

PROYECTO GENERAL DE DESMANTELAMIENTO DE LA PLANTA QUERCUS DE FABRICACIÓN DE CONCENTRADOS DE URANIO (FASE I)

SAELICES EL CHICO (SALAMANCA)



**ANEXO I – PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA EJECUCIÓN DEL RECINTO DE
CONFINAMIENTO Y EL DESMANTELAMIENTO DE LA ERA DE LIXIVIACIÓN
ESTÁTICA DE LA PLANTA QUERCUS**

ANEJO 3 – ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LA ERA

JULIO-2024



ANEJO 3

ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LA ERA



ÍNDICE

A.3.1. INTRODUCCIÓN	3
A.3.2. ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAELICES EL CHICO (SALAMANCA)	4
A.3.3. ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAELICES EL CHICO (SALAMANCA)	149



A.3.1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se procede a la comprobación de la estabilidad a largo plazo de los taludes resultantes del diseño de la remodelación de la Era de Lixiviación Estática de la Planta Quercus, integrando todos los materiales que actualmente la forman.

Para el diseño del Recinto de Confinamiento se han tenido en cuenta los criterios para la disposición de los residuos establecidos en US - Nuclear Regulatory Commission: 10 CFR Part. 40 / 40 CFR Part 192. Domestic Licensing of Source Material. Health of Environmental Protection Standard for Uranium and Thorium Mills Tailings.

El diseño de los taludes de la Era de Lixiviación estática remodelada está de acuerdo con los criterios recogidos en el apartado 2, *Geotechnical Stability*, del documento *The U. S. Nuclear Regulatory Commission. (NRC) en la NUREG -1620 Rev.1 Standard Review Plan for the Review of a Reclamation Plan for Mill Tailings Sites Under Title II of the Uranium Mill Tailings Radiation Control Act of 1978 que ha sido adoptado como la normativa de referencia.*

A continuación se incluye el estudio realizado por la empresa GEOESTUDIOS ZAPATA, donde se relacionan las características de los distintos materiales que forman la era y las capas de cubierta, se presenta el proceso de cálculo de la estabilidad de los taludes, y por último se exponen los resultados obtenidos, así como las conclusiones obtenidas de los mismos.

Además, se incluye el estudio de terraplenes de prueba realizado por GEOESTUDIOS ZAPATA, recomendado por el estudio de estabilidad anterior, para comprobar la idoneidad de la puesta en obra de los materiales de la era en condiciones originales.



A.3.2. ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAELICES EL CHICO (SALAMANCA)

A continuación se incluye íntegramente el citado estudio de estabilidad del conjunto de materiales que están incluidos en la era de lixiviación.



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

Camino de las Aguas, 16-18 37003-SALAMANCA
Juan de Arespacochaga y Felipe, 6 – 28037-
MADRID

Tel.: 651 94 38 00

info@geoestudioszapata.es

www.geoestudioszapata.es

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A., S.M.E.

ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAELICES EL CHICO (SALAMANCA).

SALAMANCA

Ref: GT17056SA_rev4

Salamanca, septiembre de 2017



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

Camino de las Aguas, 16-18 37003-SALAMANCA

Juan de Arespacochaga y Felipe, 6 – 28037-
MADRID

Tel.: 651 94 38 00

info@geoestudioszapata.es

www.geoestudioszapata.es

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A., S.M.E.

ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAELICES EL CHICO (SALAMANCA).

ÍNDICE

Pág.

1 - INTRODUCCIÓN Y OBJETO.....	1
1.1 - General.....	1
2 - DOCUMENTACIÓN, NORMATIVA Y BIBLIOGRAFÍA.	3
3 - ANTECEDENTES. PLANTEAMIENTO DE LA CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN.....	5
3.1 - Breve descripción del proyecto.....	5
3.2 - Planteamiento de la campaña de investigación.....	6
4 - DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	9
5 - DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	17
5.1 - Introducción	17
5.2 - Trabajos de campo – Calicatas mecánicas.....	18
5.3 - Trabajos de campo – Humedad y densidad “in situ” por método nuclear.....	20
5.4 - Ensayos de laboratorio.....	23
6 - MARCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	27
6.1 - Geología general	27
6.2 - Geología local	30
6.3 - Ambiente geotécnico	31
6.4 - Condiciones hidrogeológicas. Nivel freático.....	32



