

■ HOJA DE CONTROL DE CALIDAD			
<b>DOCUMENTO</b>	ANEJO 12. AVANCE DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS		
<b>PROYECTO</b>	ACTUACIONES DE MEJORA EN LA ACCESIBILIDAD DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN LA AUTOVÍA DEL SUR A-4, ENTRE LOS POLÍGONOS INDUSTRIALES DE LOS MOLINOS Y SAN MARCO, P.K. 12,000 DE LA A-4 Y LA AVD. LEONARDO DA VINCI (PASO SUPERIOR P.K. 15,200 DE LA A-4)		
<b>CÓDIGO</b>	2852-PT-AN-12-GE_D01V01.doc		
<b>AUTOR</b>	FIRMA	AVA/IVA	
	FECHA	15/06/2022	
<b>VERIFICADO</b>	FIRMA	SOO	
	FECHA	16/06/2022	
<b>DESTINATARIO</b>	DEMARCACIÓN DE CARRETERAS DEL ESTADO EN MADRID		
<b>NOTAS</b>	-		

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL ESTUDIO.....</b>	<b>4</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TRAZADO .....</b>	<b>4</b>
2.1. INVESTIGACIÓN EFECTUADA .....	4
2.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS FORMACIONES AFECTADAS .....	4
2.2.1. Rellenos antrópicos (R).....	4
2.2.2. Suelos residuales (Qv).....	5
2.2.3. Facies intermedia (TMmc).....	5
2.2.4. Facies evaporítica de transición (TMmy).....	5
<b>3. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO DE CIMENTACIONES .....</b>	<b>6</b>
3.1. CIMENTACIONES DIRECTAS .....	6
3.1.1. Cálculo de la capacidad de carga.....	6
3.1.2. Análisis de asientos .....	6
3.2. CIMENTACIONES PROFUNDAS .....	7
3.2.1. Cálculo de la capacidad de carga.....	7
3.2.2. Análisis de asientos .....	8
3.2.3. Interacción suelo estructura .....	8
3.2.4. Tope estructural .....	9
<b>4. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES.....</b>	<b>9</b>
4.1. MURO-GLORIETA 2 ENLACE M-406 P.K.13+900.....	10
4.2. PASO SUPERIOR ENLACE M-406 (PK 13+920).....	12
4.3. PASARELA CERRO DE LOS ÁNGELES (PK 13+100) .....	14
4.4. PASARELA VEREDA SAN MARCOS (PK 15+030) .....	16
4.5. PASO INFERIOR CONEXIÓN VSD - RAMAL 2.....	18



## FASE III. PROYECTO DE TRAZADO

### 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL ESTUDIO

En este Anejo se presenta el avance del estudio geotécnico de cimentación de las estructuras existentes en el Proyecto de mejora de la accesibilidad del transporte público en la Autovía del Sur A-4. Tramo: Polígono Industrial Los Molinos – Polígono Industrial San Marcos.

El trazado proyectado incluye las siguientes estructuras:

- Muro-Glorieta 2 enlace M-406 P.K.13+900
- Paso superior enlace M-406 P.K.13+920
- Pasarela cerro de los Ángeles P.K.13+100
- Pasarela vereda San Marcos P.K.15+030
- Paso inferior conexión V.S.D. - Ramal 2

El tramo proyectado se desarrolla en el Término Municipal de Getafe, en la provincia de Madrid. El tramo se inicia en el PK. 12+100 de la Autovía A-4 y continúa hacia el Sur, discurrendo a pie del Cerro de los Ángeles, para finalizar en el PK. 15+200.

El relieve es muy moderado, discurrendo por una zona llana que se encuentra urbanizada. La única zona existente con mayor relieve es el cerro de los Ángeles a cuyo pié discurre el trazado.

El tramo estudiado se encuentra ubicado en la Cuenca de Madrid, perteneciente a la Unidad Geotectónica de la Fosa del Tajo. El sustrato está formado por materiales Terciarios constituidos por las facies centrales arcillosas y evaporíticas. Cubriendo los depósitos del sustrato terciario, se han observado materiales cuaternarios y numerosos vertidos y rellenos antrópicos.

Para la elaboración del presente estudio se ha analizado la información disponible de estudios previos y cartografía existente en el emplazamiento del proyecto, y se ha realizado una campaña de investigaciones geotécnicas consistente en sondeos mecánicos con extracción continua de testigo, calicatas, ensayos de penetración dinámica y ensayos de laboratorio.

Los detalles de estos trabajos de investigación geotécnica se presentan en el Anexo 7. Estudio geotécnico del corredor.

El presente documento tiene carácter de avance, efectuándose una descripción general de los materiales existentes en cada emplazamiento y exponiéndose los criterios generales de diseño de cimentaciones, con arreglo al cual se establecen las tipologías de cimentación recomendadas. Los parámetros concretos de diseño de cada estructura, así como el perfil geotécnico longitudinal, se presentarán en la Fase 4. Proyecto de Construcción.

### 2. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TRAZADO

#### 2.1. INVESTIGACIÓN EFECTUADA

Para la elaboración del presente proyecto se han realizado las siguientes investigaciones geotécnicas:

- 7 sondeos a rotación con extracción continua de testigo, 6 de los cuales fueron perforados en el emplazamiento de las estructuras.
- 7 ensayos de penetración dinámica tipo DPSH.
- 16 calicatas mecánicas
- Mediciones de nivel freático detectado.
- Ensayos de Laboratorio con las muestras extraídas en sondeos y calicatas

Además de ello se cuenta con la investigación disponible de estudios previos, consistente en cinco sondeos a rotación, 7 calicatas y 7 ensayos de penetración dinámica.

#### 2.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS FORMACIONES AFECTADAS

En vista de los resultados de la investigación geotécnica efectuada, se han distinguido las siguientes unidades geológico-geotécnicas a lo largo del trazado:

- Rellenos antrópicos (R)
- Suelos residuales (Qv): Arenas y limos con cantos dispersos de yesos y calizas
- Facies intermedia (TM<sub>mc</sub>): Arenas micáceas, margas, calizas con intercalaciones de yesos
- Facies evaporítica de transición (TM<sub>my</sub>): Arcillas, yesos y margas yesíferas

##### 2.2.1. Rellenos antrópicos (R)

A lo largo del tramo en estudio se han cartografiado rellenos antrópicos de origen diverso y espesores variables, alcanzando un máximo de 8,4 m.

Dependiendo de su origen cabe diferenciar entre:

- Rellenos antrópicos compactados de la infraestructura de la A-4 y viales adyacentes (R1)
- Rellenos antrópicos vertidos o poco compactados procedentes de la ejecución de estas u otras obras (R2)
- Rellenos antrópicos de urbanizaciones adyacentes (R3)

Por su propia naturaleza se trata de materiales heterogéneos y de compacidad variable, que no podrán ser considerados como horizonte de apoyo de las cimentaciones proyectadas.

### 2.2.2. Suelos residuales (Qv)

De edad Cuaternario, se agrupan bajo esta denominación todos los suelos de alteración desarrollados sobre las facies intermedias y evaporíticas.

Litológicamente se trata de arenas limosas de colores marrones claros y anaranjados, con algunos cantos de calizas y de yesos dispersos en el seno de una matriz areno arcillosa.

Aparecen de manera muy ocasional a lo largo del trazado sin afectar a las nuevas estructuras proyectadas, por lo que no dispone de muestras que permitan profundizar en su caracterización.

### 2.2.3. Facies intermedia (TMmc)

De edad Terciario – Mioceno, está constituida por arenas micáceas con niveles de margas, calizas y dolomías, e intercalaciones ocasionales de yeso. Se localizan principalmente al inicio de la traza, entre los PK 12+240 y 13+200, y al final de la misma, entre los PK 14+970 y 15+330.

En los ensayos granulométricos realizados sobre las muestras disponibles se obtuvo un contenido de finos promedio del 47%, con un 48% de arenas y un 5% de gravas.

El límite líquido promedio de la fracción final de las muestras ensayadas fue de 39, con un índice de plasticidad de 18.

