

Anejo nº2: GEOTECNIA

ANEJO Nº2. GEOTECNIA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....1

 1.1. INFORMACIÓN PREEXISTENTE.....1

2. CONDICIONES GEOLÓGICAS-GEOTÉCNICAS E HIDROGEOLÓGICAS.....1

3. TRABAJOS DE LABORATORIO.....2

4. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO.....3

5. CRITERIOS DE SELECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE MATERIALES.....4

6. CÁLCULOS.....5

 6.1. CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE RELLENOS.....5

 6.2. CÁLCULO DE ASIENTOS DEBIDOS A LA CONSOLIDACIÓN DEL PROPIO RELLENO.....5

 6.3. CÁLCULO DE ASIENTOS DEBIDOS A LA CONSOLIDACIÓN DEL TERRENO DE APOYO.....6

7. FUENTES DE INFORMACIÓN EXTERNA CONSULTADAS.....7

1. INTRODUCCIÓN

El Estudio geotécnico que se va a utilizar como referencia para recopilar y analizar información relativa a los resultados obtenidos tras el reconocimiento de las características del terreno de estudio es el correspondiente al proyecto de construcción *N-340, TRAMO: VARIANTE DE BENICARLÓ VINARÓZ*, con una traza de 18,249 m de longitud.

La elección de este estudio geotécnico radica, fundamentalmente, en la proximidad geográfica del Proyecto anteriormente mencionado y el emplazamiento de la futura obra sobre la que versa este Estudio. En la siguiente figura se puede apreciar la menor distancia aproximada entre los emplazamientos de ambas obras. **A** representa el futuro emplazamiento del nuevo acceso a la zona comercial, mientras que **B** es el punto de la variante más cercano a **A**.



Figura 1.1. Menor distancia aproximada entre emplazamientos de ambas obras, 880 m. Fuente: Google Earth.

Se observa, pues, que la distancia entre ambos puntos no llega a 1 kilómetro. Este hecho hace que se plantee la hipótesis de asumir que la diferencia entre los resultados recogidos y analizados en el anejo geotécnico de la variante, tales como clasificación de unidades litológicas o definición de parámetros tenso-deformacionales del terreno, y los que se obtendrían en la zona del acceso viario es despreciable.

Es cierto que esta hipótesis implica un cierto riesgo al considerar una supuesta continuidad del terreno. Sin embargo, la adopción de la hipótesis se justifica al tratarse este de un anejo de un Estudio de soluciones (y no de un Proyecto de Construcción) en el que ya se dispone de un Estudio geotécnico de una obra realizada a poca distancia del que se pueden aprovechar las conclusiones principales.

1.1. INFORMACIÓN PREEXISTENTE

La información bibliográfica preexistente de la que se ha obtenido información para la realización de este anejo consiste, como ya se comentó anteriormente, en el anejo *Geotecnia del corredor* del proyecto de construcción *N-340, TRAMO: VARIANTE DE BENICARLÓ VINARÓZ*, que a su vez incluye documentos de obras

ya existentes y cercanas a la del objeto de estudio: El *Estudio Informativo N-340, Autovía, Tramo: Castellón-L'Hospitalet de l'Infant* (GINPROSA, junio de 2003) y el *Proyecto Autopista de Peaje Tarragona-Valencia* (INTECSA, 1973-1975).

En cuanto a normativa, destaca el PG-3 (Mº Fomento, marzo de 2004) y la Norma 6.1 IC «Secciones de firme» (Mº Fomento, diciembre de 2003).

Las referencias cartográficas que han sido consultadas son, fundamentalmente, Mapas Geológicos de España a escala 1:50000 del IGME (Hoja nº546, hoja nº547 y hoja nº571), además del Mapa Geotécnico General de España a escala 1:200000 (Hoja nº48), también del IGME.

2. CONDICIONES GEOLÓGICAS-GEOTÉCNICAS E HIDROGEOLÓGICAS

Toda el área que rodea la zona de actuación es bastante llana con una altura media sobre el nivel del mar de 17 m. Sobre ella, existe un potente recubrimiento de naturaleza cuaternaria (facies de gravas y conglomeráticas que afloran en el fondo de ramblas y barrancos) que puede llegar hasta 100 metros también sobre un sustrato carbonatado jurásico. En algunos puntos no muy lejanos, como Peñíscola, se han detectado costras superficiales.

Cabe destacar la presencia de un cauce efímero correspondiente a la rambla de Alcalà, con una anchura variable pero de unos 60 m de media que rodea toda el área comercial y que conlleva grandes problemas de inundabilidad en períodos de precipitaciones intensas.

Se puede encontrar un mapa hidrogeológico de la zona de proyecto creado por el IGME: *Mapa Hidrogeológico de España 200k - Hoja 48 (VINARÓZ)*, escala 1:200.000.

