



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

ANEJO Nº 3: INFORME GEOTÉCNICO

Titulación: Grado en Ingeniería Civil

Autora: Belén Piñol Gómez

Tutor: José Casanova Colón

Cotutora: Elvira Garrido de la Torre



ÍNDICE

0. AUTORÍA.....	3
1. OBJETO DEL INFORME	3
2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	3
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. INFORMACIÓN DE PARTIDA.....	4
5. CONDICIONES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS E HIDROLÓGICAS.....	4
5.1. Geología	4
5.2. Geomorfología	5
5.3. Hidrogeología.....	5
6. CAMPAÑA GEOTÉCNICA	6
6.1. Visitas a campo	6
6.2. Sondeos y calicatas.....	6
6.3. Nivel freático	6
6.4. Perfil geológico	7
7. TRABAJOS DE LABORATORIO	7
7.1. Ensayos realizados a muestras tomadas en los sondeos	7
7.2. Ensayos realizados a muestras tomadas en las catas	7
8. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO	8
8.1. Clasificación de las unidades litológicas.....	8
8.2. Análisis de la variación de las características	8
8.3. Agresividad a los hormigones	9
9. RECOMENDACIONES	9
9.1. Soluciones constructivas.....	9
9.2. Tipología de cimentación.....	9
9.3. Aprovechamiento de materiales	10

0. AUTORÍA

El presente documento, Anejo nº 3 - Informe Geotécnico, ha sido elaborado por la alumna Belén Piñol Gómez en base a la información contenida en el estudio geotécnico realizado en el año 2004 y facilitado por la profesora D^a María Elvira Garrido de la Torre; dicho estudio se adjunta en el Apéndice nº 2 a este Anejo.

1. OBJETO DEL INFORME

El objeto de este informe es proporcionar los datos geológicos y geotécnicos de nuestra área de estudio para la caracterización del terreno de cimentación en el emplazamiento del Puente sobre la Rambla de Alcalá en Benicarló (Castellón), cuyo proyecto básico se está desarrollando como Trabajo Final de Grado del curso 2015-2016.

Será necesario conocer estos datos con el propósito de asegurar un correcto dimensionamiento de la cimentación y de los elementos auxiliares de la fase constructiva. Se analizarán los datos obtenidos y se desarrollarán los siguientes aspectos:

- Definición de las condiciones geológico-geotécnicas de la región, analizando el marco geológico, la geomorfología y la hidrogeología.
- Descripción de la campaña geotécnica, incluyendo datos de sondeos y la identificación de nivel freático.
- Descripción de los trabajos de laboratorio efectuados para el análisis de las características y propiedades del terreno.
- Caracterización geomecánica del terreno diferenciando por niveles.
- Recomendaciones constructivas y de cimentación según la tipología y las condiciones del terreno.
- Aprovechamiento de los materiales procedentes de excavación.

2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El puente se realiza como medida de prevención para evitar las inundaciones de la zona, sustituyendo a uno ya existente.

El puente previamente emplazado obstruía el paso de las aguas, actuando como tapón. Éste consistía en dos marcos de hormigón, los cuales tenían una baja capacidad hidráulica de desagüe, por lo que era conveniente el cambio ante posibles avenidas.



Figura 1. Puente preexistente sobre la rambla de Alcalá en Benicarló. Elaboración propia.

El proyecto actual contempla un nuevo puente, el cual estará más elevado y tendrá un solo vano, de manera que el cauce no se vea obstruido.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto a realizar trata de una propuesta para un puente sobre el encauzamiento de la Rambla de Alcalá, ubicada en Benicarló (Castellón). En el año 2005, la Conselleria d'Infraestructures i Transport de la Generalitat Valenciana encargó este proyecto para sustituir la obra que daba continuidad a la Avenida del Papa Luna, a causa de la falta de funcionalidad. La sección hidráulica existente consistía en unos marcos de hormigón armado.

La propuesta, de eje SE-NO y sensiblemente paralelo a la costa, debe mantener operativa la avenida, su carril y sus aceras, al mismo tiempo que cumplir las características necesarias para asegurar el desagüe del cauce.

Las condiciones técnico-administrativas establecen que el trazado en planta del puente debe ser recto, manteniendo la alineación de la Avenida del Papa Luna. En cuanto al trazado en alzado, los gálibos exigidos son los siguientes:

- Acceso desde margen derecha: (0+0.000, +3.260).
- Pendiente de entrada al puente desde margen derecha: -5,4%.
- Acceso desde margen izquierda: (0+40.000, +3.260).
- Pendiente de entrada al puente desde margen izquierda: +5,4%.
- El gálibo impuesto se puede observar en la Figura 2.
- La luz libre exigida es de 40,00 m, entre cajeros del encauzamiento.

