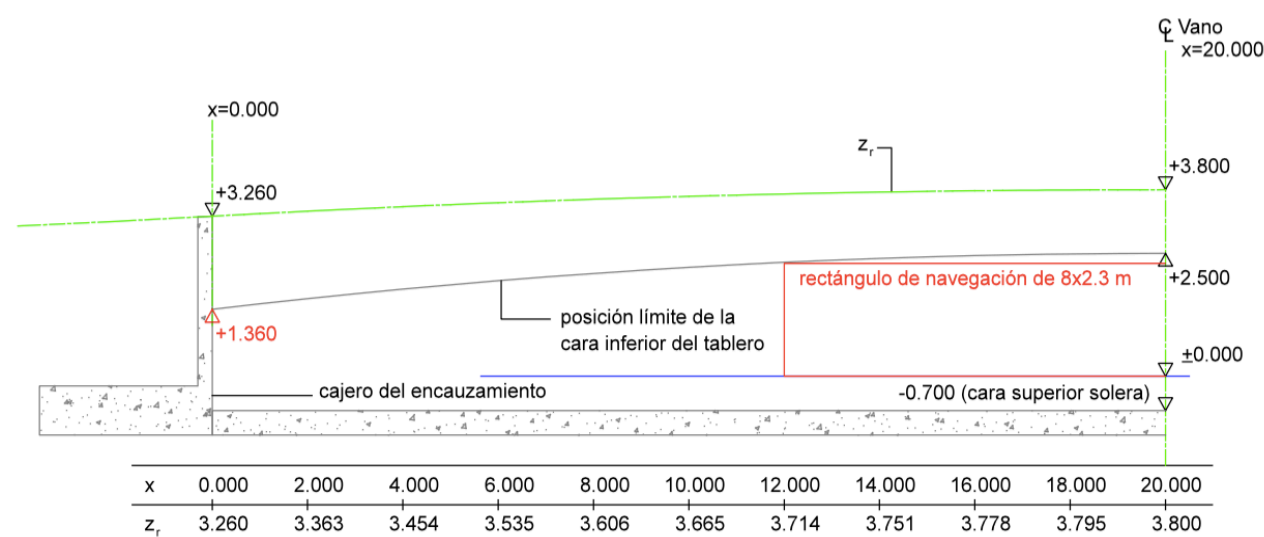


Figura 3. Representación de las limitaciones de gálibo para medio tablero. Fuente: S. Monleón.

### 4. NORMATIVA APLICADA

La normativa y recomendaciones utilizadas en el presente proyecto básico, teniendo en cuenta el alcance del mismo, son las que se muestran a continuación:

- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2012). *Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11)*. Madrid.
- España. Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, en el que se aprueba la *Instrucción de Acero Estructural (EAE)*. BOE, 23 de junio de 2011, núm. 149, p. 67148-67846.
- AENOR (2013). *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación*. UNE-EN 1992-1-1:2013. Madrid: AENOR.
- España. Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, en el que se aprueba la *Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)*. BOE, 22 de agosto de 2008, núm. 203, p. 35176-35718.
- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2002). *Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera (GCOC)*. Madrid.
- España. Real Decreto 637/2007, de 18 de mayo, en el que se aprueba la *Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07)*. BOE, 2 de junio de 2007, núm. 132, p. 24045-24133.
- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2016). *Norma 5.2 IC "Drenaje Superficial" de la Instrucción de Carreteras*. Madrid.
- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2003). *Norma 6.1 IC "Secciones de firme" de la Instrucción de Carreteras*. Madrid.
- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2015). *Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3)*. Madrid.
- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2015). *Orden circular 36/2015 sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles. Tomo I: Recomendaciones para la iluminación de carreteras a cielo abierto*. Madrid.
- AENOR (2011). *Sistemas de contención para carreteras*. UNE-EN 1317. Madrid: AENOR.
- AENOR (2007). *Eurocódigo 9: Diseño de estructuras de aluminio*. UNE-EN 1999-1-1:2007. Madrid: AENOR.
- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (1999). *Recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción de puentes de carretera*. Madrid.

### 5. ESTUDIO HIDRÁULICO

El estudio hidráulico se realiza sobre la Rambla de Alcalá, ubicada en Benicarló (Castellón), enfocándose en la extensión abarcada por el puente en el tramo final de su cono aluvial.

Las comprobaciones hidráulicas a realizar en la obra se verifican con el cumplimiento de las condiciones de la *Norma 5.2 IC "Drenaje Superficial" de la Instrucción de Carreteras*, versión vigente desde febrero de 2016.

#### 5.1. Interacción de la estructura con el cauce

En lo que respecta a los cálculos hidráulicos, el puente no afectará a las condiciones hidrodinámicas, siempre y cuando cumpla los resguardos mínimos en el tablero y en el estribo asignados por la *Norma 5.2 IC*.

### 5.1.1. Geometría del encauzamiento

Para el encauzamiento se propone una solución que se compone de una caída hidráulica de 1 metro de desnivel aguas arriba de la estructura proyectada (secciones 0+175 a 0+165). La solera se mantiene a la cota -0,70 m.s.n.m. hasta la sección 0+141, donde existe un escalón negativo de 0,2 m de altura y 1 m de longitud (hasta cota -0,5 m.s.n.m.). Esta cota se mantiene durante 90 m (secciones 0+140 a 0+050). En los últimos 50 m se establece una pendiente negativa hasta alcanzar la cota 0 existente en la desembocadura. Existe una barra litoral en el PK 0+020 creada por sedimentos transportados por el cauce y que cierra la salida al mar. Esta puede afectar, por lo tanto, al desagüe del encauzamiento. De un análisis previo, se conoce que esta barra transversal de sedimentos desaparece para caudales superiores a  $Q = 111 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La sección transversal es rectangular en el tramo comprendido entre la caída hidráulica y aguas abajo de la estructura, de ancho 40 m. A partir del PK 0+140, la sección se ensancha, pasando a ser una sección trapecial de ancho variable, que se abre a secciones de playa, más amplias, al acercarse a la desembocadura.

Con la herramienta informática HEC-RAS versión 5.0 se realiza un modelo hidráulico del encauzamiento propuesto para estudiar el tramo comprendido entre el PK 0+000, correspondiente a la desembocadura, y el PK 0+250.

El análisis se realiza enfocado a la Fase 1, correspondiente a los primeros 250 m del cauce desde la desembocadura (del PK 0+000 al PK 0+250), para materializar de una manera más aproximada a la realidad las características hidrodinámicas del encauzamiento y reducir el efecto de cualquier error cometido en la aproximación de la geometría del mismo. Sin embargo, el modelo hidráulico se formaliza durante los 1000 m siguientes del cauce natural (hasta PK 1+250), como puede observarse en la figura 4:

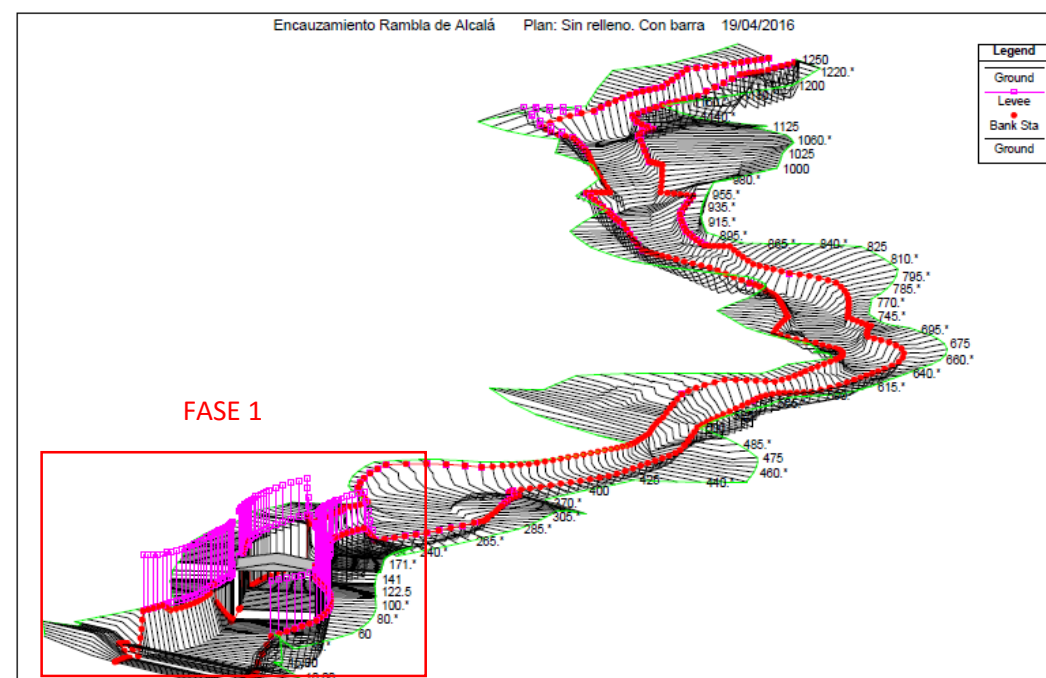


Figura 4. Perspectiva de la geometría del encauzamiento. Elaboración propia con HEC-RAS.

### 5.2. Información del encauzamiento

Los caudales punta correspondientes a las avenidas de periodo de retorno 500, 100 y 25 años, así como el nivel del mar aguas abajo (desembocadura) para cada periodo de retorno, han sido obtenidos a partir del trabajo de prediseño hidráulico del encauzamiento de la Rambla de Alcalá realizado por Francisco J. Vallés Morán y Juan Fco. Fernández Bono, y se encuentran resumidos en la tabla 1.

Tabla 1. Caudales correspondientes a periodos de retorno

Periodo de retorno (T)	Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Nivel del mar (m.s.n.m.)
500	615	1,89
100	310	1,74
25	132	1,62

\*Si  $Q$  es inferior a  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , se debe considerar nivel del mar a cota 0,8 m.s.n.m.

