




Peticionario: CANAL DE ISABEL II, S.A.

ÍNDICE

1.-INTRODUCCIÓN	3
2.-ACTUACIONES PREVISTAS	4
3.-OBJETO Y METODOLOGÍA.....	7
4.-DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	8
4.1.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DE LA DOCUMENTACIÓN FACILITADA.....	8
4.2.- TRABAJOS DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO	8
4.3.- . ENSAYOS DE LABORATORIO.....	11
4.4.- ANÁLISIS GEOTÉCNICO Y COMPROBACIONES DE CÁLCULO	12
5.-CONDICIONANTES GENERALES DEL EMPLAZAMIENTO	12
5.1.- MARCO GEOLÓGICO GENERAL.....	12
5.2.- MARCO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO GENERAL	13
5.3.- SISMICIDAD Y PELIGROSIDAD SÍSMICA	16
6.-CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO DEDUCIDAS DE LOS RECONOCIMIENTOS	17
6.1.- NATURALEZA Y ESTRATIGRAFÍA DEL SUBSUELO	17
6.2.- NIVELES FREÁTICOS.....	19
6.3.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO	20
6.4. RESUMEN PARÁMETROS GEOTÉCNICOS.....	28
6.5. CLASIFICACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE MATERIALES.....	29
6.6. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS FREÁTICAS.....	29
7.-ANÁLISIS SOBRE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN.....	29
7.1.- CONDICIONANTES GENERALES.....	29
7.2.- ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN	30
7.3.- COMPROBACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACIÓN DE LA CELDA FRENTE A LIMITACIÓN DE MOVIMIENTOS. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO	36
8.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN	37
ANEJO Nº 1:	PLANTA DE SITUACIÓN DE LOS PUNTOS DE RECONOCIMIENTO
ANEJO Nº 2:	PLANTA SITUACIÓN PERFILES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS. PERFILES GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS
ANEJO Nº 3:	REGISTROS DE SONDEOS MECÁNICOS Y DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA.
ANEJO Nº 4:	ENSAYOS PRESIOMÉTRICOS
ANEJO Nº 5:	ENSAYOS DE PERMEABILIDAD
ANEJO Nº 6:	ENSAYOS DE LABORATORIO

1.- INTRODUCCIÓN

Dentro del ACUERDO MARCO SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA PARA TRABAJOS GEOTÉCNICOS DE PROYECTOS, PLIEGO Y OBRAS (LOTE 2: TRABAJOS GEOTÉCNICOS), adjudicado a la UTE INTEMAC-SONDEOS MACÍAS CANALYII, se ha solicitado la realización de reconocimiento del terreno, estudio geotécnico e hidrogeológico para responder los requerimientos para el trámite de la Autorización Ambiental Integrada en la ampliación del vertedero de lodos de la EDAR mediante la construcción de una nueva celda de vertido.

Esta actuación se encuentra dentro del PROYECTO BÁSICO DE MODIFICACIÓN SUSTANCIAL DE AAI DE LA PLANTA DE SECADO TÉRMICO Y COMPOSTAJE, Y VERTEDERO DE LODOS DE EDAR EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE LOECHES (MADRID).

La zona objeto de estudio se localiza junto a la actual planta de secado térmico está ubicada en la Carretera M-225, km 1 del Término Municipal de Loeches (Madrid).

En la figura 1 se indica la situación de la nueva celda de vertido (ubicación de las obras) respecto al actual vertedero y a la planta de tratamiento de lodos.



Figura 1. Zona de estudio

2.- ACTUACIONES PREVISTAS

La zona objeto de estudio en la que se ejecutará una nueva celda de vertido (tercera celda), se sitúa en terrenos aledaños a la planta de secado térmico y compostaje y vertedero de lodos de la EDAR, junto a las celdas existentes de vertido.

En la figura 2 se muestra la situación de la tercera celda prevista, respecto a las existentes.

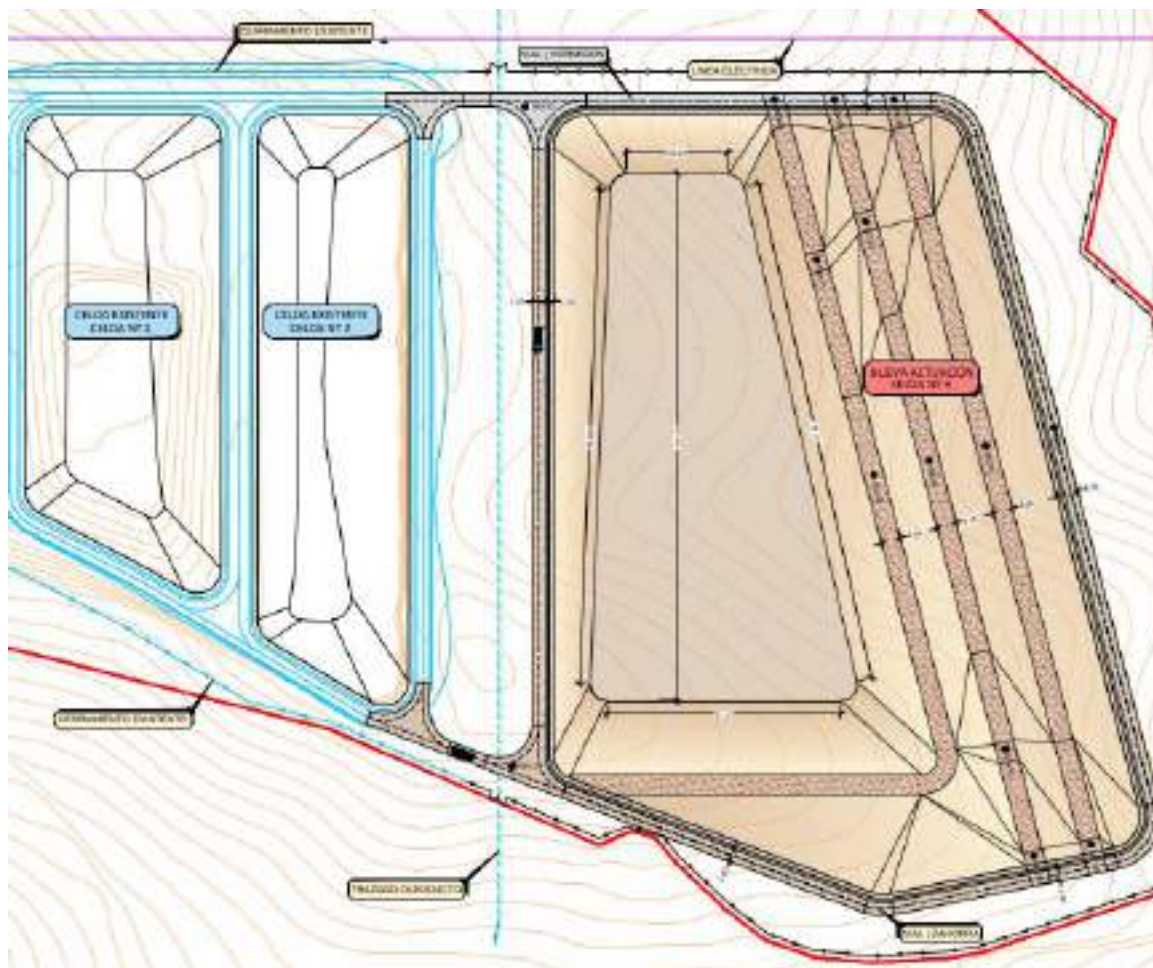


Figura 2. Situación de la tercera celda de vertido respecto a las existentes

De acuerdo con la documentación del proyecto básico facilitada, la tercera celda tendrá una superficie del orden de 34.038 m² y un volumen del orden de 160.934m³.

Esta celda está diseñada mediante una serie de bancadas de altura variable, desde una cota de coronación máxima en torno a la 656,0 m hasta alcanzar la base de la celda que se encuentra a la cota media 639,0 m, lo que supone una profundidad máxima de excavación del orden de 17 m.

La altura de las bancadas en general está comprendida entre 4,0 m y 7,0 m salvo algún tramo que llega a alcanzar los 11,0 m. La pendiente prevista de los taludes varía entre 1,9H:1,0V (28° con la horizontal) y 3,6H:1,0V (16° con la horizontal). De forma localizada, hacia los lados más cortos del recinto, el talud de la bancada que llega a la base de la misma puede tener una inclinación superior del orden de 1,2H:1,0V (39° con la horizontal).

Cada una de las bancadas tiene en coronación un ancho total del orden de 6,5 m, en donde se encuentra un vial de acceso de 4,0 m de ancho, cuneta de 1,0 m y resguardo de 1,5 m. Se ha previsto que estos viales sean de zahorra, excepto el vial que conecta esta nueva celda con las existentes (ramal suroeste) cuyo pavimento será de hormigón.

En la figura 3 se recoge un plano en planta de la nueva celda de vertido, en la que se indica el tipo de pavimento considerado.

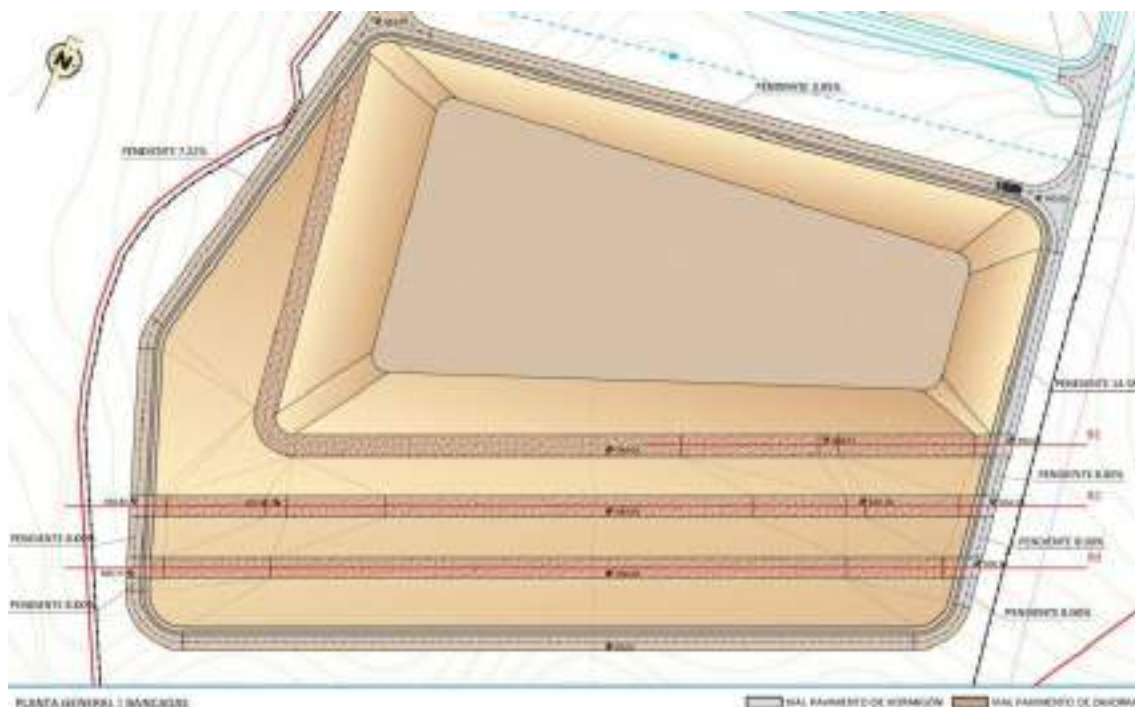


Figura 3. Planta de la tercera celda de vertido

En la figura 4 se adjuntan algunas secciones transversales en las que se puede observar la geometría de las bancadas, desde la parte occidental hacia la parte oriental.

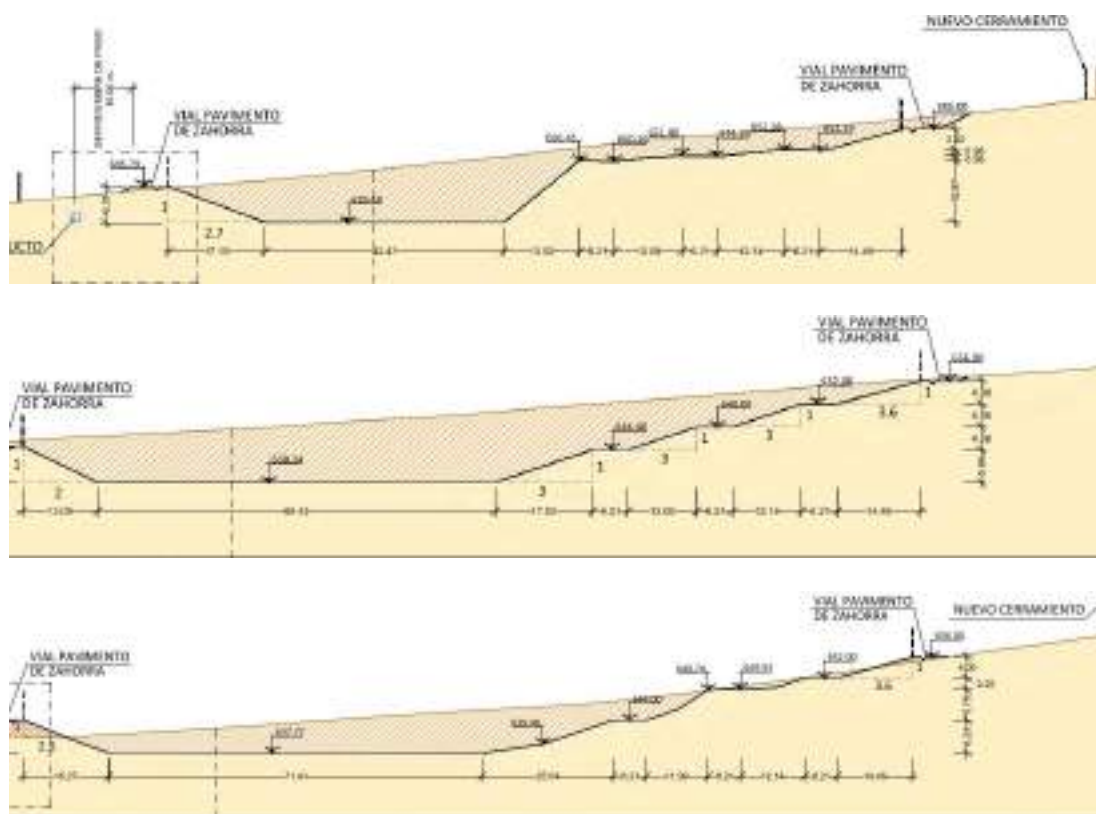


Figura 4. Secciones transversales de la nueva celda desde el oeste hacia el este

En la figura 5 se adjuntan algunas secciones longitudinales en la que se puede observar la geometría de las bancadas, desde la parte occidental hacia la parte oriental.

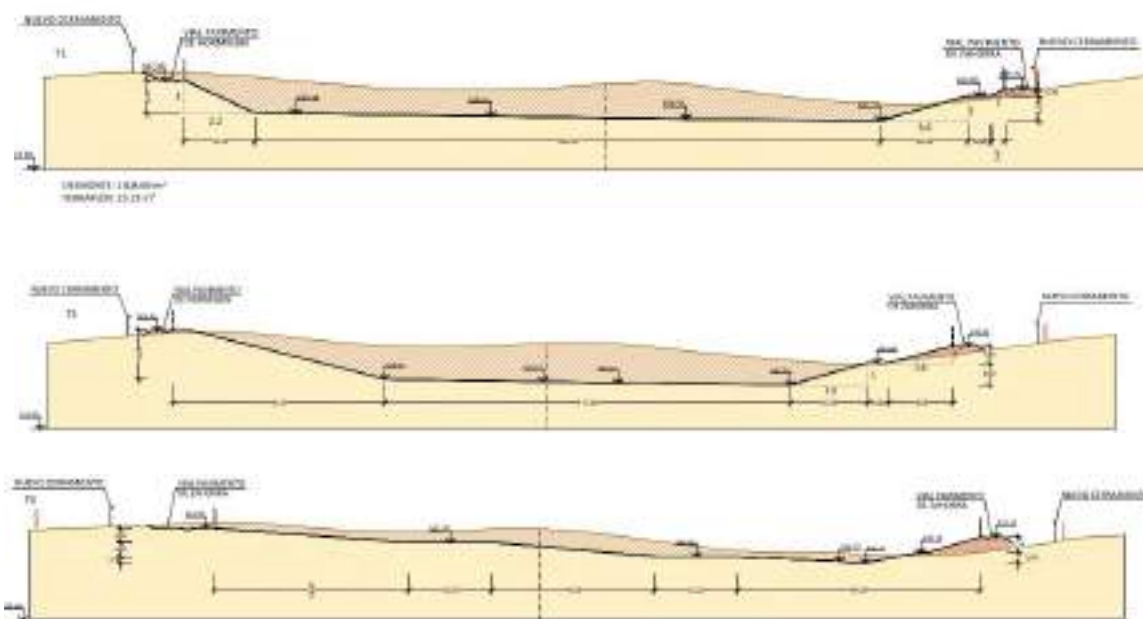


Figura 5. Secciones longitudinales de la nueva celda desde el sur hacia el norte

En la figura 6 se muestra unas vistas generales en tres dimensiones de la nueva celda.