Según la clasificación USCS, un 54% de las muestras ensayadas se clasificó como SC y un 15% como SM. El resto de las muestras se repartieron entre los grupos CL (15%), CH (8%) y MH (8%).

La densidad aparente promedio medida en las muestras ensayadas fue de 19,5 kN/m<sup>3</sup>, con una humedad natural del 18%.

En los ensayos de compresión simple realizados en muestras de esta formación se obtuvo una resistencia media de 220 kPa. En los ensayos de penetración SPT se obtuvieron valores generalmente superiores a 30, con algunos rechazos.

En los ensayos de índice de colapso e hinchamiento libre se obtuvieron valores medios de 0,4 y 0,3% respectivamente.

En los ensayos de compactación Proctor Modificado se obtuvo una densidad seca máxima de 18,0 kN/m<sup>3</sup>, con un CBR de 11 al 95% PM.

En cuanto a su composición química, destaca su elevado contenido en yesos y otras sales solubles, con porcentajes promedio del 2,7 y 2,4% respectivamente.

De acuerdo con la clasificación del PG3, se trata de materiales principalmente “marginales” (71%), aunque también se intercalan algunos niveles “tolerables” (29%).

### 2.2.4. Facies evaporítica de transición (TMmy)

De edad Terciario – Mioceno, está constituida por arcillas y margas con un porcentaje variable de yesos, constituyendo el sustrato del tramo objeto de estudio.

Desde el punto de vista granulométrico se trata de materiales fundamentalmente cohesivos, con un 82% de finos en las muestras ensayadas.

El límite líquido promedio obtenido en los ensayos fue de 51, con un índice de plasticidad de 24. Se trata por tanto de materiales de elevada plasticidad.

Según la clasificación USCS, la mayor parte de las muestras se clasificaron como CL o CH (64%), y en menor medida ML o MH (25%).

La densidad aparente promedio medida en las muestras ensayadas fue de 17,8 kN/m<sup>3</sup>, con una humedad natural del 9,5%.

Se han realizado ensayos de compresión simple en muestras de suelo de esta formación, resultando una resistencia media de 278 kPa. En los ensayos de penetración SPT realizados se obtuvieron sistemáticamente rechazos.

Asimismo, se realizaron ensayos para calcular el índice de colapso y el hinchamiento libre, obteniéndose valores medios de 0,6 % y 1,2 % respectivamente.

En los ensayos de compactación Proctor Modificado se obtuvo una densidad seca máxima de 17,0 kN/m<sup>3</sup>, con un índice CBR de 5,4 al 95% PM.

En cuanto a su composición química, destaca su elevado contenido en yesos y sales solubles, con porcentajes promedio del 2,8 y 2,5% respectivamente.

En consecuencia, se trata de materiales clasificados principalmente como “marginales” de acuerdo con la clasificación del PG3.

Para mayor información sobre los parámetros y características de todos estos materiales, se remite a la caracterización geotécnica de los materiales desarrollada en el Anexo 7. Geotecnia del Corredor.

### 3. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO DE CIMENTACIONES

#### 3.1. CIMENTACIONES DIRECTAS

Se consideran dentro de este apartado los apoyos de las dos pasarelas existentes a lo largo del trazado, que se cimentarán de forma directa mediante zapatas empotradas en el sustrato terciario.

Para el diseño de estas cimentaciones se han seguido con carácter general las recomendaciones dadas en la "Guía de cimentaciones en obras de carreteras" editada por el Ministerio de Fomento de España en el año 2009.

El diseño geotécnico de cimentaciones superficiales se fundamenta en las siguientes comprobaciones:

- Capacidad de carga del terreno
- Evaluación de asentamientos admisibles

##### 3.1.1. Cálculo de la capacidad de carga

Para la determinación de la carga de hundimiento en cimentaciones directas se ha empleado la formulación analítica recogida en el apartado 4.5.5 de la Guía de cimentaciones en obras de carretera:

$$p_{vh} = q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot s_q \cdot t_q \cdot r_q + c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot s_c \cdot t_c \cdot r_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot s_\gamma \cdot t_\gamma \cdot r_\gamma$$

Donde:

- $p_{vh}$ : presión vertical de hundimiento
- $q$ : sobrecarga actuante al nivel del plano de cimentación
- $c$ : cohesión de cálculo
- $\gamma$ : peso específico del terreno
- $B^*$ : anchura equivalente del cimiento
- $N_q, N_c, N_\gamma$ : factores de capacidad de carga, dependientes del ángulo de rozamiento interno
- $d_q, i_q, s_q, t_q, r_q$ : factores adimensionales para considerar el efecto de la resistencia al corte local del terreno situado sobre el plano de apoyo, la inclinación de la carga, la forma de la cimentación, la proximidad de la cimentación a un talud y la inclinación del plano de apoyo.

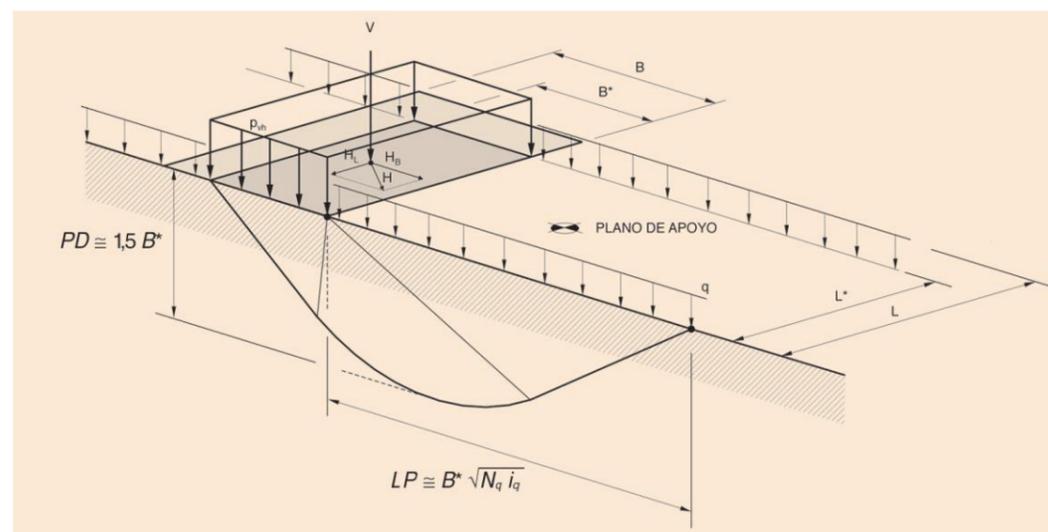


Figura 1 Esquema de cimentación superficial tipo

Una vez determinada la presión vertical de hundimiento, para la obtención de la presión admisible  $p_v$  a comparar con las acciones estructurales es preciso aplicar un factor de seguridad que depende de la combinación de acciones considerada:

COMBINACIÓN DE ACCIONES	COEFICIENTE DE SEGURIDAD FRENTE AL HUNDIMIENTO
Casi permanente (*)	$F_1 \geq 3,00$
Característica	$F_2 \geq 2,60$
Accidental	$F_3 \geq 2,20$

(\*) Como valor del coeficiente de seguridad para la combinación de acciones casi permanente, en situaciones transitorias y de corto plazo, podrá adoptarse el coeficiente de seguridad  $F_2$  (véase apartado 2.10).

Figura 2 Factores de seguridad recomendados en cimentaciones directas

##### 3.1.2. Análisis de asentamientos

Teniendo en cuenta la relativa homogeneidad de las formaciones terciarias donde apoyarán las cimentaciones directas, así como la ausencia de agua, para la estimación de asentamientos se admite el empleo de modelos elásticos simplificados.

