



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura
para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224
en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Presentado por

Jiménez Jover, Jose Luis

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2020

Tutor: Víctor Martínez Ibáñez





Índice

Memoria

Anejos:

- Anejo 1. Documentación fotográfica
- Anejo 2. Antecedentes y documentación de partida
- Anejo 3. Entorno geológico
- Anejo 4. Análisis crítico del Estudio Geotécnico
- Anejo 5. Diseño geotécnico de las cimentaciones
- Anejo 6. Valoración económica

Planos

- I. Situación
- II. Localización de ensayos
- III. Estribo Norte
- IV. Estribo Sur
- V. Zona Pilas Intermedias



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura
para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224
en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Memoria

Presentado por

Jiménez Jover, Jose Luis

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2020

Tutor: Víctor Martínez Ibáñez





Índice

1. Objeto.....	3
2. Situación.....	3
3. Antecedentes y documentación de partida.....	4
4. Entorno físico.....	5
5. Entorno geológico.....	5
5.1. Marco geológico.....	5
5.2. Geología de la zona de estudio.....	6
5.3. Hidrogeología.....	6
6. Análisis crítico del Estudio Geotécnico.....	7
6.1. Calicatas mecánicas.....	7
6.2. Perfiles de sísmica de refracción.....	8
6.3. Sondeos mecánicos.....	8
6.4. Ensayos <i>in situ</i>	9
6.5. Ensayos de laboratorio.....	10
6.6. Conclusiones del análisis.....	11
7. Diseño geotécnico de las cimentaciones.....	11
8. Valoración económica.....	13
8.1. Unidades de Obra, mediciones y coste de ejecución material.....	14
8.2. Presupuesto de Ejecución Por Contrata.....	15
9. Conclusiones.....	16
10. Relación del TFG con los ODS de la Agenda 2030...18	
11. Bibliografía.....	23

1. Objeto

El presente estudio se centra en una estructura para paso de fauna que forma parte del proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18 + 480 al 24 + 000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*. Concretamente, este paso de fauna se encuentra en el término municipal de *Sant Esteve Sesrovires*, muy cercano a la conocida localidad de *Martorell*.

Los objetivos que persigue el estudio que aquí se inicia son dos principalmente. En primer lugar, dada la amplitud que abarca la zona de construcción de la nueva infraestructura, se pretende realizar un análisis de los trabajos realizados durante la Campaña Geotécnica en la zona de construcción del paso de fauna, con el fin de comprobar su grado de adecuación a las disposiciones establecidas a tal efecto en la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera.

Una vez establecidas las conclusiones de dicho análisis, se procederá a realizar un estudio de soluciones para el dimensionamiento de las cimentaciones del paso de fauna citado anteriormente, así como la definición en detalle de la solución adoptada que se adjuntará en una serie de planos al final del presente estudio.

Para ello, se propondrán una serie de alternativas de construcción, dimensionadas de manera que sean capaces de resistir la carga transmitida por la estructura del puente a cada una de ellas. Posteriormente, se realizará un análisis multicriterio para seleccionar la opción más adecuada.

Debido a que este paso de fauna forma parte del proyecto constructivo que va a analizarse, se ha recurrido a los planos estructurales del mismo para obtener las cargas que deben soportar las cimentaciones, y que se utilizarán como dato de partida para su dimensionamiento.

2. Situación

El paso de fauna objeto de este estudio estará situado, como se ha introducido anteriormente, en un punto de la carretera B – 224 dentro del término municipal de *Sant Esteve Sesrovires*.

Se trata de un municipio situado en la provincia de Barcelona, concretamente al norte de la comarca del *Baix Llobregat*, y que forma parte del área metropolitana de la ciudad condal. La extensión de su término municipal alcanza los 18,47 km² y limita al norte con la localidad *Abrera*, al sur con *Castellví de Rosanes*, al este con *Martorell* y al oeste con *Sant Llorenç d’Hortons*, población por cuyo término también discurre el nuevo trazado de la B – 224.

El hecho de formar parte del área metropolitana de la capital catalana, le ha permitido beneficiarse de una importante red de comunicaciones de la que forma parte. Por un lado, cuenta con dos rutas para acceder a él a través de la línea de *Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya* que une Barcelona con Igualada, o

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

desplazándose desde la ciudad condal hasta *Martorell* utilizando la línea de RENFE, para después enlazar con *Ferrocarrils* hasta *Sant Esteve*.

Por otro, también es accesible por carretera a través de la autovía del *Llobregat*, que lo sitúa a sólo 20 minutos de Barcelona, y por la AP – 2 saliendo de la misma a la altura de *Martorell*.

La zona en la que se sitúa *Sant Esteve* se caracteriza por su relieve ondulado, apta para la explotación agrícola y ganadera. Cabe destacar además que este municipio es conocido por su producción vinícola, reconocida con la denominación de origen *Penedès*.

Sin embargo, en los últimos años el sector primario ha ido perdiendo protagonismo en favor de la industria. Un desarrollo industrial que se vio favorecido por su cercanía a la ciudad de Barcelona, iniciándose con una fábrica de pañuelos de lana a principios del siglo XX.

Actualmente, la zona cuenta con más de 150 industrias repartidas en varios polígonos, y cabe destacar la situación del centro técnico de Seat en *Martorell*.

3. Antecedentes y documentación de partida

Para la realización del presente estudio, se ha recurrido principalmente a la información disponible en el proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18 + 480 al 24 + 000. Tram Sant Llorenç d'Hortons – Sant Esteve Sesrovires*, concretamente el Estudio Geotécnico, el anejo correspondiente a la Campaña Geotécnica realizada y los planos estructurales para la obtención de las cargas transmitidas a las futuras cimentaciones del paso de fauna.

Los planos estructurales empleados para la obtención de las cargas transmitidas a las cimentaciones se adjuntan en el anejo 2 del presente estudio, en el que se hace referencia a la documentación empleada para su elaboración.

También se ha consultado el Estudio Informativo *Millora general. Condicionament de la carretera B – 224 entre els PKs 18 + 480 i 26 + 000. Tram Sant Llorenç d'Hortons – Martorell*, realizado en la misma zona de estudio.

Sin embargo, la información proporcionada por este estudio ha sido descartada por no encontrarse ningún trabajo realizado en la zona de implantación del paso de fauna que pueda ser tenido en cuenta en el análisis.

Por otra parte, sí se ha recurrido a la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera para establecer los condicionantes del análisis del Estudio Geotécnico, así como los métodos de cálculo empleados para el posterior dimensionamiento de las alternativas para las cimentaciones del paso de fauna.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Por último, y como apoyo a la documentación anteriormente citada, el presente estudio se ha valido de la cartografía disponible en la página del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), así como del *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* (ICGC).

4. Entorno físico

El municipio de *Sant Esteve Sesrovires* se sitúa en la cuenca baja del *Llobregat*. Se trata de una llanura fluvial orientada en sentido N – NO / S – SE, de forma que el río se abre paso entre la cadena de montañas dispuestas en paralelo a la línea de costa para acabar formando un delta en su zona de desembocadura.

Al quedar expuesta según la dirección S – SE, la cuenca del *Baix Llobregat* recibe una elevada cantidad de radiación que se traduce en valores de temperatura mediana de unos 15,6 ° C, además de unos valores mínimos y máximos de -2,1 ° C y 32,2 ° C, respectivamente. La temperatura mediana más baja corresponde al mes de enero, mientras que la más elevada se registra en agosto, ambos valores típicos de la temperatura mediterránea.

Esta exposición S – SE asegura, además, en combinación con la protección física de las montañas y la acción reguladora del mar, un clima benigno que favorece la prolongación de las temperaturas veraniegas hasta el mes de octubre.

Se registran, por otro lado, valores máximos de precipitación durante los meses de septiembre y octubre, mientras que los mínimos se dan en los meses de junio y julio. Cabe destacar que no son habituales las precipitaciones sólidas en la zona del delta ni en la cuenca baja del *Llobregat*.

5. Entorno geológico

El objetivo del presente apartado es proporcionar una descripción general de la geología existente en la zona de estudio, destacando sus aspectos más importantes. La información ampliada del entorno geológico en el que va a ubicarse el paso de fauna puede consultarse en el anejo 3 del presente estudio.

5.1. Marco geológico

La zona de construcción de la nueva B – 224, que pasará a denominarse zona de estudio, se localiza en la sierra costera catalana, la cual discurre paralelamente a la costa separando la depresión del Ebro del mar Mediterráneo.

Esta sierra se divide en tres zonas que reciben el nombre de sierra pre litoral, llanura pre litoral y sierra litoral, de manera que la sierra pre litoral se encuentra más hacia el interior del territorio, mientras que la sierra litoral es la que limita con el Mediterráneo, quedando la llanura o depresión pre litoral entre ambas.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Concretamente, la zona en que va a construirse el nuevo trazado de la B – 224 y por tanto también el paso de fauna objeto de este estudio, se localiza en la llamada fosa del *Vallès – Penedès*, situada en la zona central de la llanura pre litoral.

Se trata de una fosa tectónica en la que, en su momento, se depositaron sedimentos de la época del Mioceno, y que presenta unas dimensiones de 200 km de longitud por 10 – 15 km de ancho.

5.2. Geología de la zona de estudio

Recurriendo a la información disponible en la cartografía del *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* (ICGC), se concluye que la zona de estudio está formada por materiales de naturaleza fundamentalmente cohesiva.

Se distinguen, de hecho, dos formaciones litológicas principalmente que pertenecen al periodo terciario:

—**NMag**: es la predominante en la zona de estudio y está constituida por arcillas, areniscas y conglomerados

—**NMca**: está presente en regiones muy puntuales de la zona de construcción de la nueva B – 224, y se refiere a conglomerados de matriz arcillosa sin cementar.

También se han encontrado materiales de carácter cohesivo pertenecientes al periodo cuaternario, pero se trata de afloramientos puntuales localizados en uno de los sondeos realizados en la zona de construcción del paso de fauna.

5.3. Hidrogeología

La zona de construcción de la nueva carretera B – 224 se encuentra dentro de la masa de agua conocida como la *cupeta d'Abredera*. Esta región corresponde a la masa de agua nº 37 según la Agencia Catalana del Agua, y se localiza en la zona más septentrional de la comarca del *Baix Llobregat* y perpendicularmente a la fosa del *Vallès – Penedès*.

El acuífero presente en esta zona es un acuífero libre, formado por depósitos aluviales del *Llobregat* de origen cuaternario distribuidos en cuatro niveles de terrazas dispuestas de forma discordante sobre materiales del Paleozoico y el Mioceno.

Las entradas de caudal a este acuífero corresponden, principalmente, a recargas procedentes del río *Llobregat*, aunque también recoge volumen de agua procedente de la infiltración de las precipitaciones. Las salidas de caudal, sin embargo, se deben principalmente a su extracción a través de los pozos de bombeo existentes en la zona.

Es por esta razón que se ha hecho necesario el establecimiento de una serie de normas de restricción destinadas a regular la extracción de caudal procedente del acuífero. Estas limitaciones son necesarias para evitar, ya que se trata de un acuífero

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

próximo a la costa, un descenso significativo del Nivel Freático que favorezca la intrusión marina y la salinización de los terrenos afectados por el acuífero de Abrera.

Por último y para concluir este apartado, es necesario recordar que el Nivel Freático no ha sido detectado en ningún reconocimiento geotécnico de los que se han realizado para el proyecto constructivo que se está analizando, ni para proyectos anteriores que hayan afectado a la zona de estudio.

Es de suponer, pues, que la presencia de agua no va a condicionar el diseño ni la posterior construcción de las cimentaciones del paso de fauna.

6. Análisis crítico del Estudio Geotécnico

El objetivo planteado en este apartado es comprobar la adecuación de la Campaña Geotécnica realizada para el proyecto constructivo que se está analizando, concretamente en la zona del paso de fauna, con lo establecido por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera.

Atendiendo a la información disponible en el Estudio Geotécnico, en dicha zona se han ejecutado un total de tres sondeos mecánicos, una calicata y un perfil de sísmica de refracción.

El desarrollo del citado análisis puede consultarse en el anejo 4 del presente estudio, pasando a resumir a continuación las conclusiones obtenidas tras su realización:

6.1. Calicatas mecánicas

Se ha registrado una única calicata mecánica en la zona de construcción del paso de fauna, identificada mediante el código C – 04, de manera que una vez se ha analizado la información disponible en el Estudio Geotécnico referente a este tipo de prospecciones, se llega a las siguientes conclusiones:

En primer lugar, se cumplen los requisitos de documentación para calicatas mecánicas que marca la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera. También entra dentro de los límites aceptables la profundidad a la que se ha llegado con C – 04. Sin embargo, no se ha profundizado hasta el límite máximo porque, a medida que se avanza en la perforación, la ripabilidad del terreno se vuelve más complicada.

En segundo lugar, se ha tomado una única muestra de carácter representativo de la calicata C – 04, designada mediante el código m – 3, que será sometida posteriormente a ensayos de laboratorio.

6.2. Perfiles de sísmica de refracción

Se trata de una técnica que estudia la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en una determinada dirección y a distintas profundidades, con el objetivo de proporcionar información sobre el grado de excavabilidad del terreno con el que se va a trabajar.

Consultando la información disponible en el Estudio Geotécnico, se localiza un único perfil de estas características en la zona de construcción del estribo norte, el cual se identifica mediante el código PS – 5.

Una vez obtenido el perfil de velocidades de ondas sísmicas derivado de esta prueba, queda garantizado el requisito marcado por la Guía para garantizar la validez de sus resultados, según el cual debe producirse un aumento de dicha velocidad de propagación con la profundidad.

6.3. Sondeos mecánicos

La Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera establece un parte de ejecución para cada sondeo que vaya a ejecutarse, y una vez revisados los apartados que debe contener como mínimo, puede concluirse que todo está en orden menos la información referida al equipo de ejecución empleado en la realización de los sondeos.

Por otro lado, se cumplen los objetivos que establece la Guía en cuanto a proporcionar información sobre la estructura del terreno, la posibilidad de toma de muestras y realización de ensayos *in situ*.

Además, se cumplen los requerimientos marcados por la Guía para las fotografías tomadas de los testigos obtenidos a partir de los sondeos.

En cuanto a la posibilidad de realizar reconocimientos adicionales, no se ha detectado ni en el anejo de la Campaña Geotécnica ni en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo ninguna dificultad de cimentación que requiera recurrir a las diagráfias.

Analizando ahora la intensidad con que debe abordarse la campaña de reconocimientos geotécnicos en la zona del paso de fauna, debido a los condicionantes del terreno y de la propia estructura se ha obtenido un perfil transversal al eje de la carretera para cada uno de los puntos de apoyo del mismo, entendiendo por puntos de apoyo los dos estribos del puente y la zona de pilas intermedias, de manera que en cada uno de estos perfiles deberían establecerse dos puntos de reconocimiento.

Según la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, en cada punto de reconocimiento se realizará un sondeo mecánico, lo cual plantea una posible falta en los trabajos realizados ya que sólo se ha efectuado un sondeo en la zona de construcción del estribo sur. Además, no se ha efectuado ningún tipo de prospección en la zona de pilas intermedias, recurriendo a la interpolación de los resultados

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

obtenidos de los sondeos en ambos estribos para obtener un perfil de Unidades Geotécnicas en dicha zona intermedia del puente.

6.4. Ensayos *in situ*

Los ensayos en condiciones *in situ* llevados a cabo en el proyecto constructivo que se está analizando, son los llamados de penetración estándar o SPT. Los resultados obtenidos en dichos ensayos para la zona del paso de fauna se recogen en la tabla inferior, extraída del anejo 4 del presente estudio.

Sondeo	Ensayo SPT	Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	Unidad Geotécnica	N₃₀	N₃₀ corregido
S – 03	SPT – 1	7,5	8,8	T	Rechazo	Rechazo
S – 03 bis	SPT – 1	1	1,5	T _{alt}	77	100
S – 03 bis	SPT – 2	3,5	4,1	T	Rechazo	Rechazo
S – 04	SPT – 1	2	2,2	Q _c	Rechazo	Rechazo

A la vista de los resultados, se observa que en el SPT realizado durante la ejecución del sondeo S – 03 se ha alargado innecesariamente la longitud analizada mediante golpeo. Se ha hincado la punta del tomamuestras hasta una profundidad de 130 cm, cuando el máximo que marca la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera está en los 60 cm.

Por tanto, el presente estudio recomienda prescindir de este valor de SPT debido a la poca fiabilidad de las condiciones en que ha sido obtenido.

Cabe destacar, por otra parte, que en los 4 SPT realizados en la zona de construcción del paso de fauna se ha corregido el índice N₃₀, mediante una fórmula que considera el efecto de las presiones intersticiales debidas a la presencia del Nivel Freático.

Teniendo en cuenta que el Nivel Freático no ha sido detectado en ninguna de las prospecciones realizadas durante la fase del Estudio Informativo, ni durante la Campaña Geotécnica realizada para el proyecto constructivo, el presente estudio considera innecesario aplicar esta corrección a los resultados de los ensayos SPT.

En cualquier caso, teniendo en cuenta que para dimensionamiento de cimentaciones la Guía recomienda el uso de los SPT en terrenos granulares mientras que para terrenos cohesivos los considera valores puramente orientativos, el presente estudio no se basará en ellos para el posterior dimensionamiento de las alternativas de cimentación del paso de fauna.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Esto es debido a que el terreno existente en la zona de estudio es de naturaleza predominantemente cohesiva.

6.5. Ensayos de laboratorio

Según la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, el conjunto de ensayos de laboratorio que deben realizarse en una campaña de reconocimiento geotécnico se agrupa según los siguientes criterios:

—**Muestras sometidas a ensayos de identificación de suelos:** este criterio hace referencia a los ensayos de granulometría y Límites de Atterberg, que deben realizarse para la totalidad de muestras obtenidas. Sin embargo, observando los ensayos de laboratorio realizados puede comprobarse cómo no se cumple esta condición, ya que de las 3 muestras tomadas de la ejecución del sondeo S – 03 sólo una, de carácter inalterado, ha sido sometida a los ensayos de identificación establecidos en este punto. Lo mismo sucede con las muestras del sondeo S – 04, del cual sólo dos se han sometido a identificación de suelos (una de ellas de carácter representativo y la otra obtenida de un ensayo SPT).

—**Muestras sometidas a ensayos de identificación específicos:** este apartado se refiere a ensayos mineralógicos, de peso específico o de densidad extrema en arenas, de manera que deben seleccionarse, como mínimo, dos muestras representativas de cada tipología de suelo para someterlas a estos ensayos. Analizando la información de ensayos de laboratorio recogida en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, se observa la obtención de la densidad aparente para las muestras representativas m – 19 y m – 20 tomadas del sondeo S – 03, y de las m – 21 y m – 22 del sondeo S – 04. Se cumple, por tanto, lo establecido por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera para el número de muestras adecuado.

—**Ensayos realizados sobre MI:** todas las muestras inalteradas deben ensayarse para determinar su densidad y humedad natural. Si se observa la información referente a la única muestra inalterada que se ha tomado en la zona del paso de fauna, la cual se obtuvo a partir del sondeo S – 03, puede comprobarse que ha sido sometida a este ensayo obteniéndose su humedad natural, así como su densidad seca.

—**Ensayos de resistencia y deformabilidad del terreno:** según la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, cada terreno debe caracterizarse con, al menos, dos ensayos de resistencia y deformabilidad en laboratorio.

Considerando, una vez más, la hipótesis de asimilación de las clases de terreno a las Unidades Geotécnicas detectadas en la zona de construcción del paso de fauna, para la unidad T_{alt} sólo se ha obtenido la resistencia a compresión simple en una muestra representativa tomada del sondeo S – 04. Para completar el mínimo establecido por la Guía, podría practicarse el mismo ensayo sobre cualquier otra MR del mismo sondeo.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Para la unidad terciaria T este mínimo sí se cumpliría ya que se ha obtenido la resistencia a compresión simple para la muestra representativa m – 20, tomada del sondeo S – 03, y para la muestra m – 28, tomada del sondeo S – 04. Se ha obtenido, además, la resistencia a compresión simple en rocas para la MR m – 21, obtenida a partir de la ejecución de S – 04.

Por último, para la unidad cuaternaria cohesiva Q_c se han tomado 2 muestras a partir de la ejecución del sondeo S – 04, una de las cuales es representativa y la otra se obtuvo a partir de un ensayo SPT. Observando los ensayos realizados, sólo se ha obtenido la resistencia a compresión simple en la muestra representativa, con lo que se recomienda practicar el mismo ensayo en la muestra del SPT para cubrir el mínimo marcado por la Guía en este punto.

6.6. Conclusiones del análisis

Una vez analizados los trabajos realizados durante la Campaña Geotécnica en la zona del paso de fauna el presente estudio concluye que, en términos generales, la información recogida en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo se adecúa a lo establecido en la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera.

Cabe destacar, sin embargo, una serie de aspectos que contribuirían a que el grado de adecuación fuese mayor, tales como la realización de algunos ensayos de laboratorio para cubrir el mínimo establecido por la Guía, así como la ejecución de prospecciones adicionales en la zona de pilas intermedias y en la zona del estribo sur del paso de fauna.

Estos trabajos habrían contribuido a un mejor conocimiento de la realidad del terreno en ambas regiones, sobre todo en la zona de pilas intermedias, donde no habría sido necesario recurrir a la interpolación de los sondeos en ambos extremos del puente para obtener un perfil de Unidades Geotécnicas en dicha zona.

No obstante, la información disponible es suficiente para abordar el posterior dimensionamiento de las cimentaciones del paso de fauna.

7. Diseño geotécnico de las cimentaciones

Tal como se ha mencionado al inicio de este documento, uno de los objetivos del presente estudio es realizar un estudio de soluciones para el dimensionamiento de las cimentaciones del paso de fauna.

Una vez establecida la división del terreno existente en Unidades Geotécnicas según sus características litológicas y mecánicas, y obtenido las cargas transmitidas por la estructura a cada una de las cimentaciones a partir de los planos estructurales del proyecto constructivo, se han planteado un total de cuatro alternativas de intervención para la zona del paso de fauna.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

La primera de ellas, designada como alternativa 0, contempla no construir ninguna estructura de paso en la zona. Las tres restantes, en cambio, sí valoran la ejecución de un puente para circulación de la fauna local, diferenciándose entre ellas en la tipología de sus cimentaciones.

La alternativa 0 no entrará a valorarse en el estudio de soluciones, y las 3 alternativas de construcción pasan a definirse a continuación:

—**Alternativa 1**: implica la ejecución de cimentaciones profundas en la totalidad del paso de fauna. Concretamente, se propone una pantalla discontinua de pilotes con aletas laterales en sus extremos para ambos estribos del puente, así como un grupo de pilotes unidos mediante encepado para la zona de pilas intermedias.

—**Alternativa 2**: supone la ejecución de cimentaciones superficiales o directas, concretamente zapatas corridas, en los tres puntos de apoyo del paso de fauna.

—**Alternativa 3**: implica una solución intermedia entre las dos anteriores, de manera que propone una cimentación profunda mediante pantalla discontinua de pilotes con aletas laterales en sus extremos para el estribo norte del paso de fauna, mientras que el estribo sur y la zona de pilas intermedias se resolverían mediante zapatas corridas.

Las propuestas de cimentación de cada una de las alternativas anteriores están dimensionadas para garantizar su resistencia a la carga transmitida por la estructura. Los procedimientos de cálculo y obtención, así como los croquis que definen cada una de estas cimentaciones, se adjuntan en el anejo 5 del presente estudio.

Una vez dimensionadas, el siguiente paso es analizar dichas alternativas en base a una serie de criterios con el objetivo de seleccionar la opción más adecuada. Los criterios seleccionados se adjuntan a continuación, en orden decreciente a la importancia asignada por el presente estudio.

—**Adecuación técnica ($P_1 = 5$)** se considera este criterio como el más importante dentro del análisis, ya que se ha basado en él para el dimensionamiento de cada una de las cimentaciones propuestas. Una cimentación es adecuada técnicamente cuando es capaz de resistir la carga transmitida por la estructura a la misma. Se asignará el valor de 1 a la alternativa menos adecuada, y 5 a la más adecuada en este sentido.

—**Coste de ejecución ($P_2 = 4$)**: es el segundo criterio más importante, ya que el coste de construcción condiciona considerablemente la elección de una alternativa u otra. Se asignará, pues, el valor de 1 a la alternativa más costosa y 5 a la más económica de las analizadas.

—**Dificultad constructiva ($P_3 = 3$)**: las dificultades de construcción de un determinado cimiento pueden deberse tanto a los condicionantes del terreno como al propio procedimiento de ejecución empleado. Se asignará el valor de 1 a la alternativa que implique mayor dificultad de construcción, y 5 a la que resulte más sencilla de materializar sobre el terreno de la zona de estudio.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

—**Plazo de ejecución ($P_4 = 3$)**: es un criterio que está relacionado de algún modo con el anterior. Esto es así porque una cimentación puede ser fácil de ejecutar, pero suponer un alargamiento de los plazos de construcción por el proceso necesario para materializarla. Se asignará, por tanto, el valor de 1 a la alternativa que más tiempo de construcción implique y 5 a la que requiera de un plazo de ejecución más reducido.

—**Afección al entorno ($P_5 = 1$)**: considerando este criterio como valoración de la zona que se ve afectada por la ejecución de las cimentaciones, se asignará el valor de 1 a la alternativa que afecte a una zona más amplia al ser construida, y 5 a la que afecte a un área más reducida.

La técnica empleada para el análisis de las soluciones propuestas corresponde al método multicriterio, en el cual se puntuará cada una de las alternativas en base a los criterios anteriores, obteniéndose la suma ponderada por sus pesos.

Teniendo en cuenta que en todos los criterios la puntuación más favorable corresponde con la más elevada, se considerará la solución más adecuada aquella que obtenga la mayor suma ponderada posible.

La tabla en la que se recogen las puntuaciones obtenidas por cada una de las alternativas en base a los criterios anteriores se adjunta en el último apartado del anejo 5 del presente estudio. A la vista de los resultados, se considera que la alternativa más idónea supone la ejecución de cimentaciones directas en la totalidad del paso de fauna.

Esta alternativa es capaz de garantizar un dimensionamiento que resiste la carga transmitida por la estructura a cada una de las cimentaciones propuestas, a pesar del sobredimensionamiento existente en la zapata del estribo norte que no ha podido solventarse. Supone, además, la opción más sencilla a la hora de construir y la más económica, más tratándose de una estructura que no va a soportar grandes cargas.

En cualquier caso, la justificación completa de cada una de las puntuaciones establecidas se adjunta también en el último apartado del anejo 5 del presente estudio.

8. Valoración económica

Una vez establecida la alternativa más adecuada para la construcción de las cimentaciones del paso de fauna, se realizará una valoración económica de la misma para establecer su presupuesto de ejecución por contrata (PEC). El procedimiento llevado a cabo para su obtención se expone de forma detallada en el anejo 6 del presente estudio.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Se ha establecido de forma resumida, en primer lugar, el proceso que se llevaría a cabo para la construcción de estas cimentaciones con una serie de hipótesis realizadas.

El siguiente paso sería dividir la obra que va a ejecutarse en una serie de Unidades de Obra que la definan en su totalidad, para poder medirlas y valorarlas en base a una serie de precios. Para el presente estudio, estos precios han sido extraídos de la página CYPE Ingenieros, S.A cuya competencia abarca el conjunto del Estado.

8.1. Unidades de Obra, mediciones y coste de ejecución material

Se adjunta una tabla resumen en la que se establece la definición resumida de las Unidades de Obra establecidas por el presente estudio, así como sus mediciones, costes directos e indirectos y coste de ejecución material.

Código	Unidad	Definición resumida	Med.	€/ud (CD)	Costes directos (CD)	Costes indirectos (CI = 7 % s/ CD)	Coste de ejecución material (CD + CI)
U001	m ²	Desbroce y limpieza del terreno...	1560	1,75 €	2730 €	191,10 €	2921,10 €
U002	m ³	Excavación... capa de tierra vegetal...	312	5,37 €	1675,44 €	117,28 €	1792,72 €
U003	m ³	Excavación... terreno cohesivo...	1206	5,37 €	6476,22 €	453,33 €	6929,55 €
U004	m ³	Transporte de tierras...	1518	0,82 €	1244,76 €	87,13 €	1331,89 €
U005	m ³	Hormigón de limpieza tipo HL-150/P/20...	30	74,65 €	2239,50 €	156,77 €	2396,27 €
U006	m ³	Hormigón para armar tipo HA-25/P/20/Ila...	300	91,32 €	27396 €	1917,72 €	29313,72 €
U007	kg	Acero	18000	0,92 €	16560 €	1159,20 €	17719,20 €



		corrugado en redondos tipo B500S...					
--	--	---	--	--	--	--	--

Una vez establecido el coste de ejecución material de cada una de las Unidades de Obra anteriores, se han agrupado en tres capítulos que corresponden, respectivamente, a trabajos previos, movimientos de tierras y ejecución de las estructuras:

—**Capítulo 1. Trabajos previos:** engloba la Unidad de Obra UO01, que supone el despeje y desbroce de la superficie de construcción, y presente un coste de ejecución material que asciende a 2921,10 €.

—**Capítulo 2. Movimientos de tierras:** este capítulo abarca las Unidades de Obra UO02, UO03 y UO04, referentes a los trabajos de excavación, transporte y acopio de material previos a la ejecución de las zapatas. El coste de ejecución material asciende a un total de 10054,16 €.

—**Capítulo 3. Estructuras:** abarca las Unidades de Obra UO05, UO06 y UO07, las cuales hacen referencia a los trabajos de ejecución de las cimentaciones del paso de fauna, a saber, colocación de la capa de hormigón de limpieza, labores de ferrallado y hormigonado de las zapatas. En total, el coste de ejecución material asciende a un total de 49429,19 €.

A la vista de los resultados anteriores, el presupuesto de ejecución material de la obra tendrá un valor de:

$$PEM = 2921,10 + 10054,16 + 49429,19 = 62404,45 \text{ €}$$

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de SESENTA Y DOS MIL CUATROCIENTOS CUATRO EUROS CON CUARENTA Y CINCO CÉNTIMOS (62404,45 €).

8.2. Presupuesto de Ejecución por Contrata

Una vez obtenido el presupuesto de ejecución material (PEM), se le añadirá un porcentaje del 13 % referente a los gastos generales, así como un 6 % que refleja el beneficio industrial que se espera obtener con la construcción de la obra valorada.

Se dará, en primer lugar, el presupuesto de ejecución por contrata (PEC) sin IVA, y posteriormente el valor incluyendo el 21 % referente al IVA.

Así pues:

$$\text{Gastos Generales (GG)} = 0,13 * PEM = 0,13 * 62404,45 = 8112,58 \text{ €}$$

$$\text{Beneficio Industrial (BI)} = 0,06 * PEM = 0,06 * 62404,45 = 3744,27 \text{ €}$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

El presupuesto de ejecución por contrata sin IVA tendrá el siguiente valor:

$$\text{PEC (sin IVA)} = \text{PEM} + \text{GG} + \text{BI} = 62404,45 + 8112,58 + 3744,27 = 74261,30 \text{ €}$$

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata sin incluir el IVA a la expresada cantidad de SETENTA Y CUATRO MIL DOSCIENTOS SESENTA Y UN EUROS CON TRENTA CÉNTIMOS (74261,30 €).

Añadiendo a la cantidad anterior el porcentaje referente al IVA:

$$\text{PEC (con IVA)} = 1,21 * \text{PEC (sin IVA)} = 1,21 * 74261,30 = 89856,17 \text{ €}$$

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata incluyendo el IVA a la expresada cantidad de OCHENTA Y NUEVE MIL OCHOCIENTOS CINCUENTA Y SEIS EUROS CON DIECISIETE CÉNTIMOS (89856,17 €).

9. Conclusiones

Tras consultar la información disponible en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, tanto el apartado de geología como el análisis de riesgos geológicos realizado en la zona de estudio, se concluye que el terreno sobre el que se va a construir es de naturaleza predominantemente cohesiva, que el Nivel Freático no ha sido detectado en ningún punto de la zona de implantación de la nueva carretera y que, de los riesgos analizados, ninguno supone dificultades a la hora de ejecutar el paso de fauna.

También se ha procedido al análisis de los trabajos ejecutados en la zona del paso de fauna durante la Campaña Geotécnica del proyecto constructivo, consistentes en 1 calicata mecánica, 3 sondeos con extracción de testigo en las zonas de construcción de ambos estribos y 1 perfil de sísmica de refracción junto a la región donde se ubicará el estribo norte del puente.

Dichos trabajos se adecúan a lo establecido por la Guía, salvo algunas puntualizaciones como la falta de realización de algunos ensayos de laboratorio o la no ejecución de prospecciones en la zona de pilas intermedias. Se echa en falta, asimismo, la ejecución de un sondeo complementario en la zona de implantación del estribo sur.

Sin embargo, la información disponible en el Estudio Geotécnico se considera suficiente para plantear 3 alternativas de construcción para las cimentaciones del paso de fauna, puesto que no se contempla la posibilidad de no construir ningún puente en la zona de estudio.

Las cimentaciones que componen las diferentes alternativas han sido diseñadas con el condicionante de ser capaces de resistir la carga transmitida por la estructura a cada una de ellas. Dichas cargas han sido obtenidas a partir de los planos estructurales del proyecto constructivo.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Una vez establecidas las 3 posibles soluciones, se han analizado en base a una serie de criterios de selección, siendo el más importante el ser capaces de resistir la carga transmitida por la estructura. Al presentar dos de ellas alguna cimentación sobredimensionada, se ha tenido en cuenta a la hora de puntuarlas en base a dicho criterio.

También se ha valorado el grado de dificultad constructiva de cada opción, así como la duración de los plazos de ejecución de las obras, su coste y la zona de afección de las cimentaciones, proporcionando como solución más idónea para la materialización sobre el terreno de las cimentaciones del paso de fauna la alternativa que propone su resolución mediante cimentaciones superficiales en la totalidad del puente.

Finalmente, se ha realizado una valoración económica de la alternativa seleccionada con el fin de elaborar su Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC).

Por tanto, con este Trabajo Final de Grado se ha detallado el diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224, en el Término Municipal de *Sant Esteve Sesrovires* (Barcelona).

Se completa, además, la formación recibida en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Valencia para la obtención del Grado en Ingeniería Civil.

Valencia, a 27 de noviembre del 2020

Fdo: Jose Luis Jiménez Jover, autor del TFG



10. Relación del TFG con los ODS de la Agenda 2030

En el año 2015, la Organización de las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, en la cual se marcan una serie de objetivos mediante los que se pretende fomentar el crecimiento económico, el compromiso con las necesidades sociales, así como la protección del Medio Ambiente.

Estos objetivos, definidos como ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), pasan a describirse a continuación:

—ODS 1: Fin de la pobreza

Se pretende poner fin a la pobreza en todas sus formas, y en todo el mundo.

—ODS 2: Hambre cero

El objetivo es poner fin al hambre, conseguir la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición, así como promover la agricultura sostenible.

—ODS 3: Salud y bienestar

Se pretende garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos y en todas las edades.

—ODS 4: Educación de calidad

Consiste en garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad, así como promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.

—ODS 5: Igualdad de género

Se pretende lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas.

—ODS 6: Agua limpia y saneamiento

El objetivo consiste en garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

—ODS 7: Energía asequible y no contaminante

Se pretende garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

—ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico

El objetivo consiste en promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

—ODS 9: Industria, innovación e infraestructuras

Se pretende construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.

—ODS 10: Reducción de las desigualdades

Reducir la desigualdad en y entre los países.

—ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

El objetivo consiste en conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

—ODS 12: Producción y consumo responsables

Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

—ODS 13: Acción por el clima

Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

—ODS 14: Vida submarina

El objetivo consiste en conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, mares y recursos marinos para el desarrollo sostenible.

—ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres

Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

—ODS 16: Paz, justicia e instituciones sólidas

El objetivo consiste en promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas.

—ODS 17: Alianzas para lograr objetivos

Revitalizar la Alianza Mundial para el desarrollo sostenible.

Así pues, el objetivo que se plantea en este apartado es establecer la relación del TFG “Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible marcados por la Agenda 2030.

Para ello, se adjuntará primeramente una tabla en la que se evaluará el grado de relación en una escala que va desde el “No procede”, que indica la ausencia total de vinculación entre el presente estudio y el ODS considerado, hasta el grado “Alto” que implicaría una importante vinculación entre ambos.

Posteriormente, pasará a justificarse la valoración anterior, de forma similar al procedimiento seguido en el análisis multicriterio que evaluaba las alternativas de cimentación para el paso de fauna.

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.			X	
ODS 2. Hambre cero.			X	
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.			X	
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.			X	
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.		X		
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.		X		
ODS 12. Producción y consumo responsables.		X		
ODS 13. Acción por el clima.			X	
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.	X			
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.		X		
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.		X		

La justificación de las valoraciones anteriores pasa a desarrollarse a continuación.

En primer lugar, se considera un grado de relación bajo entre el presente estudio y los 2 primeros ODS porque el hecho de ejecutar una estructura implica la contratación de personal, especializado o no según el ámbito en el que trabajen, lo que implica en cierta medida la creación de puestos de trabajo.

Por otro lado, se considera que ninguno de los aspectos del presente estudio guarde relación con la salud o el bienestar de las personas puesto que, realmente, a quien beneficia es a la fauna local que no verá alteradas sus habituales rutas de desplazamiento.

La ejecución de un puente no guarda, asimismo, ninguna relación con la educación de calidad porque es una infraestructura que no implica la creación de centros educativos ni el fomento de una mejor formación ciudadana en ningún aspecto.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

En cuanto a la igualdad de género, puede contribuirse de alguna manera fomentando la contratación equitativa de personal de ambos sexos, primando su formación y capacitación para los diversos trabajos que se requieran para la ejecución del paso de fauna. De ahí su grado de relación bajo, puesto que el propio proyecto no implica una mejora de este objetivo, pero sí puede influirse en él de manera indirecta cuando se proceda a su materialización sobre el terreno.

Asimismo, no se considera relación alguna entre el presente estudio y la garantía de disponibilidad de agua de forma sostenible, puesto que no se trata de ningún tipo de infraestructura hidráulica. Tampoco se trata de una infraestructura que garantice el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos los ciudadanos.

Por otra parte, y en referencia al fomento del trabajo decente y el crecimiento económico, es evidente que la ejecución de una infraestructura de cualquier tipo favorece el crecimiento económico, puesto que implica la existencia de personal trabajando, pero se ha de vigilar que las condiciones de contratación y del propio trabajo sean dignas.

Además, no hay que olvidar que no se trata de un puente convencional, sino una infraestructura para el paso de la fauna local de la zona. Esto supone una apuesta por actuaciones innovadoras puesto que existen casos de este tipo de puentes en muchos países del mundo, como se refleja a continuación.



Ecoducto de Woeste Hoeve, Holanda (imagen obtenida de buscador de Google)



Puente para paso de cangrejos en Isla de Navidad, entre Yakarta y Australia (imagen obtenida del buscador de Google)

Siguiendo con el razonamiento anterior, resulta evidente que el fomento de infraestructuras que están desarrollándose en otros países contribuye, de algún modo, a la reducción de la desigualdad entre países y regiones en materia de infraestructuras sostenibles que minimicen el impacto sobre la fauna, la flora y el paisaje que van a ocupar.

Por otro lado, ya que el paso de fauna objeto de este estudio se encuentra en el término municipal de *Sant Esteve Sesrovires* y su ejecución implica una apuesta por la sostenibilidad del ecosistema local, se considera que este municipio y su región apuestan por la propia sostenibilidad de asentamientos y ciudades.

Del mismo modo se considera que este puente puede contribuir al fomento de la producción sostenible, puesto que se está “produciendo” una infraestructura con el objetivo de mejorar la sostenibilidad del ecosistema en su zona de implantación.

Por otro lado, al tratarse de un puente por el que no cruza tráfico rodado, no contribuirá a la contaminación de la zona ni a las emisiones de CO₂ a la atmósfera, responsables en gran medida del cambio climático. Esta es la razón por la que se ha considerado cierto grado de vinculación entre el presente estudio y el objetivo anterior.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Por otro lado, el paso de fauna no afecta de ninguna manera a los océanos ni a la fauna existente en ellos, pero sí beneficia directamente a la fauna terrestre local que no ve afectadas sus rutas habituales de desplazamiento, con lo que el ecosistema existente en la zona de estudio ve reducido el impacto por la existencia de esta infraestructura.

En referencia al objetivo de alcanzar una sociedad justa, pacífica e inclusiva, puede considerarse que la ejecución y la apuesta por estructuras que contribuyen a la sostenibilidad de su entorno natural ayudan a la creación de una sociedad más justa.

Por último, y recopilando las valoraciones anteriores, se concluye que el presente estudio y la ejecución del paso de fauna que de él se deriva, contribuye desde su ámbito a revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

11. Bibliografía

—Proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18 + 480 al 24 + 000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires. DB – 05111.3. Anejo 5: Geologia y Geotencia*

—Proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18 + 480 al 24 + 000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires. DB – 05111.3. Anejo 11: Estructuras y muros*

—Estudio Informativo *Millora general. Condicionament de la carretera B – 224 entre els PKs 18 + 480 i 26 + 000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Martorell. EI – AB – 05111*

—Guía de cimentaciones de Obras de Carretera. Ministerio de Fomento (2009)

—Web oficial del *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* (ICGC): www.icgc.cat

—Web oficial del municipio de *Sant Esteve Sesrovires*: www.sesrovires.cat

—Cuestiones de Geotecnia y Cimientos. Editorial Universidad Politécnica de Valencia (2001)

—Hacia un Plan Director de Usos de un acuífero aluvial en Cataluña (Cubeta de Abrera). Erik Kupper. Resumen para las I Jornadas de Ingeniería del Agua – JIA 2009. Madrid

—Código Técnico de la Edificación (CTE) DB – SE

—Norma 6.1 – IC. Secciones de firme

—Ingeniería Geológica. Luis I. González de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño y Carlos Oteo. Pearson Educación. Madrid, 2002

—Generador de precios de la web CYPE Ingenieros, S.A: www.cype.es



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura
para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224
en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Anejo 1. Documentación fotográfica

Presentado por

Jiménez Jover, Jose Luis

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2020

Tutor: Víctor Martínez Ibáñez





Índice

1. Introducción.....3

Apéndice 1: Plano de situación de las fotografías



1. Introducción

El objetivo del siguiente anejo es realizar una muestra fotográfica de ciertos puntos del proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del P.K 18+480 al 24+000. Tram: Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*, que han sido considerados de interés para el presente estudio.

La galería de fotos que se muestra a continuación incluye la situación de emplazamiento del futuro paso de fauna, así como algunos ejemplos de las Unidades Geotécnicas localizadas en la misma, y que serán explicadas con detalle en el correspondiente anejo geotécnico, detalles de los municipios afectados por la construcción de la nueva traza y algún detalle constructivo considerado de interés.

Por último, se adjunta al final de este anejo un plano en el que se situarán las fotografías que han sido seleccionadas.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Foto 1. Vista panorámica del municipio de Sant Esteve Sesrovires, en cuyo término municipal se construirá el futuro paso de fauna



Foto 2. Vista del punto de la carretera B – 224 en el que está prevista la construcción del paso de fauna, en el P.K 21+250, dirección Martorell

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Foto 3. Vista del municipio de la Beguda Baixa atravesado por la actual B – 224, concretamente en el P.K 19+380, dirección Martorell. Corresponde a una de las áreas urbanizadas englobadas en la zona de estudio dentro de la Unidad Geotécnica RT, de rellenos empleados en viales y edificaciones



Foto 4. Vista del aparcamiento situado en la zona norte del municipio de la Beguda Baixa, en el P.K 19+480, dirección Martorell. Por esta zona está previsto que discorra el nuevo trazado de la B – 224

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Foto 5. Vista del polígono industrial Sant Esteve Sesrovires – Anoia, incluida también dentro de la Unidad Geotécnica RT, presente en carreteras y edificaciones en general. En la imagen se aprecia una rotonda situada en el margen sur de la carretera B – 224



Foto 6. Vista del Área de Servicio Repsol en dirección hacia Martorell. Esta y otras áreas de servicio situadas en la zona de estudio, se encuentran incluidas también dentro de la Unidad Geotécnica RT, constituida por rellenos de origen antrópico bajo una capa de pavimento asfáltico o de hormigón

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Foto 7. Vista del actual enlace de la Beguda Alta. En esta zona se han llevado a cabo una serie de sondeos durante la Campaña Geotécnica, para obtener el espesor del pavimento de hormigón y la capa de relleno inferior, incluidos también dentro de la Unidad Geotécnica RT



Foto 8. Terreno abandonado por donde discurrirá la vía de servicio sur, paralela al tronco principal de la nueva traza. Este punto marca la zona en que la nueva carretera se incorpora a la B – 224 existente, y es un ejemplo de terreno englobado en la zona de estudio dentro de la Unidad Geotécnica TV, correspondiente a tierra vegetal cultivada o sin cultivar

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Foto 9. Vista de un campo cultivado en el desvío de la B – 224 hacia la Masía Bach, concretamente en el P.K 20+280, dirección Martorell. Estos sectores dedicados a la explotación agrícola entrarían dentro de la Unidad Geotécnica TV



Foto 10. Vista de una zona boscosa en el borde derecho de la actual B – 224, en el P.K 19+680, dirección Martorell. Como se explica en el anejo de Diseño Geotécnico, la Unidad Geotécnica TV no aparece de forma continua en la zona de estudio, viéndose interrumpida por zonas boscosas en las que pueden aflorar materiales procedentes del Cuaternario. En esta imagen, además, se muestra la zona por la que discurrirá la vía de servicio sur anteriormente mencionada, antes de incorporarse a un enlace previsto en la Beguda Baixa

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Foto 11. Vista del margen norte de la actual B – 224 cerca del nuevo enlace de la Beguda Baixa. Esta zona con talud también contribuye, al igual que las zonas boscosas de la zona de estudio, a la interrupción de la continuidad de la Unidad Geotécnica TV, de suelo vegetal



Foto 12. Vista del nuevo enlace en construcción, en la zona de la Beguda Baixa, concretamente en el P.K 19+800. Puede observarse en la imagen la actual incorporación a mano derecha, en dirección hacia Martorell

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Foto 13. Vista del mismo enlace de la Beguda Baixa a mano izquierda, dirección Capellades. En esta imagen se aprecia mejor la rotonda que se está construyendo para el nuevo enlace



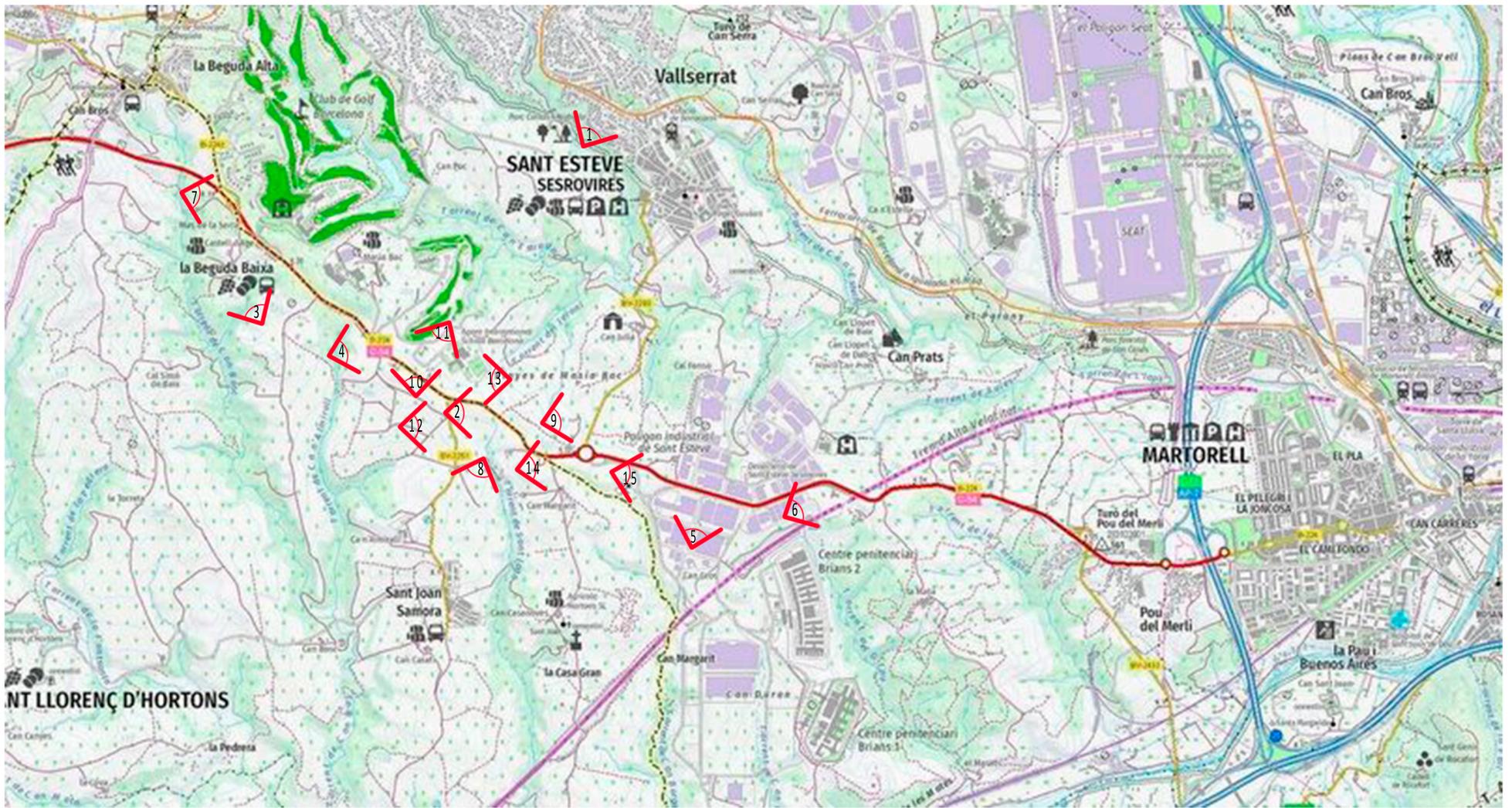
Foto 14. Vista del P.K 20+050 de la B – 224, dirección Martorell. En este punto se separa la nueva traza respecto de la actual carretera



*Foto 15. Vista de la incorporación de la actual carretera B – 224 a la nueva traza, en el
P.K 21+550, dirección Martorell*



Apéndice 1: Plano de situación de las fotografías





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura
para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224
en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Anejo 2. Antecedentes y documentación de partida

Presentado por

Jiménez Jover, Jose Luis

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2020

Tutor: Víctor Martínez Ibáñez





Índice

1. Antecedentes y documentación de partida.....	3
--	---

Apéndice 2: Planos estructurales del paso de fauna

1. Antecedentes y documentación de partida

La documentación de la que se parte para la realización del presente estudio se encuentra principalmente en el Estudio Geotécnico y el anejo correspondiente a la Campaña Geotécnica realizada para el proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18 + 480 al 24 + 000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*.

En dicho anejo se explica cómo se ha realizado la fase de reconocimiento del terreno, además de adjuntar una serie de planos de situación de las diferentes prospecciones mecánicas ejecutadas a lo largo del trazado de la futura carretera, así como los perfiles de sismica de refracción que se ha considerado oportuno realizar.

Se incluye también la información geológica necesaria para un mejor conocimiento de la zona, así como el estudio de agresividad del ambiente hacia el hormigón, el análisis de ripabilidad del terreno y la clasificación sísmica de la zona.

Como toda la información anterior está referida a la zona de construcción del nuevo trazado de la B – 224, será necesario seleccionar aquello que afecte directa o indirectamente a la región en que se va a materializar el paso de fauna, para posteriormente analizar y comparar esta información con lo recomendado por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera.

Cabe apuntar que, aunque dicha Guía no es de obligado cumplimiento, las directrices y recomendaciones establecidas en ella son aceptadas para asegurar un buen diseño y dimensionamiento geotécnico de aquellas obras que se derivan de la construcción de una carretera.

Además, se ha recopilado información de tipo geológico y geotécnico procedente del Estudio Informativo *Millora general. Condicionament de la carretera B – 224 entre els PKs 18 + 480 i 26 + 000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Martorell*, del cual se han seleccionado únicamente las prospecciones realizadas en la zona de emplazamiento de la nueva carretera, y entre las que destacan una serie de sondeos y calicatas mecánicas además de un inventario de taludes de los que se analiza su estabilidad.

Sin embargo, no se ha realizado ningún tipo de prospección ni ensayo en la zona de construcción del paso de fauna, por lo que los datos empleados en el análisis de los trabajos de reconocimiento ejecutados en dicha zona proceden exclusivamente del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, y del anejo correspondiente a la Campaña Geotécnica.

Se ha recurrido también a una serie de planos obtenidos del IGME (Instituto Geológico y Minero de España) y el ICGC (*Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya*), correspondientes a la zona de implantación del nuevo trazado de la B – 224.

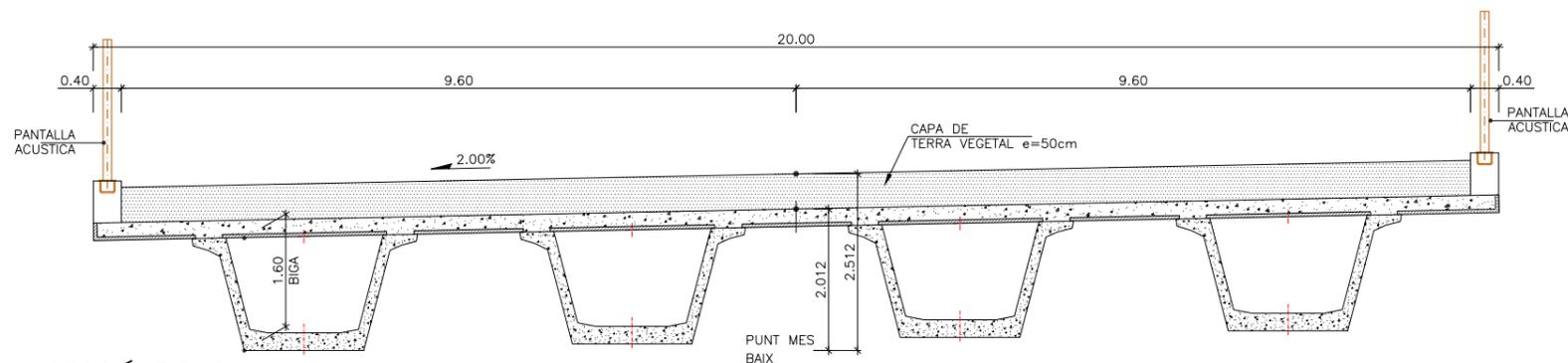


Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Por último, pero no menos importante, se han consultado los planos estructurales del proyecto constructivo para obtener las cargas transmitidas por la estructura del puente a las cimentaciones que van a dimensionarse.

Concretamente, se adjunta al final de este anejo el plano estructural del paso de fauna del que se ha partido para el cálculo y determinación de dichas cargas. En cualquier caso, este procedimiento se expondrá debidamente en el anejo 5 del presente estudio.

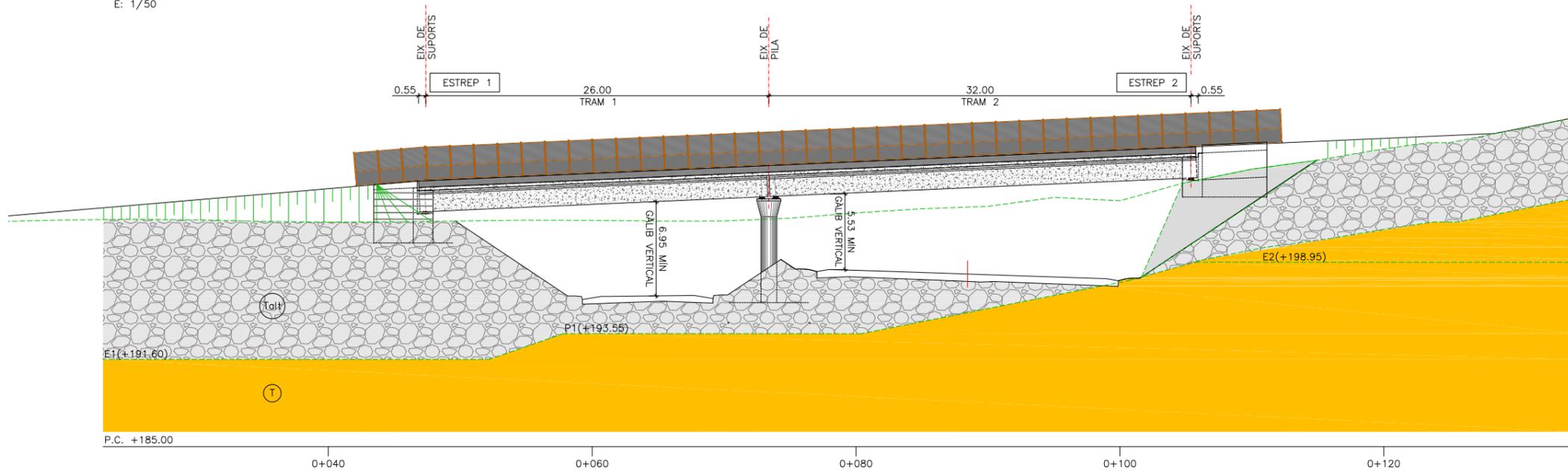
Apéndice 2: Planos estructurales del paso de fauna



SECCIÓ TIPUS
E: 1/50

ELEMENT	FORMIGÓ			ACER			EXECUCIÓ	
	TIPUS	CONTROL	γ _c	TIPUS	CONTROL	γ _s	CONTROL	γ _f
FORMIGÓ DE NETEJA	HL-15/B/20	ESTADÍSTIC	1.50	-	-	-	INTENS	1.35/1.50
FONAMENTACIONS	HA-30/B/20/IIa	ESTADÍSTIC	1.50	B-500-S	NORMAL	1.15	INTENS	1.35/1.50
ALÇAT D'ESTREPS I LLOSES	HA-30/B/20/IIa	ESTADÍSTIC	1.50	B-500-S	NORMAL	1.15	INTENS	1.35/1.50
PILONS	HA-30/F/12/IIa	ESTADÍSTIC	1.50	B-500-S	NORMAL	1.15	INTENS	1.35/1.50
BIGUES PREFABRICADES	HP-45/AC/12/IIa	ESTADÍSTIC	1.50	B-500-S Y-1860-S7	NORMAL	1.15	INTENS	1.35/1.50

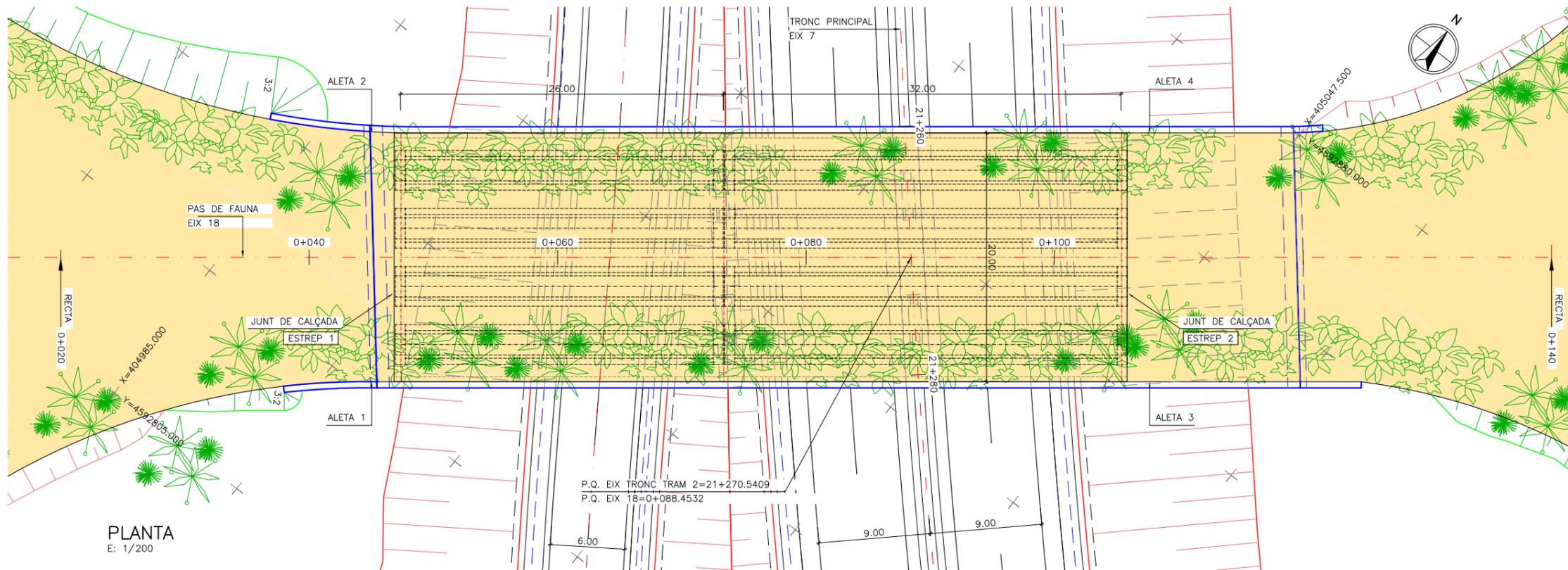
• ELS RECOBRIMENTS GEOMÈTRICS MÍNIMS (FINS A LA BARRA EXTERIOR) SERAN DE 0.035m EN ALÇATS, DE 0.035m EN TAULERS I DE 0.075m EN PARAMENTS EN CONTACTE AMB EL TERRENY. I 0.025 EN BIGUES PREFABRICADES
• ELS SOLAPAMENTS NO INDICATS EN ELS PLÀNOLS S'EFECTUARAN SEGONS EL DISPOSAT EN LA NORMATIVA VIGENT, Art. 69 EHE 2008- Instrucció de Formigó Estructural.