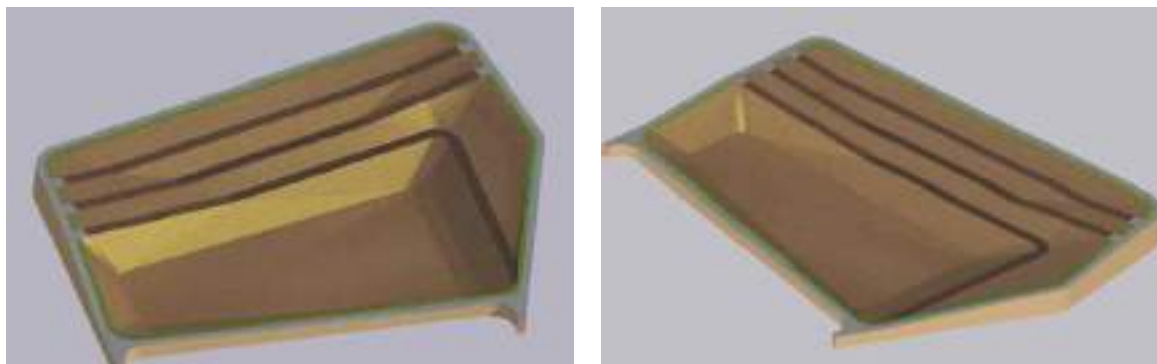


Figura 6. Vista en 3 dimensiones de la nueva celda prevista

De acuerdo con el proyecto, para la ejecución de la celda se ha previsto la extensión sobre el fondo y taludes de la celda de una capa de geocompuesto de bentonita sódica encapsulada por dos geotextiles sobre el que se dispone el resto de la impermeabilización.

Por otro lado, se ha previsto la realización de una red de lixiviados y drenaje que se unirá a la red de las dos celdas preexistentes.

La recogida de lixiviados dentro de la celda se realizará mediante tubería dispuesta en el centro del fondo de la celda y con ramificaciones en forma de “espina de pez”.

En la figura 7 se muestra el aspecto de la red de lixiviados y las zanjas tipo previstas.

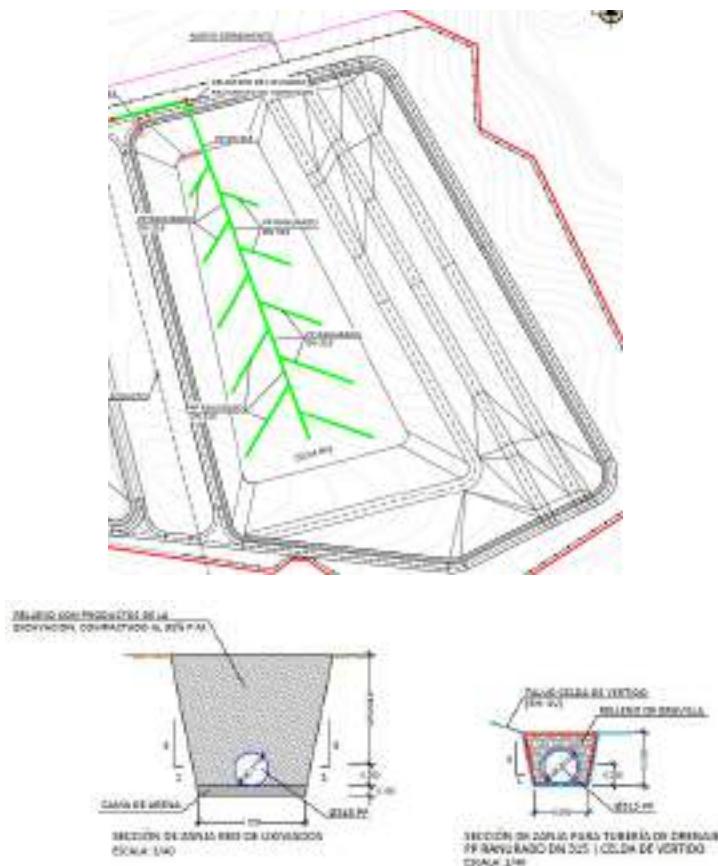


Figura 7. Red de lixiviado y drenaje

3.- OBJETO Y METODOLOGÍA

El reconocimiento y estudio realizados han tenido por objeto determinar las características geológico-geotécnicas e hidrogeológicas del subsuelo, a fin de cumplir con los requerimientos adicionales para el trámite de la Autorización Ambiental Integrada y establecer recomendaciones para el proyecto y ejecución de la celda, excavaciones y viales de la infraestructura prevista.

Para conseguir este objetivo, el estudio se ha abordado mediante la siguiente metodología:

- Reconocimiento de la naturaleza y estratigrafía del terreno mediante sondeos mecánicos con extracción continua de testigo, toma de muestras y realización de ensayos “in situ” en su interior (ensayos presiométricos y de permeabilidad).
- Determinación de las propiedades de los suelos detectados mediante ensayos de laboratorio sobre las diferentes muestras tomadas en los sondeos.
- Análisis de los resultados obtenidos, caracterización geológico-geotécnica e hidrogeológica y estudio de los parámetros y condicionantes geotécnicos e hidrogeológicos a tener en cuenta en el proyecto.
- Estudio de la estabilidad global de los taludes y estimación de asentamientos en la nueva celda de vertido.

4.- DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

4.1.- Revisión bibliográfica y de la documentación facilitada

Se ha realizado una revisión de la documentación facilitada por el Peticionario que se especifica a continuación:

- Proyecto básico de modificación sustancial de AAI de la planta de secado térmico y compostaje, y vertedero de lodos de EDAR en T.M. Loeches, con fecha de julio de 2024. Incluye el informe de investigación de calidad del suelo (fase II) de junio de 2011.
- Memoria ambiental para la Autorización Ambiental Integrada del Proyecto de Ampliación del vertedero en el término municipal de Loeches (Madrid), con fecha de febrero de 2024.
- Tomo I de VI del Proyecto constructivo del vertedero de fangos procedentes de depuradoras en el T.M. de Loeches, que incluye el estudio geotécnico, con fecha de noviembre de 2009.

Por otro lado, se ha realizado una revisión bibliográfica con relación al objeto del presente trabajo, de manera que se ha llevado a cabo la consulta de la documentación geológico-geotécnica e hidrogeológica disponible del entorno.

4.2.- Trabajos de reconocimiento geotécnico

El reconocimiento del terreno se ha llevado a cabo mediante la realización de tres (3) sondeos mecánicos a rotación con extracción continua de testigo de entre 30,0 m y 50,7 m de profundidad. La ubicación de los puntos de reconocimiento se muestra en el Anejo 1.

Los sondeos se ejecutaron a rotación con extracción continua del testigo, empleando corona de widia. Los diámetros de perforación quedaron comprendidos entre 116 mm y 76 mm. El testigo extraído se dispuso en cajas de plástico parafinado, ordenado en función de la profundidad, lo que permitió la adecuada identificación de los terrenos atravesados.

En la Tabla 1 se indican las coordenadas estimadas de la posición de los puntos de reconocimiento, la cota de embocadura y la profundidad y cota correspondiente de investigación alcanzada en estos sondeos.

Tabla 1. Características de los sondeos realizados

Sondeo	Posición de punto de reconocimiento (*)			Profundidad de reconocimiento (m)	Cota de investigación
	X	Y	Cota de embocadura (Z)		
S-1	465.288,39	4.474.424,34	655,67	30,00	625,67
S-2	465.429,64	4.474.392,85	646,00	50,70	595,30
S-3	465.441,71	4.474.557,82	658,00	30,80	627,20

(*) Coordenadas estimadas a partir de los datos obtenidos en el Sistema de Información Geográfica Nacional (SIGNA).

En el interior de los sondeos se efectuaron ensayos normales de penetración (SPT) a distintas profundidades, siguiendo las especificaciones de la Norma UNE-EN ISO 22476-3:2006. En el conjunto de los sondeos se han realizado un total de veinticinco (25) ensayos de este tipo.

Asimismo, se procedió a la extracción de muestras inalteradas mediante la hincas de un tomamuestras, habiéndose tomado tres (3) muestras por este procedimiento, y doce (12) muestras tomadas en el avance del sondeo a rotación, posteriormente precintadas (TP).

Con el objetivo de determinar el índice N_{30SPT} equivalente a partir de los valores de golpeo obtenidos para la toma de muestras inalteradas, se considera la correlación $N_{30 SPT} = \frac{1}{2} N_{30 M. Inalterada}$, válida para el tipo de tomamuestras empleado en este caso.

Asimismo, en los resultados obtenidos en estos ensayos, para la determinación del índice N_{30} se han considerado las correcciones que tienen en cuenta la longitud de varillaje (se ha utilizado la corrección de Skempton, 1986) y en el caso de los términos granulares, la profundidad, teniendo en cuenta la presión de confinamiento (se ha aplicado la expresión propuesta por Liao y Whitman, 1985).

Con las muestras de terreno tomadas en los sondeos se han realizado ensayos de laboratorio para determinar las características geotécnicas de los terrenos detectados.

Con el fin de caracterizar las propiedades deformacionales y resistentes del terreno mediante ensayos in situ, se realizaron seis (6) ensayos presiométricos,

El ensayo presiométrico consiste en aplicar escalonadamente una presión radial sobre las paredes de las perforaciones, mediante una sonda dilatante, midiendo el desplazamiento que se induce en el terreno circundante.

En la tabla 2 adjunta, se detallan los ensayos presiométricos realizados en los sondeos y en el Anejo 4 del presente estudio se recogen los resultados de estos ensayos.

Tabla 2. Ensayos presiométricos realizados

Sondeo	Profundidad media del ensayo (m)	Cota de ensayo
S-1	22,72	632,95
	27,32	628,35
S-2	4,62	641,38
	8,12	637,88
	11,62	634,38
	14,82	631,18

Para la realización de estos ensayos, se ha empleado un equipo presiométrico ELASTOMETER 2, de la casa OYO, modelo 4180 de diámetro HQ. En la Figura 8 se muestra la sonda presiométrica.



Figura 8. Equipo empleado para la realización de ensayos presiométricos

Con el objeto de determinar la permeabilidad del terreno, durante la ejecución de los sondeos se realizaron seis (6) ensayos de permeabilidad en sondeo tipo Lefranc de carga variable, como veremos más adelante. En el anejo 5 se incluyen los registros de los ensayos de permeabilidad efectuados.

Además de las determinaciones del nivel freático durante la fase de reconocimientos, en todos los sondeos, se dejó instalada tubería piezométrica abierta en toda su longitud, protegida mediante un registro metálico en superficie. En la figura 9 se muestra la instalación de la tubería piezométrica en cada sondeo.



Piezómetro sondeo S-1



Piezómetro sondeo S-2



Piezómetro sondeo S-3

Figura 9. Tubería piezométrica instalada en los sondeos.

En los sondeos S-1 y S-3 se procedió a la toma de muestras del agua freática.

En el Anejo 3 se han incluido los registros de los sondeos, donde se indica la descripción del terreno detectado, las características de la perforación y los datos de la toma de muestras y resultados de los ensayos realizados.

Los sondeos fueron realizados mediante dos equipos de sondeo, una sonda sobre orugas ROLATEC RL-48L y una sonda sobre camión CEFRE D-106, todas ellas propiedad de la UTE INTEMAC-SONDEOS MACÍAS CANALYII

El conjunto de las actividades de reconocimiento in situ fueron supervisadas por técnicos de INTEMAC

4.3.- . Ensayos de laboratorio

Sobre las muestras de suelo obtenidas en los sondeos, se han realizado en el Laboratorio del Área de Geotecnia de INTEMAC los siguientes tipos de ensayos, de acuerdo con la normativa vigente:

- 36 Uds. Apertura y descripción de muestra.
- 16 Uds. Preparación de muestras según UNE 103100:1995.
- 16 Uds. Determinación de la humedad natural, según UNE-EN ISO 17892-1:2014
- 16 Uds. Determinación de la densidad aparente y seca de un suelo, según UNE-EN ISO 178922:2014.
- 16 Uds. Determinación de los límites de Atterberg (líquido y plástico), según UNE-EN ISO 17892-12:2018.
- 16 Uds. Análisis granulométrico por tamizado, según UNE-EN ISO 17892-4:2019.
- 7 Uds. Determinación del contenido de sulfatos en los suelos, según UNE 103201:2019
- 2 Uds. Determinación de contenido en sales solubles en suelos según UNE103205:2019
- 5 Uds. Ensayo para la determinación de carbonatos de un suelo según UNE 103200:2021.
- 10 Uds. Ensayo para la determinación del contenido en yesos de un suelo según UNE 103206:2019.
- 3 Uds. Determinación del grado de acidez Baumann Gully según UNE-EN 16502:2015
- 2 Uds. Ensayo de Hinchamiento libre de un suelo en edómetro según UNE 103601:1996
- 9 Uds. Ensayo para calcular la presión de hinchamiento de un suelo en edómetro. UNE-EN 103602:1996
- 4 Uds. Ensayo de corte directo según UNE EN ISO 17892-10:2019
- 14 Uds. Ensayo para determinar la resistencia a compresión simple de un suelo según UNE-EN ISO 17892-7:2019
- 1 Uds. Análisis químico de las aguas freáticas para determinar su potencial agresivo frente a los hormigones. Determinando:
 - Valor de pH, según UNE 83952:2008.
 - Contenido en magnesio, según UNE 83955:2008.
 - Contenido en sulfatos, según UNE 83956:2008.
 - Contenido en ion amonio, según UNE 83954:2008.
 - Contenido de CO2 agresivo, según UNE-EN 13577:2008.
 - Contenido en Cloruros, según UNE 7178:1960.
 - Contenido en residuo seco, según UNE 83957:2008.

En el Anejo 6 se incluyen los resultados obtenidos en estos ensayos.

Los ensayos de laboratorio se han realizado en el Laboratorio Central de INTEMAC, situado en Torrejón de Ardoz, Madrid, c/ Bronce nº 26-28.

El Laboratorio está inscrito en el Registro General de Laboratorios de Ensayos para el Control de Calidad de la Edificación del C.T.E. (Código Técnico de la Edificación) con número de referencia MAD-L-030, según Declaración Responsable de fecha 24/10/2019 presentada en la Dirección General de Vivienda y Rehabilitación de la Consejería de Vivienda y Administración Local de la Comunidad de Madrid.

4.4.- Análisis geotécnico y comprobaciones de cálculo

Con base en el conjunto de los resultados obtenidos en las actividades de investigación descritas anteriormente, se han distinguido unos niveles del terreno, sobre los que se ha realizado un análisis particularizado de sus propiedades geotécnicas.

A partir de los condicionantes geológico-geotécnicos definidos y de las características de las obras proyectadas, se han llevado a cabo una serie de comprobaciones de cálculo de la estabilidad global y asentamientos en la nueva celda de vertido, para establecer unas recomendaciones para el proyecto constructivo, en lo relativo a excavaciones, protecciones superficiales y elementos de urbanización (viales) previstos en proyecto.

5.- CONDICIONANTES GENERALES DEL EMPLAZAMIENTO

En los siguientes subapartados se indican los condicionantes generales que presenta el emplazamiento de la obra desde el punto de vista geológico general, hidrogeológico y de la sismicidad

5.1.- Marco geológico general

El terreno estudiado pertenece geológicamente a las formaciones sedimentarias del Mioceno de la Cuenca del Tajo, en la zona de transición de las facies intermedias a centro de la cuenca, constituidas por materiales detríticos y evaporíticos.