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

Camino de las Aguas, 16-18 37003-SALAMANCA
Juan de Arespacochaga y Felipe, 6 – 28037-
MADRID

Tel.: 651 94 38 00

info@geoestudioszapata.es

www.geoestudioszapata.es

6.5 - Sismicidad.....	35
7 - CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES.....	37
7.1 - Introducción.....	37
7.2 - Mineral marginal agotado.....	39
7.3 - Tortas de neutralización.....	40
7.4 - Mezcla de mineral marginal agotado y tortas de neutralización - 2:1.....	47
7.5 - Mezcla de mineral marginal agotado y tortas de neutralización - 1:1.....	50
7.6 - Torta de neutralización estabilizada al 2 % de cal.....	52
7.7 - Resumen de los principales parámetros geotécnicos de los materiales.....	58
8 - ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA QUERCUS.....	61
8.1 - Introducción.....	61
8.2 - Soluciones para la remodelación de la Era Quercus.....	63
8.3 - Estabilidad de taludes a largo plazo.....	80
8.4 - Conclusiones para los cálculos de estabilidad.....	89
9 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91

APÉNDICE I : PLANO DE SITUACIÓN DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.

APÉNDICE II : SITUACIÓN DEL TRAZADO DEL PERFIL DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD. SALIDAS GRÁFICAS.

APÉNDICE III : PARTE DEL REGISTRO DE LAS CALICATAS MECÁNICAS.

APÉNDICE IV : PARTES DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.



ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A., S.M.E.

ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAELICES EL CHICO (SALAMANCA).

1 - INTRODUCCIÓN Y OBJETO

1.1 - General

La empresa **ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.M.E.**, (en adelante ENUSA), solicitó a D. Álvaro Rodríguez Zapata (Geólogo Col. nº 6.875), que actúa bajo la firma comercial GEOESTUDIOS ZAPATA, la elaboración de un estudio de estabilidad para el proceso de remodelación de la Era de lixiviación estática de minerales agotados, estructura perteneciente a la Planta Quercus, como parte del desmantelamiento previsto para la misma. Está situada en la parte norte de las antiguas explotaciones mineras de uranio de Saelices el Chico (Salamanca).

Se dispone de la memoria del *“PROYECTO CONSTRUTIVO DE LA EJECUCIÓN DEL RECINTO DE CONFINAMIENTO Y EL DESMANTELAMIENTO DE LA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA DE LA PLANTA QUÉRCUS, SAELICES EL CHICO (SALAMANCA) - Septiembre 2015”*, redactado por personal técnico de ENUSA y que ha sido facilitado a GEOESTUDIOS ZAPATA como documentación previa para el presente informe, junto con otra información solicitada.

Para la realización de este informe, GEOESTUDIOS ZAPATA ha llevado a cabo una campaña geotécnica basada en la ejecución de seis calicatas mecánicas, siete determinaciones de humedad y densidad “in situ” por métodos nucleares y una batería de ensayos de laboratorio.

Es objeto del presente informe dar cuenta del análisis de la documentación precedente, de los trabajos realizados, de las características del terreno investigado y



de las recomendaciones que se consideren oportunas para la puesta en obra y soluciones de diseño de los materiales existentes en la Era (mineral marginal agotado, tortas de neutralización, residuos de la obra civil y capas de sellado). Además, se realizará un análisis geotécnico pormenorizado de la estabilidad de los taludes y superficies remodeladas de la Era, teniendo en cuenta los volúmenes y las propiedades geotécnicas, tanto de los materiales originales como de sus mezclas y/o posibles tratamientos con cal.

Especial atención merecen las tortas de neutralización, dadas sus características, habiéndose estudiado su disposición tanto en su estado natural actual (solución planteada por ENUSA), como en condiciones de compactación referidas al Próctor normal, una vez desecadas convenientemente.