De ese mismo trabajo, junto con la visita de campo, se obtienen los materiales propuestos para el revestimiento del cauce en el tramo a comprobar.

A continuación, se representa un resumen de tales materiales en la Tabla 2.

Tabla 2. Revestimientos propuestos para el cauce

DESCRIPCIÓN	PK	REVESTIMIENTOS PROPUESTOS
Tramo de enlace con futuras fases y aproximación a Fase 1	0+230 - 0+175	Escollera recebada $D_m = 0,25 \text{ m}$ y $k = 0,02$
Caída hidráulica aguas arriba del puente	0+175 - 0+165	Escollera recebada $D_m = 0,25 \text{ m}$ y $k = 0,02$
Losa horizontal bajo la estructura cota -0,70 m.s.n.m.	0+165 - 0+141	Hormigón
Escalón negativo	0+141 - 0+140	Hormigón
Tramo horizontal cota -0,50 m.s.n.m.	0+140 - 0+135	Escollera recebada $D_m = 0,80 \text{ m}$ y $k = 0,32$
	0+135 - 0+110	Escollera vertida $D_m = 0,80 \text{ m}$
Tramo final de enlace con salida al mar	0+110 - 0+050	Material granular natural $D_m = 0,06 \text{ m}$
	0+050 - 0+000	Material granular natural $D_m = 0,06 \text{ m}$

### 5.3. Condiciones de contorno

Con respecto a las condiciones de contorno establecidas para introducir en la herramienta informática HEC-RAS, es destacable la realización de un análisis de flujo constante, estableciendo que para todos los perfiles estudiados la condición de contorno aguas arriba es la de calado normal asociado a la pendiente media del tramo ( $I = 0,0032$ ) y la condición de contorno aguas abajo es la cota de superficie de agua conocida (nivel del mar), la cual varía en función del caudal y se encuentra expuesta en la tabla 1.

Las condiciones geológicas y geotécnicas han sido determinadas por la visita al emplazamiento, así como por estudios y ensayos previos suministrados, de los cuales se ha obtenido la información necesaria para asignar características a cada tramo del encauzamiento en el modelo hidráulico.

#### 5.4. Escenarios tenidos en cuenta para comprobaciones

Para comprobar el funcionamiento hidráulico del encauzamiento se tiene en cuenta tanto la capacidad hidráulica como la estabilidad y resistencia de los revestimientos asignados en el propio encauzamiento, y particularmente en el paso bajo la estructura proyectada.

En cuanto a los caudales, éstos se analizan para periodos de retorno de 100 y 500 años, comprobándose para el caudal correspondiente al periodo de retorno  $T = 100$  años la capacidad hidráulica y para el caudal correspondiente al periodo de retorno  $T = 500$  años las afecciones a las cimentaciones de la estructura. Se realiza también el análisis de algunos caudales adicionales, considerados necesarios para contemplar la totalidad los eventos posibles en el encauzamiento.

Se prevé un posible aterramiento en la zona deprimida a cota  $-0.7$  m.s.n.m. bajo la estructura, con un sedimento de  $D_m = 0.024$  m. Se calcula el caudal que moviliza estos sedimentos, y toma un valor de  $210 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Al ser el caudal que moviliza los sedimentos mayor que  $111 \text{ m}^3/\text{s}$ , se debe contemplar el escenario de una colmatación de la zona deprimida, simultáneamente con la barra litoral en la desembocadura del cauce para caudales menores, verificando su capacidad hidráulica.

El punto más bajo del intradós del tablero del puente se encuentra a la cota 2,55 m. Se debe mantener un mínimo resguardo entre el intradós del tablero y la lámina de agua bajo éste, tal y como se indica en Instrucción 5.2-IC. Para el caudal de periodo de retorno  $T=100$  ( $Q=310 \text{ m}^3/\text{s}$ ), el resguardo mínimo es de 1,5 metros. Para el caudal del periodo de retorno  $T=500$  ( $Q=615 \text{ m}^3/\text{s}$ ), el resguardo mínimo es de 1 metro.

#### 5.5. Resultados generales

A partir de los resultados proporcionados por la herramienta informática HEC-RAS se analiza cada caso, verificando y corrigiendo los resultados obtenidos cuando corresponda. En la Tabla 3 se resumen los resultados obtenidos para los casos estudiados más desfavorables.

Tabla 3. Resumen de resultados generales para los casos analizados

Caso	Caudal $\text{m}^3/\text{s}$	Tensión máxima $\text{N}/\text{m}^2$	Tensión crítica $\text{N}/\text{m}^2$	Cota lámina de agua bajo puente	Resguardo mínimo según normativa	Resguardo bajo tablero
4	615	582.169 (S.134.5)	627,06	1.25 msnm	1 m	1,01 m
5	310	429.025 (S.134.5)	627,06	0.47 msnm	1,5 m	1,79 m
6	132	150.33 (S.225)	>1000	1.66 msnm	No aplica	0,19 m

PF1: Caudal 100m<sup>3</sup>/s    PF2: Caudal 132m<sup>3</sup>/s    PF3: Caudal 310m<sup>3</sup>/s    PF4: Caudal 615m<sup>3</sup>/s    PF5: Caudal 50m<sup>3</sup>/s

Los casos 4 y 5, además de ser los exigidos para verificación de resguardo bajo tablero, son los más restrictivos en cuanto tensiones tangenciales máximas. El caso 6 corresponde al más restrictivo en cuanto a capacidad hidráulica de todos los casos estudiados.

En la Figura 5, Figura 6 y Figura 7 se puede observar, en perspectiva, la situación del encauzamiento para los casos mencionados.

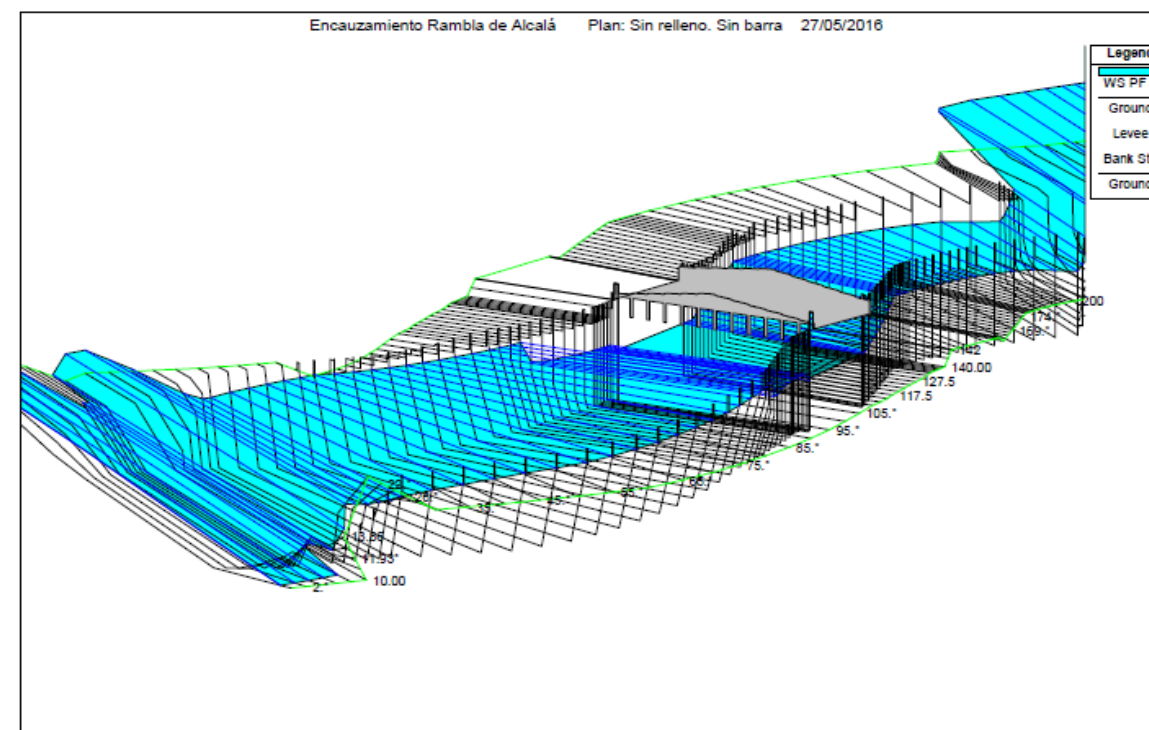


Figura 5. Perspectiva de la situación para el caso 4. Elaboración propia con HEC-RAS.