De acuerdo con la documentación geológica disponible, en la zona de estudio predominan la unidad de arcillas marrones y grises y cristales de yeso y yeso diagenético (unidad 2 de acuerdo con la denominación del Mapa Geológico de España), y las facies de yesos y yesos con lutitas (unidad 1 de acuerdo con dicha nomenclatura, que se presenta por debajo de la unidad 2).

La unidad 2 está constituida por arcillas limolíticas marrones dispuestas horizontalmente que alternan con niveles laminados de limos y arcillas-arenosas muy finas, en la que aparecen yesos en cristales dispersos o nivelitos de yeso.

La unidad 1 está constituida por una serie de yesos grises, yesos especulares e incluso sacaroideos entre los que se intercalan niveles decimétricos de margas grises que contienen cristales de yeso. La proporción de las margas aumenta en las proximidades del cambio lateral con la unidad 2.

En la figura 10 se puede observar la situación geológica del área de estudio, obtenida de la hoja nº 560 (Alcalá de Henares), del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 editado por el IGME, en el que se recogen las unidades antes mencionadas.



Figura 10: Fragmento del Mapa Geológico de España de Alcalá de Henares (IGME)

La información obtenida en los reconocimientos efectuados ha puesto de manifiesto la existencia en el subsuelo de la zona investigada de un terreno constituido por arcillas de color marrón rojizo con intercalaciones gris verdoso-carbonatadas, que en profundidad presenta esporádicamente cristales de yesos, y por debajo arcillas de color gris verdoso oscuro con intercalaciones y cristales de yesos en distinta proporción.

5.2.- Marco hidrológico e hidrogeológico general

Desde el punto de vista hidrológico, el emplazamiento de la celda se encuentra sobre una zona alomada con pendiente general hacia el Sur. Este emplazamiento, tal y como se puede comprobar en la figura 11, se encuentra a una distancia del orden de 1,5 km respecto al curso de agua de mayor relevancia de la zona (arroyo Pantueña).



Figura 11: Situación de la zona de estudio respecto a cursos de agua.

La geomorfología de la zona de ubicación de la nueva celda unido a la distancia a la que se sitúa el cauce del arroyo, hace que no exista riesgo de inundabilidad. Este aspecto, se puede confirmar consultando el visor cartográfico del Sistema Nacional de Cartografía de zonas inundables del Ministerio para la Transición Ecológica. En la figura 12 se muestra el plano de peligrosidad por inundación para un periodo de retorno de 500 años. De acuerdo con este plano, no existe peligrosidad de inundación de la zona de la celda por los cursos de agua próximos a la misma.



Figura 12: Plano de peligrosidad por inundación para una periodo de retorno T=500 años.

Con relación al marco hidrogeológico en el que se encuentra la parcela, de acuerdo con la bibliografía existente, a escala regional se encuentra dentro de un acuífero superficial, que se recarga por la infiltración directa de las aguas de lluvia y con descarga en las zonas de valle, a las que hay asociados depósitos cuaternarios.

Concretamente, en la parcela este acuífero atraviesa los materiales de las facies de transición de edad Terciario Neógeno, formadas principalmente por suelos arcillosos de baja permeabilidad.

En la figura 13 se muestra un plano de isolíneas de la superficie freática de este nivel superior y de las líneas de dirección de flujo en la que con un punto azul se indica la zona en estudio.

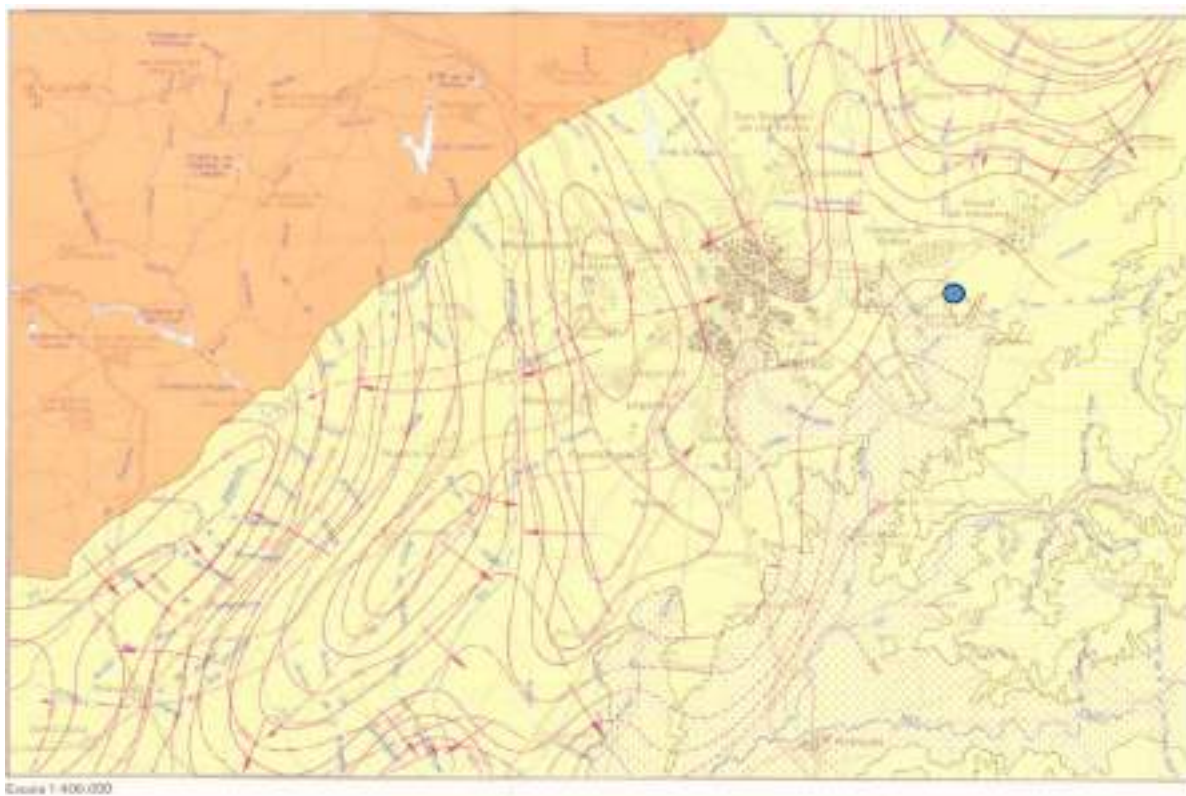


Figura 13. Mapa hidrogeológico a escala 1:400.000. Acuífero nº 15. Fuente: IGME

Por otro lado, a partir de los datos de la Confederación Hidrográfica del Tajo se puede observar que la zona de estudio no define ninguna Unidad Hidrogeológica. En la figura 14 se muestra el plano donde se representan las masas de agua y la situación de la zona de estudio.



Figura 12. Masas de agua subterránea en la Cuenca Hidrográfica del Tajo

5.3.- Sismicidad y peligrosidad sísmica

Este capítulo incluye información acerca de las condiciones sísmicas regionales, siguiendo las indicaciones de la *Norma de Construcción Sismorresistente, NCSE-02*.

El área de proyecto se encuentra en la Comunidad de Madrid, para el que el citado documento indica una aceleración básica inferior a 0,04 g, tal y como puede apreciarse en el Mapa de Peligrosidad Sísmica que se adjunta en la figura 14.

Con todo ello y según el apartado 1.2.3 de la citada normativa, esta norma no es de obligado cumplimiento en este caso, al tratarse de una construcción de importancia normal y ser la aceleración básica inferior a 0,04 g.

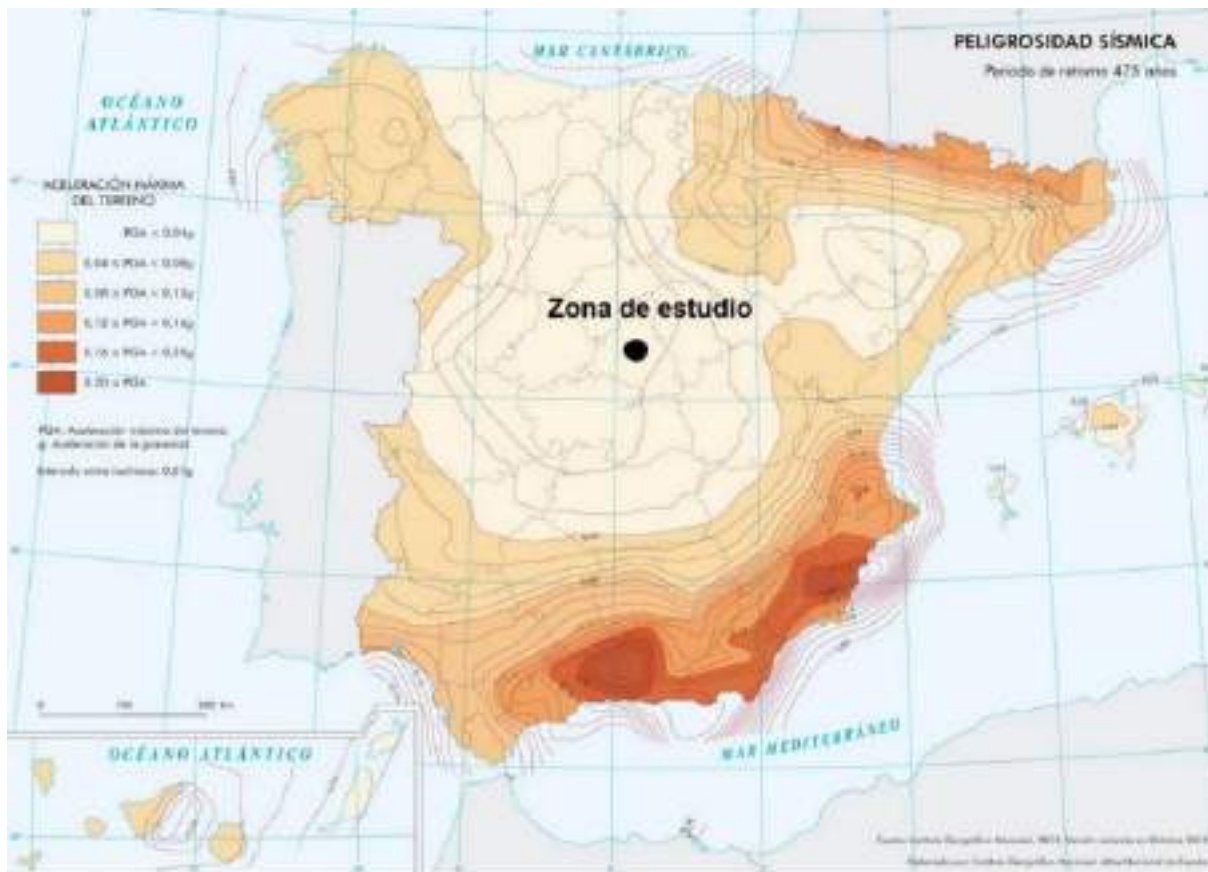


Figura 14. Mapa Sísmico de la Norma Sismorresistente NCSE-02

6.- CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO DEDUCIDAS DE LOS RECONOCIMIENTOS

6.1.- Naturaleza y estratigrafía del subsuelo

En los trabajos de reconocimiento que se han efectuado en esta campaña, se han diferenciado dos unidades geológico – geotécnicas:

- Unidad superior de arcillas marrón con tonalidad rojiza.
- Unidad inferior de arcillas yesíferas grises con tonalidad verdosa.

El contacto entre ambas unidades se encuentra a cotas absolutas similares bajo la parcela, comprendidas entre 636,6 y 633,0, aproximadamente.

El nivel superior se encuentra constituido por unas arcillas de color marrón rojizo de estructura laminar litificada y aspecto jabonoso.

De forma dispersa, entre estas arcillas, se hallan unos niveles de distinto espesor de arcillas de color gris verdoso. Adicionalmente se distinguen nódulos y niveles centimétricos de carbonatos con distinta distribución y proporción.

Estos suelos presentan una consistencia muy rígida a dura conforme aumenta la profundidad.

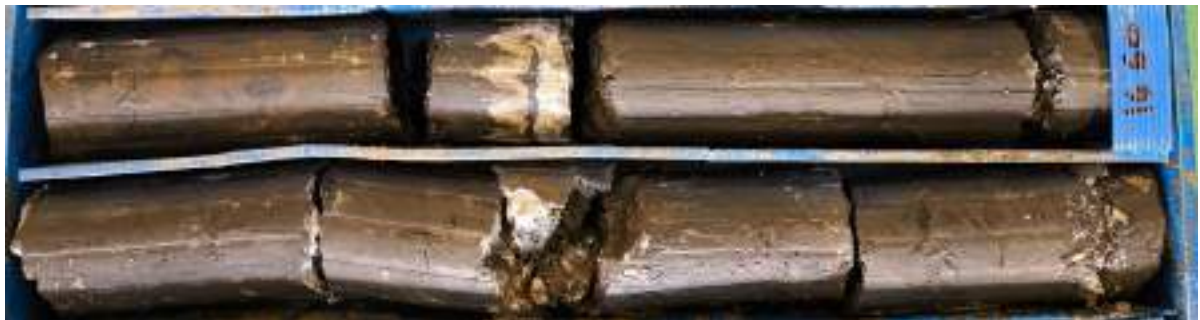
Estas arcillas de tonalidad rojiza dan paso en profundidad a unas arcillas de color gris verdoso de estructura laminar litificada, con intercalaciones de yesos blancos de textura sacaroidea y fibrosa, con distinta proporción. Los tramos de mayor abundancia de yesos presentan un porcentaje de hasta el

50 % y son de carácter centimétrico, no observándose signos de carstificación. Estos suelos presentan una consistencia dura.

En las fotografías de la figura 15 se muestra el aspecto que presentan los materiales de las dos unidades que se han distinguido.



Testigo de arcillas marrones de tonalidad rojiza.



Testigo de arcillas yesíferas de color gris verdoso

Figura 15. Suelos detectados en la zona en estudio

En la Tabla 3 se muestran las profundidades y cotas absolutas en metros a las que se ha detectado el límite entre ambas unidades.

Tabla 3. Resumen de la estratigrafía detectada en los sondeos

Sondeo	S-1	S-2	S-3
Cota emboquille	655,67	646,00	658,00
Profundidad contacto entre niveles	22,80 m	9,40 m	24,80 m
Cotas absolutas de contacto entre niveles	632,87	636,60	633,20

En el Anejo 2 se incluye dos perfiles geológico-geotécnicos (perfil longitudinal y transversal) confeccionados a partir de los resultados obtenidos en los sondeos de reconocimiento. En la Figura 16 se incluye un fragmento de uno de ellos.

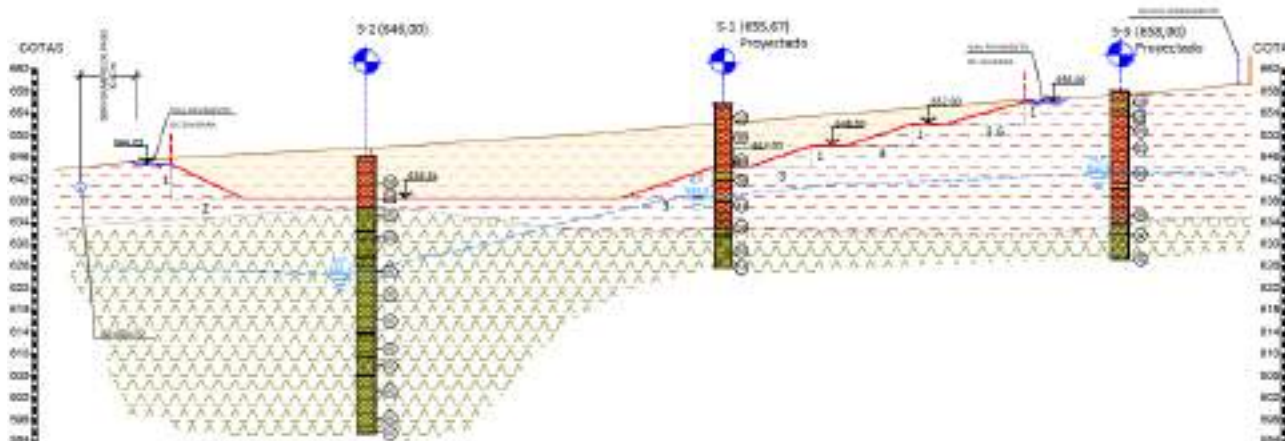


Figura 16. Perfil geológico geotécnico transversal

6.2.- Niveles freáticos

Durante la realización de los sondeos, se prestó especial atención a la aparición de niveles de agua en el terreno, realizando comprobaciones de su posición al avance del mismo. Durante la perforación de los sondeos solamente se detectó el nivel freático en el sondeo S-1.