SECCIÓ LONGITUDINAL PER EIX ESTRUCTURA
E: 1/200

+ CALA
△ PENETRÒMETRE
⊙ SONDEIG
— PTE - PERFIL TOMOGRAFIA ELÈCTRICA

Tall ARGILES CARBONATADES
T ARGILES I LIMOLITES AMB INTERCALACIONS DE GRES



PLANTA
E: 1/200

10BF01.DWG



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura
para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224
en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Anejo 3. Entorno geológico

Presentado por

Jiménez Jover, Jose Luis

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2020

Tutor: Víctor Martínez Ibáñez





Índice

1. Introducción.....	3
2. Marco geológico.....	3
3. Historia geológica.....	7
4. Geología de la zona de estudio.....	9
5. Estratigrafía.....	10
6. Tectónica.....	12
7. Hidrogeología.....	14

1. Introducción

El objetivo de este anejo es una descripción geológica de la zona de implantación del nuevo tramo de la carretera B – 224, en la cual se incluye la región donde se construirá el paso de fauna objeto de este estudio.

Para ello se ha recurrido, principalmente, a la documentación recogida en el apartado de geología del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*.

Esta información ha podido ser ampliada gracias a la cartografía topográfica y geológica obtenida de la web del ICGC (*Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya*), además de un informe elaborado para las I Jornadas de Ingeniería del Agua realizado por el ingeniero Erik Kupper, del que se hablará más adelante, y que ha contribuido a comprender mejor el funcionamiento hidrológico de la zona de estudio.

2. Marco geológico

Atendiendo a la información disponible en el apartado de geología del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*, la zona de estudio se localiza en el entorno de la sierra costera catalana.

Esta sierra discurre paralela a la costa separando la depresión del Ebro del mar Mediterráneo y se encuentra, a su vez, dividida en tres zonas claramente diferenciadas desde el punto de vista morfoestructural: la sierra prelitoral, la llanura prelitoral y la sierra litoral. Su situación queda reflejada en el mapa físico de Cataluña que se adjunta a continuación, siendo la sierra prelitoral la que se encuentra más hacia el interior del territorio y la sierra litoral la que limita con el Mediterráneo, quedando la llanura o depresión prelitoral entre ambas.

Esta descripción previa era necesaria para ubicar la zona de construcción del nuevo trazado de la B – 224, y por tanto también del paso de fauna objeto de este estudio. Dicha zona se encuentra, atendiendo a la información analizada, en la zona central de la llanura prelitoral y, más concretamente, en la fosa del *Vallès – Penedès*.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

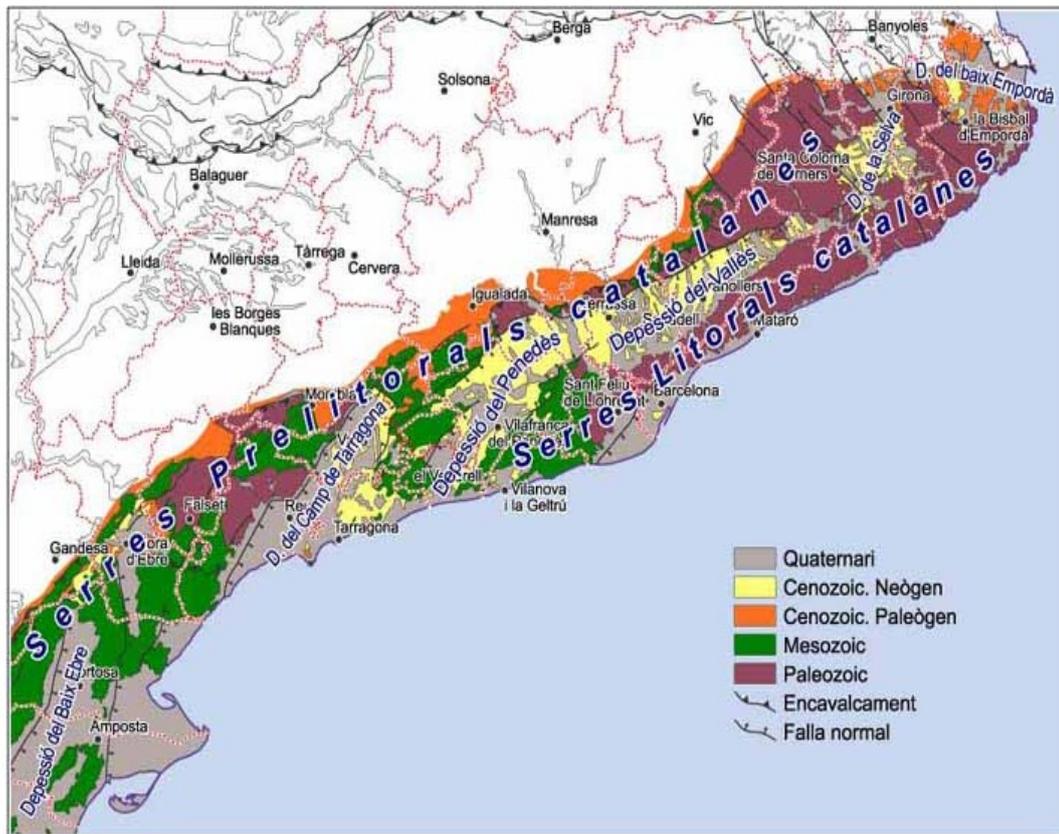


Mapa físico de Cataluña (buscador de Google, extraído de la página www.pinterest.es)

Se adjunta también un mapa geológico de la zona en la que pueden visualizarse ambas sierras catalanas, quedando entre ellas las depresiones del *Vallès* y del *Penedès*. En él pueden observarse, además, las líneas de falla que las dividen, así como la época geológica de la que datan los materiales presentes en la región.

Del primer punto se hablará en el apartado de tectónica del presente anejo, y el segundo pasa a desarrollarse a continuación.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Sierras costeras catalanas (buscador de Google, mapa extraído de la web de la Universidad Autónoma de Barcelona www.uab.cat)

La sierra prelitoral está formada por rocas ígneas y metamórficas de origen paleozoico, cubiertas por capas de rocas sedimentarias de origen triásico, jurásicas y cretácicas que datan del Mesozoico.

Por su parte la sierra litoral se encuentra atravesada por el *Llobregat*, de manera que el valle por el que discurre sirve de frontera entre dos sectores diferenciados por su constitución geológica.

Por un lado, al NE se encuentra un macizo de origen Paleozoico, mientras que al SO se localiza el macizo del *Garraf*, constituido por un conjunto de materiales de naturaleza calcárea y dolomítica fuertemente karstificados. A continuación se muestran dos imágenes referentes a esta zona geográfica, que representan una panorámica general del macizo y un detalle de la tipología de rocas y vegetación que pueden encontrarse en él.



Vista panorámica del macizo del Garraf (buscador de Google)



Rocas calcáreas en el macizo del Garraf (buscador de Google)

Concretando ahora la zona en que se va a implantar la nueva infraestructura, la fosa del Vallès – Penedès forma parte de una importante cadena de depresiones que abarca desde el mar del Norte hasta las proximidades del continente africano, y que se caracterizan por quedar limitadas mediante fallas. Las que limitan esta fosa, concretamente, siguen la dirección NE – SO.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Sus dimensiones son de 200 km de largo por 10 – 15 km de ancho, y su estratificación responde a la estructura que sigue a continuación: la zona más profunda está constituida por arcosas o areniscas feldespáticas, arcillas de tonos fundamentalmente amarillentos con unidades lenticulares de arenas y conglomerados, y en la parte más superficial se observan arenas arcósicas intercaladas con arcillas y conglomerados.

3. Historia geológica

Atendiendo a la información recogida en el apartado 3 del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo que se está analizando, se procede a realizar un resumen de la historia geológica de la zona de estudio con el fin de poner en conocimiento los procesos geológicos que le han dado forma a lo largo de los millones de años de evolución de este planeta.

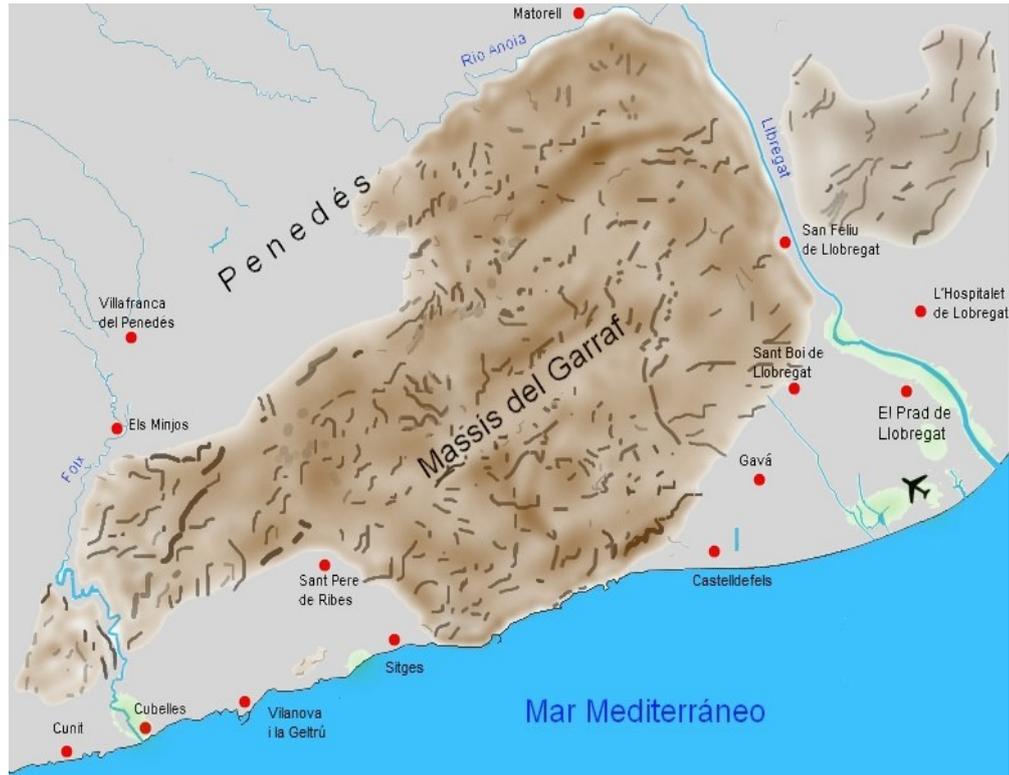
Hace unos 60 millones de años, durante la época terciaria, la corteza occidental de la placa de Europa estaba sometida a un proceso de extensión que culminó en su fractura, dando lugar a un conjunto de fallas. Sin embargo, el proceso geológico que podría haber supuesto la creación de un bloque tectónico independiente del resto del continente europeo se vio interrumpido por causas naturales, quedando un conjunto de fosas tectónicas que se extienden desde el mar del Norte hasta el mar de Alboran.

En el caso concreto de Cataluña, fue durante el período del Mioceno cuando comenzó el hundimiento de la zona que posteriormente acabaría conociéndose como la fosa del *Vallès – Penedès*. Este fenómeno de hundimiento, unido al natural proceso de erosión de los relieves generados por los desniveles entre fallas y la posterior sedimentación de los materiales arrancados, ha dado lugar al entorno geológico que puede observarse hoy día en la zona de estudio.

Concretamente, pueden encontrarse en la depresión prelitoral sedimentos continentales con abundantes restos de mamíferos que datan del Mioceno, los cuales fueron depositándose en el fondo de dicha depresión tras ser transportados a través de torrentes que finalizaban en conos de deyección. Mientras los sedimentos de tamaño más grueso quedaban al pie de los relieves previamente erosionados, los de grano más fino eran transportados hacia las zonas centrales de la cuenca.

Cabe destacar que fue también durante el Mioceno cuando el macizo del *Garraf*, fuertemente afectado por el fenómeno de la karstificación, sufrió el proceso de erosión que lo llevó a nivelarse con el relieve de la depresión.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Situación del macizo del Garraf (buscador de Google)

Posteriormente y ya durante el Mioceno medio, el mar llegó a cubrir parte del *Baix Penedès* extendiéndose por toda la mitad meridional de la fosa del *Vallès – Penedès*. Como es de suponer, la diversidad del relieve que ya presentaba en esta época condicionó significativamente la sedimentación en su zona.

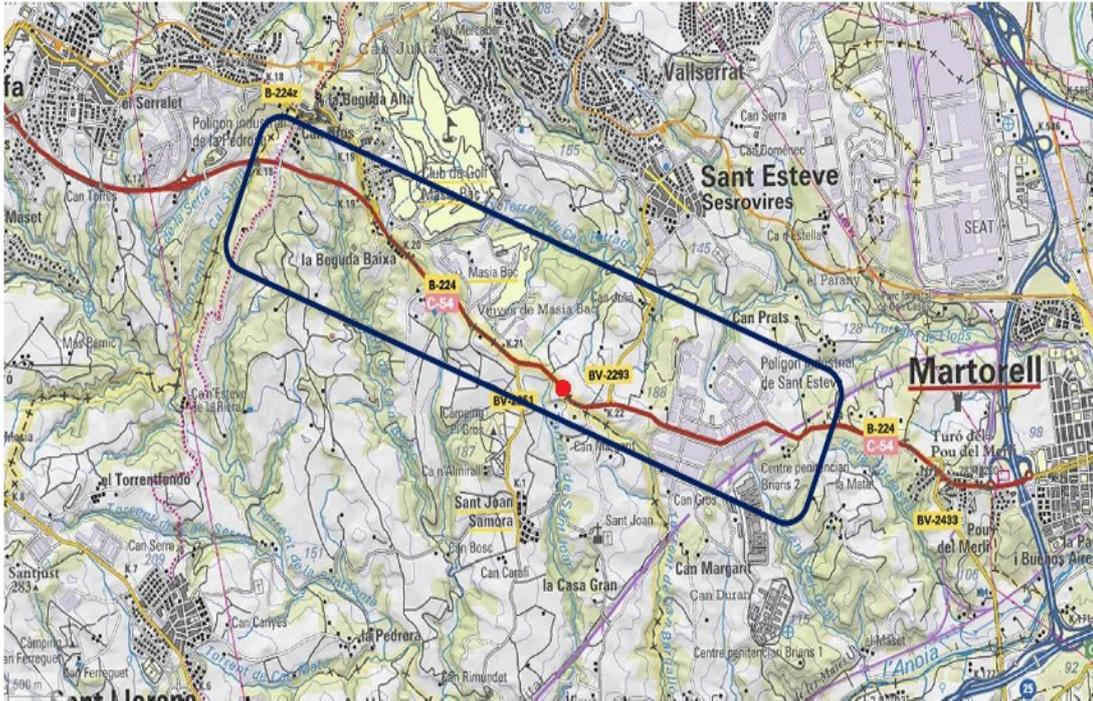
Esta sedimentación marina alternaba con las deposiciones procedentes de los ríos y torrentes presentes en la cuenca, de manera que este hecho se mantuvo hasta la segunda mitad del Mioceno medio, momento en el que se tiene constancia de que tanto la zona del *Penedès* como la del *Garraf* ya no se encontraban bajo el agua.

Fue, sin embargo, durante los períodos de glaciación del Cuaternario cuando se perfila el relieve de la zona actual del *Penedès*. Esta afirmación se fundamenta en el hecho de que en esta época se produce un intenso proceso de erosión, el cual provoca el desmantelamiento parcial de los depósitos sedimentarios del Mioceno.

Sin embargo y a pesar de este hecho, aún se aprecian en la zona algunos rasgos originarios del Mioceno como la disposición de la red general de drenaje.

4. Geología de la zona de estudio

Centrándose ahora en la zona de estudio del proyecto constructivo que se está analizando, la imagen inferior corresponde a un mapa topográfico de la misma a escala 1:50000 obtenido del *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* (ICGC), y en el que la zona en que se va a ejecutar el desdoblamiento de la carretera B – 224 aparece enmarcada en un rectángulo azul. La ubicación del paso de fauna queda reflejada, a su vez, por el punto marcado en la traza.

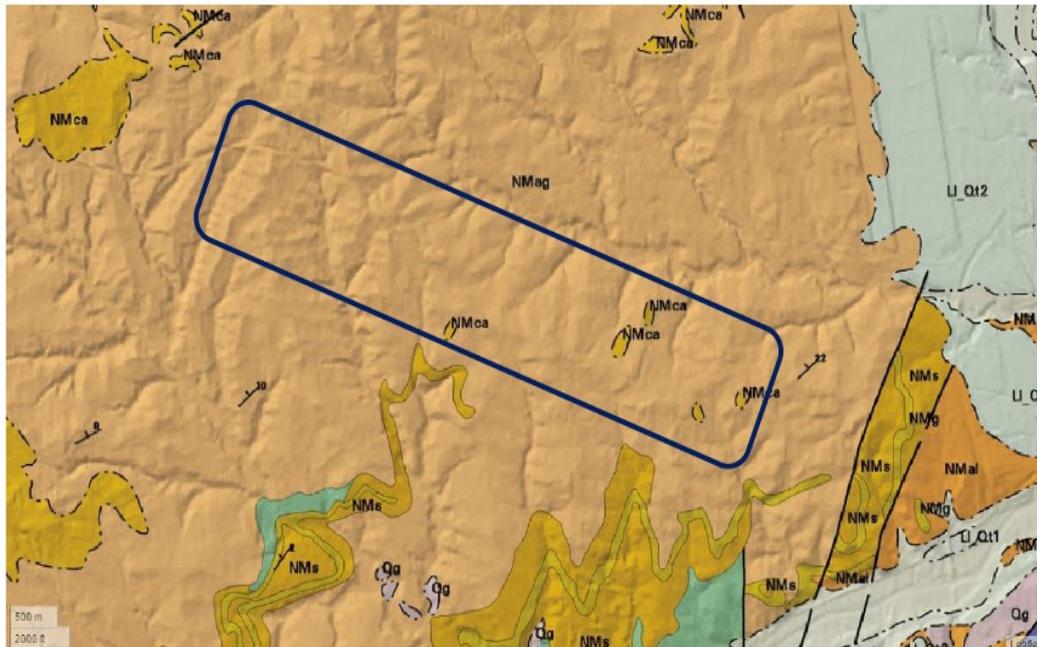


Vista general de la zona de estudio (mapa extraído de la web del ICGC)

Asimismo, y recurriendo nuevamente a la información disponible en el ICGC, se adjunta también un mapa geológico de la zona de estudio a escala 1:50000. En él aparece también la región afectada por la implantación de la nueva infraestructura en un recuadro azul, y puede observarse que su construcción va a afectar a dos formaciones litológicas principalmente.

Por un lado, está la formación que responde a la nomenclatura NMag. Es la predominante en la zona de estudio y corresponde a arcillas, areniscas y conglomerados. Por otro, está la formación NMca, presente en regiones muy puntuales de la zona de construcción, y se refiere a conglomerados de matriz arcillosa sin cementar.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



234	NMag	Argiles, gresos i conglomerats. Serraval·là-Vallesià.
237	NMca	Conglomerats amb matriu argilosa sense cimentar. Aragonià superior - Vallesià.

Mapa geològic y leyenda de la zona de estudio, afectada por el nuevo trazado de la carretera B – 224 (extraído de la web del ICGC)

5. Estratigrafía

Analizando la información recogida en el apartado de estratigrafía del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*, puede observarse que la zona de estudio está compuesta por los siguientes materiales:

—**Terciario**: materiales procedentes del Mioceno, destacan las formaciones tipo NMag, constituidas por arcillas, areniscas y conglomerados, y formaciones tipo NMca, formadas por conglomerados de matriz arcillosa sin cementar. Estas nomenclaturas han sido extraídas del mapa geológico de la zona de estudio obtenido a partir de la web del ICGC (*Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya*), y que se ha adjuntado al final del apartado anterior.

Las arcillas son de tonos ligeramente rojizos y pueden contener nódulos de carbonato de color blanco. En ocasiones, se intercalan con pequeños niveles arenosos de tipo lenticular y capas de conglomerados. Estos conglomerados son de matriz arenosa, con tonos grisáceos y sin cementar, y guijarros tan variados como pizarras, cuarzos, calizas, granito, cuarcitas y areniscas. Asimismo, las formaciones de

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

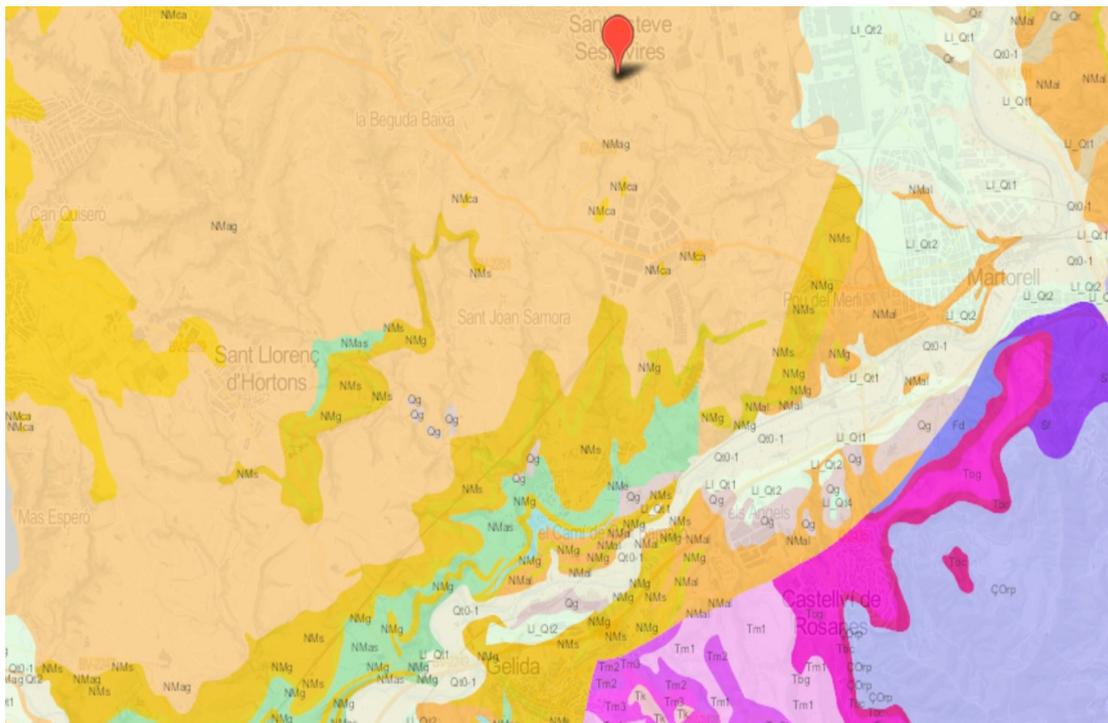
conglomerados presentan un nivel inferior de formas onduladas y un techo plano y horizontal, siguiendo la forma característica de los regímenes torrenciales.

—**Cuaternario**: materiales originarios del Pleistoceno, se distinguen dos tipos de formaciones:

- **Cuaternario cohesivo (Q_c)**: constituido por arcillas limosas de color marrón, con indicios de carbonatación y nódulos dispersos. Se trata de depósitos de tipo cohesivo con una importante fracción fina.
- **Cuaternario granular (Q_g)**: constituido por arenas limosas de color marrón claro o blanquecino, que alternan con niveles de gravas de formas redondeadas. Se trata de un depósito de sedimentos en el que predomina la fracción granular, sin cementar y de cohesión reducida.

Gracias al visualizador de cartografía geológica del ICGC, se ha podido localizar la situación de los afloramientos terciarios y la presencia de algunos de origen cuaternario y de tipo granular (Q_g).

Estos afloramientos cuaternarios están situados muy cerca del municipio de *Sant Llorenç d'Hortons* y se trata de formaciones muy puntuales, representadas en color morado, rodeados siempre del predominante material de origen terciario.



Cartografía geológica de la zona de estudio (extraído del visualizador de cartografía geológica del ICGC)

Por último y concretando para la zona de construcción del paso de fauna objeto de este estudio, cabe esperar que la estratigrafía de la misma se componga de formaciones terciarias tipo NMag constituida por arcillas, areniscas y conglomerados, y formaciones cuaternarias de comportamiento cohesivo.

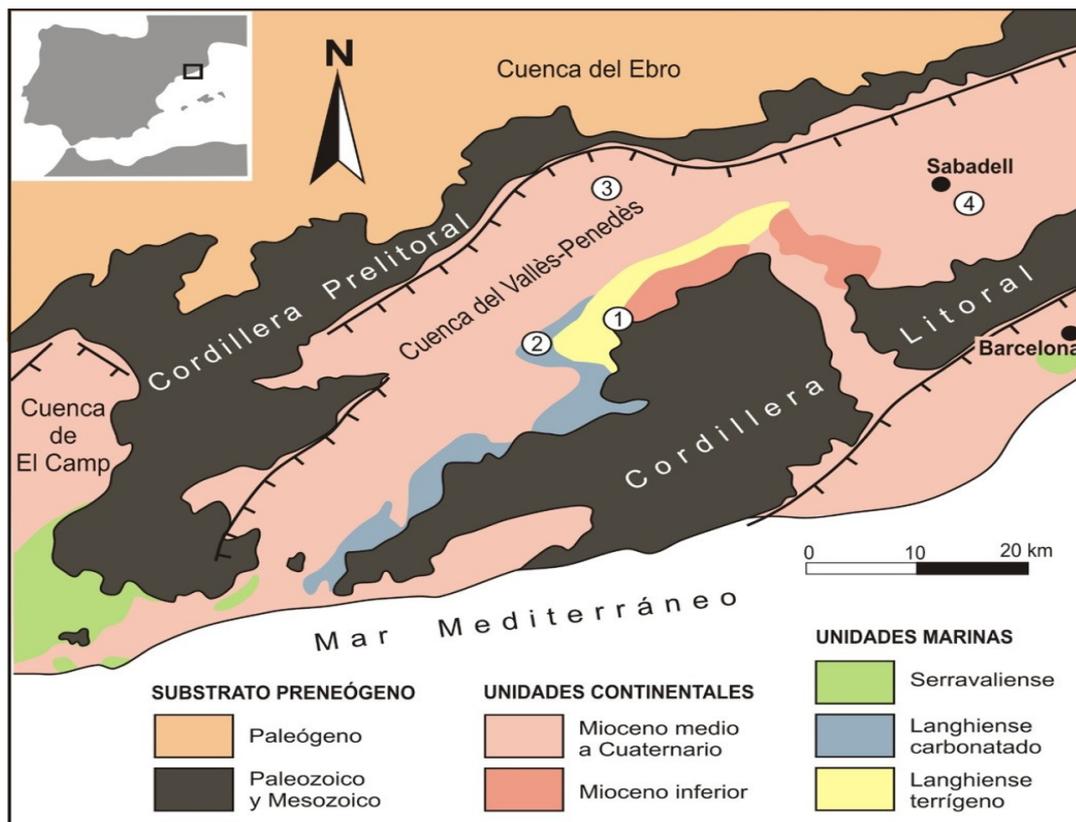
Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Este hecho se verá confirmado por los resultados obtenidos de las prospecciones mecánicas ejecutadas en la zona de implantación del paso de fauna, y que han sido recogidas en la Campaña Geotécnica realizada para el proyecto constructivo que se está analizando. Estos datos serán analizados en el anejo 3 del presente estudio.

6. Tectónica

Siguiendo con el análisis de la información recopilada en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, la depresión del *Vallès – Penedès*, en la que se localiza la zona de estudio, es en realidad una fosa tectónica de 200 km de longitud por 10 – 15 km de ancho.

Esta fosa se encuentra, tal como puede apreciarse en la imagen inferior, limitada por dos líneas de falla: por un lado la falla meridional, que se encuentra en contacto con la sierra litoral, y por otro la falla norte que discurre al pie de la sierra prelitoral y que se ha desplazado considerablemente tras la deposición de materiales que tuvo lugar durante el Terciario.



Mapa geológico de la fosa del Vallès – Penedès con las líneas de falla que la limitan (buscador de Google, extraído de la web www.researchgate.net)

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Mapa de los límites de falla de la fosa del Vallès – Penedès (extraído de la web del ICGC)

La falla meridional se ha mantenido relativamente estable desde el Mioceno, y en la zona comprendida entre *Gelida* y *Martorell* afecta tanto a los materiales mesozoicos que constituyen el macizo del *Garraf*, como a los depósitos terciarios de origen marino presentes en la cuenca del *Llobregat*. Estos depósitos marinos buzan con ángulos frecuentemente superiores a los 45° en dirección N – NE, siguiendo la disposición general de la fosa tectónica.

Se observan, también, afloramientos de material procedente del Mioceno continental y de tránsito hacia el marino en la zona comprendida entre las localidades de *Gelida* y *Martorell*. Esto es debido a dos causas principales: la primera es la extensión progresiva de las facies marinas en dirección SO, y la segunda la gradual disminución de la propia falla.

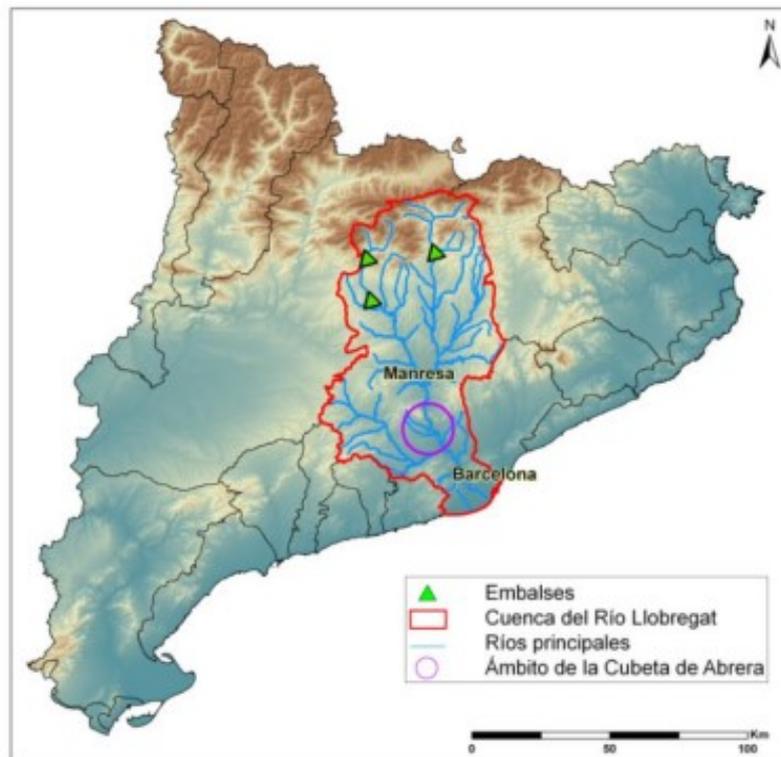
Por otra parte, al llegar a *Martorell* la falla meridional que limita la fosa del *Vallès – Penedès* se ve interrumpida por la falla de desenganche del valle del *Llobregat*, la cual constituye una formación geológica anterior al Mioceno que afecta solamente a las capas más superficiales del terreno, y que provoca que el contacto entre materiales del Paleozoico y del Terciario quede desplazado unos 10 km hacia el S.

7. Hidrogeología

La Hidrogeología es la rama de la Hidráulica que estudia todo lo referente a las aguas subterráneas, las cuales son de especial interés para la ingeniería civil ya que su existencia condiciona considerablemente cualquier intervención en la zona de trabajo.

Según el apartado correspondiente a hidrogeología del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo que se está analizando, se deduce que la zona de construcción del futuro trazado de la B – 224 se encuentra dentro de la masa de agua conocida como la *cupeta d’Abrera*.

Esta región corresponde con la masa de agua catalogada como nº 37 según la Agencia Catalana del Agua, y se localiza en la zona más septentrional de la comarca del *Baix Llobregat* y perpendicularmente a la fosa del *Vallès – Penedès*.



Ubicación de la cubeta d’Abrera en la cuenca del Llobregat (mapa extraído del informe “Hacia un Plan Director de Usos de un acuífero aluvial en Cataluña (cubeta de Abrera)”, realizado por el ingeniero Erik Kupper)

El acuífero presente en esta zona es un acuífero libre formado por depósitos aluviales del *Llobregat* procedentes del Cuaternario, que se distribuyen en cuatro niveles de terrazas dispuestas de forma discordante sobre materiales del Paleozoico y el Mioceno.

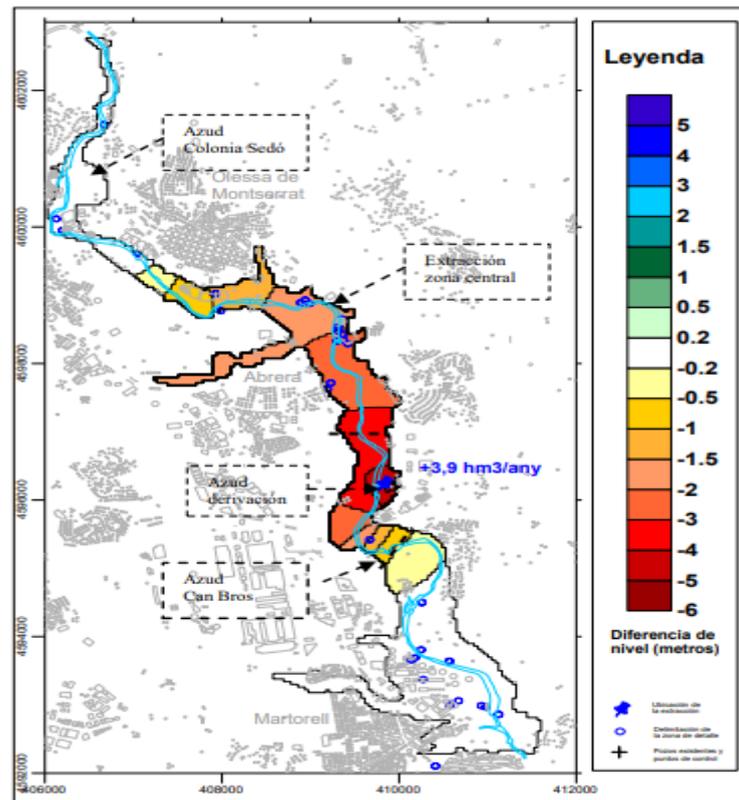
Estas terrazas de depósitos aluviales están formadas, a su vez, por gravas y arenas cubiertas en su parte superior por una capa de limos y loess de reducida permeabilidad, la cual protege la entrada del acuífero de posibles contaminantes.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Para una mejor descripción del sistema hidrológico existente en esta zona, se ha recurrido al estudio sobre la *cubeta d’Abrera* realizado para la Agencia Catalana del Agua, y que fue presentado en las I Jornadas de Ingeniería del Agua celebradas en Madrid el año 2009. Este estudio fue realizado por Erik Kupper, Ingeniero de Caminos y director de estudios hidrogeológicos en Typsa.

Como el análisis de cualquier sistema de recursos hídricos requiere necesariamente de un modelo de simulación, el cual traslade de la manera más aproximada posible la realidad física a un formato informático, se recurrió a un modelo numérico MODFLOW para describir los flujos de agua superficial y subterránea, así como a un modelo HEC – RAS para establecer los niveles del río en una serie de secciones representativas del mismo.

Para mostrar el funcionamiento de la interacción entre el río *Llobregat* y el acuífero, se procedió a simular el descenso del Nivel Freático del mismo causado por una extracción de 3,9 hm³/año. El resultado se observa en la imagen inferior.

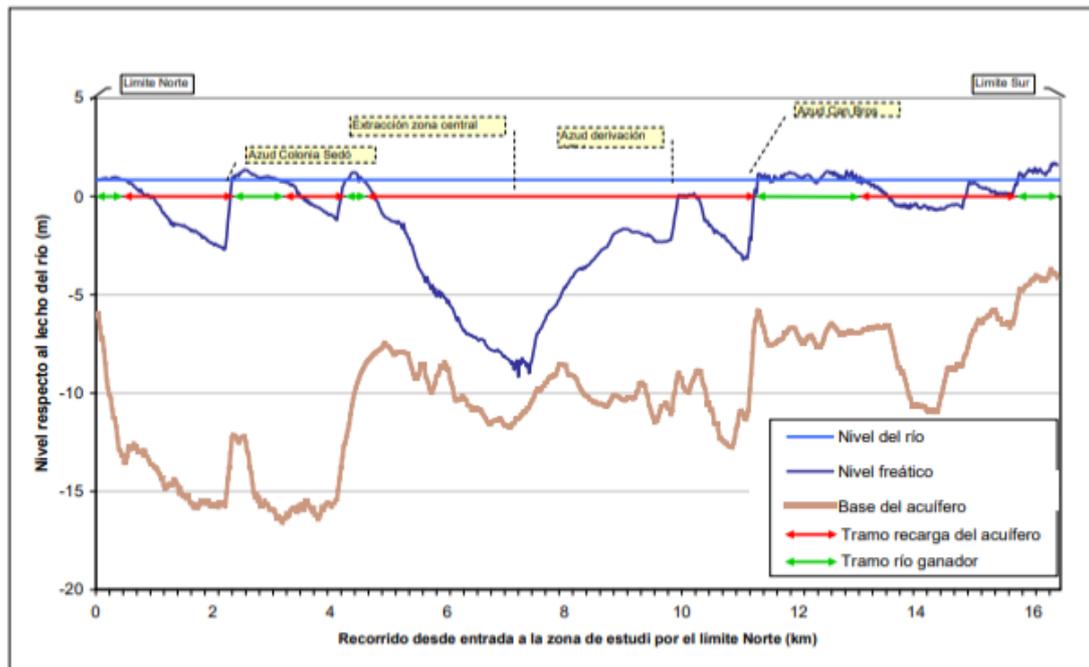


Simulación del descenso del Nivel Freático en el río Llobregat, provocado por una extracción de caudal de 3,9 hm³/año (imagen obtenida del informe “Hacia un Plan Director de Usos de un acuífero aluvial en Cataluña (cubeta de Abrera)”, realizado por el ingeniero Erik Kupper)

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Como puede observarse, el efecto que tiene la extracción en la zona analizada es significativo en la región Norte, en la que se prevé una bajada máxima de 6 m del Nivel Freático. En la zona Sur, sin embargo, el efecto de la extracción de caudal es menor debido a la capacidad de infiltración del río en la misma.

Esta capacidad de infiltración se ve reflejada en el perfil del acuífero en la dirección del río que se observa en el gráfico que sigue a continuación, cuyos valores no tienen en cuenta la extracción ficticia de 3,9 hm³/año.



Situación del Nivel Freático en el río Llobregat tras la extracción de caudal simulada (imagen obtenida del informe “Hacia un Plan Director de Usos de un acuífero aluvial en Cataluña (cubeta de Abrera)”, realizado por el ingeniero Erik Kupper)

En el gráfico anterior pueden visualizarse, además, el nivel del río y el Nivel Freático medidos desde el lecho del río, que ha sido tomado como origen de referencia. Observando la evolución de ambos niveles, puede comprenderse el grado de interacción entre el río y el acuífero a lo largo del tramo analizado en el citado estudio.

Así pues, aquellos tramos en que el Nivel Freático (representado mediante la línea en color azul oscuro) se encuentra por encima del nivel del río (representado en color azul claro), corresponden a zonas en que es el río quien obtiene caudal procedente del acuífero, y por tanto se trata de **tramos de río ganador**.

Sin embargo, aquellos tramos en que el Nivel Freático se encuentre por debajo del nivel del río, será el propio acuífero el que obtenga caudal del *Llobregat*. Se trata, por tanto, de **tramos de recarga del acuífero**. Las recargas de caudal de las que se beneficia proceden, además de los aportes del río, de retornos de riego, entradas laterales o de la infiltración de agua procedente de las precipitaciones.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Si se continúan analizando los resultados de la simulación efectuada, se observa que la zona en la que el río tiene más capacidad de reacción ante posibles cambios en el sistema hidrológico es aquella que se encuentra unos 3 km aguas abajo del azud de derivación.

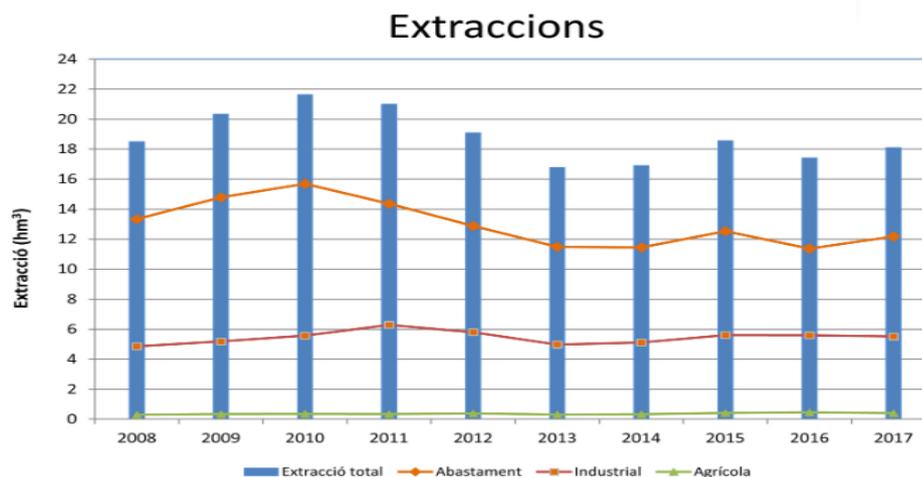
Esto es así porque, tal como puede apreciarse en el gráfico, en esta zona existe un tramo de río ganador. Este hecho, unido a que cerca del azud de derivación se ha practicado la extracción ficticia con los resultados anteriores, da para concluir que esta zona de recarga del río por parte del acuífero es la que más puede compensar las variaciones del Nivel Freático originadas por la extracción de caudal mediante bombeo.

Observando el gráfico, además, puede concluirse que el río *Llobregat* es fundamentalmente aportador de caudal al acuífero de Abrera en casi toda la extensión de la zona analizada.

Una vez analizada la variación del volumen de agua que el acuífero es capaz de almacenar a lo largo de toda su extensión, se procederá a explicar los diferentes usos que la zona de ubicación destina a estos recursos hídricos.

Para ello, se han obtenido datos de la web de la Comunidad de Usuarios de la *Cubeta d’Abrera* que reflejan el hecho de que la principal salida de caudal del acuífero se debe al bombeo de pozos existentes en la zona.

El caudal extraído se destina tanto a abastecimiento humano, como a usos industriales y agrícolas. La distribución de volumen de agua extraído, queda reflejada en la imagen que se adjunta a continuación.



	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Abastament	13.337	14.793	15.692	14.360	12.887	11.487	11.449	12.534	11.369	12.182
Industrial	4.853	5.183	5.572	6.287	5.799	4.973	5.116	5.607	5.593	5.515
Agrícola	0.300	0.344	0.355	0.341	0.391	0.314	0.336	0.417	0.458	0.408
Extracció total	18.49	20.32	21.62	20.99	19.08	16.77	16.90	18.56	17.42	18.11

Volúmenes de caudal extraídos del acuífero de la Cubeta d’Abrera (información obtenida de la web de la Comunidad de Usuarios de la Cubeta d’Abrera)

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

En ella pueden observarse los hm³ de agua que han sido extraídos del acuífero entre los años 2008 y 2017, junto con una serie de gráficas que representan las cantidades destinadas a cada uno de los tres usos mencionados anteriormente.

Puede deducirse que la forma de las gráficas de volumen de agua destinado a abastecimiento urbano e industrial siguen una tendencia similar, aunque priorizando el consumo humano por encima de los usos industriales en la zona. Muy por debajo de ellos, sin embargo, se encuentran los hm³ destinados a usos agrícolas, claramente insignificantes en comparación con los dos anteriores.

Esto es debido a la tendencia cada vez mayor de abandono de las tierras de cultivo (los materiales agrupados en la Unidad Geotécnica TV hacen referencia a terrenos superficiales, la mayoría de ellos sin cultivar), en beneficio de los usos industriales y urbanos de la zona de estudio.

Existen pues, una serie de áreas urbanizadas como las localidades de *Sant Esteve Sesrovires*, *Sant Llorenç d'Hortons*, *la Beguda Alta*, *la Beguda Baixa*, la vecina *Martorell*... que requieren de abastecimiento de agua para la población residente en ellas. Una necesidad que comparten con diversas áreas industriales como el polígono situado en el término municipal de *Sant Esteve*, o el área logística de Seat próxima a la localidad de *Martorell*.

Sin embargo, y dado que la masa de agua analizada de la zona de estudio se encuentra dentro del acuífero de la *cupeta d'Abdera*, se han establecido en la misma una serie de normas de protección destinadas a evitar el exceso de extracción de caudal del acuífero. Estas limitaciones de caudal son necesarias para evitar, ya que se trata de un acuífero próximo a la costa, un descenso significativo del Nivel Freático que favorezca la intrusión marina y la salinización de los terrenos afectados por el acuífero de Abdera.

Por último, para concluir este apartado, es necesario recordar que a pesar de que es necesario describir el marco hidrogeológico presente en la zona de estudio, el Nivel Freático no ha sido detectado en ninguno de los reconocimientos geotécnicos realizados para el proyecto constructivo que se analiza, ni para proyectos anteriores que hayan afectado a la zona con la que se está trabajando.

Es de suponer, pues, que la presencia de agua no va a condicionar el posterior dimensionamiento de las cimentaciones del paso de fauna, ni tampoco los procesos constructivos que llevarán a la materialización de las mismas en la zona de estudio.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura
para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224
en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Anejo 4. Análisis crítico del Estudio Geotécnico

Presentado por

Jiménez Jover, Jose Luis

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2020

Tutor: Víctor Martínez Ibáñez





Índice

1. Introducción.....	4
2. Análisis de la Campaña Geotécnica.....	4
2.1. Calicatas mecánicas.....	5
2.1.1. Conceptos básicos.....	5
2.1.2. Calicatas mecánicas en la zona del paso de fauna.....	6
2.1.3. Análisis de la información disponible.....	6
2.1.3.1. Documentación básica.....	6
2.1.3.2. Profundidad de excavación.....	7
2.1.3.3. Ensayos realizados.....	8
2.1.3.4. Columna litológica del terreno.....	8
2.1.3.5. Presencia del Nivel Freático.....	8
2.2. Perfiles de sísmica de refracción.....	9
2.2.1. Definición.....	9
2.2.2. Metodología de trabajo.....	9
2.2.3. Correcciones de los datos registrados.....	9
2.2.4. Aplicaciones.....	10
2.2.5. Inconvenientes.....	10
2.2.6. Perfiles en la zona del paso de fauna.....	10
2.2.7. Análisis de la información disponible.....	11
2.3. Sondeos mecánicos.....	12
2.3.1. Conceptos básicos.....	12
2.3.2. Sondeos mecánicos en la zona del paso de fauna.....	12
2.3.3. Análisis de la información disponible.....	13
2.3.3.1. Documentación requerida.....	13
2.3.3.2. Objetivos a alcanzar.....	16
2.3.3.3. Procedimiento de ejecución.....	18
2.3.3.4. Fotografías de los testigos.....	18
2.3.3.5. Reconocimientos opcionales.....	19
2.3.3.6. Incidentes durante la ejecución de los sondeos.....	19
2.4. Ensayos <i>in situ</i>	20
2.4.1. Objetivo y aplicaciones.....	20
2.4.2. Metodología del ensayo SPT.....	21
2.4.3. Factores de afección.....	21
2.4.4. Análisis de la información disponible.....	22



2.4.4.1. Resultados del ensayo SPT.....	22
2.4.4.2. Equipo de perforación empleado.....	23
2.4.4.3. Estimación de la carga de hundimiento.....	24
2.5. Ensayos de laboratorio.....	24
2.5.1. Apéndice de ensayos de laboratorio.....	24
2.5.2. Ensayos realizados durante la Campaña Geotécnica.....	24
2.5.2.1. Identificación y clasificación del suelo.....	24
2.5.2.2. Caracterización del terreno.....	25
2.5.3. Toma de muestras.....	25
2.5.4. Análisis de la información disponible.....	27
3. Intensidad de reconocimiento del terreno.....	27
4. Conclusiones.....	30
4.1. Calicatas mecánicas.....	30
4.2. Perfiles de sísmica de refracción.....	31
4.3. Sondeos mecánicos.....	31
4.4. Ensayos <i>in situ</i>	33
4.5. Ensayos de laboratorio.....	33
4.5.1. Toma de muestras.....	33
4.5.2. Ensayos de laboratorio a realizar.....	34

1. Introducción

Considerando el hecho de que el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d'Hortons – Sant Esteve Sesrovires*, se ha redactado para un ámbito mucho más amplio que el del paso de fauna objeto de este estudio, el objetivo del presente anejo es comprobar el grado de adecuación de este Estudio Geotécnico a lo establecido en la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera. Este análisis se realizará seleccionando la información que afecte, directa o indirectamente, a la zona de construcción del paso de fauna.

Para ello, se ha recurrido a la información recogida en la Campaña Geotécnica realizada para el proyecto constructivo que se está analizando, y cuyos resultados se resumen en los correspondientes apartados del Estudio Geotécnico.

Sin embargo, no se ha tenido en cuenta la información disponible en el Estudio Informativo *Condicionament de la carretera B-224 entre els PK's 18+480 i 26+000. Tram St. Llorenç d'Hortons-Martorell*, ya que su contenido no afectaba a la zona de emplazamiento del paso de fauna.

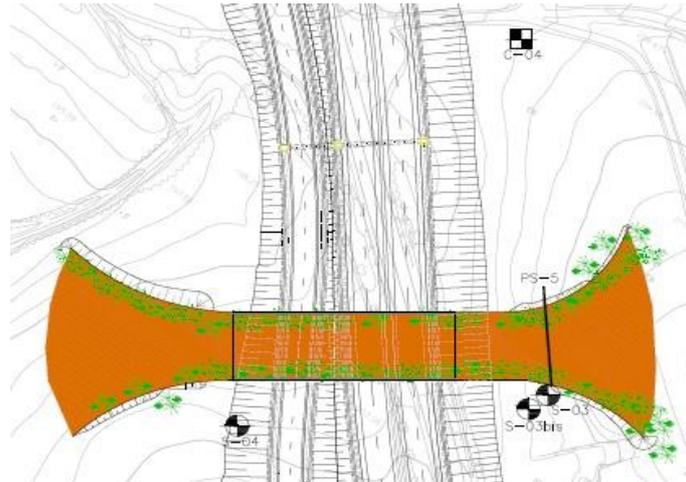
2. Análisis de la Campaña Geotécnica

Según aparecen enumerados en el apartado 2.2 del Estudio Geotécnico, los trabajos realizados durante la Campaña Geotécnica para el proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d'Hortons – Sant Esteve Sesrovires*, son los siguientes:

- 7 calicatas mecánicas
- 9 sondeos a rotación, con extracción de testigo
- 7 perfiles de sísmica de refracción
- 12 testigos de firme

Sin embargo, y concretando la relación de trabajos anterior a la zona de construcción del paso de fauna, éstos se reducen a una única calicata, 3 sondeos mecánicos y un perfil de sísmica de refracción, cuya situación se refleja en la imagen inferior.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Trabajos realizados durante la Campaña Geotécnica en la zona de implantación del paso de fauna

2.1. Calicatas mecánicas

2.1.1. Conceptos básicos

Se trata de excavaciones de media o pequeña profundidad, destinadas al reconocimiento geotécnico del terreno en el que se pretende construir una determinada infraestructura.

Se realizan con medios mecánicos, normalmente mediante pala retroexcavadora y, además de contribuir al estudio de proyectos de cimentaciones cuando el terreno es firme, también se emplean para la obtención de muestras destinadas a ensayos de laboratorio.

Normalmente se ejecutan hasta una profundidad de entre 3 y 4 m, a no ser que aparezca un estrato de roca competente o que la presencia del Nivel Freático lo impida. Por tanto, el objetivo principal de estas calicatas es el conocimiento de las capas de terreno más superficiales, permitiendo estudiar su naturaleza y la continuidad estratigráfica de las mismas.

Se requiere, además de la aplicación de aquellas reglas de buena práctica que proporciona la experiencia, que la ejecución de estas prospecciones se realice en zonas y a profundidades tales que no exista riesgo de alteración de las propiedades geotécnicas del terreno que ha de servir de base a la cimentación de la infraestructura.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

2.1.2. Calicatas mecánicas en la zona del paso de fauna

Para el proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*, se han ejecutado un total de 7 calicatas mecánicas distribuidas a lo largo de la traza de la futura carretera, y cuya ubicación y datos característicos aparecen en el apartado 2.2.4 del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo.

Sin embargo, y como ya se ha mencionado anteriormente, en la zona de emplazamiento del paso de fauna se localiza una única calicata, designada mediante el código C – 04, cuya localización respecto al puente queda reflejada en la imagen del apartado anterior y cuyas características básicas se adjuntan en la siguiente tabla:

Calicata	Coordenadas UTM	Profundidad (m)	Muestras alteradas	Nivel Freático	Perfil del terreno simplificado
C – 04	X: 405001 Y: 4592946 Z: 207	2	m – 3 (entre 0,5 y 1 m)	No detectado	0 – 0,2 m: Tierra vegetal 0,2 – 1,5 m: Limos carbonatados 1,5 – 2 m: Areniscas de grano fino

2.1.3. Análisis de la información disponible

En este apartado, se procederá al análisis propiamente dicho de la información disponible en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo sobre este tipo de prospecciones mecánicas.

2.1.3.1. Documentación básica

Siguiendo lo establecido en la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, las calicatas mecánicas deben quedar debidamente definidas y documentadas, para lo cual dispone una serie de datos que deben aparecer, como mínimo, en la documentación del proyecto constructivo:

—**Ubicación:** en la tabla-resumen del apartado 2.2.4 del Estudio Geotécnico aparecen cada una de las calicatas identificadas por sus coordenadas UTM. Esta información se complementa con una serie de planos de emplazamiento, en los que aparecen representadas tanto las calicatas como los sondeos mecánicos y los perfiles de sísmica de refracción realizados en la zona de construcción de la futura carretera.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

—**Fecha de realización:** en el apéndice que desarrolla la Campaña Geotécnica, aparecen una serie de fichas correspondientes a cada una de las calicatas realizadas. En estas fichas, entre otros datos de interés, aparece la fecha completa de ejecución de cada una de ellas. Para el caso concreto de la cata C – 04, se efectuó el 26 de septiembre de 2016.

—**Documentación fotográfica:** en la ficha correspondiente a la calicata C – 04 aparece una fotografía del modelo de retroexcavadora empleado, además de la zanja producida como consecuencia de la extracción de la muestra de terreno. Al tratarse de prospecciones de escasa profundidad, normalmente se recurre a esta clase de equipos mecánicos para realizarlas, reservando equipos de perforación más complejos para la ejecución de sondeos, de los que se hablará más adelante.

—**Descripción de los terrenos encontrados:** tanto en la ficha correspondiente a cada calicata, recogidas en el apéndice 3 de la Campaña Geotécnica, como en la tabla-resumen que aparece en el apartado 2.2.4 del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, aparece una breve descripción de los terrenos encontrados a medida que avanza la profundidad de excavación.

—**Existencia de agua y ubicación del Nivel Freático:** a partir de las prospecciones realizadas para la redacción del proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*, puede deducirse que el Nivel Freático no ha sido detectado en ningún punto de la zona de construcción de la nueva carretera. Esta conclusión queda reflejada en la tabla-resumen del apartado 2.2.4 del Estudio Geotécnico.

—**Identificación de muestras:** para la calicata C – 04, se ha recogido una única muestra alterada que recibe el nombre de m – 3, entre los 0,5 m y el metro de profundidad. Esta muestra se cataloga en el proyecto como MR o muestra representativa.

—**Ensayos *in situ* sobre las muestras tomadas en dicha cata:** al tratarse de una muestra alterada y de carácter representativo, no se puede efectuar sobre ella ningún ensayo en condiciones *in situ*.

2.1.3.2. Profundidad de excavación

Resulta evidente que las calicatas mecánicas no dejan de ser prospecciones de escasa envergadura, teniendo en cuenta las posibilidades de los equipos de movimiento de tierras empleados (normalmente retroexcavadoras).

No obstante, al menos la profundidad alcanzada por la cata C – 04 se encuentra dentro de los márgenes habituales para esta clase de trabajos, ya que se ha llegado a los 2 m de profundidad cuando lo habitual es no superar los 3 – 4 m. Como se expondrá más adelante, no ha sido posible excavar a mayor profundidad en esta zona por la disminución de la ripabilidad del terreno a medida que aumenta la profundidad de la prospección.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

2.1.3.3. Ensayos realizados

La muestra tomada de la calicata C – 04, catalogada con el código m – 3, se trata de una muestra representativa por lo que queda descartada para la práctica de ningún tipo de ensayo en condiciones *in situ*.