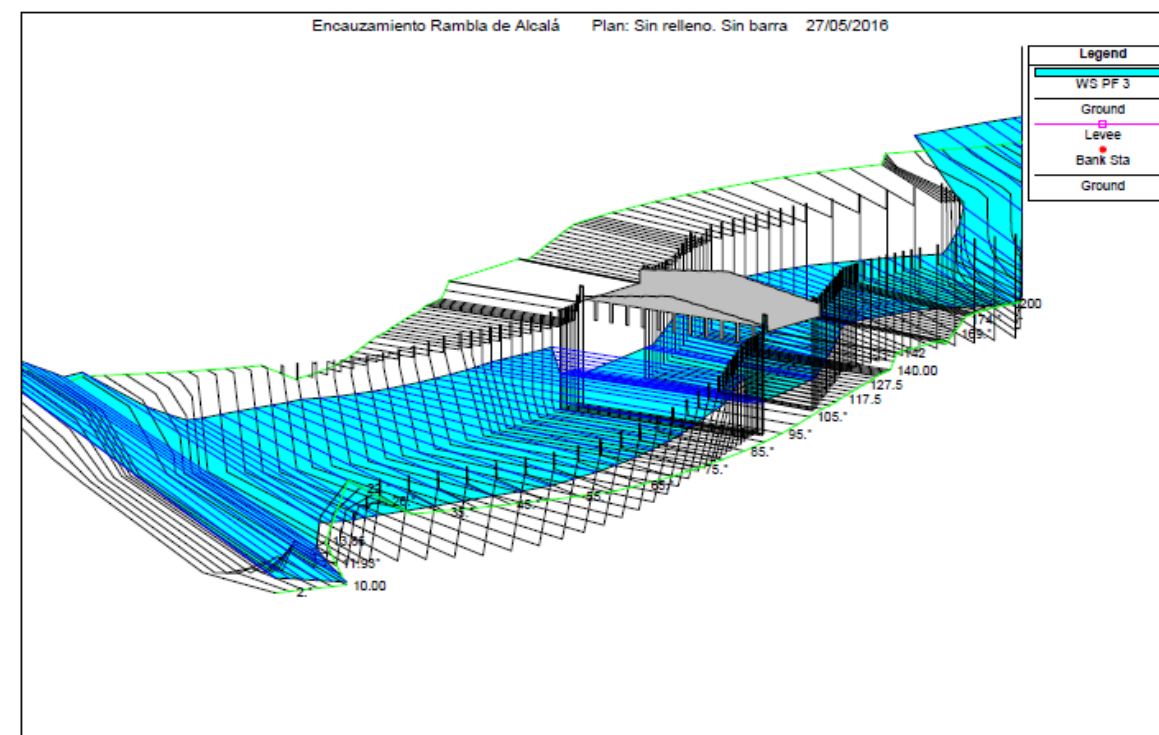


Figura 6. Perspectiva de la situación para el caso 5. Elaboración propia con HEC-RAS.



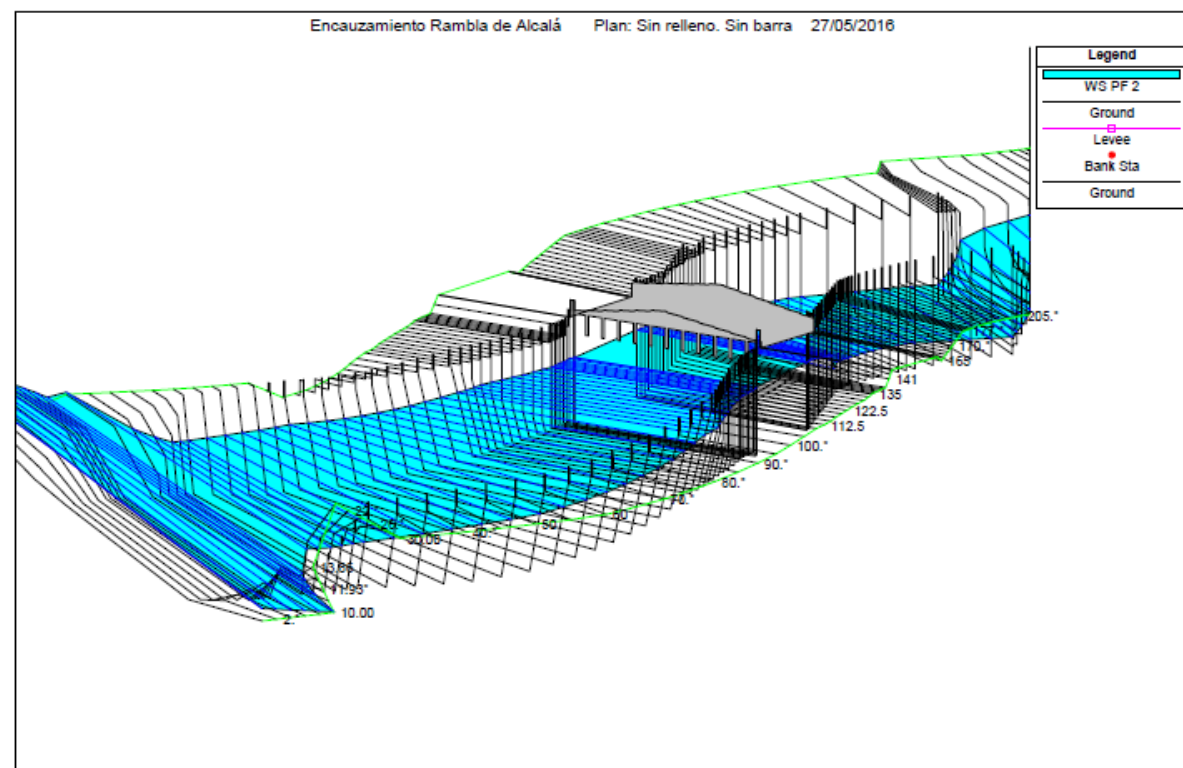


Figura 7. Perspectiva de la situación para el caso 6. Elaboración propia con HEC-RAS.

## 5.6. Conclusiones

El estudio hidráulico de la desembocadura de la Rambla de Alcalá da como resultado una respuesta adecuada del encauzamiento ante las situaciones que podrían presentarse, tanto en términos de capacidad hidráulica como de resistencia a tensiones en la zona estudiada.

Se verifica para la máxima avenida (correspondiente al periodo de retorno de  $T = 100$  años) el cumplimiento de la capacidad hidráulica del encauzamiento.

Asimismo, se comprueba la resistencia de los revestimientos propuestos en el encauzamiento, que evitan la erosión de los márgenes del mismo bajo la estructura, para la máxima avenida correspondiente al periodo de retorno  $T = 500$  años.

Por último, se confirma el cumplimiento de los resguardos mínimos indicados por la normativa aplicada.

Por todo lo anterior, se puede concluir que la obra proyectada será viable según la normativa de aplicación.

## 6. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

Respecto a la geología en la zona de emplazamiento de la obra, cabe destacar que se encuentran gravas en el cauce y arcillas en las llanuras de inundación. Además, con anterioridad a la disposición del cauce actual existía un paleocauce, es decir, un antiguo cauce que discurría por un trazado sensiblemente distinto del actual, depositándose entonces el material granular conforme a la traza del mismo. Con el cambio posterior de la disposición del cauce, donde antes se depositaba el material granular, ahora lo hacen las arcillas. Por tanto, será posible hallar lentejones de grava en la zona de cimentación de los estribos del puente.

Al no conocer exactamente la dirección de dicho paleocauce, es posible que, donde se va a cimentar la estructura, el material encontrado para cada estribo no sea uniforme. Esto queda reflejado en los sondeos realizados, los cuales presentan algunas variaciones en uno y otro extremo del puente.

En el estribo sur existen los siguientes niveles (sondeo SM-1):

- **NIVEL A, RELLENOS:** Estrato de rellenos de gravillas calcáreas y cantos calcáreos, con matriz arenosa, entre las cotas 3,26 y 1,56 m.
- **NIVEL B: MARGAS CON VETAS DE ARENA:** Estrato compuesto por margas de color amarillento, con vetas de arena y, ocasionalmente, algunas gravillas (calcáreas y de tamaño medio 1 cm), entre las cotas 1,56 y -0,14 m.
- **NIVEL C, ARCILLAS:** Estrato compuesto mayoritariamente por arcillas de color marrón rojizo con algo de arenas. A partir de la cota -3,54 m se observan algunas trazas margosas. De forma dispersa, aparecen nódulos de carbonato (generalmente, de tamaños milimétricos). Según las diferencias a lo largo del estrato, se establecen los siguientes subniveles:
  - **Arcilla muy fina:** El primer subnivel se sitúa entre a las cotas -0,14 y -2,54 m. Se trata de un tramo con predominio de partículas muy finas.
  - **Arcilla gruesa:** El segundo subnivel se encuentra entre las cotas -2,54 y -10,14 m. Se trata de un tramo con predominio de partículas más gruesas que las anteriores.
  - **Arcilla fina:** El tercer subnivel es el ubicado entre a las cotas -10,14 y -19,44 m. Se trata de un tramo con predominio de partículas finas.
  - **Arcilla fina:** El cuarto subnivel se sitúa a entre las cotas -19,44 y -26,74 m, en el que predominan las partículas finas.

En el estribo norte encontramos los siguientes niveles (sondeo SM-2):

- **NIVEL A, RELLENO:** Correspondiente a un relleno de hormigón (losa de hormigón), entre las cotas 3,26 y 1,46 m.
- **NIVEL D, GRAVILLA CALCÁREA:** Estrato compuesto por gravillas, mayoritariamente calcáreas, de tamaño medio 1 cm y con formas entre subredondeadas y redondeadas. Además, también se observan algunas gravas, en gran parte calcáreas, de tamaño medio oscilante entre 3 y 5 cm, y con formas entre

subredondeadas y redondeadas. La matriz es de relleno areno-limoso. Se ubica entre las cotas 1,46 y -2,54 m.

- **NIVEL C, ARCILLAS:** Estrato compuesto mayoritariamente por arcillas de color marrón rojizo con fracción arenosa y con algunas trazas margosas (verdosas). Aparecen también algunas gravas y gravillas de forma muy dispersa. Según las diferencias a lo largo del estrato, se establecen los siguientes subniveles:
  - **Nivel de arcilla con margas:** se encuentra entre las cotas -2,54 y -10,14 m. Se trata de un tramo con alguna traza margosa. Aparece intercalado un estrato de costra calcárea de 1,6 m de potencia.
  - **Nivel de arcilla con grava:** Se trata de un tramo en el que aparecen gravas de forma dispersa entre las cotas -10,14 y -19,44 m.
- **NIVEL E, COSTRA CALCÁREA:** Estrato compuesto por una capa de costra calcárea blanda, entre las cotas -19,44 y -21,74 m.