Una vez finalizados los sondeos se dispuso una tubería piezométrica. Dado que la permeabilidad de los materiales reconocidos resulta reducida, tal y como se analiza más adelante, se han realizado comprobaciones de la posición del nivel freático estable con posterioridad a la ejecución de los sondeos en distintas fechas.

En la tabla 4 se recogen los resultados obtenidos en las mediciones realizadas, la última se efectuó el 26 de marzo de 2025.

Tabla 4. Nivel freático

Piezómetro	Cota de embocadura (Z)	Niveles freáticos durante perforación (m)	Profundidad del nivel freático (m)		Cota nivel freático última medida disponible
			14/03/2025	26/03/2025	
S-1	655,67	20,00 (26/02/2025)	19,00	16,85	638,8
S-2	646,00	Seco (7/03/2025)	24,15	21,70	624,3
S-3	658,00	Seco (14-03-2025)	-	15,10	642,9

Estas determinaciones ponen de manifiesto la existencia de un nivel freático general con una superficie freática que parece adaptarse a la superficie del terreno, apareciendo a profundidades comprendidas entre 15 m y 20 m, aproximadamente.

Este nivel que se localiza en la parte inferior de la unidad del sustrato terciario de arcillas marrón, coincidiendo con tramos de estructura más fisurada (sondeos S-1 y S-3), o en la parte superior de las arcillas yesíferas gris verdoso.

Este nivel parece presentar un gradiente general hacia el Sur del emplazamiento, del orden del 10,0% ligeramente superior a la pendiente media de la superficie del terreno en esta zona que se estima del orden del 8,5%.

De acuerdo con las características geológicas, desde el punto de vista hidrogeológico el emplazamiento de la celda corresponde a un acuitardo, en el que se almacena agua, pero la capacidad de transmitirla es muy baja. En este sentido, se ha podido comprobar que la afluencia de agua hacia los piezómetros es muy lenta.

Teniendo en cuenta las cotas a las que se ha detectado el nivel freático, y que la cota de fondo de la base de la celda está en torno a la 639,0, no se puede descartar que durante las excavaciones se interceptara el nivel freático en los taludes de la parte inferior de la celda. Ahora bien, hay que tener en cuenta que las cotas indicadas de nivel freático corresponden al final de un periodo de pluviometría muy alta (marzo de 2025), coincidiendo por lo tanto con una posición alta dentro del rango de las posibles fluctuaciones del acuífero.

No obstante, dada la reducida permeabilidad del terreno, los caudales de afluencia al recinto serán muy reducidos y se podrán achicar sin dificultad.

6.3.- Caracterización geotécnica del terreno

Para la caracterización geotécnica de los terrenos existentes en el subsuelo del área investigada, sobre muestras representativas procedentes de los sondeos, se han realizado en laboratorio ensayos para su identificación y para la determinación de sus propiedades de estado, mecánicas y químicas.

Se cuenta también con los resultados de los diferentes ensayos in situ realizados en el interior de los sondeos (ensayos de penetración SPT y valores de golpeo para la extracción de muestras inalteradas, ensayos presiométricos y de permeabilidad in situ).

A continuación, se analizan las propiedades del terreno existente en el subsuelo de la parcela, en el que se han distinguido las siguientes unidades geotécnicas:

- Arcillas marrones de tonalidad rojiza.
- Arcillas yesíferas grises de tonalidad verdosa.

A modo de resumen, se trata de unidades semejantes, de elevada resistencia y rigidez, presentando la unidad inferior de arcillas yesíferas una rigidez mayor a la unidad superior de suelos arcillosos marrón rojizo.

a) Identificación geotécnica

Para la identificación del terreno se han realizado análisis granulométricos y determinaciones de las características de plasticidad.

En dieciséis análisis granulométricos realizados, el contenido en finos (fracción que pasa por el tamiz de luz de malla 0,080 mm) ha resultado íntegro en la mayor parte de las muestras, reduciéndose hasta un mínimo de 75 % en algunas muestras del sustrato inferior, por la presencia de fragmentos yesíferos en su composición.

Sobre la fracción fina de estas muestras se han determinado los valores de los límites de Atterberg. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto en todos los casos una plasticidad elevada, siendo únicamente algo menores los valores de plasticidad de algunas de las muestras yesíferas.

De este modo, los valores del límite líquido han quedado comprendidos entre 45,7 y 78,1, con un valor medio de 67,2; y el índice de plasticidad entre 18,8 y 47,7; con un valor medio de 38,5.

En la Figura 17 se representan los valores de plasticidad en el gráfico de Casagrande.

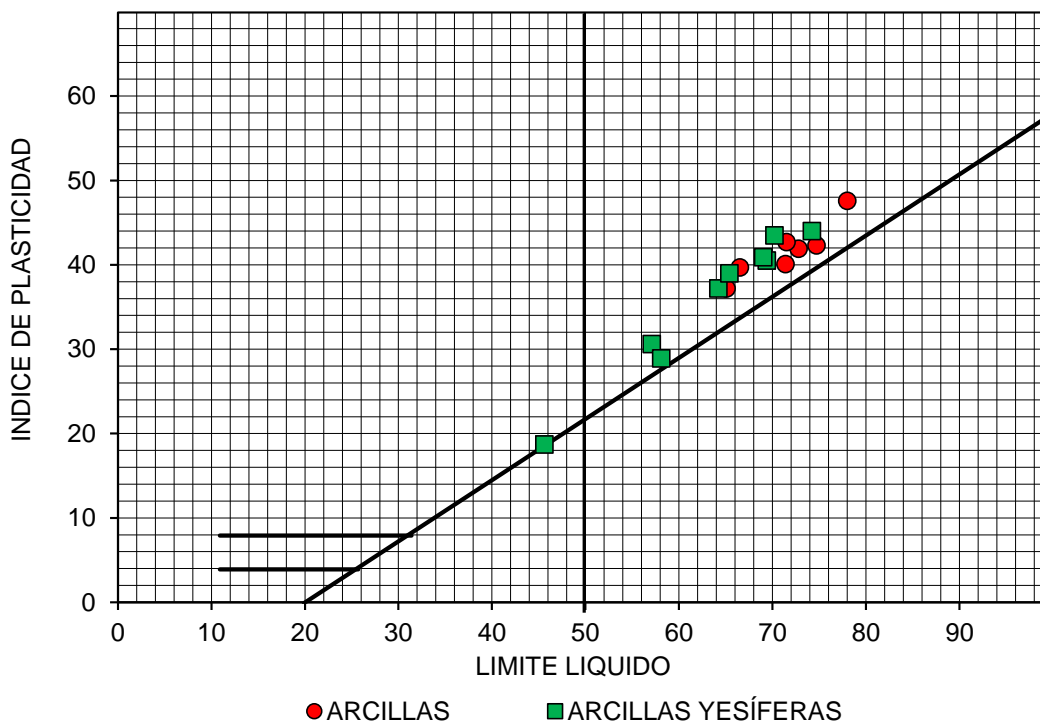


Figura 17. Gráfico de Casagrande

De acuerdo con los resultados obtenidos se trata de arcillas de alta plasticidad, definidos de acuerdo con la clasificación USCS, como suelos tipo CH.

b) Propiedades de estado

Para la determinación de las propiedades de estado se han efectuado determinaciones de humedad natural y peso específico aparente y seco sobre muestras inalteradas.

En dieciséis de las muestras ensayadas en estos suelos se han determinado valores de humedad natural comprendidos entre 15,4 % y 33,8 %, con un valor medio de 28,1 %; valores del peso específico aparente entre 18,2 kN/m³ y 20,8 kN/m³ con un valor medio de 19,0 kN/m³, y valores del peso específico seco entre 13,6 kN/m³ y 18,0 kN/m³, con un valor medio de 14,9 kN/m³.

En general se observa homogeneidad con la profundidad en los resultados obtenidos. En el gráfico que se recoge a continuación se muestran los valores de propiedades de estado con la profundidad.

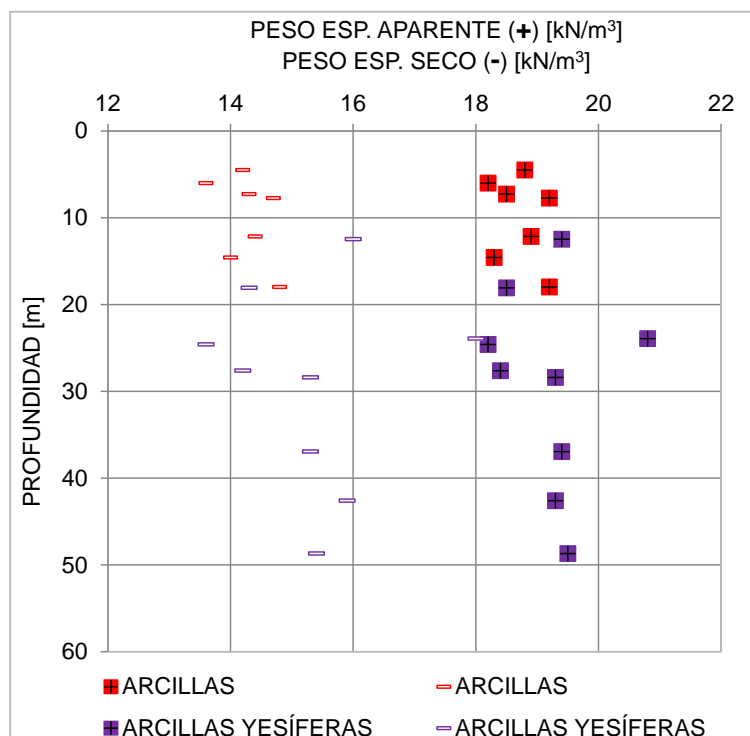


Figura 18. Pesos específicos con la profundidad

c) Características de expansividad

Para la determinación de las características de expansividad de estos suelos, se cuenta con las características de identificación y propiedades de estado anteriormente descritas.

Complementariamente, se han realizado ensayos específicos para determinar el potencial cambio volumétrico de estos suelos ante las modificaciones de humedad de estos suelos.

En la tabla 5 se resumen las principales características de expansividad de los suelos.

Tabla 5. Resumen de las características de expansividad

Muestra		Unidad geotécnica	Limite líquido, WL	Índice de plasticidad, IP	Presión de hinchamiento	Presión de hinchamiento desecada
Sondeo	Profundidad (cota)					
S-1	6,0 m (649,7)	Arcillas marrón rojizo	78	47,7	130 kPa	--
S-2	7,3 m (638,7)	Arcillas marrón rojizo	73	42,0	90 kPa	110 kPa
S-2	12,5 m (633,5)	Arcillas yesíferas gris verdoso	57	30,7	50 kPa	110 kPa
S-3	4,5 m (653,5)	Arcillas marrón rojizo	75	42,4	130 kPa	190 kPa
S-3	12,2 m (645,8)	Arcillas marrón rojizo	72	42,8	110 kPa	170 kPa

Con base en el conjunto de resultados, los suelos de la unidad superior de arcillas marrón rojiza presentan una expansividad alta, resultando en la unidad yesífera una expansiva algo inferior dada la presencia de yesos en su composición. Asimismo, se puede observar que la presión de hinchamiento es mayor cuando estos suelos experimentan previamente cierta desecación.

d) Características de permeabilidad

Se han efectuado un total de seis ensayos de permeabilidad in situ tipo Lefranc en tramos localizados en el interior de los sondeos a su avance. En la tabla 6 se recoge las principales características y resultados obtenidos en este tipo de pruebas.

Tabla 6. Resumen de resultados de permeabilidad

Ensayo		Unidad muestreada	Permeabilidad		
Sondeo	Profundidad (cota) del tramo ensayado		Coeficiente de permeabilidad estimado k (cm/s)	Coeficiente de permeabilidad estimado k (m/s)	Coeficiente de permeabilidad estimado k (m/día)
S-2	15,2 m a 18,4 m (630,8 a 627,6)	Arcillas yesíferas	1,86E-07	1,86E-09	1,61E-04
S-2	20,2 m a 30,2 m (625,8 a 615,8)	Arcillas yesíferas	1,69E-07	1,69E-09	1,46E-04
S-3	1,5 m a 4,8 m (656,5 a 653,2)	Arcillas marrón rojizo	2,49E-05	2,49E-07	2,15E-02
S-3	6,0 m a 10,0 m (652,0 a 648,0)	Arcillas marrón rojizo	5,00E-07	5,00E-09	4,32E-04
S-3	10,5 m a 15,0 m (647,5 a 643,0)	Arcillas marrón rojizo	5,06E-08	5,06E-10	4,37E-05
S-3	17,5 m a 20,0 m (640,5 a 638)	Arcillas marrón rojizo	1,11E-08	1,11E-10	9,61E-06

De acuerdo con los resultados de la Tabla 6, a excepción un ensayo realizado en el tramo más superficial del terreno, en el que se detectó una permeabilidad algo mayor al resto, probablemente debido a fenómenos de fisuración o alteración de estos suelos, en su conjunto el terreno presenta una permeabilidad muy reducida, con valores de permeabilidad comprendidos entre 5E-07 cm/s y 5E-08 cm/s.

Para valorar de forma cualitativa la permeabilidad del terreno, se puede comparar los valores obtenidos con los valores orientativos de permeabilidad indicados en la bibliografía, por ejemplo, en la Guía básica de diseño de sistemas de gestión sostenible de aguas pluviales en zonas verdes y otros espacios públicos publicada por el Ayto. de Madrid. En esta guía se indica para los valores de permeabilidad, la capacidad de drenaje que tienen los distintos suelos tal y como se recoge en la gráfica de la figura 19.



Figura 19. Valores Orientativos coeficiente permeabilidad. Fuente: Excmo. Ayto. de Madrid

Comparando los valores obtenidos en los ensayos con los de la figura, se puede comprobar que el terreno tiene en general una capacidad de drenaje muy pobre.

e) Características mecánicas

Para la caracterización mecánica (propiedades resistentes y de deformabilidad) de los terrenos reconocidos, se dispone de los resultados de ensayos de corte directo, de compresión simple y de los diferentes ensayos in situ realizados en el interior de los sondeos: ensayos de penetración SPT y toma de muestras inalteradas y ensayos presiométricos.

Se han realizado además en laboratorio, cuatro ensayos de corte directo en condiciones drenadas y con consolidación previa, y trece ensayos de resistencia a compresión simple.

Los resultados de los ensayos de corte directo (cohesión y ángulo de rozamiento) realizados en muestras de estos suelos se recogen en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados de ensayo de corte directo

Sondeo	Prof. media. y cota de muestra	Unidad geotécnica	Cohesión (kPa)	Angulo rozamiento interno ($^{\circ}$)
S-1	14,6 m (641,1)	Arcillas marrón rojizo	26,4	20,9
S-2	7,3 m (638,7)	Arcillas marrón rojizo	36,4	28,3
S-2	18,1 m (627,9)	Arcillas yesíferas	54,0	13,8
S-3	12,2 m (645,8)	Arcillas marrón rojizo	40,7	15,4

De acuerdo con los resultados obtenidos, los valores de cohesión quedan comprendidos entre 26 kPa y 54 kPa, y los del ángulo de rozamiento interno entre $14,0^{\circ}$ y $28,5^{\circ}$, aproximadamente.

Estos resultados ponen de manifiesto un comportamiento mecánico propio de suelos cohesivos, con valores elevados de cohesión y moderados a reducidos del ángulo de rozamiento interno. Los valores más bajos del ángulo de rozamiento interno obtenidos probablemente están relacionados con la presencia de planos de exfoliación característicos en suelos arcillosos preconsolidados.

En cuanto a los valores de resistencia a compresión simple, en los trece ensayos realizados, se han obtenido valores de resistencia comprendidos entre 190 kPa y 595 kPa, aproximadamente, con un valor medio para el conjunto de las muestras ensayadas del orden de 400 kPa, sin existir una diferencia evidente entre los suelos de ambas unidades diferenciadas. Estos resultados ponen de manifiesto la consistencia dura del terreno en su conjunto. A partir de los valores de resistencia a compresión simple se determina el valor de la resistencia al corte sin drenaje C_u , que corresponde a la mitad de la resistencia a compresión simple. Se obtiene una resistencia al corte sin drenaje C_u del orden de 200 kPa.