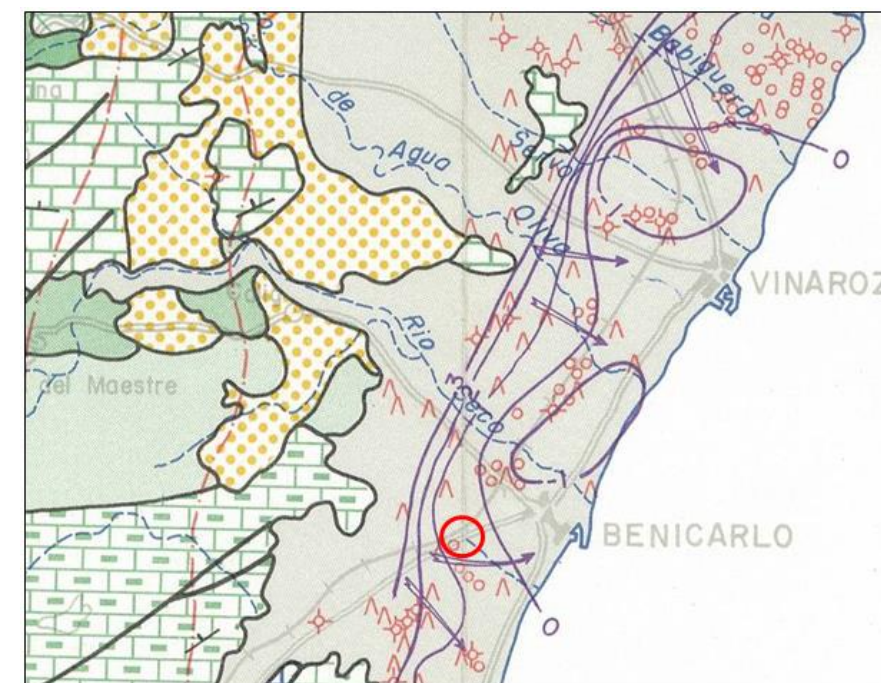


Figura 2.1. Detalle del mapa hidrogeológico de España, hoja 48. Fuente: Mapa Hidrogeológico de España 200k, hoja 48. Con un círculo rojo, la zona de actuación. Fuente: Instituto Geológico y Minero de España.

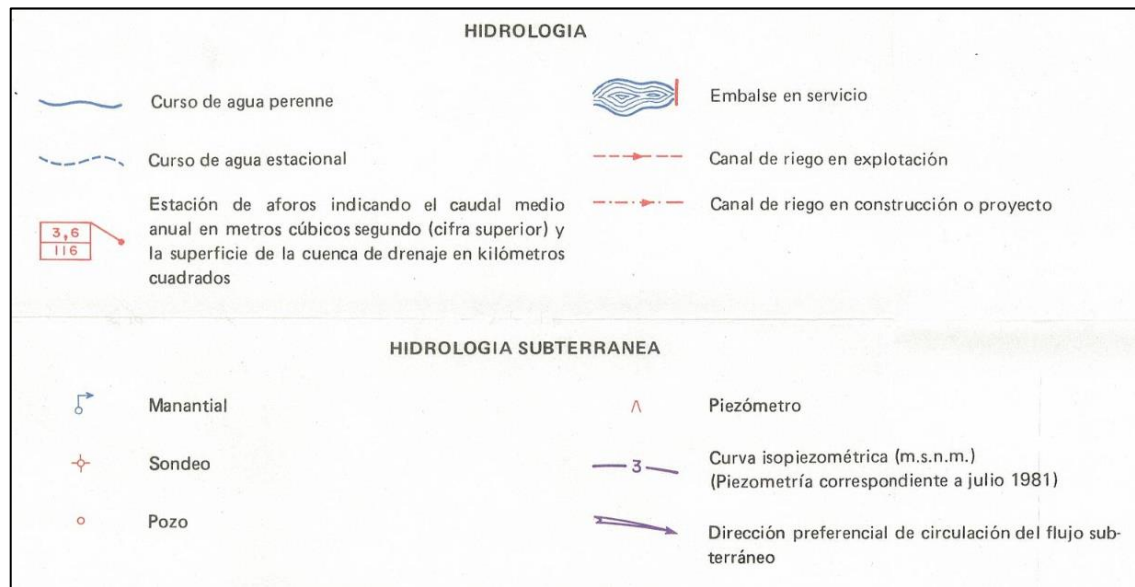


Figura 2.2. Leyenda hidrológica del mapa hidrogeológico de España, hoja 48. Fuente: Mapa Hidrogeológico de España 200k, hoja 48. Instituto Geológico y Minero de España.

Aunque el mapa anterior no ofrece gran cantidad de detalle a escala local, se observan cursos de aguas estacionales como la rambla de Alcalà, mencionado anteriormente. También se señalan curvas isopiezométricas de 0 y 1 m.s.n.m. y direcciones preferenciales de circulación del flujo subterráneo en la zona de estudio.

En general, no parece necesario dar descripciones mucho más exhaustivas debido a la simplicidad geológica y geomorfológica del terreno que rodea la zona de estudio.