Sin embargo, una muestra de estas características cumple las condiciones necesarias para poder ser ensayada en laboratorio. De hecho, en el anejo de ensayos de laboratorio de la Campaña Geotécnica aparecen especificados los ensayos que han sido practicados sobre ella, y que se han analizado en el apartado 2.5 del presente anejo con las conclusiones que se detallarán posteriormente.

2.1.3.4. Columna litológica del terreno

Al tratarse de una muestra obtenida a partir del medio metro de profundidad, proporcionará información sobre la columna litológica de las capas más superficiales del terreno.

Así pues, a partir de la calicata C – 04 se conoce que los primeros 20 cm corresponden a tierra vegetal, dando paso a una capa de limos carbonatados de color marrón claro, con abundantes pátinas de color blanco y nódulos de carbonato. Se considera un buen terreno desde el punto de vista de la cohesión, y fácilmente ripable.

A partir del metro y medio de profundidad se localiza una capa de areniscas, de color gris claro y grano fino. Se trata de un conglomerado que puede deshacerse fácilmente entre las manos, y conforme se avanza en profundidad, la ripabilidad se vuelve cada vez más complicada.

2.1.3.5. Presencia del Nivel Freático

Por último, apuntar nuevamente que la no presencia del Nivel Freático es una evidencia que va a aparecer a lo largo del análisis de los trabajos realizados durante la Campaña Geotécnica del proyecto constructivo que se está analizando.

Esto es así porque, como se ha mencionado en apartados anteriores, el Nivel Freático no ha sido detectado en ninguna de las prospecciones realizadas para la redacción del proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d'Hortons – Sant Esteve Sesrovires*.

Este hecho condicionará positivamente las diversas fases de diseño y ejecución de la nueva carretera y las estructuras derivadas de su construcción, como el paso de fauna objeto de este estudio.

Los motivos son, por un lado, que no será necesario considerar la presencia de agua en los diversos cálculos a realizar para el posterior dimensionamiento de las cimentaciones del paso de fauna. Y por otro, que tampoco va a condicionar las diferentes fases de ejecución de las obras, descartando la necesidad de recurrir a

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

equipos de bombeo y evacuación del agua de la capa freática mientras se procede a las operaciones de vaciado.

2.2. Perfiles de sísmica de refracción

2.2.1. Definición

Se trata de una técnica incluida dentro de los llamados **procedimientos geofísicos**, que estudian la variación espacial de una propiedad física del terreno mediante la aplicación de técnicas no destructivas.

Un perfil de sísmica de refracción permite obtener la velocidad de propagación de las ondas primarias (P), y en ciertas ocasiones también de las secundarias (S), en una determinada dirección y a distintas profundidades. La velocidad de propagación de estas ondas dependerá de la densidad y las propiedades elásticas del medio a través del que se transmiten.

2.2.2. Metodología de trabajo

Esta técnica consiste en generar ondas elásticas en el terreno, para después medir el tiempo que tardan en llegar a una hilera de geófonos colocados a lo largo de la línea de estudio. Las ondas se emiten a partir de una fuente de energía mecánica conectada a un disparador, de manera que cuando comienza la emisión de las mismas, este disparador enviará una señal al equipo de registro para que comience a funcionar.

Para estudiar la forma en que se transmiten estas ondas sísmicas a través del terreno, se recurre a las mismas leyes de propagación de rayos de luz que rigen la Óptica. Siguiendo este razonamiento, cuando una onda incide sobre la interfaz que separa dos medios de propiedades elásticas diferentes, una parte de la energía transmitida se refleja y otra se refracta pasando al siguiente medio.

Será, por tanto, esta onda refractada la que se medirá desde cada uno de los geófonos instalados a tal efecto.

2.2.3. Correcciones de los datos registrados

Por otra parte, los datos recogidos en los registros no son utilizados directamente, sino que requieren previamente de la aplicación de una serie de correcciones que pasan a describirse a continuación:

—**Staking**: corrección aplicada para mitigar los efectos de la naturaleza aleatoria de las señales sísmicas, tanto en el tiempo como en las frecuencias que las componen.

—**Sensibilidad**: corrección que recoge el hecho de que las señales sísmicas se van reduciendo con la distancia, y sirve para calibrar la sensibilidad de los geófonos.

De esta manera, se conseguirá que los registros obtenidos presenten una escala suficiente para poder compararlos entre ellos, con independencia de la distancia del geófono a la fuente sísmica.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

—**Filtro de frecuencias:** corrección aplicada por la posible mezcla de frecuencias de las señales sísmicas y de corrientes eléctricas cercanas.

—**Correcciones topográficas:** como es evidente, la orografía influirá en los resultados obtenidos y será necesario tenerla en cuenta a través de una serie de correcciones.

2.2.4. Aplicaciones

Pueden alcanzarse profundidades de reconocimiento de entre 20 y 30 m, y suele utilizarse en la determinación del espesor de suelos que se encuentran por encima de formaciones rocosas, así como para determinar el grado de ripabilidad que presenta el terreno estudiado.

2.2.5. Inconvenientes

El uso de esta técnica tiene como inconveniente que la velocidad de propagación de las ondas a través del terreno debe mantenerse siempre creciente con la profundidad. En caso de no cumplirse este requisito, los modelos de sísmica de refracción resultantes no reproducirán la realidad del subsuelo.

2.2.6. Perfiles en la zona del paso de fauna

Para el proyecto de *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*, se han realizado un total de 7 perfiles de sísmica de refracción. Este informe ha sido encargado a la empresa *GS Ingeniería* por parte de *Geomar SL*, la empresa encargada de la realización de la Campaña Geotécnica para el citado proyecto constructivo.

Cada uno de estos perfiles está compuesto por 12 geófonos separados a intervalos de 5 m, de manera que mientras los 4 primeros perfiles se sitúan en una zona de topografía abrupta donde se prevé la ejecución de desmontes de especial envergadura, se ha ejecutado uno en la zona en que se construirá el estribo norte del paso de fauna.

Dicho perfil geofísico corresponde al llamado PS – 5, presenta una longitud de 60 m y se sitúa en la zona del *torrent de Sant Joan*. Su función, junto con la del perfil PS – 6, es servir de complemento a la información obtenida a partir de los sondeos y calicatas mecánicas para obtener datos referentes al perfil del terreno y el grado de excavabilidad del mismo.

Los datos de longitud y coordenadas del inicio y final del perfil se recogen en la tabla-resumen del apartado 2.2.6 del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo. La situación de estos, el desglose de resultados obtenidos y la interpretación que se les da aparecen en el apéndice 3 de la Campaña Geotécnica, concretamente en el informe de Geofísica.

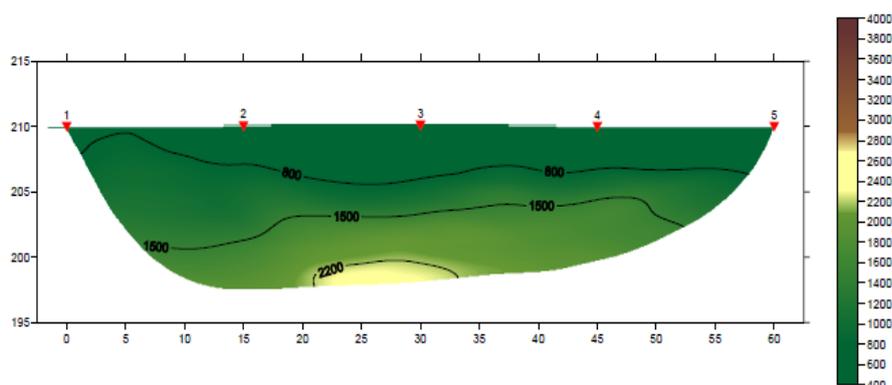
Perfil sísmico	Coordenadas		Coordenadas	Longitud (m)
	UTM Inicio de perfil	de		
PS – 5	X: 405042 Y: 4592902		X: 405085 Y: 4592859	60

2.2.7. Análisis de la información disponible

Al igual que para las calicatas mecánicas, una vez realizada la introducción teórica y expuesto los detalles referentes al perfil de sísmica de refracción realizado en la zona de construcción del paso de fauna, se procede a analizar la información obtenida a partir de la realización del mismo y las conclusiones que de ella se derivan.

Así pues, una vez efectuadas las correcciones expuestas en el apartado 2.2.3 del presente anejo, se procesa la información para obtener el modelo de distribución de velocidades del subsuelo.

Concretamente para el perfil PS – 5, correspondiente al estribo norte del paso de fauna, se ha obtenido el siguiente perfil de velocidades de ondas P:



Perfil de velocidades sísmicas para el perfil PS – 5 (Campaña Geotécnica realizada para el proyecto constructivo Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires)

Observando el modelo que se deduce de la imagen anterior, y teniendo en cuenta la naturaleza de los materiales atravesados por las ondas sísmicas, se distinguen en la zona de estudio dos niveles desde el punto de vista de la ripabilidad del terreno:

—**1º nivel**: corresponde a la zona pintada en tonos verdes. Se caracteriza por presentar velocidades de propagación inferiores a los 2200 m/s y se considera **material ripable**. Este nivel presenta una potencia aproximada de unos 12 m.

—**2º nivel**: corresponde a la zona pintada en tonos amarillos. En dicho nivel, las velocidades de propagación se encuentran entre los 2200 m/s y los 2800 m/s, considerándose los materiales que lo componen de **ripabilidad marginal**. Este nivel abarca hasta la profundidad máxima a la que ha llegado el estudio geofísico.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Además de determinar el grado de ripabilidad del terreno, los resultados obtenidos permiten confirmar que se cumple el requisito que para este método establece la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera. Se recuerda que para que se produzca la refracción de las ondas sísmicas a través del terreno, y por tanto su propagación, la velocidad de las mismas debe mantenerse creciente con la profundidad.

2.3. Sondeos mecánicos

2.3.1. Conceptos básicos

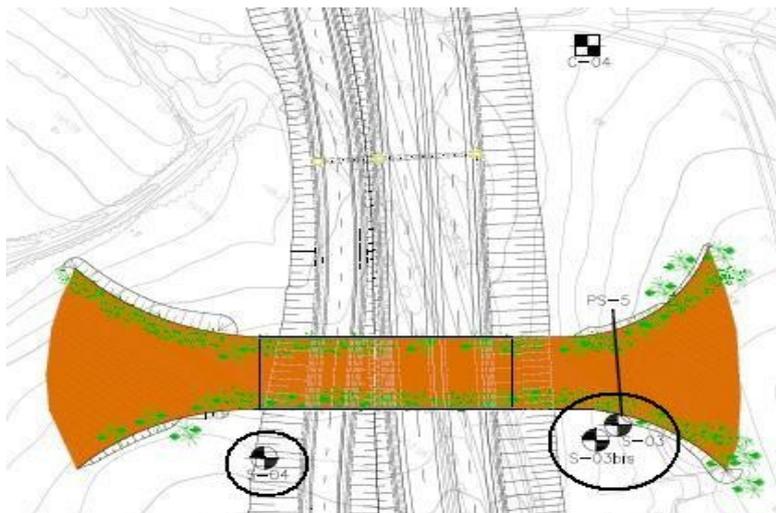
La práctica de perforaciones o sondeos mecánicos, constituye la técnica de reconocimiento que proporciona datos más precisos sobre las características del terreno en profundidad. Se trabaja con diámetros de perforación de entre 65 y 130 mm, y se pueden alcanzar profundidades superiores a las conseguidas mediante calicatas mecánicas.

A partir de ellos, pueden obtenerse muestras tanto inalteradas como alteradas para su posterior ensayo en laboratorio, además de permitir la realización de ensayos *in situ* como los ensayos de penetración estándar (SPT), presiómetros o ensayos de permeabilidad.

2.3.2. Sondeos mecánicos en la zona del paso de fauna

Para la redacción del proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*, se han efectuado un total de 9 sondeos con extracción continua de testigo a lo largo de la zona por la que discurrirá el nuevo trazado.

De estos 9 sondeos solo 3 pertenecen a la zona de emplazamiento del paso de fauna objeto de este estudio, distribuidos de manera que 2 de ellos se localizan en la zona en la que se construirá el estribo norte del puente y el tercero en la del estribo sur. Tal como puede apreciarse en la imagen adjunta, extraída del anejo de planos incluido en la Campaña Geotécnica del proyecto constructivo, los sondeos ejecutados en la zona del estribo norte reciben el nombre de S – 03 y S – 03 bis, mientras que el sondeo ubicado en la zona de construcción del estribo sur corresponde al S – 04.



Situación de sondeos en la zona de implantación del paso de fauna

2.3.3. Análisis de la información disponible

2.3.3.1. Documentación requerida

La Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera establece una serie de requisitos destinados a que los sondeos queden debidamente documentados. Estos datos se recogen en un parte de ejecución asociado a cada prospección que se ejecute y debe incluir, al menos, la siguiente información:

—**Datos de identificación del sondeo**: cada sondeo se encuentra designado por un código constituido por la letra S, seguida de un número que marca su posición en la secuencia de perforaciones realizadas sobre el trazado de la futura carretera.

—**Identificación de la empresa y el sondista**: como es lógico, los sondeos deben ser realizados por técnicos competentes en la materia para garantizar unos resultados de la mayor fiabilidad posible. Es, por tanto, necesaria la identificación de la empresa que se va a encargar de la ejecución de estos trabajos.

En el caso del proyecto constructivo que se está analizando, dicha empresa es *Geomar. Enginyeria del terreny*, con sede en la calle Valencia de la ciudad de Barcelona, y que proporciona servicios y asesoramiento técnico relacionados con la ingeniería.

Tienen, además, una página web en la que se pueden consultar los diferentes campos de asesoramiento ingenieril en los que están especializados, además de los diferentes ensayos de laboratorio que realizan y los proyectos de desarrollo e innovación en los que están involucrados.

—**Coordenadas de la boca del sondeo**: tal como se puede observar en el apartado 2.2.2 del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, se recoge una tabla-resumen en la que cada sondeo está definido por su código y las coordenadas UTM que los sitúan geográficamente en cada uno de los planos que definen el trazado de la nueva

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

carretera. Estos planos pueden consultarse en el anejo de planos de la Campaña Geotécnica.

Código del sondeo	Coordenadas UTM	Longitud del sondeo (m)
S – 03	X: 405074 Y: 4592868 Z: 208,5	14
S – 03 bis	X: 403450 Y: 4594400 Z: 208	4,1
S – 04	X: 405011 Y: 4592811 Z: 204	15

—**Descripción del equipo de perforación utilizado**: siguiendo con la información proporcionada por el apartado 2.2.2 del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, y tras consultar el anejo de la Campaña Geotécnica, puede concluirse que los únicos datos referentes al equipo utilizado para realizar los sondeos hacen referencia a un tubo de diámetro variable denominado batería, el cual es extraído posteriormente con el testigo del terreno en su interior. No especifica, por tanto, el procedimiento empleado ni realiza ninguna descripción del equipo de perforación utilizado para tal fin.

—**Diámetro de perforación y procedimientos de entubación**: tal como se ha mencionado en el apartado anterior, apenas se hace referencia a los detalles del procedimiento empleado para la realización de los sondeos, ni para la obtención de testigos como consecuencia de su ejecución.

De hecho, no se especifica el diámetro de la perforación, que según la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera debe ser como mínimo de 76 mm en el fondo de la misma. Con este tamaño de diámetro pueden realizarse la mayoría de ensayos *in situ*, y dado que se han efectuado un total de 12 ensayos de penetración estándar (SPT) en la zona de emplazamiento de la futura carretera, es razonable suponer que se haya recurrido a este valor, aunque no se especifique claramente en ningún punto del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo.

De los procedimientos de entubación, sólo especifica que se trata de un tubo de muestreo de diámetro variable que recibe el nombre de batería.

Debe suponerse, por tanto, que esta información referente al procedimiento constructivo aparecerá en la Memoria del proyecto *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

—**Fecha de realización del sondeo:** en el anejo correspondiente a la Campaña Geotécnica del proyecto constructivo, y más concretamente en las fichas del perfil litológico y las fotos de los testigos obtenidos, aparece la fecha en que se han ejecutado los diferentes sondeos junto a su código de asignación y la profundidad o cota a la que se ha llegado en cada caso.

Toda esta información se adjunta en la siguiente tabla:

Sondeo	Fecha de realización	Cota (m)
S – 03	15/09/2016	208,5
S – 03 bis	10/10/2016	208
S – 04	15/09/2016	204

A raíz de la información anterior, queda claro que en principio se ejecutó un único sondeo en cada zona de emplazamiento de los estribos del puente, y que posteriormente se realizó un tercer sondeo, el S – 03 bis, próximo al S – 03 para completar la información recogida en este último.

—**Relación de muestras tomadas a lo largo de la perforación:** a partir de la información recogida en el anejo de la Campaña Geotécnica del proyecto constructivo, se adjunta una tabla-resumen en la que aparece la relación de muestras tomadas durante la ejecución de cada uno de los sondeos en la zona del paso de fauna, especificando si son inalteradas (MI) o representativas (MR), la profundidad a la que han sido tomadas y su longitud.

Además de las muestras inalteradas y alteradas, se incluye la muestra tomada a raíz del ensayo de penetración estándar realizado durante la ejecución del sondeo S – 04, y que está catalogada con el código m – 23.

Código muestra	Tipología	Sondeo	Profundidad (m)	Longitud (m)
m - 18	MI	S – 03	3	0,6
m - 19	MR	S – 03	7	0,2
m - 20	MR	S – 03	10	0,2
m - 21	MR	S – 04	11,1	0,3
m - 22	MR	S – 04	1,8	0,2
m - 23	SPT	S – 04	2	0,3
m - 24	MR	S – 04	3,8	-
m - 25	MR	S – 04	4,6	0,2
m - 26	MR	S – 04	7,5	-
m - 27	MR	S – 04	12,2	0,3
m - 28	MR	S – 04	12,7	0,3

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

—**Relación de ensayos *in situ* realizados en el sondeo**: se ha recurrido a ensayos de penetración estándar (SPT) para estudiar el comportamiento del terreno en las condiciones menos alteradas posibles. Para sintetizar esta información, se ha recogido el número de ensayos SPT realizados durante cada uno de los sondeos mecánicos en la tabla siguiente:

Sondeo	Nº ensayos SPT ejecutados
S – 03	1
S – 03 bis	2
S – 04	1

—**Incidencias en la ejecución**: no se ha registrado ningún tipo de incidencia durante la ejecución de los sondeos mecánicos, a la luz de la información analizada en la documentación disponible tanto de la Campaña Geotécnica como del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo.

—**Registro de parámetros de perforación**: al igual que en el caso de los diámetros de perforación, no aparece en la documentación disponible del proyecto constructivo ninguna referencia a parámetros de perforación tales como la velocidad de avance de la misma o el par de torsión, que la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera considera que pueden resultar de interés en determinadas situaciones.

2.3.3.2. Objetivos a alcanzar

De acuerdo con lo establecido en la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, la realización de sondeos mecánicos persigue los siguientes objetivos:

—**Testigos del terreno**: la ejecución de sondeos a rotación con extracción continua de testigo permite la obtención de muestras que, a su vez, proporcionan un mejor conocimiento de la estructura del terreno.

—**Muestras representativas**: centrando este punto en la zona de emplazamiento del paso de fauna, se ha recogido una única muestra inalterada (MI) y 3 muestras alteradas de carácter representativo (MR) durante la ejecución del sondeo S – 03. Asimismo, se han recogido un total de 6 muestras representativas (MR) mientras se procedía a la realización el sondeo S – 04 en la zona de construcción del estribo sur.

Estas muestras han sido tomadas a diferentes profundidades y su recogida, así como la programación de la campaña de ensayos de laboratorio, corresponde a un geólogo competente que se encarga también de supervisar el proceso de ejecución de los sondeos y calicatas mecánicas.

—**Ensayos *in situ***: la propia metodología de ejecución de sondeos mecánicos permite realizar ensayos del terreno en condiciones *in situ*, esto es, en unas condiciones en las que apenas ha sufrido alteraciones como consecuencia de las prospecciones realizadas.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Para el proyecto constructivo que se está analizando se ha recurrido a la realización de ensayos de penetración estándar (SPT), y aunque posteriormente se ampliará la información referente a los mismos, se adjunta una tabla en la que aparece resumida la información referente al número de ensayos SPT, así como la tipología de las muestras tomadas en cada uno de los sondeos de la zona del paso de fauna:

Sondeo	Muestras representativas (MR)	Muestras inalteradas (MI)	Ensayos SPT
S – 03	3	1	1
S – 03 bis	-	-	2
S – 04	6	-	1

Cabe destacar, además, que durante la realización del ensayo SPT en el sondeo mecánico S – 04, se ha tomado una muestra que posteriormente será ensayada en laboratorio junto con las muestras inalteradas y representativas que se especifican en la tabla anterior.

—**Tuberías piezométricas para controlar el Nivel Freático:** uno de los aspectos que más se ha destacado del proyecto constructivo que se está analizando, es que no se ha detectado la presencia del Nivel Freático en toda la zona de emplazamiento de la nueva carretera, y por lo tanto tampoco aparece en la zona donde se construirá el paso de fauna objeto de este estudio.

Queda demostrado así en los 9 sondeos con extracción continua de testigo que se han ejecutado entre los términos municipales de *Sant Llorenç d’Hortons* y *Sant Esteve Sesrovires*, y cuyo resumen de resultados aparece en el apartado 2.2.2 del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo.

Por tanto, no será necesaria la instalación de tubos piezométricos que ayuden a controlar los vaivenes de un Nivel Freático que se sabe a ciencia cierta que no va a afectar a la construcción de la nueva infraestructura.

—**Otros métodos de auscultación:** no se ha encontrado información al respecto en el proyecto constructivo que se está analizando, por lo que no se considera necesario recurrir a ellos.

2.3.3.3. Procedimiento de ejecución

Una vez analizada toda la información disponible referente a sondeos mecánicos, puede concluirse que en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo apenas se hace referencia al procedimiento de ejecución empleado, ni en lo referente al equipo de perforación, ni a las dimensiones básicas del mismo como el diámetro de la perforación, ni a los parámetros propios de estas prospecciones. Se ha centrado, más bien, en los resultados de los ensayos realizados durante la Campaña Geotécnica.

Es evidente que, desde el punto de vista geotécnico, lo realmente importante son los resultados tanto de los ensayos *in situ* como de los realizados en laboratorio, porque son estos datos los que permitirán comprender mejor la estructura y comportamiento del terreno sobre el que se va a implantar la nueva infraestructura.

Asimismo, estos ensayos proporcionan también los valores de los parámetros geotécnicos necesarios para el dimensionamiento de las alternativas que se establecerán para la ejecución de las cimentaciones del paso de fauna.

Sin embargo, no hay que perder de vista que un Estudio Geotécnico no deja de formar parte de un conjunto más amplio como es un proyecto constructivo, y cuanto más se concrete en los requerimientos necesarios para su ejecución, mejor podrá programarse el plan de obra y los diferentes trabajos necesarios para la materialización de la infraestructura sobre el terreno.

Por tanto, y a no ser que esta información aparezca en otro documento del proyecto constructivo como puede ser la Memoria, sería recomendable especificar el equipo más idóneo para ejecutar las prospecciones destinadas a conocer mejor la estructura del terreno con el que se va a trabajar.

2.3.3.4. Fotografías de los testigos

Según la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, las fotografías de los testigos deben aparecer en color y no abarcar más de 5 m de longitud cada una. Observando las fotografías tomadas para cada uno de los sondeos en el apéndice correspondiente a la Campaña Geotécnica, puede comprobarse que comprenden 2,4 m de longitud cada una, con lo cual entrarían dentro de la restricción establecida por la Guía.

Además, presentan la suficiente resolución para poder compararlas con el perfil litológico, deducido por un técnico competente a partir del examen exhaustivo de los testigos procedentes de los sondeos realizados.

2.3.3.5. Reconocimientos opcionales

A parte de la información sobre el sondeo especificada anteriormente, la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera establece una serie de reconocimientos opcionales que pueden realizarse a lo largo del mismo, y que tienen como objetivo servir de apoyo para el estudio de problemas de cimentación más específicos.

Entre dichos reconocimientos, que reciben el nombre de **diagráfias**, cabe destacar los que se señalan a continuación:

- Verticalidad del sondeo
- Variaciones del diámetro del sondeo en profundidad
- Realización de fotografías y vídeos de las paredes del sondeo para su posterior análisis
- Impresión, en láminas metálicas delgadas, de las paredes del sondeo
- Testificación eléctrica, aprovechando la conductividad del terreno en el que se realiza el sondeo
- Medición de temperatura a lo largo del sondeo

Sin embargo, analizando la información disponible en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, así como los apéndices referentes a la Campaña Geotécnica y al Estudio Geofísico, no se han encontrado datos de que se haya realizado ninguno de los reconocimientos enumerados anteriormente.

Cabe destacar que se ha revisado también el apartado de estudio de cimentaciones del Estudio Geotécnico, concretamente la parte donde se analiza la zona del futuro paso de fauna. En dicho apartado, se hace referencia a los resultados de los ensayos realizados en dicha zona, así como la caracterización de las Unidades Geotécnicas presentes en la misma, y las recomendaciones sobre el tipo de cimiento más adecuado para los estribos y la zona de pilas intermedias que conformarán el puente.

Sin embargo, en ningún momento se habla de problemas especiales de cimentación que requieran recurrir a las diagráfias.

2.3.3.6. Incidentes durante la ejecución de los sondeos

Por último, y tras haber analizado la información disponible en el anejo de la Campaña Geotécnica y la parte del Estudio Geotécnico que tiene que ver con los sondeos mecánicos, puede concluirse también que no aparece en los mismos ningún dato ni especificación que haga referencia a incidentes durante la ejecución de estas prospecciones.

Se entiende, por tanto, que no ha habido contratiempos durante el proceso de perforación debidas a algún fallo en el equipo utilizado, aparición de materiales cuya existencia no estaba prevista o cualquier otro imprevisto que pueda alterar el

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

programa de ejecución de los sondeos en la zona del paso de fauna, o en el ámbito del proyecto constructivo del que forma parte.

2.4. Ensayos *in situ*

2.4.1. Objetivo y aplicaciones

Como es evidente, resulta bastante complicado evitar la alteración de las características del terreno cuando se extrae una muestra del mismo para analizarlo. Es este el motivo principal de la realización de ensayos *in situ*, para estudiar, de este modo, el comportamiento del terreno en las condiciones naturales en las que se encuentra.

De entre los posibles ensayos *in situ* que podrían realizarse para el estudio de obras de cimentación en carreteras, el más utilizado es el **ensayo de penetración estándar SPT (Standard Penetration Test)**, regulado en España según la norma UNE EN ISO 22476-3.

Este ensayo se realiza en el fondo del sondeo y permite, además de obtener la consistencia del terreno, tomar una muestra del mismo que pueda considerarse inalterada a efectos prácticos.

Por otra parte, los resultados obtenidos de este tipo de ensayos pueden utilizarse para estimar la carga de hundimiento de cimentaciones tanto superficiales como profundas, así como los asentamientos producidos por las mismas.

La Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera recomienda especialmente su utilización en suelos granulares, y aunque existen relaciones empíricas entre los resultados del SPT y la resistencia de suelos cohesivos, la Guía recomienda que se consideren como información puramente orientativa.

Asimismo, tampoco es aconsejable el empleo de los resultados del SPT para la determinación de la carga de hundimiento de cimentaciones profundas en terrenos arenosos calcáreos, sobre todo si éstos son de origen orgánico. De hecho, la Guía recomienda en estos casos recurrir a la experiencia que los técnicos competentes puedan tener en esta clase de terrenos.

Por último, es muy importante adjuntar junto a los resultados del ensayo SPT las características del equipo que se ha utilizado, así como las correcciones aplicadas en caso de tener que recurrir a ellas.

2.4.2. Metodología del ensayo SPT

Para la realización de este ensayo, se dispone de un tomamuestras tubular muy robusto de 51 mm de diámetro exterior y 35 mm de diámetro interior, con la punta biselada.

El procedimiento consiste en realizar el sondeo hasta la profundidad a la que se desea realizar la prueba. Una vez alcanzada dicha profundidad, se detiene la entubación del sondeo y se procede a limpiar el fondo del mismo antes de colocar el tomamuestras, también conocido como cuchara SPT.

Una vez apoyado, se procede a hincarlo dejando caer una maza de 63,5 kg desde una altura de 76 cm, midiendo el número de golpes necesarios para hincarla una profundidad de 30 cm. Este número de golpes es el resultado del ensayo y se representa mediante el llamado índice N_{30} .

El recuento de golpes se realizará en tramos de 15 cm, de forma que el primer tramo no se tiene en cuenta por considerarse de penetración por asiento. Son el segundo y el tercer tramo los que se consideran válidos a efectos del resultado del ensayo, haciendo penetrar la punta del tomamuestras hasta una profundidad total de 45 cm (aunque es normal llegar hasta los 60 cm. De hecho, sucede en varios de los ensayos SPT realizados durante la Campaña Geotécnica). El índice N se representaría, por tanto, como suma de golpes en estos dos últimos tramos.

Cabe puntualizar que, en caso de que se alcancen los 50 golpes en alguno de los tramos citados anteriormente, o sean necesarios más de 100 en la totalidad de los tramos, se dará por finalizado el ensayo considerándose como “rechazo” el resultado de la prueba.

2.4.3. Factores de afección

Como todo ensayo que pretende realizarse, está sujeto a múltiples factores que pueden alterar su resultado. Algunos de ellos son subsanables gracias al empleo de ciertos factores de corrección, pero otros dependen de la experiencia del operario encargado de la ejecución del mismo, y que deben evitarse en la medida de lo posible.

Algunos de los condicionantes que pueden alterar el resultado de un ensayo SPT son los siguientes:

—**Sifonamiento**: este fenómeno puede producirse debido a la presencia de agua acumulada en el fondo del sondeo. Sin embargo, en la zona de emplazamiento del paso de fauna no se ha detectado la presencia de Nivel Freático, con lo que este riesgo quedaría completamente descartado.

—**Deficiente limpieza del fondo, entubación del sondeo demasiado alta respecto del mismo o que haya penetrado más de lo necesario**: estos factores entran dentro de las normas de buena práctica que deberían seguir los operarios que trabajan tanto en la realización del sondeo como del ensayo



—**Diferente energía aplicada:** este hecho puede deberse, a su vez, a varios factores.

- Maza o altura de caída diferentes a las normalizadas
- Pérdidas por rozamiento durante la caída de la maza
- Varillaje de peso distinto al estándar
- Varillaje que presente uniones débiles en su estructura o desviaciones de su verticalidad
- Sufridera y guía que estén defectuosas o descentradas
- Golpe excéntrico

—**Falta de fiabilidad en los resultados:** esto puede deberse a que el tomamuestras no esté en condiciones de proporcionar resultados satisfactorios por deterioro, biseles romos o encontrarse atascado.

—**Excesivo diámetro del sondeo:** al no aparecer información referente al diámetro utilizado en la ejecución de los sondeos mecánicos, no puede aclararse si éste ha resultado excesivo o no.

—**Rechazo:** la situación de rechazo no sería válida si es provocada por la presencia de un bolo en el fondo del sondeo, ya que, posiblemente, la ausencia de éste proporcionaría resultados diferentes.

2.4.4. Análisis de la información disponible

2.4.4.1. Resultados del ensayo SPT

En el apartado 2.2.3 del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, que hace referencia a los ensayos de penetración estándar (SPT), se habla de una corrección aplicada al índice N_{30} cuando supera el valor de 15.

Esta corrección se aplica debido a la presencia de Nivel Freático en zonas de limos y arenas finas, considerando que el efecto del golpeo provoca una reducción de la resistencia a corte del terreno como consecuencia del aumento de las presiones intersticiales en el mismo, y se materializa en la siguiente expresión:

$$N_{30 \text{ corregido}} = 15 + ((N_{30} - 15) / 2)$$

Los resultados de los ensayos SPT en los sondeos ejecutados en la zona de emplazamiento del paso de fauna se recogen en la tabla siguiente:

Sondeo	Ensayo SPT	Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	Unidad Geotécnica	N_{30}	$N_{30 \text{ corregido}}$
S – 03	SPT – 1	7,5	8,8	T	Rechazo	Rechazo
S – 03 bis	SPT – 1	1	1,5	T_{alt}	77	100
S – 03 bis	SPT – 2	3,5	4,1	T	Rechazo	Rechazo
S – 04	SPT – 1	2	2,2	Q_c	Rechazo	Rechazo

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

A la vista de los resultados obtenidos, se detecta una anomalía en el único ensayo SPT realizado en el sondeo S – 03. Siguiendo los datos de la tabla se ha hincado la punta del tomamuestras hasta una profundidad de 130 cm, cuando lo máximo que se alcanza según la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera son 60 cm.

Se ha alargado, por tanto, la longitud analizada mediante golpes innecesariamente y se ha concluido que el resultado de la prueba es de rechazo. Es por esto que se tiene la incertidumbre de cual habría sido el resultado si se hubiera cumplido el requisito de considerar tres tramos de 15 cm cada uno, sumando el total de golpes de los dos últimos, pudiendo llegar a un total de 60 cm de hinca.

Se recomendaría, por tanto, descartar el uso de este valor dada la escasez de fiabilidad del mismo.

Pasando ahora a las dos pruebas SPT realizadas en el sondeo S – 03 bis, lo primero que se observa es que la profundidad de hinca del tomamuestras entra dentro del rango establecido en la Guía (50 cm en el primer ensayo y 60 cm en el segundo), con lo que se elimina el problema de incertidumbre de resultados que se apuntaba para el sondeo anterior.

Por otra parte, se ha detectado un error que podría aplicarse a los resultados de los 4 ensayos SPT efectuados en el emplazamiento del paso de fauna. Y es que, como bien especifica el Estudio Geotécnico, el Nivel Freático no se ha detectado en ninguno de los sondeos realizados a lo largo de la zona donde se implantará la nueva carretera. Con lo cual, el presente estudio no considera necesaria la aplicación de esta corrección.

En cualquier caso, dado que el terreno existente en la zona de construcción del paso de fauna es predominantemente cohesivo y la Guía recomienda el uso de los SPT sólo para terrenos granulares, no se tendrán en cuenta los resultados de estos ensayos para el dimensionamiento geotécnico de sus cimentaciones.

2.4.4.2. Equipo de perforación empleado

Por otra parte, además de las observaciones realizadas a partir de los resultados de los ensayos SPT realizados, y que se adjuntan en la tabla del principio de este apartado, cabe puntualizar un aspecto que ya se había mencionado para los sondeos mecánicos, y que viene a confirmarse tras analizar la información referente a los ensayos *in situ*.

La cuestión es que no se especifican las características del equipo empleado para la perforación del mismo, aludiendo a la descripción general del tomamuestras empleado para la realización del ensayo SPT.

No sólo no aparecen referencias a las dimensiones del tomamuestras o cuchara SPT, sino que tampoco se especifican las medidas normalizadas ni de la maza de golpeo a emplear, ni de la altura desde la cual debe dejarse caer.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Sin embargo, se deduce que esta información no aparece porque al tratarse de un ensayo normalizado, las dimensiones y condiciones en que debe realizarse se consideran suficientemente conocidas. Aun así, no está de más incluirlas para el mejor entendimiento del proyecto por parte de los responsables de su ejecución.

2.4.4.3. Estimación de la carga de hundimiento

Como en su momento se introdujo en el apartado referente a los ensayos *in situ*, la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera recomienda el empleo de los resultados del SPT para la estimación de la carga de hundimiento en suelos granulares. Por contra, desaconseja o considera como información orientativa la carga de hundimiento estimada en suelos de carácter cohesivo.

A la vista de las columnas litológicas obtenidas a partir de las prospecciones realizadas en la zona de construcción del paso de fauna, es evidente que el terreno existente es predominantemente cohesivo. Por tanto, los resultados de los SPT realizados a raíz de los sondeos en la zona no deberían emplearse para la estimación de la carga de hundimiento en cimentaciones.

Este hecho deberá tenerse en cuenta, puesto que la estimación de la carga de hundimiento constituye un punto fundamental en el dimensionamiento geotécnico de las cimentaciones del paso de fauna.

2.5. Ensayos de laboratorio

2.5.1. Apéndice de ensayos de laboratorio

Analizando el apéndice de ensayos de laboratorio realizados durante la Campaña Geotécnica, lo primero que se observa es que ha sido estructurado en tres grandes bloques según la procedencia de las muestras con las que se va a trabajar. Así pues, comienza con los ensayos practicados sobre las muestras de calicatas mecánicas, siguiendo con las muestras tomadas de los sondeos y finalizando con los testigos que se han obtenido del firme de la carretera B – 224 existente.

Además, cada uno de estos subapartados comienza con un listado de los ensayos practicados a cada una de las muestras consideradas, para después resumir en una tabla los resultados obtenidos en los mismos. Por último, se procede a ampliar la información de cómo se ha llegado a los resultados anteriores.

2.5.2. Ensayos realizados durante la Campaña Geotécnica

2.5.2.1. Identificación y clasificación del suelo

El objetivo que persigue este bloque de ensayos es situar el suelo analizado en un grupo en el que comparta características geológicas y geotécnicas con otros similares. El criterio de clasificación utilizado fue propuesto por Casagrande y se basa en los resultados de dos tipos de ensayos: granulometría y límites de Atterberg.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Una vez clasificado el suelo, se procederá a la obtención de su **densidad aparente**, su **densidad seca** y su **humedad natural**, cuyos resultados se adjuntarán cuando se proceda a analizar cada una de las muestras tomadas.

Asimismo, dentro del grupo de ensayos de identificación, resulta interesante desde el punto de vista ingenieril la realización de una serie de **ensayos químicos**, los resultados de los cuales tienen aplicación tanto en el ámbito estructural como en el de la Geotecnia. En el caso de las muestras tomadas en la zona del paso de fauna, se les han practicado los siguientes ensayos de esta naturaleza:

- Contenido de sulfatos
- Contenido de sales solubles
- Contenido de yesos
- Contenido de materia orgánica

2.5.2.2. Caracterización del terreno

Una vez realizada la clasificación del suelo, se procedería a la caracterización del terreno a través del estudio de su resistencia, deformabilidad y permeabilidad. Existe una gran variedad de pruebas que pueden realizarse para alcanzar estos objetivos, y para el caso de la zona del paso de fauna se han seleccionado las siguientes:

—Resistencia a corte de suelos

- Resistencia a compresión simple
- Ensayo CBR (California Bearing Ratio)
- Ensayos de compactación: Proctor Normal y Modificado

—Ensayos de rocas:

- Ensayo Brasileño
- Carga puntual en roca

—Otros ensayos:

- Ensayo de hinchamiento
- Ensayo de colapso

2.5.3. Toma de muestras

La toma de muestras es un procedimiento necesario para conocer las características geotécnicas del terreno a través de su ensayo en laboratorio, de manera que el número y procedencia de las mismas vendrán condicionados por los datos que sea necesario conocer para redactar el Estudio Geotécnico.

Asimismo, las propiedades que pueden determinarse a partir del ensayo de una muestra dependen de su grado de alteración, esto es, de las diferencias que presenta

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

entre el momento en que formaba parte del terreno natural y en el que se encuentra cuando llega al laboratorio.

Para considerar una muestra inalterada, debe comprobarse que mantiene intactas las siguientes propiedades:

- Humedad
- Densidad
- Tamaño de las partículas
- Permeabilidad
- Compresibilidad
- Resistencia a corte

Para obtener una muestra en estas condiciones, se puede optar por un tubo tomamuestras como el que se emplea para realizar el ensayo de penetración estándar (SPT), de manera que se consigue una mínima alteración de las propiedades del terreno. Estos tubos proporcionan buenos resultados en suelos blandos, teniendo que recurrir a baterías dobles o triples cuando el terreno aumenta en dureza.

Considerando únicamente la zona de emplazamiento del paso de fauna objeto de este estudio, se han obtenido un total de dos muestras inalteradas, ambas tomadas a profundidades entre 2 y 3 m, y cada una de ellas corresponde a la zona de ubicación de uno de los estribos del puente. La primera fue tomada durante la ejecución del sondeo S – 03, mientras que la segunda se obtuvo a partir del único ensayo SPT que consta en la zona objeto de este estudio.

En cuanto al resto de muestras, son de carácter representativo (MR) y, por tanto, se intuye que presentarán cierto grado de alteración.

Todo el procedimiento de toma de muestras ha sido supervisado por un geólogo, quien se encargará también de programar la fase de ensayos de laboratorio que se realizará posteriormente a la obtención de las muestras anteriores.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

En la siguiente tabla se recogen los datos básicos de cada una de las muestras tomadas en la zona de construcción del paso de fauna:

Código muestra	Tipo muestra	Cala o sondeo	Inicio de ensayo	Final de ensayo	Longitud (m)	Profundidad (m)
m – 3	MR	C – 04	26/09/16	24/10/16	0,5	0,5
m – 18	MI	S – 03	29/09/16	24/10/16	0,6	3
m – 19	MR	S – 03	29/09/16	24/10/16	0,2	7
m – 20	MR	S – 03	29/09/16	24/10/16	0,2	10
m – 21	MR	S – 04	29/09/16	24/10/16	0,3	11,1
m – 22	MR	S – 04	29/09/16	24/10/16	0,2	1,8
m – 23	SPT	S – 04	29/09/16	24/10/16	0,3	2
m – 24	MR	S – 04	29/09/16	24/10/16	-	3,8
m – 25	MR	S – 04	29/09/16	24/10/16	0,2	4,6
m – 26	MR	S – 04	29/09/16	24/10/16	-	7,5
m – 27	MR	S – 04	29/09/16	24/10/16	0,3	12,2
m – 28	MR	S – 04	29/09/16	24/10/16	0,3	12,7

2.5.4. Análisis de la información disponible

Como puede deducirse de la definición de los ensayos de identificación y clasificación de suelos, no es necesario que las muestras obtenidas del terreno sean inalteradas ya que, previamente a su realización, hay que amasarlas con agua. Esto destruiría la estructura interna que presentaba el suelo antes de su extracción con medios mecánicos.

Por tanto, el hecho de que la mayoría de muestras obtenidas a partir de los sondeos y calicatas mecánicas practicadas en la zona del paso de fauna tengan carácter representativo, no afecta negativamente al resultado de los ensayos de identificación que se les puedan practicar.

Se especifica, eso sí, que la obtención de estas muestras se ha realizado bajo la supervisión de un geólogo que garantiza su representatividad. Esto podría bastar para quedar del lado de la seguridad, y constatar que las muestras ensayadas proporcionarán resultados fiables.

3. Intensidad de reconocimiento del terreno

Antes de pasar al apartado de conclusiones del análisis objeto de este anejo, se procede a determinar el nivel de intensidad con que debería llevarse a cabo la campaña de reconocimiento del terreno.

El procedimiento para deducir dicha intensidad viene establecido en el apartado 3.6 de la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, y su objetivo es marcar la amplitud de los reconocimientos necesarios para un buen conocimiento del terreno en las áreas de influencia de las cimentaciones.



Cabe apuntar que no aparece referencia alguna al nivel de intensidad de los reconocimientos necesarios en ningún punto del apéndice correspondiente a la Campaña Geotécnica ni en el propio Estudio Geotécnico.

Por tanto, el presente estudio se propone realizar dicha clasificación para contribuir al objetivo de comprobar el grado de adecuación de los trabajos realizados durante dicha campaña a las disposiciones establecidas en la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera.

Así pues, la metodología propuesta parte de la necesidad de conocer la **naturaleza del terreno** y el **tipo de obra** que se pretende ejecutar. Lo segundo es sencillo, puesto que se conoce de sobra la tipología de obra que va a construirse: un puente para paso de fauna ejecutado en dos vanos.

Por su parte, el estudio de la naturaleza del terreno se basa, tal como se recoge en la tabla siguiente, en la determinación de dos factores: la variabilidad del terreno y las condiciones de cimentación, referidas a la capacidad portante relativa del terreno.

Según el grado de variabilidad del terreno, éste se clasifica en heterogéneo, normal u homogéneo, considerándose el terreno normal cuando pueden obtenerse con precisión suficiente las características geotécnicas en la vertical de un determinado punto del mismo.

TABLA 3.5. CLASES DE RECONOCIMIENTO

CONDICIONES DE CIMENTACIÓN \ VARIABILIDAD DEL TERRENO	HETEROGÉNEO	NORMAL	HOMOGÉNEO
	ADVERSAS	Especial	Intenso
NORMALES	Intenso	Normal	Reducido
FAVORABLES	Normal	Reducido	Esporádico

Clases de reconocimiento del terreno (apartado 3.6 de la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera)

A la vista de que han podido obtenerse los parámetros geotécnicos para las distintas Unidades Geotécnicas en que se ha dividido el terreno existente, el presente estudio considera el terreno de la zona del paso de fauna como normal dentro de esta clasificación.

Por otro lado, las condiciones de cimentación referentes a la capacidad de soporte relativa del terreno pueden ser **favorables**, **normales** o **adversas**. Unas condiciones normales de cimentación se refieren a una situación en que la cimentación no implica grandes dificultades de ejecución, además de no verse afectada por las variaciones de calidad que pueden darse en el terreno.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Las condiciones adversas, por su parte, implican la existencia de un terreno difícil de trabajar que obliga al empleo de técnicas especiales de cimentación, mientras que las favorables hacen referencia a una cimentación que tendrá buen funcionamiento a pesar de posibles cambios en las condiciones del terreno.

Para definir las condiciones de cimentación según este criterio, y tras analizar la información disponible en el Estudio Geotécnico, se deduce que el terreno existente no va a provocar dificultades constructivas importantes sea cual sea la tipología seleccionada para cada una de las cimentaciones del paso de fauna.

Esto es debido a su carácter predominantemente cohesivo, sus buenas propiedades geotécnicas, la ausencia de Nivel Freático y el descarte de riesgos geológicos importantes, como se expondrá en el apartado de análisis de riesgos geológicos incluido en el anejo geotécnico. Por los motivos expresados anteriormente, el presente estudio considera que las condiciones de cimentación para esta zona son normales.

Una vez establecidas tanto la variabilidad del terreno como las condiciones de cimentación para la zona de construcción del paso de fauna, se recurre a la tabla 3.5 de la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera para determinar la clase de reconocimiento que corresponde a este terreno. Así pues, con las dos variables consideradas normales, el nivel de reconocimiento necesario también será normal.

A partir de aquí se recurre a la tabla 3.6 de la Guía, que se adjunta a continuación, la cual establece el número de perfiles transversales al eje de la carretera que deben considerarse, así como el número de puntos de reconocimiento para cada perfil en función de la tipología de obra que vaya a ejecutarse.

TABLA 3.6. NÚMERO DE PUNTOS DE RECONOCIMIENTO RECOMENDADOS EN SITUACIONES NORMALES (VÉANSE NOTAS ACLARATORIAS EN EL TEXTO)

	N.º DE PERFILES TRANSVERSALES AL EJE DE LA OBRA			N.º DE PUNTOS POR PERFIL			ESQUEMA
	L < 50 m	50 m ≤ L < 200 m	L ≥ 200 m	H ≤ 5 m	5 m < H ≤ 10 m	H > 10 m	
Puentes de varios tramos	1 perfil por cada apoyo (cimentaciones superficiales o profundas)			L ≤ 10 m 1 ud.	L > 10 m 2 uds.		
Puentes de un tramo y pasos inferiores	L < 20 m 1 ud.	L ≥ 20 m 1 + 1 perfil por cada 50 m o fracción, de longitud total de la obra de paso		B ≤ 8 m 1 ud.	B > 8 m 2 uds.		
Muros	1 perfil por cada 20 m o fracción, de longitud total del muro			H ≤ 5 m 1 ud.	5 m < H ≤ 10 m 2 uds.	H > 10 m 3 uds.	
Apoyo de terraplenes	L < 50 m 1 ud.	50 m ≤ L < 200 m 2 uds.	L ≥ 200 m 1 perfil por cada 100 m o fracción, de longitud total del terraplén	H _{max} ≤ 10 m 2 uds.	H _{max} > 10 m 3 uds.		
Depósitos de suelos blandos que se van a tratar	1 perfil por cada 50 m de longitud o fracción, según el eje del tratamiento			B ≤ 30 m 2 uds.	B > 30 m 3 uds.		

Tabla 3.6 (apartado 3.6 de la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera)

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Analizando la información sobre el paso de fauna que aparece en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, se sabe que pretende ejecutarse como un puente de dos vanos con una zona de pilas intermedias.

Entrando en la tabla 3.6 de la Guía con esta información, debe considerarse un perfil transversal al eje de la carretera por cada apoyo. Por tanto, al tratarse de un puente de dos vanos con una zona de pilas intermedias, queda claro que la estructura presente tres puntos de apoyo diferentes: los dos estribos y la propia zona de pilas intermedias.

Así pues, deberán considerarse tres perfiles trasversales al eje de la carretera. Además, dado que la longitud $L = 20$ m ya que se trata del ancho mayor que va a seleccionarse para el dimensionamiento de las cimentaciones del paso de fauna, se deduce de la tabla anterior que serán necesarios dos puntos de reconocimiento para cada perfil transversal considerado.

Establecidas estas condiciones, y a la vista de los trabajos realizados en la zona de construcción del puente, puede concluirse que habría sido necesaria la ejecución de otro sondeo en la zona de ubicación del estribo sur, así como dos sondeos en la zona de pilas intermedias.

El segundo sondeo en la zona del estribo sur habría contribuido a un mejor conocimiento del terreno existente, completando la información aportada por S – 04, tal como sucede con los sondeos S – 03 y S – 03 bis en la zona de construcción del estribo norte.

Por otra parte, en la zona de pilas intermedias serían bastante recomendables porque, de ese modo, no habría sido necesario interpolar los resultados de los sondeos practicados en ambos estribos para obtener el perfil de Unidades Geotécnicas en esta zona intermedia del paso de fauna.

Una vez fijados estos parámetros, se procede a establecer las conclusiones del análisis para los diferentes trabajos realizados durante la Campaña Geotécnica del proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del PK 18+480 al 24+000. Tram Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires.*

4. Conclusiones

4.1. Calicatas mecánicas

Una vez analizada la información disponible en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo referente a este tipo de prospecciones mecánicas, y concretando siempre para la zona del paso de fauna, el presente estudio llega a las siguientes conclusiones:

Por un lado, se cumplen los requisitos en cuanto a documentación para calicatas mecánicas que estipula la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera. También la profundidad a la que se ha llegado con la calicata C – 04 entra dentro de los límites

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

establecidos, aclarando el hecho de que no se ha profundizado hasta el límite máximo por las dificultades de ripabilidad del terreno a medida que se avanza en la perforación.

Por otra parte, la única muestra tomada de la cala C – 04 es de carácter representativo (MR), y esto la hace no apta para ensayos en condiciones *in situ* pero sí para ensayos de laboratorio.

4.2. Perfiles de sísmica de refracción

Gracias a la obtención de estos perfiles, se puede determinar el grado de ripabilidad del terreno que se está analizando.

Por otra parte, y a la vista de los resultados obtenidos del perfil realizado en la zona del estribo norte del paso de fauna, puede confirmarse que se cumple el requisito que establece la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera para esta metodología.

Esto es así porque, según la Guía, la velocidad de las ondas sísmicas debe mantenerse siempre creciente con la profundidad para asegurar su propagación, y este hecho se cumple puesto que el perfil de velocidades obtenido en PS – 5 marca una tendencia al aumento de las velocidades sísmicas con la profundidad.

4.3. Sondeos mecánicos

Al igual que cuando se analizó el apartado correspondiente a las calicatas mecánicas, se ha comenzado el análisis comprobando que la documentación básica requerida por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera para cada sondeo esté correctamente redactada.

En efecto, la Guía establece un parte de ejecución para cada sondeo que se practique en la zona de implantación de la nueva infraestructura, y que debe contener al menos los puntos expuestos en el apartado 2.3.3 del presente anejo.

Puede concluirse, pues, que todo está en regla menos la información referente al equipo de perforación empleado, así como los parámetros necesarios para un mejor conocimiento como el diámetro de perforación o la velocidad de avance del equipo. Tan sólo se especifica el empleo de un tubo de muestreo de diámetro variable que recibe el nombre de batería.

Por tanto, a no ser que esta información aparezca en otro documento del proyecto constructivo que no ha sido analizado en el presente estudio, se concluye que deberían darse datos y detalles referentes al equipo utilizado para la ejecución de los sondeos, así como los parámetros necesarios para llevar a cabo dichas prospecciones para un mejor conocimiento del terreno con el que se va a trabajar.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Además, existe otro aspecto importante que ya ha sido explicado en el apartado 2.3.3 del presente anejo, y es que, al no conocer los detalles del procedimiento de ejecución utilizado, no puede garantizarse la calidad de los resultados obtenidos a partir de los mismos.

Por otra parte, y pasando a otro ámbito del análisis, se cumplen los objetivos que se pretenden alcanzar con la ejecución de sondeos según la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, tanto por la información que proporciona para un mejor conocimiento del terreno, como por la posibilidad de toma de muestras y realización de ensayos en condiciones *in situ* que se han realizado (se ha recurrido a ensayos de penetración estándar, SPT).

Las condiciones especificadas para las fotografías que deben tomarse de los testigos extraídos de los sondeos, también cumplen las condiciones fijadas por la Guía.

Y en cuanto a la posibilidad de realizar reconocimientos adicionales como las diagraffías, se concluye que no se han detectado ni en el apéndice de la Campaña Geotécnica ni en la información recogida en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, ninguna dificultad de cimentación que requiera recurrir a ellas.

Haciendo referencia ahora a la intensidad de los reconocimientos necesarios para el terreno con el que se va a trabajar, y que ha sido explicado en el apartado 3 del presente anejo, se ha obtenido para la zona del paso de fauna un total de dos perfiles transversales al eje de la carretera (uno para cada estribo del puente), así como dos puntos de reconocimiento para cada uno de estos perfiles.

Según la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, en cada punto de reconocimiento se realizará un sondeo mecánico con una serie de características en cuanto a longitud, toma de muestras y ensayos que se recogen en los apartados 3.6.8 y 3.6.9 de la Guía.

Esto plantea una posible falta en los trabajos realizados en la zona del paso de fauna, puesto que, si se visualiza en cualquier plano del proyecto constructivo la zona de emplazamiento del puente, puede observarse que se han ejecutado dos sondeos en la zona de construcción del estribo norte (S – 03 y S – 03 bis), pero sólo uno en la zona del estribo sur (S – 04). Como no se ha realizado ningún reconocimiento en ese perfil que pueda sustituir al sondeo que no existe, se recomienda haber realizado otro sondeo mecánico a semejanza del sondeo S – 03 bis.

Otra opción podría ser, dado que en la zona del estribo sur las Unidades Geotécnicas referentes a materiales terciarios y cuaternarios (Q_c , T_{alt} y T) entran dentro de la situación de suelo firme, podría sustituirse el sondeo mecánico que no se ha realizado por la ejecución de una calicata mecánica.

Sin embargo, en el caso del estribo norte, el presente estudio no considera la posibilidad de sustituir alguno de los sondeos ejecutados por la información de la calicata C – 04. La razón es porque, aunque la ubicación de C – 04 se considera dentro

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

de la zona de construcción del paso de fauna, se encuentra relativamente alejada de la zona del estribo. Por tanto, no resulta conveniente sustituir la información proporcionada por la calicata C – 04 por la de un sondeo realizado en la propia zona de construcción del estribo.

4.4. Ensayos *in situ*

Como ya se ha expuesto en apartados anteriores, los ensayos realizados en condiciones *in situ* para este proyecto constructivo son de penetración estándar (SPT).

A partir de ahí, y a la vista de los resultados obtenidos, se observa que se ha alargado innecesariamente la longitud analizada mediante golpeo en el ensayo SPT practicado durante la ejecución del sondeo S – 03. Así pues, se ha hincado la punta del tomamuestras hasta una profundidad de 130 cm, cuando lo máximo que se alcanza según la Guía es de 60 cm.

Se recomienda, por tanto, prescindir de este valor de ensayo dada la escasa fiabilidad de las condiciones en las que ha sido obtenido.

Por otro lado, cabe apuntar el hecho de que en los 4 ensayos de penetración estándar practicados en la zona del paso de fauna se ha corregido el índice N_{30} , mediante una fórmula específica que considera el efecto de las presiones intersticiales debidas a la presencia del Nivel Freático.

Sin embargo, está de sobra demostrado que el Nivel Freático no ha sido detectado en ninguna de las prospecciones mecánicas realizadas durante la fase del Estudio Informativo ni durante la Campaña Geotécnica realizada para el proyecto constructivo que se está analizando.

En cualquier caso, dado que el terreno existente en la zona de construcción del paso de fauna es predominantemente cohesivo, los resultados de los ensayos SPT no serán tenidos en cuenta a la hora de determinar la carga de hundimiento de las cimentaciones.

4.5. Ensayos de laboratorio

4.5.1. Toma de muestras

En lo referente a las muestras tomadas, la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera establece que deben tomarse, como mínimo, tres muestras representativas de cada tipo de terreno encontrado.

Entendiendo estas tipologías como las Unidades Geotécnicas en que se ha dividido el terreno existente, y según la información que aparece en el apartado de ensayos de laboratorio del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, durante la ejecución del sondeo S – 03 sólo se han tomado 3 muestras representativas, de las cuales sólo 1 corresponde a la unidad terciario alterado T_{alt} y las otras dos a la unidad terciaria T.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Faltarían, por tanto, al menos dos muestras para la unidad T_{alt} y una tercera para la unidad terciaria para completar el mínimo que marca la Guía.

Por otro lado, se observa que no se ha tomado ninguna muestra durante la ejecución del sondeo S – 03 bis, realizado en la misma zona que S – 03 y por tanto con las mismas Unidades Geotécnicas a tener en cuenta. Por tanto, sería conveniente haber realizado la toma mínima de 3 muestras representativas (MR) correspondientes a la unidad terciaria alterada T_{alt} y otras 3 para la unidad terciaria T.

Siguiendo con la información recogida en el apartado de ensayos de laboratorio del citado Estudio Geotécnico, y pasando ahora al conjunto de muestras tomadas durante la ejecución del sondeo S – 04, se observa que se han recogido un total de 8 muestras representativas.

De esas 8 MR, sólo 1 corresponde a la unidad cuaternaria cohesiva Q_c . Después se han obtenido 3 de la unidad terciaria alterada T_{alt} , otras 3 corresponden a la unidad terciaria T y la octava corresponde a un ensayo SPT practicado en este sondeo. Por tanto, convendría haber tomado dos muestras más de la unidad Q_c para cumplir el mínimo de muestras representativas tomadas para todas las Unidades Geotécnicas que han sido detectadas en la zona de construcción del estribo sur.

4.5.2. Ensayos de laboratorio a realizar

En cuanto a los ensayos de laboratorio que deben programarse, y de acuerdo con lo establecido en la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, se basan en los criterios siguientes:

—**Muestras sometidas a ensayos de identificación de suelos:** todas las muestras deben ser sometidas a ensayos granulométricos y de los Límites de Atterberg. Observando los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados, se concluye que esto no se cumple de partida pues de las 3 muestras tomadas de la ejecución del sondeo S – 03 sólo una, de carácter inalterado, ha sido sometida a los ensayos de identificación establecidos en este punto. Lo mismo sucede con las muestras del sondeo S – 04, que es del que más muestras se han tomado, pero sólo se ha sometido a identificación de suelos a dos de ellas (una de carácter representativo y la otra obtenida del ensayo SPT).