Por otro lado, a partir de los ensayos de penetración realizados en el interior de los sondeos, se obtienen los valores del índice N_{30} , que indican la elevada resistencia a la penetración y consistencia dura. En la Figura 20 que se recoge seguidamente se muestran un gráfico de los valores del índice N_{30} corregidos con la profundidad. En esta figura se indica la cota media de la base de la celda que corresponde a la 639,0.

En este tipo de pruebas sí se advierten valores más elevados para las arcillas yesíferas, en los que en numerosos casos se alcanzó el rechazo y que se representan en la siguiente figura con un valor $N_{30} = 100$.

También puede observarse en esta figura, que en el tramo más superficial del terreno (<2,5 m) se han obtenido valores del índice N_{30} algo menores al resto de ensayos, en cualquier caso indicativos de una consistencia rígida.

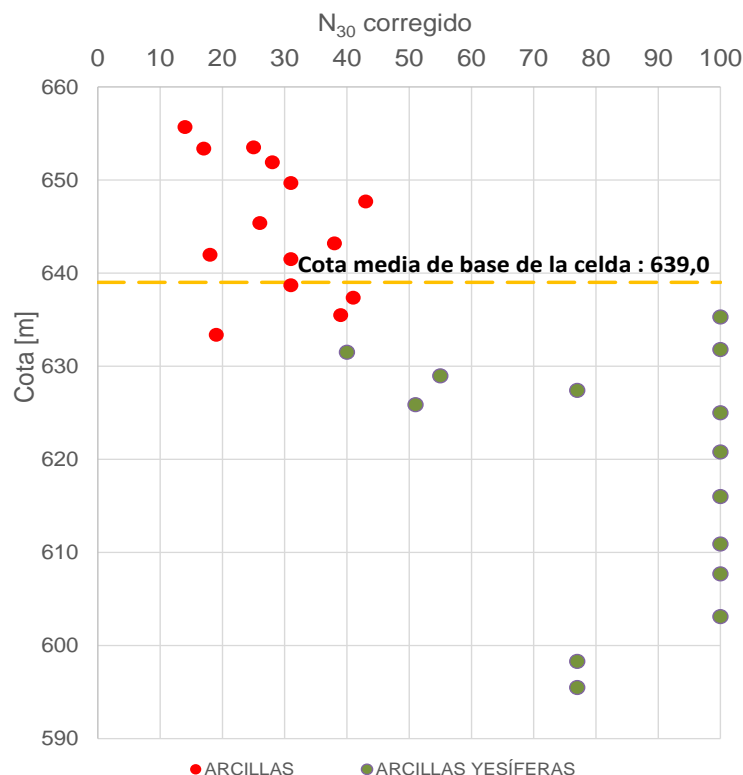


Figura 20. Índice N_{30} corregido con la cota

A partir del índice N_{30} corregido se pueden obtener mediante correlaciones empíricas algunos parámetros geotécnicos. En el caso de los suelos cohesivos, se puede estimar, la resistencia al corte sin drenaje (C_u) tal y como se recoge en la figura 21.

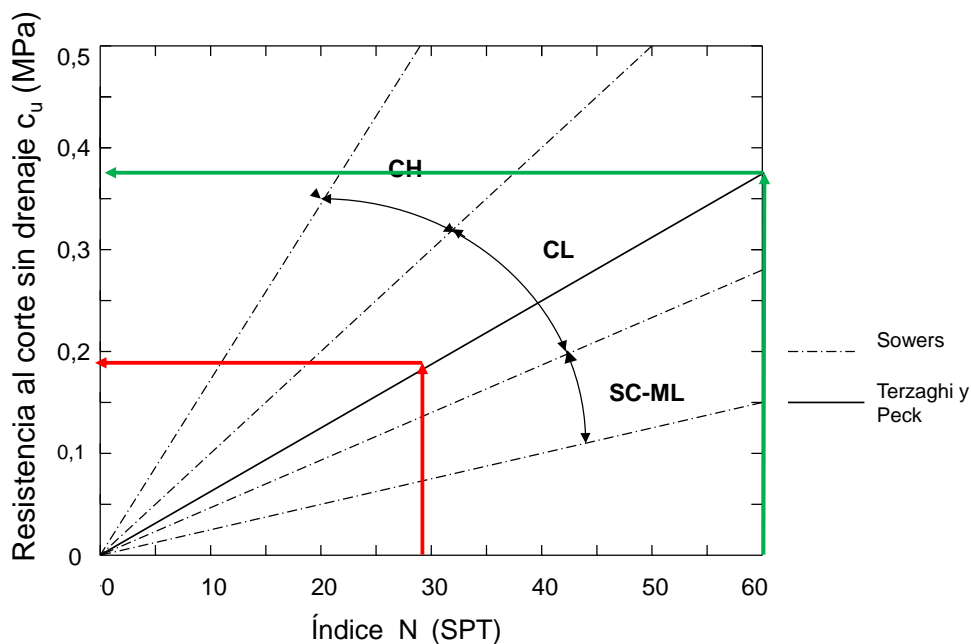


Figura 21. Resistencia al corte sin drenaje de los materiales terciarios en función del SPT

En este caso si se considera un valor del índice N_{30} medio de 29 y 60 para el nivel superior de arcillas marrón rojizas y el nivel inferior de arcillas yesíferas respectivamente, se deducen valores de resistencia al corte sin drenaje (c_u) del orden de 0,19 MPa para el nivel de arcillas marrón rojizas y 0,37 MPa para el nivel de arcillas yesíferas.

El valor obtenido con esta correlación es similar al obtenido en los ensayos de resistencia a compresión simple para el nivel superior de arcillas marrón rojiza y es de casi el doble en el nivel inferior de arcillas yesíferas.

Por otro lado, para analizar las propiedades deformacionales de estos suelos se han efectuado seis ensayos presiométricos en el interior de sondeos.

En la Tabla 8, se resumen los valores deducidos de los parámetros deformacionales a partir de los ensayos presiométricos.

Tabla 8. Resultados de ensayos presiométricos sustrato terciario

Ensayo	Profundidad media del ensayo (cota)	Unidad geotécnica	Módulo presiométrico en carga, E_{p1} (MPa)	Presión Límite estimada, P_l (Kp/cm ²)
S-1	22,7 m (633,0)	Arcillas rojizas	136,1	37,2
S-1	27,3 m (628,4)	Arcillas yesíferas	612,6	84,9
S-2	4,6 m (641,4)	Arcillas rojizas	29,7	25,1
S-2	8,1 m (637,9)	Arcillas rojizas	69,0	32,6
S-2	11,6 m (634,4)	Arcillas yesíferas	427,3	70,5
S-2	14,8 m (631,2)	Arcillas yesíferas	307,2	86,9

Se observa que en su conjunto presentan una resistencia elevada y una deformabilidad reducida, que aumenta con la profundidad. En este sentido en el nivel de arcillas yesíferas la rigidez del terreno es notablemente superior.

Existen correlaciones entre el módulo presiométrico y el módulo de elasticidad en carga, que se determinan a partir de la relación entre el módulo presiométrico y el módulo edométrico del terreno, que tienen en cuenta su naturaleza mediante el empleo de un factor reológico.

$$E_{oed} = E_{p1}/\alpha$$

Donde:

E_{oed} : Módulo edométrico (MPa)

E_{p1} : Módulo presiométrico (MPa)

α : factor reológico, de valor 2/3, para arcillas.

Por otro lado, para estimar el módulo de elasticidad existe una relación con el módulo presiométrico que se indica a continuación.

$$E_{oed} = E/\beta$$

Donde:

E_{oed} : Módulo edométrico (MPa)

E : Módulo de deformación elástica (MPa)

β : $\beta = 1 - (2 \cdot \nu^2 / (1 - \nu))$, ν es el coeficiente de Poisson que a estos efectos se ha considerado de valor 0,28 para estos suelos terciarios.

En la tabla 9 se exponen los valores de módulo elástico para carga estimados a partir de las correlaciones indicadas.

Tabla 9. Módulos presiométricos y elásticos en carga sustrato terciario

Ensayo	Profundidad media del ensayo (cota)	Unidad geotécnica	Módulo Elasticidad E en carga (MPa)
S-1	22,7 m (633,0)	Arcillas rojizas	160
S-1	27,3 m (628,4)	Arcillas yesíferas	719
S-2	4,6 m (641,4)	Arcillas rojizas	35
S-2	8,1 m (637,9)	Arcillas rojizas	81
S-2	11,6 m (634,4)	Arcillas yesíferas	501
S-2	14,8 m (631,2)	Arcillas yesíferas	360

f) Propiedades químicas de los suelos

Se han realizado determinaciones del contenido de sulfatos y sales solubles, contenido en yesos, del grado de acidez Baumann-Gully y contenido en carbonatos.

En la Tabla 10 se recoge un resumen de los principales resultados obtenidos.

Tabla 10. Resumen de la caracterización química

Unidad geotécnica	Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	SO ₃ (sulfatos solubles)	CaSO ₄ ·2H ₂ O (yesos)	CaCO ₃ (carbonatos)
Arcillas rojizas	7-15	≤ 0,077 %	≤ 0,1 %	Entre 1,9% y 3,9 %
Arcillas yesíferas verdosas	--	Entre 0,285 % y 11,9 %	Entre 0,011 % y 10,28 %	6,3 %

Se pone de manifiesto una diferencia de los resultados obtenidos entre ambas unidades distinguidas. Así, en la unidad superior de arcillas rojizas, la presencia de sales y yesos resulta en general reducida, mientras que en la unidad inferior resulta variable, en función de la presencia de materiales yesíferos de la muestra ensayada en cada caso.

En términos generales, puede considerarse que la unidad superior de suelos no presenta ninguna clase específica de exposición frente a hormigones, mientras que la unidad inferior se definiría como tipo XA3.

6.4. Resumen parámetros geotécnicos

Del conjunto de resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados en el terreno (ensayos "in situ" y ensayos de laboratorio), así como de la experiencia existente en este tipo de terrenos, se pueden considerar los siguientes parámetros geotécnicos característicos del terreno natural existente en el subsuelo:

Sustrato terciario de arcillas marrón rojizo de alta consistencia hasta una cota media 635,0

- Peso específico aparente, γ' : 19,0 KN/m³
- Cohesión, c' : 30 kPa
- Ángulo de rozamiento interno, ϕ' : 23,0°
- Resistencia al corte sin drenaje Cu: 200 kPa
- Módulo presiométrico, Ep1: 50,0 MPa
- Módulo de elasticidad, E: 60,0 MPa

Sustrato terciario hasta la máxima cota de investigación (596,0) constituido fundamentalmente por arcillas yesíferas gris verdoso de alta consistencia.

- Peso específico aparente, γ' : 19,0 KN/m³
- Cohesión, c' : 40 kPa
- Ángulo de rozamiento interno, ϕ' : 25,0°
- Resistencia al corte sin drenaje Cu: 200 kPa
- Módulo presiométrico, Ep1: 370 MPa
- Módulo de elasticidad, E: 430 MPa

6.5. Clasificación y aprovechamiento de materiales

Con la finalidad de estudiar el aprovechamiento de los suelos excavados para empleo como rellenos en distintas unidades de obra, se ha realizado la clasificación de los mismos siguiendo los criterios establecidos en la normativa de referencia en estos casos (Pliego de Prescripciones Técnicas de Obras de Carreteras, P.G.3).

De acuerdo con los ensayos realizados, se trata de suelos puramente cohesivos, con elevada plasticidad y presencia de sales solubles, incluida el yeso con distinta proporción. En general estos suelos se pueden clasificar como “suelos marginales” y, en algún caso, como “suelos inadecuados”.

Estos suelos, no podrían ser empleados directamente en rellenos convencionales de terraplén o localizados y habría que enviarlos a vertederos autorizados.

6.6. Características químicas de las aguas freáticas

Por otra parte, se ha realizado un análisis de las aguas freáticas. En la tabla 11 se presentan los resultados de los parámetros para la clasificación de la agresividad química de las aguas en contacto con el hormigón de acuerdo con el artículo 27 del Código Estructural.

Tabla 11. Determinaciones de la agresividad de las aguas freáticas

Determinación efectuada	Resultados obtenidos	Grado de agresividad (Tipo de exposición)		
	Agua freática S-1	XA1 Ataque débil	XA2 Ataque medio	XA3 Ataque fuerte
pH	8,1	6,5 - 5,5	5,5 – 4,5	< 4,5
Magnesio (mg Mg ²⁺ /l)	540	300 – 1.000	1.000 – 3.000	> 3.000
Sulfato (mg SO ₄ ²⁻ /l)	2.961	200 - 600	600 – 3.000	> 3.000
Ión amonio (mg/l)	5	15 - 30	30 - 60	> 60
Residuo seco (mg/l)	5.068	75 - 150	50 - 75	< 50

Los valores obtenidos en las determinaciones efectuadas son indicativos de que los elementos estructurales en contacto con aguas de características análogas a las ensayadas estarían sometidos a una clase específica de exposición XA2.

7.- ANÁLISIS SOBRE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN

7.1.- Condicionantes generales

A continuación, se resumen los condicionantes que existen para el diseño y construcción de la nueva celda del vertedero:

- La zona objeto de estudio en la que se ejecutará una nueva celda de vertido (tercera celda), se sitúa en terreno aledaño a la planta de secado térmico y compostaje y vertedero de lodos de la EDAR, junto a dos celdas existentes de vertido.

- Esta celda está diseñada mediante una serie de bancadas de altura variable, desde una cota de coronación máxima en torno a la 656,0 m hasta alcanzar la base de la celda que se encuentra a la cota media 639,0 m, que supone una profundidad máxima de excavación del orden de 17 m.
- La altura de las bancadas en general está comprendida entre 4,0 m y 7,0 m salvo algún tramo que llega a alcanzar los 11,0 m. La pendiente prevista de los taludes varía entre 1,9H:1,0V (28° con la horizontal) y 3,6H:1,0V (16° con la horizontal). De forma localizada, hacia los lados más cortos del recinto, el talud de la bancada que llega a la base de la misma puede tener una inclinación superior del orden de 1,2H:1,0V (39° con la horizontal).
- Desde el punto de vista geológico, y de acuerdo con la información obtenida en el reconocimiento geotécnico mediante sondeos, en la zona de emplazamiento de la celda, existe una unidad superior de arcillas marrones de tonalidad rojiza de estructura laminar litificada con algunos nódulos o niveles esporádicos de carbonatos. Estos suelos presentan un potencial expansivo alto. Estos suelos se detectan en la zona en estudio entre las cotas 636,6 y 633,0 aproximadamente y presentan una consistencia muy rígida a dura conforme aumenta la profundidad.

Por debajo de estos suelos y hasta la máxima profundidad de investigación (cota 595,30) se detectan unas arcillas yesíferas de color gris verdoso. Estas arcillas presentan también una estructura laminar litificada en la que aparecen tramos de yeso de naturaleza fibrosa o sacaroidea. La consistencia de estos suelos es dura y también presenta un potencial expansivo alto.

Teniendo en cuenta la cota de base de la celda (cota 639) y la estratigrafía del terreno, se puede comprobar que las excavaciones se efectuarán íntegramente dentro de la unidad de arcillas marrones rojizas de alta consistencia.

- Con relación a las condiciones hidrogeológicas del emplazamiento de la celda, los suelos son de carácter arcilloso y están preconsolidados presentando una estructura fisurada susceptible de almacenar agua. No obstante, la permeabilidad que presenta es muy reducida por lo que la capacidad de drenaje es muy pobre. De acuerdo con el reconocimiento efectuado, existe un nivel freático general con una superficie freática que parece adaptarse a la superficie del terreno, apareciendo a profundidades comprendidas entre 15 m y 20 m, aproximadamente, que corresponde a las cotas comprendidas entre 642,9 y 624,3.

Teniendo en cuenta que la cota de fondo de la base de la celda está en torno a la 639,0 es probable que en alguna zona de la celda, durante las excavaciones de la misma, se intercepte el nivel freático en los taludes de la parte inferior de la celda.

7.2.- Análisis de las condiciones de estabilidad de los taludes de excavación

Para el análisis de las condiciones de estabilidad de los taludes de excavación de la celda, por una parte se ha realizado comprobaciones de estabilidad local de los taludes de la celda de cada bancada para cada una de las inclinaciones consideradas en proyecto mediante un procedimiento habitualmente empleado como es el de los ábacos de Hoek & Bray que tiene en cuenta la presencia de nivel freático. Por otra parte se ha realizado un análisis de estabilidad general considerando del lado de la seguridad la sección completa que presenta el talud de mayor altura e inclinación de toda la celda mediante el empleo de programa de elementos finitos en dos dimensiones Plaxis 2D.