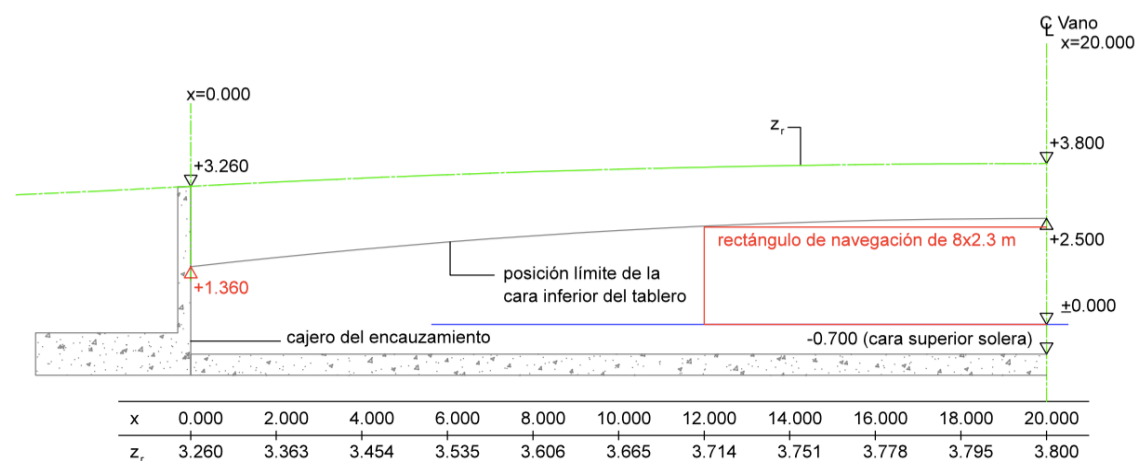


Figura 2. Representación de las limitaciones de gálibo para medio tablero. Fuente: S. Monleón.

Las características funcionales y técnicas son las siguientes:

- El ancho útil exigido es de 17,45 m, repartidos de la siguiente forma: 5,575 m en la acera de aguas abajo (incluyendo carril bici); 2 barreras de 0,2 m; 7,5 m de calzada (en 2 carriles) y 3,975 m en la acera de aguas arriba.
- La pendiente transversal de calzada y acera del 1,5%.
- Respecto al material estructural, su elección será libre, prestando atención a la durabilidad y mantenimiento futuro.
- La única condición de tipología estructural será no disponer apoyos dentro del encauzamiento de la rambla.

4. INFORMACIÓN DE PARTIDA

Como se ha mencionado en el apartado *Autoría*, se dispone del informe geológico-geotécnico realizado en el año 2004, desde el puente de la N-340 hasta la desembocadura, de cara a la realización de las obras "Encauzamiento de la Rambla de Alcalá en zona urbana" en la localidad de Benicarló (Castellón).

5. CONDICIONES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS E HIDROLÓGICAS

5.1. Geología

El primer paso para proceder a estudiar las condiciones geológicas-geotécnicas e hidrológicas es situar nuestra obra en el mapa, mediante el sistema de referencia de coordenadas ETR589 – UTM Huso 30 (25830).