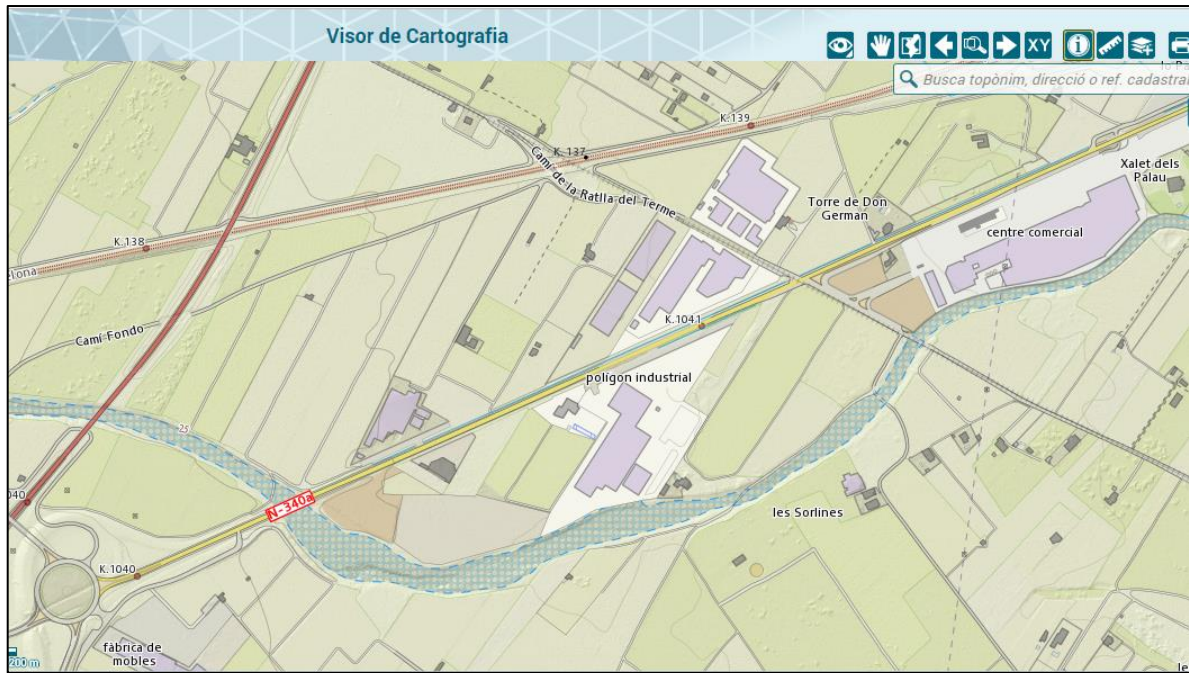


Figura 2.3. Cruce de la rambla de Alcalà con la N-340 y la variante (PK 4+800). Fuente: Terrasit.

3. TRABAJOS DE LABORATORIO

La unidad geotécnica que se verá afectada en exclusividad por las obras de acceso al centro comercial puede definirse como *Cuaternario indiferenciado*, y es en la que se realizaron ensayos de laboratorio. La unidad se divide en varias subunidades: facies de gravas, conglomeráticas, finas y niveles de costra que no se diferenciaron dentro de los ensayos de laboratorio pero que sí fueron tenidas en cuenta durante el Estudio en detalle de la cimentación de estructuras.

Se adjunta a continuación una tabla que resume las conclusiones más relevantes a raíz de los ensayos de laboratorio.

Principales resultados recogidos tras los ensayos de laboratorio	
TIPO DE ENSAYO	PRINCIPALES RESULTADOS
Granulometría	<ul style="list-style-type: none">Esencialmente gravas.De las muestras ensayadas: términos más gruesos, 57%; los más finos, 25% y arenas, 18%.La media de material que pasa por el tamiz UNE-0,08 es de un 34%.20-25% de los términos más groseros es su matriz en fracción fina.
Límites de Atterberg	<ul style="list-style-type: none">Poca plasticidad o nula en las muestras ensayadas.Valores medios: LL=24,8; LP=16,4 e IP=8,4.
Densidad y humedad	<ul style="list-style-type: none">Poca variabilidad entre valores de densidad seca, la media es 1'85 t/m3.Disparidad en valores de humedad, de 0,70% hasta 19,7%.Los valores de humedad natural están por debajo de los valores de los límites líquido y plástico.
Contenido en sulfatos	<ul style="list-style-type: none">19 muestras analizadas con un valor medio de 80 mg/kg.
Acidez Baumann-Gully	<ul style="list-style-type: none">19 muestras analizadas y en todas ellas 0 ml/kg.Con los datos de contenido en sulfatos y acidez se clasifica la unidad <i>Cuaternario indiferenciado</i> como suelo débilmente agresivo para el hormigón según la EHE.
Contenido en sales solubles	<ul style="list-style-type: none">Valores muy bajos en todos los ensayos. Media: 0,13%.
Contenido en M.O.	<ul style="list-style-type: none">Valor medio de las muestras: 0,26%.
Contenido en carbonatos	<ul style="list-style-type: none">Un único ensayo con un resultado del 66,5%.
Compresión simple	<ul style="list-style-type: none">Resistencias muy bajas (0,40-3 kp/cm3).Resultados no representativos de las características resistentes de la unidad <i>Cuaternario indiferenciado</i>.
Corte directo	<ul style="list-style-type: none">En muestras de componente arcillosa predominante.Valor medio de $\phi=35^\circ$ y cohesión de 0,4 kp/cm2.
Ensayo de consolidación	<ul style="list-style-type: none">2 muestras analizadas. Índice de compresión medio de 0,01 e índice de hinchamiento medio de 0,006.
Compactación	<ul style="list-style-type: none">8 ensayos de proctor modificado y 8 CBR.Valores medios: 2,18 t/m3 para la densidad máxima y