—**Muestras sometidas a ensayos de identificación específicos:** como mínimo dos MR de cada suelo deben someterse a ensayos mineralógicos, de peso específico o densidad extrema en caso de arenas. Así pues, observando las tablas del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo en las que se establecen los resultados de todos los ensayos de laboratorio que se han realizado, queda reflejada la obtención de la densidad aparente para las MR m – 19 y m – 20 tomadas del sondeo S – 03, y de las m – 21 y m – 22 del sondeo S – 04, también de carácter representativo, con lo que en este punto se cumple lo establecido por la Guía.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

—**Ensayos realizados sobre MI:** todas las muestras inalteradas deben ensayarse para determinar su densidad y humedad natural. Atendiendo a este criterio, la única muestra inalterada que se ha tomado en la zona del paso de fauna se obtuvo a partir del sondeo S – 03 y, en efecto, ha sido sometida a esta clase de ensayo obteniéndose su humedad natural y su densidad seca.

—**Ensayos de resistencia y deformabilidad del terreno:** según la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, cada terreno debe caracterizarse, al menos, con dos ensayos de resistencia y deformabilidad en laboratorio. Considerando las clases de terreno asimilables a las Unidades Geotécnicas detectadas en la zona de construcción del paso de fauna, para la unidad terciario alterado T_{alt} sólo se ha obtenido la resistencia a compresión simple en una MR extraída del sondeo S – 04. Para completar el mínimo establecido por la Guía, podría practicarse el mismo ensayo sobre cualquier otra muestra representativa de esta unidad, obtenidas del mismo sondeo.

Para la unidad terciaria T este mínimo sí que se cumpliría, puesto que se ha obtenido la resistencia a compresión simple para la muestra representativa m – 20 (S – 03) y m – 28 (S – 04). Además, también se ha obtenido la resistencia a compresión simple en rocas para la muestra representativa m – 21, tomada a partir de la ejecución del sondeo S – 04.

Por su parte, para la unidad cuaternaria cohesiva Q_c se sabe que se han tomado un total de 2 muestras a partir de la ejecución del sondeo S – 04, una de ellas es de carácter representativo y la otra se obtuvo a partir de un ensayo SPT. Observando los ensayos realizados, sólo se ha obtenido la resistencia a compresión simple en la muestra representativa, con lo que se recomienda practicar el mismo ensayo en la muestra del ensayo SPT para cubrir el mínimo establecido por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera.

Por último, y recapitulando todas las observaciones realizadas en este último apartado del anejo, el presente estudio concluye que, en términos generales, el Estudio geotécnico del proyecto constructivo se adecúa a las directrices establecidas por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera.

Sin embargo, cabe destacar algunos aspectos con los que este grado de adecuación sería mayor, tales como la realización de algunos ensayos de laboratorio para cubrir el mínimo establecido por la Guía o, más importante aún, la realización de algunas prospecciones adicionales en la zona de construcción del paso de fauna, concretamente en la zona de pilas intermedias y un sondeo adicional en la zona del estribo sur.

De haber realizado dichas prospecciones, no habría sido necesario recurrir a la interpolación de los resultados de los sondeos ejecutados en los estribos del puente, con el fin de obtener un perfil de Unidades Geotécnicas en la zona de pilas intermedias.



Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



No obstante, la información disponible es suficiente para abordar el dimensionamiento de las alternativas de cimentación del paso de fauna, que se expondrá en el anejo 5 del presente estudio.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura
para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224
en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Anejo 5. Diseño geotécnico de las cimentaciones

Presentado por

Jiménez Jover, Jose Luis

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2020

Tutor: Víctor Martínez Ibáñez





Índice

1. Introducción. Objetivos.....	4
2. Definición y clasificación de cimentaciones.....	4
3. Caracterización geotécnica del terreno.....	5
3.1. Unidades Geotécnicas en la zona de estudio.....	5
3.2. Unidad Geotécnica TV.....	7
3.3. Unidad Geotécnica Q_c	8
3.4. Unidad Geotécnica T_{alt}	12
3.5. Unidad Geotécnica T.....	15
3.6. Parámetros de cálculo.....	19
4. Riesgos geológicos en la zona de estudio.....	20
4.1. Riesgo de expansión.....	20
4.2. Riesgo de colapso.....	21
4.3. Suelos con yesos y sales solubles.....	22
4.4. Riesgo de subsidencia.....	24
4.5. Agresividad química frente al hormigón.....	24
4.6. Riesgo de sismicidad.....	26
5. Estudio de alternativas.....	28
5.1. Introducción.....	28
5.2. Relación de alternativas.....	28
5.2.1. Alternativa 0.....	28
5.2.2. Alternativa 1.....	29
5.2.3. Alternativa 2.....	30
5.2.4. Alternativa 3.....	31
5.3. Predimensionado de alternativas.....	31
5.3.1. Alternativa 1.....	39
5.3.1.1. Estribo norte.....	44
5.3.1.2. Estribo sur.....	53
5.3.1.3. Zona de pilas intermedias.....	58
5.3.2. Alternativa 2.....	65
5.3.2.1. Estribo norte.....	69
5.3.2.2. Estribo sur.....	78



**Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el
P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)**

5.3.2.3. Zona de pilas intermedias.....	89
5.3.3. Alternativa 3.....	95
5.3.3.1. Estribo norte.....	95
5.3.3.2. Estribo sur.....	95
5.3.3.3. Zona de pilas intermedias.....	96
5.4. Análisis multicriterio y justificación de la alternativa adoptada.....	96

1. Introducción. Objetivos

El objetivo del presente anejo consiste en realizar un estudio de soluciones para la cimentación de los estribos y de la zona de pilas intermedias que componen el futuro paso de fauna. Una vez consideradas todas las posibles soluciones, se deberá seleccionar la óptima justificándola debidamente.

Para ello se partirá del conocimiento que se tiene del terreno existente en la zona de implantación, y que proviene de la Campaña Geotécnica anteriormente analizada.

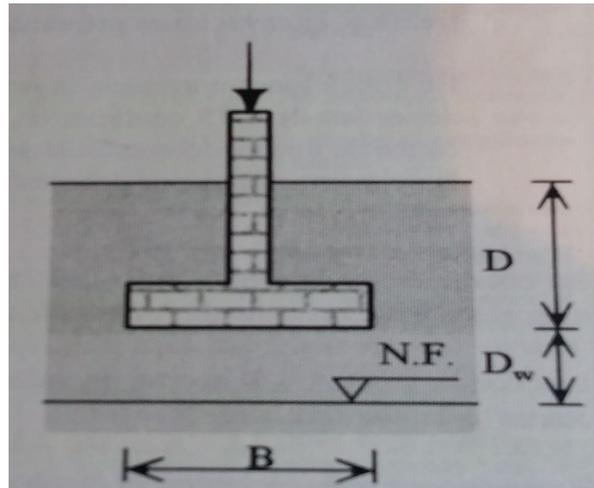
Cabe destacar la posibilidad de que tanto los dos estribos del puente como la zona de pilas intermedias adopten el mismo tipo de cimiento con el que transmitir las cargas al terreno, o bien que en cada uno de ellos sea válida una tipología distinta. Existe una gran variedad de posibilidades, y es necesario considerarlas todas para poder llegar a la solución más adecuada.

2. Definición y clasificación de cimentaciones

Se define la cimentación como el elemento o conjunto de elementos encargado de recibir las cargas de la estructura que sustenta, y transmitir las al terreno sobre el cual se apoya. Debido a que, generalmente, la resistencia del suelo es menor que la de los pilares o muros que debe soportar, es necesario que el área de contacto entre la cimentación y el terreno sea lo suficientemente grande para el mejor reparto de las cargas transmitidas.

En función de la profundidad a la que se sitúa el plano de cimentación medida desde la superficie del terreno (**D**), y del ancho menor de la misma (**B**), las cimentaciones se clasifican en tres grandes grupos:

Tipología de cimentación	Relación entre D y B
Superficiales	$D < 5 \cdot B$
Semiprofundas (pozos de cimentación)	$5 \cdot B < D < 8 \cdot B$
Profundas	$D > 8 \cdot B$



Datos básicos para caracterizar una cimentación ("Cuestiones de Geotecnia y Cimientos", editorial Universitat Politècnica de València)

3. Caracterización geotécnica del terreno

3.1. Unidades Geotécnicas en la zona de estudio

Se procede a agrupar los distintos materiales presentes en la zona de estudio en Unidades Geotécnicas, en función de sus características litológicas y mecánicas, a fin de facilitar su análisis y trabajar mejor con ellos.

Según la información disponible en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del P.K 18+480 al 24+000. Tram: Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*, la relación de Unidades Geotécnicas detectadas se resume en la siguiente tabla:

Unidad Geotécnica	Descripción de materiales	Unidad Geológica (cartografía proyecto constructivo)	Unidad Geológica (cartografía ICGC)
TV	Terreno vegetal	No cartografiada	No cartografiado
R	Rellenos de naturaleza antrópica	R (rellenos de naturaleza antrópica)	No cartografiado
RT	Rellenos en carreteras y edificaciones	RT (rellenos en carreteras y edificaciones)	No cartografiado
Q _c	Cuaternario cohesivo. Arcillas y limos	Q (cuaternario sin marcar diferencias)	No cartografiado

Q _g	Cuaternario granular. Arenas y gravas		No cartografiado
T _{alt}	Sustrato terciario alterado. Arcillas y limos carbonatados. Arenas	T (sustrato terciario, sin marcar diferencias)	Nmag
T	Sustrato terciario. Argilitas y areniscas. En ocasiones pueden aparecer arenas y gravas parcialmente cementadas y arcillas carbonatadas duras		

Como puede observarse, en esta tabla aparece la formación Nmag, proporcionada por la cartografía geológica de la zona de estudio obtenida del ICGC, y las denominaciones que aparecen en ella serán utilizadas a lo largo del presente estudio.

Cabe destacar que la tabla anterior se refiere al conjunto de Unidades Geotécnicas detectadas en la zona de estudio, es decir, en la zona de construcción de la nueva carretera B – 224. Por tanto, es necesario concretar para la zona del paso de fauna cuáles de las unidades anteriores van a estar presentes en la misma, ya que serán estas con las que realmente se va a trabajar en el posterior estudio de cimentaciones del puente.

A partir de la información analizada del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, las Unidades Geotécnicas que han sido detectadas en la zona de construcción del paso de fauna son: TV (tierra vegetal), Q_c (cuaternario cohesivo), T_{alt} (terciario alterado) y T (terciario).

A continuación, y basándose siempre en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, se procederá a la definición de aquellas características que permitan un mejor conocimiento de la resistencia y el comportamiento que cabe esperar de cada una de las Unidades Geotécnicas anteriores.

3.2. Unidad Geotécnica TV

Esta Unidad Geotécnica hace referencia al terreno vegetal presente en la zona de estudio, aquel que no incluye zonas urbanizadas, pero sí terrenos y campos, algunos de ellos sin cultivar.

Se trata de una capa de terreno cuyo espesor oscila entre los 0,2 y los 0,4 m, cuya continuidad a veces se ve interrumpida por la presencia de zonas boscosas y con taludes en la zona de estudio. Es en estos puntos, donde pueden aflorar materiales procedentes del Cuaternario o del sustrato rocoso del Mesozoico a la superficie.

Esta unidad está compuesta por limos ligeramente arenosos de color marrón, con presencia de raíces y restos vegetales en los primeros 20 cm de terreno, constituyendo en general un conjunto poroso y de poca compacidad.

Atendiendo como siempre a la información presente en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, existe una tabla en que se resumen las prospecciones en las que se ha detectado suelo vegetal tanto en el Estudio Informativo previo a la redacción de dicho proyecto constructivo, como en el propio proyecto. En dicha tabla se incluye el proyecto al que pertenece la prospección, su denominación, así como el grosor de capa vegetal detectado.

Centrándose en la zona de construcción del paso de fauna, los espesores de esta Unidad Geotécnica detectados son los siguientes:

Proyecto	Prospección	Espesor de tierra vegetal (cm)
<i>Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del P.K 18+480 al 24+000. Tram: Sant Llorenç d'Hortons – Sant Esteve Sesrovires</i>	C – 04	20
Ídem	S – 03	20
Ídem	S – 03 bis	40
Ídem	S – 04	20

En efecto, vuelve a comprobarse que las prospecciones que detectan tierra vegetal son las que están analizándose a lo largo de todo el estudio, y que no existe información de la zona de construcción del paso de fauna en el Estudio Informativo que fue redactado previamente al proyecto constructivo con el que se está trabajando.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Como es evidente, la tierra vegetal es inexistente en áreas urbanizadas, carreteras, viales, caminos y zonas pavimentadas en general, de modo que en ellas se considerará un espesor nulo de suelo vegetal.

Por último, y debido a su contenido en materia orgánica y raíces vegetales, esta Unidad Geotécnica se clasifica según lo establecido en el PG – 3 como suelo inadecuado (IN). Sin embargo, existe la posibilidad de su empleo en la revegetación de los taludes que van a ejecutarse en los estribos del paso de fauna.

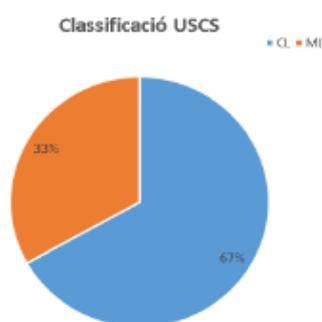
3.3. Unidad Geotécnica Q_c

Esta unidad incluye terrenos de origen cuaternario y carácter cohesivo, de ahí la c del subíndice que le da nombre. Se refiere a materiales tales como arcillas, arcillas limosas, limos y limos arenosos frecuentemente carbonatados que, en ocasiones, pueden contener pequeñas cantidades de partículas más gruesas de arena, gravillas o gravas.

Su existencia en la zona de estudio queda comprobada tras su detección en los sondeos mecánicos S – 01, S – 02, S – 04 (ejecutado en la zona en que se construirá el estribo sur del paso de fauna) y S – 05, además de en algunas prospecciones realizadas durante la fase del Estudio Informativo.

Se dispone de 3 muestras de esta unidad que, tras ser sometidas a la clasificación USCS de suelos, los resultados son CL (arcillas de baja plasticidad) en dos de ellas, y ML (limos de baja plasticidad) en la tercera.

En la imagen siguiente se adjunta un diagrama de sectores extraído del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, en el que se aprecia claramente que, según las muestras ensayadas, los materiales que componen esta unidad son mayoritariamente arcillas de plasticidad baja.



Clasificación USCS de las muestras de la Unidad Geotécnica Q_c (Estudio Geotécnico del proyecto constructivo Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del P.K 18+480 al 24+000. Tram: Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires)

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

También se han obtenido los Límites de Atterberg, cuyos valores medios corresponden a un Límite Líquido de 34,2 y un Límite Plástico de 23,1, los cuales proporcionan un Índice de Plasticidad de 11,1. Para su valoración, se adjunta la carta de plasticidad de Casagrande, en la que se ha incluido el grado de plasticidad en función de los valores del Límite Líquido y del índice de Plasticidad.

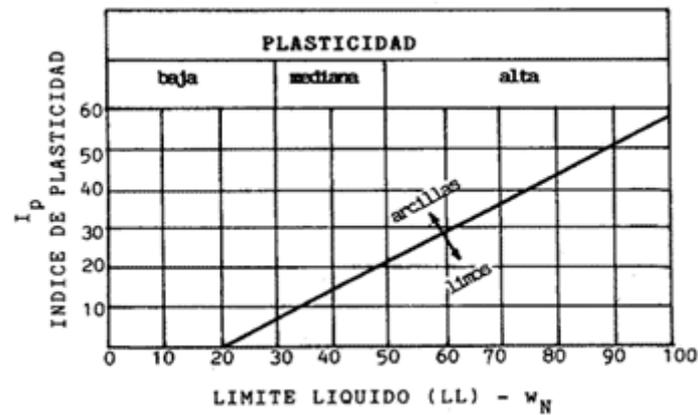


Diagrama de plasticidad según los Límites de Atterberg (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, USCS)

Comparando los valores medios del Límite Líquido y del Índice de Plasticidad con el diagrama anterior, se concluye que la Unidad Geotécnica Q_c está formada por materiales de plasticidad entre baja y mediana. Este hecho queda justificado porque los valores analizados se localizan en la región frontera entre estos comportamientos plásticos.

Cabe apuntar que esta conclusión, obtenida desde el análisis realizado por el presente estudio, coincide con la información consultada en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo.

Por su parte, se han ensayado una serie de muestras en la zona de estudio para obtener la resistencia a compresión simple de esta unidad. Los resultados de esta ensayo, obtenidos del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, se adjuntan en la siguiente tabla:

Prospección	Tipo muestra	U.G.	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Resistencia a compresión simple (kg/cm ²)
S – 02	MI	Q_c	5,4	6	4,39
S – 04	MR	Q_c	1,8	2	2,85

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Los valores obtenidos en estos sondeos, uno de ellos correspondiente a la zona de construcción del paso de fauna, son de 439 y 285 KPa.

Para valorar la consistencia del terreno analizado, así como la mayor o menor dureza del mismo, el presente estudio ha recurrido a los valores orientativos que marca al respecto el Código Técnico de la Edificación, y que se adjuntan en las tablas siguientes:

VALORES ORIENTATIVOS Y CORRELACIONES DEL CTE DB SE-C

Tabla D.3. Consistencia de las arcillas

Clasificación	Resistencia a compresión simple q_u (kPa)
Muy blanda	0-25
Blanda	25-50
Media	50-100
Firme	100-200
Muy firme	200-400
Dura	> 400

Tipo de suelo	q_u (kN/m ²)	N _{SPT}
Suelos muy flojos o muy blandos	0 - 80	< 10
Suelos flojos o blandos	80 - 150	10 - 25
Suelos medios	150 - 300	25 - 50
Suelos compactos o duros	300 - 500	50 – Rechazo
Rocas blandas	500 – 5.000	Rechazo
Rocas duras	5.000 – 40.000	Rechazo
Rocas muy duras	> 40.000	Rechazo

Valores orientativos y correlaciones referentes a las arcillas (CTE DB SE – C)

Comparando estos valores de referencia con los resultados de los ensayos de resistencia anteriores, puede deducirse que los materiales que conforman esta Unidad Geotécnica se caracterizan por presentar una consistencia entre muy firme y dura.

Consultando la información recogida en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, se especifica que esta unidad presenta una consistencia dura, comparativamente a una resistencia a corte sin drenaje superior a los 200 KPa, por lo que los resultados presentados en el presente estudio vuelven a coincidir con lo especificado por el proyectista.

Además de su consistencia, puede clasificarse este suelo como compacto o duro.

Por tanto, cabe esperar del análisis de características realizado que los materiales pertenecientes a la Unidad Geotécnica Q_c pueden presentar un buen comportamiento como terreno de cimentación, puesto que presentan una buena consistencia y compacidad gracias a sus valores de resistencia a compresión simple.

Esto también lleva a suponer que el terreno englobado dentro de esta unidad no va a experimentar deformaciones importantes cuando las infraestructuras pertinentes sean construidas sobre él, lo cual implicará la aparición de asientos de poca importancia y un menor riesgo para la estabilidad y seguridad de dichas infraestructuras.

En cualquier caso, estas conclusiones se verán confirmadas, o no, cuando se realice el correspondiente análisis de las alternativas de construcción para los cimientos del paso de fauna.

Por último, se procede a analizar la clasificación de estos materiales según lo establecido en el PG – 3. Se adjuntará, para ello, la tabla 4 de la Norma 6.1 – IC. Secciones de firme.

SÍMBOLO	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	ARTÍCULO DEL PG-3	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
IN	Suelo inadecuado o Marginal	330	– Su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir S-EST1 o S-EST2.
0	Suelo tolerable	330	– CBR \geq 3 (*). – Contenido en materia orgánica < 1%. – Contenido en sulfatos solubles (SO ₄) < 1%. – Hinchamiento libre < 1%.
1	Suelo adecuado	330	– CBR \geq 5 (*)(**).
2	Suelo seleccionado	330	– CBR \geq 10 (*) (**).
3	Suelo seleccionado	330	– CBR \geq 20 (*)
S-EST1 S-EST2 S-EST3	Suelo estabilizado <i>in situ</i> con cemento o con cal	512	– Espesor mínimo: 25 cm. – Espesor máximo: 30 cm.

Tabla 4. Materiales para la formación de explanadas (Norma 6.1 – IC. Secciones de firme)

Hay que tener en cuenta que, según la información disponible en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, esta unidad no ha sido detectada en ninguna de las calicatas mecánicas ejecutadas para su redacción, por lo que no ha sido posible realizar los ensayos de laboratorio especificados por el PG – 3 para su clasificación.

A pesar de esto, el Estudio Geotécnico procede a clasificar preliminarmente los materiales de esta Unidad Geotécnica como suelo tolerable (0). Tratando de buscar una justificación que explique este hecho, y atendiendo a la información que proporciona la tabla anterior, el presente estudio considera que esta clasificación puede deberse a que su contenido en sulfatos solubles es bajo. Este hecho se expondrá más adelante en el apartado de análisis de riesgos geológicos.

Para finalizar este apartado, se adjuntará una tabla con los parámetros geotécnicos obtenidos para la Unidad Geotécnica Q_c. Estos datos han sido extraídos del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo.

U.G.	N (SPT)	Densidad (KN/m ³)	Cohesión efectiva (KN/m ²)	Áng. roz. int. efectivo (°)	Resist. corte sin drenaje efectiva (KN/m ²)	Módulo de Young (Mpa)	Coef. balasto horizontal (ton/m ³)	Coef. balasto vertical (ton/m ³)
Q _c	25 – 30	20 – 21	15 – 30	30	150 – 220	33 – 42	3050 – 3650	6200 – 8700

3.4. Unidad Geotécnica T_{alt}

Esta Unidad Geotécnica aparece en prácticamente todas las prospecciones mecánicas realizadas en la fase del Estudio Informativo y del proyecto constructivo que se está analizando.

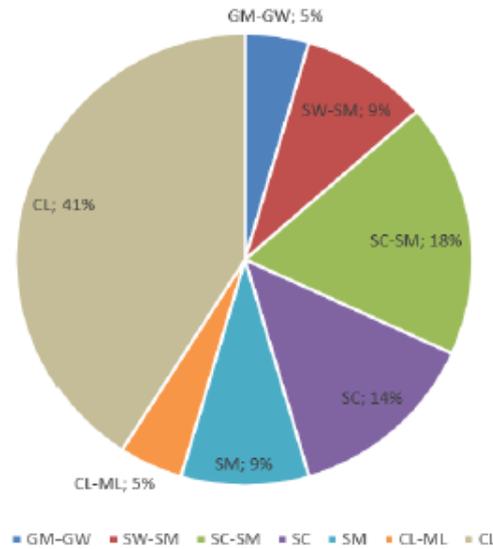
Se refiere a los materiales englobados dentro de la unidad denominada “sustrato terciario alterado”, es decir, aquellos niveles del sustrato terciario que se encuentren en grado de meteorización V o VI. Corresponde a las capas más superficiales del suelo terciario y su espesor se encuentra entre los 6 y los 7 m.

Su composición incluye tanto limos como arcillas y limos arcillosos, con frecuencia carbonatados, aunque a veces también puede estar constituida por arenas finas, limosas o incluso por gravas. Este hecho ha condicionado los ensayos granulométricos realizados a muestras pertenecientes a esta unidad, ya que su distinta naturaleza implica una gran variabilidad en las curvas granulométricas que se han obtenido, y que se recogen en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo.

En efecto, la clasificación de suelos USCS proporciona la tipología CL (arcillas de baja plasticidad) para el 41% de las muestras analizadas, mientras que en el resto se han obtenido, de forma minoritaria, las tipologías CL – ML (arcillas y limos de baja plasticidad), SM (arenas limosas), SC (arenas arcillosas), SC – SM (mezcla de las dos anteriores), SW – SM (arenas limosas bien graduadas) y GM – GW (gravas limosas bien graduadas).

Estos resultados se recogen en el diagrama de sectores que se adjunta a continuación, obtenido del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo.

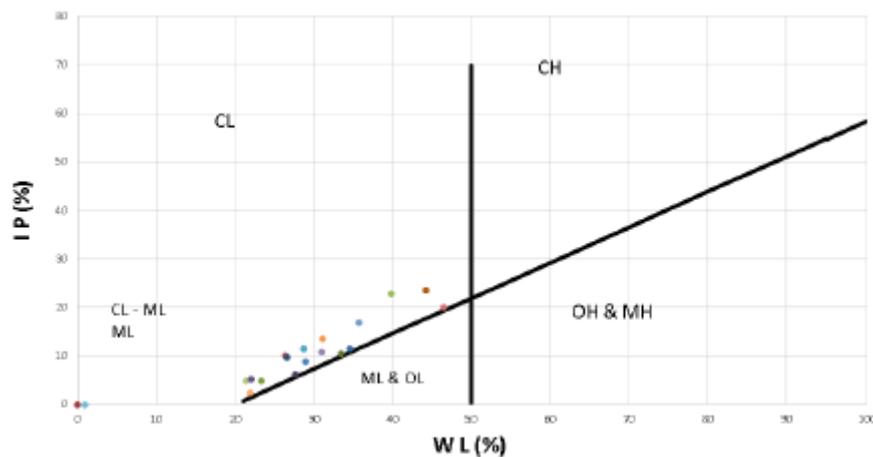
Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Clasificación USCS de los materiales constituyentes de la Unidad Geotécnica T_{alt} (Estudio Geotécnico del proyecto constructivo Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del P.K 18+480 al 24+000. Tram: Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires)

Al tratarse de una unidad que incluye suelos granulares y cohesivos, se diferencia entre la compacidad densa a muy densa de los primeros, y la consistencia entre muy firme y dura de los segundos.

Por otra parte, la plasticidad de las muestras ensayadas de esta unidad es entre baja y media, atendiendo nuevamente al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).



Ábaco de plasticidad de Casagrande con los resultados de las muestras ensayadas de la Unidad Geotécnica T_{alt} (Estudio Geotécnico del proyecto constructivo Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del P.K 18+480 al 24+000. Tram: Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires)

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Entre otros aspectos, y siguiendo con la información consultada en el Estudio Geotécnico, se ha evaluado el grado de estabilidad de los áridos, regido según la norma NLT – 255, a una muestra representativa tomada durante la ejecución del sondeo S – 04 (ejecutado en la zona del estribo sur del paso de fauna). Los resultados de este ensayo implican una pérdida del 100% de la muestra, lo cual significa que se disgrega completamente tras sumergirla en agua.

Por suerte, quizás, el Nivel Freático no ha sido detectado en ninguna de las prospecciones realizadas para la redacción del proyecto constructivo que se está analizando. Es decir, que este hecho no debería suponer, en principio, ningún riesgo para la estabilidad de las futuras infraestructuras que vayan a ejecutarse en la zona analizada.

Se han realizado, a su vez, ensayos referentes a riesgos geológicos a distintas muestras que forman parte de esta Unidad Geotécnica, pero sus resultados se comentarán en el apartado siguiente.

Atendiendo a la resistencia a compresión simple que se espera de esta clase de terreno, se adjunta una tabla extraída del Estudio geotécnico del proyecto constructivo.

Estos datos corresponden a muestras tomadas en la zona en que se construirá el estribo sur del paso de fauna, al haber sido obtenidas durante la ejecución del sondeo S – 04. Atendiendo al perfil litológico obtenido durante la Campaña Geotécnica para este sondeo, las muestras ensayadas han sido tomadas en una zona de arenas limosas con tramos cementados y de compacidad densa.

Prospección	Tipo	Código	U.G.	Cota in. (m)	Cota fin. (m)	Resistencia a compresión simple (kg/cm²)
S – 04	MR	m – 24	T _{alt}	3,8	-	32,2*
S – 04	MR	m – 25	T _{alt}	4,6	-	3,57

El valor marcado con un asterisco corresponde a un dato que ha sido correlacionado del ensayo de carga puntual PLT, por lo que se valorarán los 357 KPa obtenidos a 4,6 m de profundidad.

Para ello, el presente estudio considera nuevamente la aplicación de los estándares establecidos en el Código Técnico de la Edificación, y que han sido especificados para la Unidad Geotécnica anterior. Se justifica esta elección por el hecho de que se está trabajando con arenas limosas, las cuales van a presentar cierto comportamiento cohesivo debido a su naturaleza.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Así pues, según las tablas del CTE mencionadas anteriormente, el terreno analizado presentaría una consistencia muy firme además de conformar un suelo muy compacto o duro.

Recordando que esta unidad estaba compuesta por materiales cohesivos y granulares, y que estos últimos presentaban una compacidad entre densa y muy densa, se concluye desde el presente estudio que la Unidad Geotécnica T_{alt} puede presentar buenas propiedades como terreno de cimentación, a falta de comprobarlo cuando se realice el pertinente análisis de alternativas para la cimentación del paso de fauna.

Para finalizar este apartado, se adjuntará una tabla en la que se recogen los parámetros geotécnicos de cálculo obtenidos para esta unidad, y que han sido obtenidos a partir de la información disponible en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo.

U.G.	N (SPT)	Dens. (KN/m ³)	Cohesión efectiva (KN/m ²)	Áng. roz. int. efectivo (°)	Resist. corte sin drenaje C_u (KN/m ²)	Módulo de Young (Mpa)	Coef. balasto horizontal (ton/m ³)	Coef. balasto vertical (ton/m ³)
T_{alt}	30 – 50	21	25	30 – 35	180 – 400	40 – 76,3	3345 – 4970	10000 – 15000

3.5. Unidad Geotécnica T

Esta Unidad Geotécnica, que corresponde con el sustrato terciario propiamente dicho, coincide con la Unidad Geológica Nmag de la zona de estudio (atendiendo a la cartografía geológica proporcionada por el ICGC). Esta unidad está compuesta por areniscas, conglomerados, argilitas, arenas parcialmente cementadas y arcillas carbonatadas duras.

Se trata de una unidad compuesta sobre todo por rocas de baja resistencia que coexisten con suelos cohesivos y granulares de gran resistencia. Engloba, de hecho, rocas muy blandas como las argilitas, rocas blandas como las areniscas y conglomerados, suelos cohesivos de consistencia dura como las arcillas carbonatadas, y suelos granulares de buena compacidad como arenas y gravas.

La existencia de suelos y rocas dentro de la misma Unidad Geotécnica implicará, por tanto, la necesidad de recurrir a ensayos practicables a ambos materiales para su caracterización geotécnica. Y al igual que la unidad T_{alt} , se ha detectado su presencia

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

en todos los reconocimientos realizados durante las fases del Estudio Informativo y del proyecto constructivo a analizar.

Comenzando por los resultados de la clasificación de suelos USCS, se han realizado un total de 4 de esta tipología que han permitido clasificarlas como tipo SM (arenas limosas).

Para la determinación de los límites de Atterberg, se han seleccionado 3 muestras de arenas limosas de manera que 2 de ellas proceden de las calicatas mecánicas C – 03 y C – 05, y la tercera es una muestra inalterada (MI) tomada durante la ejecución del sondeo S – 02.

Prosp.	Tipo muestra	Cód. muestra	U.G.	Cota ini. (m)	Cota fin. (m)	Lím. Líquido	Lím. Plást.	Índ. Plasticidad
C – 03	MR	m – 2	T	0,1	0,5	0	0	0
C – 05	MR	m – 4	T	0,5	1	26,5	23	3,4
S – 02	MI	m – 17	T	9,6	10,2	23,7	20,7	3

A la vista de los resultados anteriores, la primera muestra presenta unos Límites Líquido y Plástico nulos, mientras que las otras dos presentan valores muy reducidos en su índice de Plasticidad. Como era de suponer, y tras consultar la carta de plasticidad de Casagrande, se concluye que se trata de un suelo de baja plasticidad.

Por su parte, los resultados correspondientes a los ensayos de contenidos químicos, colapso e hinchamiento se comentarán a continuación, en el apartado referente a riesgos geológicos en la zona de estudio.

Atendiendo ahora a la clasificación de suelos regulada según el PG – 3, se llega a la conclusión de que se trata de un suelo tolerable. Esto es así porque, a pesar de su naturaleza heterogénea, los suelos que componen esta Unidad Geotécnica tienen carácter tolerable mientras que las rocas blandas tienen tendencia a la meteorización, y por tanto a la conversión en suelos que entrarían dentro de la misma clasificación.

También se ha medido el grado de estabilidad de los áridos mediante el ensayo regulado por la norma NLT – 255. Para ello, se han seleccionado 4 muestras representativas (MR) procedentes de los sondeos S – 05 (una de ellas) y S – 06 (las otras 3), de manera que una vez realizado este ensayo se observa que en todas las muestras se logra un 100% de su destrucción.

Esto implica que se disgregan totalmente cuando son introducidas en agua, y por lo tanto se trata de un tipo de roca (concretamente, las argilitas) que no cumple las condiciones para ser considerada como relleno todo uno o pedraplén según lo establecido a tal efecto en el PG – 3.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Para medir la resistencia de los suelos y rocas que componen la Unidad Geotécnica T, se ha recurrido a los ensayos de compresión simple, de carga puntual (*Point Load Test*), tracción indirecta (ensayo Brasileño) y el de corte directo consolidado y drenado (CD). Tras ensayar 13 muestras, algunas de ellas procedentes de los sondeos de la zona del paso de fauna, se han obtenido valores de resistencia a compresión simple que oscilan entre los 1,8 y los 29,1 kg/cm².

Al haberse ensayado tantas muestras y disponiendo de datos suficientes con los referentes a la zona del paso de fauna, se adjunta una tabla con los resultados correspondientes a los sondeos S – 03 y S – 04, ejecutados donde se construirán los estribos del puente.

Prospección	Código muestra	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Resistencia a compresión simple (kg/cm²)
S – 03	m – 20	9,6	10,2	1,78
S – 04	m – 21	11,1	11,4	29,13
S – 04	m – 27	12,2	12,5	24,82
S – 04	m – 28	12,7	13	8,17

Se observa que las muestras ensayadas corresponden a diferentes tipos de terreno, por lo que se procederá a valorar sus resistencias por separado. Este hecho es comprensible, dada la heterogeneidad de materiales que componen esta Unidad Geotécnica.

Así pues, se comenzará con la resistencia obtenida de la muestra m – 20, procedente a su vez del sondeo S – 03. Esta muestra, según el perfil litológico de dicho sondeo, corresponde a una zona de arenas finas y limosas parcialmente cementadas. Por tanto, y dado el cierto carácter cohesivo de las mismas, se aplicará el criterio establecido para materiales cohesivos en el Código Técnico de la Edificación.

Consultando las correspondientes tablas, y trabajando con una resistencia a compresión simple de 178 KPa, se concluye que la muestra anterior corresponde a un suelo de consistencia firme y dureza media.

Por su parte, la muestra m – 21 procede del sondeo S – 04 y ha sido tomada en una zona de arcillas carbonatadas con pequeñas intercalaciones de arena fina. Consultando la información disponible en las tablas del Código Técnico de la Edificación, este

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

terreno presenta una consistencia dura y puede asimilarse, en términos de resistencia a compresión simple, a una roca blanda.

Por último, las muestras m – 27 y m – 28 también han sido tomadas durante la ejecución del sondeo S – 04 pero en una zona de argilitas, consideradas como rocas blandas, por lo que la valoración de su resistencia a compresión simple no puede realizarse mediante el criterio anterior.

Por este motivo, el presente estudio recurrirá a la información recogida en la publicación “Ingeniería Geológica”.

CUADRO 3.10

Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple

Resistencia a la compresión simple (MPa)	ISRM (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos			
1-5	Muy blanda	Blanda > 1,25	Muy baja	Sal, lutita, limolita, marga, toba, carbón.
5-12,5	Blanda	Moderadamente blanda		
12,5-25		Moderadamente dura	Baja	Esquisto, pizarra.
25-50	Moderadamente dura			
50-100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa.
100-200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía.
> 200		Extremadamente dura	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto.
> 250				

Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple (tabla extraída de la publicación “Ingeniería Geológica”, de Luis I. González de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño y Carlos Oteo. Pearson Educación, Madrid, 2002)

En el caso de la muestra m – 27 se ha obtenido una resistencia a compresión simple de 2482 KPa = 2,482 MPa, con lo cual se confirma que se trata de una roca muy blanda y de resistencia muy baja.

La muestra m – 28, por su parte, presenta una resistencia a compresión simple de 817 KPa = 0,817 MPa, con lo que la clasificación anterior lo caracterizaría como un suelo. Esta diferencia de resistencia tan brusca en el mismo nivel de argilitas llama la atención especialmente.

Tras examinar el perfil litológico del sondeo S – 04, el presente estudio considera que este salto en la resistencia se debe a que las argilitas se encuentran intercaladas con pequeños niveles de terreno granular, y es posible que la última muestra ensayada corresponda a uno de ellos.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Finalmente, se adjuntará la tabla con los parámetros geotécnicos obtenidos para la Unidad Geotécnica T.

U.G.	N (SPT)	Dens. (KN/m ³)	Cohesión efectiva (KN/m ²)	Áng. roz. int. efectivo (º)	Módulo de Young (Mpa)	Coef. balasto horizontal (ton/m ³)	Coef. balasto vertical (ton/m ³)
T	50	23	40	35	110	5550	25000

3.6. Parámetros de cálculo

Se procede a adjuntar una serie de tablas en las que se especifican las diferentes Unidades Geotécnicas detectadas en las zonas de construcción del estribo norte, el estribo sur y la zona de pilas intermedias del paso de fauna.

Estos datos han sido obtenidos gracias a la información proporcionada por los sondeos mecánicos ejecutados en las regiones de implantación de los estribos del puente. En el caso de la zona de pilas intermedias, al no haberse realizado prospecciones en la misma, se han interpolado los resultados de dichos sondeos.

Parámetros geotécnicos en el estribo norte (sondeos S – 03 y S – 03 bis)							
U.G.	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Espesor (m)	Dens. (KN/m ³)	Cohesión efectiva (KN/m ²)	Ángulo roz. int. efectivo (º)	Módulo de Young (MPa)
TV	0	0,5	0,5	-	-	-	-
T _{alt}	0,5	6	5,5	21	25	30	55
T	6	-	-	23	40	35	110
Parámetros geotécnicos en el estribo sur (sondeo S – 04)							
U.G.	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Espesor (m)	Dens. (KN/m ³)	Cohesión efectiva (KN/m ²)	Ángulo roz. int. efectivo (º)	Módulo de Young (MPa)
TV	0	0,5	0,5	-	-	-	-
Q _c	0,5	2,5	2	21	15	30	33
T _{alt}	2,5	10,5	8	21	25	30	55
T	10,5	-	-	23	40	35	110

Parámetros geotécnicos en la zona de pilas intermedias (interpolación de sondeos anteriores)							
U.G.	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Espesor (m)	Dens. (KN/m ³)	Cohesión efectiva (KN/m ²)	Ángulo roz. int. efectivo (°)	Módulo de Young (MPa)
TV	0	0,5	0,5	-	-	-	-
T _{alt}	0,5	8,5	8	21	25	30	55
T	8,5	-	-	23	40	35	110

4. Riesgos geológicos en la zona de estudio

En el presente apartado se tendrán en cuenta los diferentes riesgos geológicos considerados en la zona de afección del proyecto constructivo. Para ello, una vez más se recurre a la información disponible en el Estudio Geotécnico del citado proyecto constructivo, en el apartado correspondiente a evaluación de riesgos geológicos.

4.1. Riesgo por suelos expansivos

Es un fenómeno que debe considerarse, ya que afecta a suelos que, en presencia de agua, experimentan un considerable aumento de volumen que puede poner en riesgo la estabilidad de la obra de encontrarse cerca de la zona de construcción.

El PG – 3 establece un ensayo, regulado según la norma UNE 103601, a partir del cual puede determinarse si un terreno es expansivo o no. Dicho ensayo se practica sobre una muestra de suelo previamente remoldeada y compactada según la densidad y humedad óptimas del Proctor Modificado, de manera que se considera suelo expansivo si su índice de hinchamiento libre supera un valor del 3 %.

Tras la campaña de ensayos de laboratorio realizada en la zona de estudio, se adjuntan en la tabla siguiente los resultados referentes a la posible expansividad de suelos:

Prospección y muestra	Unidad Geotécnica	Cota (m)	Índice de hinchamiento libre (%)
C – 01, m – 1	Q _c	0,5	0,12

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Se ha tomado, por tanto, una muestra a poca profundidad durante la ejecución de la calicata C – 01, la cual ha sido realizada en una zona perteneciente a la Unidad Geotécnica Q_c (cuaternario cohesivo). Esta unidad implica una fuerte presencia de arcillas limosas procedentes del Cuaternario, y por lo tanto se trata de un terreno a evaluar por su posible tendencia a aumentar de volumen en presencia de agua.

Sin embargo, los resultados del ensayo indican un valor de índice de hinchamiento libre muy por debajo del límite fijado por el PG – 3, por lo que se descarta que la expansividad en suelos vaya a generar problemas importantes.

Otro posible mecanismo de expansividad es la hidratación de la anhidrita (CaSO_4), si se encuentra en la zona de estudio, y su recristalización para convertirse en yeso ($\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$), lo cual implicaría un incremento teórico de su volumen de un 60 %. Como es prácticamente imposible evitar que las arcillas expansivas experimenten cambios de humedad, la medida propuesta por el presente estudio consistirá en sustituirlas por un terreno no expansivo, en caso de detectarse, y construir posteriormente.

Para concluir este apartado, cabe observar que la única muestra seleccionada para su ensayo de expansividad se encuentra fuera de la zona de construcción del futuro paso de fauna, por lo que convendría realizar algún ensayo más en dicha zona aprovechando la ejecución de la calicata C – 04, próxima a la zona de implantación del puente.

4.2. Riesgo de colapso

Para determinar si un suelo presenta riesgo de colapso, existe un ensayo que consiste en tomar una muestra previamente remoldeada, la cual se compacta según la densidad y humedad obtenidas del Proctor Modificado y posteriormente es sometida a una presión de 0,2 MPa.

Según el PG – 3, si el asiento que sufre la muestra de suelo supera el 1 % de su altura inicial tiene una peligrosa tendencia al colapso, lo cual puede suponer un riesgo no sólo para la futura infraestructura sino para la seguridad de los trabajadores que intervienen en el proceso constructivo.

Analizando la tipología de suelos que constituyen la zona de estudio, puede llegarse a la conclusión de que no presentan una estructura especialmente resistente. Por tanto, aunque el aumento de humedad no suponga riesgo de expansión como se ha visto en el apartado anterior, sí puede provocar la destrucción de dicha estructura con el consiguiente colapso del terreno.

Esto es así porque dichos suelos presentan partículas limosas que ejercen cierta cohesión en condiciones de sequedad, pero dicha cohesión se pierde en cuando el contenido de humedad aumenta por cualquier motivo.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Para salir de dudas, se han tomado una serie de muestras aprovechando las prospecciones mecánicas realizadas en la zona de estudio y han sido ensayadas en laboratorio, llegando a las siguientes conclusiones:

Prospección y muestra	Unidad Geotécnica	Cota (m)	% de colapso
C – 01, m – 1	Q _c	0,5	0,41
C – 03, m – 2	Q _c	0,5	0,24
C – 04, m – 3	T	1	0,04
C – 05, m – 4	Q	1	0,03

Puede observarse que, a pesar de lo poco favorables que eran los condicionantes del terreno en materia de colapsabilidad, los resultados de los ensayos apuntan a que en ningún caso se superaría el 1 % de altura inicial de la muestra tras haber finalizado dicho ensayo, con lo cual se descarta que vayan a producirse problemas por colapso de suelos durante la construcción del nuevo tramo de la B – 224.

El presente estudio considera que el motivo de dichos resultados puede deberse a la no detección del Nivel Freático en la zona de estudio. En efecto, al no existir contenidos de humedad importantes, se reduciría el riesgo de que la falsa cohesión existente en el terreno desaparezca como consecuencia de la presencia de agua en el mismo.

Por otro lado, a la vista de las muestras seleccionadas para su ensayo puede observarse que una de ellas corresponde a la zona de construcción del paso de fauna. Se trata de la muestra m – 3, obtenida durante la ejecución de la calicata C – 04, y a partir de ella puede concluirse que en esta zona tampoco existe riesgo de colapso del terreno.

4.3. Suelos con yesos y sales solubles

Teniendo en cuenta el riesgo que presentan estos suelos por su solubilidad y peligros derivados del contacto con el agua, el PG – 3 establece una serie de limitaciones en su utilización según el porcentaje de yesos que presenten.

Así pues, para porcentajes superiores al 2 % debe ensayarse su posible tendencia a la expansión o el colapso siguiendo el procedimiento que se ha expuesto en los dos apartados anteriores. Además, si el contenido en sulfatos se encuentra entre el 0,2 y el 20 %, el PG – 3 establece condicionantes constructivos a tener en cuenta junto a las limitaciones de uso.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

En cuanto a los suelos con contenido en sales solubles, el PG – 3 establece un conjunto de limitaciones constructivas para contenidos superiores al 0,2 % en sales, y si supera el 1 % no recomienda su utilización en ningún caso.

Considerando que un suelo puede clasificarse como tolerable si presenta un contenido máximo del 1 % en sales solubles y del 5 % en yesos, se ha recurrido a una serie de muestras tomadas de diferentes prospecciones mecánicas para la evaluación de sus contenidos. Los resultados se adjuntan en la tabla siguiente, extraída del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo:

Prospección y muestra	Unidad Geotécnica	Cota (m)	% sales solubles	% yesos
C – 03	T	4,2	1,07	0,25
C – 05	T	2,4	0,03	0,08
C – 10	T	3,6	0,18	0,5
C – 18	T	2,75	0,19	0,65
C – 21	T	1,35	0,17	0,31
C – 26	T	1,83	0,18	0,4
C – 29	T	1,45	0,32	0,4
C – 01, m – 1	Q _c	0,50	0,09	0,05
C – 03, m – 2	Q _c	0,50	0,09	0,02
C – 04, m – 3	T	1	0,13	0,05
C – 05, m – 4	Q _c	1	0,78	0,04

Puede observarse que, a excepción del primer ensayo realizado durante la ejecución de la calicata C – 03, ninguna de las muestras ensayadas supera los valores máximos establecidos en el PG – 3 para estas tipologías de suelos. De hecho, es bastante probable que el ensayo realizado sobre la muestra m – 2, procedente de la calicata C – 03, se realizase para comprobar si el porcentaje de sales solubles continuaba superando (aunque fuera ligeramente) el valor límite comentado anteriormente.

La zona correspondiente al paso de fauna se encuentra representada por los ensayos realizados sobre la muestra m – 3, procedente de la calicata C – 04, y también refleja que los contenidos de sales solubles y yesos en dicha zona están muy por debajo de los límites superiores fijados en el PG – 3.

4.4. Riesgo de subsidencia

Algunas de las causas que pueden provocar este fenómeno ya han sido analizadas en apartados anteriores. Se ha hablado de la tendencia al colapso del terreno existente en la zona de estudio, así como de su posible ocurrencia por el contenido en yesos o en sales solubles del mismo.

Sin embargo, faltaría analizar el riesgo de subsidencia como consecuencia del fenómeno de la karstificación en rocas calcáreas o de yeso.

Así pues, tras consultar la información disponible al respecto en el Estudio Geotécnico y atendiendo al reconocimiento de campo efectuado y a las diferentes prospecciones realizadas durante la Campaña Geotécnica, puede concluirse que no se han observado indicios de disolución kárstica en la zona de implantación de la nueva infraestructura.

Por otro lado, cabe apuntar que el fenómeno de subsidencia también puede producirse debido a la sobreexplotación de los acuíferos. Esto es así porque, al extraer el agua que se encuentra rellenando los poros del suelo, estos se cierran provocando un asiento, de manera que si se producen extracciones masivas pueden provocar asientos importantes que deriven en subsidencia.

Recordando que la zona de estudio se encuentra parcialmente dentro de la masa de agua nº 37, conocida como la *Cubeta d'Abbrera*, se especificó en el anejo 3 del presente estudio que se han impuesto una serie de normas de protección destinadas a limitar la extracción de caudal del acuífero de la zona.

Estas medidas se han diseñado para prevenir la reducción de la masa de agua dulce del acuífero, y la consiguiente salinización de los terrenos afectados por el mismo. Además, las restricciones impuestas servirán para limitar el riesgo de que pueda producirse subsidencia por la extracción masiva de agua procedente del acuífero de Abbrera.

4.5. Agresividad química frente al hormigón

Para el análisis de la agresividad química del medio natural hacia el hormigón se ha recurrido al artículo 8.2.3 de la instrucción EHE, en el cual se establece la clase resistente recomendada para este material de construcción frente a aquellos fenómenos de degradación diferentes a la corrosión de las armaduras.

Aunque el medio natural engloba tanto el terreno como el agua existente, el presente apartado se centra únicamente en el primer aspecto al no haberse detectado Nivel Freático en la zona de estudio.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Con este objetivo, se han ensayado un total de 10 muestras procedentes de las calicatas y sondeos mecánicos realizados a lo largo de la zona de implantación del nuevo trazado de la B – 224. Los resultados de dichos ensayos se adjuntan en las tablas que aparecen a continuación:

Calicata	Tipología muestra	Código muestra	U. G.	Cota inicial (m)	Cota final (m)	% SO ₄	mg SO ₄ / kg suelo	Agresividad del suelo (según EHE)
C – 01	MR	m – 1	Q _g	1	1,5	0,0267	267	No agresivo
C – 03	MR	m – 2	T	0,1	0,5	0,0139	139	No agresivo
C – 04	MR	m – 3	T _{alt}	0,5	1	0,0292	292	No agresivo
C – 05	MR	m – 4	T	0,5	1	0,022	220	No agresivo

Sondeo	Tipología muestra	Código muestra	U. G.	Cota inicial (m)	Cota final (m)	mg SO ₄ / kg suelo	Grado de acidez Baumann-Gully (mg/kg)	Agresividad del suelo (según EHE)
S – 01	MR	m – 10	Q _c	2,6	2,8	<500 (Negativo)	1,25	No agresivo
S – 02	MI	m – 16	Q _c	5,4	6	<500 (Negativo)	2	No agresivo
S – 03	MI	m – 18	T _{alt}	3	3,6	<500 (Negativo)	1,5	No agresivo
S – 04	SPT	m – 23	Q _c	2	2,3	<500 (Negativo)	1,5	No agresivo
S – 05	SPT	m – 29	T _{alt}	2	2,4	<500	1,4	No agresivo

						(Negativo)		
S – 06	SPT	m – 33	T _{alt}	3	3,15	<500 (Negativo)	1,2	No agresivo

De las tablas anteriores se deduce que se ha recurrido a ensayos cuantitativos para las muestras procedentes de calicatas, y a ensayos de tipo cualitativo para las muestras obtenidas de sondeos mecánicos.

Considerando que en ningún caso se supera el límite de 2000 mg de sulfatos / kg de suelo, y que el grado de acidez de Baumann-Gully es en todos los casos inferior a los 20 mg / kg de suelo seco, puede concluirse que ninguna de las unidades geotécnicas consideradas presenta riesgo de agresividad química frente al hormigón. Este hecho incluye a la zona de implantación del futuro paso de fauna, representada por las muestras obtenidas de la calicata C – 04 y de los sondeos mecánicos S – 03 y S – 04.

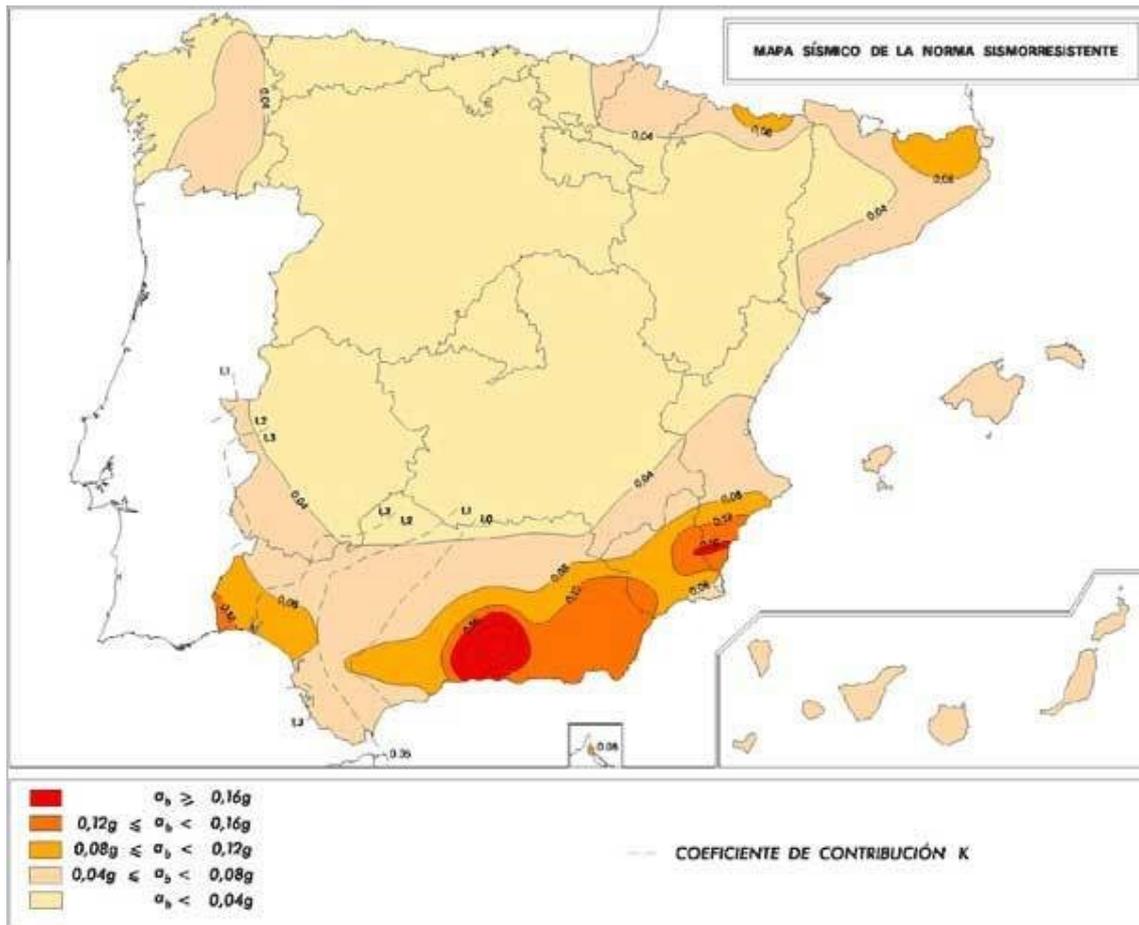
Además, el artículo 37.3.5 de la EHE establece que el cemento empleado en la fabricación del hormigón no requiere el requisito de ser resistente a los sulfatos, puesto que el contenido en estas sustancias presente en las muestras ensayadas es 3000 mg / l.

4.6. Riesgo de sismicidad

Para el estudio y evaluación de la sismicidad en la zona de construcción del nuevo trazado de la B – 224, se ha recurrido a la Norma de Construcción Sismorresistente general (NCSE – 02), y a la Norma de Construcción Sismorresistente específica para Puentes (NCSP – 07) para la construcción de las estructuras adicionales de la infraestructura principal.

Se adjunta un mapa extraído de la NCSE – 02 que establece para cada punto del Estado un valor de **aceleración sísmica básica** (a_b), expresado como relación con la aceleración gravitatoria y referida a un período de retorno de 500 años.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Buscando la zona en la que se encuentran los términos municipales afectados por la construcción del paso de fauna, se han obtenido los siguientes valores de a_b para los mismos:

Municipio	Aceleración sísmica básica (a_b / g)
<i>Sant Llorenç d'Hortons</i>	0,04
<i>Sant Esteve Sesrovires</i>	0,04

A la vista de los resultados anteriores, y teniendo en cuenta que en ninguno de los dos municipios afectados por la construcción del puente la aceleración básica supera el valor de $0,04 * g$, puede concluirse que no es necesario considerar el efecto de la sismicidad en el conjunto de acciones necesarias para el cálculo estructural y el diseño del futuro paso de fauna.

5. Estudio de alternativas

5.1. Introducción

Una vez establecida la división del terreno en Unidades Geotécnicas para favorecer su conocimiento y facilitar el trabajo que debe realizarse en él, concretando aquellas unidades que se localizan en la zona del paso de fauna, y analizados los riesgos geológicos a tener en cuenta a la hora de diseñar las diferentes estructuras a construir durante la ejecución del proyecto constructivo *Millora general. Desdoblament de la carretera B – 224, del P.K 18+480 al 24+000. Tram: Sant Llorenç d’Hortons – Sant Esteve Sesrovires*, se procederá a proponer y evaluar una serie de alternativas para el diseño de las cimentaciones de los estribos y la zona de pilas intermedias del paso de fauna objeto de este estudio.

Se ha optado por la propuesta de tres opciones de diseño, además de la alternativa 0 que implicaría no realizar ningún tipo de actuación en la zona de emplazamiento.

Una vez descritas debidamente, se realizará el correspondiente dimensionamiento adjuntando un croquis aproximado de cada una de ellas, de manera que queden definidas de manera general antes de proceder a evaluarlas siguiendo un análisis multicriterio, con el objetivo de escoger justificadamente la mejor de las tres alternativas de construcción.

5.2. Relación de alternativas

Como se ha introducido en el apartado anterior, se procederá a la descripción de las alternativas propuestas para el diseño de las cimentaciones del futuro paso de fauna, incluida la opción de no construir ninguna estructura en dicha zona.

5.2.1. Alternativa 0

En efecto, la primera opción a considerar es la posibilidad de no ejecutar ninguna estructura de paso en la zona de emplazamiento.

El no hacerlo implicaría, en primer lugar, una reducción en el presupuesto de ejecución material del proyecto constructivo que se está analizando, puesto que se trataría de una estructura menos a tener en cuenta a la hora de realizar la valoración económica de la obra.

Sería una estructura menos que proyectar, por tanto, con la consiguiente reducción en los plazos necesarios para la realización de los planos de proyecto, así como en el establecimiento de los tiempos necesarios para planificar los diferentes trabajos de ejecución, es decir, a la hora de establecer el plan de obra.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Otro efecto evidente de la no intervención en la zona de estudio sería la reducción del impacto visual y paisajístico en la misma, y es que la construcción de cualquier estructura siempre va a implicar un impacto que debe reducirse de la mejor manera posible.

Por otro lado, y dado que el objetivo de construir un paso de fauna es facilitar el cruce de la carretera B – 224 a las especies de animales existentes en la zona, si finalmente éste no se realizase debería estudiarse la posibilidad de que las especies de fauna recurran a los elementos de drenaje transversal presentes en la carretera actual, o los previstos en la construcción del nuevo trazado, para el paso a través de la misma.

De este modo se evitaría el peligro que supone el cruce de animales a través de la calzada, tanto para su propia integridad ya que podrían ser atropellados, como para evitar posibles accidentes a los usuarios habituales de la B – 224.

5.2.2. Alternativa 1

Las tres alternativas que siguen a continuación tienen en común un aspecto fundamental, y es que todas implican la construcción de una estructura que facilite el cruce de la carretera B – 224 a las especies de fauna existentes en la zona.