No es objeto del presente informe el diseño y procedimiento de mezcla en campo entre el mineral marginal agotado y los materiales de torta de neutralización, cualquiera que sea sus proporciones. Tampoco lo es, el diseño del movimiento de tierras para la reconfiguración final de la Era.

Para el diseño final de la Era será de aplicación la normativa vigente (NUREG-1620 rev. 1), en la que se construirá un talud con pendiente del 20 % (talud tipo 5H:1V) hasta los 3-4 m superiores de coronación, a partir de aquí la pendiente se reducirá a un 5 %, taludes similares a los empleados en las eras Elefante remodeladas y las escombreras mineras restauradas, aprobados, en su momento, por los organismos correspondientes (Consejo de Seguridad Nuclear, principalmente).

Esta fuera del alcance del presente estudio cualquier aspecto constructivo-estructural tanto del recinto de confinamiento como de la capa de sellado de la Era de lixiviación estática Quercus.



2 - DOCUMENTACIÓN, NORMATIVA Y BIBLIOGRAFÍA.

- 1- NUREG-1620 Rev. 1. Standard Review Plan for the Review of a Reclamation Plan for Mill Tailings Sites Under Title II of the Uranium Mill Tailings Radiation Control Act of 1978. US Nuclear Regulatory Commission.
- 2- Proyecto constructivo de la ejecución del recinto de confinamiento y el desmantelamiento de la era de lixiviación estática de la planta Quercus, SAELICES el Chico (Salamanca) --Anexo I. Memoria, anejos y planos – Septiembre de 2015. Redactado por personal técnico de ENUSA.
- 3- Esquema hidrogeológico de la Era Quercus. Jesús M^a Suso 2013 (Fuente: Proyecto constructivo Anexo I – Memoria pp 38).
- 4- Ministerio de Fomento. ROM 0.5-05 Recomendaciones Geotécnicas para las Obras Marítimas y/o Portuarias. Madrid 2005.
- 5- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Ministerio de Fomento
- 6- J.A.Jiménez Salas, J.L.de Justo Alpañés. Geotecnia y Cimientos I. 1975. Ed. Rueda.
- 7- J.A. Jiménez Salas, J.L. De Justo Alpañés, A.A. Serrano González. Geotecnia y Cimientos II. 1981. Ed. Rueda.
- 8- Luis González de Vallejo. Ingeniería Geológica. 2002. Ed. Pearson Educación.
- 9- Módulo X Estructuras de tierra. Máster en Mecánica del Suelo e Ingeniería de cimentaciones. CEDEX – Ministerio de Fomento.
- 10- DOMINGO, A.; OLÍAS, I.; TORROJA, J.; CASTANEDO, F. J. Y OTEO, C. (2000). “Metodología y estudio de la reutilización, con tratamiento de cal, de materiales arcillosos clasificables como marginales e inadecuados en la M-45



de Madrid”. Simp. Sobre Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte, Barcelona. Septiembre, pp. 483-96.

11- Interpretación de los Ensayos Geotécnicos en Suelos. Septiembre 2012. Ignacio Morilla Abad.

12- Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). Hoja 525 “Ciudad Rodrigo”. Escala 1:50.000.

13- Ortofotografías obtenidos en los vuelos PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea). Visor Iberpix.

14- SUSO, J. (2013): "Estudio del flujo del agua subterránea en las zonas restauradas de Mina Fe (Saelices el Chico, Salamanca)". Actualizaciones anuales y complementarias del informe en 2014 y 2015.



3 - ANTECEDENTES. PLANTEAMIENTO DE LA CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN

3.1 - Breve descripción del proyecto.

La Planta Quercus se diseñó y construyó para la fabricación de concentrados de uranio mediante tratamiento metalúrgico de los minerales de los yacimientos denominados FE, D y Alameda de Gardón (provincia de Salamanca). Estuvo en funcionamiento desde el 27 de abril de 1993 hasta julio de 2003.