En concreto, para zapatas rígidas rectangulares apoyadas sobre terrenos homogéneos es de aplicación la siguiente expresión recogida en el apartado 4.8.1 de la Guía de cimentaciones en obras de carretera:

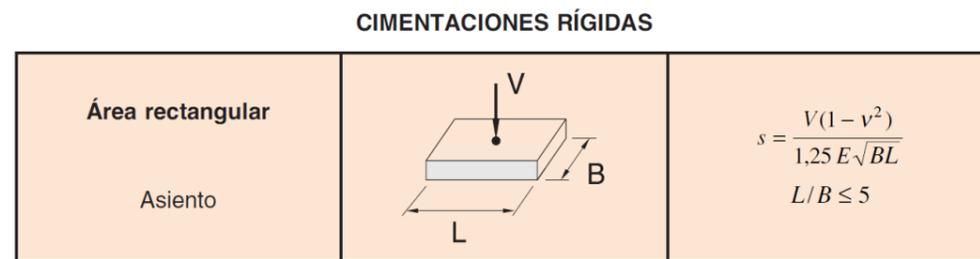


Figura 3 Estimación de asientos en zapatas rígidas rectangulares

Donde:

- $V$ : carga vertical aplicada en condiciones de servicio
- $B \times L$ : dimensiones de la cimentación (ancho x longitud)
- $E$ : módulo de deformación del terreno
- $\nu$ : coeficiente de Poisson

Con respecto al límite de asentamientos admisibles, se consideran con carácter general asentamientos totales de hasta 25 mm en zapatas aisladas, con distorsiones angulares de hasta  $L/500$  entre apoyos contiguos (siento  $L$  la longitud del vano).

### 3.2. CIMENTACIONES PROFUNDAS

Se consideran dentro de este apartado los apoyos del paso superior del enlace con la M-406, que se cimentarán de forma profunda mediante pilotes empotrados en el sustrato terciario.

Para el diseño de estas cimentaciones se han seguido con carácter general las recomendaciones dadas en la "Guía de cimentaciones en obras de carreteras" editada por el Ministerio de Fomento de España en el año 2009.

El diseño geotécnico de cimentaciones profundas se basa en el análisis de los siguientes aspectos:

- Capacidad de carga del terreno
- Evaluación de asentamientos  $E$
- Interacción suelo estructura
- Tope estructural del pilote

#### 3.2.1. Cálculo de la capacidad de carga

En su expresión más general, la carga de hundimiento del pilote aislado se calcula como suma de las contribuciones por punta y fuste mediante la siguiente expresión:

$$Q_h = Q_p + Q_f = q_p A_p + \tau_f A_f$$

Donde:

- $Q_h$ : carga de hundimiento del pilote aislado
- $Q_p$ : carga soportada por la punta
- $Q_f$ : carga soportada por el fuste
- $q_p$ : resistencia unitaria por punta
- $\tau_f$ : resistencia unitaria por fuste
- $A_p$ : Área de la punta
- $A_f$ : Área del fuste

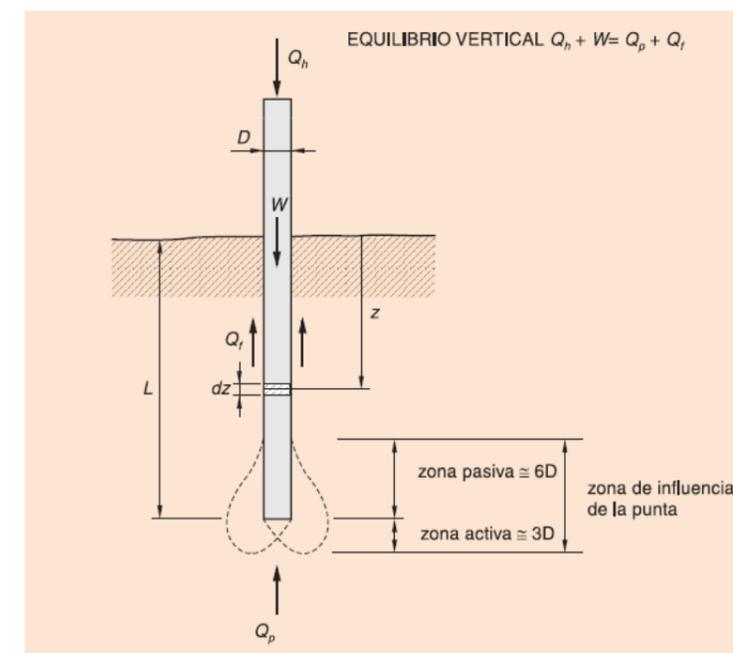


Figura 4 Esquema de funcionamiento del pilote aislado

Tomando como referencia la formulación indicada en el apartado 5.10.2.5 de la Guía de cimentaciones en obras de carretera, la resistencia unitaria se puede obtener de forma analítica mediante la siguiente expresión:

$$q_p = N_q^* \cdot \sigma'_{vo} + N_c^* \cdot c$$

Siendo:

- $\sigma'_{vo}$ : presión vertical efectiva a nivel de la punta
- $c$ : cohesión de cálculo
- $N_c^*$ ,  $N_q^*$ : factores de capacidad de carga para cimentaciones profundas, dependientes del ángulo de rozamiento  $\phi$

$$N_q^* = 1,5 \cdot \frac{1 + \operatorname{sen} \phi}{1 - \operatorname{sen} \phi} \cdot e^{\pi \operatorname{tg} \phi} \cdot f_D \quad N_c^* = \frac{N_q^* - 1}{\operatorname{tg} \phi}$$

Por su parte, la resistencia unitaria por fuste en pilotes aislados puede obtenerse igual a:

$$\tau_f = c + K_o \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \sigma'_v \leq 90 \text{ kPa}$$

Siendo:

- $\sigma'_v$ : presión vertical efectiva al nivel considerado
- $c$ : cohesión de cálculo
- $K_o$ : coeficiente de empuje al reposo
- $\delta$ : Ángulo de fricción del contacto pilote - terreno

En ausencia de datos más precisos, se puede suponer la siguiente relación:

$$K_o \cdot \operatorname{tg} \delta = 0,3$$

Una vez determinada la carga de hundimiento del pilote individual, para la obtención de la capacidad de carga admisible a comparar con las acciones estructurales, son de aplicación los siguientes factores de seguridad:

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS UTILIZADO EN LA ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE HUNDIMIENTO	COEFICIENTE DE SEGURIDAD FRENTE AL HUNDIMIENTO		
	COMBINACIÓN CASI PERMANENTE (*) F <sub>1</sub>	COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA F <sub>2</sub>	COMBINACIONES ACCIDENTALES F <sub>3</sub>
<b>Cualquier tipo de pilotaje</b>			
Método del SPT en suelos granulares	3	2,6	2,2
Método basado en el penetrómetro estático	2,5	2,2	1,8
Métodos basados en datos de penetrómetros dinámicos continuos y uso de correlaciones	3,5	3	2,6
Método basado en la resistencia a compresión simple de la roca (sólo para pilotes empotrados en roca)	3	2,6	2,2
Método basado en fórmulas analíticas y ensayos de laboratorio para medir el ángulo de rozamiento (o de laboratorio, o campo, para medir la resistencia al corte sin drenaje de arcillas)	3	2,6	2,2
Basado en ensayos de carga	2	1,7	1,5

Figura 5 Coeficientes de seguridad frente al hundimiento en cimentaciones profundas

A efectos del presente proyecto, no se aplicará reducción alguna de la resistencia del pilote por efecto grupo siempre que se verifique una separación igual o superior a 3 diámetros entre ejes de pilotes.

### 3.2.2. Análisis de asientos

En el presente proyecto los pilotes quedarán empotrados en un sustrato terciario de evada capacidad portante, con rechazo sistemático en los ensayos de penetración SPT.

En estas condiciones, se considera que los asientos de pilotes no serán condicionantes de cara al diseño. En cualquier caso, como orden de magnitud puede admitirse que estos asientos para cargas de trabajo pueden ser del orden del uno por ciento del diámetro nominal del pilote.

### 3.2.3. Interacción suelo estructura

La interacción horizontal entre los pilotes y el suelo se resuelve mediante la modelización de unos resortes o muelles, cuyas constantes (coeficientes de balasto) son introducidas en el modelo estructural de manera que simulen las reacciones del terreno frente a los movimientos de la estructura.