La diferencia radicarà, al menos en el àmbito que se refiere al presente estudio, en la tipología de cimentación seleccionada para ambos estribos y la zona de pilas intermedias que contribuirà a sostener el tablero del puente.

Una vez aclarado este punto, se plantea una primera propuesta de diseño que implicaría la construcción de cimentaciones profundas para la totalidad del paso de fauna.

La elección de esta alternativa como primera opción a estudiar se basa en la información disponible en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo que se está analizando, según la cual se ha recurrido a la ejecución de esta clase de cimentaciones en otras estructuras que van a formar parte del mismo.

Este hecho hace sospechar que, a pesar del buen comportamiento geotécnico que ofrece el terreno y la ausencia de Nivel Freático en la zona de estudio, puede darse el caso de que el terreno existente presente una carga admisible menor de la que se supone. Por tanto, y para quedarse del lado de la seguridad, el presente estudio ha tomado la decisión de analizar primeramente la posibilidad de ejecutar cimentaciones profundas para los tres puntos de análisis considerados en el paso de fauna.

Este tipo de cimientos se utiliza cuando el terreno que es capaz de resistir las cargas procedentes de la estructura no se encuentra en las capas más superficiales, y por lo tanto es necesario recurrir a elementos de suficiente dimensión longitudinal para llegar hasta él.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

La tipología de cimentación profunda más utilizada es el pilote, que puede emplearse de forma aislada, en grupos unidos mediante encepado o formando pantallas.

Se trata de elementos estructurales cuya dimensión longitudinal es muy superior a las otras dos, y cuya sección trasversal puede presentar geometrías diversas. Pueden ejecutarse *in situ* o recurrirse a elementos prefabricados que se transportarían a obra. Pueden, además, refiriéndose al material o materiales de construcción que los constituyen, ser de hormigón en masa, armado o pretensado, aunque este último caso se da en muy contadas ocasiones.

Esta hipótesis constructiva adoptará la cimentación mediante pantalla de pilotes para los dos estribos del paso de fauna para, de este modo, facilitar su ejecución, y un grupo de pilotes unidos mediante un encepado para la zona de pilas intermedias.

En este último caso, el motivo de emplear encepado es para utilizar este elemento estructural como apoyo para las pilas. De esta manera, el encepado puede recoger las cargas procedentes de la sección intermedia del tablero para, posteriormente, repartirlas entre los pilotes que compondrán la cimentación.

5.2.3. Alternativa 2

La segunda alternativa de construcción propuesta por el presente estudio se basa en seleccionar una modalidad de cimentación directa o superficial para los tres puntos analizados.

Dado que este tipo de cimiento transmite de forma directa las cargas procedentes de la estructura al terreno, deberá seleccionarse la profundidad del plano de cimentación de forma que los materiales existentes por debajo del mismo sean capaces de resistir las cargas correspondientes, y todo ello sin provocar problemas de inestabilidad que pongan en riesgo la estructura en fase de construcción o de explotación.

Tras consultar los perfiles litológicos obtenidos gracias a la ejecución de los sondeos S – 03, S – 03 bis y S – 04, queda claro que las zonas de construcción de ambos estribos y la zona de pilas intermedias presentan una estratificación de Unidades Geotécnicas diferente. Por tanto, el establecimiento de la profundidad más adecuada para los planos de cimentación se realizará en la posterior fase de dimensionamiento.

Dada la gran variedad existente dentro de las cimentaciones superficiales, el presente estudio ha considerado la opción de ejecutar zapatas corridas en los tres puntos de cimentación del paso de fauna.

5.2.4. Alternativa 3

Como puede observarse, las dos alternativas de construcción planteadas anteriormente implican un único tipo de cimentación para la totalidad del paso de fauna.

Sin embargo, puede darse la situación de que una tipología de buenos resultados en uno de los estribos del puente, pero no en el opuesto, sin contar con lo que podría ocurrir en la zona de pilas intermedias.

Para la descripción de esta última alternativa, se propone una cimentación profunda para el estribo norte del paso de fauna, coincidente con la que se estableció para el mismo en la alternativa 1.

Se define, además, la tipología de cimentación superficial y más concretamente la zapata corrida, para el estribo sur y la zona de pilas intermedias del paso de fauna, tal como se ha planteado en la alternativa 2.

5.3. Predimensionado de alternativas

Tras describir de forma general las alternativas de cimentación para el paso de fauna objeto de este estudio, se procederá al dimensionamiento de las mismas adjuntando un croquis de cada una de ellas para completar su definición. Como la alternativa 0 implicaba no ejecutar ningún tipo de estructura en la zona, se pasará directamente a analizar las alternativas de construcción propuestas.

Una vez definidas geoméricamente en sus dimensiones básicas, el siguiente paso sería comprobar si son suficientes para resistir la carga transmitida por la estructura en cada uno de los puntos analizados, es decir, en los dos estribos y la zona de pilas intermedias del paso de fauna.

Para ello, se procederá en primer lugar al cálculo de estas cargas transmitidas, modelizando el puente como un conjunto formado por dos vigas biapoyadas de longitudes coincidentes con los vanos del paso de fauna. El primer vano presenta una longitud de 26 m y el segundo de 32 m, quedando el estribo norte en el extremo derecho y el sur en el izquierdo de la estructura.

Aprovechando que el paso de fauna cuyas cimentaciones pretenden dimensionarse forma parte del proyecto constructivo que se está analizando, se ha recurrido a la información disponible en los planos estructurales para determinar las acciones actuantes sobre la estructura. Estas acciones servirán para determinar la carga transmitida por la misma a los dos estribos y a la zona de pilas intermedias.

Recordar que las simplificaciones geométricas llevadas a cabo en el presente estudio están justificadas por uno de sus objetivos principales: realizar un dimensionamiento básico e inicial de las cimentaciones del paso de fauna, para lo cual se necesita una serie de valores de partida.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

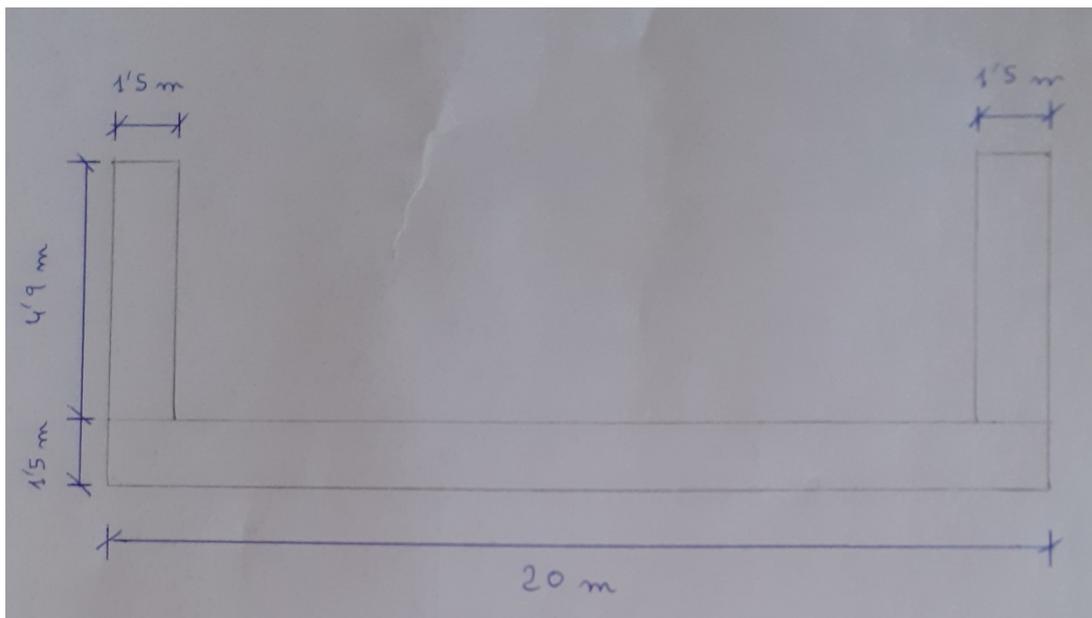
En este sentido, se ha adoptado un valor de peso específico de 25 KN/m^3 que engloba tanto el hormigón empleado para la ejecución de las cimentaciones como las armaduras que completen el diseño de las mismas, y cuyo dimensionamiento estructural no es objeto del presente estudio.

Asimismo, hay que apuntar nuevamente que, a pesar de trabajar con un terreno fundamentalmente cohesivo, la no detección del Nivel Freático en ningún punto de la zona de construcción de la nueva B – 224, descarta tener que realizar los cálculos de carga de hundimiento en totales y efectivas, pudiendo trabajar en presiones totales para todo el presente estudio.

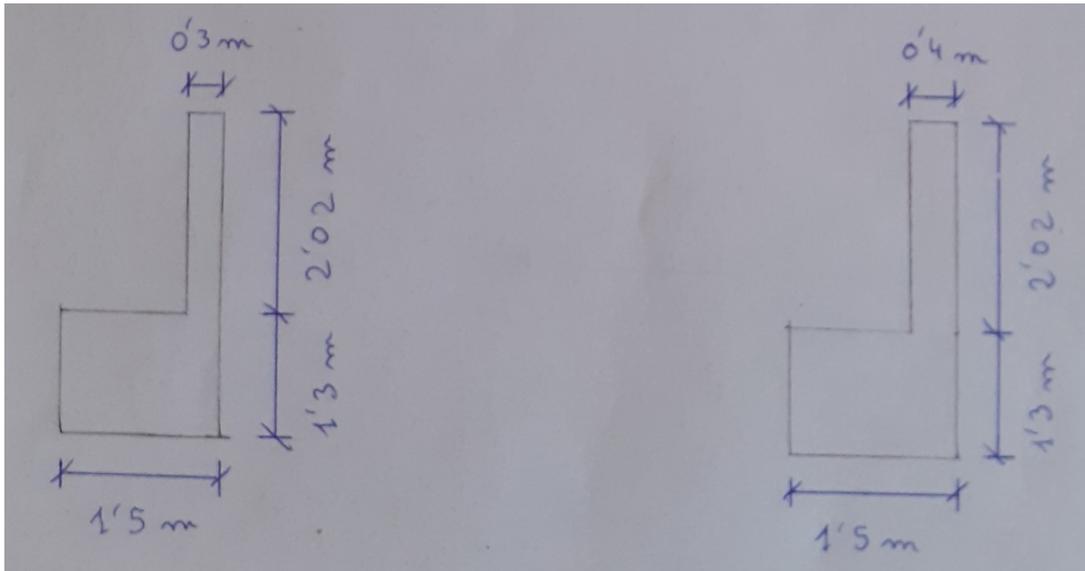
Una vez aclarado esto, las acciones a tener en cuenta son las siguientes:

—Peso propio del Estribo Norte:

Se ha croquizado a partir de los planos estructurales que se disponen sobre el paso de fauna original. Debido a que el estribo original presenta un peralte trasversal, las dimensiones adoptadas para el cálculo del volumen de hormigón necesario han sido simplificadas considerándose perfectamente rectangulares.



Croquis de la planta del encepado del estribo norte



Perfil trasversal del encepado (izquierda) y aletas laterales (derecha) del estribo norte

A partir de estos datos, el volumen de hormigón que compone el encepado de la cimentación vale lo siguiente:

$$V = (1,5 * 1,3 * 20) + (2,02 * 0,3 * 20) + 2 * [(1,5 * 1,3 * 4,9) + (2,02 * 0,4 * 4,9)] = 78,148 \text{ m}^3$$

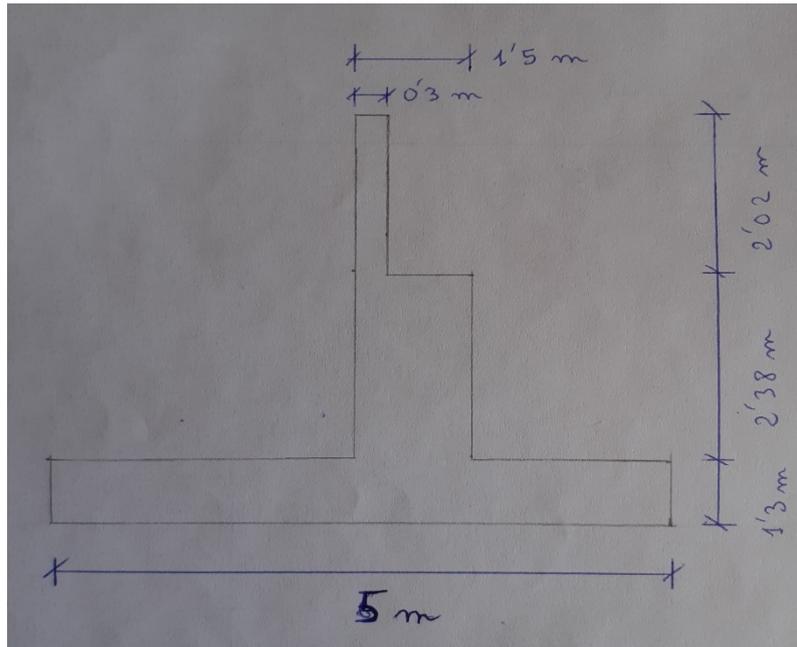
Multiplicando el volumen anterior por el peso específico del hormigón, se obtendrá el peso del estribo norte:

$$W_{EN} = \gamma * V = 25 * 78,148 = 1953,7 \text{ KN}$$

—Peso propio del Estribo Sur:

Siguiendo el razonamiento empleado para el estribo anterior, y atendiendo nuevamente a la información disponible en los planos estructurales del proyecto constructivo que se está analizando, el estribo sur del paso de fauna original ha sido concebido como una cimentación superficial, por lo que el volumen de hormigón necesario para obtener el peso que llega a la zapata se obtendrá de manera diferente.

Así pues, se considerará la parte del estribo por encima de la propia zapata, cuyas dimensiones simplificadas se adjuntan a continuación. Cabe apuntar que, al presentar cierto peralte en alzado, se ha tomado como altura vertical la del extremo más elevado, es decir, 4,4 m.



Alzado del estribo sur

A partir de las dimensiones anteriores, se procede a obtener el volumen de hormigón que compone la estructura del estribo sur:

$$V = (1,5 * 2,38 * 20) + (2,02 * 0,3 * 20) = 83,52 \text{ m}^3$$

Con este valor, se obtendrá el peso de este estribo multiplicándolo por el peso específico del hormigón:

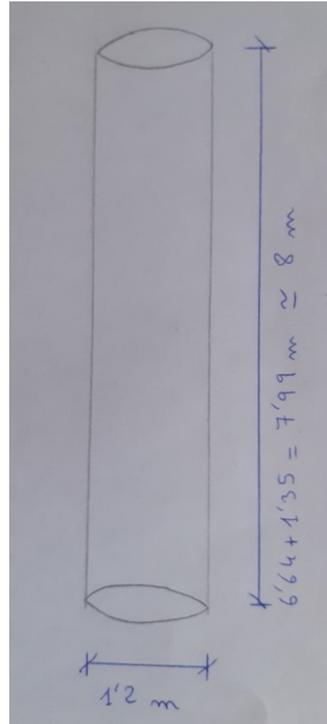
$$W_{ES} = \gamma * V = 25 * 83,52 = 2088 \text{ KN}$$

—Peso propio de la Zona de pilas intermedias:

La zona de pilas intermedias del paso de fauna está compuesta por un conjunto de 4 pilas cilíndricas rematadas por un capitel troncocónico situadas entre los dos vanos que conforman el puente.

Considerando el peralte transversal que afecta tanto a los estribos como al tablero del paso de fauna, se adoptará como simplificación un grupo de 4 pilas con idéntico diámetro a las originales del proyecto constructivo, y cuya altura equivale a la de la pila más alta.

La altura así considerada es la suma de la longitud vertical del fuste de esta y del capitel que la remata.



Alzado de una de las pilas de la zona intermedia del paso de fauna

Teniendo en cuenta que son 4 pilas cilíndricas, el volumen de su conjunto tendrá el siguiente valor:

$$V = 4 * \frac{\pi * 1,2^2}{4} * 8 = 36,19 \text{ m}^3$$

$$W_p = \gamma * V = 25 * 36,19 = 904,75 \text{ KN}$$

—Peso propio de los vanos del paso de fauna:

Como se ha descrito anteriormente, el paso de fauna está compuesto por dos vanos de 26 m y 32 m, respectivamente, separados por la zona de pilas intermedias. El peso propio de cada uno de ellos se considera como una carga uniformemente repartida debida a los elementos que componen el tablero del puente, y que se describen a continuación.

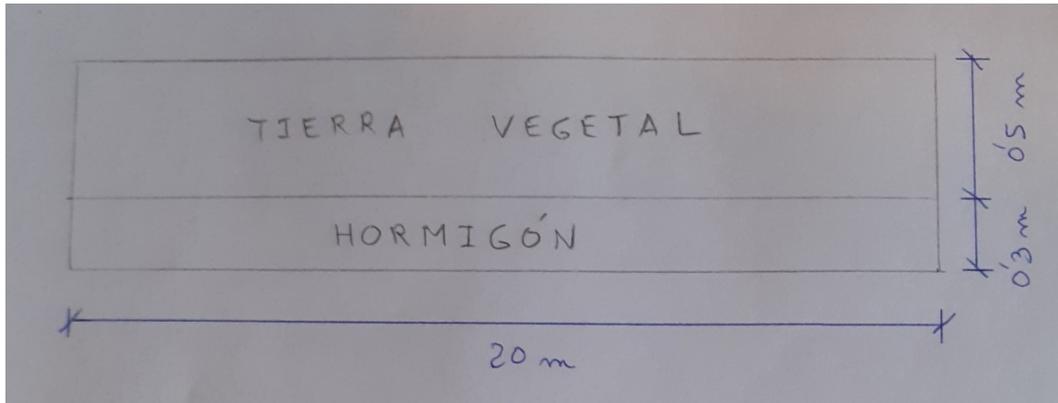
En primer lugar, el tablero está compuesto por cuatro vigas prefabricadas en artesa cuya sección transversal ha sido modelizada para simplificar los cálculos. Sobre ellas se dispone el tablero propiamente dicho, compuesto por una losa de hormigón de 0,3 m de espesor y una capa de tierra vegetal de 0,5 m, por la que circularán los animales que son los verdaderos usuarios de esta estructura.

Los espesores anteriormente citados también corresponden a la modelización anteriormente mencionada, debido al peralte transversal que sufre el tablero del puente en toda su longitud.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

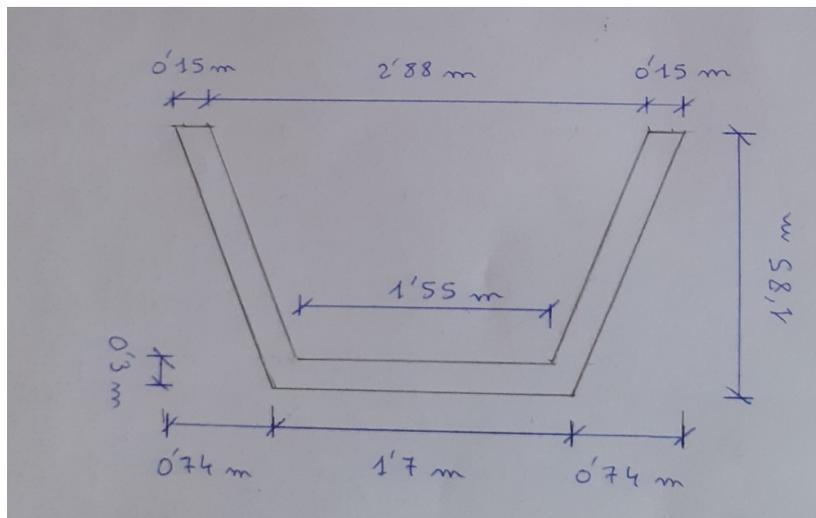
Asimismo, se ha establecido para el cálculo un peso específico para la tierra vegetal de 15 KN/m^3 , mientras que para el hormigón continúa considerándose el valor de 25 KN/m^3 .

Para una mejor comprensión de las simplificaciones realizadas, el presente estudio adjunta una serie de croquis que representan la sección transversal de las vigas en artesa y las diferentes capas que, sobre las mismas, completan la estructura del tablero del paso de fauna.



Croquis aproximado del alzado de la losa de hormigón y la capa de tierra vegetal del tablero del paso de fauna

$$q_{\text{Tierra + Hormigón}} = (15 * 20 * 0,5) + (25 * 20 * 0,3) = 300 \text{ KN/m}$$



Croquis aproximado del alzado de una de las vigas en artesa que componen el tablero del paso de fauna

$$S_{\text{Viga}} = (3,18 * 1,85) - (2 * 0,5 * 0,74 * 1,85) - (1,55 * 1,55) - (2 * 0,5 * 1,55 * 0,665) = 1,08075 \text{ m}^2$$

Como son 4 las vigas que componen la parte inferior del tablero del puente:

$$q_{4 \text{ vigas}} = 4 * 25 * 1,08075 = 108,075 \text{ KN/m}$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Por tanto, la carga uniformemente repartida que representa el peso propio de un vano del paso de fauna se obtendrá como la suma de los dos valores calculados anteriormente:

$$q_{\text{vano}} = q_{\text{Tierra + Hormigón}} + q_{4 \text{ vigas}} = 300 + 108,075 = 408,075 \text{ KN/m}$$

— Sobrecarga debida al paso de animales:

No hay que olvidar que, aparte del peso propio de la estructura, en el dimensionamiento previo también hay que considerar el efecto del uso por parte de quienes van a utilizar el paso de fauna durante la fase de explotación del mismo.

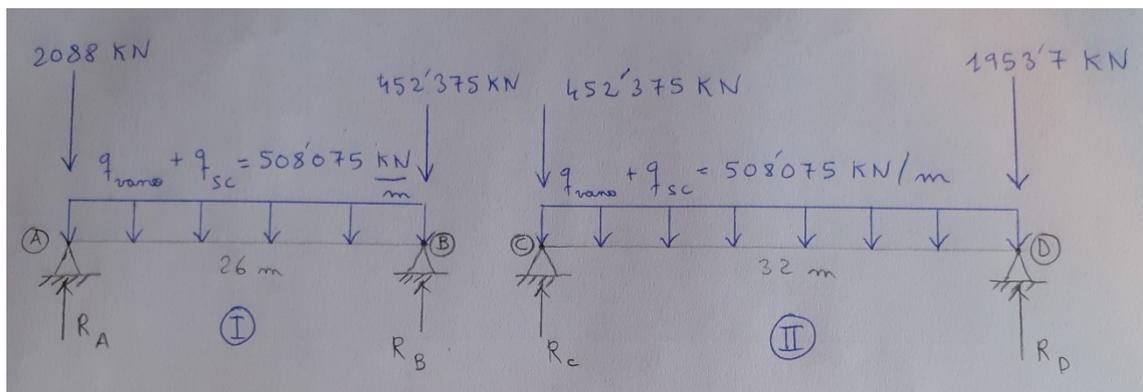
Asimilando la circulación de las especies locales como una sobrecarga de tráfico ligero, se asume una carga por unidad de superficie de 5 KN/m^2 . Este valor, multiplicado por el ancho del tablero del puente, proporciona una carga uniformemente repartida de:

$$q_{\text{sc}} = 5 * 20 = 100 \text{ KN/m}$$

Una vez definidos los valores de las diferentes acciones, se puede realizar el cálculo estructural para obtener las reacciones en cada uno de los puntos de apoyo del paso de fauna. Estas reacciones, corresponderán a las cargas transmitidas por la estructura a cada una de las cimentaciones que deben dimensionarse.

Así pues, y como se ha mencionado al principio de este apartado, para el cálculo de las cargas transmitidas se ha modelizado la estructura del paso de fauna como dos vigas biapoyadas horizontales, una de 26 m y la otra de 32 m, según las longitudes de los dos vanos del puente.

Las acciones actuantes se reflejan en el croquis adjunto. Destacar que el peso de la zona de pilas intermedias se ha repartido entre ambas vigas, de manera que cada una de ellas se ha llevado la mitad del valor obtenido anteriormente.



El punto A corresponde al estribo sur del paso de fauna, mientras que el punto D corresponde al estribo norte. Asimismo, los puntos B y C corresponden a la zona de pilas intermedias, dividida en dos para considerar una viga por cada vano del puente.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Se procederá a la resolución de la estructura comenzando por el vano izquierdo, de 26 m de longitud.

I:

Considerando que los momentos antihorarios son positivos, se planteará el equilibrio de momentos en A.

$$\sum M_A = 0: (-508,075 * 26 * 13) - (452,375 * 26) + (R_B * 26) = 0$$

$$R_B = \frac{(508,075 * 26 * 13) + (452,375 * 26)}{26} = 7057,35 \text{ KN}$$

Planteando ahora el equilibrio de fuerzas verticales, se obtendrá R_A , correspondiente a la carga transmitida por la estructura a la cimentación del estribo sur.

$$\sum F_y = 0: R_A - 2088 - (508,075 * 26) - 452,375 + 7057,35 = 0$$

$$R_A = 2088 + 13209,95 + 452,375 - 7057,35 = 8692,98 \text{ KN}$$

II:

Pasando ahora a la viga correspondiente al vano derecho, de 32 m de longitud, se procederá planteando el equilibrio de momentos en el punto C (zona de pilas intermedias). El objetivo es calcular el valor de la reacción R_D , correspondiente a la carga transmitida por la estructura a la cimentación del estribo norte.

$$\sum M_C = 0: (-508,075 * 32 * 16) - (1953,7 * 32) + (R_D * 32) = 0$$

$$R_D = \frac{(508,075 * 32 * 16) + (1953,7 * 32)}{32} = 10082,9 \text{ KN}$$

Planteando nuevamente el equilibrio de fuerzas verticales, se obtendrá la reacción R_C , componente de la carga transmitida por la zona de pilas intermedias del paso de fauna.

$$\sum F_y = 0: R_C - 452,375 - (508,075 * 32) - 1953,7 + 10082,9 = 0$$

$$R_C = 452,375 + 16258,4 + 1953,7 - 10082,9 = 8581,58 \text{ KN}$$

Por tanto, la reacción correspondiente a la carga transmitida por la zona de pilas intermedias será la suma de R_B y R_C , obteniéndose un valor de:

$$R_{\text{Pilas}} = R_B + R_C = 7057,35 + 8581,58 = 15638,93 \text{ KN}$$

Una vez obtenidas las reacciones del cálculo estructural anterior, es necesario llevar a cabo una última consideración antes de proceder al dimensionamiento de las cimentaciones para cada alternativa.

Y es que, a pesar de las simplificaciones realizadas para su obtención, es necesario tener en cuenta en el valor de las cargas transmitidas una serie de factores no considerados en la obtención de las reacciones anteriores, tales como el efecto de la

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

carga del viento, acciones de frenado, reológicas, así como la carga de nieve y la sísmica, todas ellas englobadas en un coeficiente de valor 1,2.

Evidentemente el valor de este coeficiente no es muy exhaustivo, puesto que pretende recoger el efecto de acciones de muy diversa naturaleza. Sin embargo, el presente estudio lo considera suficiente dado que se pretende realizar un dimensionamiento básico de las cimentaciones del paso de fauna, y por lo tanto se trataría de una más de las simplificaciones realizadas a tal efecto para obtener los datos de partida necesarios.

Se multiplicarán, por tanto, por este coeficiente las reacciones anteriores y el valor obtenido será tratado como la carga transmitida necesaria para continuar trabajando.

Así pues:

— **Carga transmitida por la estructura a la cimentación del estribo norte:**

$$Q_{t\text{ EN}} = 1,2 * R_D = 1,2 * 10082,9 = 12099,48 \text{ KN}$$

— **Carga transmitida por la estructura a la cimentación del estribo sur:**

$$Q_{t\text{ ES}} = 1,2 * R_A = 1,2 * 8692,98 = 10431,58 \text{ KN}$$

— **Carga transmitida por la estructura a la cimentación de la zona de pilas intermedias:**

$$Q_{t\text{ Pilas}} = 1,2 * R_{\text{Pilas}} = 1,2 * 15638,93 = 18766,72 \text{ KN}$$

Una vez obtenidos estos valores, se procederá al dimensionamiento de las cimentaciones para cada una de las alternativas de construcción propuestas.

5.3.1. Alternativa 1

Esta alternativa de construcción implica, como se ha explicado anteriormente, la ejecución de cimentaciones profundas tanto para los dos estribos como para la zona de pilas intermedias del paso de fauna.

Se propondrá una cimentación de acuerdo con esta tipología para cada uno de los puntos de análisis, para posteriormente comprobar si el dimensionamiento propuesto es suficiente para resistir la carga transmitida por la estructura a esa cimentación. Para ello, se procederá a comparar dicha carga transmitida a la cimentación con la carga admisible por la misma.

Ya que las cargas transmitidas a cada cimentación han sido calculadas en el apartado anterior, se procederá a explicar la obtención de la carga admisible o carga útil de dicha cimentación.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

La carga admisible se obtendrá como el valor mínimo de las siguientes cargas:

- Carga admisible por hundimiento
- Carga admisible por asiento
- Tope estructural (T_e)

Se procederá a explicar las formulaciones necesarias para obtener dichas cargas considerando un pilote aislado. El primero de los valores, la carga admisible por hundimiento, se obtendrá minorando la carga de hundimiento del pilote mediante un coeficiente de seguridad global.

En el caso de pilotes aislados, la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera establece la obtención de la carga de hundimiento Q_h del mismo, como la suma de dos componentes: la resistencia por la punta Q_p y la resistencia por el fuste Q_f . Por tanto:

$$Q_h = Q_p + Q_f = (q_p * A_p) + (q_f * A_f)$$

siendo:

Q_h : carga de hundimiento de un pilote aislado

q_p : resistencia unitaria por la punta del pilote

A_p : área de la punta

q_f : resistencia unitaria del fuste del pilote

A_f : área de la parte enterrada del fuste

Para proseguir con el dimensionamiento, el presente estudio asumirá la hipótesis de que los pilotes a ejecutar serán de hormigón armado fabricados *in situ*, descartando la posibilidad de recurrir a elementos prefabricados. Este descarte se debe, principalmente, a la decisión de no correr el riesgo que supone encontrar, durante el proceso de hincas, algún estrato de terreno competente que resulte difícil de atravesar.

Asumida esta hipótesis de partida, se recurrirá a la formulación basada en los parámetros resistentes del modelo de Mohr-Coulomb, establecida en la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera para pilotes perforados.

Se trata de fórmulas analíticas aplicables a suelos en condiciones drenadas, por lo que pueden aplicarse al terreno existente en la zona de estudio dada la ausencia de Nivel Freático en la misma.

Sin embargo, aunque el terreno con el que se va a trabajar no se encuentra afectado por la presencia del Nivel Freático, estas fórmulas continuarían siendo válidas ya que, al aplicar el principio de tensiones efectivas de Terzaghi, las presiones efectivas y las totales coincidirían, por lo que las expresiones a utilizar serían las mismas.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Así pues, se comenzará exponiendo la fórmula que permite el cálculo de la resistencia unitaria por la punta del pilote:

$$q_p = N_q \cdot \sigma'_{v0} + N_c \cdot c$$

siendo:

q_p : resistencia unitaria por la punta del pilote

c : cohesión del terreno en el que se hunde la punta del pilote analizado

σ'_{v0} : tensión efectiva vertical en la punta del pilote

N_q , N_c : factores de capacidad de carga, que se obtienen a partir de las siguientes expresiones

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

ϕ : ángulo de rozamiento interno

f_D : factor adimensional que depende del diámetro del pilote (D), y que se obtiene mediante la siguiente expresión

$$f_D = 1 - \frac{1}{3} D \geq \frac{2}{3}$$

Por su parte, la resistencia unitaria por el fuste se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$q_f = c + K_0 \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \sigma'_v \leq 90 \text{ kPa}$$

siendo:

q_f : resistencia unitaria por el fuste del pilote

c : cohesión del terreno al nivel considerado

K_0 : coeficiente de empuje al reposo

δ : ángulo de rozamiento en la zona de contacto entre la punta del pilote y el terreno

σ'_v : presión efectiva vertical en el punto considerado

El presente estudio asumirá, dada la ausencia de datos referentes al coeficiente de empuje al reposo, un valor de 0,3 para el producto $K_0 \cdot \tan \delta$. Este valor ha sido adoptado tras consultar el estudio de cimentaciones incluido en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Una vez obtenida la carga de hundimiento del pilote aplicando la fórmula introducida al inicio de este apartado, se procedería a dividir dicho valor entre un factor de seguridad de 3 para obtener la carga admisible por hundimiento del terreno.

Se emplea este coeficiente porque es el asignado por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera para la verificación de Estados Límite Últimos, dentro de los cuales se halla la situación de hundimiento de la cimentación por fallo estructural del terreno.

La segunda de las cargas a considerar es la carga admisible por asiento, definida como la máxima carga que produce un asiento admisible por la estructura a la que el pilote sirve de cimiento. Se determinará, para cada cimentación propuesta, si es necesario considerarla en la obtención de la carga admisible.

Por último, debe obtenerse el tope estructural del pilote, definido como el producto de la resistencia característica del material del pilote y la sección transversal del mismo. La Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, establece en la tabla 5.5 los valores recomendados para su obtención.

TABLA 5.5. VALORES RECOMENDADOS PARA EL TOPE ESTRUCTURAL DE LOS PILOTES

$$Q_{\text{tope estructural}} = \sigma \cdot A, \quad A = \text{área de la sección transversal}$$

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

Como es de suponer, se tomarán los valores de la parte de la tabla referentes a pilotes de hormigón in situ.

Una vez obtenidas las tres cargas anteriores, se obtendrá la carga admisible o carga útil de un pilote aislado como el valor mínimo de los mismos.

Por otra parte, hay que recordar el hecho de que las fórmulas analíticas anteriores se refieren a pilotes aislados, cuando lo habitual es que actúen en grupos formando pantallas continuas o discontinuas, o bien en grupos unidos mediante un encepado. Es por esto por lo que la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera establece la

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

consideración del llamado **efecto grupo** si se opta por recurrir a esta tipología de cimentaciones.

Si la cimentación se diseña como una pantalla de pilotes discontinua, que sería válida teniendo en cuenta que el terreno de trabajo es predominantemente cohesivo, el efecto grupo se considerará minorando la carga admisible de cada pilote aplicándole un coeficiente de eficiencia.

Basándose en la información disponible en el Estudio Geotécnico, el presente estudio asumirá un valor de 0,7 para el coeficiente de eficiencia a aplicar en la resistencia por fuste.

Para la resistencia por la punta, por su parte, se establecen una serie de condiciones extraídas del Código Técnico de la Edificación y que pasan a explicarse a continuación:

—El efecto grupo no será considerado si la separación entre ejes de pilotes es igual o superior a 3 diámetros. Dicho de otra manera, será como aplicar un coeficiente de eficiencia igual a 1.

—Si la separación entre ejes de pilotes es de 1 diámetro, el coeficiente de eficiencia a aplicar será de 0,7.

—Para separaciones entre ejes de pilotes entre 1 y 3 diámetros, se interpolará linealmente entre 0,7 y 1 para obtener el coeficiente de eficiencia.

Esto sería lo válido si se opta por una pantalla de pilotes, pero si finalmente se decide resolver este tipo de cimentación mediante un grupo de pilotes unidos mediante encepado, la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera establece en el apartado 5.10.4 el procedimiento a seguir para comprobar el efecto grupo.

Los pasos que deben seguirse son los siguientes:

—Se modelizará el conjunto de pilotes de la cimentación como un gran pilote ficticio, cuya sección transversal será igual a la sección que circunscribe todos los pilotes del encepado y el terreno existente entre ellos. Si los pilotes son de sección circular, la sección transversal de este pilote ficticio sería una circunferencia de diámetro tal que sea capaz de incluirlos a todos en su interior.

—La longitud del pilote ficticio definido anteriormente, será igual a la longitud media de los pilotes unidos mediante el encepado.

—La resistencia por el fuste obtenida se aplicará en todo el contorno de la sección transversal definida en el primer paso.

—El peso del pilote ficticio será igual a la suma de los pesos de todos los pilotes incluidos en la sección transversal definida en el primer paso, más el peso de terreno incluido en su perímetro.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

—Una vez definido el pilote ficticio como un pilote aislado a efectos de cálculo, podrá obtenerse la carga de hundimiento del mismo aplicando las fórmulas expuestas anteriormente.

Obtenida, pues, la carga admisible para el conjunto de la cimentación propuesta, se comparará con la carga transmitida por la estructura a la misma. Para que el dimensionamiento resulte válido, la carga admisible debe ser superior a la carga transmitida, puesto que este hecho implicaría que la cimentación así dimensionada es suficiente para resistir la carga que le va a transmitir la estructura a la que sirve de cimiento.

Por último, cabe apuntar que, en el proceso de dimensionamiento de las cimentaciones de esta alternativa, no se tendrá en cuenta la comprobación por pandeo.

Esta decisión se justifica por el hecho de que sólo se recomienda su consideración cuando los pilotes vayan a travesar formaciones de escasa resistencia, y este no es el caso del terreno existente en la zona de construcción del paso de fauna. Así se comprueba tras el análisis de las propiedades de las diferentes Unidades Geotécnicas en que se ha dividido el terreno en la zona de ejecución.

Tras esta introducción teórica, se procederá al dimensionamiento por separado de las cimentaciones de los dos estribos y la zona de pilas intermedias del paso de fauna.

5.3.1.1. Estribo norte

Dado el carácter fundamentalmente cohesivo del terreno existente en esta zona, y el objetivo de garantizar la resistencia necesaria empleando el menor número de pilotes necesarios, el presente estudio ha optado por el diseño de una pantalla de pilotes discontinua para la cimentación del estribo norte del paso de fauna.

Los pilotes que la componen serán de hormigón armado fabricados *in situ*, de 0,85 m de diámetro. La elección de este valor se justifica por tratarse de un diámetro comercial empleado habitualmente en esta clase de cimentaciones.

Se trata, pues, de un buen dato de partida para el dimensionamiento básico que se pretende realizar.

Prosiguiendo con la descripción geométrica de la cimentación propuesta, los pilotes que la componen se encuentran unidos por un elemento cargador cuyo ancho coincide con el del tablero del paso de fauna, que recoge la parte superior de los mismos y tendrá la función de repartir la carga transmitida por la estructura entre ellos.

La pantalla de pilotes, por su parte, se dispondrá perpendicularmente al eje del tablero del paso de fauna, de manera que para afianzar esta cimentación se dispondrán dos aletas en sus extremos, perpendiculares al elemento cargador y hacia el exterior del puente.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Estas aletas recogerán, del mismo modo que el elemento cargador, la parte superior de una serie de pilotes con las mismas características geométricas y de separación entre ejes que los de la pantalla principal.

Para encajar el número de pilotes que realmente van a formar parte de esta cimentación, el presente estudio se ha basado en la distancia mínima que, según la Instrucción EHE – 08, puede establecerse entre el borde del elemento cargador (considerado a efectos prácticos como un encepado) y el perímetro del pilote más próximo. Esta distancia es de 0,25 m, por lo que el presente estudio ha decidido asumir medio metro de separación a ambos lados de dicho elemento.

A partir de esta consideración previa, se propone inicialmente la distribución de un total de 12 pilotes en la pantalla frontal y 3 más en cada una de las aletas laterales. Si se comprueba que con la distribución anterior se resiste sobradamente la carga transmitida a la cimentación, podría reducirse el número de pilotes garantizando un buen funcionamiento de esta.

Una vez descrita la cimentación a analizar, se procederá al cálculo de su carga de hundimiento. Partiendo de las formulaciones propuestas en la exposición anterior, se calcularán las cargas unitarias por punta y fuste considerando un pilote aislado de 0,85 m de diámetro.

Por otra parte, y dadas las buenas propiedades geotécnicas del terreno existente que han sido comentadas en apartados anteriores, el presente estudio asume la hipótesis de que los pilotes se hincan hasta la Unidad Geotécnica T, de manera que se transmitan las cargas procedentes de la estructura a un terreno cohesivo que presenta buena consistencia. Se partirá, considerando este supuesto, de unos pilotes que alcancen los 8 m de profundidad.

Los resultados obtenidos de resistencias unitarias por punta y fuste en función de la profundidad se recogen en la siguiente tabla. Hay que apuntar que el primer medio metro de espesor es de tierra vegetal, despreciándose la capacidad resistente de esta clase de terrenos a efectos del cálculo de presiones verticales y demás factores que intervienen en la obtención de estas resistencias.

Por tanto, aunque en la tabla siguiente se dan los valores aumentando la profundidad cada medio metro, la presión vertical se calcula descontando el primer medio metro de espesor de terreno.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Prof. (m)	Tipo de suelo	γ (KN/m ³)	σ_{v0} (KN/m ²)	c (KN/m ²)	Nq	Nc	$K_0 * t / g\delta$	q_p (KN/m ²)	q_f (KN/m ²)
0,5	T.V.	-	-	-	-	-	-	-	-
1	T _{alt}	21	10,5	25	19,79	32,55	0.3	1021,43	28,15
1,5	T _{alt}	21	21	25	19,79	32,55	0.3	1229,22	31,3
2	T _{alt}	21	31,5	25	19,79	32,55	0.3	1437,02	34,45
2,5	T _{alt}	21	42	25	19,79	32,55	0.3	1644,81	37,6
3	T _{alt}	21	52,5	25	19,79	32,55	0.3	1852,61	40,75
3,5	T _{alt}	21	63	25	19,79	32,55	0.3	2060,4	43,9
4	T _{alt}	21	73,5	25	19,79	32,55	0.3	2268,2	47,05
4,5	T _{alt}	21	84	25	19,79	32,55	0.3	2475,99	50,2
5	T _{alt}	21	94,5	25	19,79	32,55	0.3	2683,79	53,35
5,5	T _{alt}	21	105	25	19,79	32,55	0.3	2891,58	56,5
6	T _{alt}	21	115,5	25	19,79	32,55	0.3	3099,38	59,65
6,5	T	23	127	40	35,81	49,73	0.3	6537,01	78,1
7	T	23	138,5	40	35,81	49,73	0.3	6948,83	81,55
7,5	T	23	150	40	35,81	49,73	0.3	7360,64	85
8	T	23	161,5	40	35,81	49,73	0.3	7772,46	88,45

Una vez obtenidos los valores de carga unitaria para la profundidad que se pretende alcanzar, el siguiente paso será calcular la carga total obteniendo para ello las respectivas áreas de la punta del pilote y de la zona enterrada del fuste.

Recordando que los pilotes que conforman esta cimentación serán cilíndricos, se asume que el área de la punta del pilote también será circular, por lo que se calculará a partir del diámetro transversal seleccionado:

$$A_p = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,85^2}{4} = 0,56745 \text{ m}^2$$

En cuanto al área del fuste, y para simplificar los cálculos destinados al dimensionamiento básico que se está realizando, el presente estudio asumirá la hipótesis de que el elemento de hormigón que une el conjunto de pilotes apoya directamente sobre la superficie del terreno. De este modo, se considera que la parte de fuste enterrada de estos pilotes coincide con la profundidad de terreno que alcanzarán al ser ejecutados.

Por tanto, el área A_f coincidirá con el área lateral de uno de estos pilotes cilíndricos, cuya altura es de 8 m coincidiendo con la profundidad que van a alcanzar, y cuya base corresponde al perímetro de su base circular.

$$A_f = b * h = 2 * \pi * r * h = 2 * \pi * 0,425 * 8 = 21,36 \text{ m}^2$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Así pues, con los valores obtenidos puede calcularse la carga de hundimiento de un pilote aislado con las características geométricas fijadas para este estribo.

$$Q_h = Q_p + Q_f = q_p * A_p + q_f * A_f = (7772,46 * 0,56745) + (88,45 * 21,36) = 6299,77 \text{ KN}$$

Sin embargo, la cimentación propuesta para este estribo del paso de fauna no se compone de un único pilote, sino de un conjunto de ellos.

Es necesario, por tanto, considerar el efecto grupo a la hora de establecer la carga admisible total del conjunto de la cimentación. Para ello, y tratándose de una pantalla de pilotes, se recuerda que el Código Técnico de la Edificación en su documento SE – C establece un coeficiente con el que debe minorarse la carga de cada uno de los pilotes que la componen.

Este coeficiente es de 0,7 para la resistencia por fuste, y varía entre 0,7 y 1 para la resistencia por la punta. Este último depende de la distancia de separación entre ejes de pilotes, por lo que antes de proseguir deberá establecerse dicha distancia.

A partir de la distribución de pilotes propuesta inicialmente, la separación entre ejes de pilotes será de 1,65 m.

Una vez establecida dicha separación, y dado que este valor se encuentra entre 1 y 3 diámetros, deberá realizarse interpolación lineal entre los valores de este coeficiente de eficiencia para los dos extremos anteriores, es decir, entre el 0,7 dado para separación entre ejes de 1 diámetro y el valor de 1 para separación entre ejes de 3 diámetros. Para una separación de ejes de 1,65 m, el coeficiente de eficiencia para la resistencia por punta del pilote valdrá lo siguiente:

$$\frac{\eta - 0,7}{1,65 - D} = \frac{1 - \eta}{3 * D - 1,65}$$

Siendo D el diámetro del pilote, que en este caso vale 0,85 m.

$$\frac{\eta - 0,7}{1,65 - 0,85} = \frac{1 - \eta}{2,55 - 1,65}$$

$$0,9 * \eta - 0,63 = 0,8 - 0,8 * \eta$$

$$1,7 * \eta = 1,43$$

$$\eta = \frac{1,43}{1,7}$$

$$\eta = 0,8412$$

Una vez obtenido el coeficiente de eficiencia, se recogen en las tablas siguientes las cargas por punta y fuste considerando la minoración por efecto grupo, para la profundidad de alcance seleccionada.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Profundidad alcanzada (m)	U.G.	Q_p /pilote (KN)	Q_p /pilote minorada = $\eta * Q_p$ (KN)
8	T	4410,48	3710

Profundidad alcanzada (m)	U.G.	Q_f /pilote (KN)	Q_f /pilote minorada = $0,7 * Q_f$ (KN)
8	T	1889,29	1322,5

A raíz de los resultados obtenidos, se concluye que la carga por hundimiento minorada para un pilote aislado de la cimentación propuesta tiene un valor de:

$$Q_{h, \text{minorada}} (\text{pilote}) = 3710 + 1322,5 = 5032,5 \text{ KN}$$

Para obtener la carga admisible por hundimiento del pilote, se dividirá entre el coeficiente de seguridad global establecido.

$$Q_{h, \text{adm}} (\text{pilote}) = \frac{5032,5}{3} = 1677,5 \text{ KN}$$

Una vez obtenida la carga admisible por hundimiento del pilote así considerado, se procederá a la obtención de la carga admisible por asiento.

Atendiendo a lo establecido en la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, el asiento experimentado por un pilote aislado corresponde al 1% de su diámetro, siempre y cuando la carga transmitida por la estructura esté muy lejos del hundimiento.

Recordando que la carga transmitida por la estructura a cada pilote de esta cimentación es de $12099,48 / 18 = 672,19$ KN, resulta evidente que la condición anterior se cumple. Por tanto, el asiento experimentado por un pilote de 0,85 m de diámetro será de 8,5 mm.

Teniendo en cuenta, además, que según la Guía el asiento máximo admisible para un estribo de puente se encuentra en 25 mm, queda claro que no será necesario realizar ningún tipo de comprobación por asiento en esta cimentación.

Por tanto, para la obtención de la carga admisible de la misma deberán tenerse en cuenta la carga admisible por hundimiento y el tope estructural, que pasará a calcularse a continuación.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Para su obtención, se recurre a la tabla 5.5 de la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, adjunta al inicio de la exposición de esta alternativa. Según dicha tabla, sería necesario determinar la tipología de pilote para la obtención de la resistencia del material que lo conforma.

Esta tipología ha sido marcada por el presente estudio como pilotes hormigonados in situ, los cuales se apoyarán en suelo firme puesto que se ha demostrado la competencia del terreno existente en la zona de construcción del paso de fauna.

Asimismo, el presente estudio ha decidido ejecutar dichos pilotes en seco y sin recurrir a entubación, puesto que se está trabajando en terrenos con cierta cohesión en los que no existe la presencia de Nivel Freático.

Recordando que el tope estructural se calculaba como el producto de:

$$T_e = \sigma * A, \text{ siendo}$$

A: área transversal del pilote

σ : resistencia a compresión del material del pilote

Atendiendo a la tabla 5.5 de la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, se adoptará siguiendo las consideraciones anteriores un valor de resistencia a compresión del material del pilote de 4 MPa.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,85^2}{4} = 0,56745 \text{ m}^2$$

Por tanto, el tope estructural para un pilote aislado con las características fijadas por el presente estudio tendrá el siguiente valor:

$$T_e = 4000 * 0,56745 = 2269,8 \text{ KN}$$

Resumiendo, la carga admisible por hundimiento y el tope estructural de un pilote con las características propias de la cimentación propuesta presentarán los siguientes valores:

$$Q_{h, \text{ adm}} (\text{pilote}) = 1677,5 \text{ KN}$$

$$T_e = 4000 * 0,56745 = 2269,8 \text{ KN}$$

Por tanto, teniendo en cuenta que la carga admisible de la cimentación debe ser el menor valor de los dos anteriores, queda claro que dicho valor coincide en este caso con la carga admisible por hundimiento:

$$Q_{\text{adm}} = 1677,5 \text{ KN}$$

Recordando que la cimentación propuesta para el estribo norte del paso de fauna se compone de un total de 18 pilotes, la carga admisible por hundimiento total será de:

$$Q_{\text{adm, Total}} = 18 * 1677,5 = 30195 \text{ KN}$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Teniendo en cuenta que la carga transmitida por la estructura a esta cimentación es de 12099,48 KN, se concluye que la solución propuesta sería suficiente para resistir dicha carga, aunque la gran diferencia entre ambos valores denota un sobredimensionamiento en la cimentación propuesta.

Por tanto, no serían necesarios un total de 12 + 3 + 3 pilotes para cimentar el estribo norte del paso de fauna, pudiendo reducir este número. Se procederá, por tanto, a estudiar una solución más ajustada.

Tras un proceso de encaje de pilotes teniendo en cuenta las consideraciones expuestas inicialmente, el presente estudio realiza una nueva propuesta donde se reduce a 6 los pilotes dispuestos en la pantalla principal, de 0,85 m de diámetro cada uno, y con una separación entre ejes de pilotes de 3,63 m. Se dispondrán, a su vez, 2 pilotes en cada una de las aletas laterales con idéntico diámetro y separación entre ejes de pilotes que en la pantalla principal.

Como, en este caso, la separación entre ejes de pilotes supera el valor límite de 3 diámetros, no será necesario minorar la resistencia por punta. A la resistencia por fuste, por su parte, se le aplicará un coeficiente de eficiencia de 0,7. Por tanto:

Profundidad alcanzada (m)	U.G.	Q_p /pilote (KN)	Q_p /pilote minorada = $\eta * Q_p$ (KN)
8	T	4410,48	4410,48

Profundidad alcanzada (m)	U.G.	Q_f /pilote (KN)	Q_f /pilote minorada = $0,7 * Q_f$ (KN)
8	T	1889,29	1322,5

Así pues, la nueva carga de hundimiento minorada para un pilote aislado con las características establecidas tendrá el siguiente valor:

$$Q_{h, \text{minorada}} (\text{pilote}) = 4410,48 + 1322,5 = 5733 \text{ KN}$$

Dividiendo el valor anterior entre el coeficiente de seguridad global, se obtendrá la carga admisible por hundimiento del pilote:

$$Q_{h, \text{adm}} (\text{pilote}) = \frac{5733}{3} = 1911 \text{ KN}$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Para la obtención de la carga admisible por asiento, se establece en primer lugar el valor de la carga transmitida por la estructura a cada pilote. Como el número de pilotes que la componen ha sido modificado, ahora dicho valor será de $12099,48 / 10 = 1209,95$ KN, por lo que puede volver a considerarse que el asiento experimentado por el pilote será del 1 % del valor de su diámetro, es decir, de 8,5 mm.

Así pues, tampoco será necesaria en este caso la comprobación por asiento admisible en el proceso de obtención de la carga admisible de esta nueva propuesta de cimentación.

Por otro lado, teniendo en cuenta que los pilotes que componen esta nueva propuesta de cimentación no han variado en geometría ni procedimiento de ejecución, el tope estructural de los mismos será idéntico al de la propuesta inicial.

Así pues, la carga admisible para un pilote de esta nueva cimentación se obtendrá entre los dos valores siguientes:

$$Q_{h, adm} (\text{pilote}) = 1911 \text{ KN}$$

$$T_e = 4000 * 0,56745 = 2269,8 \text{ KN}$$

Como ha de escogerse el menor de los dos valores anteriores, la carga admisible volverá a coincidir con la carga admisible por hundimiento del pilote aislado:

$$Q_{adm} = 1911 \text{ KN}$$

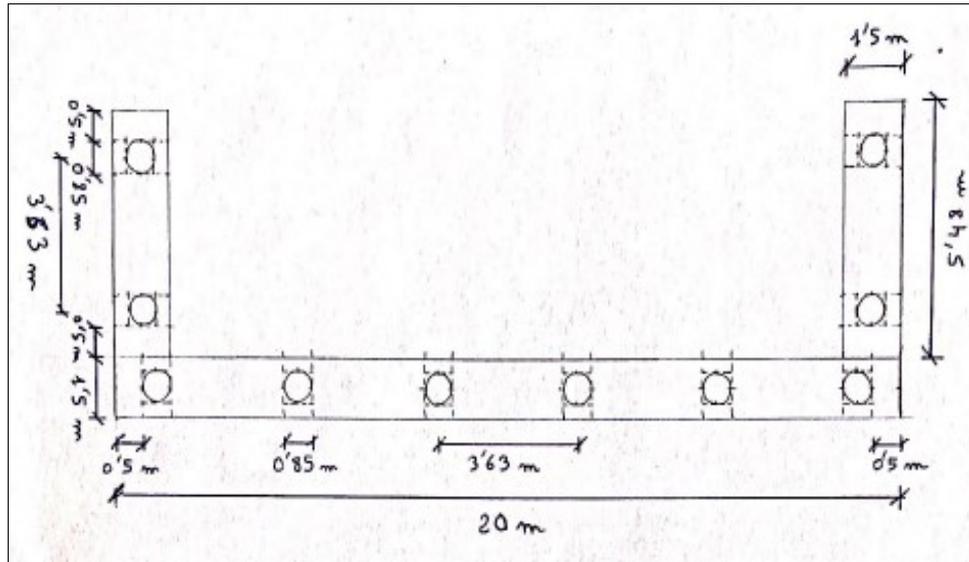
Sin embargo, el total de pilotes que componen esta propuesta es de 10 en total. Por tanto, la carga admisible por hundimiento de esta cimentación será de:

$$Q_{adm, Total} = 10 * 1911 = 19110 \text{ KN}$$

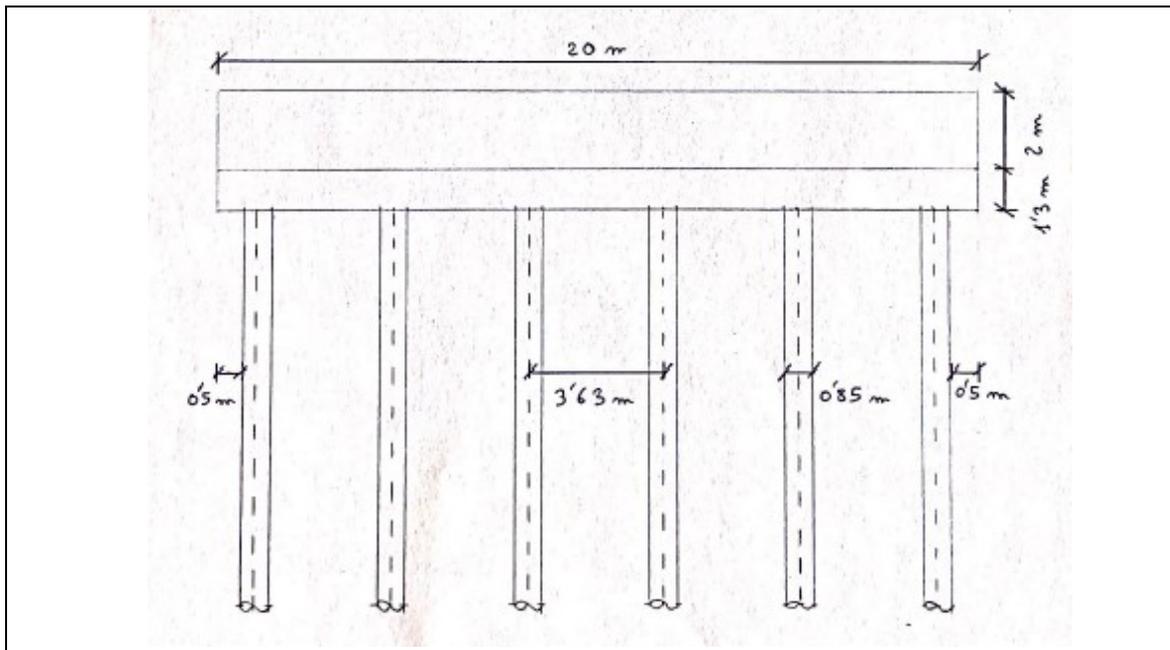
Recordando que la carga transmitida por la estructura a la cimentación del estribo norte era de 12099,48 KN, se ha llegado a una solución que es capaz de resistir dicha carga transmitida sin caer en el sobredimensionamiento de la propuesta inicial.

Para finalizar este apartado, se adjuntarán los croquis a mano alzada con las características geométricas básicas que definirán la solución adoptada para esta cimentación. Los pilotes que componen la pantalla principal estarán recogidos en su parte superior por un elemento cargador de 20 m de ancho, con una sección de perfil de 1,5 m de ancho por 1,3 m de canto.

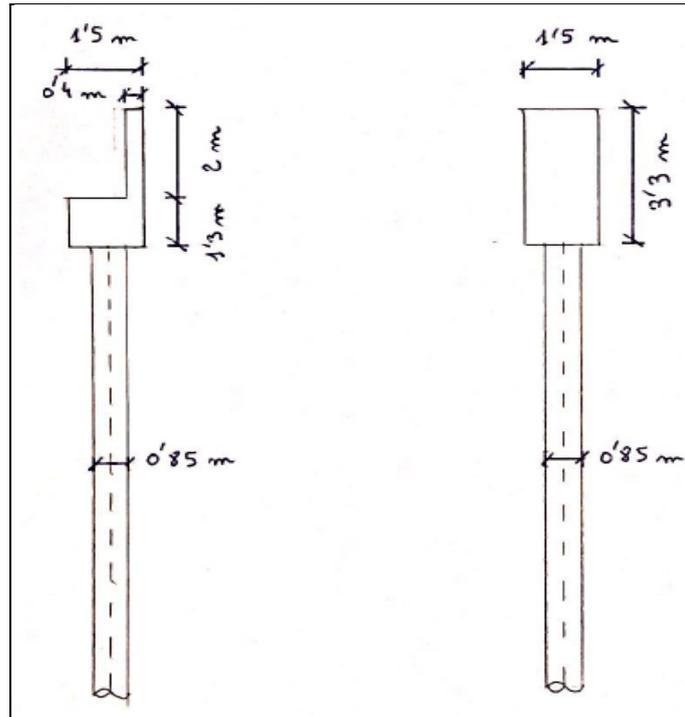
Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Planta de la cimentación del estribo norte



Alzado de la cimentación del estribo norte



De izquierda a derecha, perfil de la pantalla principal y aletas laterales de la cimentación del estribo norte

5.3.1.2. Estribo sur

Ampliando lo descrito al inicio de este apartado, el presente estudio propone que la cimentación del estribo sur sea de la misma tipología que la del estribo norte.