Tras un periodo dilatado de trámites para validar la solicitud de autorización de desmantelamiento y clausura de la Planta (2005-2014), da entrada en vigor el R. D. 102/2014, de 21 de febrero, en el que se aplica un nuevo tipo de autorización para el desarrollo del proyecto de desmantelamiento de las instalaciones para el almacenamiento definitivo de residuos radioactivos. Finalmente tras solicitud de prórroga para clarificar la aplicación del nuevo reglamento (R.D. 102/2014), se presentó en septiembre de 2015 una nueva solicitud de desmantelamiento y cierre de la Planta Quercus (Fase I) mediante el Documento A) ESTUDIO DE SEGURIDAD y Documento A.2) PROYECTO GENERAL DE DESMANTELAMIENTO.

El objetivo que se persigue es que las condiciones radiológicas del emplazamiento restaurado sean los más parecidas a las originales y se garantice una estabilidad de los taludes suficiente como para evitar cualquier deformación dentro del cuerpo de la Era y de su capa de sellado.

Según el Proyecto constructivo (2015) la actuación de desmantelamiento y cierre se divide en Fase I, Fase II y Fase III. De manera muy resumida se detallan las tres fases:

Fase I: Desmantelamiento de instalaciones industriales ubicadas en la Parcela de Proceso y de la Era de lixiviación estática. Construcción de un recinto de confinamiento de materiales que han sido retirados de dichas instalaciones. Gestión de aguas y residuos radioactivos secundarios. Rehabilitación de la Parcela de Proceso y de la Barrera Final de Confinamiento.



Fase II. Se considera una “interfase” entre Fase I y III. Se trata de una fase de vigilancia y control de las estructuras desmanteladas de la Fase I y del mantenimiento del Dique. Gestión de aguas y de los residuos radioactivos secundarios.

Fase III: Afecta a la estructuras que no han sido desmanteladas.

En conclusión, el objeto del proyecto se centra en el diseño de un recinto de confinamiento que se ubicará de manera adyacente a la Era de lixiviación estática Quercus, en el que se depositarán los materiales procedentes del desmantelamiento de diversas instalaciones, y también, en el desmantelamiento de la Era que implicará una adecuada puesta en obra y estabilización del mineral marginal agotado (pizarras) y de la torta de neutralización de las aguas.

3.2 - Planteamiento de la campaña de investigación.

De acuerdo con el análisis de la información disponible y la visita realizada al lugar de emplazamiento el día 4 de julio de 2017, la Era de lixiviación estática Quercus se encuentra situada en al norte de las explotaciones mineras de SAELICES el Chico propiedad de ENUSA. Dicha Era se ha ido construyendo sobre materiales paleozoicos pizarrosos mediante el extendido de cuatro tongadas de mineral marginal agotado desde la cota +651m (pie de la primera tongada) a la +684 m (techo de la última tongada)¹. Además durante los últimos años se han ido acopiando en la parte alta de la Era, tortas de neutralización generadas durante el tratamiento de las aguas de la mina (aumento del pH por acidificación de las aguas) previo a su vertido al río Águeda. Si es cierto, que inicialmente se planteó un almacenamiento provisional de las tortas hasta su disposición final en el Dique de Estériles, pero el planteamiento actual contempla que se tratarán de forma conjunta con el material de mineral marginal agotado de la Era.

¹ Hay que señalar que, mientras no se indique expresamente otra cosa, todas las cotas son valores locales ("cotas ENUSA"), siendo 3,20 m superiores a las reales del punto U.T.M. (ETRS-89).



Fotografía 1. Vista panorámica de la Era de lixiviación estática Quercus. Se puede apreciar un acopio blanquecino en la parte superior correspondiente a la torta de neutralización que ha sido vertida.

La bibliografía geológica consultada pone de manifiesto que el subsuelo está constituido por arcosas y por debajo aparecería el sustrato paleozoico formado por pizarras fuertemente alteradas y pizarras sanas (pelitas grises) correspondiente al Complejo Esquisto-Grauváquico (CEG).