Es necesario destacar que, tal y como se observa en el plano nº 2 del apéndice nº 1 al anejo nº 3, *Informe Geotécnico*, los estratos considerados para los cálculos son una simplificación de los expuestos anteriormente, y se resumen en las tablas 4 y 5:

Tabla 4. Estratos considerados para los cálculos

Cotas (m)	Estrato sur	Cotas (m)	Estrato norte
3,26 a 1,56	Rellenos	3,26 a 1,46	Rellenos
1,56 a 2,54	Arcilla muy fina	1,56 a 2,54	Gravilla calcárea
-2,54 a -10,14	Arcilla gruesa con margas	-2,54 a -10,14	Arcilla gruesa con margas
-10,14 a -19,44	Arcilla con grava	-10,14 a -19,44	Arcilla con grava
Desde -19,44	Arcilla fina	Desde -19,44	Arcilla fina

Tabla 5. Características de los estratos considerados

	$\rho_{ap}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\rho_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	$c'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$R_u$ (kN/m <sup>2</sup> )
Relleno	16,42	20	35	0	-
Gravilla	18,5	20	30	0	-
Arcilla muy fina	14,64	20,5	25	0	100
Arcilla gruesa con margas	16	21	28	0	200
Arcilla con grava	16,5	20	28	0	150
Arcilla fina	16	20	28	0	200

Tanto el sondeo SM-1 del estribo sur (de 30 m de profundidad) como el sondeo SM-2 del estribo norte (de 25 m), realizados para el estudio geotécnico de la cimentación del puente, proporcionaron una profundidad de nivel freático de 1,95 m bajo la boca de sondeo.

Esta estimación se aceptará como válida en el caso del estribo norte. Este está compuesto por un nivel de gravillas y algunas gravas en matriz arenosa, entre las cotas relativas 1,8 y 5,8 m, medidas en profundidad desde la superficie del terreno. Estos estratos de carácter granular, del paleocauce anteriormente existente, forman un lentejón que crea un nivel freático colgado. Es decir, el material granular permite la acumulación de agua, y los estratos arcillosos de los alrededores impiden su salida.

En el estribo sur (correspondiente al sondeo SM-1), en el que se hallaron estratos compuestos por material arcilloso, el nivel freático se encontrará al nivel del mar (3,26 m desde la superficie del terreno).

No obstante, para la ejecución de los estribos se excavarán las tierras circundantes y se repondrán posteriormente con relleno granular. En el estribo norte, una vez eliminado el lentejón que retenía el agua, el nivel freático se situará al nivel del mar.

Se ha descartado el uso de una cimentación directa como tipología de cimentación debido a la baja calidad del terreno en el lugar de emplazamiento de la obra. Por lo tanto, se ha optado por una cimentación indirecta mediante pilotado. La decisión se basa mayoritariamente en la presencia de estratos blandos en el emplazamiento del puente. Además, ante el riesgo de una posible socavación en el estribo del puente, al hallarse la construcción en una rambla, esta solución resulta más adecuada.

La cota del plano de cimentación, tal y como se puede observar en la figura 8, es -2,54 m. Cada estribo está formado por un encepado con dos líneas de 10 pilotes, con un diámetro de 1 m y una longitud de 20 m, con una separación longitudinal de 2 m y transversal de 3 m, medida entre ejes. Los pilotes se ejecutarán de hormigón "in situ" y con entibación recuperable.

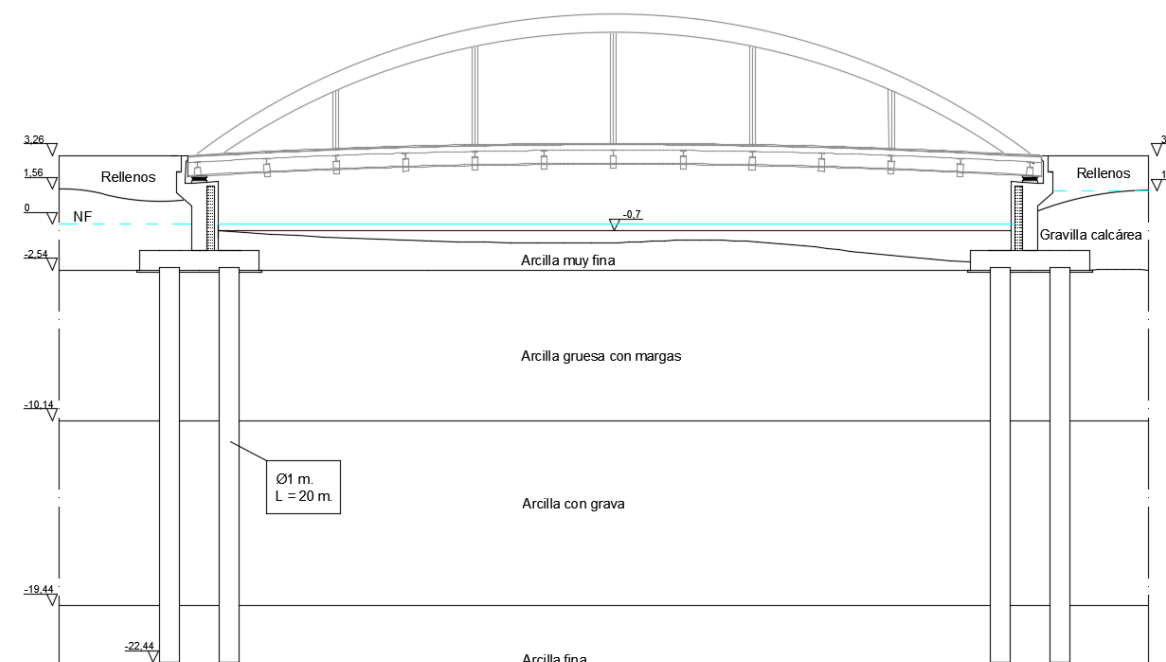


Figura 8. Geología del terreno y solución de subestructura. Elaboración propia con AutoCAD.

Como se puede comprobar en el anejo nº 4, *Diseño y comprobación de la cimentación*, todas las verificaciones oportunas han proporcionado resultados satisfactorios, cumpliendo los factores de seguridad establecidos por la *Guía de Cimentación en Obras de Carretera (GCOC)*.

## 7. ESTUDIO DE SOLUCIONES

En el estudio se evalúan las posibles soluciones estructurales en base a factores esenciales como su tipología, materiales y economía, sirviendo estos como cribado preliminar para realizar una primera clasificación de propuestas aptas que solucionen el problema planteado.

El análisis se lleva a cabo a través de un proceso comparativo, descrito posteriormente. Este es aplicado a las diferentes alternativas, considerando aspectos fundamentales que puedan ser estudiados con la tipología de solución estructural y el emplazamiento de la obra.

### 7.1. Planteamiento inicial del problema

Se realiza un primer análisis de las tipologías estructurales que podrían dar solución al problema planteado, cumpliendo con todas las limitaciones. Por las condiciones establecidas, previamente mencionadas, se resume en la siguiente lista las distintas tipologías de puente que permitirían salvar la luz señalada:

- Colgante.
- Arco superior.
- Atirantado.
- Viga de un solo vano.

De estas tipologías estructurales se realiza un breve análisis para escoger las distintas tipologías de puente que se estudian.

Las tipologías inicialmente seleccionadas a estudiar son:

- ✓ Propuesta A: Arco con tablero inferior.
- ✓ Propuesta B: Puente viga de canto variable biempotrado.
- ✓ Propuesta C: Puente atirantado.

### 7.2. Descripción de propuestas a estudiar

#### 7.2.1. Propuesta A: arco con tablero inferior

Consiste en dos arcos exentos conectados a un tablero, creando un arco con tablero inferior del tipo *bow-string*.

Se propone una luz entre ejes de apoyo de 42 m. Los arcos se plantean de sección en cajón en forma de triángulo isósceles de 0,9 m de base y 0,65 m de altura.

Las péndolas se diseñan rígidas e igualmente con una sección en cajón con forma de triángulo isósceles de 0,3 m de base y 0,3 m de altura. Habrá un total de cinco péndolas por arco separadas 7 m entre ejes.

El tablero se plantea formado por dos vigas longitudinales y una losa de hormigón armado, así como de vigas de piso centrales y en voladizo cada 3,5 m.

#### 7.2.2. Propuesta B: puente viga de canto variable biempotrado

Se trata de un puente viga de canto variable que salva una luz libre idéntica a la anterior, de 42 m. Correspondería a la propuesta más simple estructuralmente que se adapta al entorno y permite economizar el conjunto.

Se propone un tablero formado por una estructura prefabricada de hormigón pretensado en cajón con una sola celda (aunque rigidizado mediante diafragmas transversales de acero S355 J2) y con canto variable entre 0,84 m en el centro luz y 1,68 m en los apoyos. De esta forma, se cumplen estrictamente las especificaciones estructurales, teniendo unas relaciones canto luz de 1/25 en los apoyos y 1/50 en el centro luz.

#### 7.2.3. Propuesta C: puente atirantado

Se trata de una solución atirantada con una longitud de 44,5 m desde la torre hasta el extremo opuesto de la luz que salvaría el puente y 3 m adicionales para anclar los tirantes de retenida.

Estaría constituido por diez tirantes situados cada 4 m, resultando en una relación canto - separación tirantes de 1/8. El primer tirante se encontraría separado del pilar 4,5 m y el tirante más inclinado formaría 21 grados con la horizontal. La altura de la torre queda definida por el tirante más inclinado, en este caso 21 grados, resultando para los 40 m de longitud en una torre de 16 m de altura.

El tablero se propone mixto de 0,5 m de canto, formado por una viga central y cuchillos metálicos de canto variable con lámina exterior anticorrosiva y losas de hormigón armado prefabricado para consolidar el tablero.

### 7.3. Conclusiones

De las alternativas estudiadas, la solución adoptada ha sido obtenida mediante análisis y comparación de las diferentes opciones. Además, han sido valorados y puntuados los aspectos que pueden ser evaluados como su forma geométrica, tipología constructiva, durabilidad, economía, percepción visual e interacción con el entorno.