Para la determinación de los coeficientes de balasto horizontales se ha empleado la siguiente expresión, propuesta en el apartado 5.3.1.2 de la Guía de Cimentaciones en obras de carretera:

$$K_h = n_h \cdot z \cdot \Delta L$$

Siendo:

- $K_h$ : rigidez horizontal del resorte
- $\Delta L$ : longitud del tramo de pilote considerado
- $z$ : Profundidad bajo la superficie del terreno en el tramo considerado
- $n_h$ : coeficiente que puede obtenerse de la tabla siguiente tabla:

COMPACIDAD DE LAS ARENAS <sup>a</sup>	SITUACIÓN DEL PUNTO (A PROFUNDIDAD $z$ ) RESPECTO AL NIVEL FREÁTICO	
	POR ENCIMA DEL NF	POR DEBAJO DEL NF
	Muy floja	1,0
Floja	2,0	1,2
Media	5,0	3,0
Densa	10,0	6,0
Muy densa	20,0	12,0

Figura 6 Valores de  $n_h$  (MPa/m) para la obtención de constantes de balasto en pilotes

La expresión anterior es propuesta para empotramiento de pilotes en suelos granulares, si bien puede extrapolarse a suelos cohesivos no saturados a pequeñas profundidades. En este sentido, en pilotes empotrados en suelos cohesivos se recomienda limitar el valor de  $K_h$  al siguiente valor:

$$K_h = 75 \cdot s_u \cdot \Delta L$$

Siendo  $s_u$  la resistencia al corte no drenada de las arcillas en el tramo  $\Delta L$  considerado.

### 3.2.4. Tope estructural

La Guía de cimentaciones en obras de carretera establece el valor del tope estructural en pilotes, en función del tipo de pilote y de los medios empleados en la perforación. Este tope estructural se define como el esfuerzo axial máximo de compresión al que se puede solicitar el pilote en condiciones de servicio.

TABLA 5.5. VALORES RECOMENDADOS PARA EL TOPE ESTRUCTURAL DE LOS PILOTES  
 $Q_{\text{tope estructural}} = \sigma \cdot A$ ,  $A$  = área de la sección transversal

TIPO DE PILOTE	VALORES DE $\sigma$ (MPa)		
	SUELO FIRME	ROCA	
Hincado	Hormigón pretensado	0,30 ( $f_{ck} - 0,90 f_p$ )	
	Hormigón armado	0,30 $f_{ck}$	
	Metálico	0,33 $f_{yk}$	
	Madera	5	
Perforado de hormigón «in situ»	Entubado	5	6
	Con lodos	4	5
	En seco	4	5
	Barrenado	4	No aplicable

NOTAS:

- Con un control de ejecución especialmente intenso, los pilotes perforados y empotrados en roca pueden ser utilizados con topes estructurales un 20% mayores que los indicados en la tabla.
- En la tabla precedente se usan las notaciones siguientes:

Figura 7 Valores recomendados del tope estructural en pilotes

En el presente proyecto, para pilotes empotrados en sustrato terciario y con un control de ejecución intenso, se considera razonable limitar este tope estructural a un valor de 5,0 MPa.

## 4. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES

En el presente apartado se describen las características principales de cada una de las estructuras proyectadas, se analizan las condiciones que presenta el terreno en cada caso, y se establecen las tipologías de cimentación recomendadas.

En la entrega de la Fase 4 (Proyecto de Construcción) se incluirán los parámetros concretos de cimentación de cada estructura, así como los perfiles geotécnicos longitudinales correspondientes, de acuerdo con la geometría y cargas del diseño estructural.

En el Anexo 7. Geotecnia del corredor, se presentan los registros de campo de la investigación realizada.

#### 4.1. MURO-GLORIETA 2 ENLACE M-406 P.K.13+900

##### Descripción de la estructura

Se trata de un nuevo un nuevo muro ubicado en la Glorieta 2 en el enlace con la M-406 a la altura del PK 13+900 de la A-4.

La solución estructural que se plantea es un muro en L de 76 m de longitud y altura variable de 3 a 5 m.

En la imagen siguiente se presenta el alzado y sección tipo previstos para la nueva estructura:

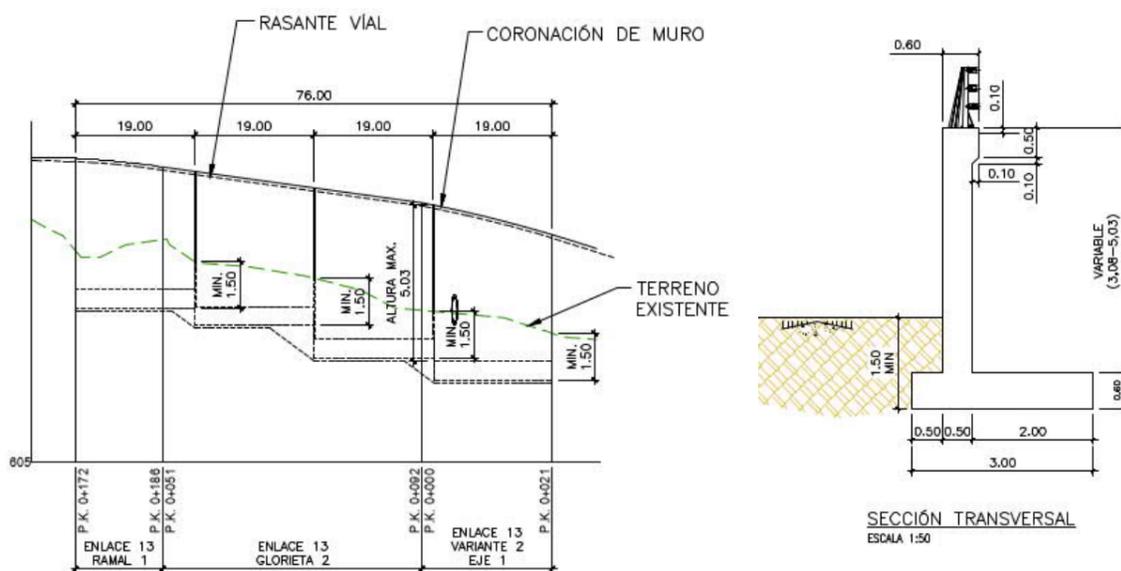


Figura 8 Alzado y Sección Tipo Muro-Glorieta 2 enlace M-406

##### Investigación realizada

En el emplazamiento de este muro se ha realizado la siguiente investigación:

- Sondeos mecánicos: S-3 (próximo al muro)
- Calicatas: C-14
- Ensayos de penetración dinámica: P-2

Además, se cuenta con las investigaciones previas de fases anteriores:

- Sondeos mecánicos: SP0-01 (próximo al muro)
- Calicata: HPO-42
- Ensayos de penetración dinámica: PPO-1 (próximo al muro).

En la imagen siguiente se presenta la situación de esta investigación sobre la planta geológica del trazado:

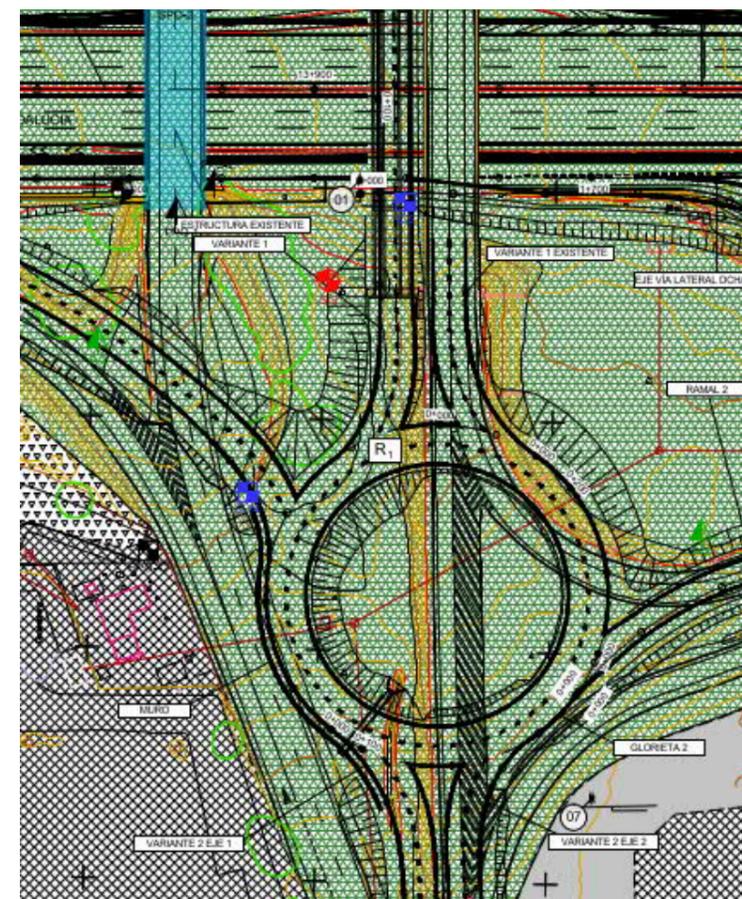


Figura 9 Investigación geotécnica realizada en el Muro-Glorieta 2 del enlace M-406