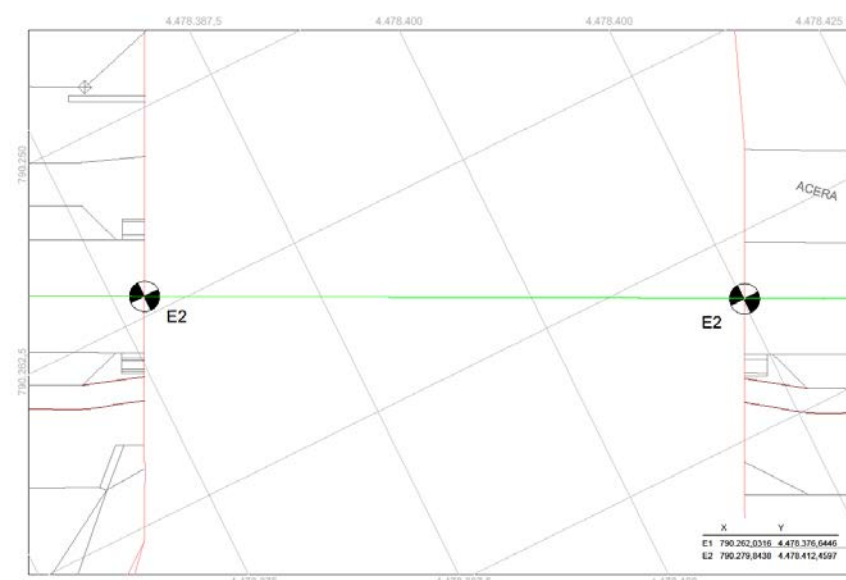


Figura 3. Ubicación de la obra en coordenadas UTM. Elaboración propia con AutoCAD.

Como se puede observar en la Figura 3, el estribo norte está en las coordenadas $x=790.279,8438$; $y=4.478.412,4597$, mientras que el sur está posicionado en las coordenadas $x=790.262,0316$; $y=4.478.376,6446$.

El área de estudio corresponde a la provincia de Castellón. El esquema geológico regional del entorno del lugar de construcción (obtenido de la serie MAGNA del IGME, hoja 571) indica que existen suelos cretácicos (hauteriviense-barremiense y berriasiense-valanginiense) y jurásicos, correspondientes al mesozoico. Asimismo, encontramos extensiones cuaternarias. Este material cuaternario cercano a la costa ha sido erosionado y transportado por el cauce hacia la desembocadura del mismo donde se encuentra el emplazamiento de la obra. En menor medida encontramos suelos terciarios y bedouliense-garsiense, correspondiente a la era terciaria (véase Figura 4).

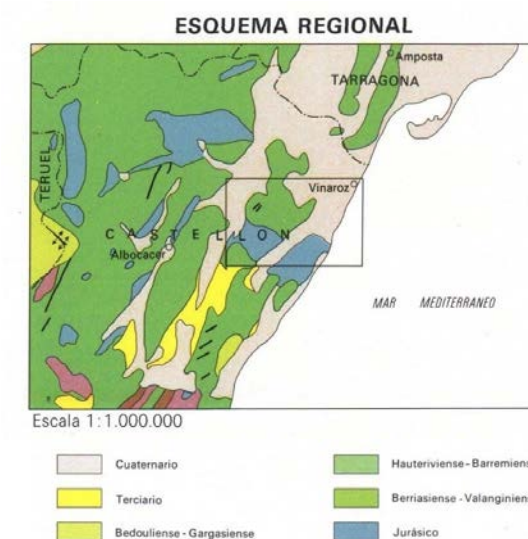


Figura 4. Esquema geológico regional. Elaboración propia en base a la Serie MAGNA del IGME, hoja 571.

Los suelos cretácicos están compuestos mayormente por calizas y margas, así como calizas microcristalinas, oolíticas y dolomías. Los terciarios están compuestos principalmente por conglomerados, gravas, arenas y arcillas. Por último, en lo correspondiente al cuaternario, encontramos a pie de monte conglomerados, gravas y arenas.

Por otra parte, el esquema tectónico de la zona de estudio nos indica que no existen fallas significantes en el entorno próximo de nuestra área de cimentación. En la Figura 5 se muestra el correspondiente al municipio de Benicarló, donde se ubicará nuestra estructura. Del mismo cabe destacar que las fallas son perpendiculares a la superficie del terreno. Además, los materiales no se encuentran en estratos horizontales tal y como se depositaron inicialmente debido a la formación Alpina.

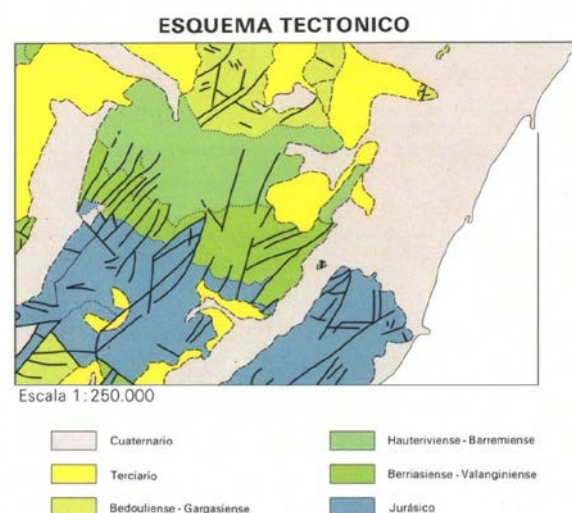


Figura 5. Esquema tectónico en la zona del municipio de Benicarló. Elaboración propia en base a la Serie MAGNA del IGME, hoja 571.