Según el análisis inicial realizado y en base a los resultados obtenidos en el proceso comparativo realizado, se llega a la conclusión que la alternativa más adecuada es la propuesta A: arco de sección triangular con 5 péndolas rígidas, por lo que se ha escogido como solución a desarrollar en el proyecto básico.

## 8. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

La solución adoptada es la propuesta A: arcos de sección triangular con cinco péndolas rígidas, tal y como se puede observar en la figura 9. Se pueden encontrar ejemplos similares de puentes con esta tipología estructural con las dimensiones establecidas, que podrían servir de ayuda para una buena práctica constructiva, optimizando los procesos constructivos y, por lo tanto, economizando la ejecución de la obra.

Un arco con tablero inferior crea una forma estética atractiva pero discreta, al mismo tiempo que su construcción podría ser sencilla, por ser una luz moderada que permite proponer diferentes procesos constructivos.

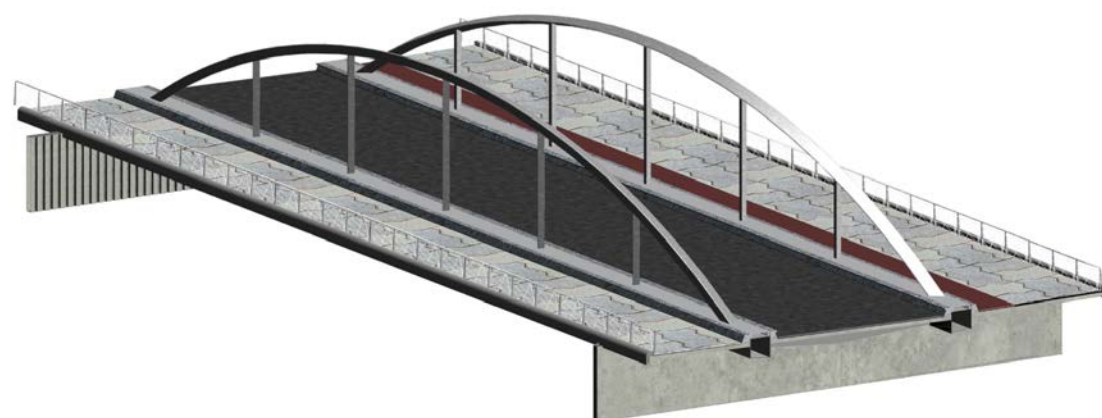


Figura 9. Modelo 3D planteado para la solución adoptada. Elaboración propia con AutoCAD.

La solución adoptada es la de puente en arco tipo *bow-string* con dos arcos exentos. La estructura consta de un único vano, de tal modo que no se interfiera en ningún momento con la rambla. La luz entre ejes de apoyo es de 42 m. La flecha es de unos 6 m aproximadamente, obteniendo así una relación flecha/luz de 1/7.

El trazado en alzado se ajusta a la rasante impuesta por las limitaciones geométricas del enunciado del presente proyecto. Por tanto, se tiene un bombeo longitudinal de  $\pm 5,4\%$ , siendo este nulo en la sección de centro-luz. En planta, el puente presenta un trazado recto.

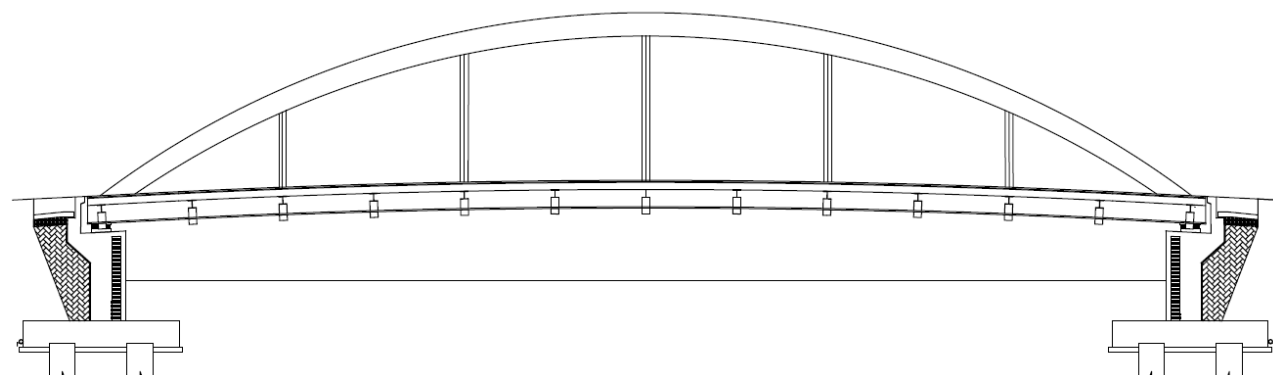


Figura 10. Propuesta A - Alzado lateral del puente. Elaboración propia con AutoCAD.

En cuanto al tablero, presenta una tipología mixta formado por un emparrillado de vigas longitudinales de canto constante y vigas transversales de canto variable de acero cada 3,5 m, así como por una losa colaborante de hormigón armado HA-30/F/15/IIIa de 27,5 cm de espesor. La losa se hormigonará sobre una chapa grecada de 1,2 mm de espesor y un canto o altura de greca de 10 cm (modelo Comflor 100 o similar). La anchura del tablero es constante con un valor de 20,85 m.

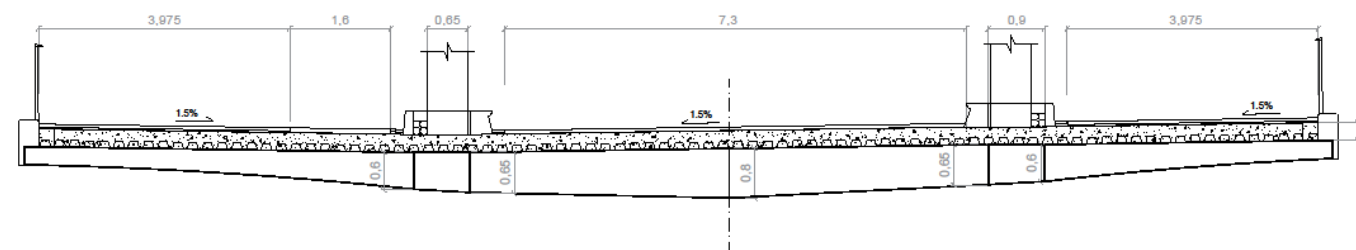


Figura 11. Propuesta A - Sección transversal del tablero. Elaboración propia con AutoCAD.

La distribución de la sección transversal se dispone de tal forma que el ancho de calzada aprovechable es de 7,3 m. Las aceras tienen un ancho de 3,975 m, mientras que el carril bici tiene 1,60 m. Además, se han respetado las pendientes transversales impuestas por las limitaciones geométricas ( $\pm 1,5\%$ ).

Los dos arcos se materializan exentos para darle la mayor simplicidad posible a la obra. La forma triangular, al ser una sección en cajón, mejora la rigidez de los arcos. Tanto estos como las péndolas son de acero S355 J2.

Cada arco consta solo de cinco péndolas rígidas de un ancho sutil pero suficiente como para transmitir sensación de seguridad al usuario, a la vez que evitando la opacidad en los laterales del puente para permitir vistas atractivas de la rambla y de la costa mientras se circule a través del mismo.

Al aportar belleza arquitectónica de una forma elegante, se considera que la obra se integra adecuadamente en el entorno, por lo que se espera su aceptación por parte de la sociedad.

Por otra parte, esta alternativa tendría como inconveniente principal la dificultad de acceder a algunos puntos altos del arco para su adecuado mantenimiento.

### 8.1. Modelo estructural

Para el dimensionamiento de la estructura, se ha empleado el programa de modelado y cálculo de estructuras SAP2000 (versión 16), puesto a disposición del alumnado por la Universidad Politécnica de Valencia y desarrollado por la empresa *Computers and Structures, Inc.* (CSI).

El programa trabaja a través de elementos finitos, los cuales pueden disponerse en las tres dimensiones con el fin de plasmar la estructura sea cual sea su disposición. En cuanto al método de cálculo, se considera un análisis elástico lineal de los materiales.

Se ha planteado un único modelo estructural correspondiente a los siguientes elementos del puente: arcos, péndolas, vigas longitudinales, vigas de piso o transversales y losa. Al margen se han analizado las subestructuras, las cuales no están en el modelo. Para el dimensionamiento y comprobación de las mismas se toman las reacciones aportadas por el SAP2000 tras el análisis del modelo de la estructura.

En el modelo se introducen las hipótesis de carga requeridas y, tras procesar el mismo, se obtienen los desplazamientos, reacciones y leyes de esfuerzos de la estructura, los cuales constituyen la base para la

comprobación de los Estados límite últimos y Estados límite de servicio de los diferentes elementos estructurales a lo largo de su vida útil.

El puente se ha modelizado en SAP2000 con elementos lineales tipo barra y elementos de área tipo placa. Los elementos tipo barra se han utilizado para modelizar los arcos, péndolas, vigas longitudinales y vigas transversales, mientras que la losa colaborante ha sido modelizada con elementos tipo placa. Para compatibilizar movimientos entre la losa y las vigas transversales y, por tanto, que trabajen conjuntamente, se han unido con nudos de dimensión finita. De este modo, se consigue un funcionamiento del tablero como estructura mixta.

Las barras se unen entre sí mediante nudos rígidos. Además, los puntos de conexión entre vigas longitudinales y vigas transversales, los puntos de conexión de las péndolas con las vigas y los puntos de conexión del arco con las vigas longitudinales se han modelizado como nudos de dimensión finita. En estos nudos, los elementos que se unen actúan como sólido rígido sin existir movimiento relativo entre ellos.