	6,86% para la humedad óptima.
	<ul style="list-style-type: none">Índice CBR considerando el 100% de la compactación según el proctor modificado es 43.
Clasificación respecto al PG-3	<ul style="list-style-type: none">55% de las muestras son suelos tolerables, 14% son suelos adecuados y 31% son suelos seleccionados.Los suelos seleccionados se corresponden con las facies más groseras.
Usos del material	<ul style="list-style-type: none">El conjunto de la unidad geotécnica <i>Cuaternario indiferenciado</i> puede ser considerada como tolerable, con los usos que, en consecuencia, le otorga el PG-3.
Excavabilidad	<ul style="list-style-type: none">Los términos más finos y menos cementados son fácilmente excavables por medios mecánicos convencionales.Las facies más cementadas se consideran ripables.

Figura 3.1. Principales conclusiones a raíz de los resultados de los ensayos de laboratorio. Fuente: elaboración propia.

Se muestran a continuación algunos gráficos que ayudan a visualizar mejor las características de la unidad geotécnica y a apreciar la variabilidad de resultados entre los ensayos a distintas muestras.

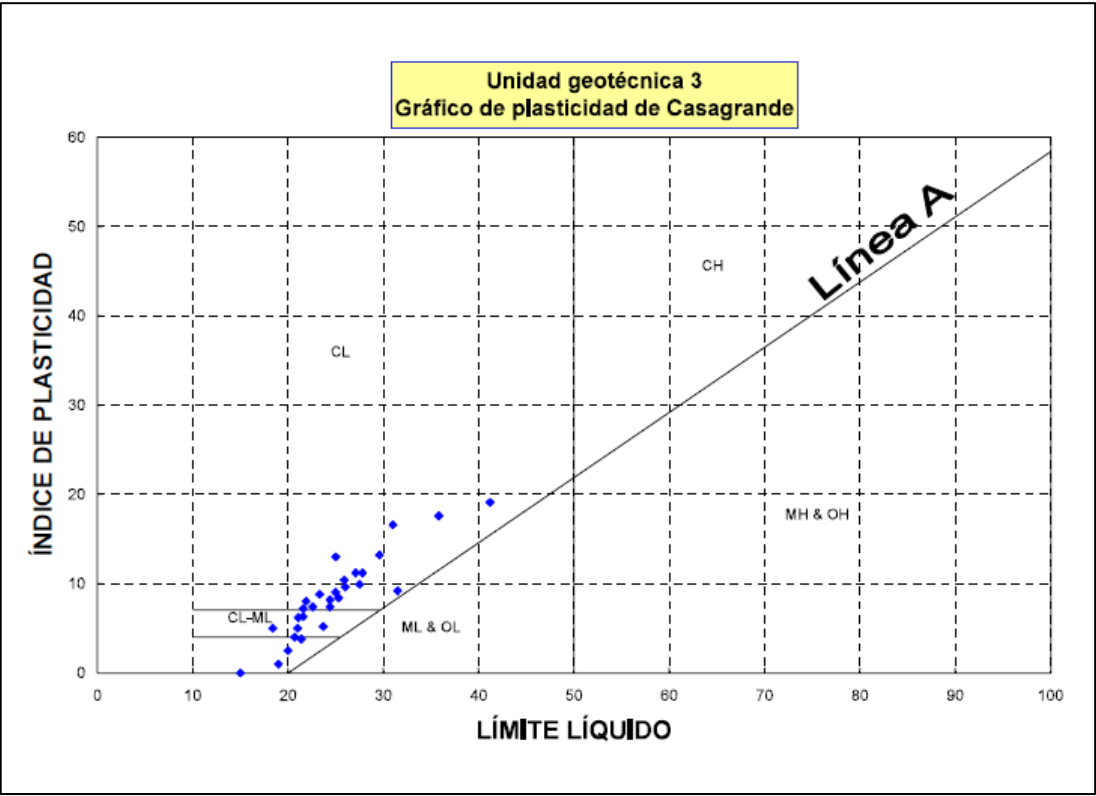


Figura 3.2. Unidad geotécnica *Cuaternario indiferenciado*. Gráfico de plasticidad de Casagrande. Fuente: Anejo nº7, Estudio Geotécnico del corredor. Proyecto de construcción N-340, variante de Benicarló-Vinaroz. Mº de Fomento.