Respecto a la geología en la zona de emplazamiento de la obra, cabe destacar que encontramos gravas en el cauce y arcilla en las llanuras de inundación. Además, previa 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 tienen ciertas discrepancias en uno y otro extremo del puente.



Figura 6. Vista aérea del cauce en la zona de estudio. Fuente: Google Earth.

5.2. Geomorfología

La zona de estudio se ubica a escasos metros de la línea costera. Según la información proporcionada en el enunciado del Trabajo Final de Grado por los profesores responsables, la cota del terreno en la rambla es de -0,7 metros, y la cota de la rasante del puente al nivel del estribo es de 3,26 metros, existiendo, por tanto, una diferencia de 3,96 metros entre la cota superior del pavimento a construir y el terreno existente (Figura 7). Observamos, comparando estas cotas con las encontradas en la herramienta Terrasit, que existe una ligera variación en las mismas; esto se puede deber a que la herramienta Terrasit hace referencia a una situación antigua, sensiblemente diferente a la actual.

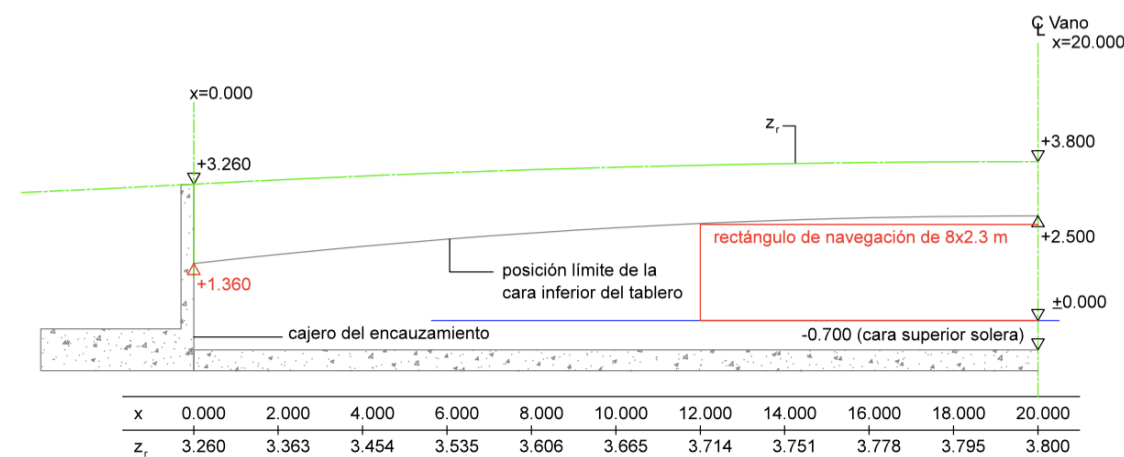


Figura 7. Representación de las cotas en emplazamiento Fuente: S. Monleón.

5.3. Hidrogeología

Gracias a la herramienta Terrasit (Figura 8), se puede determinar que, en el área del puente, existen “formaciones detríticas y cuaternarias de permeabilidad alta o muy alta, así como formaciones volcánicas de permeabilidad muy alta”.

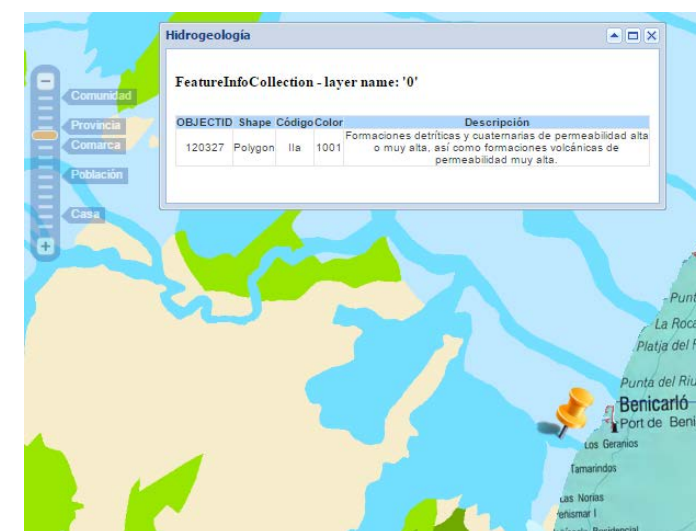


Figura 8. Mapa hidrogeológico del Benicarló. Elaboración propia en base a Terrasit.