Por tanto, se cimentará mediante una pantalla discontinua de pilotes ya que el terreno en esta zona también es de naturaleza fundamentalmente cohesiva, y por lo tanto puede tener un buen funcionamiento en la misma.

Para evitar una propuesta bastante susceptible de caer en sobredimensionamiento, el presente estudio probará con la opción de disponer una pantalla principal de 8 pilotes de 0,85 m de diámetro con separación entre ejes de 2,59 m, y recogidos en su parte superior por un elemento cargador de ancho idéntico al del tablero del paso de fauna, con una sección de perfil de 1,5 m de ancho por 1,3 m de canto. Asimismo, se dispondrán 2 aletas laterales con 2 pilotes en cada una de ellas, del mismo diámetro y separación entre ejes que los dispuestos en la pantalla principal.

Debido a que la separación entre ejes de pilotes supera el valor máximo de $3 * D$, siendo D el diámetro del pilote, los coeficientes de eficiencia a aplicar a las cargas admisibles por punta y fuste para considerar el efecto grupo serán de 1 para la resistencia por punta del pilote, y 0,7 para la resistencia por fuste.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Sin embargo, se ha observado gracias al perfil del terreno obtenido a partir de la ejecución del sondeo S – 04, que a 8 m de profundidad el material es predominantemente granular, mientras que el sustrato terciario (T) se encuentra a una profundidad de 10,5 m desde la cota del terreno actual.

El terreno granular existente es de buena compacidad, pero el material cohesivo que conforma la unidad terciaria también presenta buena consistencia. Por tanto, con el objetivo de obtener la solución que ofrezca una mayor resistencia, el presente estudio ha optado por el cálculo de las resistencias unitarias por punta y fuste hasta una profundidad de 12 m.

De este modo, se obtendrán valores de resistencia unitaria para ambos materiales, que a su vez pertenecen a Unidades Geotécnicas diferentes. A partir de los resultados obtenidos, se tomarán en primer lugar los valores de resistencia para la profundidad de 8 m, por si fuera posible que los pilotes de las cimentaciones de ambos estribos presentasen idéntica longitud.

Si los pilotes así establecidos no ofrecen suficiente resistencia para soportar la carga transmitida a esta cimentación, y el aumento del número de pilotes no contribuye a mejorar dicha resistencia, se optará entonces por los valores de resistencia unitaria a una profundidad de 12 m, donde el terreno es predominantemente cohesivo.

Al igual que para el estribo anterior, se adjuntará una tabla con los resultados de resistencia unitaria por punta y fuste en función de la profundidad. Como el primer medio metro de terreno es de tierra vegetal y se considera despreciable a efectos de cálculo, las presiones verticales se obtendrán descontando este último.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Prof. (m)	Tipo de suelo	γ (KN/m ³)	σ_{vo} (KN/m ²)	c (KN/m ²)	N_q	N_c	$K_0 * tg\delta$	q_p (KN/m ²)	q_f (KN/m ²)
0,5	T.V.	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Q _c	21	10,5	15	19,79	32,55	0,3	695,97	18.15
1,5	Q _c	21	21	15	19,79	32,55	0,3	903,77	21.3
2	Q _c	21	31,5	15	19,79	32,55	0,3	1111,56	24.45
2,5	Q _c	21	42	15	19,79	32,55	0,3	1319,36	27.6
3	T _{alt}	21	52,5	25	19,79	32,55	0,3	1852,61	40.75
3,5	T _{alt}	21	63	25	19,79	32,55	0,3	2060,4	43.9
4	T _{alt}	21	73,5	25	19,79	32,55	0,3	2268,2	47.05
4,5	T _{alt}	21	84	25	19,79	32,55	0,3	2475,99	50.2
5	T _{alt}	21	94,5	25	19,79	32,55	0,3	2683,79	53.35
5,5	T _{alt}	21	105	25	19,79	32,55	0,3	2891,58	56.5
6	T _{alt}	21	115,5	25	19,79	32,55	0,3	3099,38	59.65
6,5	T _{alt}	21	126	25	19,79	32,55	0,3	3307,17	62.8
7	T _{alt}	21	136,5	25	19,79	32,55	0,3	3514,97	65.95
7,5	T _{alt}	21	147	25	19,79	32,55	0,3	3722,76	69.1
8	T _{alt}	21	157,5	25	19,79	32,55	0,3	3930,56	72.25
8,5	T _{alt}	21	168	25	19,79	32,55	0,3	4138,35	75.4
9	T _{alt}	21	178,5	25	19,79	32,55	0,3	4346,15	78.55
9,5	T _{alt}	21	189	25	19,79	32,55	0,3	4553,94	81.7
10	T _{alt}	21	199,5	25	19,79	32,55	0,3	4761,74	84.85
10,5	T _{alt}	21	210	25	19,79	32,55	0,3	4969,53	88
11	T	23	221,5	40	35,81	49,73	0,3	9921,06	90
11,5	T	23	233	40	35,81	49,73	0,3	10332,87	90
12	T	23	244,5	40	35,81	49,73	0,3	10744,69	90

Seguindo con el razonamiento anterior, los valores de resistencia unitaria para un pilote de las características seleccionadas a 8 m de profundidad serán las siguientes:

$$q_p = 3930,56 \text{ KN/m}^2$$

$$q_f = 72,25 \text{ KN/m}^2$$

El área de la punta del pilote se considerará circular al igual que para el estribo norte, ya que el diámetro transversal seleccionado es el mismo. En cuanto al área de fuste enterrada, se adoptará de nuevo la hipótesis de que el elemento cargador apoya sobre la superficie del terreno, y que por lo tanto los pilotes que conforman la cimentación del estribo sur presentan una profundidad total de 8 m. Así pues:

$$A_p = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,85^2}{4} = 0,56745 \text{ m}^2$$

$$A_f = b * h = 2 * \pi * r * h = 2 * \pi * 0,425 * 8 = 21,36 \text{ m}^2$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Las resistencias totales por punta y fuste de un pilote de 0,85 m de diámetro que alcanza una profundidad de 8 m tendrán, por tanto, los siguientes valores:

$$Q_p = q_p * A_p = 3930,56 * 0,56745 = 2230,4 \text{ KN}$$

$$Q_f = q_f * A_f = 72,25 * 21,36 = 1543,26 \text{ KN}$$

El siguiente paso sería afectar estos valores de carga con el coeficiente de eficiencia que considera el efecto grupo en el conjunto de la cimentación.

Por tanto:

Profundidad alcanzada (m)	U.G.	Q_p /pilote (KN)	Q_p /pilote minorada = $\eta * Q_p$ (KN)
8	T_{alt}	2230,4	2230,4

Profundidad alcanzada (m)	U.G.	Q_f /pilote (KN)	Q_f /pilote minorada = $0,7 * Q_f$ (KN)
8	T_{alt}	1543,26	1080,28

Por tanto:

$$Q_{h, \text{minorada}} (\text{pilote}) = 2230,4 + 1080,28 = 3310,68 \text{ KN}$$

$$Q_{h, \text{adm}} (\text{pilote}) = \frac{3310,68}{3} = 1103,56 \text{ KN}$$

Una vez obtenida la carga admisible por hundimiento del pilote, se procederá a obtener la carga admisible por asiento siguiendo el método empleado para el estribo norte.

Se recuerda en primer lugar que la carga transmitida por la estructura a uno de los pilotes de esta cimentación sería, en este caso, de $10431,58 / 12 = 869,3 \text{ KN}$. Queda claro, pues, que puede estimarse nuevamente el asiento de un pilote de esta cimentación como el 1 % de su diámetro transversal, es decir, 8 mm.

Siguiendo el razonamiento empleado en el estribo anterior, no será necesaria la obtención de la carga admisible por asiento puesto que el experimentado por el pilote es muy inferior al máximo admisible establecido por la Guía.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Por tanto, para la obtención de la carga admisible de un pilote aislado deberán compararse, nuevamente, la carga admisible por hundimiento anteriormente calculada con el tope estructural del pilote. Como dicho pilote presentará la misma sección transversal e idéntico proceso de ejecución que los que componen la cimentación del estribo norte, el tope estructural tendrá el mismo valor. Así pues:

$$Q_{h, adm} (\text{pilote}) = 1103,56 \text{ KN}$$

$$T_e = 4000 * 0,56745 = 2269,8 \text{ KN}$$

Considerando que la carga admisible debe ser el menor de los dos valores anteriores, resulta evidente que dicha carga para un pilote aislado corresponde a la carga admisible por hundimiento.

$$Q_{adm} = 1103,56 \text{ KN}$$

Multiplicando el valor anterior por los 12 pilotes que componen la cimentación propuesta, se obtendrá la carga admisible total de dicha cimentación:

$$Q_{adm, Total} = 12 * 1103,56 = 13242,72 \text{ KN}$$

Esta es, pues, la carga admisible que debe compararse con la transmitida por la estructura del paso de fauna a la cimentación del estribo sur.

Recordando que dicha carga tiene un valor de 10431,58 KN, queda claro que la solución propuesta es capaz de resistir la carga transmitida por la estructura a la cimentación del estribo sur. No sería necesario, por tanto, recurrir a los valores de resistencia unitaria para la zona terciaria.

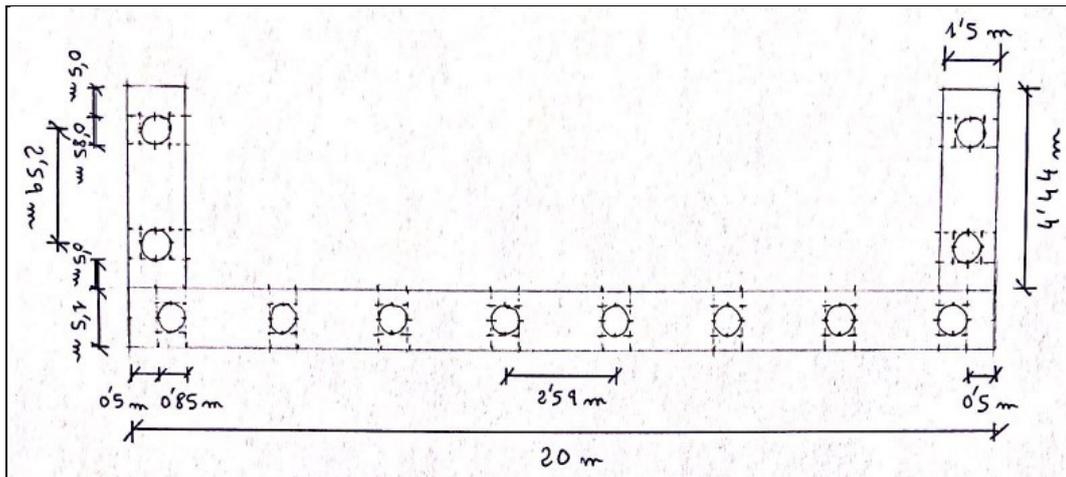
Es evidente que la diferencia es bastante más ajustada que en el caso del estribo norte, pero el objetivo de esta primera fase es garantizar un dimensionamiento que garantice la resistencia a las cargas transmitidas por la estructura.

Será en la siguiente fase, cuando se analicen las tres alternativas en base a una serie de criterios de selección, cuando se adopte la solución más adecuada para materializar sobre el terreno las cimentaciones y el conjunto de la estructura del paso de fauna.

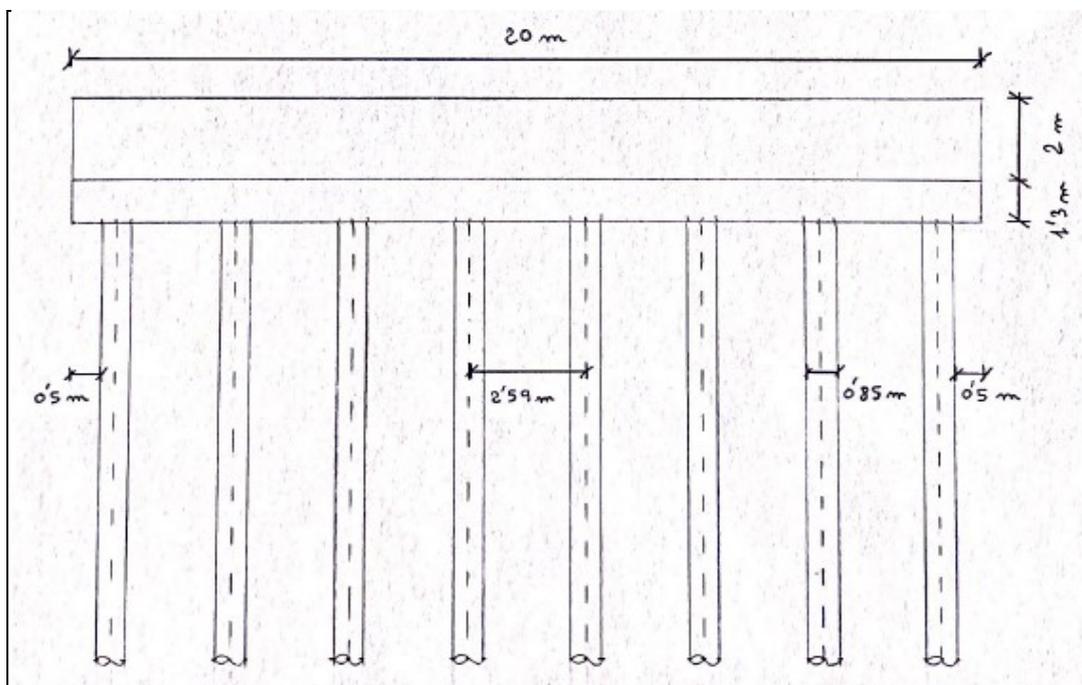
Para finalizar este apartado, se adjuntarán los croquis a mano alzada que definan geoméricamente la solución adoptada para esta cimentación, dentro de la alternativa constructiva de cimentaciones profundas para el paso de fauna.

Como la única diferencia entre la cimentación de los estribos norte y sur es el número de pilotes y su separación entre ejes, se remite a la vista de perfil de la pantalla principal y las aletas laterales del estribo norte, ya que será la misma para la cimentación de este estribo.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Planta de la cimentación del estribo sur



Alzado de la cimentación del estribo sur

5.3.1.3. Zona de pilas intermedias

Siguiendo con la propuesta de cimentaciones profundas de esta alternativa de construcción, el presente estudio propone el diseño del cimientado para la zona de pilas intermedias del paso de fauna mediante un encepado sobre pilotes.

A diferencia de los estribos, en los que se optó por una pantalla discontinua de pilotes con aletas laterales, se considera que para la zona intermedia del puente es más factible la ejecución de un grupo de pilotes unidos mediante encepado porque la propia geometría del encepado facilita el reparto de cargas procedentes del grupo de pilas del puente.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Al igual que los pilotes propuestos en esta alternativa, el encepado también será de hormigón armado fabricado *in situ*, aunque su diseño en materia de cuantía y disposición de armaduras pasivas no compete al presente estudio. Para su dimensionamiento básico, se recurrirá a las disposiciones establecidas en la EHE – 08.

Atendiendo a lo dispuesto en el artículo 58.8.1 de la Instrucción de Hormigón Estructural, se establece un canto total mínimo de 0,40 m para encepados sobre pilotes, aunque también especifica que en ningún punto será inferior al diámetro del pilote. Por tanto, en último caso dependerá del diámetro seleccionado para el grupo de pilotes que compongan esta cimentación.

Además, la distancia entre el borde exterior del encepado y el contorno del pilote más externo nunca deberá ser inferior a 0,25 m.

Así pues, siguiendo el procedimiento de los dos estribos anteriores, el presente estudio ha realizado una primera propuesta de dimensionamiento. Una vez descrito geoméricamente, se comprobará si es capaz de resistir la carga transmitida por la estructura en este punto y si debe ajustarse el número de pilotes para cumplir este requisito.

Una vez comprobado este punto, se adjuntará el croquis con la propuesta definitiva para la zona de pilas intermedias del paso de fauna.

Así pues, la cimentación a analizar tras una serie de pruebas de encaje geométrico es la siguiente: se trata de un encepado cuyas dimensiones en planta son de 5 m de ancho menor por 20 m de largo, coincidiendo esta última dimensión con el ancho del tablero del paso de fauna.

Se ha seleccionado, por otra parte, el mismo diámetro de pilote que para los dos estribos del paso de fauna para facilitar el proceso constructivo en caso de que esta propuesta fuera la que finalmente va a ejecutarse. Por tanto, los pilotes dispuestos bajo el encepado tendrán un diámetro de 0,85 m.

De acuerdo con las condiciones expuestas en el artículo 58.8.1 de la EHE – 08, el canto del encepado también alcanzará una altura de 0,85 m.

Se dispondrán un total de 3 pilotes a lo largo del ancho menor del plano de cimentación, con una distancia desde el borde del pilote más extremo al borde exterior de 0,25 m. La separación entre ellos será de 0,975 m.

A lo largo del ancho mayor del plano de cimentación, por su parte, se dispondrán un total de 11 pilotes de 0,85 m de diámetro con una separación entre ellos de 1,015 m. La distancia entre el pilote más externo y el borde del encepado continuará siendo de 0,25 m de acuerdo con lo dispuesto en la EHE – 08.

Una vez definidas las dimensiones en planta, hay que fijar la profundidad a la que llegarán los pilotes que componen la cimentación. Observando el perfil del terreno obtenido por interpolación de los resultados de los sondeos ejecutados en la zona de

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

estribos del paso de fauna, puede comprobarse que la unidad T se localiza a una profundidad de 8,5 m desde la cota del terreno actual.

Considerando que la rasante del tronco de la carretera que aún no se ha construido se encuentra a 6 m de profundidad desde la cota del terreno actual, y asumiendo que primero se hará el vaciado necesario para comenzar con las obras del futuro trazado, el presente estudio fija en 7 m desde la cota de dicha rasante, la longitud del conjunto de pilotes de la cimentación de la zona de pilas intermedias. Es decir, que alcanzarán una profundidad de 13 m medidos desde la cota del terreno actual.

Así pues, una vez fijadas las dimensiones básicas de la cimentación propuesta, se procederá al cálculo de su carga de hundimiento partiendo de la obtención de las resistencias unitarias por punta y fuste hasta la profundidad fijada.

Como en este caso se trabaja con la superficie de terreno existente tras las operaciones de vaciado necesarias para la construcción del nuevo trazado de la carretera B – 224, se tendrá en cuenta este hecho a efectos del cálculo de las tensiones verticales.

Por otra parte, como se ha optado por un grupo de pilotes unidos mediante encepado, para considerar el efecto grupo deberá trabajarse con el pilote virtual cuyas características vienen definidas en el artículo 5.10.4 de la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, y cuyo procedimiento de obtención ha sido explicado al inicio de la exposición de la presente alternativa.

A efectos de los cálculos realizados en el presente estudio, se considerará de acuerdo con la Guía que el conjunto de pilotes dimensionado para la cimentación de la zona de pilas intermedias puede asemejarse a un pilote cuyo diámetro los englobe a todos y al terreno existente entre ellos. A raíz de esta consideración, y teniendo en cuenta que el encepado de pilotes es de planta rectangular, se asimilará la cimentación a un gran pilote de 20 m de diámetro transversal por ser este el ancho mayor del plano de cimentación.

Por tanto, el coeficiente f_D que considera el efecto del diámetro del pilote deberá ser recalculado para esta cimentación. Teniendo en cuenta que dará un número negativo por el elevado valor del diámetro del pilote, y que el mínimo valor posible para este coeficiente es dos tercios, se tomará este último como factor a utilizar en el cálculo de los coeficientes de capacidad de carga N_q y N_c .

Con estas consideraciones, se adjunta la tabla de resultados considerando la cota 0 como la superficie sobre la que apoyará realmente el encepado de pilotes.

Prof. (m)	Tipo de suelo	γ (KN/m ³)	σ_{v0} (KN/m ²)	c (KN/m ²)	Nq	Nc	$K_0 * \text{tg} \delta$	q_p (KN/m ²)	q_f (KN/m ²)
0,5	T _{alt}	21	10,5	25	18,4	30,14	0.3	946,64	28,15
1	T _{alt}	21	21	25	18,4	30,14	0.3	1139,84	31,3
1,5	T _{alt}	21	31,5	25	18,4	30,14	0.3	1333,04	34,45
2	T _{alt}	21	42	25	18,4	30,14	0.3	1526,24	37,6
2,5	T _{alt}	21	52,5	25	18,4	30,14	0.3	1719,44	40,75
3	T	23	64	40	33,3	46,14	0.3	3976,91	59,2
3,5	T	23	75,5	40	33,3	46,14	0.3	4359,86	62,65
4	T	23	87	40	33,3	46,14	0.3	4742,81	66,1
4,5	T	23	98,5	40	33,3	46,14	0.3	5125,76	69,55
5	T	23	110	40	33,3	46,14	0.3	5508,71	73
5,5	T	23	121,5	40	33,3	46,14	0.3	5891,66	76,45
6	T	23	133	40	33,3	46,14	0.3	6274,61	79,9
6,5	T	23	144,5	40	33,3	46,14	0.3	6657,56	83,35
7	T	23	156	40	33,3	46,14	0.3	7040,51	86,8

Los resultados marcados en rojo representan las resistencias unitarias por punta y fuste a la profundidad seleccionada, considerando ya el efecto grupo con el pilote virtual con el que se está trabajando.

El siguiente paso será la obtención de las áreas de la punta y la parte de fuste enterrada para obtener las resistencias totales.

La punta del pilote se considerará de sección circular al ser el pilote virtual de tipo cilíndrico, por lo que la obtención de su área se basará en el diámetro de dicho pilote. Por tanto:

$$A_p = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 20^2}{4} = 314,159 \text{ m}^2$$

Asumiendo, al igual que en los estribos del paso de fauna, que el encepado apoyará directamente sobre la superficie del terreno, la longitud del pilote virtual que engloba la cimentación real de la zona de pilas intermedias corresponde a la profundidad alcanzada por el mismo, es decir, 7 m. Este área se tratará, por tanto, de un rectángulo de 7 m de altura y cuya base corresponde al perímetro de la base circular del pilote:

$$A_f = b * h = 2 * \pi * r * h = 2 * \pi * 10 * 7 = 439,82 \text{ m}^2$$

Por su parte, las resistencias totales por punta y fuste del pilote virtual tendrán los siguientes valores:

$$Q_p = q_p * A_p = 7040,51 * 314,159 = 2211839,58 \text{ KN}$$

$$Q_f = q_f * A_f = 86,8 * 439,82 = 38176,38 \text{ KN}$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Una vez obtenidas las resistencias totales, se les aplicará el coeficiente de seguridad marcado por la Guía para la obtención de la carga admisible por hundimiento:

$$Q_{h, adm} = \frac{Q_h}{3} = 750005,32 \text{ KN}$$

Para la obtención de la carga admisible por asiento, si fuera necesario, debe tenerse en cuenta que la carga transmitida por la estructura a esta cimentación tiene un valor de 18766,72 KN, mucho menor que su carga de hundimiento, por lo que puede volver a aplicarse el criterio de considerar el asiento máximo admisible del pilote como el 1% de su diámetro transversal.

Ahora bien, si se aplicara este criterio al diámetro transversal del pilote ficticio considerado para el cálculo de la carga de hundimiento de esta cimentación, implicaría que cada uno de los pilotes que la componen realmente experimentarían un asiento inadmisibles para los mismos.

Por ello, se mantiene el criterio de considerar el asiento máximo admisible para un pilote aislado, es decir, 8,5 mm. Recordando que el asiento máximo admisible por un estribo de puente es de 25 mm, vuelve a considerarse innecesario el efecto del asiento en la obtención de la carga admisible.

Asimismo, para el cálculo del tope estructural deberá trabajarse con el área transversal del pilote virtual:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 20^2}{4} = 314,159 \text{ m}^2$$

$$T_e = \sigma \cdot A = 4000 \cdot 314,159 = 1256636 \text{ KN}$$

Por tanto, las cargas a comparar para la obtención de la carga admisible de la cimentación de la zona de pilas intermedias serán:

$$Q_{h, adm} = \frac{Q_h}{3} = 750005,32 \text{ KN}$$

$$T_e = \sigma \cdot A = 4000 \cdot 314,159 = 1256636 \text{ KN}$$

Evidentemente:

$$Q_{adm, Total} = 750005,32 \text{ KN}$$

Recordando que la carga transmitida por la estructura a la cimentación de la zona de pilas intermedias presenta un valor de 18766,72 KN, queda patente que la propuesta para esta cimentación está sobredimensionada, puesto que la carga admisible es muchísimo mayor que la transmitida por la estructura.

La resistiría sobradamente, pero ya que el objetivo es obtener una cimentación capaz de resistir dicha carga transmitida con el menor número de pilotes posible, se intentará buscar una solución más ajustada en este sentido número.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Para ello, y ya que se ha propuesto para esta cimentación un encepado de pilotes, sería necesario reducir sus dimensiones para lograr un diámetro menor del pilote virtual que se emplearía para calcular la carga de hundimiento.

Siguiendo este razonamiento, se ha propuesto desde el presente estudio un encepado cuya planta es de 17 x 5 m, reduciendo de esta manera el ancho mayor que es el que condiciona realmente el diámetro del pilote virtual con el que se tiene en cuenta el efecto grupo en la cimentación.

Este diámetro será de 17 m ya que debe englobar el conjunto de pilotes de la cimentación, por lo que el factor f_D continuará valiendo dos tercios, y los cálculos de resistencia unitaria efectuados anteriormente continúan siendo válidos.

Se ha propuesto, además, reducir la longitud de los pilotes para contribuir en la medida de lo posible a la reducción del sobredimensionamiento, el cual resulta especialmente significativo en esta cimentación. Así pues, se fija una longitud de pilotes de 5 m medidos desde la cota de terreno una vez efectuadas las operaciones de vaciado para la construcción de la carretera.

Con estas nuevas disposiciones, las resistencias unitarias por punta y fuste a considerar serían las siguientes:

$$q_p = 5508,71 \text{ KN/m}^2$$

$$q_f = 5508,71 \text{ KN/m}^2$$

Al modificar el diámetro del pilote virtual y su longitud, las áreas de punta y fuste también variarían:

$$A_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 17^2}{4} = 226,98 \text{ m}^2$$

$$A_f = b \cdot h = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h = 2 \cdot \pi \cdot 8,5 \cdot 5 = 267,04 \text{ m}^2$$

Con los valores anteriores, ya podría obtenerse la carga de hundimiento del pilote virtual considerado:

$$Q_h = Q_p + Q_f = q_p \cdot A_p + q_f \cdot A_f = 1269860,92 \text{ KN}$$

Minorando la carga anterior por el correspondiente factor de seguridad:

$$Q_{h, adm} = \frac{Q_h}{3} = 423286,97 \text{ KN}$$

Recordando que la carga transmitida por la estructura es de 18766,72 KN, queda patente nuevamente que la condición de asiento tampoco influirá en este caso a la hora de determinar la carga admisible de la cimentación.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Como varía el diámetro transversal del pilote ficticio de esta cimentación, también variará el valor de su tope estructural. En este caso, presentará el siguiente valor:

$$T_e = \sigma * A = 4000 * 226,98 = 907920 \text{ KN}$$

Por tanto, la carga admisible de esta nueva propuesta de cimentación será la mínima entre los siguientes valores.

$$Q_{h, adm} = \frac{Q_h}{3} = 423286,97 \text{ KN}$$

$$T_e = \sigma * A = 4000 * 226,98 = 907920 \text{ KN}$$

Así pues:

$$Q_{adm, Total} = 423286,97 \text{ KN}$$

Una vez obtenida la carga admisible, se procederá a compararla con la carga transmitida por la estructura a la cimentación, que se recuerda que valía 18766,72 KN para la zona de pilas intermedias del paso de fauna.

Queda patente, pues, que se ha reducido considerablemente la carga admisible respecto a la propuesta anterior, pero aun así la diferencia entre carga admisible y transmitida continúa siendo bastante significativa.

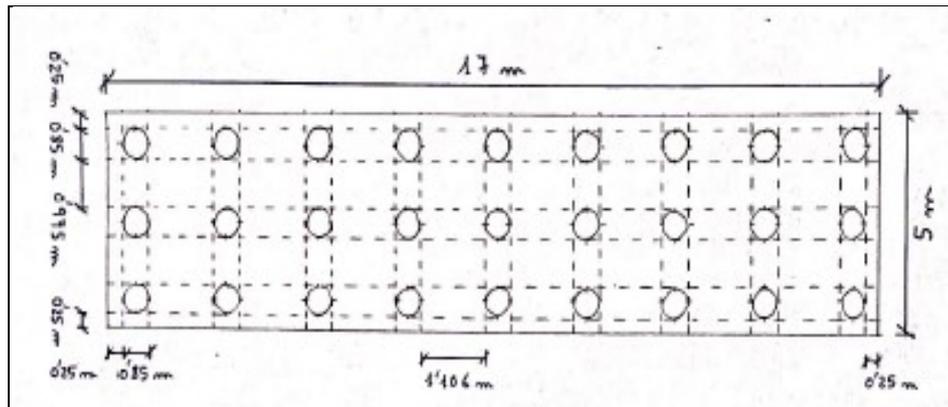
Consultando los planos estructurales del proyecto constructivo que se está analizando, se observa que la distribución de las pilas a lo largo del tablero del paso de fauna impide reducir más el ancho mayor del encepado.

Y teniendo en cuenta que es precisamente este ancho el que determina el diámetro del pilote virtual con el que se trabaja para tener en cuenta el efecto grupo, el presente estudio concluye que no se puede modificar más la cimentación propuesta, y por lo tanto se adjuntarán los pertinentes croquis con la última propuesta analizada.

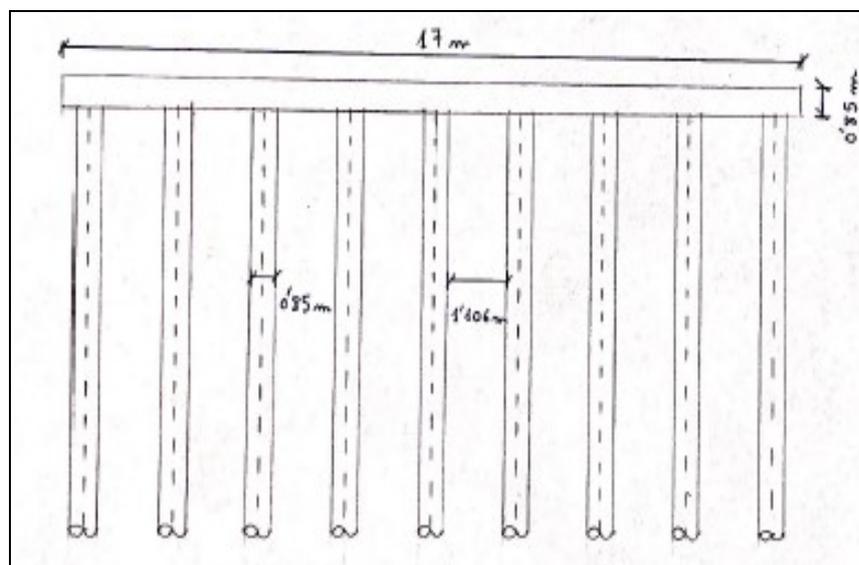
En cualquier caso, esta última propuesta de cimentación es capaz de resistir la carga transmitida por la estructura, criterio que se ha establecido como condicionante principal para el dimensionamiento de todas las alternativas propuestas.

En cualquier caso, este sobredimensionamiento será tenido en cuenta en el posterior análisis multicriterio que va a realizarse.

Para finalizar este apartado, se adjuntarán los croquis propuestos para la cimentación profunda de la zona de pilas intermedias. Se ha mantenido la distancia del borde del encepado al perímetro del pilote más cercano, así como la altura del propio encepado, de acuerdo con las disposiciones establecidas en la EHE – 08.



Planta de la cimentación de la zona de pilas intermedias



Alzado de la cimentación de la zona de pilas intermedias

5.3.2. Alternativa 2

La segunda opción constructiva implica la ejecución de cimentaciones superficiales o directas, concretamente zapatas corridas, para los dos estribos del paso de fauna y la zona de pilas intermedias.

Para dimensionar este tipo de zapatas es necesario fijar las dimensiones del plano de cimentación, a saber, el ancho menor B y el ancho mayor L.

Dado que el ancho del tablero es de 20 m, se considera razonable para el dimensionamiento inicial hacer coincidir el valor anterior con el ancho mayor del plano de cimentación. Se propone, asimismo, un ancho menor de $B = 5$ m como valor de partida.

Como la carga transmitida por la estructura a cada cimentación ha sido calculada previamente, se pasará a exponer el procedimiento de obtención de la carga de hundimiento del terreno para el caso de cimentaciones superficiales.

La Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera propone varios métodos para determinar su valor, pero dada la naturaleza del terreno existente en la zona de estudio se procederá a emplear el método analítico que aparece en la misma.

Este hecho condiciona el procedimiento de cálculo a seguir, puesto que con terrenos cohesivos sólo pueden tomarse los valores de los ensayos SPT de manera orientativa, y nunca como datos de partida para la comprobación de las cimentaciones propuestas.

Así pues, el método a utilizar consiste en la aplicación de una fórmula propuesta por Brinch Hansen en 1970, y que estima la carga de hundimiento de una cimentación superficial a partir del efecto de la sobrecarga existente por encima del plano de cimentación, su peso propio y la cohesión del terreno de cimentación:

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

p_{vh} : presión vertical de hundimiento provocada por una cimentación superficial

N_q , N_c , N_γ : factores de capacidad de carga, los cuales dependen únicamente del ángulo de rozamiento interno, y que se obtienen aplicando las siguientes expresiones:

$$N_q = \frac{1 + \operatorname{sen} \phi}{1 - \operatorname{sen} \phi} e^{\pi \operatorname{tg} \phi} \quad N_c = \frac{N_q - 1}{\operatorname{tg} \phi} \quad N_\gamma = 2(N_q - 1) \cdot \operatorname{tg} \phi$$

q : carga del terreno existente por encima del plano de cimentación, medida en KN/m^2

c : cohesión del terreno de cimentación, medida en KN/m^2

γ : peso específico del terreno por encima del plano de cimentación, medido en KN/m^3

d_i : factores correctores que consideran el efecto de la profundidad

i_i : factores correctores que consideran la inclinación de las cargas

s_i : factores correctores que consideran el efecto de la forma de la cimentación

t_i : factores correctores que consideran el efecto de la proximidad de taludes

r_i : factores correctores que consideran el efecto de la posible inclinación del plano de cimentación

B^* : ancho equivalente de la cimentación, que recoge el efecto producido por cargas no centradas en el plano de cimentación

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Una vez obtenida la carga de hundimiento anteriormente citada, se dividirá su valor entre el factor de seguridad propuesto por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera para este tipo de verificaciones, y que corresponde a un valor de 3, para calcular la carga admisible por hundimiento del terreno.

Posteriormente, se procedería a calcular la carga admisible por asiento para obtener, por comparación con la anterior, la carga admisible del terreno para la cimentación propuesta.

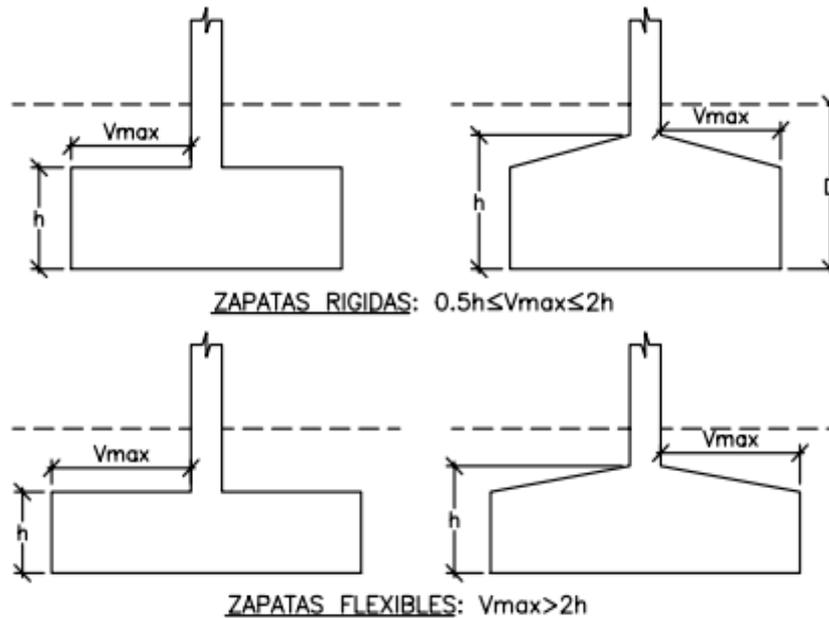
Esta carga admisible por asiento se obtendrá a partir del asiento máximo admisible para un estribo de puente, y cuyo valor viene fijado por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera en 2,5 cm.

Partiendo de este valor, el siguiente paso consistiría en seleccionar la formulación analítica más adecuada para obtener dicha carga. Para el caso de terrenos fundamentalmente cohesivos, como es el caso de la zona de construcción del paso de fauna, los asientos pueden calcularse siguiendo tanto el modelo elástico como el edométrico.

Como se sabe, gracias a la información disponible en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, que el terreno de la zona de estudio no es blando ni está saturado, se puede asumir la hipótesis de que las cimentaciones superficiales que vayan a proyectarse no experimentarán asientos de especial importancia. Este hecho implica que puede considerarse válido el empleo del método elástico para el cálculo de asientos.

Se adoptará, por tanto, la hipótesis de que la distribución de tensiones bajo el plano de cimentación no depende de la heterogeneidad del terreno, adoptando una distribución correspondiente al semiespacio isótropo y homogéneo de Boussinesq.

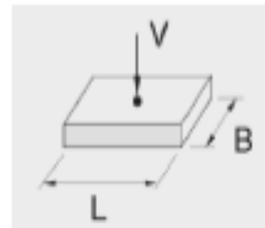
Siguiendo esta hipótesis, las fórmulas que permiten el cálculo de asientos provocados por una cimentación directa o superficial dependen de si ésta es rígida o flexible. La diferencia entre una zapata flexible y una rígida viene fijada en la Instrucción de hormigón estructural (EHE), y es función de sus dimensiones.



Clasificación de zapatas según la EHE

Así pues, la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera establece para áreas rectangulares de **cimentaciones rígidas**, como las que van a dimensionarse en el presente estudio, la siguiente fórmula para la obtención del asiento:

$$s = \frac{V(1-\nu^2)}{1,25 \cdot E \cdot \sqrt{B \cdot L}}$$



siendo:

s: asiento provocado por cimentación superficial

V: carga vertical transmitida por la estructura

ν : coeficiente de Poisson

E: módulo de elasticidad

B, L: ancho menor y mayor, respectivamente, del plano de cimentación

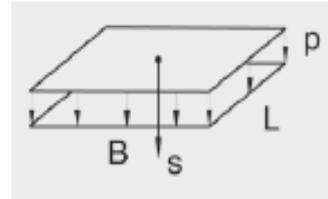
Esta formulación puede aplicarse siempre que L/B sea menor o igual a 5, cosa que cumplirán las dimensiones del plano de apoyo establecido para las tres cimentaciones propuestas.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Asimismo, la Guía establece para áreas rectangulares de **cimentaciones flexibles**, en cambio, la fórmula de estimación del asiento será la siguiente:

$$s = \frac{2}{\pi} R \frac{p(1-\nu^2)}{E}$$

$$R = B \operatorname{arsh} (L/B) + L \operatorname{arsh} (B/L)$$



siendo:

s: asiento provocado por cimentación superficial

p: presión vertical transmitida por la estructura

v: coeficiente de Poisson

E: módulo de elasticidad

B, L: ancho menor y mayor, respectivamente, del plano de cimentación

Es necesario recordar que las fórmulas anteriores pueden aplicarse mientras el terreno sea homogéneo. Por tanto, según la estructura del terreno existente por debajo del plano de cimentación, se recurrirá a las fórmulas anteriores para la obtención de los asientos generados, o deberá realizarse un cálculo previo para obtener unos módulos de elasticidad y Poisson equivalentes antes del empleo de dichas formulaciones. Se procederá, según el caso, en cada cimentación propuesta.

5.3.2.1. Estribo norte

Teniendo en cuenta que ya han sido definidas previamente las dimensiones de partida que presentará el plano de cimentación de este estribo, se procederá al cálculo de la carga que provocará la rotura estructural del terreno con la cimentación propuesta.

La tipología de cimentación superficial seleccionada es una zapata corrida cuyo ancho menor es de 5 m, y cuyo ancho mayor coincide con el del tablero del paso de fauna, es decir, 20 m.

Analizando, por otro lado, el perfil del terreno obtenido gracias a la ejecución del sondeo S – 03, se observa que los materiales detectados en la zona de construcción del estribo norte son limos y arcillas hasta una profundidad próxima a los 10 m. Se trata, pues, de materiales cohesivos que presentan una buena consistencia, por lo que es razonable considerar que es un nivel de terreno que no va a presentar una elevada deformabilidad.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

No se considerará necesaria, por tanto, la adopción de una zapata flexible que acompañe las deformaciones de un terreno en el que no se prevén asientos importantes. Se asumirá, por tanto, la hipótesis de zapata rígida para el estribo norte del paso de fauna.

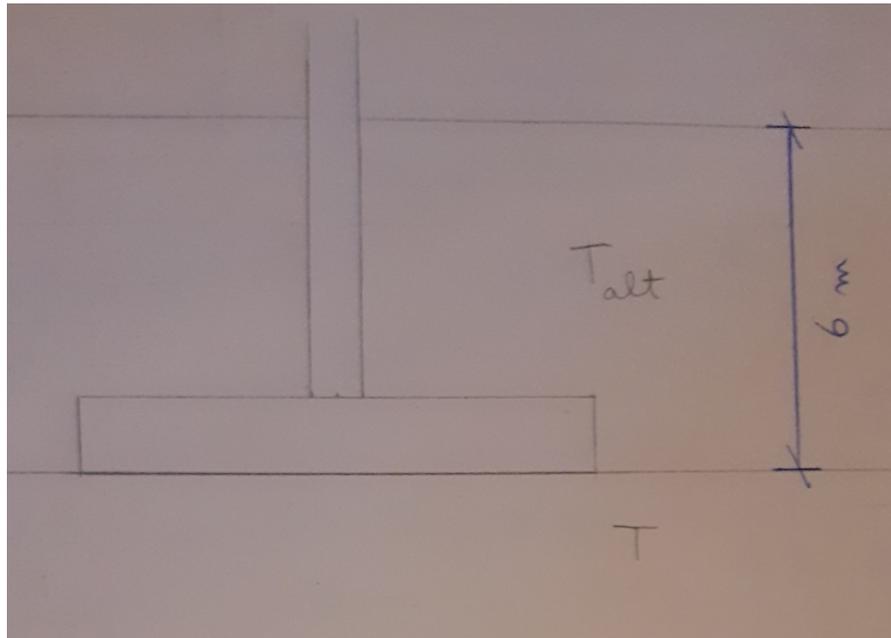
Para facilitar el proceso de cálculo, se adjuntará una tabla en la que se resumen los parámetros referentes a las Unidades Geotécnicas detectadas en la zona de construcción de este estribo. Estos datos han sido obtenidos del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo que se está analizando:

U.G.	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Densidad (KN/m³)	Cohesión (KN/m²)	Áng. roz. interno (º)
T.V.	0	0,5	-	-	-
T _{alt}	0,5	6	21	25	30
T	6	-	23	40	35

Teniendo en cuenta que se ha decidido cimentar el estribo norte apoyándose en la zona límite entre la unidad terciario alterado (T_{alt}) y la unidad terciaria (T), se considerará una profundidad del plano de cimentación de 6 m medidos desde la cota del terreno actual.

Teniendo en cuenta que la zapata se apoyaría directamente sobre la Unidad Geotécnica T, y que no existe ninguna otra por debajo de la misma, será este terreno el único afectado por la cimentación construida. Por tanto, se descarta la hipótesis de terreno estratificado para calcular la carga de hundimiento de la cimentación.

Así pues, se adjunta en la imagen inferior el esquema aproximado de la cimentación del estribo norte apoyándose a la profundidad establecida por el presente estudio, afectando únicamente a la unidad terciaria.



En este caso, la cohesión del terreno de cimentación y el ángulo de rozamiento interno a considerar serán los correspondientes a la Unidad Geotécnica T. Este último valor es crucial para la obtención de los factores de capacidad de carga, necesarios a su vez para la obtención de la carga de hundimiento.

Partiendo de la fórmula de Brinch Hansen original:

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

El peso de las tierras por encima del plano de cimentación, despreciando el medio metro de tierra vegetal, tendrá el siguiente valor:

$$q = \gamma \cdot D = 21 \cdot 5,5 = 115,5 \text{ KN/m}^2$$

Evidentemente, para el cálculo de la carga anterior se ha empleado el peso específico correspondiente a la unidad terciario alterado, puesto que se trata del terreno existente por encima del plano de cimentación del estribo norte.

Sin embargo, la cohesión del terreno de cimentación corresponderá a la unidad T:

$$c = 40 \text{ KN/m}^2$$

Los factores de capacidad de carga, por su parte, presentarán los siguientes valores:

$$N_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} * e^{\pi \cdot \tan \phi} = \frac{1 + \sin 35}{1 - \sin 35} * e^{\pi \cdot \tan 35} = 33,296$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi} = \frac{33,296 - 1}{\tan 35} = 46,12$$

$$N_\gamma = 2 * (N_q - 1) * \tan \phi = 2 * (33,296 - 1) * \tan 35 = 45,23$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Antes de aplicar la fórmula propiamente dicha, se procederá a establecer el valor de los factores correctores que intervienen en ella. Comenzando por aquellos que consideran el efecto de la profundidad del plano de cimentación, la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera dice explícitamente que *“En general no es prudente contar con la colaboración debida a la resistencia al corte del terreno situado por encima del plano de apoyo”*. Por tanto, deduciéndose de la cita anterior que la Guía no considera conveniente contar con el efecto de la profundidad del plano de cimentación, el presente estudio asumirá que estos factores son iguales a la unidad.

Lo mismo ocurrirá con los factores correctores de inclinación de las cargas aplicadas, ya que el cálculo realizado para obtener las cargas transmitidas por la estructura se ha llevado a cabo a partir de acciones verticales, asumiendo en un factor corrector todas aquellas que no han sido tenidas en cuenta explícitamente. Por tanto, este efecto puede despreciarse.

De la misma forma, se asumen iguales a 1 los factores que consideran la posible inclinación del plano de cimentación. Se concibe su total horizontalidad para facilitar su materialización en el terreno.

En cuanto a los factores que consideran la proximidad de la cimentación a taludes, la situación del plano de cimentación al pie del talud resultado de la construcción del paso de fauna hace que pueda despreciarse este efecto, considerando también estos coeficientes correctores iguales a la unidad.

Por su parte, antes de calcular los factores correctores que consideran la forma de la zapata, es necesario establecer una hipótesis en relación con las dimensiones equivalentes del plano de cimentación.

Como se ha explicado al definir la fórmula empleada para el cálculo de la carga de hundimiento, estas dimensiones reflejan el efecto de que las cargas transmitidas a la cimentación no se encuentren aplicadas en el centro de gravedad del plano de apoyo.

Este hecho implicaría la generación de momentos flectores cuyo efecto puede incluirse considerando una serie de excentricidades en el posicionamiento de las cargas verticales, y por lo tanto también en las dimensiones equivalentes de un plano ficticio de cimentación, diferente al que se ha establecido en el dimensionamiento inicial.

Sin embargo, teniendo en cuenta que el presente estudio se centra en realizar un dimensionamiento básico para las cimentaciones del paso de fauna, se considerará que las cargas transmitidas a la cimentación estarán aplicadas en el centro de gravedad del plano de cimentación, y por tanto no provocarán excentricidades adicionales.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Esta simplificación será aplicable al resto de cimentaciones superficiales consideradas en esta alternativa. Por tanto, se considerará a efectos de cálculo que:

$$B^* = B = 5 \text{ m}$$

$$L^* = L = 20 \text{ m}$$

Una vez aclarado este punto, los factores que recogen el efecto de la forma de la zapata se obtendrán a partir de las dimensiones del plano de cimentación, establecidas en el dimensionamiento básico, y los factores de capacidad de carga anteriores. Por tanto:

$$s_q = s_c = 1 + \frac{B}{L} * \frac{Nq}{Nc} = 1 + \frac{5}{20} * \frac{33,296}{46,12} = 1,18$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 * \frac{B}{L} = 1 - 0,3 * \frac{5}{20} = 0,925$$

Así pues, realizadas las simplificaciones anteriores la fórmula de obtención de la carga de hundimiento para una cimentación superficial quedaría de la siguiente forma:

$$p_{vh} = q * N_q * s_q + c * N_c * s_c + (1/2) * \gamma * (B^*) * N_\gamma * s_\gamma$$

Sustituyendo los valores obtenidos anteriormente, la carga de hundimiento valdrá:

$$p_{vh} = (115,5 * 33,296 * 1,18) + (40 * 46,12 * 1,18) + (0,5 * 21 * 5 * 45,23 * 0,925)$$

$$p_{vh} = 8911,26 \text{ KN/m}^2$$

Por tanto:

$$q_h = 8911,26 \text{ KN/m}^2$$

Una vez obtenida la carga de hundimiento, se obtendrá su valor neto restándole el peso de las tierras existente por encima del plano de cimentación. Al valor de carga neta así calculado, se le aplicará un factor de seguridad de 3 tal como marca la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera.

$$q_{hn} = q_h - q = 8911,26 - 115,5 = 8795,76 \text{ KN/m}^2$$

De este modo, la carga admisible neta por hundimiento del terreno tendrá un valor de:

$$q_{hn, adm} = \frac{q_{hn}}{3} = \frac{8795,76}{3} = 2931,92 \text{ KN/m}^2$$

El siguiente paso, como se ha explicado anteriormente, consistirá en obtener la carga admisible por asiento a partir del máximo asiento admisible por un estribo de puente. Se recuerda que, tal como marca la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, este valor límite es de 2,5 cm.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Como se ha adoptado la hipótesis de zapata rígida para este estribo, la fórmula a utilizar para el cálculo del asiento generado tendrá la siguiente forma:

$$s = \frac{V * (1 - \nu^2)}{1,25 * E * \sqrt{B * L}}$$

La expresión anterior se ha extraído de la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, y su empleo es válido para planos de cimentación cuya relación de dimensiones L / B sea menor o igual que 5. Como para la cimentación propuesta esta relación es de $L / B = 20 / 5 = 4$, queda demostrada su validez.

Por otra parte, y debido a que la cimentación apoya en el límite entre las Unidades Geotécnicas T_{alt} y T, es evidente que el bulbo de presiones generado por la misma va a afectar únicamente al terreno constituido por la unidad terciaria. Esto implica que tanto el módulo de elasticidad como el de Poisson que han de aplicarse para utilizar la fórmula anterior, serán los correspondientes a la unidad terciaria.

Los valores del módulo de elasticidad para todas las unidades se han obtenido de la información recogida en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo, y en el caso de la unidad T tiene un valor de 55 MPa.

Sin embargo, en la documentación disponible en el estudio Geotécnico no aparecen los valores del coeficiente de Poisson para ninguna unidad, por lo que el presente estudio ha tenido que obtenerlo a partir de la siguiente tabla de valores orientativos que recoge el Código Técnico de la Edificación, concretamente el Documento Básico de Seguridad Estructural (DBSE) referente a cimentaciones:

Tabla D.24. Valores orientativos del coeficiente de Poisson

Tipo de suelo	Coficiente de Poisson
Arcillas blandas normalmente consolidadas	0,40
Arcillas medias	0,30
Arcillas duras preconsolidadas	0,15
Arenas y suelos granulares	0,30

A la profundidad del plano de cimentación fijada, la Unidad Geotécnica T está constituida por argilitas. Se trata de una roca sedimentaria que, aunque sea blanda, siempre va a resultar más dura que cualquier suelo.

Es por este motivo que el presente estudio considerará, a la vista de los datos disponibles, que un valor de coeficiente de Poisson correspondiente a una arcilla dura se aproximará bastante a la realidad del terreno con el que se va a trabajar. Se asumirá, por tanto, un valor de $\nu = 0,15$.

Por tanto, los parámetros a introducir en la fórmula del asiento tendrán los siguientes valores:

$$s = 2,5 \text{ cm} = 0,025 \text{ m}$$

$$\nu = 0,15$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

$$E = 55 \text{ MPa} = 55000 \text{ KN/m}^2$$

$$B = 5 \text{ m}$$

$$L = 20 \text{ m}$$

Sustituyendo estos valores en la fórmula anterior, se obtendrá:

$$0,025 = \frac{Q_{s, adm} * (1 - 0,15^2)}{1,25 * 55000 * \sqrt{5} * 20}$$

Por tanto, la fuerza vertical que provocaría el asiento máximo admisible tendrá el siguiente valor:

$$Q_{s, adm} = 17583,12 \text{ KN}$$

Dividiendo este valor entre el área del plano de cimentación, se obtendrá la carga unitaria admisible por asiento:

$$q_{s, adm} = \frac{Q_{adm}}{5*20} = \frac{17583,12}{5*20} = 175,831 \text{ KN/m}^2$$

Cabe apuntar que los asientos se producen debido al incremento de tensiones del terreno por encima de los valores que presentaba inicialmente. Dicho de otra manera, los asientos se originan por incrementos netos de carga.

Por tanto, al emplear la formulación elástica establecida por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera en el cálculo de la carga admisible por asiento, y habiendo impuesto el valor del asiento admisible, la carga admisible así obtenida corresponde al valor neto que se necesita para comparar con la carga neta por hundimiento.

Por tanto:

$$q_{sn, adm} = \frac{Q_{adm}}{5*20} = \frac{17583,12}{5*20} = 175,831 \text{ KN/m}^2$$

Una vez obtenidas ambas cargas admisibles netas, por hundimiento y por asiento, se compararán para obtener la carga admisible del terreno como la menor de ambas. Así pues:

$$q_{hn, adm} = \frac{q_{hn}}{3} = \frac{8795,76}{3} = 2931,92 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{sn, adm} = \frac{Q_{s, adm}}{5*20} = \frac{17583,12}{5*20} = 175,831 \text{ KN/m}^2$$

Por tanto:

$$q_{n, adm} = 175,831 \text{ KN/m}^2$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Como se está trabajando en valores unitarios, se procederá a calcular la carga unitaria transmitida a la cimentación del estribo norte, en valores netos. Dicha carga tendrá el valor de:

$$q_{tn\ EN} = \frac{12099,48}{5*20} - 115,5 = 5,5 \text{ KN/m}^2$$

Comparando ambas cargas netas, queda demostrado que la carga admisible es más que suficiente para resistir la carga transmitida por la estructura a esta cimentación. Sin embargo, la diferencia entre ambas cargas es muy significativa.

Podría reducirse el ancho menor del plano de cimentación, puesto que este valor es el que influye en la fórmula de cálculo de la carga de hundimiento para cimentaciones superficiales. Sin embargo, y tras probar esta opción se ha comprobado que no se reduce significativamente la diferencia entre la nueva carga admisible de la cimentación y la carga transmitida por la estructura.

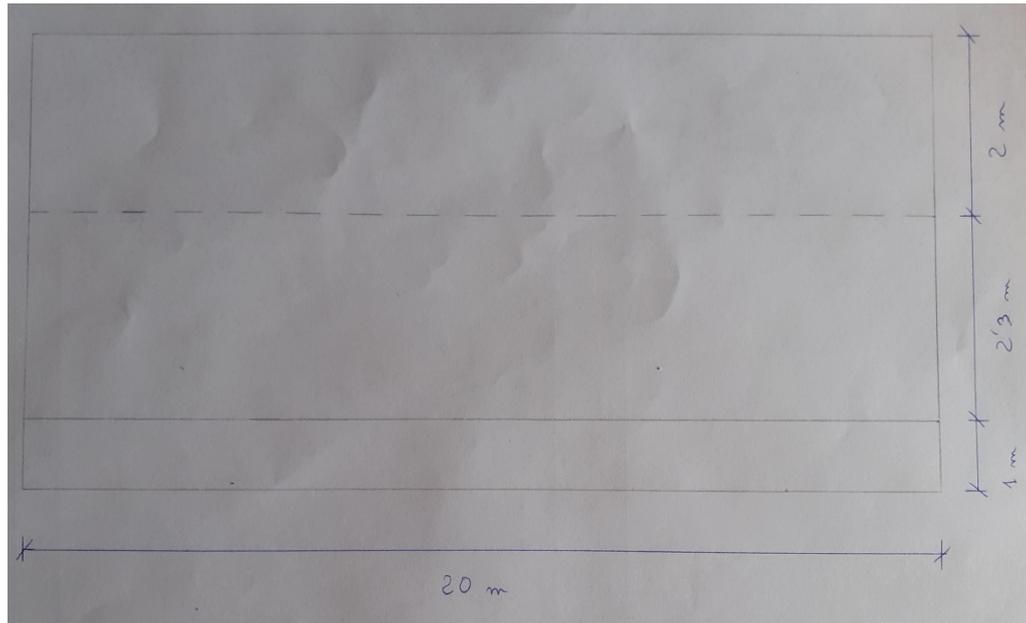
Además, existe el hecho de que la carga transmitida por unidad de superficie a la cimentación del estribo norte es muy pequeña, por lo que no parece posible acortar demasiado la diferencia de cargas anteriormente citada por mucho que se reduzca el ancho B.

Por tanto, como realmente se ha cumplido el objetivo de proporcionar un dimensionamiento de cimentación que sea capaz de resistir la carga transmitida por la estructura, se da por válida esta solución para el estribo norte del paso de fauna. En cualquier caso, este hecho se tendrá en cuenta en el posterior análisis multicriterio que va a realizarse a las tres alternativas de construcción, al igual que la cimentación profunda de la zona de pilas intermedias.

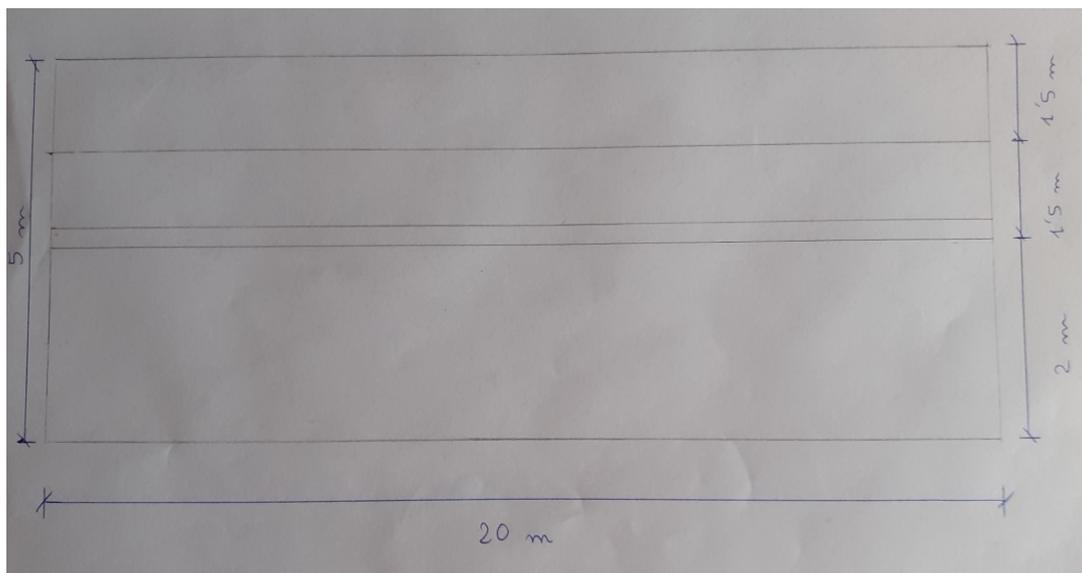
Para concluir este apartado, se adjuntarán una serie de croquis donde se reflejan las vistas de la cimentación propuesta.