La red de drenaje más próxima al área de estudio discurre a 1,3 km al suroeste. Se trata del río Águeda cuyo trazado lleva una orientación de sureste a noroeste. En cualquier caso, el subsuelo está afectado por numerosas líneas de fracturación (permeabilidad secundaria) por las que suelen discurrir flujos de agua.

Según información aportada por el cliente la construcción de la Era se basó en el extendido mediante el vertido y débil compactación (no se empleó maquinaria de vibro-compactación) del mineral marginal agotado hasta la cota +687, a partir de aquí se empezó a verter la torta de neutralización sin extendido ni compactación ya que resultó inviable transitar por encima de estos materiales por su elevada plasticidad.



En estas condiciones se planteó una campaña de reconocimiento geotécnico basada en la ejecución de seis (6) calicatas mecánicas y siete (7) determinaciones de humedad y densidad “in situ” por método nuclear.

Sobre las muestras recuperadas en los acopios de las calicatas se realizaron una serie de ensayos geotécnicos con la finalidad de reconocer las propiedades geotécnicas de los materiales y sus implicaciones desde el punto de vista de su aprovechamiento y estabilidad a largo plazo.



4 - DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.

La zona objeto de estudio está situada en la “Finca Capilla del Río” en el término municipal de SAELICES el Chico, al oeste de la provincia de Salamanca. El acceso a la explotación minera se realiza mediante un vial asfaltado que parte del Km 7 de la carretera SA-324 entre Ciudad Rodrigo y Lumbrales (Véase Figura 1 y Figura 2).



Figura 1. Situación de la zona objeto de estudio.(Fuente: Iberpix)



Figura 2. Ortofoto en detalle con el área de estudio representada por un rectángulo en color rojo.



Aunque no es objeto del presente informe el tratamiento de los materiales ni cualquier aspecto relacionado con el diseño constructivo del recinto de confinamiento, cabe señalar que su emplazamiento se mantendrá adyacente a la Era Quercus en su flanco sureste. Albergará los materiales con entidad radiológica procedentes del desmantelamiento de la Planta Quercus sobre una superficie topográfica prácticamente subhorizontal y apoyará sobre materiales pizarrosos del Complejo Esquisto Grauváquico. En la siguiente figura se puede observar su situación:



Figura 3. Emplazamiento del Recinto de Confinamiento en sombreado anaranjado. (Figura extraída de la Memoria Anexo I del Proyecto pp 54).

El terreno de la parcela no presentó especiales problemas de accesibilidad a la hora de realizar los reconocimientos de campo. El área de lixiviación estática Quercus está formada por lo que se denomina “Mineral marginal agotado”. Se trataría de pizarras machacadas con granulometría comprendida entre 1 y 10 mm, con una ley media de 568 p.p.m. de U_3O_8 que se dispuso en diferentes niveles (también llamado “tongadas”) para ser sometidas a un proceso de lixiviación estática y así recuperar el uranio remanente.



La Era ocupa una superficie de 82.803 m². Está formada por cuatro tongadas (desde la cota +651 y la +684) con un talud medio de 34° y un volumen de mineral agotado de 774.763 m³.

Como se ha mencionado anteriormente, en los últimos años se han acumulado en la parte alta de la Era (entre las cotas +679 y +684), las llamadas “tortas de neutralización” generadas durante el tratamiento de aguas de mina previo a su vertido al río Águeda. Estas tortas en estado reciente o fresco (torta nueva) mantienen una morfología tableada formada por el filtro prensa, porcentajes de humedad muy elevados, textura jabonosa y coloración blanquecina-crema. En la deposición de las tortas más antiguas (torta vieja) se ha observado un horizonte de alteración (oxidación) de unos 30 cm de coloración ocre que recubre el resto de los materiales haciendo que se mantenga en buena medida el grado de humedad (diferencias de pérdidas del 40-50% en relación a la torta nueva). Los principales electrolitos de las tortas son el calcio (Ca), azufre (S), magnesio (Mg) y manganeso (Mn).