6. CAMPAÑA GEOTÉCNICA

6.1. Visitas a campo

Además de la visita de campo realizada por los autores del informe geotécnico que se nos ha facilitado, cuya descripción y fotografías se adjuntan en el Apéndice nº 2 a este anejo, los alumnos autores del presente trabajo realizamos una visita al emplazamiento con el fin de conocer algunos datos de la zona. Esta visita fue realizada el día 19 de enero de 2016, acompañados de la profesora D.ª María Elvira Garrido de la Torre y los profesores D. José Casanova Colón y D. Carlos Manuel Lázaro Fernández. A continuación, se indican los aspectos observados en dicha visita.

En la zona de desembocadura aguas arriba del puente se encontró material granular. Se observan claramente visibles gravas de tamaños muy variados, de entre 10 y 150 milímetros (Figura 9). Los cantos son redondeados debido a que han sido erosionados y transportados desde el valle de aguas arriba.

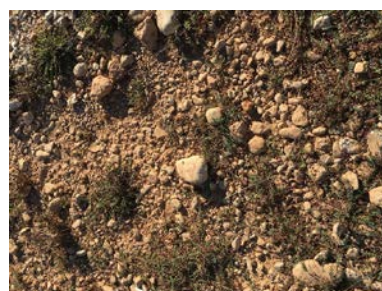


Figura 9. Material granular del cauce en la zona cercana de aguas arriba del puente. Elaboración propia.

En la zona de desembocadura aguas abajo del puente encontramos una superficie de arcilla con vegetación, con un espesor de 10 centímetros (Figura 10). Bajo esta capa, también habrá material granular. Además, al final del cauce se halló una barra geológica generada por la sedimentación del material, que provoca que éste se siga depositando. Por tanto, se crea una zona de deposición de sedimentos que explica esa capa superficial de arcillas (o lodos de decantación).



Figura 10. Capa superficial de arcillas aguas abajo de la obra. Elaboración propia.

6.2. Sondeos y calicatas

Para llevar a cabo el estudio geotécnico realizado en el año 2004, se realizaron catas y sondeos. Las coordenadas de los mismos son indicativas, y se han obtenido mediante la herramienta *Terrasit* a partir del plano del estudio

geotécnico proporcionado, en el cual se referencian las catas y sondeos a objetos actualmente inexistentes (Figura 11).

Para conocer las características el terreno donde se ubicará la cimentación, se realizaron dos sondeos mecánicos. En el cauce de la rambla se realizó un sondeo y once catas repartidas a lo largo de la traza.

En la Tabla 1 se recoge la ubicación y profundidad de los sondeos SM-1 (estribo sur) y SM-2 (estribo norte), los cuales nos proporcionarán la información necesaria para el cálculo de la subestructura.

Tabla 1. Profundidad y coordenadas de los sondeos en estribos

Trabajo de campo	Profundidad (m)	Coordenadas UTM
Sondeo SM-1 (Est. S)	30	X= 790.140,9457 ; Y=4.478.162,6412
Sondeo SM-2 (Est. N)	25	X= 790.182,3659 ; Y=4.478.217.6208



Figura 11. Posición de los sondeos SM-1 y SM-2. Elaboración propia en base a Terrasit.

En las páginas del documento adjunto, correspondiente al informe geotécnico proporcionado, se muestran las columnas litológicas de los sondeos SM-1 y SM-2. Además, en el Plano nº 1 del Apéndice nº 1 a este Anejo se ha elaborado una sección longitudinal con las características obtenidas en cada sondeo.

6.3. Nivel freático

Durante la campaña de investigación geotécnica se controló la posición del nivel freático en los diferentes sondeos y catas.

Tanto el sondeo SM-1 del estribo sur (de 30 metros de profundidad), como el sondeo SM-2 del estribo norte (de 25 metros) realizados para el estudio geotécnico de la cimentación del puente, proporcionaron una profundidad de nivel freático de 1,95 metros bajo la boca de sondeo. Es decir, la cota cero está a nivel de la rasante de la Avda. del Papa Luna.

Esta estimación se aceptará como válida en el caso del estribo norte. Éste está compuesto por un nivel de gravillas y algunas gravas en matriz arenosa, entre las cotas relativas 1,8 y 5,8 metros, 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, es decir, a una profundidad relativa de 3,26 metros 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.