##### Características del terreno

En los primeros metros (1.7 m) el terreno está constituido por rellenos antrópicos (R-1) formados por arenas y limos arcillosos con abundantes gravas y cantos de yeso, que ocasionalmente intercalan restos de ladrillo, asfalto y plásticos. En los siguientes metros (1.2 m) el terreno está formado por arena arcillosa de color marrón anaranjado (R-1) que forma parte del relleno compactado del terraplén. La compacidad de estos materiales es variable, con golpes en el ensayo de penetración dinámica P-2 muy erráticos desde inferior a 20 (los primeros 40 cm de profundidad), en torno a 28 a 60 cm de profundidad y hasta rechazo a una profundidad de un metro. Por debajo de los rellenos se localiza el sustrato de la Facies evaporítica de transición (TMmy), constituida en este caso por arcillas gris verdosas de elevada plasticidad y consistencia muy firme a dura, con intercalaciones de margas y yesos. Se trata en conjunto de un material de elevada capacidad portante, con rechazo sistemático en los ensayos SPT.

Es de resaltar también el potencial agresivo al hormigón de las cimentaciones debido al elevado contenido en sulfatos.

En la siguiente tabla se resumen los ensayos químicos para clasificar la agresividad del suelo para la formación R-1 y TMmy:

LITOLOGÍA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> – EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Nº ensayos	2,0	-	2,0	
Máximo	28.781,0	-	7,8	Q <sub>c</sub>
Mínimo	0,0	-	0,0	Q <sub>a</sub>
Valor medio	14.390,5	-	3,9	Q <sub>c</sub>
Desv. Estándar	20.351,2	-	5,5	

Tabla 1. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo R-1

Como se puede observar en las tablas anterior, en las muestras de suelo para la formación R-1 se aprecia agresividad media frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b):

LITOLOGÍA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> – EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Nº ensayos	8,0	4,0	5,0	
Máximo	30.003,0	304,7	17,1	Q <sub>c</sub>
Mínimo	0,0	22,7	0,9	Q <sub>a</sub>
Valor medio	13.673,6	105,6	7,2	Q <sub>c</sub>
Desv. Estándar	13.805,2	133,5	6,2	

Tabla 2. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo TMmy

Como se puede observar en las tablas anterior, en las muestras de suelo para la formación TMmy se aprecia agresividad fuerte frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b):

### Tipología de cimentación

Teniendo en cuenta las características del terreno en el emplazamiento, para este muro se contempla una solución de **cimentación directa** apoyada en el nivel de rellenos compactados del terraplén actual, que se sitúa aproximadamente un metro por encima del sustrato terciario de la facies evaporítica de transición (TMmy). Se considera para ello un nivel de apoyo situado al menos 1,5 m por debajo de la superficie de terreno actual.

## 4.2. PASO SUPERIOR ENLACE M-406 (PK 13+920)

### Descripción de la estructura

Se trata de un nuevo un paso superior paralelo a otro existente a la altura del PK 13+920 de la A-4, para mejorar la accesibilidad del enlace con la M-406.

La solución estructural que se plantea en el Estudio de Alternativas es similar a la del puente existente, consistente en vigas prefabricadas tipo artesa con losa de compresión superior.

La longitud total de la estructura es de 81 m, con tres vanos de dimensiones 20 + 41 + 20 m.

En la imagen siguiente se presenta el alzado previsto para la nueva estructura:

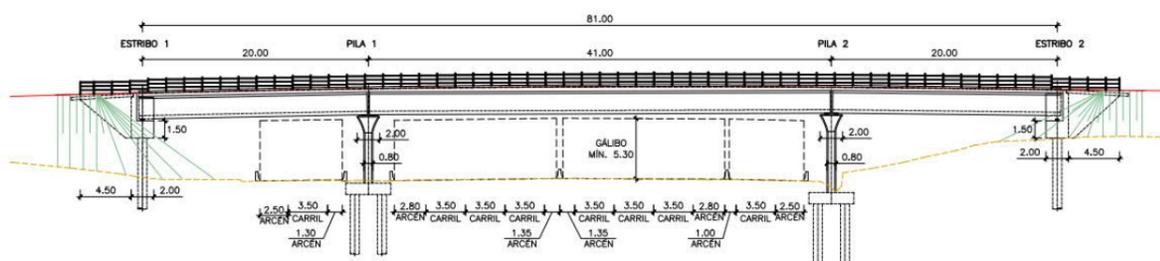


Figura 10 Alzado paso superior enlace M-406

### Investigación realizada

En el emplazamiento de este paso superior se ha realizado la siguiente investigación:

- Sondeos mecánicos: S-3 (estribo derecho), S-4 (estribo izquierdo)
- Calicatas: C-5 (pila derecha)

Además, se cuenta con las investigaciones previas de la estructura existente situada en el PK 13+870:

- Sondeos mecánicos: SPO-01, SPO-02
- Ensayos de penetración dinámica: PPO-1, PPO-2, PPO-3, PPO-4

En la imagen siguiente se presenta la situación de esta investigación sobre la planta geológica del trazado:



Figura 11 Investigación geotécnica realizada en paso superior enlace M-406

### Características del terreno

En los primeros metros el terreno está constituido por rellenos antrópicos (R-1) formados por arenas y limos arcillosos con abundantes gravas y cantos de yeso, que ocasionalmente intercalan restos de ladrillo, asfalto y plásticos. La compacidad de estos materiales es variable, con golpes SPT muy erráticos desde 4 (S-4, a 7 m profundidad) hasta 36 (S-4, a 3 m profundidad). Se trata en todo caso de materiales heterogéneos y de baja capacidad portante, cuyo espesor oscila entre 8 y 10 m en este emplazamiento.

Por debajo de los rellenos se localiza el sustrato de la Facies evaporítica de transición (TMmy), constituida en este caso por arcillas gris verdosas de elevada plasticidad y consistencia muy firme a dura, con intercalaciones de margas y yesos. Se trata en conjunto de un material de elevada capacidad portante, con rechazo sistemático en los ensayos SPT.

En la siguiente tabla se resumen los ensayos químicos para clasificar la agresividad del suelo para las formaciones R-1 y TMmy:

LITOLÓGIA	CONTENIDO SULFATOS SO4 - EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Nº ensayos	2,0	-	2,0	
Máximo	28.781,0	-	7,8	Q <sub>c</sub>
Mínimo	0,0	-	0,0	Q <sub>a</sub>
Valor medio	14.390,5	-	3,9	Q <sub>c</sub>

LITOLOGÍA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> – EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Desv. Estándar	20.351,2	-	5,5	

Tabla 3. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo R-1

Como se puede observar en las tablas anterior, en las muestras de suelo para la formación R-1 se aprecia agresividad media frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b)

LITOLOGÍA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> – EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Nº ensayos	8,0	4,0	5,0	
Máximo	30.003,0	304,7	17,1	Q <sub>c</sub>
Mínimo	0,0	22,7	0,9	Q <sub>a</sub>
Valor medio	13.673,6	105,6	7,2	Q <sub>c</sub>
Desv. Estándar	13.805,2	133,5	6,2	

Tabla 4. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo TMmy

Como se puede observar en las tablas anterior, en las muestras de suelo para la formación TMmy se aprecia agresividad fuerte frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b)

En el sondeo S-4 se detectó un nivel de agua a 10 m de profundidad, probablemente asociado al contacto entre los rellenos arenosos y el sustrato de menor permeabilidad. En el sondeo S-3 no se detectó la presencia de agua en los 20 m investigados.