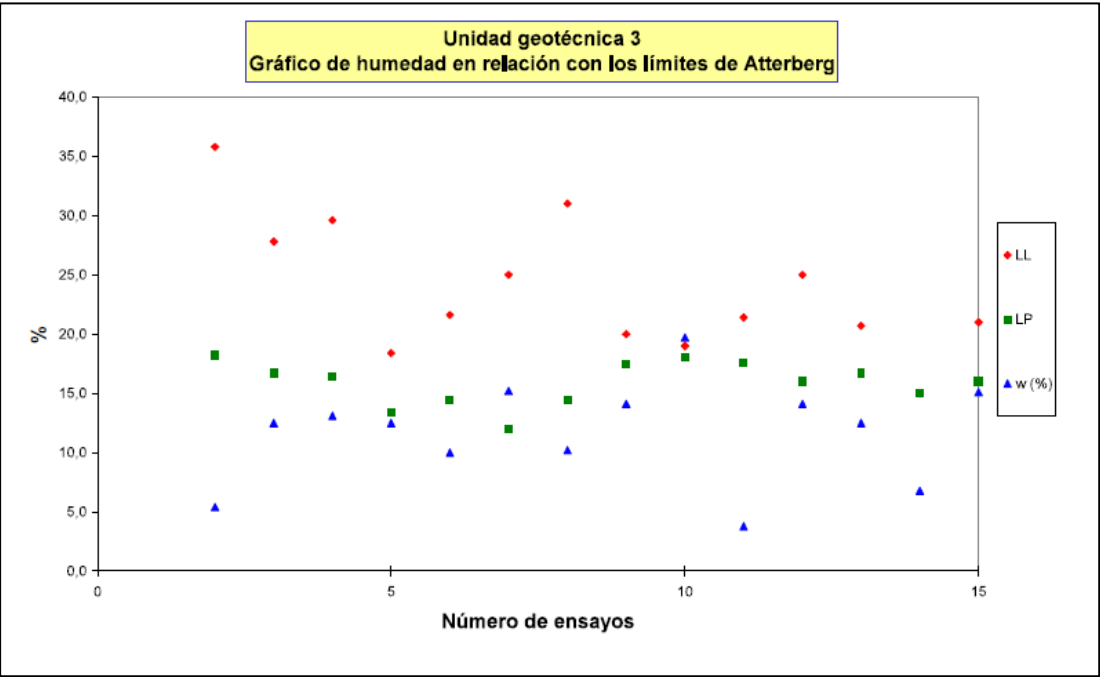


Figura 3.3. Unidad geotécnica 3. Gráfico de humedad en relación con los límites de Atterberg. Fuente: Anejo nº7, Estudio Geotécnico del corredor. Proyecto de construcción N-340, variante de Benicarló-Vinaroz. Mº de Fomento.

4. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO

Aunque la unidad 3, que es la correspondiente al cuaternario indiferenciado es la que muy probablemente afecta a las obras del acceso, también se da una breve descripción para otras unidades identificadas a partir de trabajos de campo y cercanas a nuestro proyecto:

- Ud. geotécnica 1: Dolomías y calizas. Rocas de aspecto masivo, de dura a muy dura que constituye macizos rocosos de calidad media, moderadamente fracturados. Unidad no identificada en ningún reconocimiento efectuado para el estudio geotécnico de la variante.
- Ud. geotécnica 2: Calizas. Calizas packstone de resistencia dura a muy dura que forma macizos rocosos de calidad media, masivos moderadamente fracturados. Tampoco se identificó en ningún reconocimiento efectuado.
- Ud. geotécnica 3: Cuaternario indiferenciado. Es la unidad predominante en las proximidades de la zona de estudio.
- Ud. geotécnica 4: Depósitos aluviales. Proceden de la disolución, lavado, retrabajado y calibración del sustrato cuaternario.
- Ud. geotécnica 5: Rellenos antrópicos. Son los rellenos compactados de obras lineales o abancalamientos y explanaciones. Proceden en su mayoría de préstamos de las unidades 3 y 4.

5. CRITERIOS DE SELECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE MATERIALES

Se estudia en este punto un listado de yacimientos y canteras próximos a las obras del futuro acceso desde los que se puede abastecer material de suficiente calidad para, por ejemplo, el suelo estabilizado y el suelo seleccionado destinados a la creación de la explanada E-2. En general, el criterio de selección es que el material pertenezca a la unidad 3, que fue clasificado como tolerable tras los ensayos de laboratorio.

• Canteras

Se describen un total de 4 canteras. El criterio de selección de estas ha sido su cercanía a la traza o bien su homologación por RENFE para el suministro de balasto, lo que las hace idóneas para aportar áridos para la capa de rodadura.

- *Peñas Aragonesas*: En las inmediaciones de Betxí (Castellón), a unos 100 km de distancia. Se trata de una explotación de cuarcitas homologada por RENFE para el suministro de balasto.

- *Santa Magdalena*: Situada en el cerro de La Roca, en las inmediaciones del enlace de la Nacional en Peñíscola.