En cuanto a las coacciones de los apoyos, no debe permitirse el movimiento de sólido rígido, por lo que se impiden esos movimientos en el modelo. Cabe destacar que las coacciones del modelo representan apoyos ideales, los cuales se comportan de manera distinta en la realidad. No obstante, son suficientes para simular el comportamiento real del puente mediante el modelo de SAP2000.

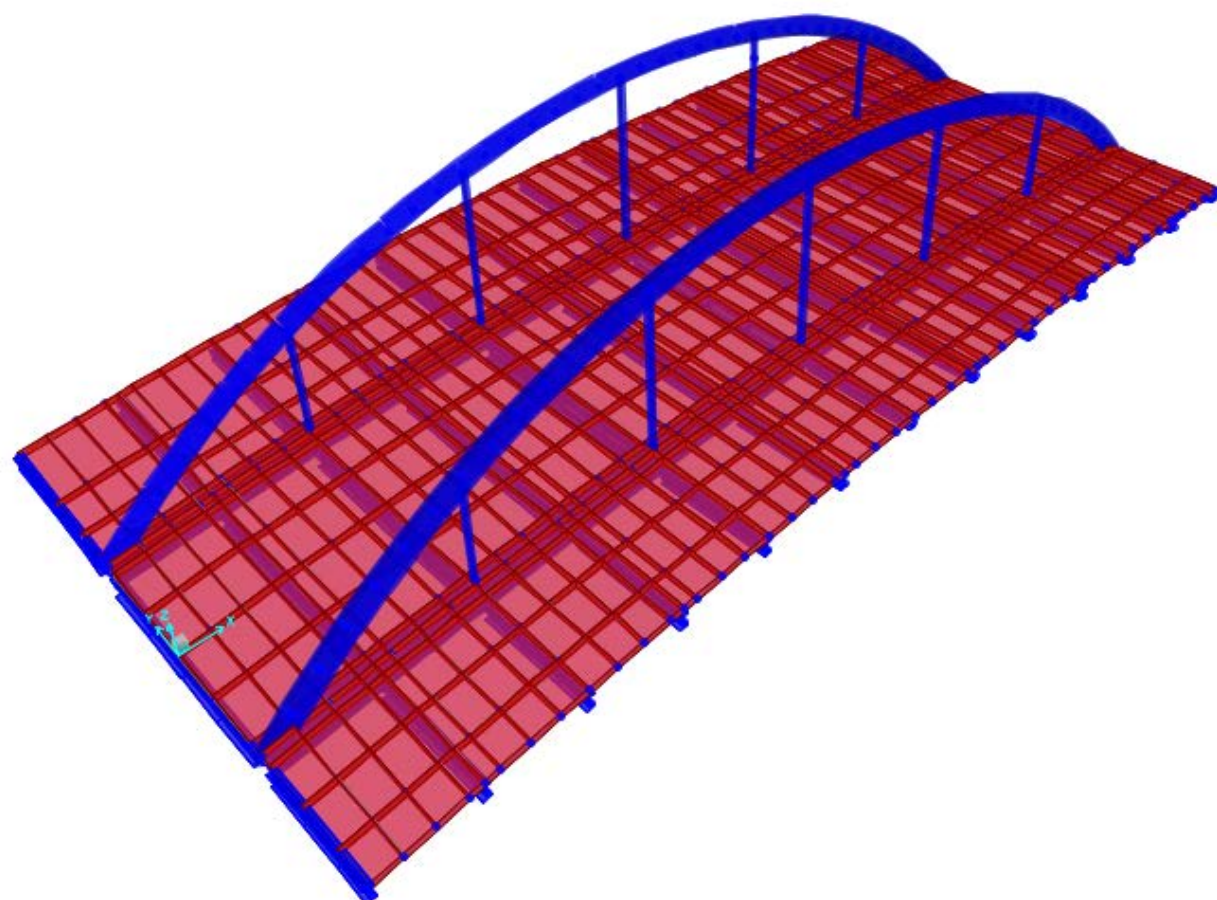


Figura 12. Modelo 3D. Elaboración propia con SAP2000.

## 8.2. Interpretación de los resultados del modelo

A partir de los resultados obtenidos, se puede observar el funcionamiento del puente como *bow-string* (puente de arco atirantado). El arco transmite las fuerzas horizontales de compresión al propio tablero el cual trabaja traccionado. En consecuencia, las fuerzas horizontales en los estribos son mínimas, lo cual permite una cimentación más optimizada.

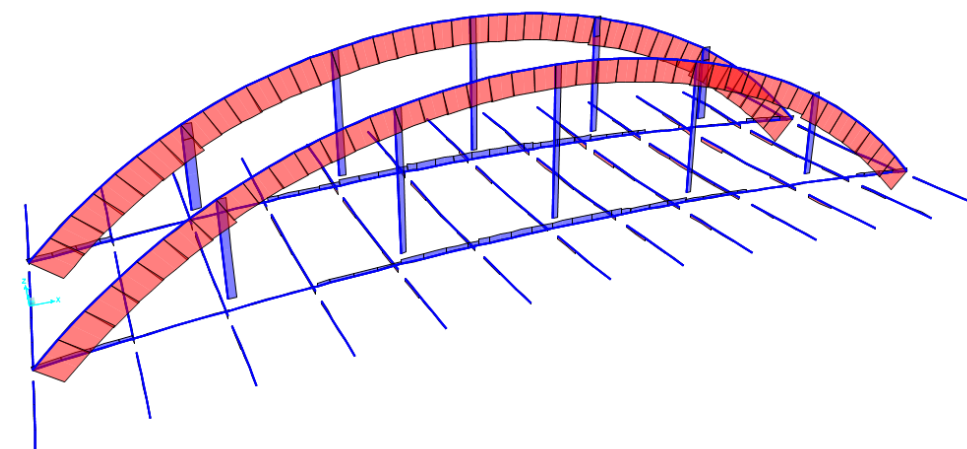


Figura 13. Diagrama de axiles a peso propio obtenido. Elaboración propia con SAP2000.

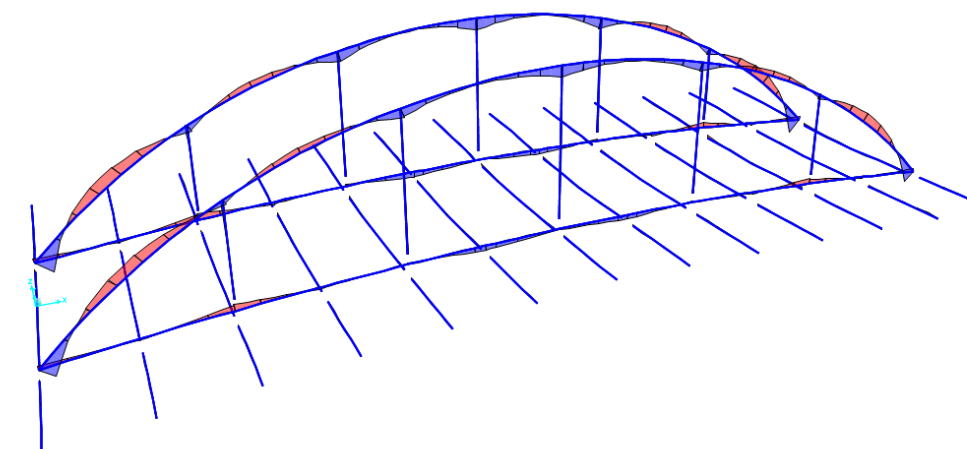


Figura 14. Diagrama de esfuerzos flectores de eje fuerte a peso propio obtenidos. Elaboración propia con SAP2000.

Como se puede observar en las figuras anteriores, el arco trabaja comprimido y, tanto las vigas longitudinales como las péndolas rígidas, trabajan traccionadas. Las péndolas rígidas trabajan traccionadas y sin esfuerzos flectores significativos, ya que los centros de gravedad del arco, las péndolas rígidas y la viga longitudinal son coincidentes.

En el caso del arco, los flectores son de pequeño valor respecto a la magnitud de los esfuerzos axiales. Por tanto, se puede decir que el arco trabaja principalmente comprimido. Debido a la existencia de péndolas rígidas, el signo de estos esfuerzos va cambiando, tal y como sucede en una viga continua con apoyos intermedios.

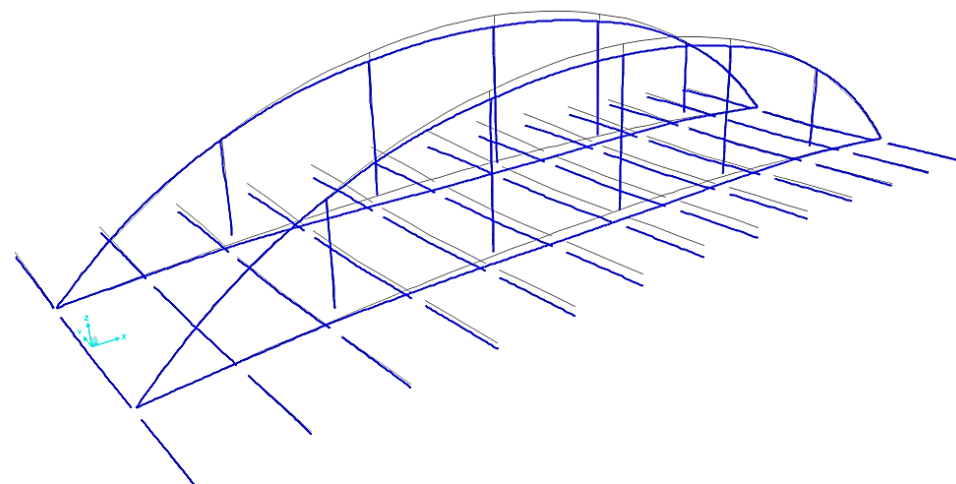


Figura 15. Deformada de la estructura a peso propio obtenida. Elaboración propia con SAP2000.