En la siguiente tabla se incluyen los resultados de los ensayos de muestras de agua obtenidos en el sondeo S-4:

ENSAYOS	S-4	TIPO DE EXPOSICIÓN AGUA
Sulfato (mg/l)	1.747,2	Ob
pH	6,8	Qa
Residuo seco (mg/l)	3.300	Qa

ENSAYOS	S-4	TIPO DE EXPOSICIÓN AGUA
Magnesio (mg/l)	241	Qa
Amonio (mg/l)	0,12	Qa
Dióxido de carbono (mg/l)	-	Qa
Cloruros (mg/l)	135	-

Tabla 5. Resumen de ensayos químicos en muestras de agua

Con respecto a las muestras de agua se aprecia agresividad media frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b)

#### Tipología de cimentación

Teniendo en cuenta la potencia y características de los rellenos superficiales, para este paso superior se contempla una solución de **cimentación profunda** mediante pilotes perforados y hormigonados in situ, empotrados en el sustrato terciario de la facies evaporítica de transición.

#### 4.3. PASARELA CERRO DE LOS ÁNGELES (PK 13+100)

##### Descripción de la estructura

Se trata de una pasarela de nueva construcción para uso compartido peatonal y ciclista, que sustituirá a otra pasarela actual que será demolida.

La solución propuesta en el estudio de alternativas estructurales se basa en dos celosías laterales con forma de arco en su cordón superior, cordón inferior longitudinal y diagonales inclinadas. La longitud total de la celosía es de 60,0 m (entre sus puntos extremos de apoyo), con una altura de 6,0 m. El desarrollo longitudinal del paso se completa con el tramo de pasarela sobre la calle Antiguo mediante un vano adicional de 16,50 m de longitud (entre apoyos extremos) y dos rampas de acceso situadas en paralelo a la autovía.

En la imagen siguiente se presenta el alzado previsto para esta pasarela:

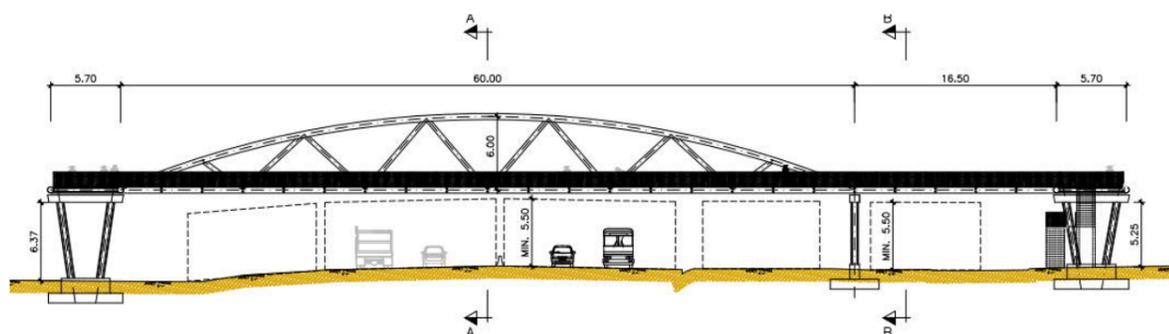


Figura 12 Alzado pasarela Cerro de Los Ángeles

##### Investigación realizada

En el emplazamiento de esta pasarela se ha realizado la siguiente investigación:

- Sondeos mecánicos: S-1 (margen izquierda), S-2 (margen derecha)
- Calicatas: C-3 (margen derecha)
- Ensayos de penetración dinámica: P-1 (margen derecha)

En la imagen siguiente se presenta la situación de esta investigación sobre la planta geológica del trazado:

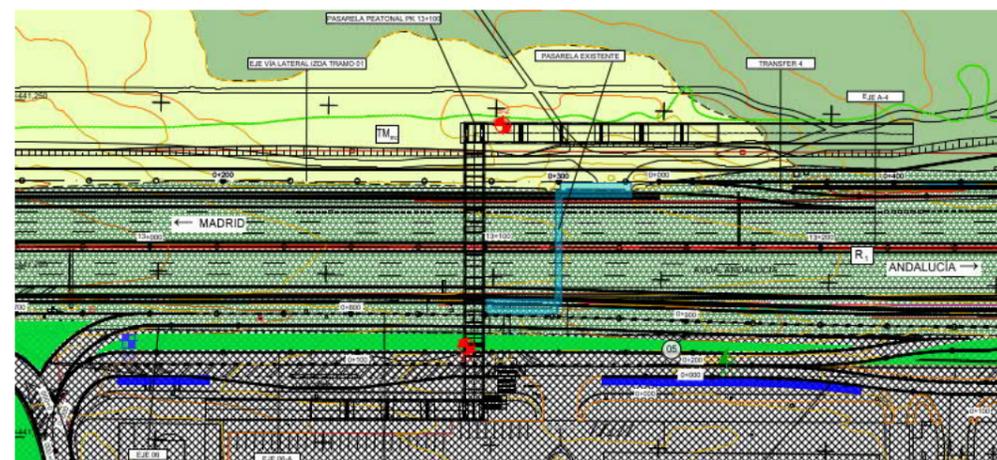


Figura 13 Investigación geotécnica realizada en pasarela Cerro de Los Ángeles

##### Características del terreno

En el sondeo S-1 se ha identificado la presencia de rellenos antrópicos (R-1) hasta una profundidad de 2,3 m, constituidos por arenas finas a medias con fragmentos de yeso. Por debajo se observan arenas medias a finas de compacidad densa, pertenecientes a la facies intermedia (TMmc), hasta 5 m de profundidad. Por debajo aparece ya el sustrato de arcillas margosas con niveles de yesos, pertenecientes a la facies evaporítica de transición (TMmy). Tanto las arenas como las arcillas margas terciarias presentan elevada compacidad, con golpes en los ensayos SPT próximos a rechazo.

En el sondeo S-2 se observa una secuencia litológica similar, si bien en este caso no se observan rellenos antrópicos y la profundidad de la capa de arenas se limita a los dos primeros metros. Los resultados de los ensayos SPT fueron igualmente superiores a 40, con excepción del SPT-1, donde se obtuvo un golpeo de 18 a 3,0 m de profundidad, y el SPT-4, donde se obtuvieron 3 golpes a 11 m de profundidad (este último resultado se considera anormalmente bajo y puede estar influenciado por la alteración del fondo de la perforación).

En el ensayo de penetración dinámica P-1 se obtuvieron golpeos inferiores a 10 hasta 1,4 m de profundidad, alcanzándose el rechazo a 2,0 m.

En la siguiente tabla se resumen los ensayos químicos para clasificar la agresividad del suelo para las formaciones R-1, TMmc y TMmy:

LITOLOGÍA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> – EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Nº ensayos	2,0	-	2,0	
Máximo	28.781,0	-	7,8	Q <sub>c</sub>
Mínimo	0,0	-	0,0	Q <sub>a</sub>
Valor medio	14.390,5	-	3,9	Q <sub>c</sub>
Desv. Estándar	20.351,2	-	5,5	

Tabla 6. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo R-1

Como se puede observar en las tablas anterior, en las muestras de suelo para la formación R-1 se aprecia agresividad media frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b)

LITOLOGÍA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> – EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Nº ensayos	5,0	3,0	5,0	
Máximo	31.928,0	29,1	50,6	Q <sub>c</sub>
Mínimo	0,0	23,1	1,7	Q <sub>a</sub>
Valor medio	10.076,6	25,5	22,4	Q <sub>b</sub>
Desv. Estándar	14.597,0	3,2	22,4	

Tabla 7. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo TMmc

Como se puede observar en las tablas anterior, en las muestras de suelo para la formación TMmc se aprecia agresividad media frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b)

LITOLOGÍA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> – EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Nº ensayos	8,0	4,0	5,0	
Máximo	30.003,0	304,7	17,1	Q <sub>c</sub>
Mínimo	0,0	22,7	0,9	Q <sub>a</sub>

LITOLOGÍA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> – EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Valor medio	13.673,6	105,6	7,2	Q <sub>c</sub>
Desv. Estándar	13.805,2	133,5	6,2	

Tabla 8. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo TMmy

Como se puede observar en las tablas anterior, en las muestras de suelo para la formación TMmy se aprecia agresividad fuerte frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b)

En ninguno de los dos sondeos perforados se registró la presencia de agua.