En todos los casos se ha obtenido el coeficiente de seguridad que presentan estos taludes.

Para el análisis de estabilidad se ha considerado la geometría de la celda facilitada por el Peticionario, se han tenido en cuenta los resultados del reconocimiento para definir la estratigrafía y posición de nivel freático, y se han empleado los parámetros recogidos en el apartado 6.4.

7.1.1 Comprobaciones de cálculo mediante los ábacos de Hoek & Bray

Este método se basa en el método del círculo de rozamiento (Taylor, 1948), y parte de las siguientes hipótesis que pueden ser aplicables en este caso:

- Material homogéneo.
- El deslizamiento es circular. No permite el análisis de superficies de cualquier otra geometría.
- Se supone que se forma una grieta de tracción en la superficie del talud o en el plano horizontal superior.
- Permite cinco posibilidades de flujo, empleando las presiones intersticiales deducidas de las soluciones de flujo estacionario de Casagrande.
- Los coeficientes de seguridad deducidos por este método se consideran como un límite inferior del lado de la seguridad.
- Los ábacos proporcionan un coeficiente F para la combinación grieta de tracción – superficie de deslizamiento más desfavorable.

Tal y como se indicó en el apartado 7.1, la altura de las bancadas en general está comprendida entre 4,0 m y 7,0 m salvo algún tramo que llega a alcanzar los 11,0 m. La inclinación respecto a la horizontal de los taludes de la celda está comprendida entre 16° y 28° . De forma particular se ha comprobado que hacia el este de la celda existe un tramo en el que el talud inferior tiene una pendiente de 39° .

Mediante este procedimiento se han efectuado cálculos en distintos escenarios de altura y pendiente de taludes, que engloba los casos más desfavorables posibles. En este caso de lado de la seguridad se considera que el terreno del talud está parcialmente saturado en su parte inferior (ábaco nº 3).

En la figura 22 se muestra el gráfico de Hoek y Bray con la determinación de los parámetros y en la tabla 12 se indica los resultados obtenidos para distintas alturas e inclinaciones.

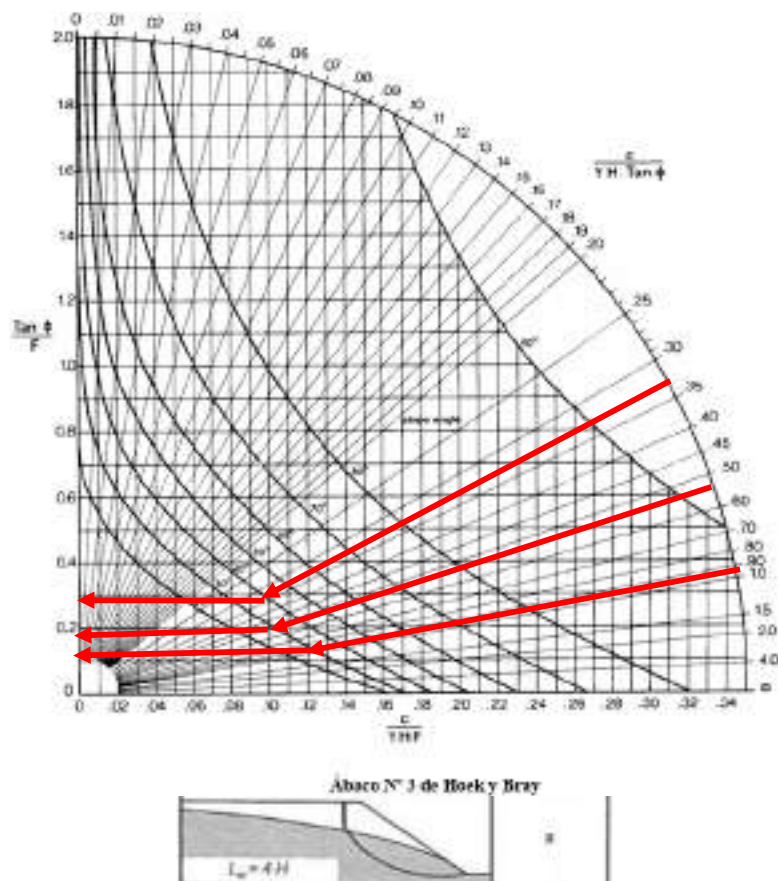


Figura 22. Determinación de factor de seguridad de talud. Abaco Hoek&Bray

Tabla 12. Resultados obtenidos

Talud comprobado		Factores del ábaco		
Altura (m)	Inclinación (°) respecto la horizontal	$\frac{c}{\gamma * H * \tan \phi}$	$\frac{\tan \phi}{F.S.}$	Factor seguridad F.S.
11,0	39°	0,34	0,28	1,52
7,0	28°	0,53	0,18	2,36
4,0	28°	0,93	0,12	3,53

De acuerdo con las comprobaciones efectuadas, el factor de seguridad frente a deslizamiento (F.S.) es en todos los casos superior a 1,5 valor, establecido en CTE-SE-C, en su apartado de Acondicionamiento del terreno, 7.2. *Excavaciones*, para taludes de excavaciones en suelos para situaciones persistentes y transitorias.

En este sentido, para todos los taludes de la celda que tengan una combinación de altura e inclinación inferiores a las indicadas, lógicamente, el coeficiente de seguridad será mayor al indicado en la normativa.

7.1.2. Comprobaciones de cálculo mediante métodos numéricos. Plaxis 2d.

Para las comprobaciones de estabilidad global se ha empleado la versión V2024.2.0 del programa de elementos finitos Plaxis 2D específico para el análisis y comprobaciones de problemas de interacción terreno-estructura.

Este es un programa de cálculo, mediante elementos finitos, para el análisis de la deformación y estabilidad de suelos, rocas y, en general, de estructuras geotécnicas. Realiza análisis en deformación plana y axisimétricos, y utiliza elementos triangulares de 6 y 15 nodos. Permite modelizar elementos estructurales como muros, placas, túneles, zapatas, anclajes, geotextiles, etc., y también elementos de “interfase” que simulan correctamente los procesos de interacción terreno-estructura. Asimismo, permite el análisis de superficies de rotura de cualquier geometría, tanto círculos como líneas.

En Plaxis se pueden realizar los cálculos de acuerdo con varios modelos constitutivos: elástico, elastoplástico Mohr-Coulomb, y otros modelos elastoplásticos más avanzados, como modelos especiales para suelos “blandos” y suelos “duros” (hardening soil model, hardening Soil para pequeñas deformaciones, soft soil creep model, etc.).

En este caso, se ha adoptado un modelo tipo “Hardening - Soil” para el sustrato terciario. Este, permite tener en cuenta fenómenos como la densificación, el incremento del módulo de rigidez con el incremento del confinamiento, la historia de tensiones del suelo, la fluencia plástica y la dilatancia. Para la disposición del fango en la celda, se ha considerado un modelo elástico dado que en este caso solamente se estudia el efecto que su carga produce sobre la celda.

Con relación al nivel freático se han considerado unas condiciones iniciales hidrostáticas con la presencia de un nivel freático continuo a cota variable en función de los resultados obtenidos en los piezómetros instalados.

En la figura 23, se muestra el modelo en 2 dimensiones (Plaxis 2D) y la malla resultante. Este modelo corresponde a la sección de proyecto denominada L-2. Se ha comprobado que en esta sección se encuentra el talud de mayor altura e inclinación de la celda.

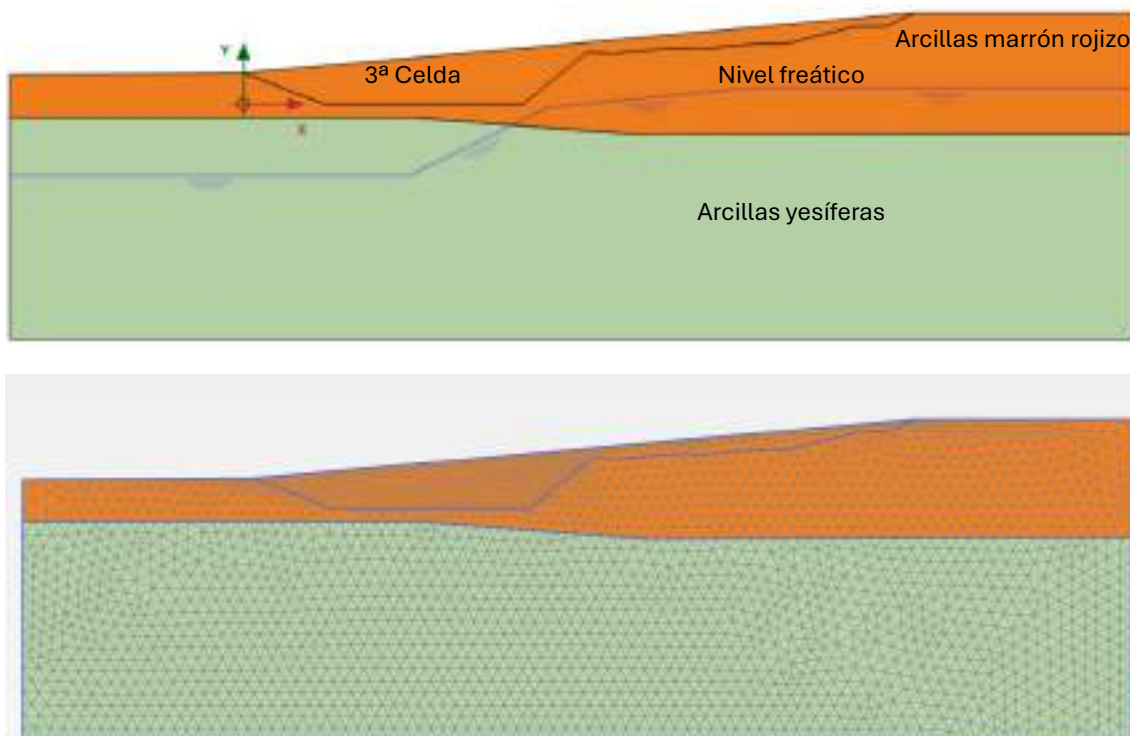


Figura 23. Modelo y malla de elementos finitos para determinar las condiciones de estabilidad de la celda (Plaxis 2d)

Para los suelos, se han adoptado los parámetros geotécnicos que, de acuerdo con la información disponible, caracterizarían de una forma más fiel cada uno de los materiales considerados, en función del modelo de comportamiento asignado a cada material.

Como se ha indicado anteriormente se han empleado distintos modelos constitutivos para el comportamiento de los niveles diferenciados, “soil hardening” para el sustrato terciario y modelo elástico para el material vertido, que tendrá aspecto de fango

En la tabla 13 se recogen los valores adoptados para los distintos parámetros requeridos.

Tabla 13. Parámetros del sustrato (comportamiento hardening soil)

Unidad geotécnica	Densidad aparente (kN/m ³)	Cohesión (kN/m ²)	Ángulo de rozamiento interno (°)	E_{50}^{ref} (kN/m ²)	E_{oed}^{ref} (kN/m ²)	E_{ur}^{ref} (kN/m ²)
Arcillas marrón rojizas	19,00	30,0	23,0	60.000	40.000	180.000
Arcillas yesíferas gris verdoso	19,00	40,0	25,0	430.000	344.000	1.290.000

Siendo:

E_{50}^{ref} : módulo de elasticidad al 50% de la carga de rotura para la presión lateral de referencia (E_{50}^{ref} en rama de carga primaria).

E_{oed}^{ref} : módulo de deformación en condiciones edométricas en la rama de carga primaria o noval para la presión de referencia.

E_{ur}^{ref} : módulo de deformación para los procesos de recarga o descarga ($E_{ur}^{ref} = 3,0 \cdot E_{50}^{ref}$).

Los cálculos efectuados se han realizado por fases, acorde con las etapas o procesos constructivos previstos. Las fases constructivas que se han tenido en cuenta han sido:

- Generación de tensiones iniciales.

Corresponde a las condiciones iniciales, y comprenden la configuración de la geometría inicial y los estados de tensión inicial. En esta fase se parte del terreno inalterado previo a cualquier intervención.

- Ejecución de la excavación total del recinto de la celda (figura 24).

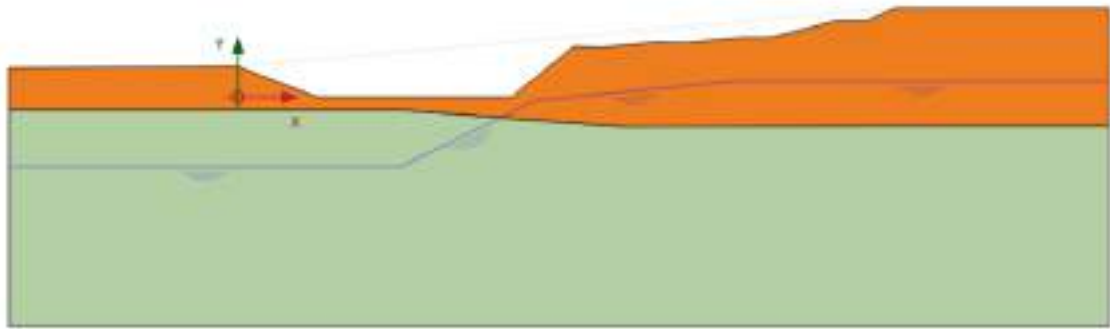


Figura 24. Fase de excavación

- Determinación del factor de seguridad global. Se realiza una reducción continua de los parámetros resistentes del terreno hasta que se produce el colapso del sistema, determinando así el coeficiente de seguridad.
- Ejecución del relleno de la celda con fangos (figura 25). En esta fase se puede estimar los posibles asentamientos que se pueden producir en el terreno de la celda debido a la disposición del relleno. Este aspecto se expondrá en el siguiente epígrafe.

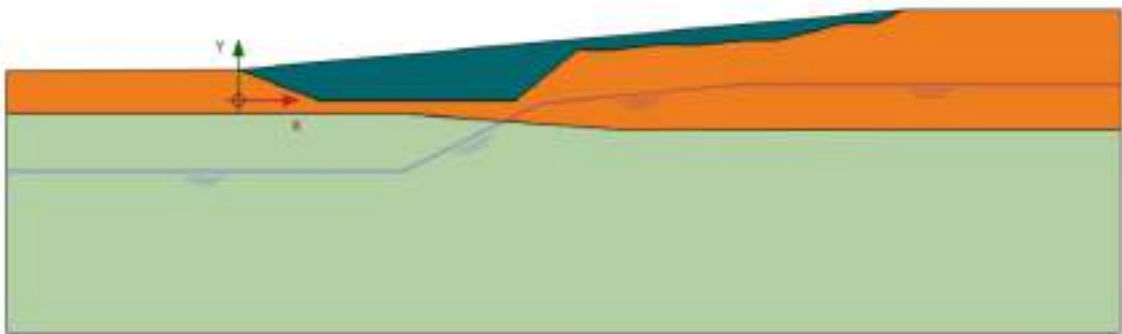


Figura 25. Fase de relleno de la celda

A continuación, se muestran algunas figuras de la salida gráfica del programa Plaxis, con los resultados más relevantes a efectos del presente informe.

En la figura 26, se muestra el mapa de movimientos que se obtiene de la celda tras efectuar la excavación completa.

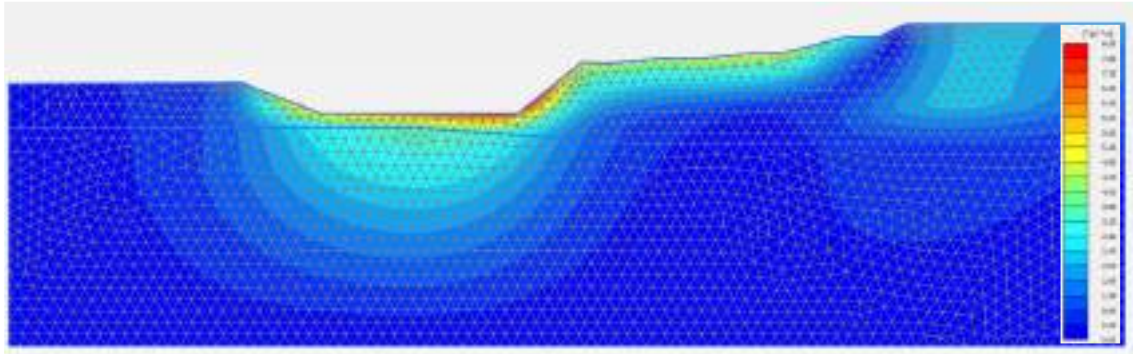


Figura 26. Movimiento del terreno tras efectuar la excavación de la celda.