- *Cemex-Alcanar*: Se sitúa en las inmediaciones de la localidad del Martinenca al norte de Alcanar (Tarragona). Explota las calizas cristalinas del Cretácico Superior.

- *La Alforja*: En las inmediaciones de Reus (Tarragona), explota una corneana porfídica. También está homologada por RENFE para el suministro de balasto.

CANTERAS						
Cantera	Propietario	Distancia (km)	Material	Productos	Actividad	Observaciones
1. Peñas Aragonesas	Balasto y Rodaduras S.A.	100	Cuarcitas	Áridos capa rodadura	En activo	Cantera homologada por RENFE para el suministro de Balasto.
2. Santa Magdalena	Lubasa	15	Calizas dolomíticas	Áridos y zahorras artificiales	En activo	
3. Cemex Alcanar	Cemex España S.L.	22	Calizas micríticas	Áridos y zahorras artificiales	En activo	
4. La Alforja	Cuarcitas del Mediterráneo S.L.	120	Corneana porfídica	Áridos capa rodadura	En activo	Cantera homologada por RENFE para el suministro de Balasto.

Figura 5.1. Tabla resumen de las distintas canteras consideradas para la extracción de áridos. Fuente: elaboración propia.

• Yacimientos

Se procede de manera similar que en el caso de las canteras. En este caso, el criterio de selección ha sido la cercanía a la traza.

- *Gravera Domingo*: Se sitúa en la margen este de la rambla de Cervera, a escasos kilómetros del emplazamiento de la obra. Explota las facies gravosas cuaternarias (unidad 3) con diversos grados de cementación, así como algunos niveles arenosos. También produce áridos para hormigones y zahorras naturales, y cuenta con una planta de hormigón anexa.

- *Gravera Servol*: Situada en las inmediaciones de la rambla Cervol, ocupa una amplia zona en la margen este de la rambla, también a pocos kilómetros de distancia. Explota depósitos cuaternarios gravosos poco cementados (unidad 3) y depósitos aluviales gravosos y arenosos (unidad 4) del río Cervol. Los materiales extraídos se destinan mayoritariamente a la producción de hormigones en la planta anexa.

- *Áridos García*: Explotación situada en la propia rambla del Cervol que explota los depósitos aluviales de este río, compuestos por facies gravosas y arenosas. Entre su producción se incluyen áridos naturales y artificiales para hormigón y zahorras artificiales y naturales.

YACIMIENTOS						
Gravera	Propietario	Distancia (km)	Material	Productos	Actividad	Observaciones
1. Gravera Domingo	Áridos cribados y Hormigones Domingo S.L.	6	Facies gravosas y arenosas cuaternarias (Unidad 3)	Áridos y zahorras	En activo	Planta de hormigón anexa
2. Santa Magdalena	Gravas y Derivados Servol S.A.	7	Facies gravosas y arenosas cuaternarias (Unidades 3 y 4)	Áridos y zahorras	En activo	Planta de hormigón anexa
3. Cemex Alcanar	Áridos García S.L.	6	Facies gravosas y arenosas cuaternarias (Unidades 3 y 4)	Áridos y zahorras	En activo	

Figura 5.2. Tabla resumen de los distintos yacimientos considerados para la extracción de áridos. Fuente: elaboración propia.

De otro lado, y en cuanto a aprovechamiento de materiales se refiere, el cálculo del coeficiente de paso es la relación existente entre el volumen in situ del terreno que se debe excavar y el máximo volumen posible de relleno compactado que se debe ejecutar con dicho material.

En este apartado se presupone que el grado de compactación en obra será del 95%, un valor asumible para nuestro proyecto dadas las características de ejecución tan similares respecto a las de la construcción del proyecto de la variante de la Nacional, donde se asumieron valores similares.

En aquel caso, los coeficientes de paso calculados tanto para desmontes como para préstamos de la unidad 3 fueron de 0,90 en ambos casos, luego se puede esperar un valor similar en nuestro caso.

6. CÁLCULOS

6.1. CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE RELLENOS

El programa SLIDE es un software de análisis de estabilidad de taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Con él, se puede trabajar para el análisis de rellenos junto con las siguientes premisas para un relleno tipo:

- Considerar la construcción de relleno tipo todo-uno o terraplén.
- Considerar los materiales de la unidad 3 como gravas arcillosas.
- El sustrato de apoyo de todos los rellenos proyectados constituye una zona plana y de pendiente horizontal.
- Valores de ángulo de rozamiento y cohesión para el material compactado del relleno indicados por la NAVFAC.
- Valor del ensayo de compactación proctor para la densidad.

Material	Parámetro Geotécnico	Valor adoptado
Relleno	ϕ' (°)	30
	c' (t/m2)	1
	γ (t/m3)	2,3
Substrato (Unidad 3)	ϕ' (°)	34
	c' (t/m2)	2

Figura 6.1.1. Valores considerados para los distintos parámetros geotécnicos necesarios para el análisis de taludes. Fuente: propia.

- Relleno de 13 m de altura con taludes 3H:2V apoyado sobre materiales de la Ud. 3.