En cuanto a los desplazamientos, la máxima flecha debida a la actuación de la sobrecarga de uso es de 17,7 mm, la cual se encuentra dentro de los límites establecidos por la IAP-11. La flecha debida al peso propio y la carga permanente se compensará con una contraflecha de ejecución.

En el apéndice 5 al anejo nº 5, *Diseño y Comprobación de la Estructura*, se muestran las tablas donde se recogen las coordenadas de los nudos, la conectividad entre barras, las coacciones de los nudos y los resultados obtenidos del modelo (esfuerzos en las barras y en las placas, reacciones y desplazamiento de los nudos).

### 8.3. Descripción de los elementos resistentes

#### 8.3.1. Vigas longitudinales

El puente consta de dos vigas longitudinales de acero S 355 J2 de canto constante separadas entre ejes 9,1 m. En planta, son de directriz recta. Están directamente unidas al arco actuando como tirantes del mismo, aspecto característico de los puentes arco de tipología *bow-string*. Estas vigas se ajustan a la forma de la rasante del puente.

Las vigas longitudinales presentan una sección transversal en cajón con una anchura de 0,9 m y un canto de 0,65 m. El espesor de las alas (paneles superior e inferior) es de 15 mm y el de las almas es de 12 mm (paneles izquierdo y derecho). Además, las vigas longitudinales presentan diafragmas transversales de 12 mm de espesor situados cada 3,5 m, coincidiendo con los puntos de encuentro con las vigas transversales.

#### 8.3.2. Vigas transversales

Se disponen de vigas transversales cada 3,5 m, uniendo las vigas longitudinales y formando un emparrillado. Estas vigas se unen rígidamente a las longitudinales. Se distingue entre dos tipologías, aquellas en la parte central (entre las vigas longitudinales) y las que se encuentran en voladizo. Ambas presentan cantos variables a lo largo de la directriz. El espesor de las alas es de 15 mm, mientras que el del alma es de 12 mm. La sección de las mismas presenta forma de IPE conformada con las chapas.

Las vigas transversales de la parte central presentan un canto variable linealmente entre 650 y 800 mm, siendo este máximo en el centro-luz de la viga. A su vez, las vigas transversales en voladizo presentan un canto variable (según un arco de circunferencia de radio definido en los planos) entre 600 y 300 mm. El máximo se tiene en el entronque con la viga longitudinal.

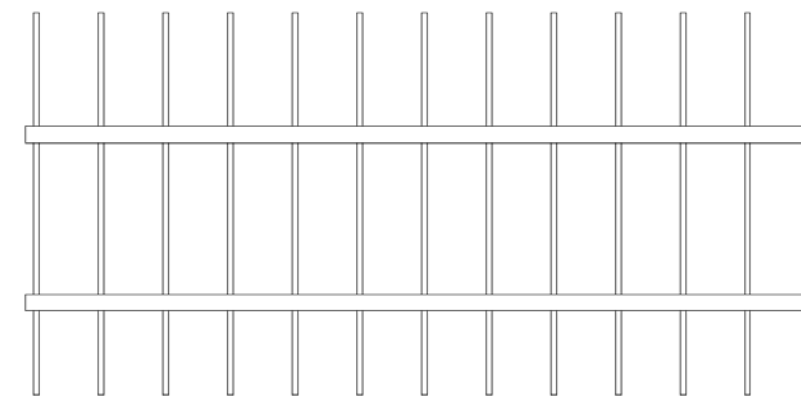


Figura 16. Vista en planta de las vigas longitudinales y transversales. Elaboración propia con AutoCAD.

Las vigas en voladizo quedan unidas entre sí en sus extremos por un perfil de borde con sección en C con chapas de 20 mm de espesor.

#### 8.3.3. Péndolas rígidas

Las péndolas rígidas unen los arcos con las vigas longitudinales. Existe un total de diez péndolas rígidas, cinco en cada arco, de acero S 355 J2 y separadas entre sí 7 m. Presentan una sección transversal constante en cajón de forma triangular. El espesor de las chapas que conforman la sección es de 50 mm.

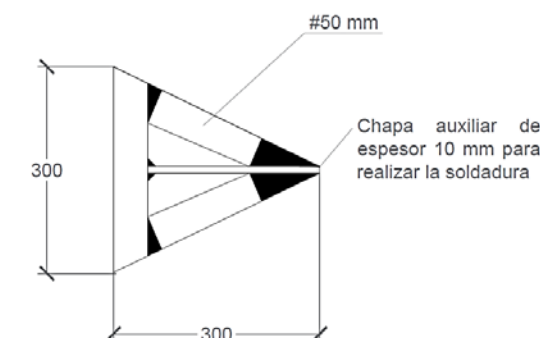


Figura 17. Sección transversal de las péndolas rígidas. Elaboración propia con AutoCAD.

#### 8.3.4. Arcos

Los arcos son el elemento resistente principal de la estructura. Se trata de dos arcos metálicos exentos de acero S 355 J2 que describen la forma de un arco de circunferencia de 35 m de radio con la siguiente directriz (suponiendo el eje en uno de los extremos del arco):

$$(x - 20,92)^2 + (y + 28,04)^2 = 35^2$$

La sección transversal de los arcos es constante, con forma triangular en cajón de base 0,9 m y altura 0,65 m. El espesor de las chapas de acero es de 40 mm.

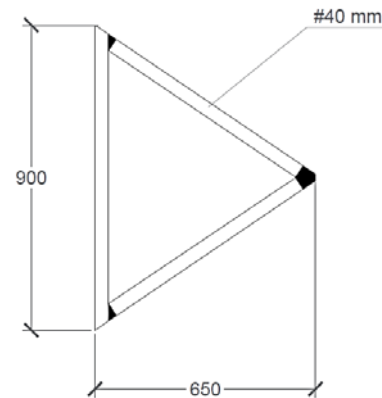


Figura 18. Sección transversal del arco. Elaboración propia con AutoCAD.

#### 8.4. Aparatos de apoyo y juntas de dilatación

Se decide emplear aparatos de apoyo de neopreno zunchado, de la firma comercial Mecanogumba (o similar). Se han proyectado 4 neoprenos, dos por cada estribo, de 700x800 mm. Los mismos requieren seis capas internas de elastómero de 15 mm, intercaladas con chapas de acero de 5 mm de espesor. Según la nomenclatura descrita en las *Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los aparatos elastoméricos para puentes de carretera*, los neoprenos presentan la siguiente designación: TIPO A 700x800x6(15+5).

En cuanto a las juntas de dilatación, se escoge el modelo Transflex 250 de la firma comercial Trelleborg (o similar). Este modelo presenta un recorrido máximo de  $\pm 33$  mm, lo cual resulta suficiente según las comprobaciones realizadas para los estados límite de la estructura.

#### 8.5. Equipamientos

El diseño de equipamientos comprende la determinación de la pavimentación (tanto en la zona de la calzada como en las aceras), el drenaje de la plataforma, la iluminación, las defensas y las impostas. Se encontrará detallado en el anejo nº 6, presentando en esta memoria un resumen de los principales resultados.

##### 8.5.1. Pavimentación

La pavimentación presenta una parte común a las tres zonas analizadas (calzada, aceras y carril reservado para ciclistas). Se trata de la capa de estanqueidad, optará por el producto Polydan 180-60/GP Elast. de la empresa Danosa, o similar, con un espesor de 4 mm. Consiste en un conjunto de láminas superpuestas, tal y como ilustra la figura 19 (izquierda).

Por encima de esta capa impermeabilizante, los materiales a emplear difieren en función de la zona del tablero:

- En la calzada, directamente sobre la capa de estanqueidad se extenderá el firme, calculado en función de la intensidad media diaria de vehículos pesados estimada y siguiendo las indicaciones del *Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3)*. Como resultado, se

extenderán 55 mm de una mezcla bituminosa en caliente AC22 surf S, empleando betún convencional 50/70 como ligante, en una anchura de 7,3 m.

- En las aceras, intercalando una capa separadora tipo DANOFELT PY 120 de Danosa (o similar) sobre la capa de estanqueidad, se extenderán 25 mm de mortero de asiento M-250 y se colocarán baldosas de granito de la marca Breinco, del modelo Llosa Vulcano, o similares. Estas presentan unas dimensiones de 600x400x50 mm y pueden observarse en la figura 20. Ocuparán una anchura de 3,975 m en ambos lados.
- En el carril reservado para ciclistas también será necesario intercalar la capa separadora mencionada previamente, aunque en este caso no se empleará mortero de asiento. Sobre una anchura de 1,6 m, contigua a la acera situada aguas abajo, se extenderá el sistema Techline de Sika (o similar), consistente en una capa de imprimación, dos capas base y dos capas de sellado, con un espesor total de 75 mm.

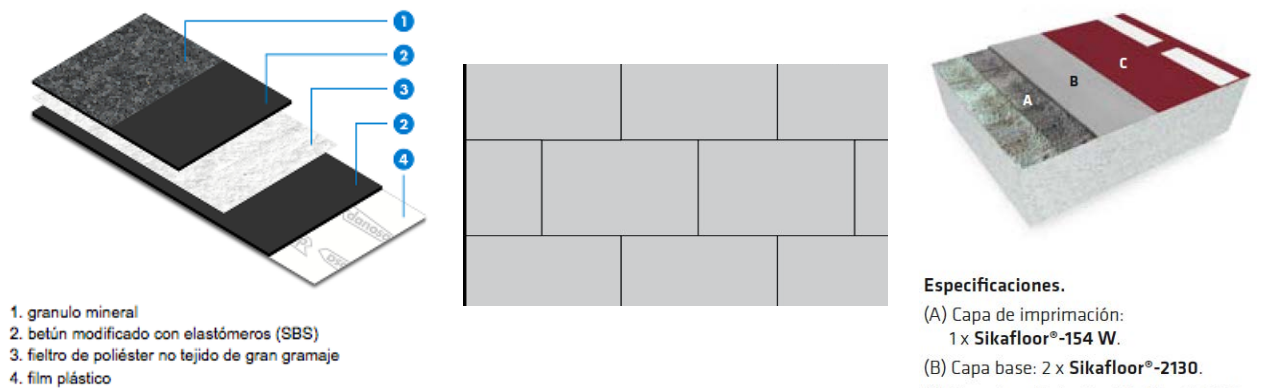


Figura 19. Por orden, capa de estanqueidad Polydan, baldosas Llosa Vulcano y sistema Techline. Fuentes: Danosa, Breinco y Sika.