A rasgos generales y en cuanto a episodios de estabilidad de la Era se refiere, no se han observado procesos de inestabilidad de taludes en las diferentes tongadas de la Era. Si es perceptible la presencia de cárcavas producidas por los agentes atmosféricos (fundamentalmente por precipitaciones y escorrentía superficial). La disposición de las cárcavas se encuentra localizada en la coronación de los taludes de cada tongada con un ligero desparrame de material por erosión hacia la parte media del talud y hacia el pie. El flujo de escorrentía se recoge en unas balsas al pie de la era (al suroeste), para su transporte y tratamiento químico posterior en las plantas de acondicionamiento de efluentes.

Como resulta obvio pensar, y además se pudo comprobar, el vertido de los materiales de torta en la parte superior de la Era es susceptible de padecer fenómenos de colapso, e incluso, el tránsito con maquinaria en condiciones naturales resulta prácticamente inviable debido al elevado Índice de Plasticidad.



Aparte de los materiales reseñados, el terreno superficial e “in situ” de los alrededores de la Era se compone por 1,5 m de espesor de arcosas terciarias (arenas limo-arcillosas de grano grueso con baja plasticidad) que se prevén emplear en el diseño de la capa de sellado. Estos materiales aparecen en contacto neto por encima de las pizarras paleozoicas del CEG.

A continuación se presenta un reportaje fotográfico para ilustrar con mayor detalle el área de emplazamiento:



Fotografía 2. Vista general de la Era de lixiviación estática Quercus desde la parte sureste.



Fotografía 3. Vista general de la Era desde la zona de nave-taller.



Fotografía 4. Era de lixiviación estática desde el flanco este. Se pueden observar las cárcavas en la segunda tongada de mineral marginal agotado.



Fotografía 5. Detalle de acopio reciente de tortas de neutralización (torta nueva) en el que resultó inviable transitar con la retroexcavadora. Parte norte de la Era.



Fotografía 6. Acopio de torta antigua en la parte sur de la Era. Se puede observar el aspecto oxidado de la superficie de alteración.



En la siguiente figura se presenta el diseño de la Era de lixiviación estática completamente restaurada con la capa de sellado y cobertera vegetal.



Figura 4. Plano “Era de lixiviación restaurada topografía final con capas de cobertura”. (Figura extraída del Anexo I del proyecto Plano nº: A.2-AI-16).



5 - DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

5.1 - Introducción

La campaña de reconocimiento, diseñada por GEOESTUDIOS ZAPATA, consensuada con el cliente, se proyectó con objeto de llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Estudio de las propiedades geotécnicas de los materiales contenidos en la Era (mineral marginal agotado y torta de neutralización).
- Realización de una caracterización geológica y geotécnica básica de los materiales, sus mezclas y tratamiento con cal inducido.
- Determinación de la humedad y densidad “in situ” en varios puntos de la Era mediante método nuclear.
- Determinación de la presencia o ausencia del nivel freático.

Esta campaña consistió en la ejecución de seis (6) calicatas mecánicas y siete (7) ensayos para determinar la humedad y densidad “in situ” por método nuclear. Su emplazamiento aproximado puede verse en la Figura 5, y más en detalle, en el plano general de emplazamiento incluido en el Apéndice I.