Para la fijación del canto de la zapata se ha aplicado la condición de zapata rígida marcada por la EHE – 08, de manera que se ha establecido un canto de 1 m y un vuelo máximo de 2 m.

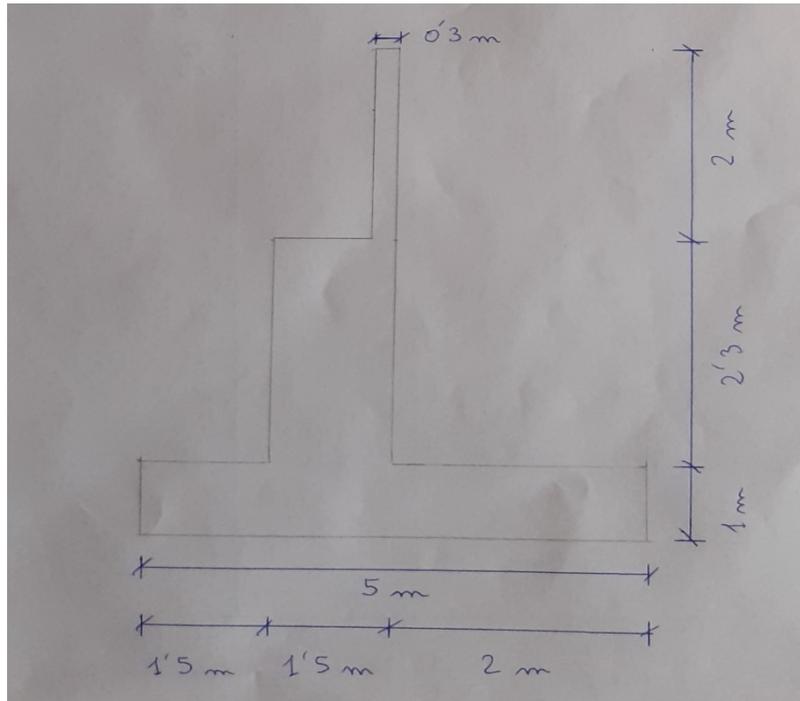
El resto de las dimensiones del elemento estructural, se han obtenido basándose en la información de los planos del proyecto constructivo. Sin considerar peraltes transversales para ninguna de las cimentaciones del paso de fauna, la zapata dimensionada se ha considerado como un elemento prismático de sección constante.



Alzado de la cimentación del estribo norte del paso de fauna, vista desde la parte trasera de la misma



Planta de la cimentación del estribo norte del paso de fauna



Perfil de la cimentación del estribo norte del paso de fauna, situada en el extremo derecho del puente

5.3.2.2. Estribo sur

Para el estribo sur, la presente alternativa considera resolver su cimentación mediante una zapata corrida cuyas dimensiones del plano de cimentación coinciden con las del estribo anterior, y cuyo plano de apoyo se localiza a 3 m de cota desde la superficie del terreno actual.

A esta profundidad se localiza la Unidad Geotécnica T_{alt} , situada entre 2 m de material cuaternario cohesivo (Q_c) y la unidad terciaria T. Por tanto, se trata de una cimentación apoyada en un terreno estratificado y este hecho deberá tenerse en cuenta a la hora de obtener la carga de hundimiento.

Se trabaja de este modo porque las Unidades Geotécnicas detectadas presentan parámetros geotécnicos distintos, motivo por el cual el presente estudio las considera como estratos diferentes.

Se adjuntará, al igual que en el apartado anterior, una tabla en la que se resumen los parámetros geotécnicos de las unidades detectadas en la zona de construcción del estribo sur. Estos datos han sido obtenidos del estudio de cimentaciones, incluido en el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo que se está analizando.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

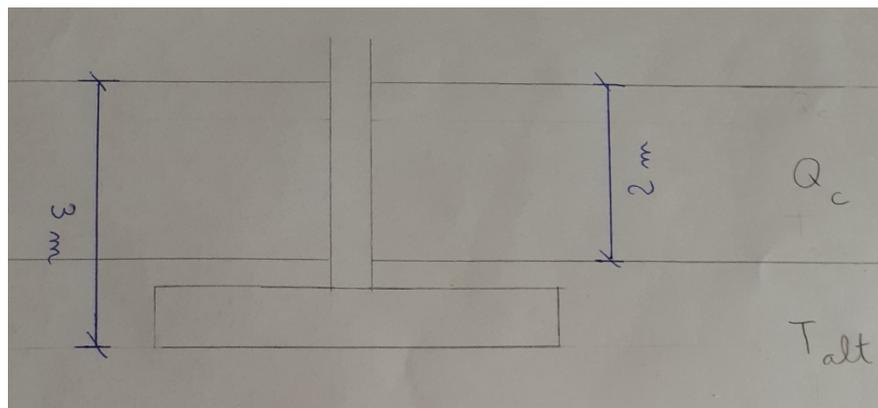
U.G.	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Densidad (KN/m ³)	Cohesión (KN/m ²)	Áng. roz. interno (º)
T.V.	0	0,5	-	-	-
Q _c	0,5	2,5	21	15	30
T _{alt}	2,5	10,5	21	25	30
T	10,5	-	23	40	35

Así pues, se supondrán dos terrenos hipotéticos T₁ y T₂, cuyo límite de separación se encuentra por debajo del plano de cimentación, y cuyas cargas de hundimiento por debajo de dicho plano de apoyo son respectivamente q_{h1} y q_{h2}, de manera que q_{h1} > q_{h2}.

Estos dos terrenos pueden ser tanto la unidad terciario alterado como la terciaria, ya que el material cuaternario se encuentra por encima del plano de cimentación considerado.

El procedimiento cuando se trabaja con terrenos estratificados consiste en definir las cargas de hundimiento anteriores para determinar si el terreno de mayor q_h se encuentra por encima o por debajo del de menor carga de hundimiento. Este hecho condicionará el cálculo de la carga de hundimiento real para la cimentación propuesta.

Se plantearán, pues, las dos hipótesis para la obtención de q_{h1} y q_{h2}, considerando en primer lugar el caso en que bajo el plano de cimentación el terreno existente está constituido únicamente por la Unidad Geotécnica T_{alt}.



La fórmula utilizada para la obtención de la carga de hundimiento a la profundidad de plano de cimentación considerada será de nuevo la de Brinch Hansen, cuya expresión general es la siguiente:

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

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Como en este caso el terreno de cimentación corresponde a la Unidad Geotécnica T_{alt} , el ángulo de rozamiento interno utilizado para la determinación de los factores de capacidad de carga será el de esta unidad. Por tanto:

$$N_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} * e^{\pi * \tan \phi} = \frac{1 + \sin 30}{1 - \sin 30} * e^{\pi * \tan 30} = 18,4$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi} = \frac{18,4 - 1}{\tan 30} = 30,1396$$

$$N_\gamma = 2 * (N_q - 1) * \tan \phi = 2 * (18,4 - 1) * \tan 30 = 20,09$$

Cabe apuntar que, en este caso, el terreno por encima del plano de cimentación está compuesto por las Unidades Geotécnicas Q_c y T_{alt} , por lo que el peso de las tierras a considerar en este caso tendrá en cuenta el peso específico de ambas. Como tienen el mismo valor, este hecho realmente no influirá a efectos del cálculo.

Al igual que para todos los casos, se desprecia el medio metro de espesor de tierra vegetal en la obtención del peso de las tierras, ya que se desprecia la capacidad resistente de esta clase de rellenos.

$$q = 21 * (2 + 1) = 63 \text{ KN/m}^2$$

La cohesión del terreno de cimentación corresponderá al valor obtenido para la Unidad Geotécnica T_{alt} :

$$c = 25 \text{ KN/m}^2$$

Las hipótesis realizadas para los factores correctores correspondientes a la profundidad del plano de cimentación, inclinación de las cargas, proximidad a taludes e inclinación del propio plano de apoyo son igualmente válidas para este caso, por lo que volverán a ser iguales a la unidad.

Faltaría, por último, la obtención de los factores correctores por la forma de la cimentación, que dependen del valor de los factores de capacidad de carga y de las dimensiones del plano de cimentación. En este caso, valdrán lo siguiente:

$$s_q = s_c = 1 + \frac{B}{L} * \frac{N_q}{N_c} = 1 + \frac{5}{20} * \frac{18,4}{30,1396} = 1,1526$$

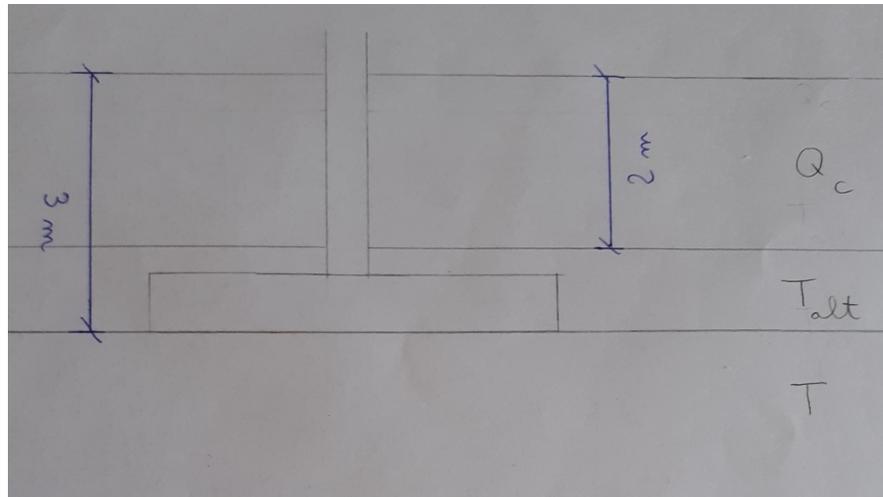
$$s_\gamma = 1 - 0,3 * \frac{B}{L} = 1 - 0,3 * \frac{5}{20} = 0,925$$

Como las simplificaciones realizadas por los factores correctores son idénticas a las del estribo anterior, la fórmula de cálculo de la carga de hundimiento quedaría de la misma forma, y su valor será en este caso de:

$$p_{vh} = q * N_q * s_q + c * N_c * s_c + (1/2) * \gamma * (B^*) * N_\gamma * s_\gamma = (63 * 18,4 * 1,1526) + (25 * 30,1396 * 1,1526) + (0,5 * 21 * 5 * 20,09 * 0,925)$$

$$p_{vh} = 3180,2 \text{ KN/m}^2$$

Del mismo modo, se planteará ahora la situación en la que bajo el plano de cimentación sólo existe la unidad terciaria T. El esquema del terreno para esta hipótesis se refleja en la imagen inferior:



Partiendo de la misma fórmula de la carga de hundimiento anterior:

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

Ahora el terreno de cimentación considerado es la Unidad Geotécnica terciaria, por lo que los factores de capacidad de carga se obtendrán ahora a partir de su ángulo de rozamiento interno, y la cohesión empleada en la fórmula será también la de la unidad T:

$$N_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} * e^{\pi * \tan \phi} = \frac{1 + \sin 35}{1 - \sin 35} * e^{\pi * \tan 35} = 33,296$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi} = \frac{33,296 - 1}{\tan 35} = 46,12$$

$$N_\gamma = 2 * (N_q - 1) * \tan \phi = 2 * (33,296 - 1) * \tan 35 = 45,23$$

$$c = 40 \text{ KN/m}^2$$

Asimismo, y tal como se deduce de la imagen anterior, el peso de las tierras existente por encima del plano de cimentación tendrá el mismo valor que para la hipótesis anterior ya que los pesos específicos y los espesores de las capas de terreno consideradas son los mismos:

$$q = 21 * (2 + 1) = 63 \text{ KN/m}^2$$

Teniendo en cuenta que las simplificaciones de la fórmula de Brinch Hansen consideradas para la hipótesis anterior son válidas también para esta, la carga de hundimiento volverá a calcularse con la expresión que sigue:

$$p_{vh} = q * N_q * s_q + c * N_c * s_c + (1/2) * \gamma * (B^*) * N_\gamma * s_\gamma$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Por último, sólo quedaría calcular los factores correctores por forma de cimentación considerando idénticas dimensiones del plano de cimentación y los valores de los factores de capacidad de carga anteriores:

$$s_q = s_c = 1 + \frac{B}{L} * \frac{Nq}{Nc} = 1 + \frac{5}{20} * \frac{33,296}{46,12} = 1,18$$

$$s_v = 1 - 0,3 * \frac{B}{L} = 1 - 0,3 * \frac{5}{20} = 0,925$$

Con todos estos valores, se procederá a obtener la carga de hundimiento para esta situación hipotética:

$$p_{vh} = (63 * 33,296 * 1,18) + (40 * 46,12 * 1,18) + (0,5 * 21 * 5 * 45,23 * 0,925)$$

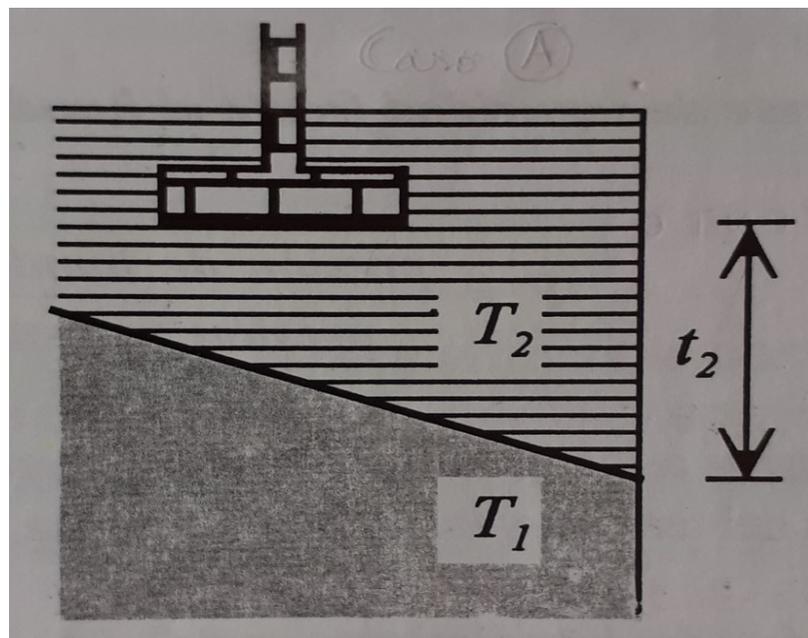
$$p_{vh} = 6848,57 \text{ KN/m}^2$$

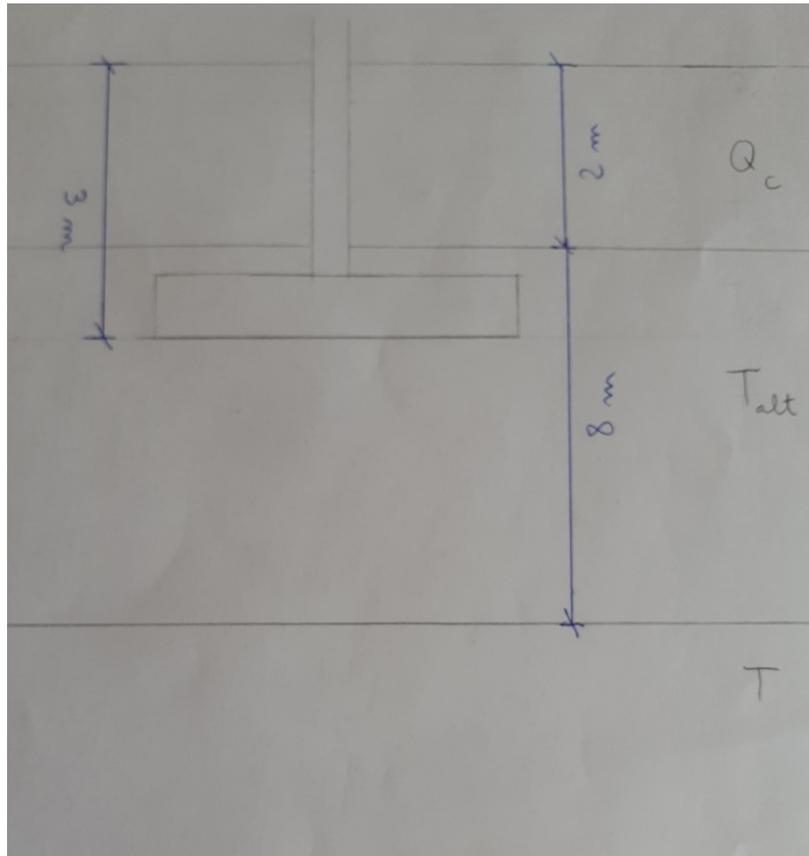
Una vez calculadas ambas cargas de hundimiento, queda claro que la q_h que considera la unidad T por debajo del plano de cimentación es mayor que aquella que considera la unidad T_{alt} por debajo del mismo plano de apoyo. Por tanto:

$$q_{h1} = 6848,57 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{h2} = 3180,2 \text{ KN/m}^2$$

Esto quiere decir que el terreno T_1 corresponde a la unidad T y el terreno T_2 a la unidad T_{alt} , el cual se encuentra por encima del anterior, por lo que la situación de terreno estratificado con la que va a trabajarse se refleja en las imágenes que se adjuntan a continuación:





En este caso, la distancia del plano de cimentación al inicio del terreno T_1 no es nula. Por tanto, $t_2 = 7$ m

Como $\frac{t_2}{B} = \frac{7}{5} = 1,4 > 0,7$, la carga de hundimiento en este caso valdrá:

$$q_h = q_{h2} = 3180,2 \text{ KN/m}^2$$

Considerando el peso de las tierras existente por encima del plano de cimentación, la carga de hundimiento neta para el estribo sur valdrá en este caso:

$$q_{hn} = q_h - q = 3180,2 - 63 = 3117,2 \text{ KN/m}^2$$

Al igual que para el estribo anterior, a esta carga de hundimiento se le debe aplicar un factor de seguridad de 3 como marca la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, para así obtener la carga admisible neta por hundimiento:

$$q_{hn, adm} = \frac{q_{hn}}{3} = \frac{3117,2}{3} = 1039,07 \text{ KN/m}^2$$

Una vez obtenido este valor, el siguiente paso consistirá en obtener la carga que provocaría el asiento máximo admisible por la estructura. Como ya es sabido, este valor viene determinado por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera y para zapatas se fija en 2,5 cm.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Asumiendo de nuevo la hipótesis de zapata rígida para un terreno fundamentalmente cohesivo y de buena consistencia, en el que no se van a producir asentamientos importantes, la fórmula a emplear para la obtención del asiento será la misma que para el estribo norte. Es decir, aquella establecida por la formulación elástica tras consultar lo marcado por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera en este punto:

$$s = \frac{V * (1 - \nu^2)}{1,25 * E * \sqrt{B * L}}$$

Sin embargo, la existencia de la unidad terciaria a 7 m de profundidad del plano de cimentación provoca que dicha unidad se vea afectada por el bulbo de presiones generado por la cimentación del estribo.

Este concepto se refiere al terreno situado por debajo de la cimentación y que se ve afectado por ella, de manera que la profundidad aproximada del bulbo de presiones para zapatas corridas está en torno al doble del ancho menor del plano de cimentación. En este caso, dicho valor correspondería a 10 m medidos desde la cota del plano de cimentación, quedando demostrado que la Unidad Geotécnica T quedaría dentro de su zona de influencia.

Por tanto, se trabajará en este caso considerando el terreno heterogéneo a efectos del cálculo de los módulos de elasticidad y de Poisson medios o equivalentes, para lo cual se recurrirá a lo establecido en la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera.

Según la Guía, el módulo de elasticidad equivalente para un medio heterogéneo se obtendría a partir de la siguiente expresión:

$$E = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i}$$

Donde:

E: módulo de elasticidad medio o equivalente

E_i: módulo de elasticidad del estrato i

h_i: espesor del estrato i

$\Delta\sigma_i$: incremento de presión vertical total en el centro del estrato i, en la vertical del centro de la cimentación, creado por la carga aplicada sobre la misma. Para su determinación, la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera considera suficientemente precisa la utilización de la siguiente fórmula:

$$\Delta\sigma = p \cdot (1 - \cos^3 \alpha)$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Donde:

p : presión media transmitida por la cimentación

α : se calcula como $\arctg(a/z)$, expresado en radianes

a : radio de la cimentación circular equivalente, $a = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$

A : área de apoyo de la cimentación

z : profundidad del punto considerado, por debajo del plano de cimentación

Así pues, una vez definidas las formulaciones con las que se va a trabajar, se procederá a la obtención del módulo de elasticidad equivalente para el terreno del estribo sur.

Como debajo del plano de cimentación se localizan las Unidades Geotécnicas T_{alt} y T , se adoptarán los módulos de elasticidad correspondientes a estas unidades. Por tanto:

$$E_{T_{alt}} = 55 \text{ MPa}$$

$$E_T = 110 \text{ MPa}$$

En cuanto a los valores de incremento de presión vertical total, se evaluarán en el centro de cada estrato existente bajo el plano de cimentación.

— $\Delta\sigma_1$:

Como entre el plano de apoyo y el límite entre las unidades T_{alt} y T hay un espesor de 7 m, el primer $\Delta\sigma_i$ se calculará a 3,5 m de profundidad desde el plano de cimentación.

$p = \frac{10431,58}{5 \cdot 20} = 104,32 \text{ KN/m}^2$ (calculada a partir de la carga transmitida por la estructura a la cimentación del estribo sur)

$$A = 5 \cdot 20 = 100 \text{ m}^2$$

$$a = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{100}{\pi}} = 5,642 \text{ m}$$

$z = 3,5 \text{ m}$ (medidos desde el plano de cimentación)

$h = 7 \text{ m}$ (medidos también desde el plano de cimentación)

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{a}{z}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5,642}{3,5}\right) = 1,0155 \text{ rad}$$

Por tanto:

$$\Delta\sigma_1 = p \cdot (1 - (\cos \alpha)^3) = 89,04 \text{ KN/m}^2$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

— $\Delta\sigma_2$:

Debido a que el estrato correspondiente a la unidad terciaria es el último en ser detectado por las prospecciones mecánicas realizadas en la zona, la profundidad a la que se calculará el siguiente incremento de presión vertical total estará condicionada por el alcance del bulbo de presiones generado por la cimentación del estribo sur.

Asumiendo que la profundidad alcanzada por este bulbo de presiones generado bajo el plano de cimentación es de 2 veces el ancho menor de la cimentación, es decir, de 10 m, y descontando los 7 m de unidad T_{alt} , el presente estudio considerará un estrato de unidad T de 3 m de espesor.

$p = \frac{10431,58}{5 \cdot 20} = 104,32 \text{ KN/m}^2$ (calculada a partir de la carga transmitida por la estructura a la cimentación del estribo sur)

$$A = 5 \cdot 20 = 100 \text{ m}^2$$

$$a = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{100}{\pi}} = 5,642 \text{ m}$$

$$z = 7 + 1,5 = 8,5 \text{ m (medidos desde el plano de cimentación)}$$

$$h = 3 \text{ m (estrato considerando la zona de influencia del bulbo de presiones)}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{a}{z} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{5,642}{8,5} \right) = 0,586 \text{ rad}$$

Por tanto:

$$\Delta\sigma_2 = p \cdot (1 - (\cos \alpha)^3) = 43,98 \text{ KN/m}^2$$

Con estos valores puede calcularse el módulo de elasticidad equivalente del terreno con el que se está trabajando:

$$E = \frac{(89,04 \cdot 7) + (43,98 \cdot 3)}{\left(\frac{89,04}{55000} \cdot 7 \right) + \left(\frac{43,98}{110000} \cdot 3 \right)} = 60275,59 \text{ KN/m}^2 = 60,27 \text{ MPa}$$

Para obtener el coeficiente de Poisson equivalente, por su parte, se recurrirá a la siguiente expresión. Se emplearían los mismos valores de h_i y de $\Delta\sigma_i$ de la fórmula anterior:

$$v = \frac{\sum v_i \cdot h_i \cdot \Delta\sigma_i}{\sum h_i \cdot \Delta\sigma_i}$$

Como es de suponer, los v_i corresponden a los coeficientes de Poisson de cada uno de los estratos considerados a partir del plano de cimentación.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

El primer estrato, que contiene la Unidad Geotécnica T_{alt} , se encuentra entre una profundidad de entre 3 y 10 m medidos desde la cota del terreno actual, con una variedad de materiales que oscila desde las arcillas carbonatadas hasta arenas con diversos tamaños de grano.

Ante semejante variedad de materiales, el presente estudio determinará el coeficiente de Poisson a la profundidad a la que se ha calculado el incremento de presión vertical total en ese estrato. Ya que es en este punto donde se toma el valor de presión, se considera coherente trabajar con el módulo de Poisson que se aproxime más a las características del terreno existente a esa profundidad.

Dicha profundidad se encuentra a 6,5 m desde la cota del terreno actual, y esa zona está constituida por arenas de grano entre fino y grueso, y por tanto material granular. Atendiendo a la tabla del CTE utilizada como referencia para la obtención de estos coeficientes, el presente estudio asume un valor de $\nu = 0,3$

Para el segundo estrato, correspondiente a la Unidad Geotécnica T, se adoptará el mismo coeficiente de Poisson asumido para el apartado anterior, es decir, $\nu = 0,4$

Con estos valores claros, ya puede aplicarse la fórmula anteriormente expuesta para obtener el coeficiente de Poisson equivalente del terreno con el que se está trabajando:

$$\nu = \frac{(0,3 \cdot 7 \cdot 89,04) + (0,4 \cdot 3 \cdot 43,98)}{(7 \cdot 89,04) + (3 \cdot 43,98)} = 0,3175$$

Una vez obtenidos los módulos de elasticidad y de Poisson equivalentes, puede procederse a la aplicación de la fórmula para la determinación del asiento. Asumiendo que la zapata del estribo sur también será rígida, los parámetros a emplear serán los siguientes:

$$s = 2,5 \text{ cm} = 0,025 \text{ m}$$

$$\nu = 0,3175$$

$$E = 60275,59 \text{ KN/m}^2$$

$$B = 5 \text{ m}$$

$$L = 20 \text{ m}$$

Por tanto:

$$0,025 = \frac{Q_{s, adm} \cdot (1 - 0,3175^2)}{1,25 \cdot 60275,59 \cdot \sqrt{5} \cdot 20}$$

$$Q_{s, adm} = 20947,79 \text{ KN}$$

Dividiendo este valor entre el área del plano de cimentación, se obtendrá la carga unitaria admisible por asiento. Recuérdese que, al emplear las fórmulas del método

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

elástico para el cálculo de dicha carga admisible, el valor obtenido corresponde a la carga neta:

$$q_{sn, adm} = \frac{Q_{s, adm}}{5 \cdot 20} = \frac{20947,79}{5 \cdot 20} = 209,48 \text{ KN/m}^2$$

Así pues, las cargas admisibles netas por hundimiento y asiento tendrán, para el estribo sur del paso de fauna, los siguientes valores:

$$q_{hn, adm} = \frac{q_{hn}}{3} = \frac{3117,2}{3} = 1039,07 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{sn, adm} = \frac{Q_{s, adm}}{5 \cdot 20} = \frac{20947,79}{5 \cdot 20} = 209,48 \text{ KN/m}^2$$

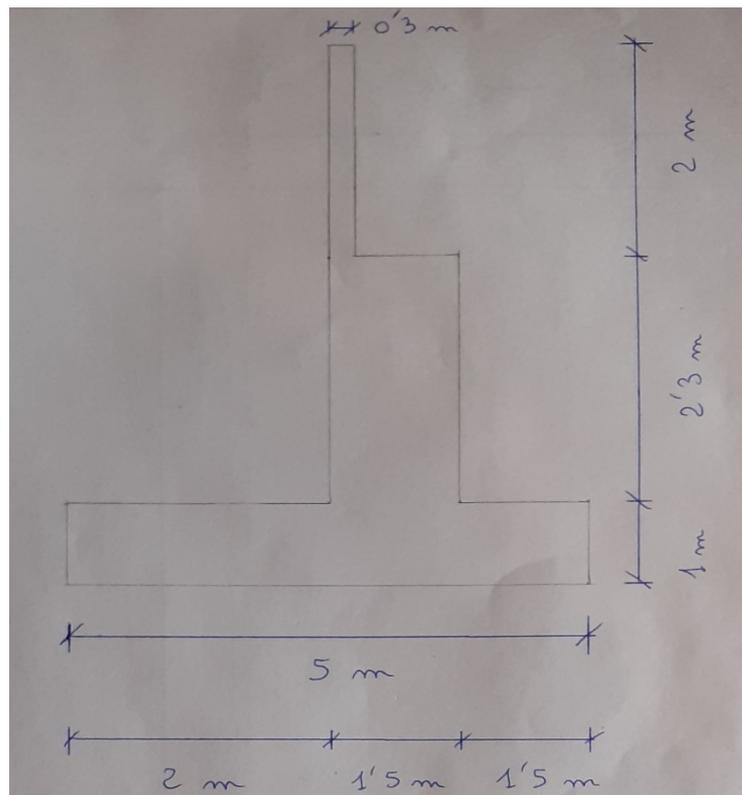
Teniendo en cuenta que debe tomarse el menor de los dos valores anteriores como carga admisible neta del terreno, queda claro que para el estribo sur adoptará el valor de 209,48 KN/m²

La carga unitaria transmitida a esta cimentación tendrá, por su parte, un valor de:

$$q_{tn ES} = \frac{10431,58}{5 \cdot 20} - 63 = 41,32 \text{ KN/m}^2$$

Comparando ambas cargas netas, es evidente que la admisible es suficiente con un margen razonable para resistir la carga transmitida por la estructura a esta cimentación. Por tanto, se da por válida esta solución para la presente alternativa.

Como el presente estudio asume zapatas corridas para ambos estribos del paso de fauna, los croquis realizados para el estribo norte serán idénticos a los del sur. Por tanto, únicamente se adjuntará la vista del perfil de la misma, recordando que el estribo sur se sitúa en el extremo izquierdo del paso de fauna.



Perfil del estribo sur del paso de fauna

5.3.2.3. Zona de pilas intermedias

Siguiendo con el procedimiento adoptado para los dos estribos del paso de fauna, se procederá en primer lugar a la obtención de la carga de hundimiento de esta cimentación superficial, cuyas dimensiones de partida del plano de cimentación son de $B = 5 \text{ m}$ y $L = 20 \text{ m}$.

Las Unidades Geotécnicas detectadas en esta zona son las mismas que para la zona de construcción del estribo norte, y sus espesores y parámetros geotécnicos se recogen en la siguiente tabla procedente del Estudio Geotécnico del proyecto constructivo.

Cabe apuntar que, al no haberse realizado prospecciones en la zona de ubicación de las pilas intermedias, los valores que siguen a continuación se han calculado por interpolación de aquellos obtenidos en los sondeos ejecutados en ambos estribos del paso de fauna.

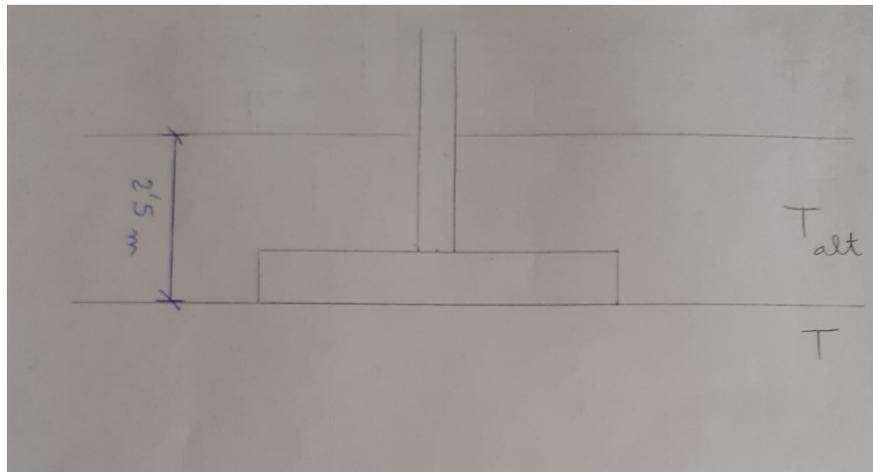
U.G.	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Densidad (KN/m ³)	Cohesión (KN/m ²)	Áng. roz. interno (°)
T.V.	0	0,5	-	-	-
T _{alt}	0,5	8,5	21	25	30
T	8,5	-	23	40	35

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Tal como se ha introducido en la descripción de esta alternativa, se ha decidido cimentar la zona de pilas intermedias sobre la Unidad Geotécnica T, puesto que una vez ejecutado el nuevo tramo de la B – 224 quedará a 2,5 m de profundidad desde la rasante del tronco principal de la carretera, una rasante que el Estudio Geotécnico del proyecto constructivo sitúa a 6 m aproximadamente desde la cota de terreno actual.

Por tanto, el presente estudio asumirá que el plano de cimentación se situará a 8,5 m de profundidad desde la cota del terreno actual, ya que a esta cota es donde aparece la Unidad T. De esta manera, el cálculo de la carga de hundimiento se realizará descartando el modelo bicapa al localizarse el plano de cimentación en la zona límite entre las Unidades Geotécnicas T_{alt} y T.

Por tanto, el esquema de la cimentación para la zona de pilas intermedias quedaría de la siguiente forma:



Partiendo de la fórmula de Brinch Hansen original:

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

Resulta evidente que, para el cálculo del peso de las tierras por encima del plano de cimentación, el terreno a considerar corresponde a la Unidad Geotécnica T_{alt}. Por tanto:

$$q = \gamma \cdot D = 21 \cdot 2,5 = 52,5 \text{ KN/m}^2$$

La cohesión del terreno de cimentación corresponderá, sin embargo, a la unidad T:

$$c = 40 \text{ KN/m}^2$$

Esta vez el terreno de cimentación es la unidad T, por lo que el ángulo de rozamiento interno que debe emplearse para el cálculo de los factores de capacidad de carga corresponderá a esta Unidad Geotécnica.

$$N_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} * e^{\pi \cdot \tan \phi} = \frac{1 + \sin 35}{1 - \sin 35} * e^{\pi \cdot \tan 35} = 33,296$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

$$N_c = \frac{Nq-1}{\tan \phi} = \frac{33,296-1}{\tan 35} = 46,12$$

$$N_y = 2 * (Nq - 1) * \tan \phi = 2 * (33,296 - 1) * \tan 35 = 45,23$$

Los factores correctores que reflejan el efecto de la profundidad del plano de cimentación, la inclinación de las cargas, la proximidad de la cimentación a taludes e inclinación del plano de apoyo continúan siendo iguales a la unidad para este caso.

Los factores que recogen el efecto de la forma de la cimentación, por su parte, variarán su valor a pesar de que el plano de apoyo continúa teniendo las mismas dimensiones en planta. Esto es así porque los factores de capacidad de carga han sido modificados.

Por tanto:

$$s_q = s_c = 1 + \frac{B}{L} * \frac{Nq}{Nc} = 1 + \frac{5}{20} * \frac{33,296}{46,12} = 1,18$$

$$s_y = 1 - 0,3 * \frac{B}{L} = 1 - 0,3 * \frac{5}{20} = 0,925$$

Hechas las simplificaciones pertinentes, queda claro que la fórmula de obtención de la carga de hundimiento de la cimentación tendrá la misma forma que en el caso anterior:

$$p_{vh} = q * N_q * s_q + c * N_c * s_c + (1/2) * \gamma * (B^*) * N_y * s_y$$

Sustituyendo los valores obtenidos anteriormente, la carga de hundimiento tendrá el siguiente valor:

$$p_{vh} = (52,5 * 33,296 * 1,18) + (40 * 46,12 * 1,18) + (0,5 * 21 * 5 * 45,23 * 0,925)$$

$$q_h = 6436 \text{ KN/m}^2$$

Una vez obtenida la carga de hundimiento, se le restará el peso de las tierras por encima del plano de cimentación para obtener la carga de hundimiento neta, y posteriormente se le aplicará el factor de seguridad de 3 para obtener así la carga admisible neta por hundimiento del terreno:

$$q_{h, adm} = \frac{q_h - q}{3} = \frac{6436 - 52,5}{3} = 2127,83 \text{ KN/m}^2$$

Una vez obtenida, se procederá a obtener la que provoca el máximo asiento admisible. Al igual que en el caso de los estribos del paso de fauna, dicho valor queda fijado en los 2,5 cm que marca la Guía, y que servirán para despejar el valor de la carga de la fórmula de asiento que se aplique en este caso.

Teniendo en cuenta que las Unidades Geotécnicas detectadas en la zona de pilas intermedias son las mismas que para el estribo norte del paso de fauna, y que corresponden a materiales de naturaleza cohesiva, se asumirá la hipótesis de zapata rígida para esta cimentación.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Como, además, bajo el plano de cimentación se localiza únicamente material correspondiente a la unidad terciaria, se tomarán los módulos de elasticidad y de Poisson correspondientes a esta unidad, descartando tener que trabajar con terreno heterogéneo como en el caso del estribo sur.

Así pues, la fórmula empleada para la determinación del asiento, y de la que se despejará la carga admisible que se está buscando, será la misma que la utilizada para los dos estribos del puente:

$$s = \frac{V * (1 - \nu^2)}{1,25 * E * \sqrt{B * L}}$$

Considerando que el terreno de cimentación en este caso corresponde a la Unidad Geotécnica terciaria T, constituida por arcillas carbonatadas de consistencia dura, y la tabla de valores orientativos del coeficiente de Poisson que el presente estudio ha tomado como referencia, se asumirá un valor de $\nu = 0,15$

El módulo de elasticidad, por su parte, se toma de la tabla resumen adjuntada al principio de este apartado y que presenta un valor de $E = 110 \text{ MPa} = 110000 \text{ KN/m}^2$

Como el valor del asiento máximo admisible y las dimensiones del plano de cimentación son los mismos que para los estribos del paso de fauna, se puede obtener de la fórmula anterior la fuerza vertical que provoca el asiento máximo admisible:

$$0,025 = \frac{Q_{s, adm} * (1 - 0,15^2)}{1,25 * 110000 * \sqrt{5 * 20}}$$

$$Q_{s, adm} = 35166,24 \text{ KN}$$

Dividiendo el valor anterior entre el área del plano de cimentación, y teniendo en cuenta el razonamiento realizado para los dos estribos anteriores, el valor de la carga admisible neta por asiento valdrá lo siguiente:

$$q_{sn, adm} = \frac{35166,24}{5 * 20} = 351,66 \text{ KN/m}^2$$

Por tanto, los dos valores de carga admisible neta considerados para la zona de pilas intermedias quedarán del siguiente modo:

$$q_{hn, adm} = \frac{q_h - q}{3} = \frac{6436 - 52,5}{3} = 2127,83 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{sn, adm} = \frac{35166,24}{5 * 20} = 351,66 \text{ KN/m}^2$$

Considerando el mínimo de los dos valores anteriores, la carga neta admisible del terreno para esta cimentación será, en este caso, de $351,66 \text{ KN/m}^2$.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

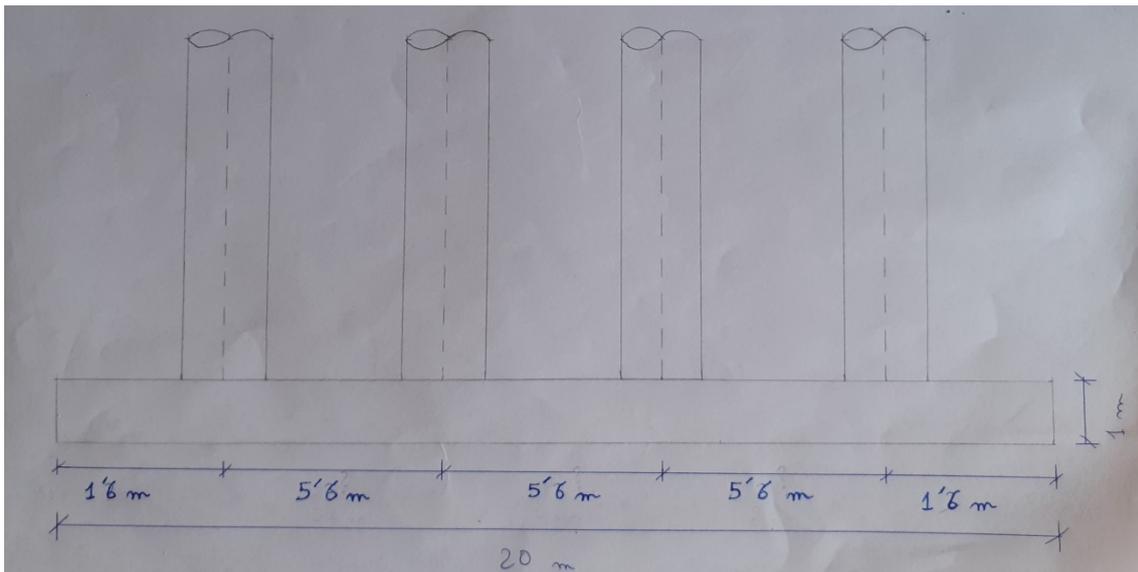
Teniendo en cuenta que la carga unitaria neta transmitida por la estructura a la cimentación de la zona de pilas intermedias es, atendiendo al cálculo estructural efectuado por el presente estudio, de:

$$q_{tn \text{ Pilas}} = \frac{18766,72}{5 \cdot 20} - 52,5 = 135,18 \text{ KN/m}^2$$

Queda demostrado, pues, que la solución adoptada es suficiente para resistir la carga transmitida por la estructura a la cimentación de la zona de pilas intermedias.

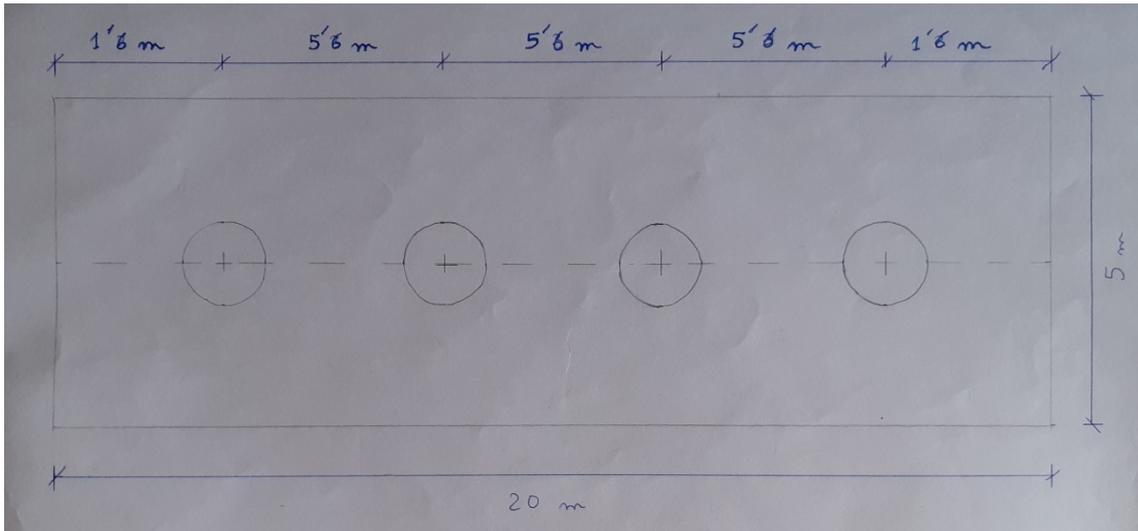
Para concluir la información referente a esta alternativa, se adjuntarán los croquis realizados para el dimensionamiento de esta cimentación. Al igual que para los dos estribos del paso de fauna, se ha fijado el canto de zapata atendiendo a la condición de zapata rígida marcada por la EHE – 08.

Se dispondrán un total de 4 pilas cilíndricas de 1,2 m de diámetro con una separación entre ejes de 5,6 m. Como el dimensionamiento a realizar se ciñe exclusivamente a las cimentaciones, el presente estudio no entra en el remate de las pilas ni en los armados necesarios para las mismas ni para la zapata situada inferiormente.

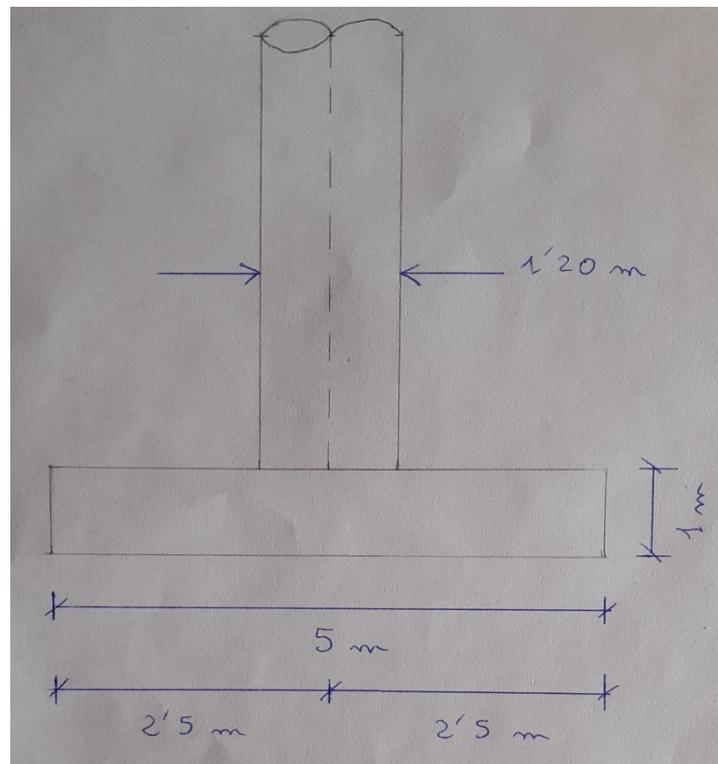


Alzado de la cimentación de la zona de pilas intermedias

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)



Planta de la cimentación de la zona de pilas intermedias



Perfil de la cimentación de la zona de pilas intermedias

5.3.3. Alternativa 3

Tal como se ha definido anteriormente, la tercera alternativa de construcción planteada para las cimentaciones del paso de fauna alterna ambas tipologías de cimentación para los dos estribos del puente, y la resolución de la zona de pilas intermedias mediante cimentación superficial.

5.3.3.1. Estribo norte

Para la cimentación del estribo norte del paso de fauna, se plantea la solución propuesta desde la alternativa 1, a saber, la ejecución de una pantalla discontinua de pilotes de hormigón armado fabricados *in situ*, con un diámetro de 0,85 m cada uno.

Se adoptaría la solución definitiva que se ha establecido para este estribo desde la alternativa 1, pues recuérdese que fue necesaria una modificación del dimensionamiento para resistir la carga transmitida por la estructura con el mínimo número de pilotes posibles.

Estos pilotes alcanzarán una profundidad de 8 m medidos desde la cota del terreno actual, transmitiendo las cargas procedentes de la estructura al nivel de terreno correspondiente a la Unidad Geotécnica terciaria.

Para culminar la definición, y recordando la descripción propuesta en la primera alternativa de construcción, los pilotes de cimentación serán enlazados en su parte superior por un elemento cargador del mismo ancho que el tablero del paso de fauna, y con una sección de perfil de 1,5 m de ancho por 1,3 m de canto.

Se dispondrán dos aletas en los extremos de la pantalla, que dispondrán también de pilotes de 0,85 m de diámetro con idéntica separación entre ejes que la pantalla principal.

Como la propuesta de cimentación para el estribo norte del paso de fauna es idéntica a la opción para el mismo estribo de la alternativa 1, el presente estudio remite a los mismos croquis referentes a sus dimensiones básicas.

5.3.3.2. Estribo sur

La presente alternativa opta para el estribo sur del paso de fauna por la ejecución de una zapata corrida cuyo ancho mayor del plano de cimentación coincidirá con el del tablero del puente, y cuyo ancho menor sea de 5 m.

El plano de cimentación apoyará a 3 m de profundidad, al pie del talud que va a ejecutarse para la construcción del puente, en la zona correspondiente a la Unidad Geotécnica T_{alt.}

Los croquis que reflejan las dimensiones del plano de cimentación, así como la geometría básica en alzado, planta y perfil, coinciden con los propuestos para este estribo en la alternativa 2. Por tanto, se remite a los mismos para su consulta.

5.3.3.3. Zona de pilas intermedias

Por último, la alternativa de construcción 3 propone la ejecución de cimentación directa o superficial para la zona intermedia del paso de fauna. Las dimensiones del plano de cimentación coinciden con las propuestas en la alternativa 2 para esta zona.

Por tanto, el plano de cimentación dispondría de un ancho menor $B = 5$ m y de un ancho mayor $L = 20$ m, coincidente con el ancho del tablero. La profundidad a la que llegaría, por su parte, condiciona no poder apoyar el cimientado sobre la unidad T_{alt} como se ha propuesto para el estribo sur, sino sobre la unidad T.

Esto es así, como ya se ha explicado en apartados anteriores, por el hecho de que una vez ejecutado el nuevo tramo de la B – 224 la unidad terciaria se localizaría a tan sólo 2,5 m de profundidad de la cota de rasante de la carretera, siendo una profundidad aceptable para optar por esta tipología de cimentación.

Al igual que en el caso del estribo sur, el presente estudio remite a los croquis de la cimentación de la zona de pilas intermedias correspondiente a la alternativa 2.

5.4. Análisis multicriterio y justificación de la alternativa adoptada

Para evaluar las alternativas expuestas anteriormente y escoger la más idónea, el presente estudio ha recurrido a la técnica de análisis multicriterio. Este método consiste en la construcción de una matriz en que se valora cada alternativa en función de unos criterios de selección definidos previamente.

En primer lugar, se adjuntará una tabla en la que se resumen las diferentes alternativas a analizar. Recuérdese que no se contempla la posibilidad de prescindir de la ejecución del paso de fauna, por lo que se trabajará únicamente con las tres alternativas de construcción que se han descrito en los apartados anteriores.

Posteriormente, se establecerán los criterios que el presente estudio ha definido para valorar dichas alternativas. A cada uno de estos criterios se le ha asignado un peso, cuyo valor oscila entre 1 y 5, y que representa la importancia relativa que se le ha dado en el análisis que va a realizarse.

Asimismo, las puntuaciones de cada criterio para cada una de las alternativas analizadas también serán de 1 a 5, de manera que 1 será la puntuación más desfavorable según el criterio seleccionado y 5 la puntuación más favorable.

Alternativa	Descripción
1	Ejecución de cimentaciones profundas mediante pantalla discontinua de pilotes en los dos estribos del paso de fauna, y grupo de pilotes unidos mediante encepado para la zona de pilas intermedias
2	Ejecución de cimentaciones superficiales, concretamente zapatas corridas, para los dos estribos del paso de fauna y la zona de pilas intermedias
3	Ejecución de cimentación profunda mediante pantalla discontinua de pilotes en el estribo norte del paso de fauna, y cimentación superficial mediante zapatas corridas en el estribo sur y la zona de pilas intermedias
Criterio de selección	Descripción
Adecuación técnica ($P_1 = 5$)	El presente estudio considera este criterio como el más importante dentro del análisis, puesto que en él se ha basado el dimensionamiento de las alternativas de construcción propuestas. Así pues, se entiende que una cimentación es adecuada técnicamente cuando es capaz de resistir la carga transmitida por la estructura a la misma. Por tanto, se asignará el valor de 1 a la alternativa menos adecuada, y 5 a la más adecuada en este sentido
Coste de ejecución ($P_2 = 4$)	Se trata del segundo criterio en importancia, puesto que el coste de ejecución de una obra condiciona de manera considerable la elección de una u otra alternativa. Se asignará el valor de 1 a la alternativa más costosa de construir, y 5 a la más económica de las analizadas
Dificultad constructiva ($P_3 = 3$)	Es uno de los criterios más importantes, puesto que existen cimentaciones que

	<p>implican mayores dificultades a la hora de materializarse sobre el terreno que otras. Estas dificultades pueden deberse tanto a condicionantes del terreno, como al propio procedimiento constructivo. Así pues, se asignará el valor de 1 a la alternativa que implique mayor dificultad de construcción, y 5 a la que resulte más sencilla de ejecutar</p>
Plazo de ejecución ($P_4 = 3$)	<p>Es un criterio importante, y que está de algún modo relacionado con el anterior. De hecho, una cimentación puede implicar mayor facilidad de ejecución y, por otra parte, suponer un alargamiento de los plazos de construcción debido al procedimiento de ejecución empleado. Por tanto, se asignará el valor de 1 a la alternativa que más tiempo de construcción implique, y 5 a la que requiera de un plazo de ejecución más reducido</p>
Afección al entorno ($P_5 = 1$)	<p>Teniendo en cuenta que las cimentaciones no son elementos estructurales visibles, este criterio no se considera de los más significativos. Para cuantificar su valoración, el presente estudio asignará el valor de 1 a la alternativa que afecte a una zona más amplia al ser construida, y 5 a la que afecta a un área más reducida</p>

Establecidos los criterios, se adjunta a continuación la matriz multicriterio en la que aparecen las valoraciones correspondientes a cada alternativa de construcción. Teniendo en cuenta que en los criterios considerados la puntuación más favorable es la más alta, se considerará la alternativa más adecuada para la ejecución de las cimentaciones del paso de fauna aquella que obtenga mayor valor total ponderado.

Alternativas	Criterios										
	Adecuación técnica $P_1 = 5$		Coste de ejecución $P_2 = 4$		Dificultad constructiva $P_3 = 3$		Plazo de ejecución $P_4 = 3$		Afección al entorno $P_5 = 1$		Total ($\sum VxP_i$)
	V	VxP_i	V	VxP_i	V	VxP_i	V	VxP_i	V	VxP_i	
1	4	20	2	8	1	3	5	15	4	4	50
2	4	20	5	20	5	15	2	6	2	2	63
3	5	25	3	12	3	9	3	9	3	3	58

Según el análisis anterior, la opción más adecuada para la construcción de las cimentaciones del paso de fauna corresponde a la alternativa 2, que implica la ejecución de cimentaciones superficiales o directas en su totalidad. Los motivos son diversos, y pasarán a analizarse en función de la puntuación que se ha obtenido para cada criterio.

En primer lugar, recuérdese que el criterio de adecuación técnica ha sido la piedra angular en la que se ha basado el dimensionamiento de las cimentaciones de cada una de las alternativas analizadas.

Este es el motivo por el cual, las 3 alternativas han obtenido una puntuación bastante elevada según este criterio. Sin embargo, las alternativas 1 y 2 han sido ligeramente penalizadas con un 4 cada una, puesto que ambas presentaban sobredimensionamiento en una de sus cimentaciones.

Concretamente, la primera en la cimentación de la zona de pilas intermedias y la segunda en la zapata del estribo norte. Este inconveniente no ha podido resolverse, como se recordará del apartado anterior, pero continúan cumpliendo el requisito considerado más importante según el análisis realizado por el presente estudio.

La alternativa 3, por su parte, implica una solución que garantiza la resistencia a la carga transmitida por la estructura sin caer en sobredimensionamiento. Por eso, su puntuación según este criterio es la más alta.

El segundo criterio es el coste de ejecución de la obra. En este sentido, se recomienda desde la experiencia constructiva recurrir a cimentaciones superficiales cuando la estructura a construir no va a soportar cargas significativamente elevadas, como es el caso del paso de fauna objeto de este estudio, ya que su coste de ejecución siempre será menor si se compara con la opción de cimentar el puente mediante pilotes.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Este es el motivo por el cual, el presente estudio considera que la alternativa 2 merece la mejor puntuación según este criterio. Por la misma razón, la alternativa 3 ha obtenido una puntuación ligeramente más negativa ya que incluye una cimentación profunda para el estribo norte, y la alternativa 1 ha obtenido la puntuación del mayor coste de ejecución debido a que sus cimentaciones se resuelven en su totalidad mediante pilotes.

El tercer criterio en importancia corresponde a la dificultad constructiva de la alternativa seleccionada. En base al mismo, resulta evidente que las cimentaciones superficiales implican menor dificultad constructiva que las profundas, más teniendo en cuenta que el terreno existente es predominantemente cohesivo y no se ha detectado el Nivel Freático en ningún punto de la zona de estudio.

Estas condiciones pueden facilitar considerablemente los trabajos de ejecución, y por este motivo la puntuación de la alternativa 2 ha resultado bastante favorable, seguida por la alternativa 3 que implica la ejecución de una sola cimentación profunda frente a dos directas.

Por último, resulta evidente que la alternativa que resuelve la totalidad del puente mediante cimentaciones profundas implica la mayor dificultad constructiva de las tres analizadas.

Como se ha explicado en la tabla de criterios de selección, el plazo de ejecución de una cimentación está directamente relacionado con el grado de dificultad constructiva que ésta implica, así como con los trabajos necesarios para su ejecución.

Es evidente que una cimentación superficial implica generalmente menor coste económico que una profunda, y su ejecución suele ser relativamente más sencilla si se compara con una cimentación por pilotes.

No obstante, también es cierto que los trabajos necesarios para su implantación pueden suponer un alargamiento en los plazos de ejecución de la obra. Estos trabajos hacen referencia tanto a la excavación de la propia zapata, como a la colocación del encofrado, las labores de ferrallado, hormigonado y relleno si fuese necesario.

En el caso de las zapatas a ejecutar en las alternativas 2 y 3, se recuerda que para las tres cimentaciones del paso de fauna la profundidad del plano de apoyo supera los 1,5 m. Este hecho, unido a que el terreno existente es predominantemente cohesivo, hace necesario recurrir a la excavación en talud para llegar a la profundidad fijada para los diferentes planos de cimentación establecidos en la fase de dimensionamiento.

En cambio, la ejecución de una cimentación por pilotes está muy tecnificada y eso contribuye a la reducción de los plazos necesarios para su materialización sobre el terreno.

Por las razones anteriormente expuestas y según el criterio analizado, la alternativa 1 obtiene la mejor puntuación por implicar la ejecución de cimentaciones profundas en los tres puntos de análisis del paso de fauna.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Asimismo, la alternativa 3 implica una puntuación ligeramente más negativa por presentar dos cimentaciones directas frente a una indirecta. Por último, la alternativa 2 implicaría la peor puntuación en este caso por suponer la ejecución de tres cimentaciones superficiales.

El último criterio, y probablemente el menos relevante de este análisis, es la afección al entorno que puede suponer la ejecución de los cimientos del paso de fauna. Su reducida importancia se debe al hecho de que las cimentaciones, ya sean directas o indirectas, no son elementos estructurales visibles que supongan un impacto visual significativo, salvo quizá durante su proceso de construcción.