##### 8.5.2. Evacuación de aguas

Se planteará una alternativa de drenaje del tablero que respete las indicaciones de la *Instrucción 5.2-IC de drenaje superficial*, y que consistirá en definir tres franjas de drenaje a lo largo de la superficie drenada. Estas se situarán siempre contiguas a los muros separadores y distribuidas de forma que una corresponda a la calzada, en su parte de aguas abajo, y las otras dos recaigan a las aceras.

Por cada franja de drenaje se situarán 15 rejillas de modelo Plana cuadrada de Saint Gobain PAM (o similar), junto con rigolas prefabricadas de 200x200x40 mm de Graus Terrazos y Pavimentos (o similar) en el espacio entre ellas.

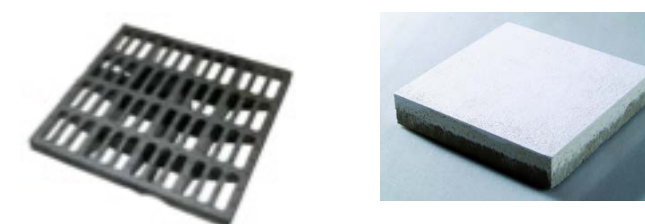


Figura 20. Rejilla Plana cuadrada y rigola prefabricada de 200x200x40 mm. Fuentes: Saint Gobain PAM y Graus Terrazos y Pavimentos.

El vertido se realizará directamente sobre la rambla, a través de tuberías de PVC (modelo 411002 de Clearplast o similar), con una longitud de 30 cm.

### 8.5.3. Iluminación

La iluminación a determinar puede dividirse en dos grupos:

- La iluminación de la calzada, siguiendo las instrucciones del manual *Recomendaciones para la iluminación de carreteras a cielo abierto*. Se planteará una propuesta de 10 luminarias individuales situadas a 25 cm de la parte superior de cada péndola (cada 7 m), describiendo por tanto una trayectoria curva. Los modelos escogidos son variables, para adaptarse a las diferentes alturas a las que se sitúan. Se instalarán luminarias Novara L TC-DEL 18W SKI o similar en las cuatro péndolas de los extremos, Novara ML LED LEVO 25W o similar en las cuatro péndolas intermedias, y Novara ML LED LEVO 50W en las dos péndolas centrales. En todos los casos se trata de focos LED de la empresa Hess GmbH.

Con la ayuda del programa DIALux, se comprobará que la situación definida cumple con los valores mínimos definidos para la clase de alumbrado existente.

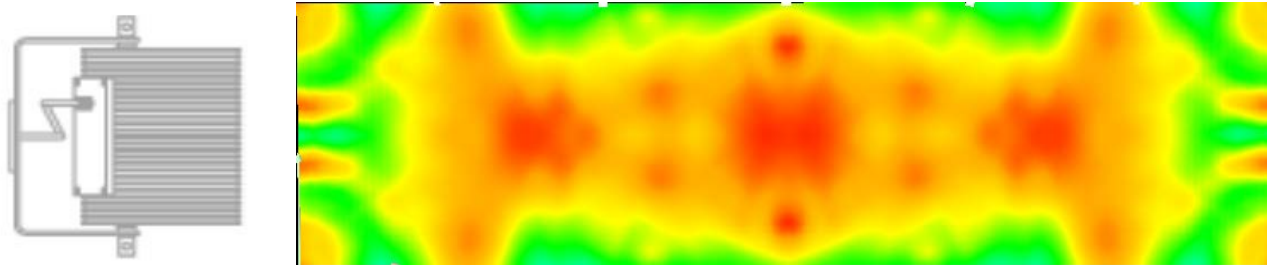


Figura 21. Vista en planta del modelo Novara ML y distribución de la luminancia con colores falsos. Fuente: Hess GmbH y propia.

- La iluminación de las aceras no queda regulada por ninguna normativa. La solución adoptada consistirá en emplear iluminación rasante mediante una serie de luminarias cada 3 m, integradas en la defensa que recae a las aceras. Se escogerá el modelo 22230+K4 de BEGA, o similar.



Figura 22. Representación de la iluminación rasante. Fuente: BEGA.

### 8.5.4. Defensas

Las defensas se dividen en dos categorías:

- Aquellas que separan el tránsito de vehículos motorizados de los demás usuarios o protegen y delimitan el espacio de arcos y péndolas. Se plantearán cuatro muros separadores continuos, iguales dos a dos. Los recayentes a la calzada consistirán en una barrera rígida prefabricada de hormigón armado, de mayores dimensiones. Los recayentes a las aceras serán también prefabricados en hormigón armado, pero de menores dimensiones al no recibir impactos de gran magnitud.

- Aquellas que impiden la caída a diferente altura a ambos lados del puente. Se plantearán unas barandillas de aspecto singular, ancladas a los perfiles de borde metálicos. Constarán de montantes de sección variable cada 1,75 m. Entre ellos se situarán marcos rectangulares de fundición, fabricados por medio de moldes en taller, y presentando un patrón de rectas aleatorias, que se repetirá para cada uno. Por último, el pasamanos se fabricará en aluminio y tendrá forma curva, buscando representar la ley de momentos de la carga aplicada. En consecuencia, su espesor también será variable.

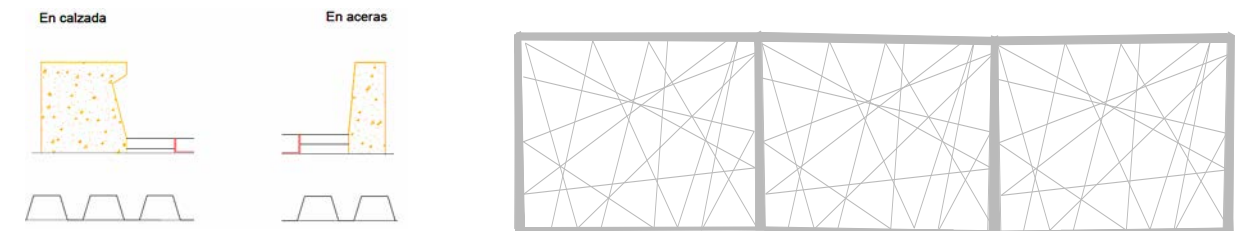


Figura 23. Detalle de los muros separadores y barandillas. Elaboración propia.

### 8.5.5. Imposta

El diseño de la imposta es alargado, buscando ocultar las partes internas del puente y conferir un aspecto de continuidad estructural. Su ejecución será a partir de módulos prefabricados de 1,75 m, coincidiendo con la separación entre montantes de barandillas y previendo un espacio para su encaje.

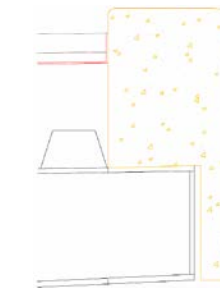


Figura 24. Detalle de la imposta. Elaboración propia.

## 9. PLAZO DE EJECUCIÓN

El plazo de ejecución ha sido obtenido tras desglosar los trabajos en tareas sencillas, cuya duración ha sido estimada posteriormente en base al rendimiento de los medios empleados o como resultado de una consulta de actividades similares.

Al margen de la duración de las propias tareas, en el plazo de ejecución influirán las relaciones de precedencia entre ellas y los supuestos de partida, que hacen referencia a los días festivos en la localidad de Benicarló y al aumento del plazo por factores climatológicos adversos.

En total, tal y como queda desarrollado en el anejo nº 8, las obras presentan un plazo de ejecución total de 213 días naturales, comenzando el 1 de diciembre.



## 10. PRESUPUESTO

El presupuesto de este proyecto básico parte de una relación valorada de las unidades de obra intervinientes, de forma que queden perfectamente definidas y su consideración global corresponda a la totalidad de los recursos empleados. Para cada unidad de obra se incluirá un código identificativo, una descripción somera pero completa, su unidad de medida y su precio unitario. Además, se optará por agruparlas en capítulos, en función de la fase del proceso constructivo en la que intervengan.

Posteriormente, se determinarán en cada caso las mediciones, en función de las unidades de medida definidas. Estas permitirían, mediante su multiplicación por su precio unitario, obtener una valoración económica de cada capítulo. La suma de todas ellas proporcionará el presupuesto de ejecución material, que asciende a 1.745.900,55€, lo que corresponderá a 1.940,58 €/m<sup>2</sup>.

Por último, añadiendo a este valor las cantidades correspondientes a gastos generales, beneficio industrial e impuestos, se obtendrá el presupuesto base de licitación. Este asciende a 2.598.423,79€, que corresponden a 2888,17 €/m<sup>2</sup>.

## 11. CONCLUSIÓN

En base a lo expuesto en los documentos y anejos del presente “Proyecto básico de puente sobre la Rambla de Alcalá en Benicarló (Castellón)”, es posible concluir que la solución adoptada supone una propuesta coherente con los condicionantes y con el entorno existentes, además de reunir las cualidades necesarias a nivel funcional, económico, estructural y estético.

Valencia, junio de 2016



Fdo.: García Castillo, Ester



Fdo.: Piñol Gómez, Belén



Fdo.: Quevedo Porrino, Aníbal Franco



Fdo.: Sánchez D'Ocon, Ignacio