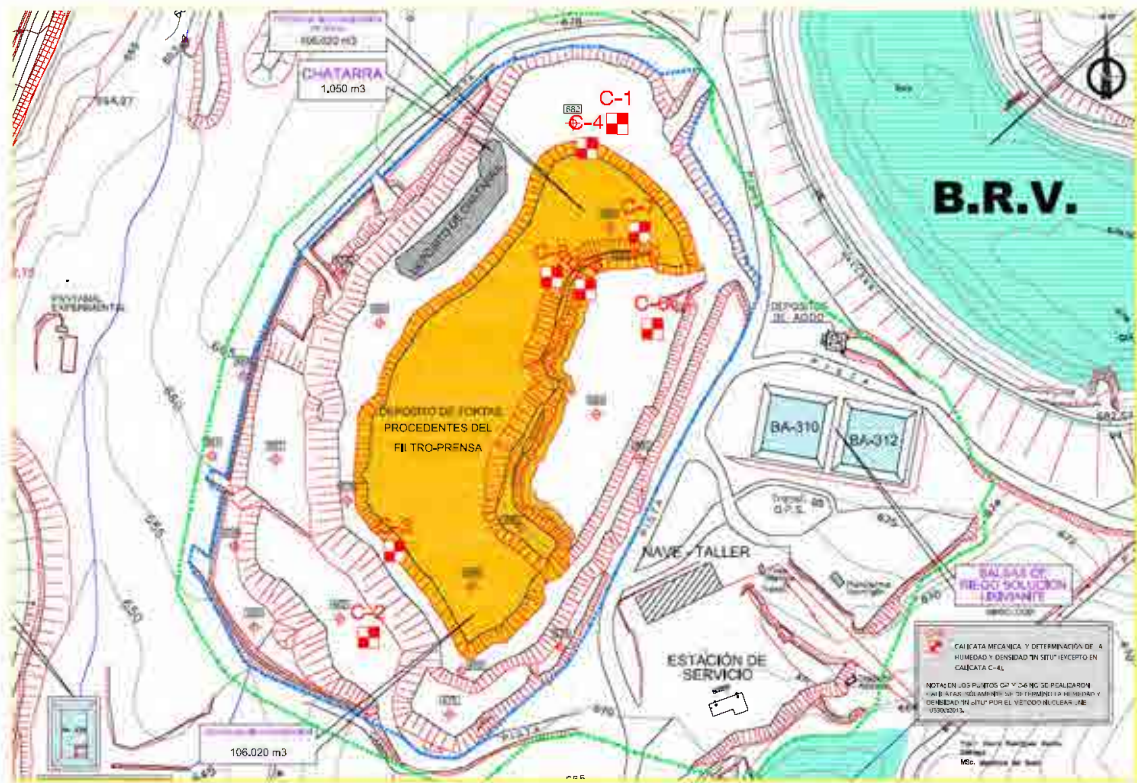


Figura 5. Situación de las prospecciones realizadas (Figura extraída del Plano N°: A.2 – Al-2 del proyecto)

Asimismo, a partir del plano N° A.2 – Al -16 se han trazado un perfil topográfico para el modelizado de los cálculos de estabilidad bajo la situación más desfavorable (altura y recorrido). Este plano se incluye en el Apéndice II.

5.2 - Trabajos de campo – Calicatas mecánicas.

Las calicatas o “catas” son una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico. Son excavaciones de profundidad pequeña a media, realizadas normalmente con pala retroexcavadora.

Estas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa.



Por consiguiente, se han realizado un total de seis (6) calicatas mecánicas con objeto de llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Diferenciar los distintos materiales que componen actualmente la Era.
- A partir de las observaciones de las calicatas, se han determinado los siguientes aspectos de interés: la estabilidad de las paredes, superficies de alteración, grado de humedad, expansividad, retracción, excavabilidad, etc...
- Determinar la posición del nivel freático, si lo hubiere.
- Toma de muestra alterada y/o inalterada para posteriores ensayos de laboratorio.

En todas las calicatas ejecutadas las paredes se mantuvieron estables, sin apreciarse ningún síntoma de desprendimientos o apariciones de flujos de agua. Además la excavación puede ser catalogada como “excavación fácil” en terreno compuesto por suelos.

En la tabla siguiente se resumen todas las calicatas realizadas, sus coordenadas y las profundidades a las que se tomó muestra de suelo.



Tabla 1. Resumen de las calicatas mecánicas

Penetrómetro	Coordenadas UTM	Muestra	Profundidad (m)	Material
C-1	X=701.575 Y= 4.502.436 Z=682	MA-1 y MI-1 a 1,20 m.	1,30	Mineral marginal agotado
C-2	X=701.480 Y= 4.502.120 Z=665	MA-1 y MI-1 a 0,80 m.	0,80	Mineral marginal agotado
C-3	X=701.494 Y= 4.502.167 Z=679	MA-1 y MI-1 a 1,50 m.	1,50	Torta vieja en talud
C-4	X=701.573 Y= 4.502.401 Z=683	---	1,00	Torga vieja en talud
C-5	X=701.571 Y= 4.502.320 Z=684	MA-1 y MI-1 a 1,10 m.	1,10	Torta nueva en talud
C-6	X=701.618 Y= 4.502.305 Z=684	MA-1 1,20 m.	1,20	Mineral marginal agotado con cierto grado de oxidación.