De acuerdo con los resultados obtenidos se produce cierto levantamiento del terreno del orden de 8 mm del fondo de la celda, debido a la decompresión por la descarga del terreno que supone la excavación.

Por otro lado, cuando se procede a la reducción de los parámetros geotécnicos desde la situación inicial, con la finalidad de determinar el factor de seguridad del sistema, se comprueba que la zona de mayor inestabilidad se localiza lógicamente en el talud de la celda que presenta mayor inclinación y altura. En la figura 27, se muestra el detalle del deslizamiento de dicho talud.

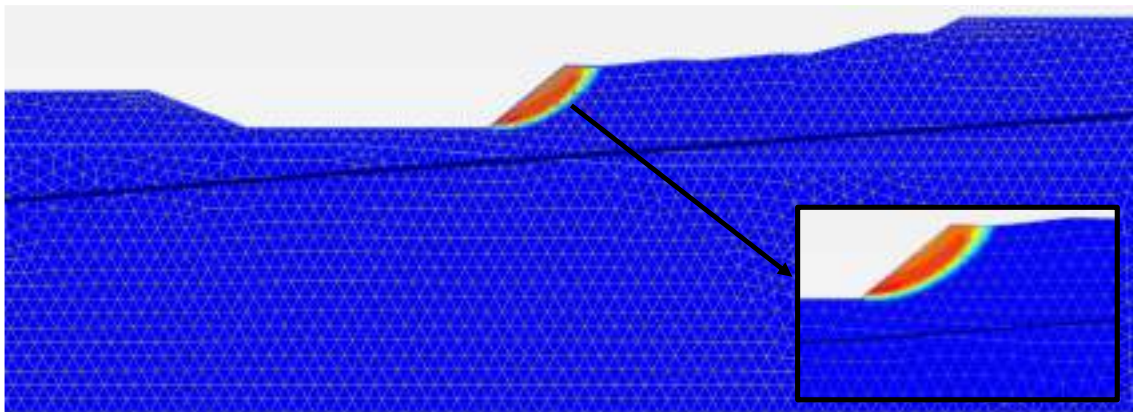


Figura 27. Inestabilidad el talud de la celda.

En este sentido, se ha determinado el coeficiente de seguridad tal y como se muestra en la gráfica de la figura 28.

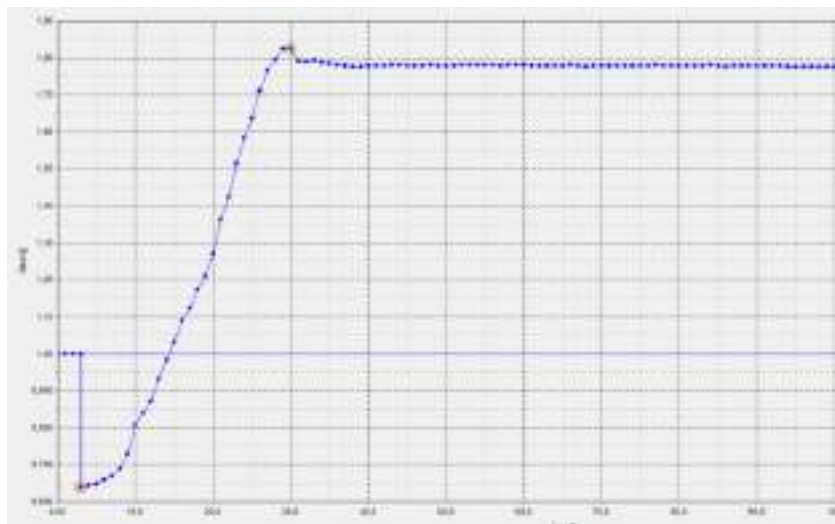


Figura 28. Determinación del factor de seguridad

El coeficiente de seguridad global es del orden de 1,78, superior a $F.S.=1,5$ indicado en el C.T.E.

Cabe indicar que el factor de seguridad determinado en este caso, que correspondería al colapso de 11 m y 39° de inclinación es superior al estimado en el apartado anterior mediante el ábaco de Hoek & Bray, de valor 1,52. Esto es debido a que, en el modelo, el nivel freático estaba por debajo de la cota máxima de excavación, es decir no saturaba la parte inferior del talud. En este sentido se ha realizado la comprobación en los ábacos considerando un suelo seco para el citado talud y hemos obtenido un factor de seguridad del orden de 1,76, similar al obtenido mediante procedimientos numéricos.

Por lo tanto, desde el punto de vista de la estabilidad global, los taludes propuestos en proyecto para la ejecución de la celda, teniendo en cuenta las características geotécnicas del terreno, resultan válidos.

7.3.- Comprobación de las condiciones de cimentación de la celda frente a limitación de movimientos. Estado límite de servicio

Con relación a los asientos esperables de la celda por la aplicación de las cargas debidas a la disposición del material de vertido, hay que tener en cuenta que el sustrato terciario está preconsolidado y presenta una consistencia elevada. Además, se ha previsto que la configuración final de la celda tras su relleno sea similar a la original.

En este caso, teniendo en cuenta que la configuración inicial y final serán similares, se debe tener en cuenta el concepto de la carga neta transmitida al terreno de apoyo.

Efectivamente, el vaciado de la celda supone una excavación importante, de hasta 17 m, por lo que las tensiones efectivas verticales iniciales a nivel de la base de la celda (si se considera un valor del peso específico de 19 kN/m^3), sería del orden de 325 kN/m^2 .

Este valor debe compararse, a efectos de evaluación de asientos con la presión que transmita la carga del vertido de residuos. En este sentido, si se considera, del lado de la seguridad, que el peso específico del vertido es del orden de 17 kN/m^3 , la carga transmitida sería del orden de 288 kN/m^2 , inferior a la inicial, por lo que en realidad supone una descarga y los asientos deberían ser prácticamente nulos.

En la figura 29, se muestra la salida grafica del modelo Plaxis con los asientos que se producen en el fondo de la celda tras el vertido del material.

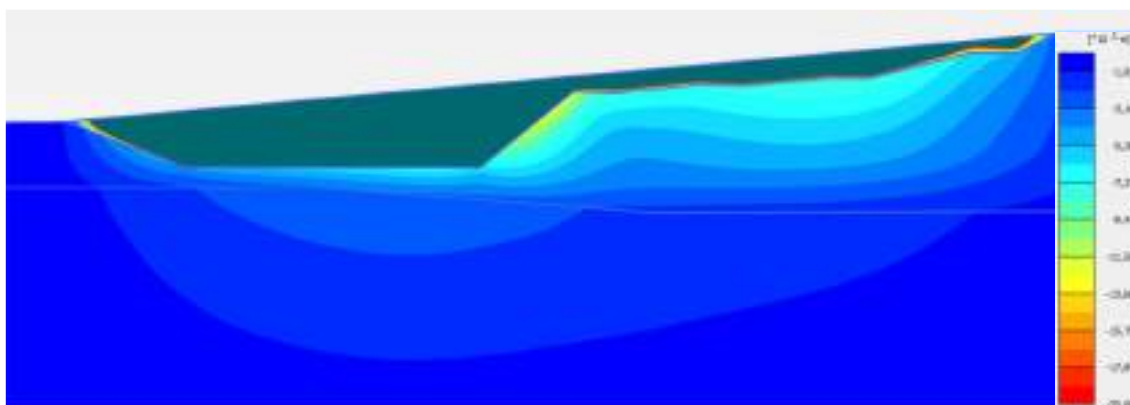


Figura 29. Asientos en la celda tras vertido de material.

Se obtiene un asiento máximo del orden de 2 cm en el fondo de las bancadas superiores, ya que, en esta zona, aunque la carga aplicada de altura de vertido es menor, la preconsolidación del terreno natural por efecto de la excavación previa es más reducida.

En el fondo del vertedero, el asiento obtenido es inferior a 1 cm.

La estimación de la magnitud de los asientos que se producen en el cuerpo del propio vertido y su evolución quedan fuera del objeto de este informe.

8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN

De acuerdo con la información facilitada e investigación realizada se pueden establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Las excavaciones para el recinto de la celda se realizarán en la unidad superior de arcillas marrones de tonalidad rojiza de estructura laminar litificada que presentan un potencial expansivo alto y una consistencia muy rígida a dura.

Por debajo de estos suelos y hasta la máxima profundidad de investigación (cota 595,30), se detectan unas arcillas yesíferas de color gris verdoso de consistencia dura y de potencial expansivo alto. No se han observado indicios de carstificación en los tramos con yesos.

- Con relación a las condiciones hidrogeológicas del emplazamiento de la celda, los suelos son de carácter arcilloso y están preconsolidados, presentando una estructura fisurada susceptible de almacenar agua. No obstante, la permeabilidad que presentan es muy reducida, por lo que la capacidad de drenaje es muy pobre. De acuerdo con el reconocimiento efectuado, existe un nivel freático general con una superficie freática que parece adaptarse a la superficie del terreno, apareciendo a profundidades comprendidas entre 15 m y 20 m, aproximadamente, que corresponde a las cotas comprendidas entre 642,9 y 624,3.

Con relación a la posible filtración de lixiviados al terreno, cabe indicar que en el proyecto está previsto disponer una capa de impermeabilización y un sistema de recogida. En cualquier caso, las características impermeables del terreno son favorables para reducir la probabilidad de que se puedan producir filtraciones de lixiviados al nivel freático.

- De acuerdo con el análisis de estabilidad realizado, los taludes propuestos en proyecto para la ejecución de la celda resultan válidos, teniendo en cuenta las características geotécnicas del terreno.

No obstante, de acuerdo con la investigación realizada, los suelos afectados por la excavación de la celda presentan una plasticidad alta y son potencialmente expansivos, por lo que son susceptibles de experimentar procesos de meteorización o alteración superficial cuando se produzca la desecación superficial de los mismos, por lo que es posible que localmente puedan producirse mientras se encuentren a la intemperie algunas inestabilidades superficiales. Además, la escorrentía superficial durante episodios de lluvia puede originar en las paredes de la celda durante esta fase cárcavas que también pueden afectar localmente a la estabilidad de la superficie del talud.

Por ello, para reducir este efecto en los taludes de excavación, es especialmente importante cuidar el drenaje superficial y la protección de la superficie de los taludes frente a la erosión.

En este sentido, en el proyecto se ha contemplado la ejecución de una cuneta de guarda revestida en la coronación de la celda y se ha previsto disponer una capa de impermeabilización de la celda, con la que también se protegerá la superficie de los taludes de excavación.

Sin embargo, dadas las dimensiones de la celda, es probable que entre la ejecución de las excavaciones y la disposición de la capa impermeable discurra un periodo de tiempo suficiente como para que se pueda producir la desecación de la superficie del terreno. Por ello, se puede valorar que, hasta que se instale la capa de impermeabilización definitiva, se protejan provisionalmente los taludes a medida que se efectuaran las excavaciones mediante una lámina plástica.

- Dadas las características del terreno a excavar, constituido por el sustrato terciario de arcillas marrón rojizo de alta consistencia, las excavaciones se podrán efectuar mediante el empleo de maquinaria convencional de movimiento de tierras.

- De acuerdo con los ensayos realizados, los terrenos obtenidos en las excavaciones se clasifican de acuerdo con el Pliego de prescripciones técnicas de obras de carreteras (P.G.3), como “marginales”, por lo que no son aptos para su uso como rellenos convencionales, de terraplén o localizados en zanja.

En este sentido, para los terraplenes de la urbanización de esta obra, se deberá emplear un material clasificado en el P.G.-3, al menos como “tolerable” de carácter granular excepto en coronación del terraplén que deberá emplearse un suelo “seleccionado” como base para el apoyo de un posible pavimento.

La compactación de las capas de estos suelos se realizará en tongadas de espesor inferior a 30 cm hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 97% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado. En la capa de coronación en la que se empleará suelo seleccionado, la compactación no será inferior al 100% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado. En cualquiera de los casos, la humedad no diferirá más de dos puntos de la humedad óptima de dicho ensayo.

- Con relación a la ejecución de los pavimentos perimetrales, cabe indicar que en los reconocimientos realizados se han detectado suelos con un potencial expansivo elevado, que no son aptos para el apoyo directo, especialmente si se trata de pavimentos de hormigón.

Por ello, en las zonas en las que el pavimento no se disponga sobre un relleno de terraplén, se debería sustituir parte del terreno natural arcilloso por un suelo granular.

En este sentido, teniendo en cuenta las características expansivas del terreno, la sustitución debería ser del orden de 90 cm. La disposición de este relleno de sustitución se efectuaría como se indicó en el epígrafe anterior.

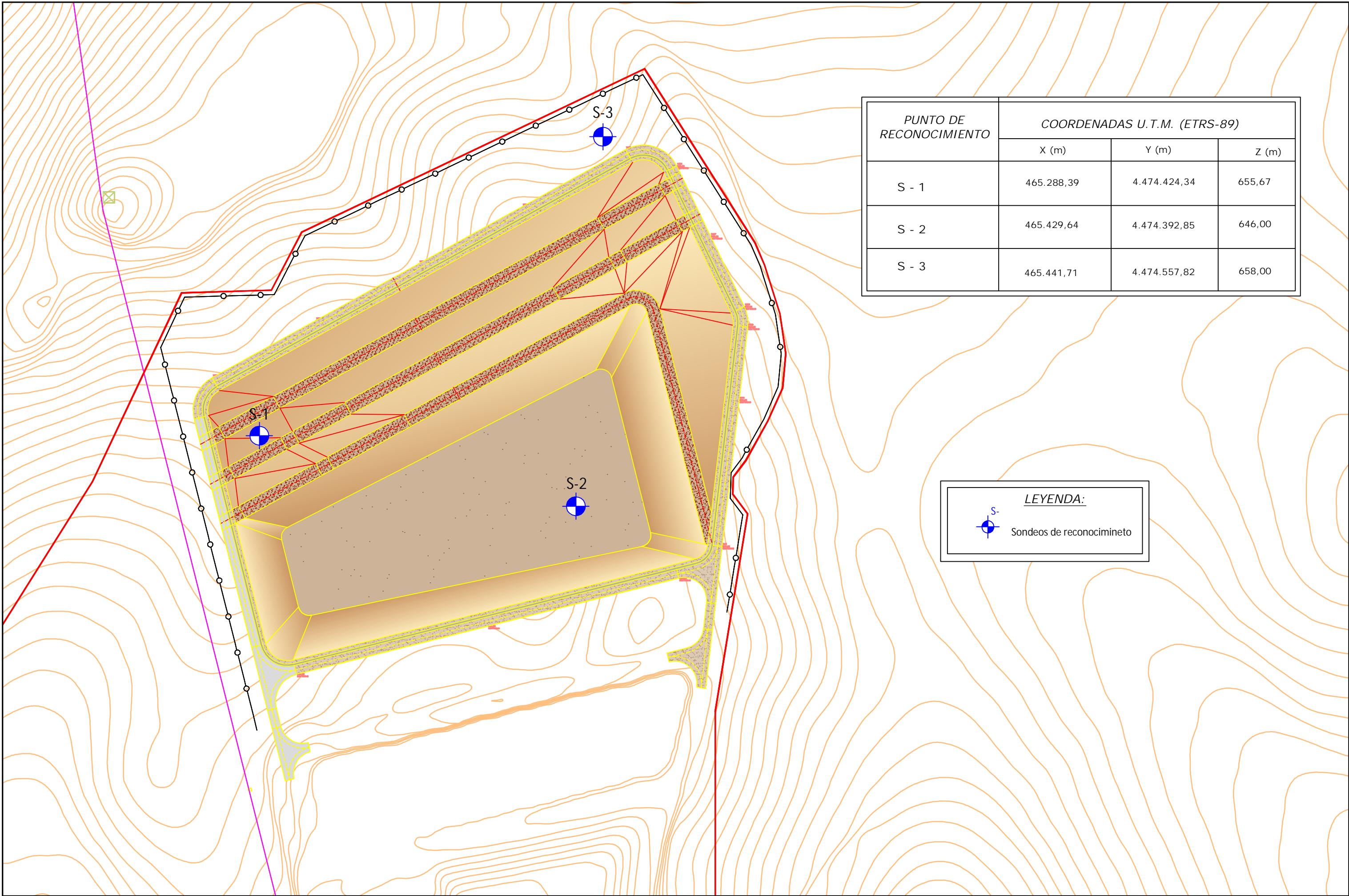
En el caso de las zanjas, en las que se efectuarán rellenos localizados, se deberá prestar especial atención a la compactación de la zona más próxima a los pozos de registro y a las tuberías, que son más sensibles por la dificultad del empleo de los equipos de compactación. En estos casos, si es necesario, se deberá reducir el espesor de tongada, especialmente si se emplean para estas zonas equipos con baja energía de compactación.