6.4. Perfil geológico

Con los datos obtenidos en los sondeos SM-1 y SM-2, se ha realizado un perfil geológico, apreciándose claramente la correlación de estratos entre un estribo y otro. Las características geológicas se especifican a continuación:

Estribo sur (correspondiente al 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: Este estrato está 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.

Estribo norte (correspondiente al 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-limosa. 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 con alguna traza margosa. Aparece intercalado un estrato de costra calcárea de 1,6 metros 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.

7. TRABAJOS DE LABORATORIO

7.1. Ensayos realizados a muestras tomadas en los sondeos

Con el fin de conocer las características geotécnicas del terreno, se han realizado los siguientes ensayos:

- Análisis granulométricos por tamizado, según la norma UNE 103101/95.
- Determinación de los Límites de Atterberg, según la norma UNE 103103/94 y 103104/93.

Además, de las muestras inalteradas se ha obtenido lo siguiente:

- Determinación de las densidades aparentes y seca, según la norma UNE 103301/94.
- Determinación de la humedad, según la norma UNE 103300/93.
- Determinación de la resistencia a compresión simple, según la norma UNE 103400/93, controlándose la deformación de la probeta y obteniendo la correspondiente curva tensión-deformación.
- Contenido en sulfatos solubles en muestras de suelo, según el anejo 5 de la EHE-08.
- Contenido en materia orgánica, según la norma UNE 103204/93.

7.2. Ensayos realizados a muestras tomadas en las catas

Según las muestras obtenidas de las catas, se han realizado los siguientes ensayos y determinaciones:

- Análisis granulométricos por tamizado, según la norma NLT 104/91.
- Determinación de los Límites de Atterberg, según la norma NLT 105/91 y NLT 106/91.
- Contenido en materia orgánica, según la norma UNE 103204/93.

8. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO

8.1. Clasificación de las unidades litológicas

En base a los resultados obtenidos a partir de la campaña de investigación llevada a cabo, se establecen los niveles geotécnicos descritos a continuación. Será necesario distinguir entre ambos estribos:

Estribo sur (correspondiente al sondeo SM-1):

Tabla 2. Caracterización del terreno según el sondeo SM-1.

Nivel	Clasificación Casagrande	Cotas (m)	Potencia (m)	Compacidad
A, Rellenos	-	3,26 a 1,56	1,70	-
B, Margas con vetas de arena	CL	1,56 a -0,14	1,70	Compacto
C, Arcilla muy fina	CL	-0,14 a -2,56	2,4	Compacto
C, Arcilla gruesa	CL	-2,56 a -10,14	7,6	Suelta-compacta
C, Arcilla fina	CL	-10,14 a -18,74	8,6	Compacto
B, Margas con vetas de arena	CL	-18,74 a -21,94	3,2	Compacto
C, Arcilla fina	CL	-21,94 a -23,74	1,8	Compacto
B, Margas con vetas de arena	ML	-23,74 a -26,74	3	Compacto

Estribo norte (correspondiente al sondeo SM-2):

Tabla 3. Caracterización del terreno según el sondeo SM-2.

Nivel	Clasificación Casagrande	Cotas (m)	Potencia (m)	Compacidad
A, Rellenos	-	3,26 a 1,46	1,80	-
D, Gravilla calcárea	GP	1,46 a -2,54	4,00	Compacta
C, Arcilla con margas	CL	-2,54 a -3,74	1,2	-
E, Costra calcárea	-	-3,74 a -5,34	1,6	-
C, Arcilla con margas	CL-ML	-5,34 a -10,14	4,8	Muy densa
C, Arcilla con grava	GM	-10,14 a -19,54	9,5	Compacta

Es necesario destacar que, tal y como se observa en el Plano nº 2 del Apéndice nº 1 a este Anejo, los estratos considerados para los cálculos son una simplificación de los expuestos anteriormente, y se resumen sus características en las tablas 6 y 7:

Tabla 6. Estratos considerados para los cálculos

Cotas (m)	Estribo sur	Cotas	Estribo 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 7. Características de los estratos considerados

	$\rho_{ap} (kN/m^3)$	$\rho_{sat} (kN/m^3)$	$\phi(^{\circ})$	$c'(kN/m^2)$	$R_u (kN/m^2)$
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

8.2. Análisis de la variación de las características

De nuevo se diferenciará entre ambos estribos:

- Estribo sur (correspondiente al sondeo SM-1):

Se observa que la variación principal se encuentra en el tamaño de partícula por un estrato de una potencia de aproximadamente 8 metros que se encuentra intercalado entre las partículas finas. En general se encuentran arcillas compactas, con excepción de este estrato intermedio de partículas gruesas, las cuales presentan una compacidad media debido al tamaño de sus partículas. Tiene una resistencia relativamente constante, observable en los ensayos SPT en cada profundidad proporcionando resultados similares. Respecto a la densidad, también puede considerarse constante, exceptuando el nivel grueso intermedio que claramente presenta una densidad mucho mayor que los niveles finos.