Tras introducir estos datos en el programa y tener en cuenta las premisas anteriores, se procede al análisis de estabilidad del relleno tipo. Se obtiene un valor de factor de seguridad de 1,38 y, por tanto, el relleno es viable.

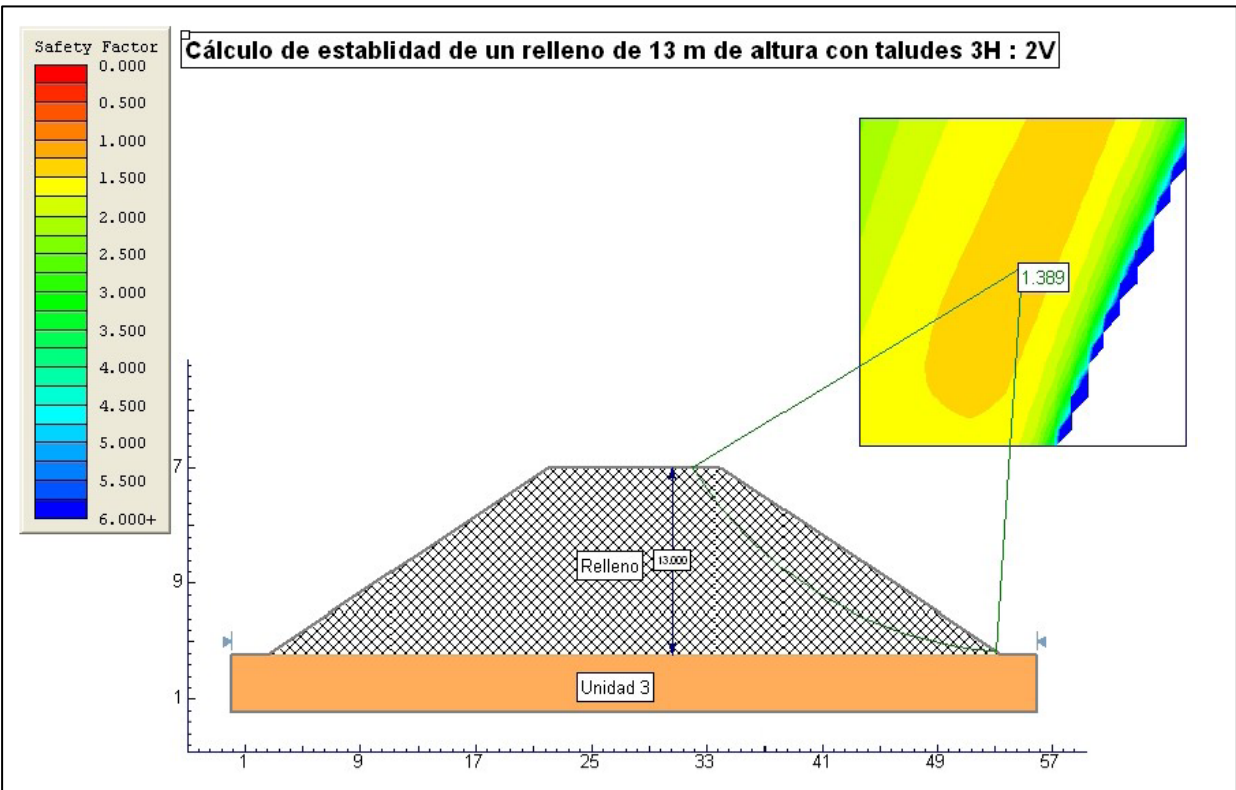


Figura 6.1.2. Cálculo de estabilidad de un relleno tipo con el programa SLIDE. Fuente: Anejo nº7, Estudio Geotécnico del corredor. Proyecto de construcción N-340, variante de Benicarló-Vinaroz. Mº de Fomento.

6.2. CÁLCULO DE ASIENTOS DEBIDOS A LA CONSOLIDACIÓN DEL PROPIO RELLENO

Los asientos postconstructivos son difíciles de evaluar, sin embargo, a título orientativo se pueden evaluar de acuerdo a los siguientes datos, según se recomienda en la *Guía de Cimentaciones para Obras de Carreteras*, editada por el Ministerio de Fomento.

$$s = \alpha \cdot H$$

Donde:

s = Asiento diferido del relleno bien compactado.

H = Altura del relleno.

α = Coeficiente que puede obtenerse de la tabla 6.6.

En general, a falta de otros datos, puede suponerse que la mitad del asiento diferido ocurre en el primer año tras la construcción y que, cada año adicional, el asiento que ocurre es la mitad del correspondiente al año anterior.

TABLA 6.6. ASIENTOS DIFERIDOS EN DURMIENTES. VALORES DE α ; $s = \alpha \cdot H$

TIPO DE RELLENO ¹	VALOR DE α (%)
Pedraplén	0,3
Terraplén	
Suelos seleccionados	0,5
Suelos adecuados	1,0
Todo-uno	0,5 a 2,0 (dependiendo de la naturaleza del material)

Los valores indicados corresponden a terraplenes compactados hasta alcanzar aproximadamente un 95% de la densidad seca máxima del ensayo Próctor modificado.