Ya que el presente estudio ha considerado la valoración de este criterio en función de la extensión de la zona afectada por la construcción de las cimentaciones, queda claro que la alternativa 2 es la que implica mayor afección puesto que las cimentaciones superficiales afectan a un área mucho más extensa que las profundas. Es por esto por lo que la alternativa 3, que poco difiere de la 2, se valora un tanto más positivamente que ésta última, y que la alternativa 1 obtendría nuevamente la mejor puntuación en este sentido.

Por tanto, resulta evidente que, si la elección se hubiese basado únicamente en el criterio de adecuación técnica, la alternativa 3 podría haber sido la opción más idónea ya que supone un dimensionamiento de las tres cimentaciones que resiste adecuadamente la carga transmitida por la estructura a cada una de ellas, sin caer en ningún tipo de sobredimensionamiento.

Sin embargo, se ha decidido realizar un análisis basado en una serie de criterios a parte del anteriormente citado, y que son igualmente importantes a la hora de tomar una decisión de estas características.

Así pues, en base a la valoración realizada para cada una de las alternativas propuestas, el presente estudio considera que la ejecución de cimentaciones superficiales en la totalidad del paso de fauna supone la alternativa más idónea.

Una vez concluido este apartado, se procederá a realizar la pertinente valoración económica de la construcción de estas cimentaciones.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura
para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224
en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Anejo 6. Valoración económica

Presentado por

Jiménez Jover, Jose Luis

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2020

Tutor: Víctor Martínez Ibáñez





Índice

1. Introducción y objetivos.....	3
2. Proceso constructivo.....	3
3. Unidades de Obra.....	4
4. Mediciones y coste de ejecución material de las Unidades de Obra.....	6
5. Presupuesto de Ejecución Material.....	15
6. Presupuesto de Ejecución por Contrata.....	17

1. Introducción y objetivos

Una vez seleccionada la alternativa más adecuada para el dimensionamiento de las cimentaciones del paso de fauna, el siguiente paso consistirá en elaborar una valoración económica de la misma, que conlleve al establecimiento del presupuesto de ejecución por contrata (PEC) que supondría su construcción.

Para ello, y centrándose únicamente en la ejecución de los cimientos, se procederá en primer lugar a dividir la obra que aborda el presente estudio en un conjunto de Unidades de Obra que la definan en su totalidad, y de la forma más precisa posible. A partir de ellas y de sus mediciones, se establecerá el coste de ejecución material de los cimientos del paso de fauna y el presupuesto de la obra a ejecutar.

Cabe apuntar, a modo informativo, que la valoración de la parte de cimentaciones de manera independiente al resto del puente sólo tiene sentido si se pretende subcontratar estos trabajos a una empresa especializada.

2. Proceso constructivo

Recordando las conclusiones obtenidas tras el análisis multicriterio realizado en el anejo geotécnico, la opción constructiva más idónea se decanta por la ejecución de zapatas en las tres cimentaciones del paso de fauna. Por tanto, es evidente que el proceso constructivo será muy similar tanto para los dos estribos como para la zona de pilas intermedias.

El conocimiento del proceso constructivo ayudará a determinar con mayor exactitud aquellas Unidades de Obra que sean necesarias para la completa definición de la obra a realizar.

Así pues, tratándose de cimentaciones superficiales a construir en un terreno de carácter fundamentalmente cohesivo, las fases de ejecución pueden resumirse en los siguientes pasos:

1. Despeje y desbroce de la superficie del terreno.

2. Excavación de la zona en dos fases: en primer lugar, se retiraría la capa vegetal más superficial, para posteriormente proceder a la excavación de las zonas que ocuparán las zapatas del paso de fauna.

Debido a la naturaleza predominantemente cohesiva del terreno, y al hecho de que la profundidad del plano de cimentación supera los 1,5 m para las tres zapatas, el presente estudio ha decidido excavar en talud la zona de construcción hasta 1 m antes de la cota del plano de apoyo.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

De este modo puede excavar verticalmente el tramo que supone el canto de las zapatas, que se recuerda que era de 1 m en los tres casos, más el espesor correspondiente a la capa de hormigón de limpieza sin necesidad de recurrir a paneles de encofrado.

3. Carga y transporte del material extraído a acopio provisional.

El presente estudio considera el acopio provisional del material excavado y no su transporte a vertedero, porque a pesar de que la obra civil que va a valorarse incumbe únicamente la ejecución de los cimientos, se tiene en cuenta que dicha obra forma parte de una de mucha más envergadura como es la construcción de la totalidad del paso de fauna.

Por este motivo, se considera que el material excavado puede tener diversos usos a lo largo de la ejecución del puente como rellenos, o revegetación de taludes en el caso de la tierra vegetal retirada inicialmente.

4. Puesta en obra del hormigón HL-150/P/20, para la capa de hormigón de limpieza.

5. Ferrallado y colocación del acero que compondrá el armado de las cimentaciones del paso de fauna.

6. Puesta en obra del hormigón HA-25/P/20/IIa, para el hormigonado de las zapatas que van a cimentar el puente.

3. Unidades de Obra

A partir del proceso constructivo definido anteriormente, se establecerá la relación de Unidades de Obra que permitirán medir y valorar las diferentes actividades necesarias para la ejecución de las cimentaciones del paso de fauna.

Estas Unidades de Obra se establecerán mediante un código compuesto por las siglas UO, referentes a Unidad de Obra, seguido de la unidad en que va a medirse cada una de ellas. Además de la propia descripción de cada unidad, se especificará el precio que engloba los costes directos de cada una de ellas.

Cabe apuntar que tanto la descripción como la relación de costes directos de estas unidades, han sido extraídas del generador de precios de la página CYPE Ingenieros, S.A, cuya competencia abarca el conjunto del Estado.

Por otra parte, y a raíz de consultar presupuestos de obras similares, el presente estudio establecerá un coeficiente del 7 % sobre el coste directo, para reflejar los costes indirectos aplicables al conjunto de la obra. La aplicación de este porcentaje completará el coste de ejecución material de cada una de las Unidades de Obra siguientes.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

U001 m²

Desbroce y limpieza del terreno con arbustos, con medios mecánicos, incluso carga sobre camión.

Costes directos: 1,75 €

U002 m³

Excavación a cielo abierto de capa de tierra vegetal, con medios mecánicos, para posterior revegetación de taludes, incluso carga del material extraído sobre camión.

Costes directos: 5,37 €

U003 m³

Excavación a cielo abierto de terreno fundamentalmente cohesivo, con medios mecánicos, para ejecución de cimentaciones del paso de fauna, incluso carga del material extraído sobre camión.

Costes directos: 5,37 €

U004 m³

Transporte de tierras, con camión de 12 t, de los productos procedentes de la excavación de cualquier tipo de terreno dentro de la obra a acopio provisional y descarga.

Costes directos: 0,82 €

U005 m³

Hormigón de limpieza tipo HL-150/P/20, fabricado en central y vertido con cubilote, con dosificación mínima de cemento de 150 kg/m³, consistencia plástica y tamaño máximo del árido 20 mm, para formación de capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondo de la cimentación, en fondo de la excavación previamente realizada.

Costes directos: 74,65 €

U006 m³

Hormigón para armar tipo HA-25/P/20/IIa, fabricado en central y vertido con cubilote para formación de zapata de cimentación, de resistencia característica 25 N/mm², consistencia plástica, tamaño máximo del árido 20 mm y ambiente de exposición IIa (normal, humedad alta).

Costes directos: 91,32 €

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

U007 kg

Acero corrugado en redondos tipo B-500-S, de límite elástico 500 N/mm², para elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y montaje en zapata de cimentación, incluso suministro, colocación y parte proporcional de separadores, despuntes y solapes.

Costes directos: 0,92 €

4. Mediciones y coste de ejecución material de las Unidades de Obra

El objetivo de este apartado es la justificación de las mediciones realizadas para cada una de las Unidades de Obra definidas anteriormente, así como establecer el coste de ejecución material de las mismas.

U001 m²

Desbroce y limpieza del terreno con arbustos, con medios mecánicos, incluso carga sobre camión.

Las dimensiones adoptadas para la medición de esta Unidad de Obra son las siguientes. Por un lado, se ha considerado un largo de superficie de 20 m ya que este valor corresponde al ancho del tablero del paso de fauna.

Por otro, el presente estudio adopta un ancho correspondiente a la suma de la longitud de los dos vanos en que se divide el paso de fauna, cuyos valores se han obtenido de los planos estructurales del proyecto constructivo que se está analizando, y a los que se han añadido 10 m a cada lado para tener en cuenta las excavaciones en talud que deben realizarse posteriormente.

Por tanto, el ancho de la superficie a desbrozar considerado para la medición de esta Unidad de Obra será de:

$$B = 26 + 32 + (2 * 10) = 78 \text{ m}$$

Es decir, se considera una superficie a desbrozar total de $78 * 20 = 1560 \text{ m}^2$

U002 m³

Excavación a cielo abierto de capa de tierra vegetal, con medios mecánicos, para posterior revegetación de taludes, incluso carga del material extraído sobre camión.

El presente estudio entiende que la capa de tierra vegetal que debe retirarse previamente a las labores de excavación abarcará la misma extensión que el área desbrozada que se ha descrito en la Unidad de Obra anterior.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Considerando, además, que la capa de tierra vegetal tiene un espesor de 20 cm según la información consultada en el proyecto constructivo que se está analizando, el volumen a excavar será de:

$$V = 78 * 20 * 0,2 = 312 \text{ m}^3$$

U003 m³

Excavación a cielo abierto de terreno fundamentalmente cohesivo, con medios mecánicos, para ejecución de cimentaciones del paso de fauna, incluso carga del material extraído sobre camión.

Una vez efectuadas las operaciones de despeje y desbroce de la superficie del terreno, se procederá a su excavación.

El presente estudio considera que, previamente al inicio de las obras de construcción del paso de fauna, se han realizado las operaciones de vaciado necesarias para la ejecución de la nueva carretera B – 224 que pasará por debajo del mismo. Este hecho, como es de suponer, debe ser considerado a la hora de evaluar el volumen excavado que será tenido en cuenta en la valoración de la ejecución de los cimientos del puente.

Se recuerda también que, debido a las profundidades establecidas para los tres planos de cimentación y a la naturaleza del terreno, se ha decidido realizar la excavación en talud de las tres zapatas dimensionadas.

Con estas consideraciones previas, se procede a entrar en detalle sobre cómo se efectuará la excavación de cada una de ellas. Como es de suponer, el presente estudio ha tenido que realizar una serie de simplificaciones teniendo en cuenta que su objetivo es realizar un dimensionamiento básico de las mismas, y que pasarán a explicarse a continuación.

A partir de la información consultada en el proyecto constructivo que se está analizando, se fijó en 6 m la profundidad a la que se encontraría el tronco de la carretera principal desde la cota del terreno actual.

Asimismo, tras consultar los planos estructurales del citado proyecto, se ha llegado a la conclusión de que los márgenes que quedan tras el vaciado presentan un talud de 34 °. Este hecho queda reforzado al tratarse de un valor habitual utilizado en taludes de terraplén.

Recordando la definición de las cimentaciones superficiales proyectadas, lo primero que llama la atención es que el plano de apoyo de cada una de ellas se encuentra a una profundidad distinta, en función de los condicionantes de cada zona de implantación.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Por tanto, resulta evidente que el volumen excavado en cada punto de construcción será distinto, y deberá tener en cuenta esta cota del plano de cimentación fijada en la fase de dimensionamiento, a la que se añadirán 10 cm de espesor correspondientes a la capa de hormigón de limpieza.

Esta capa de hormigón de limpieza o de regularización no forma parte del canto de la zapata, y su objetivo es servir de base en el fondo de la excavación para montar posteriormente el armado de la cimentación. Es por este motivo que no se tiene en cuenta como parte de la estructura proyectada, y debe excavarse por debajo de la cota del plano de apoyo.

Para facilitar la comprensión de las mediciones realizadas, el presente estudio adjunta tres croquis a mano alzada en los que se especificará cómo se ha modelizado el volumen a excavar para la ejecución de cada una de las cimentaciones:

Estribo Norte:

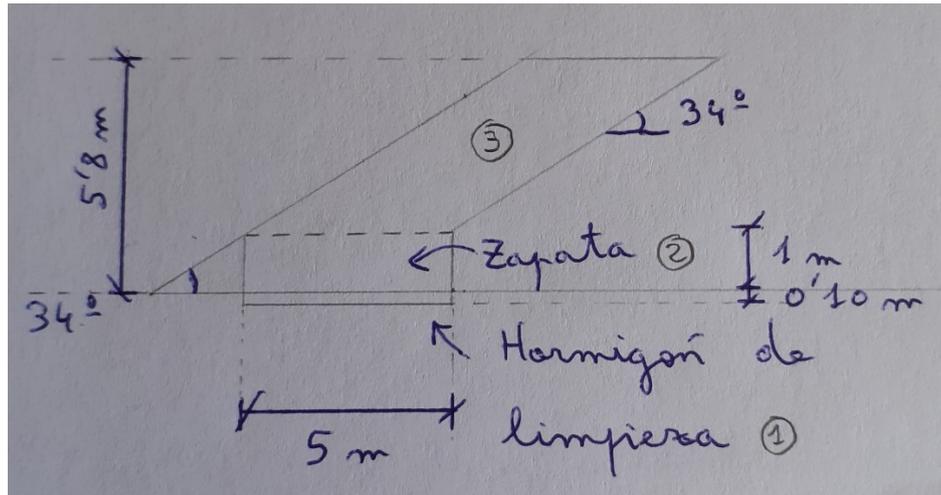
Recordando las especificaciones establecidas en la fase de dimensionamiento para este estribo, se fijaba el plano de cimentación a una profundidad de 6 m, en el límite entre las Unidades Geotécnicas correspondientes al terciario alterado (T_{ait}) y al terciario (T).

Teniendo en cuenta que el talud de inclinación observado en ambos márgenes del vaciado es de 34 °, se asume que dicha inclinación presentará la suficiente estabilidad para utilizarla como talud de excavación.

Asimismo, se efectuará la excavación en talud hasta llegar 1 m por encima de la cota del plano de cimentación, ya que este valor corresponde al canto de la zapata. Se ha tomado esta decisión con el objetivo de excavar verticalmente el volumen correspondiente al propio canto de la zapata y el espesor de la futura capa de hormigón de limpieza. Al no superar el límite de 1,5 m, puede excavarse este volumen de terreno verticalmente en condiciones de seguridad.

Se adjuntará a continuación un croquis, en el que se define geoméricamente el volumen de terreno a excavar para la ejecución del estribo norte del paso de fauna. La altura de 5,8 m considerada corresponde a la profundidad a la que se encontrará el plano de cimentación descontando los 20 cm de capa de tierra vegetal que han sido retirados previamente de la zona de construcción del puente.

Como podrá observarse, se aprovecha el talud de la operación de vaciado para facilitar las labores de excavación.



Así pues, se ha dividido el volumen a excavar en tres partes. La primera y la segunda corresponderían al volumen que ocuparán la capa de hormigón de limpieza y la propia zapata, respectivamente, mientras que la tercera corresponde a un prisma cuya base es el paralelogramo que se representa en el dibujo anterior.

$$V_1 = 5 * 0,1 * 20 = 10 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 5 * 1 * 20 = 100 \text{ m}^3$$

Para hallar el volumen restante, se tiene en cuenta que el paralelogramo de la figura tiene una base de 5 m, coincidente con el ancho menor de la zapata, y una altura relativa a uno de sus lados de 4,8 m. Por tanto:

$$V_3 = 5 * 4,8 * 20 = 480 \text{ m}^3$$

Es decir, que el volumen total a excavar para la ejecución de la cimentación del estribo norte es de:

$$V_{EN} = 10 + 100 + 480 = 590 \text{ m}^3$$

Estribo sur:

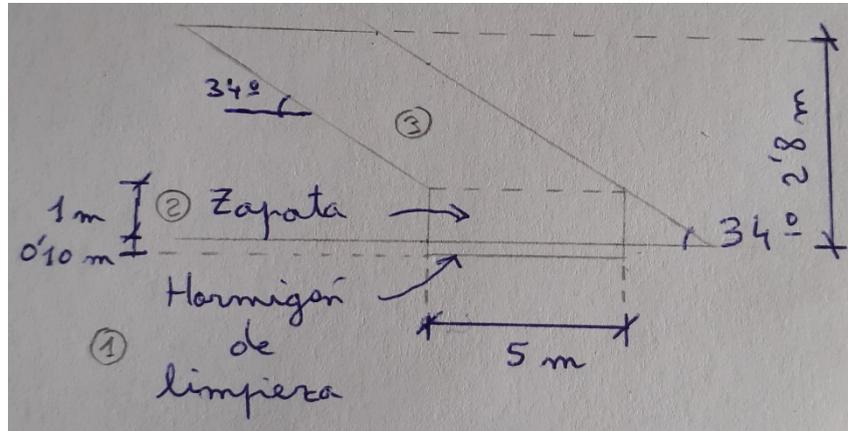
Para el caso del estribo sur, se podrá comprobar que el procedimiento a seguir es bastante similar al caso del estribo norte.

La profundidad del plano de cimentación es de 3 m, apoyándose la zapata en la zona correspondiente a la Unidad Geotécnica T_{alt} . Sin embargo, al haber sido retirados previamente los 20 cm de tierra vegetal correspondientes a la Unidad de Obra anterior, será necesario excavar únicamente hasta una profundidad de 2,8 m.

Asimismo, se excavará en talud hasta llegar 1 m por encima de la cota del plano de cimentación, para proseguir posteriormente con excavación vertical hasta dejar libre el hueco correspondiente a la propia zapata y la capa de hormigón de limpieza.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

El croquis que modeliza el volumen excavado para el estribo sur del paso de fauna se adjunta en la imagen inferior. Las dimensiones tanto de la zapata como de la capa de hormigón de limpieza son las mismas que para el estribo norte, por lo que la única diferencia con el esquema anterior se encuentra en la cota de excavación.



El procedimiento para medir el volumen excavado es similar al del estribo anterior, dividiéndose en tres partes de las cuales las dos primeras tendrán idéntico valor al caso del estribo norte. Por tanto:

$$V_1 = 5 * 0,1 * 20 = 10 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 5 * 1 * 20 = 100 \text{ m}^3$$

El volumen 3 se obtendrá como un prisma cuya base es un paralelogramo de base 5 m y altura 1,8 m, descontando el metro correspondiente al canto de la zapata.

$$V_3 = 5 * 1,8 * 20 = 180 \text{ m}^3$$

En este caso, el volumen total a excavar para la ejecución de la cimentación del estribo sur será de:

$$V_{ES} = 10 + 100 + 180 = 290 \text{ m}^3$$

Zona de pilas intermedias:

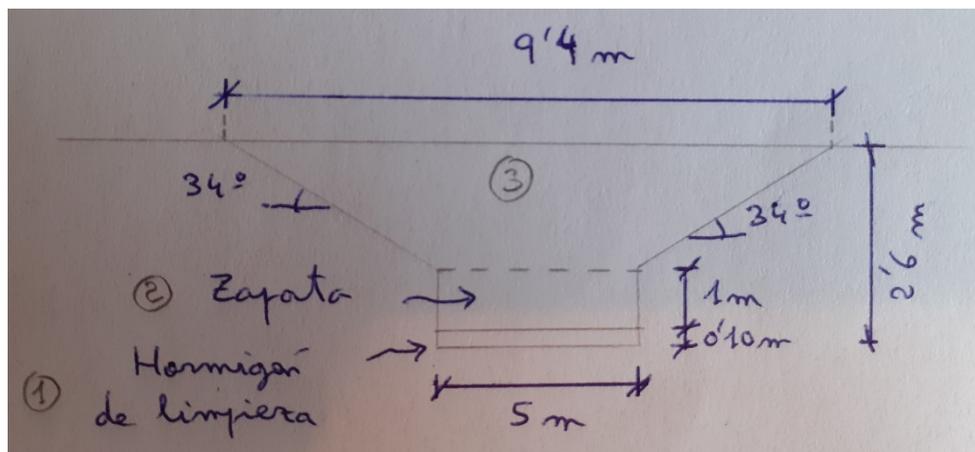
En el caso de la zona de pilas intermedias del paso de fauna, la profundidad del plano de cimentación se basaba en la consideración previa de la profundidad a la que iba a quedar el tronco principal de la carretera, una vez efectuado el vaciado correspondiente.

Considerando horizontal el fondo de la excavación una vez realizadas las operaciones de vaciado, y recordando que el plano de cimentación se situará entonces a una profundidad de 2,5 m, deberá excavar hasta 2,6 m para incluir el espesor correspondiente a la capa de hormigón de limpieza.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Se procederá de nuevo utilizando un talud de excavación de 34° hasta llegar a 1 m por encima de la cota del plano de apoyo, momento en el que se continuará excavando verticalmente hasta llegar a la profundidad que incluya tanto el canto de la zapata como el espesor de la capa de hormigón de limpieza.

El esquema en el que se modeliza el volumen excavado en este caso, se adjunta en la imagen inferior.



Los volúmenes 1 y 2 corresponden nuevamente al hueco que ocuparán la capa de hormigón de limpieza y la zapata de la propia cimentación, respectivamente, por lo que sus valores coincidirán con los obtenidos para los dos estribos del puente:

$$V_1 = 5 * 0,1 * 20 = 10 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 5 * 1 * 20 = 100 \text{ m}^3$$

El volumen 3, por su parte, corresponde a un prisma cuya base tendrá la forma del trapecio isósceles que se refleja en el croquis anterior. Geométricamente, esta figura presenta una base menor de 5 m, coincidente con el ancho menor de la zapata, y una base mayor de 9,4 m. Su área se obtiene a continuación:

$$A_3 = h * \frac{a+b}{2} = 1,5 * \frac{5+9,4}{2} = 10,8 \text{ m}^2$$

Y el volumen, por tanto:

$$V_3 = 10,8 * 20 = 216 \text{ m}^3$$

El volumen total excavado para la ejecución de la zona de pilas intermedias del paso de fauna tendrá, por tanto, el siguiente valor:

$$V_{\text{Pilas}} = 10 + 100 + 216 = 326 \text{ m}^3$$

Para finalizar con esta Unidad de Obra, se adjuntará el volumen total excavado para la ejecución de las cimentaciones del paso de fauna:

$$V_T = V_{\text{EN}} + V_{\text{ES}} + V_{\text{Pilas}} = 590 + 290 + 326 = 1206 \text{ m}^3$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

U004 m³

Transporte de tierras, con camión de 12 t, de los productos procedentes de la excavación de cualquier tipo de terreno dentro de la obra a acopio provisional y descarga.

Se ha considerado en esta Unidad de Obra el coste correspondiente al transporte y depósito del material excavado previamente, en una zona de acopio provisional para su posterior utilización como material de relleno en fases constructivas del paso de fauna que ya no son competencia del presente estudio.

Además, se ha distinguido entre la capa vegetal excavada previamente y el material correspondiente a las Unidades Geotécnicas inferiores, puesto que mientras el segundo puede emplearse como relleno cuando se ejecuten los muros correspondientes a los estribos del paso de fauna, la tierra vegetal puede cubrir los terraplenes que vayan a ejecutarse durante las obras de construcción del puente.

Así pues, los volúmenes a tener en cuenta serán los mismos que en las dos Unidades de Obra anteriores.

U005 m³

Hormigón de limpieza tipo HL-150/P/20, fabricado en central y vertido con cubilote, con dosificación mínima de cemento de 150 kg/m³, consistencia plástica y tamaño máximo del árido 20 mm, para formación de capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondo de la cimentación, en fondo de la excavación previamente realizada.

Una vez efectuada la excavación de los huecos de las cimentaciones, el siguiente paso es el vertido del hormigón de limpieza con el fin de asegurar una buena base para el montaje del armado de las zapatas.

Tal como se ha mencionado en apartados anteriores, el presente estudio fija el espesor de esta capa de regularización en 10 cm, que se han tenido en cuenta en la excavación previa, y que una vez colocados fijarán la cota del plano de cimentación a la profundidad marcada en la fase de dimensionamiento para cada cimentación.

Considerando que son 3 cimentaciones y que todas ellas presentan idénticas dimensiones de su plano de apoyo, el volumen total de hormigón de limpieza empleado será el siguiente:

$$V_{HL} = 3 * (5 * 0,1 * 20) = 30 \text{ m}^3 \text{ de hormigón de limpieza tipo HL-150/P/20}$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

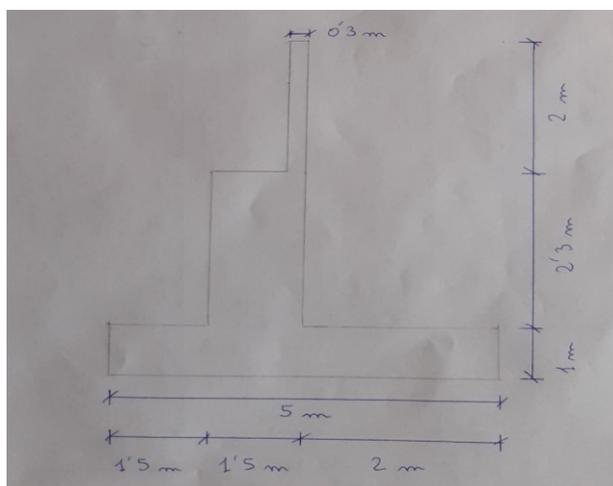
U006 m³

Hormigón para armar tipo HA-25/P/20/Ila, fabricado en central y vertido con cubilote para formación de zapata de cimentación, de resistencia característica 25 N/mm², consistencia plástica, tamaño máximo del árido 20 mm y ambiente de exposición Ila (normal, humedad alta).

La elección del ambiente de exposición Ila para el hormigón que va a formar parte de las cimentaciones del paso de fauna, se ha realizado tras consultar lo que establece al respecto el artículo 8.2.3 de la Instrucción EHE – 08. Según la tabla 8.2.2 del citado artículo, el ambiente Ila es el recomendable para estructuras enterradas y, más concretamente, para cimentaciones de puentes.

Además, en el análisis de riesgos realizado en los primeros apartados del anejo geotécnico se ha analizado la posible agresividad química del terreno frente al hormigón. Según dicho análisis, no existe riesgo de dicha agresividad química por parte del terreno existente en la zona de construcción del paso de fauna, por lo que no deben considerarse otras clases de exposición además de la Ila.

Una vez aclarado este punto, se procederá a la medición de esta Unidad de Obra. Para ello, el presente estudio se basará en los croquis realizados durante la fase de dimensionamiento, y que se adjuntan a continuación para que quede claro de donde proceden los valores utilizados en su cálculo. La imagen inferior corresponde al perfil establecido para los dos estribos del paso de fauna.



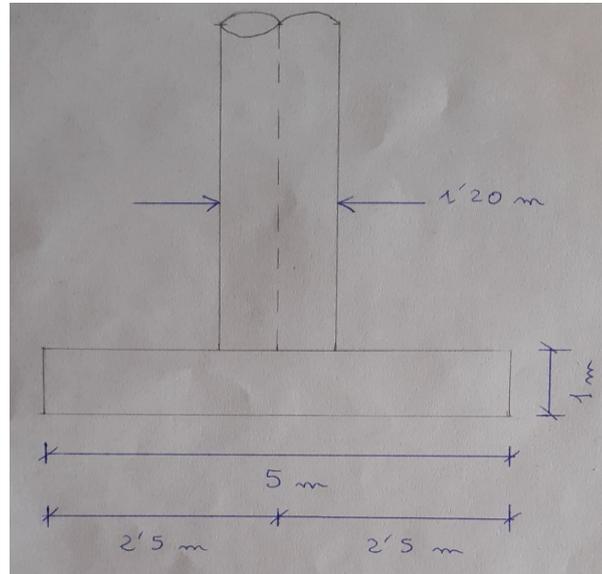
Como puede observarse, y recordando lo establecido en la fase de dimensionamiento, los estribos del paso de fauna han sido diseñados mediante zapatas corridas, por lo que el volumen de hormigón necesario para cada una de ellas será de:

$$V_E = 5 * 1 * 20 = 100 \text{ m}^3$$

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Se recuerda que, debido a que la valoración que se está realizando abarca únicamente la ejecución de los cimientos, no se considera el volumen del elemento estructural situado por encima de la zapata.

Igualmente sucede con la cimentación dimensionada para la zona de pilas intermedias, y cuyo croquis se adjunta a continuación.



A la vista del perfil anterior, queda claro que el volumen a considerar será idéntico al de los estribos:

$$V_p = 5 * 1 * 20 = 100 \text{ m}^3$$

Así pues, el volumen total necesario para hormigonar las 3 cimentaciones tendrá el siguiente valor:

$$V_T = (2 * 100) + 100 = 300 \text{ m}^3 \text{ de hormigón tipo HA-25/P/20/IIa}$$

U007 kg

Acero corrugado en redondos tipo B-500-S, de límite elástico 500 N/mm², para elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y montaje en zapata de cimentación, incluso suministro, colocación y parte proporcional de separadores, despuntes y solapes.

Como puede observarse, el presente estudio se ha basado fundamentalmente en establecer las dimensiones básicas de las cimentaciones del paso de fauna, de manera que fueran capaces de resistir la carga transmitida por la estructura a cada una de ellas.

Sin embargo, y dado nuevamente que se trata de un dimensionamiento básico, no se ha entrado en el diseño del armado que conformaría cada una de estas cimentaciones.



Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Este es el motivo por el cual se necesita considerar este efecto de alguna manera, puesto que el precio del acero necesario para la configuración del armado constituye una partida muy importante dentro del presupuesto.

Para ello, el presente estudio considerará una cuantía de acero de 60 kg/m^3 , por los que se multiplicará el volumen necesario para hormigonar las 3 cimentaciones.

Por tanto, y remitiendo al valor obtenido en la medición de la Unidad de Obra anterior, la cuantía de acero estimada para el montaje del armado de los cimientos que van a sustentar el paso de fauna tendrá el siguiente valor:

$$P_T = 60 * 300 = 18000 \text{ kg de acero corrugado tipo B-500-S}$$

5. Presupuesto de Ejecución Material

Para su elaboración se adjuntará, en primer lugar, una tabla en la que aparecen las mediciones y costes de ejecución material especificados para cada Unidad de Obra.

En dicha tabla aparece el código establecido para cada unidad por el presente estudio, su unidad de medición, definición resumida, la medición de cada Unidad de Obra, el precio por unidad referido a los costes directos extraído de la página CYPE Ingenieros, S.A, los costes indirectos considerados como el 7 % de los directos, y el coste de ejecución material obtenido como la suma de los costes directos e indirectos anteriores.

Código	Unidad	Definición resumida	Med.	€/ud (CD)	Costes directos (CD)	Costes indirectos (CI = 7 % s/ CD)	Coste de ejecución material (CD + CI)
U001	m ²	Desbroce y limpieza del terreno...	1560	1,75 €	2730 €	191,10 €	2921,10 €
U002	m ³	Excavación... capa de tierra vegetal...	312	5,37 €	1675,44 €	117,28 €	1792,72 €
U003	m ³	Excavación... terreno cohesivo...	1206	5,37 €	6476,22 €	453,33 €	6929,55 €
U004	m ³	Transporte de tierras...	1518	0,82 €	1244,76 €	87,13 €	1331,89 €
U005	m ³	Hormigón de limpieza tipo HL-150/P/20...	30	74,65 €	2239,50 €	156,77 €	2396,27 €
U006	m ³	Hormigón para armar tipo HA-25/P/20/Ila...	300	91,32 €	27396 €	1917,72 €	29313,72 €
U007	kg	Acero corrugado en redondos tipo B500S...	18000	0,92 €	16560 €	1159,20 €	17719,20 €

Una vez medidas y establecido el coste de ejecución material de cada una de las Unidades de Obra definidas en apartados anteriores, se han agrupado en capítulos correspondientes a los trabajos que deben realizarse para la construcción de las cimentaciones del puente.

Estos capítulos abarcan los trabajos previos necesarios para el acondicionamiento del terreno, los movimientos de tierras necesarios para la obtención del hueco que ocuparán las zapatas, así como los trabajos de montaje de armaduras y hormigonado necesarios para su ejecución.

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

De esta manera, la suma de los costes de ejecución material de las Unidades de Obra incluidas en cada uno de los capítulos anteriores, proporcionarán el presupuesto de ejecución material (PEM) del conjunto de la obra que va a realizarse.

Capítulo	Definición	Unidades de Obra incluidas	Coste de ejecución material
1	Trabajos previos	U001	2921,10 €
2	Movimientos de tierras	U002, U003, U004	10054,16 €
3	Estructuras	U005, U006, U007	49429,19 €

Por tanto, y a la vista de los resultados anteriores, el presupuesto de ejecución material de la obra tendrá un valor de:

$$\text{PEM} = 2921,10 + 10054,16 + 49429,19 = 62404,45 \text{ €}$$

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de SESENTA Y DOS MIL CUATROCIENTOS CUATRO EUROS CON CUARENTA Y CINCO CÉNTIMOS (62404,45 €).

6. Presupuesto de Ejecución por Contrata

Para su obtención, debe añadirse al presupuesto de ejecución material obtenido en el apartado anterior un porcentaje del 13 % que representa los gastos generales, y un 6 % referente al beneficio industrial que se espera obtener.

Se dará, en primer lugar, el presupuesto de ejecución por contrata (PEC) sin IVA, y posteriormente el valor incluyendo el 21 % referente al IVA.

Así pues:

$$\text{Gastos Generales (GG)} = 0,13 * \text{PEM} = 0,13 * 62404,45 = 8112,58 \text{ €}$$

$$\text{Beneficio Industrial (BI)} = 0,06 * \text{PEM} = 0,06 * 62404,45 = 3744,27 \text{ €}$$

El presupuesto de ejecución por contrata sin IVA tendrá el siguiente valor:

$$\text{PEC (sin IVA)} = \text{PEM} + \text{GG} + \text{BI} = 62404,45 + 8112,58 + 3744,27 = 74261,30 \text{ €}$$

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata sin incluir el IVA a la expresada cantidad de SETENTA Y CUATRO MIL DOSCIENTOS SESENTA Y UN EUROS CON TRENTA CÉNTIMOS (74261,30 €).



Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224 en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Si a la cantidad anterior se añade el porcentaje referente al IVA:

$$\text{PEC (con IVA)} = 1,21 * \text{PEC (sin IVA)} = 1,21 * 74261,30 = 89856,17 \text{ €}$$

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata incluyendo el IVA a la expresada cantidad de OCHENTA Y NUEVE MIL OCHOCIENTOS CINCUENTA Y SEIS EUROS CON DIECISIETE CÉNTIMOS (89856,17 €).



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Diseño geotécnico de las cimentaciones de la estructura
para paso de fauna en el P.K. 21+270 de la carretera B – 224
en el T.M. de Sant Esteve Sesrovires (Barcelona)

Planos

Presentado por

Jiménez Jover, Jose Luis

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2020

Tutor: Víctor Martínez Ibáñez

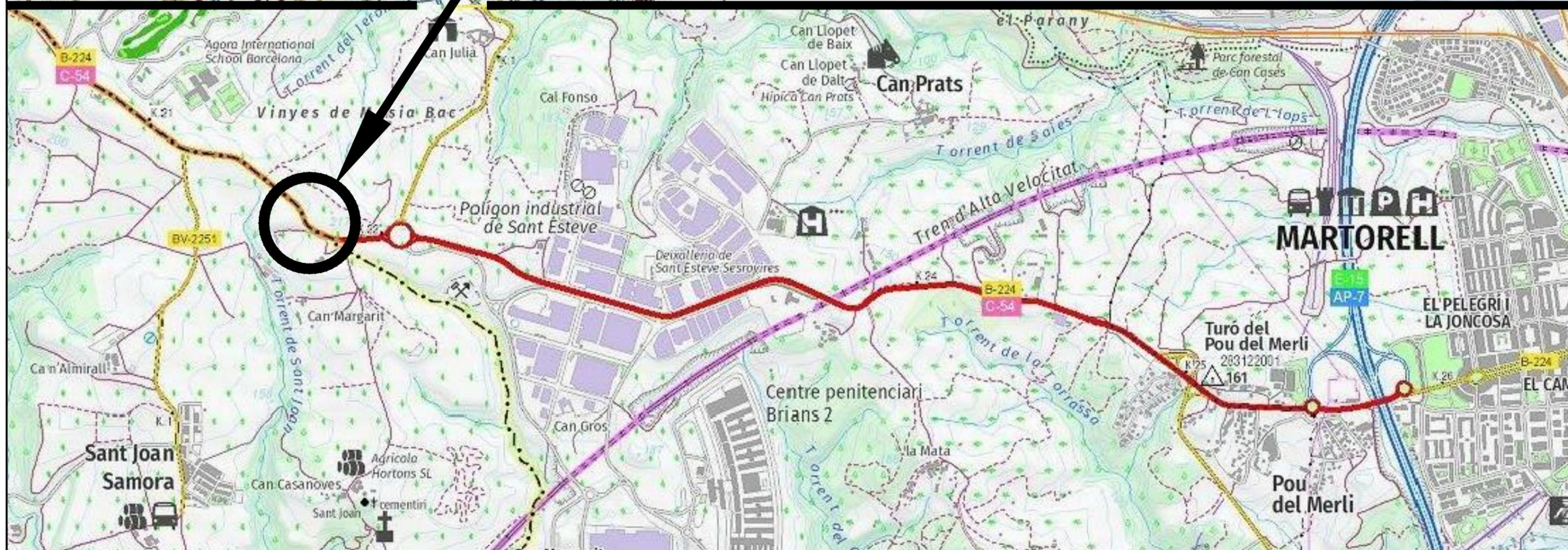
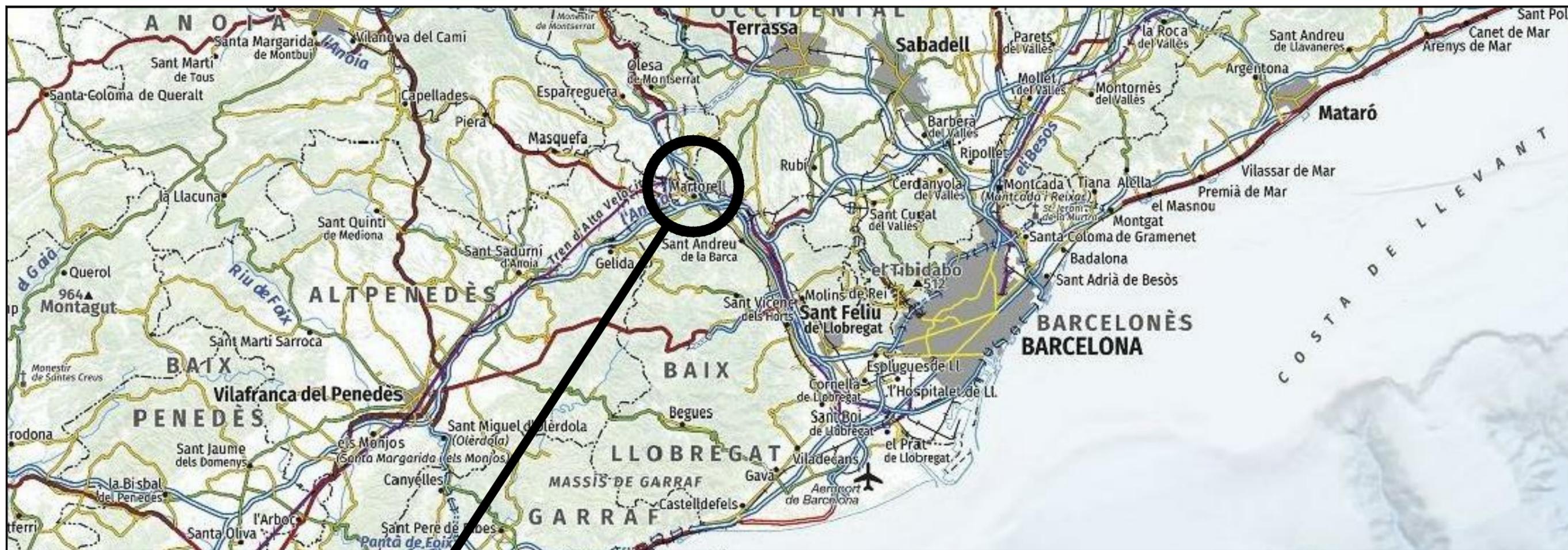




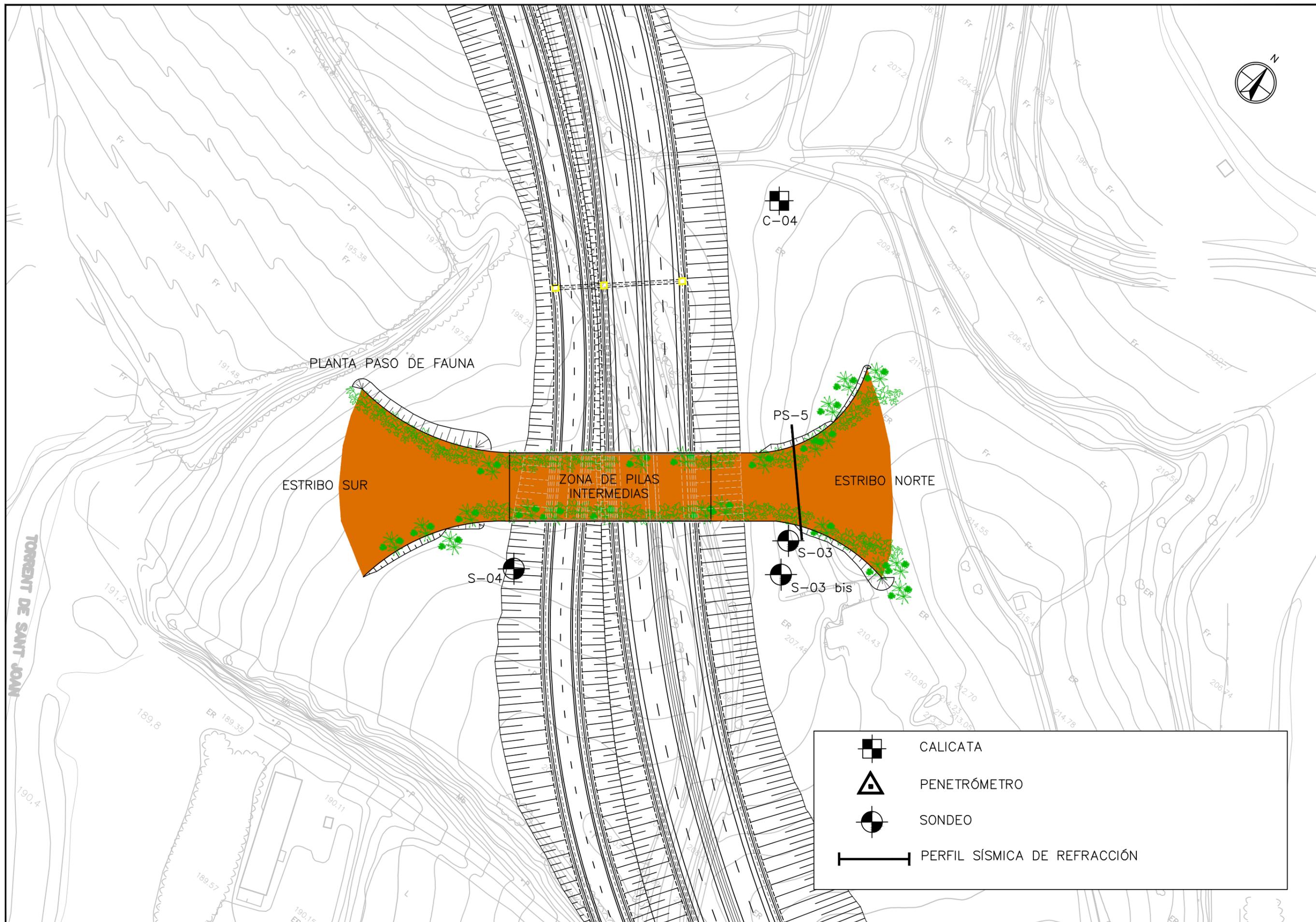
Índice

Planos:

- I. Situación
- II. Localización de ensayos
- III. Estribo Norte
- IV. Estribo Sur
- V. Zona Pilas Intermedias



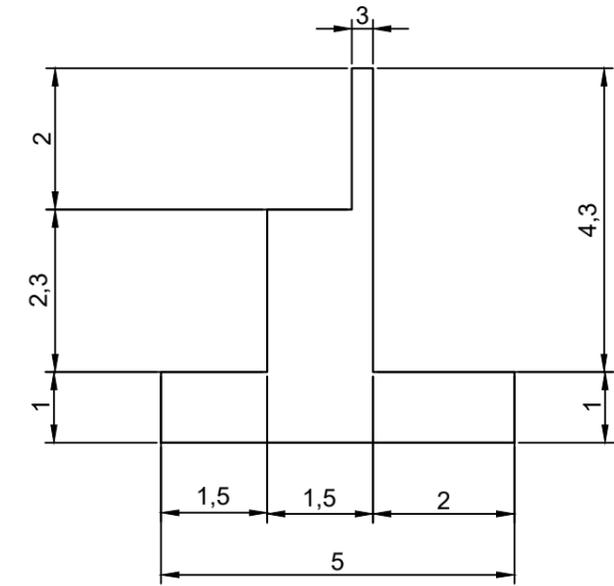
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA E.T.S.I. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA CIVIL	AUTOR DEL PROYECTO:  JOSÉ LUIS JIMÉNEZ JÓVER	ESCALAS: SIN ESCALA	TÍTULO DEL PROYECTO FINAL DE CARRERA: DISEÑO GEOTÉCNICO DE LAS CIMENTACIONES DE LA ESTRUCTURA PARA PASO DE FAUNA EN EL PK 21+270 DE LA CARRETERA B-224 EN EL T.M. DE SANT ESTEVE SESROVIRE (BARCELONA).	NÚM.: 1	TÍTULO DEL PLANO: SITUACIÓN	FECHA: MAYO 2020
--	--	---	------------------------	--	------------	--------------------------------	---------------------



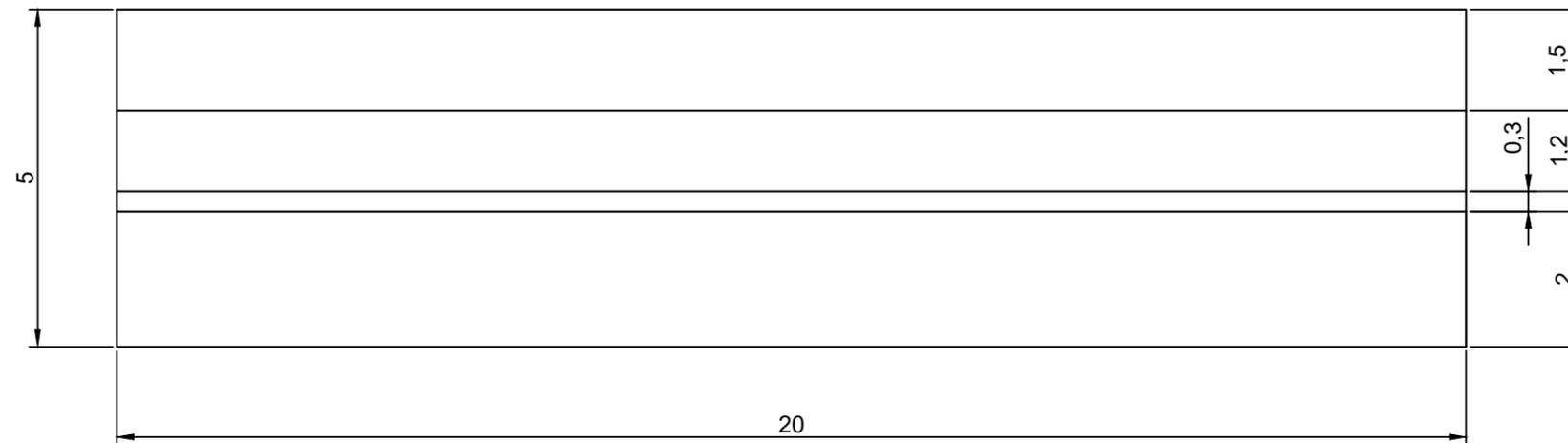
	CALICATA
	PENETRÓMETRO
	SONDEO
	PERFIL SÍSMICA DE REFRACCIÓN



Estribo Norte. Alzado.
(cotas en m)



Estribo Norte. Perfil Izquierdo.
(cotas en m)

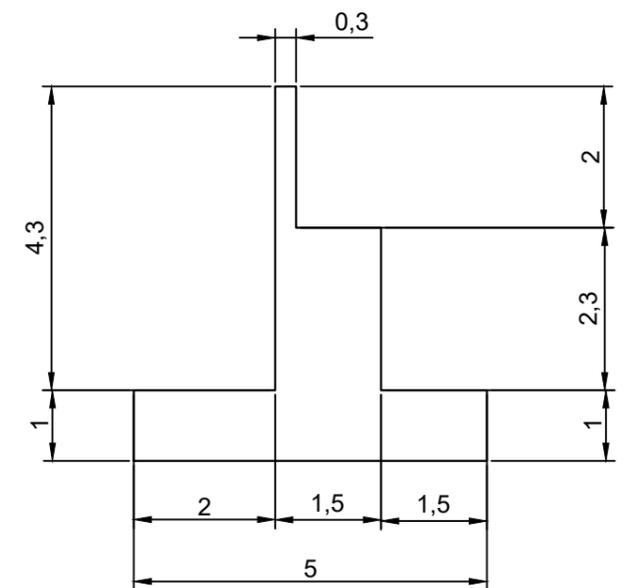


Estribo Norte. Planta.
(cotas en m)

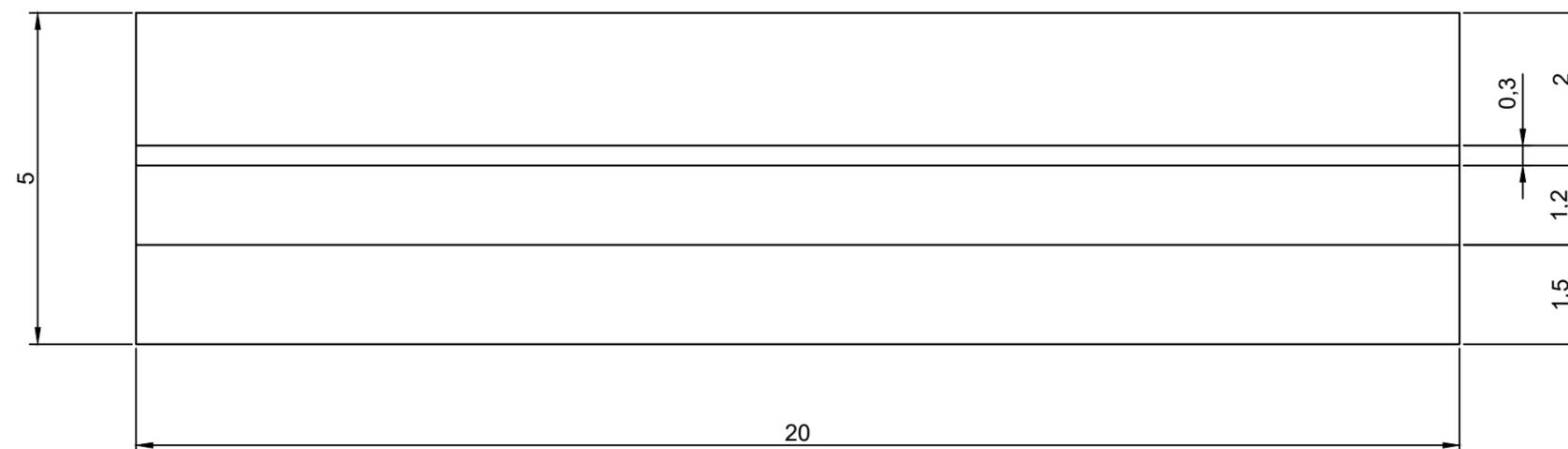




Estribo Sur. Alzado.
(cotas en m)

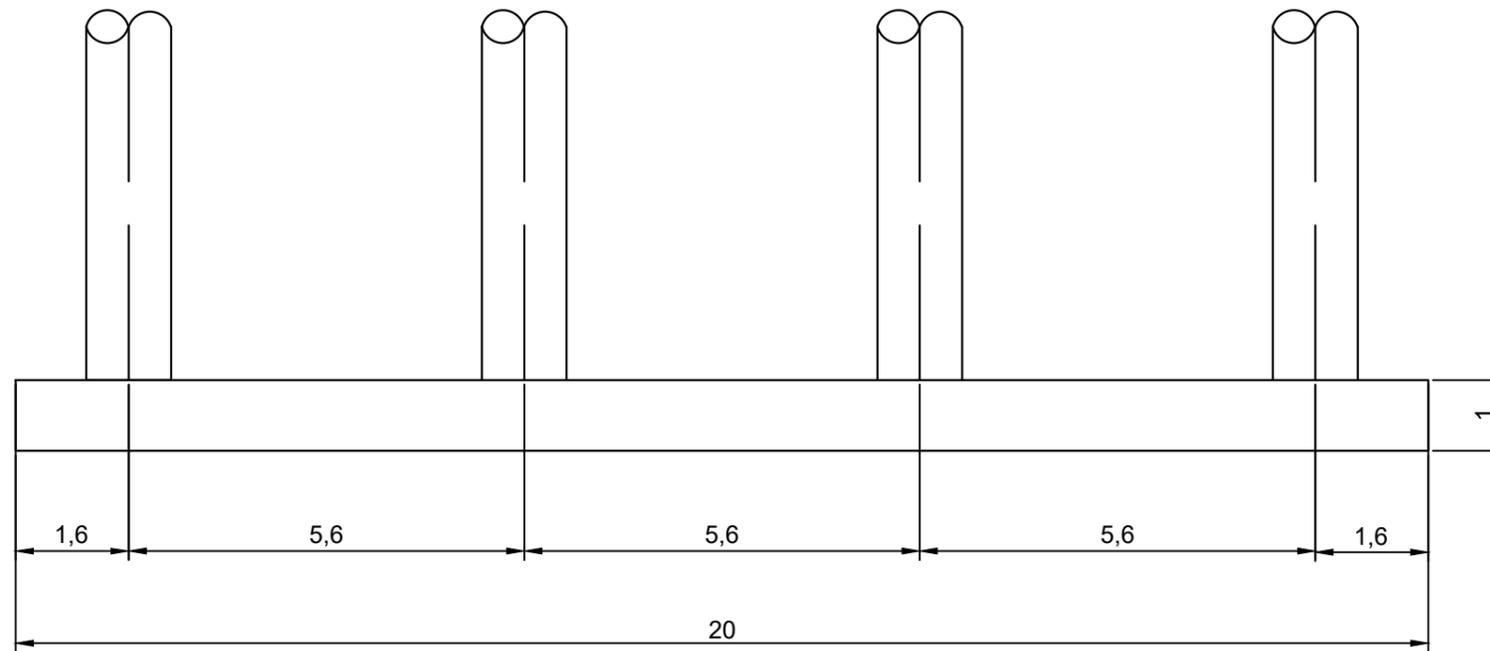


Estribo Sur. Perfil Izquierdo.
(cotas en m)

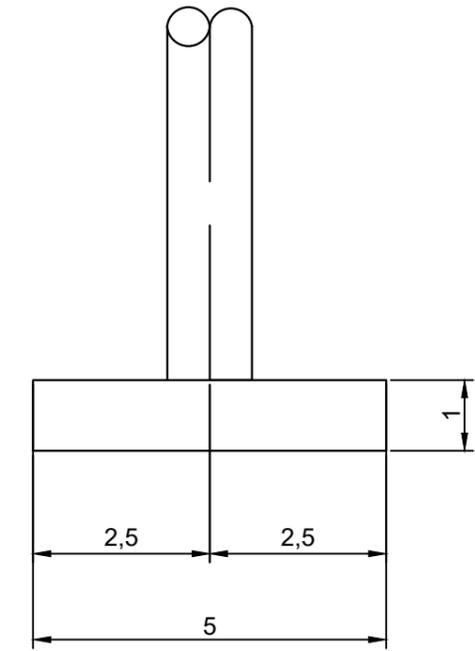


Estribo Sur. Planta.
(cotas en m)

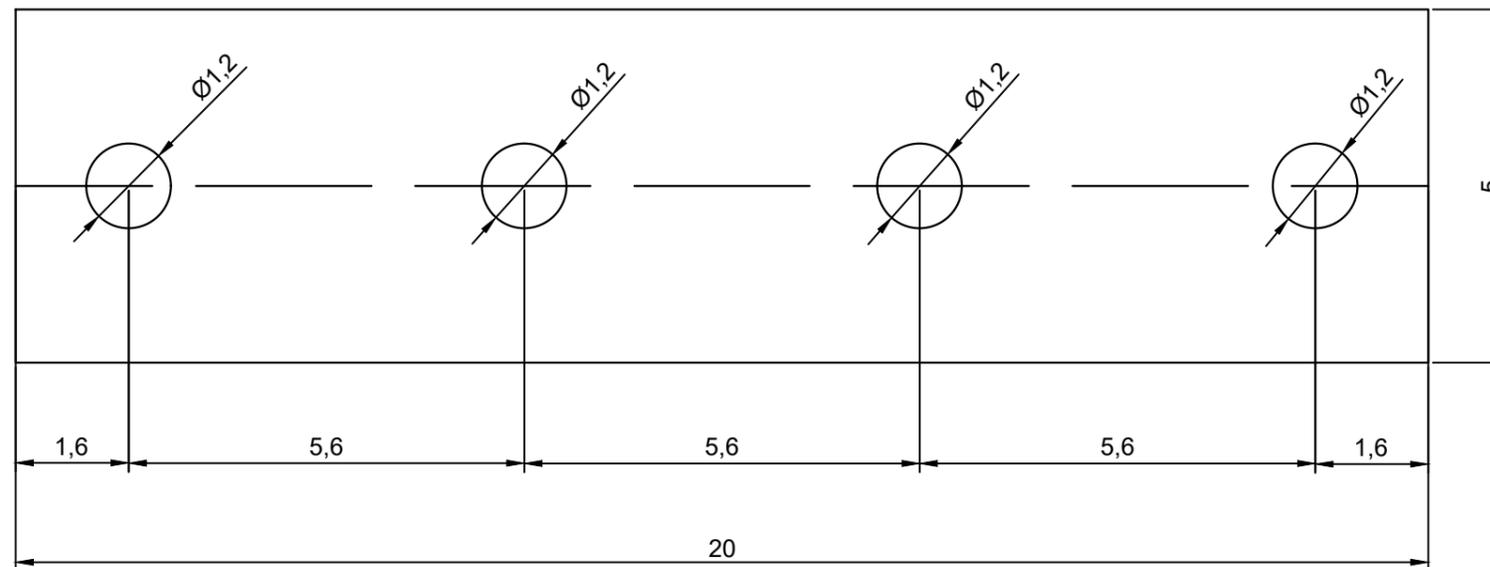




Zona pilas intermedias. Alzado.
(cotas en m)



Zona pilas intermedias. Perfil izquierdo.
(cotas en m)



Zona pilas intermedias. Planta.
(cotas en m)