- Estribo norte (correspondiente al sondeo SM-2):

El caso de este sondeo es muy diferente al anterior. En este se encuentra una cantidad equilibrada entre partículas gruesas y finas. La característica en la que se aprecia una mayor variación es la compacidad, habiendo mucha diferencia entre estratos desde suelos compactos hasta sueltos, tal y como puede observarse en la Tabla 5 de caracterización del terreno. Los resultados del número de golpes para el ensayo SPT pueden clasificarse en 2 grupos: resultado nivel grueso, obteniendo elevados números de golpes, y resultado nivel fino, donde el número de golpes obtenidos es bastante bajo. Estos análisis permiten llegar a la conclusión de que existen dos bloques muy diferenciados con respecto a su resistencia: el primero con una resistencia notable, y el segundo mucho más baja. En la densidad sucede un caso similar al anterior: en los estratos superior e inferior la densidad es menor, y en la zona intermedia aparece un estrato de partículas gruesas con una densidad mucho mayor.

8.3. Agresividad a los hormigones

La agresividad química al hormigón se analizará según la Instrucción de Hormigón Estructural, EHE-08, según la Tabla 8:

Tabla 8. Clasificación de la agresividad química – Elaboración propia en base a la EHE-08.

TIPO DE MEDIO AGRESIVO	PARÁMETROS	TIPO DE EXPOSICIÓN		
		Qa	Qb	Qc
		Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
AGUA	VALOR DEL Ph, según UNE 83.952	6,5 – 5,5	5,5 – 4,5	< 4,5
	CO ₂ AGRESIVO (mg CO ₂ /l), según UNE-EN 13.577	15 – 40	40 – 100	> 100
	IÓN AMONIO (mg NH ₄ ⁺ /l) según UNE 83.954	15 – 30	30 – 60	> 60
	IÓN MAGNESIO (mg Mg ²⁺ /l) según UNE 83.956	300 – 1000	1000 – 3000	> 3000
	IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ /l) según UNE 83.956	200 – 600	600 – 3000	> 3000
	RESIDUO SECO (mg/l) según UNE 83.957	75 – 150	50 – 70	< 50
SUELO	GRADO DE ACIDEZ MAUMANN-GU-LLY (ml/kg), según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
	IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ /kg de suelo seco), según UNE 83.956	2000 - 3000	3000 – 12000	> 12000

Según las muestras de terreno obtenidas en los sondeos, se obtiene el valor máximo de sulfatos en un estrato perteneciente al sondeo SM-1, situado en las cotas 2,80 - 3,40 metros. Este valor corresponde a 470,9 mg SO₄²⁻/kg. Al ser inferior a 2000 mg SO₄²⁻/kg, consideramos que el terreno no es agresivo frente al hormigón por ataque de sulfatos.

Por otra parte, tal y como se deduce del informe geotécnico, el contenido en materia orgánica es bajo en todas las muestras, ya que en todos los casos se obtiene un contenido inferior al 1%.

En cuanto a la agresividad del agua freática, se tienen los siguientes datos obtenidos de los ensayos realizados a la muestra de agua tomada del sondeo SM-1, y resumidos en la Tabla 9:

Tabla 9. Características de agresividad del agua freática.

Característica	Valor medido	Valor límite	Agresividad
PH	7,2	> 6,5	Nula
Residuo seco (mg/l)	4.410	> 150	Nula
Amonio (mg NH ₄ ⁺ /l)	0,55	< 15	Nula
Sulfatos (mg SO ₄ ²⁻ /l)	394	200 - 600	Débil
Magnesio disuelto (mg Mg ²⁺ /l)	125	< 300	Nula
CO ₂ (mg/l)	33,3	15 - 40	Débil
Hidratos de carbono	No detectado	-	-

Como se puede ver en la tabla anterior, la agresividad del agua hacia el hormigón es débil. No obstante, este resultado no resulta coherente, ya que nos encontramos a escasos metros de la costa. Deducimos que la muestra debe haber sido extraída de un acuícludo de agua dulce, y que los resultados no son representativos.