Figura 6.2.1. Asientos diferidos en durmientes. Fuente: Guía de Cimentaciones para Obras de Carreteras. Mº de Fomento.

Se analiza un caso pésimo que consiste en un relleno de 13 metros de altura conformado por materiales de la unidad 3 procedentes de préstamo. Siguiendo esta metodología y tomando $\alpha=1$, aunque corresponda suelos adecuados, se obtiene un asiento de:

$$S = \alpha \cdot H = 0,01 \cdot 13 \text{ m} = 0,13 \text{ m} = 13 \text{ cm}$$

Suponiendo que la mitad del asiento diferido ocurre en el primer año tras la construcción, se obtiene $13/2=6,5 \text{ cm}$.

Considerando la naturaleza predominantemente granular de los materiales de la unidad 3, se puede deducir que la mayoría de los asientos serán prácticamente instantáneos durante su puesta en obra y se puede asumir (considerando una buena compactación) una magnitud de asientos postconstructivos del orden del 0,2% la altura del relleno, unos 2,5 cm. Valor obviamente muy por debajo del calculado en el caso pésimo y muy admisible tratándose, además, de un altura (la de 13 m) muy superior a la altura media de los rellenos en nuestro caso.

En resumen, los asientos que se producirán en el cuerpo del relleno dependerán básicamente de la altura del relleno, del tipo de material empleado y del grado de compactación que se alcance en obra. Su magnitud total es difícil de estimar y en la práctica, únicamente tendrá significado la magnitud y el plazo en que se producirán los asientos residuales, después de terminada la ejecución de cada relleno.

6.3. CÁLCULO DE ASIENTOS DEBIDOS A LA CONSOLIDACIÓN DEL TERRENO DE APOYO

El sustrato está conformado por un suelo granular grosero (unidad 3), frecuentemente cementado, incluso con niveles conglomeráticos. De este modo no es preceptiva la consideración de suelos comprensibles por debajo de los rellenos y por tanto, los asientos del terreno de apoyo que se produzcan serán despreciables.

Por lo anterior parece que no es necesario realizar cálculos debidos a la consolidación del terreno de apoyo. Sin embargo, si se decidiera hacerlos, se deberían seguir formulaciones elásticas, ya que nuestro terreno es claramente granular. En estos casos las deformaciones se producen de manera prácticamente inmediata a la ejecución del relleno.

La expresión para estimar el asiento elástico bajo un terraplén es:

$$S_i = \frac{\sigma_z \times h_i}{E_i}$$

Siendo:

Si: El acortamiento del estrato considerado.

σ_z : Presión vertical aplicada al centro del estrato.

h_i : Espesor del estrato.

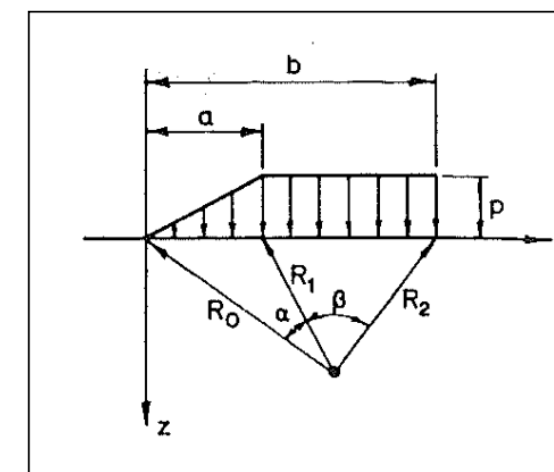
E_i : Módulo de deformación del estrato.

Por lo que el asiento resultante en punto determinado, como por ejemplo en la superficie del terreno, es la suma de los acortamientos de todos los estratos compresibles por debajo de ese punto (S_i):

$$S = \sum S_i$$

La presión vertical aplicada sobre un estrato del terreno depende de la geometría del área cargada y de la profundidad del punto considerado. De la publicación *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*, H.G. POULOS y E.H. Davis (University of Sydney) se extrae la siguiente expresión que permitiría obtener la carga transmitida a cualquier punto bajo un relleno en caso de ser necesario:

$$\sigma_z = 2 \times \frac{p}{\pi} \left[\beta + \frac{x\alpha}{a} - \frac{z}{R_2^2} (x - b) \right]$$



Vertical embankment loading.

Figura 6.3.1. Carga vertical sobre el terreno. Fuente: *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*, H.G. POULOS y E.H. DAVIS (University of Sydney).

7. FUENTES DE INFORMACIÓN EXTERNA CONSULTADAS

1. **Instituto Geológico y Minero de España** (1984). *Mapa Hidrogeológico de España 200k, hoja 48 (Vinaroz)*.

Disponible en:

info.igme.es/cartografiadigital/tematica/Hidrogeologico200Hoja.aspx?language=es&id=48

2. **H.G. Poulos, E.H. Davis** (1974). *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*. Disponible en:

<http://research.engr.oregonstate.edu/usucger/PandD/PandD.htm>