#### Tipología de cimentación

Teniendo en cuenta las características del terreno en el emplazamiento, para esta pasarela se contempla una solución de **cimentación directa** apoyada en el sustrato terciario de arenas micáceas (facies intermedia) o de arcillas margosas (facies evaporítica).

#### 4.4. PASARELA VEREDA SAN MARCOS (PK 15+030)

##### Descripción de la estructura

Se trata de una pasarela de nueva construcción para la reposición de la vía pecuaria de San Marcos, localizada a la altura del PK 15+030 de la A-4.

La solución propuesta en el estudio de alternativas estructurales se basa en una celosía en forma de arco superior y viga longitudinal inferior, similar en tipología y dimensiones a la pasarela del cerro de los Ángeles. El desarrollo longitudinal se completa con la conexión lateral con las rampas de acceso y las propias rampas de acceso.

En la imagen siguiente se presenta el alzado previsto para esta pasarela:

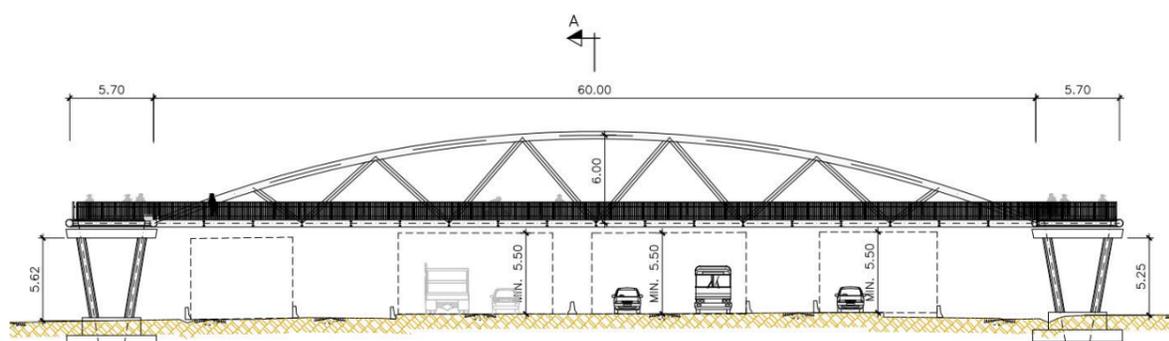


Figura 14 Alzado pasarela Vereda San Marcos

##### Investigación realizada

En el emplazamiento de esta pasarela se ha realizado la siguiente investigación:

- Sondeos mecánicos: S-6 (margen izquierda), S-7 (margen derecha)
- Calicatas: C-9 (margen izquierda)
- Ensayos de penetración dinámica: P-4 (margen derecha)

En la imagen siguiente se presenta la situación de esta investigación sobre la planta geológica del trazado:

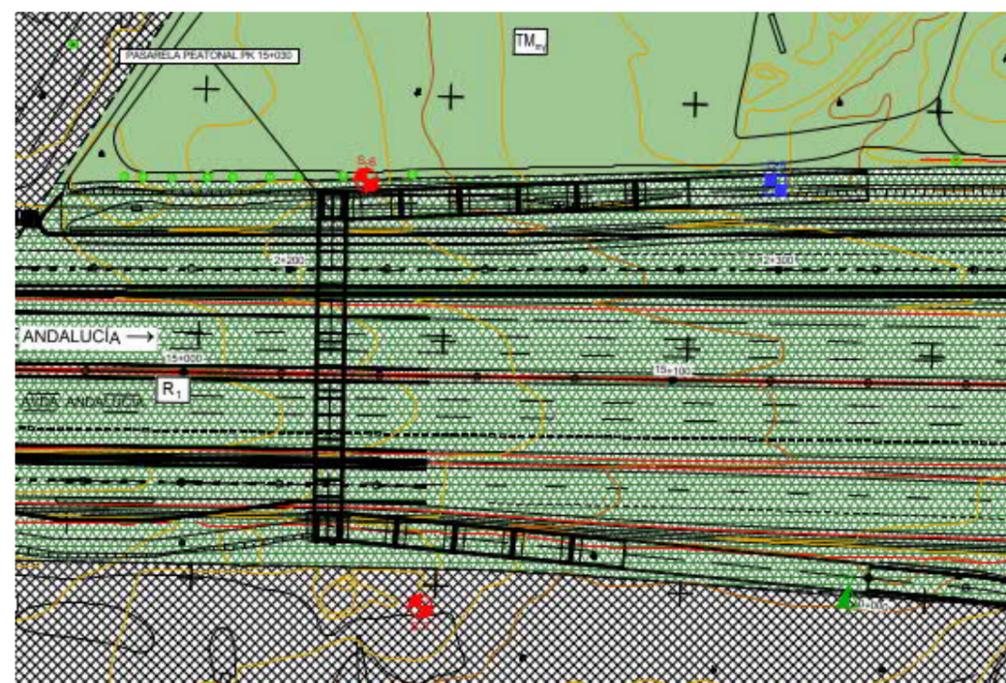


Figura 15 Investigación geotécnica realizada en pasarela Vereda San Marcos

##### Características del terreno

En el sondeo S-6 se han observado rellenos antrópicos (R-1) hasta 3 m de profundidad, constituidos por limos y arcillas arenosos con nódulos de yesos y carbonatos. Por debajo se observan arenas y limos arenosos de compacidad media a densa, pertenecientes a la facies intermedia (TMmc), hasta 5 m. A continuación, aparece ya el sustrato de arcillas margosas con niveles de yesos, pertenecientes a la facies evaporítica de transición (TMmy). En todos los SPT de este sondeo se obtuvo rechazo, excepto en el SPT-1 realizado en rellenos, donde se registraron 7 golpes a 2,6 m de profundidad.

En el sondeo S-7 se observa una secuencia litológica similar, si bien el espesor de rellenos antrópicos se limita los 1,4 m superiores y la facies intermedia alcanza los 2,6 m de profundidad. En el SPT-1, realizado a 2,0 m, se obtuvo un golpeo de 25. En el SPT-2, realizado a 4,7 m, resultó un golpeo de 18. Por debajo se obtuvo de forma sistemática rechazo, hasta los 30 m de profundidad investigada.

En el ensayo de penetración dinámica P-4 se obtuvieron golpeos inferiores a 20 hasta 0,6 m de profundidad, alcanzándose el rechazo a 1,2 m.

En la siguiente tabla se resumen los ensayos químicos para clasificar la agresividad del suelo para las formaciones R-1, TMmc y TMmy:

LITOLÓGIA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> – EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Nº ensayos	2,0	-	2,0	
Máximo	28.781,0	-	7,8	Q <sub>c</sub>
Mínimo	0,0	-	0,0	Q <sub>a</sub>
Valor medio	14.390,5	-	3,9	Q <sub>c</sub>
Desv. Estándar	20.351,2	-	5,5	

Tabla 9. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo R-1

Como se puede observar en las tablas anterior, en las muestras de suelo para la formación R-1 se aprecia agresividad media frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b)

LITOLÓGIA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> – EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Nº ensayos	5,0	3,0	5,0	
Máximo	31.928,0	29,1	50,6	Q <sub>c</sub>
Mínimo	0,0	23,1	1,7	Q <sub>a</sub>
Valor medio	10.076,6	25,5	22,4	Q <sub>b</sub>
Desv. Estándar	14.597,0	3,2	22,4	

Tabla 10. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo TMmc

Como se puede observar en las tablas anterior, en las muestras de suelo para la formación TMmc se aprecia agresividad media frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b)

LITOLÓGIA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> – EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Nº ensayos	8,0	4,0	5,0	
Máximo	30.003,0	304,7	17,1	Q <sub>c</sub>

LITOLÓGIA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> – EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Mínimo	0,0	22,7	0,9	Q <sub>a</sub>
Valor medio	13.673,6	105,6	7,2	Q <sub>c</sub>
Desv. Estándar	13.805,2	133,5	6,2	

Tabla 11. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo TMmy

Como se puede observar en las tablas anterior, en las muestras de suelo para la formación TMmy se aprecia agresividad fuerte frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b)

En ninguno de los dos sondeos perforados se registró la presencia de agua.