Por tanto, el tipo de exposición a considerar será el IIIa, correspondiente a exposición marina. En consecuencia, se dispondrán de los recubrimientos para el hormigón suficientes para esta clase de ambiente. Además, se considerará cualquier tipo de aspecto reflejado en la norma respecto a la durabilidad del hormigón según este tipo de exposición.

9. RECOMENDACIONES

9.1. Soluciones constructivas

En el proceso constructivo de las cimentaciones, será necesario utilizar un sistema de contención de tierras al excavar y adaptar el emplazamiento de la obra. Se optó por el empleo de tablestacas para aportar estabilidad de los suelos en la fase constructiva y evitar daños o cualquier invasión en edificios vecinos.

Es necesario señalar que el nivel freático se alcanzaría al realizar las excavaciones necesarias, debiéndose adoptar algún método de agotamiento que disminuya su cota, evitando la inundación del terreno excavado.

9.2. Tipología de cimentación

Conforme al presente informe, se ha descartado el uso de una cimentación directa 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 alternativa escogida es la descrita en el artículo 5.1 de la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera, del Ministerio de Fomento español. Se trata de una cimentación profunda con una disposición de los pilotes en grupos. De esta forma, la carga que llega a la cimentación se transmite a los pilotes a través de un encepado con cierta rigidez. Este encepado es necesario para que los pilotes trabajen conjuntamente y paliar posibles comportamientos diferenciales.

Dado que el emplazamiento está formado por un terreno cohesivo (principalmente se encuentran arcillas, a excepción de un estrato de gravas en el estribo norte), se necesitará que los pilotes trabajen por rozamiento del fuste con el terreno, transmitiendo la carga al mismo. Por su forma de trabajar, estos pilotes se denominan *flotantes*.

Los pilotes se ejecutarán perforados en el terreno de hormigón “in situ” y se consideran las opciones de realizarlo mediante barrenado o con entibación provisional.

El caso de que se optara por barrenado, y tal y como indica la norma DB SE-C para este procedimiento, la entibación del terreno la produce el propio elemento de excavación mediante una barrena o hélice continua, de manera que el hormigón se coloca una vez alcanzado el fondo. La armadura del pilotaje se introduce a posteriori, hincándola en el hormigón aún fresco hasta alcanzar la profundidad de proyecto. No obstante, no se deben realizar pilotes de barrena continua cuando:

- Se consideren pilotes aislados
- La inclinación del pilote sea mayor de 6º
- Existan capas de terreno inestable con un espesor mayor que 3 veces el diámetro del pilote, considerándose como “terreno inestable” los siguientes:
 - o Terrenos uniformes no cohesivos con coeficiente de uniformidad inferior a 2 por debajo del nivel freático
 - o Terrenos flojos no cohesivos con $N < 7$
 - o Terrenos muy blandos con resistencia a corte no drenada, c_u , inferior a 15 kPa.

En nuestro caso, contamos con un grupo de pilotes sin inclinación, y los estratos que atraviesan los mismos son arcillosos en su totalidad, por tanto, cohesivos. La resistencia a corte no drenada no es en ningún caso inferior a 15 kPa en los estratos que atraviesan los pilotes (tal y como podemos observar en el Plano nº1 del Apéndice 1 a este anejo).

No obstante, ante la presencia del nivel freático y a causa de la gran longitud de los pilotes no se puede asegurar la correcta colocación de las armaduras tras el vertido del hormigón manteniendo los recubrimientos necesarios. Por ello, se decide recurrir al uso de entibación provisional para la ejecución de los pilotes.

9.3. Aprovechamiento de materiales

Los materiales excavados se reutilizarán, disponiéndolos como relleno en el trasdós de ambos estribos y entre los mismos y los cajeros del puente. Al analizar sus características, no se observa ninguna indicación de que pueda tratarse de suelo contaminado o no reutilizable, por lo que su aprovechamiento posterior es posible.

10. REFERENCIAS

- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2002). *Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera (GCOC)*. Madrid.
- 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. Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre de, en el que se aprueba el documento básico SE-C, *Seguridad Estructural: Cimientos*. BOE, 12 de octubre de 2007.
- GENERALITAT VALENCIANA. Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient. *Terrasit*.
< <http://terrasit.gva.es/es/> > [Consulta : 3 de mayo de 2016]