- Se deberá llevar a cabo un control de compactación cuyo objeto será comprobar por un lado que cada tongada cumple las condiciones de densidad seca y humedad, para lo que se efectuarán determinaciones “in situ” de la densidad y humedad, y, por otro lado, que las características de deformabilidad sean las adecuadas para asegurar un comportamiento aceptable del relleno, para lo que se realizarán ensayos de placa de carga conforme a la norma UNE 103-808. Este aspecto es importante especialmente en las zonas en las que existirán pavimentos.

Este informe consta de 38 páginas numeradas y seis anejos

En Torrejón de Ardoz (Madrid), a 3 de abril de 2025

ANEJO Nº 1: PLANTA DE SITUACIÓN DE LOS PUNTOS DE RECONOCIMIENTO

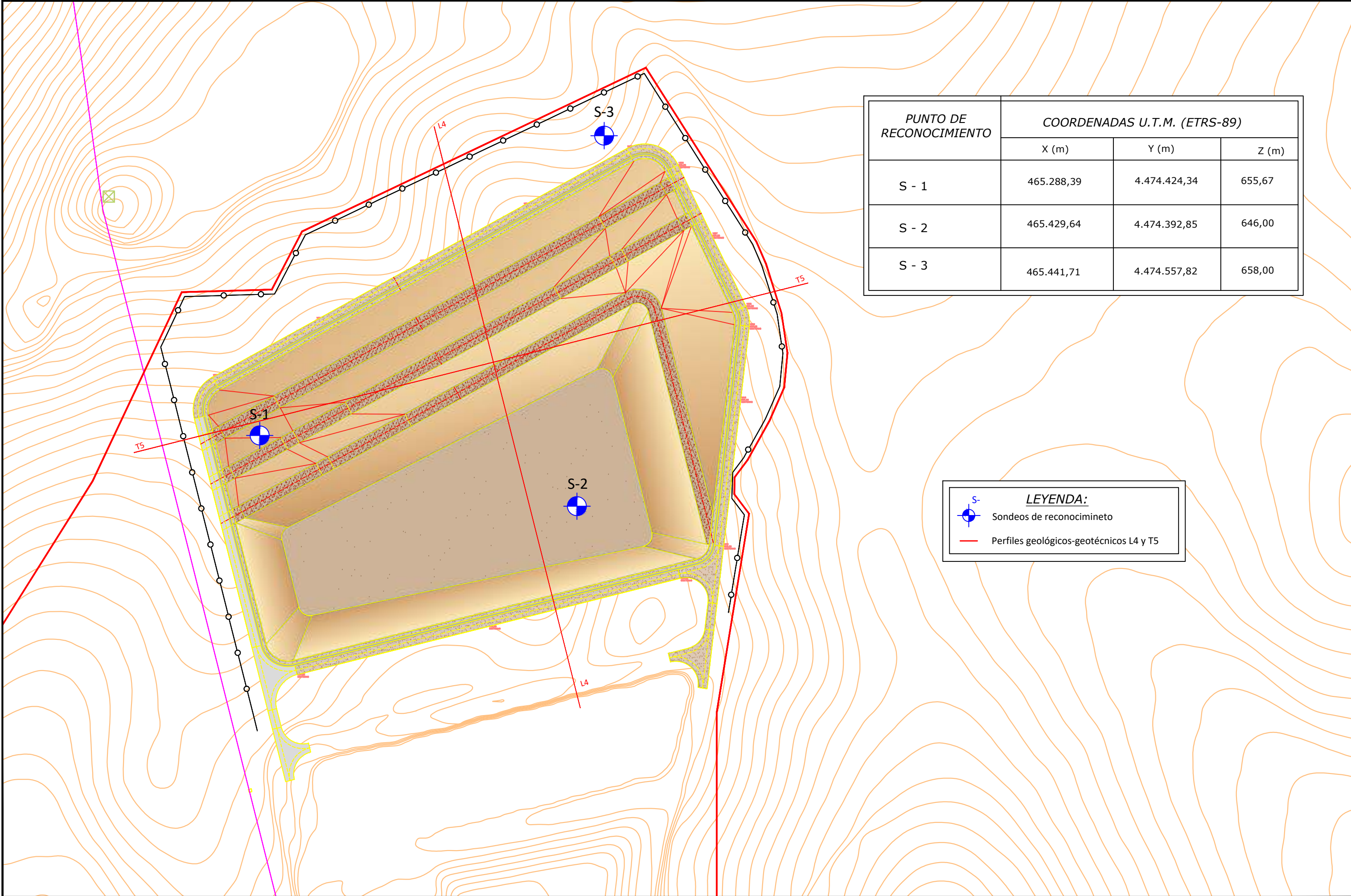


PUNTO DE RECONOCIMIENTO	COORDENADAS U.T.M. (ETRS-89)		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
S - 1	465.288,39	4.474.424,34	655,67
S - 2	465.429,64	4.474.392,85	646,00
S - 3	465.441,71	4.474.557,82	658,00


LEYENDA:


Sondeos de reconocimineto

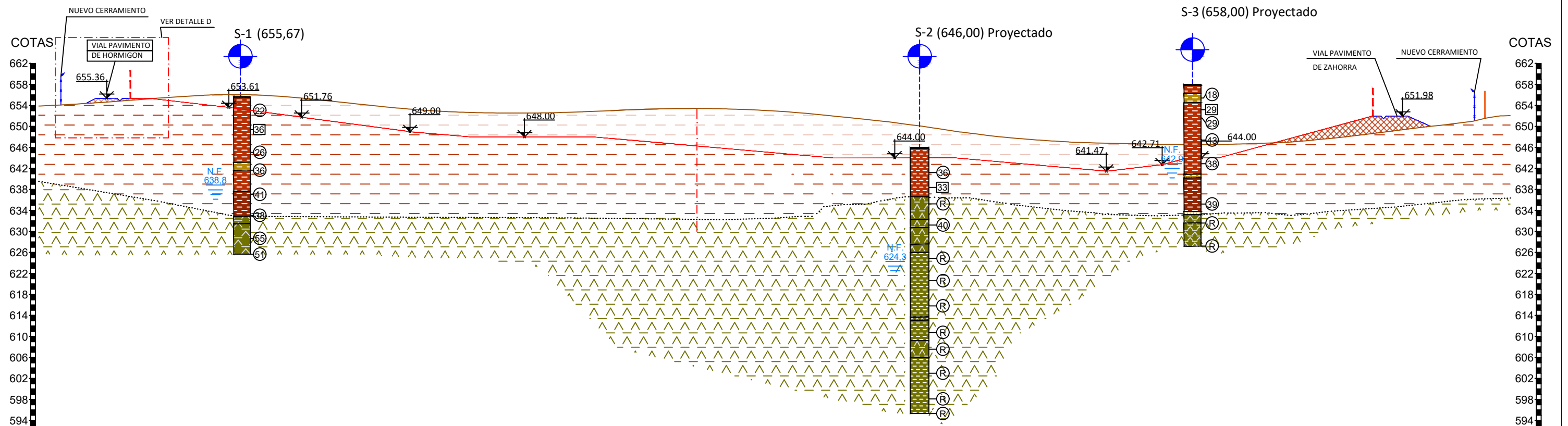
ANEJO Nº 2:
PLANTA SITUACIÓN PERFILES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS. PERFILES
GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS



PUNTO DE RECONOCIMIENTO	COORDENADAS U.T.M. (ETRS-89)		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
S - 1	465.288,39	4.474.424,34	655,67
S - 2	465.429,64	4.474.392,85	646,00
S - 3	465.441,71	4.474.557,82	658,00

 **LEYENDA:**
Sondeos de reconocimineto

 Perfiles geológicos-geotécnicos L4 y T5





ANEJO N.º 3: REGISTROS DE SONDEOS MECÁNICOS Y DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA

- REGISTROS DE PUNTOS DE RECONOCIMIENTO
- EMPLAZAMIENTOS
- CAJAS DE TESTIGO

- REGISTROS DE PUNTOS DE RECONOCIMIENTO



1 de 1

OBSERVACIONES: CAJAS PORTATESTIGO: 11 Durante la perforación se detecta nivel freático a 20 m. Se instala tubería piezométrica de 30 metros de longitud. En una medida de 14-03-2025 el nivel se encuentra a 19 m de profundidad. EQUIPO DE SONDEO: CEFRE D-106 SONDISTA: V. CAYADO (MACÍAS MELGAREJO). REVISADO: JOSÉ A. CORBACHO (ITEMAC)							
TIPO DE PERFORACION - LÉYENDA			N.F. = NIVEL FREATICO 	SPT: ENSAYO ESTANDAR DE PENETRACION MI: MUESTRA INALTERADA TP: TESTIGO PRECINTADO A: MUESTRA ALTERADA	L. PLASTICO L. LIQUIDO  ○ HUMEDAD	ENSAYOS CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL:	ENSAYOS PRESIOMÉTRICOS
P = PERCUSION RS = ROTACION BATERIA SENCILLA RD = ROTACION BATERIA DOBLE	W = CORONA WIDIA D = CORONA DIAMANTE	S = EN SECO A = CON AGUA				CD = CORTE DIRECTO T(CU) = TRIAXIAL CONSOLIDADO - SIN DRENAJE T(CD) = TRIAXIAL CONSOLIDADO - DRENADO	P.LIM = PRESIÓN LÍMITE ESTIMADA Ep1 = MÓDULO PRESIOM. CARGA Ep2 = MÓDULO PRESIOM. RECARGA



1 de 2

OBSERVACIONES: CAJAS PORTATESTIGO: 19 Se vacia el sondeo de agua al terminar mediante bombeo. Se instala tubería piezométrica de 50 m con tapa de registro. En una medida realizada el 14-03-2025 el nivel freático está a 24,15 m. EQUIPO DE SONDEO: ROLATEC RL-48-L. SONDISTA: D. MACÍAS (MACÍAS MELGAREJO). REVISADO: JOSÉ A. CORBACHO (INTEMAC)							
TIPO DE PERFORACION - LEYENDA			$\frac{N.F.}{\frac{1}{2}} = \text{NIVEL FREATICO}$	SPT: ENSAYO ESTANDAR DE PENETRACION MI: MUESTRA INALTERADA TP: TESTIGO PRECINTADO A: MUESTRA ALTERADA	L. PLASTICO <div><div></div></div> L. LIQUIDO <div><div></div></div> ○ HUMEDAD	ENSAYOS CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL: CD = CORTE DIRECTO T(CU) = TRIAXIAL CONSOLIDADO - SIN DRENAJE T(CD) = TRIAXIAL CONSOLIDADO - DRENADO	ENSAYOS PRESIOMÉTRICOS P.LIM = PRESIÓN LÍMITE ESTIMADA Ep1 = MÓDULO PRESIOM. CARGA Ep2 = MÓDULO PRESIOM. RECARGA
P = PERCUSION RS = ROTACION BATERIA SENCILLA RD = ROTACION BATERIA DOBLE	W = CORONA WIDIA D = CORONA DIAMANTE	S = EN SECO A = CON AGUA					






2 de 2

OBSERVACIONES: CAJAS PORTATESTIGO: 19 Se vacia el sondeo de agua al terminar mediante bombeo. Se instala tubería piezométrica de 50 m con tapa de registro. En una medida realizada el 14-03-2025 el nivel freático está a 24,15 m. EQUIPO DE SONDEO: ROLATEC RL-48-L. SONDISTA: D. MACÍAS (MACÍAS MELGAREJO). REVISADO: JOSÉ A. CORBACHO (INTEMAC)									
TIPO DE PERFORACION - LEYENDA			<div>N.F.</div> <div>= NIVEL FREATICO</div>	SPT: ENSAYO ESTANDAR DE PENETRACION MI: MUESTRA INALTERADA TP: TESTIGO PRECINTADO A: MUESTRA ALTERADA	<div>L. PLASTICO</div> <div>L. LIQUIDO</div> <div>○ HUMEDAD</div>	ENSAYOS CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL:		ENSAYOS PRESIOMÉTRICOS	
P = PERCUSION RS = ROTACION BATERIA SENCILLA RD = ROTACION BATERIA DOBLE	W = CORONA WIDIA D = CORONA DIAMANTE	S = EN SECO A = CON AGUA				CD = CORTE DIRECTO T(CU) = TRIAXIAL CONSOLIDADO - SIN DRENAJE T(CD) = TRIAXIAL CONSOLIDADO - DRENAJO	P.LIM = PRESIÓN LÍMITE ESTIMADA Ep1 = MÓDULO PRESIOM. CARGA Ep2 = MÓDULO PRESIOM. RECARGA		



PETICIONARIO...: CANAL DE ISABEL II		REGISTRO DE SONDEO
SITUACION.....: NUEVA CELDA VERTEDERO DE LOECHES		S-3
REFE. INTEMAC: I/LC-24045/EG	COORDENADAS	HOJA
REF:		1 de 1

<p>OBSERVACIONES: CAJAS PORTATESTIGO: 11</p> <p>Durante la perforación no se detecta nivel freático. Se instala tubería piezométrica de 30 metros de longitud y tapa de registro.</p> <p>EQUIPO DE SONDEO: ROLATEC RL-48-L. SONDISTA: D. MACÍAS (MACÍAS MELGAREJO). REVISADO: JOSÉ A. CORBACHO (INTEMAC)</p>

TIPO DE PERFORACION - LEYENDA			N.F.  = NIVEL FREÁTICO	SPT: ENSAYO ESTÁNDAR DE PENETRACIÓN MI: MUESTRA INALTERADA TP: TESTIGO PRECINTADO A: MUESTRA ALTERADA	L. PLÁSTICO	L. LÍQUIDO	ENSAYOS CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL:	ENSAYOS PRESIOMÉTRICOS
P = PERCUSIÓN RS = ROTACIÓN BATERÍA SENCILLA RD = ROTACIÓN BATERÍA DOBLE	W = CORONA WIDIA D = CORONA DIAMANTE	S = EN SECO A = CON AGUA			<div style="text-align: center;">  </div>	<div style="text-align: center;">  </div>	CD = CORTE DIRECTO T(CU) = TRIAXIAL CONSOLIDADO - SIN DRENAJE T(CD) = TRIAXIAL CONSOLIDADO - DRENADO	P.LIM = PRESIÓN LÍMITE ESTIMADA Ep1 = MÓDULO PRESIOM. CARGA Ep2 = MÓDULO PRESIOM. RECARGA

EMPLAZAMIENTOS

S-1



S-2



S-3



CAJAS DE TESTIGO

S-1



Sondeo S-1, caja 1, de 0,00 m a 2,80 m de profundidad.



Sondeo S-1, caja 2, de 2,80 m a 5,20 m de profundidad.



Sondeo S-1, caja 3, de 5,20 m a 7,60 m de profundidad.



Sondeo S-1, caja 4, de 7,60 m a 10,00 m de profundidad.



Sondeo S-1, caja 5, de 10,00 m a 12,80 m de profundidad.



Sondeo S-1, caja 6, de 12,80 m a 15,60 m de profundidad.



Sondeo S-1, caja 7, de 15,60 m a 18,00 m de profundidad.



Sondeo S-1, caja 8, de 18,00 m a 20,80 m de profundidad.





Sondeo S-1, caja 11, de 27,60 m a 30,00 m de profundidad.

S-2



Sondeo S-2, caja 1, de 0,00 m a 2,40 m de profundidad.



Sondeo S-2, caja 2, de 2,40 m a 5,20 m de profundidad.



Sondeo S-2, caja 3, de 5,20 m a 7,00 m de profundidad.



Sondeo S-2, caja 4, de 7,00 m a 9,30 m de profundidad.



Sondeo S-2, caja 5, de 9,30 m a 12,10 m de profundidad.