#### Recomendaciones de cimentación

Teniendo en cuenta las características del terreno en el emplazamiento, para esta pasarela se contempla una solución de **cimentación directa** apoyada en el sustrato terciario de arenas micáceas (facies intermedia) o de arcillas margosas (facies evaporítica).

#### 4.5. PASO INFERIOR CONEXIÓN VSD - RAMAL 2

##### Descripción de la estructura

Se trata de una solución estructural de tipo marco con solera continua uniendo ambos hastiales, que permite minimizar y regularizar asentamientos, así como uniformizar esfuerzos sobre la estructura.

El paso inferior tiene una luz libre de 13.95 m, una longitud según esviaje de aproximadamente 16.15 m y una altura libre entre solera y dintel de 6.01 m en el hastial izquierdo y de 6.57 m en el hastial derecho.

En la imagen siguiente se presenta el alzado y sección transversal previstos para la nueva estructura:

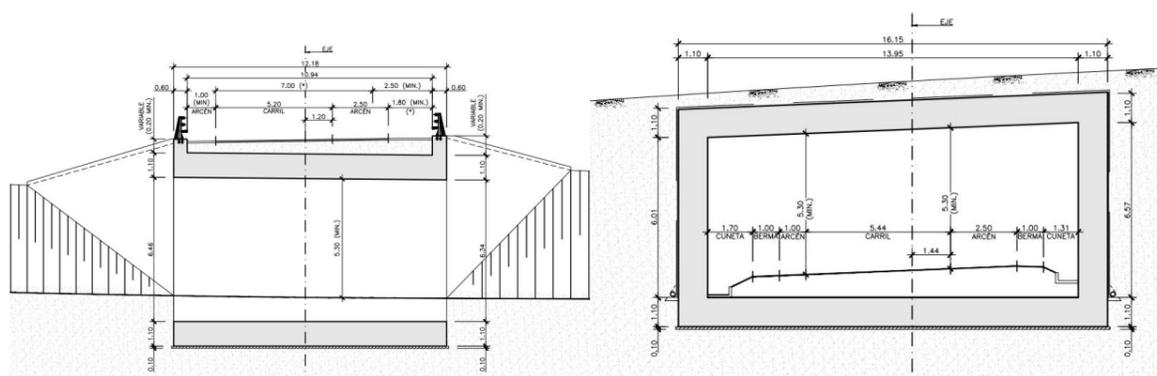


Figura 16 Alzado paso inferior conexión VSD - Ramal 2

##### Investigación realizada

En el entorno de este paso inferior se ha realizado la siguiente investigación:

- Calicatas: C-15
- Ensayo de penetración dinámica: P-3

Además, se cuenta con la investigación previa existente en la zona:

- Calicata: HPO-43

En la imagen siguiente se presenta la situación de esta investigación sobre la planta geológica del trazado:

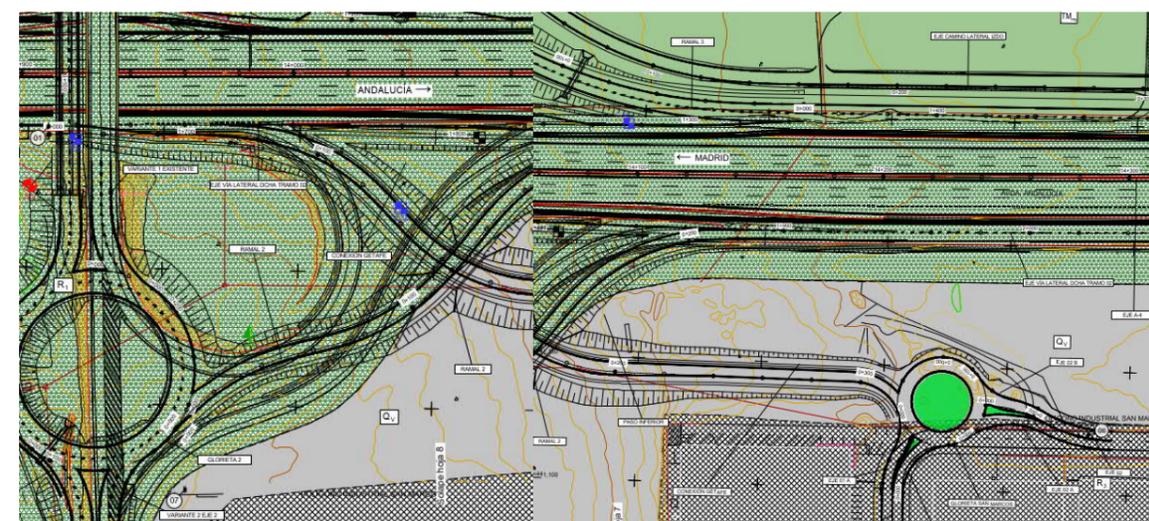


Figura 17 Investigación geotécnica realizada en paso inferior

##### Características del terreno

En los primeros metros el terreno está constituido por rellenos antrópicos (R-1) formados por arenas y limos arcillosos con abundantes gravas y cantos de yeso, que ocasionalmente intercalan restos de plásticos, ladrillos y escombros de distinta naturaleza. La compacidad de estos materiales es variable, con golpes muy erráticos como se observa en el ensayo de penetración dinámica P-03. Se trata en todo caso de materiales heterogéneos y de baja capacidad portante, cuyo espesor oscila entre 2 y 3 m en la calicata C-15. En el emplazamiento del paso inferior este espesor es probablemente menor.

En el ensayo de penetración dinámica P-3 se obtuvieron golpes inferiores a 20 hasta 0,4 m de profundidad, alcanzándose el rechazo a 1m.

Por debajo de los rellenos se localiza el sustrato de la Facies evaporítica de transición (TMmy), constituida en este caso por arcillas gris verdosas de elevada plasticidad y consistencia muy firme a dura, con intercalaciones de margas y yesos. Se trata en conjunto de un material de elevada capacidad portante. Es de resaltar también el potencial agresivo al hormigón de las cimentaciones debido al elevado contenido en sulfatos.

En la siguiente tabla se resumen los ensayos químicos para clasificar la agresividad del suelo para las formaciones R-1 y TMmy:

LITOLOGÍA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> - EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Nº ensayos	2,0	-	2,0	
Máximo	28.781,0	-	7,8	Q <sub>c</sub>
Mínimo	0,0	-	0,0	Q <sub>a</sub>
Valor medio	14.390,5	-	3,9	Q <sub>c</sub>
Desv. Estándar	20.351,2	-	5,5	

Tabla 12. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo R-1

Como se puede observar en las tablas anterior, en las muestras de suelo para la formación R-1 se aprecia agresividad media frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b)

LITOLOGÍA	CONTENIDO SULFATOS SO <sub>4</sub> - EHE (mg/kg)	ACIDEZ BAUMANN GULLY (ml/kg)	CONTENIDO CARBONATOS (%)	TIPO EXPOSICIÓN SUELO
Nº ensayos	8,0	4,0	5,0	
Máximo	30.003,0	304,7	17,1	Q <sub>c</sub>
Mínimo	0,0	22,7	0,9	Q <sub>a</sub>
Valor medio	13.673,6	105,6	7,2	Q <sub>c</sub>
Desv. Estándar	13.805,2	133,5	6,2	

Tabla 13. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo TMmy

Como se puede observar en las tablas anterior, en las muestras de suelo para la formación TMmy se aprecia agresividad fuerte frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3.b)

### Tipología de cimentación

Teniendo en cuenta las características del terreno en el emplazamiento, para este paso inferior se contempla una solución de **cimentación directa** apoyada en el sustrato terciario de arcillas margosas (facies evaporítica).