Para la toma de muestra de las tortas, bien sea de la torta vieja o torta nueva, se tuvieron que realizar las calicatas sobre el acopio del talud, dado que transitar por encima de las tortas de neutralización para emplazar las calicatas resultó imposible.

La testificación de las calicatas se encuentra recogida en el Apéndice III.

5.3 - Trabajos de campo – Humedad y densidad “in situ” por método nuclear.

Se realizaron siete (7) ensayos para determinar la humedad y densidad “in situ” por método nuclear, marca “Troxler”, para los diferentes materiales originales. Los objetivos que persigue este ensayo es la determinación de la humedad natural, densidad aparente y densidad seca de cada material, en condiciones naturales.

Al ser un método no destructivo permite repetir medidas en un mismo lugar y el análisis estadístico de estos resultados.



El alcance habitual de los equipos se encuentra entre 0 y 300 mm de profundidad de un suelo, si bien para la presente campaña de investigación se ha profundizado unos 250 mm, previa retirada de 50 a 100 mm de suelo superficial con el fin de evitar resultados anómalos.

La determinación de la densidad húmeda está basada en la interacción de la radiación gamma, emitida por una de las fuentes radiactivas del equipo, y los electrones exteriores (efecto Compton) de los átomos del material a ensayar, captados por un detector situado a determinada distancia de la fuente. Los fotones gamma viajan, a través del material a ensayar, desde la fuente alojada en el extremo de la varilla hasta un detector Geiger-Müller, o similar, ubicado en la base del equipo, que realiza el conteo de la radiación gamma.

La determinación de la humedad se base en la interacción de los neutrones rápidos, emitidos por una de las fuentes radioactivas del equipo, con los átomos de hidrógeno del material ensayado. En este proceso, los neutrones rápidos colisionan con los átomos de hidrógeno y son termalizados. Un detector de helio-3 o similar cuenta la cantidad de neutrones termalizados y los correlaciona con el valor de la humedad del material analizado, siendo esa cantidad directamente proporcional a la humedad.



**Fotografía 7. Ensayo nuclear para determinar la densidad y humedad “in situ” de un suelo.
Marca “Troxler”.**

En la tabla siguiente se exponen las coordenadas de los puntos ensayados y los resultados obtenidos:

Tabla 2. Resumen de los ensayos de humedad y densidad “in situ” por método nuclear.

Ensayo	Coordenadas UTM	Humedad natural (%)	Densidad seca (t/m ³)	Densidad aparente (t/m ³)	Material
C-1	X=701.575 Y= 4.502.436 Z=682	4,6	1,77	1,85	Min. Agotado
C-2	X=701.480 Y= 4.502.120 Z=665	4,3	1,79	1,87	Min. Agotado
C-3	X=701.494 Y= 4.502.167 Z=679	39,0	0,67	0,94	Torta vertida
C-5	X=701.571 Y= 4.502.320 Z=684	110,0	0,48	1,01	Torta vertida
C-6	X=7010.618 Y= 4.502.305 Z=684	3,9	1,67	1,73	Min. Agotado



Ensayo	Coordenadas UTM	Humedad natural (%)	Densidad seca (t/m ³)	Densidad aparente (t/m ³)	Material
C-7	X=701.609 Y= 4.502.368 Z=687	20,1	0,82	0,99	Torta vertida
C-8	X=701.549 Y= 4.502.339 Z=687	100,0	0,48	0,96	Torta vertida

Los ensayos para la determinación de humedad y densidad “in situ” han sido realizados por método nuclear siguiendo la norma UNE 103900:2013.

5.4 - Ensayos de laboratorio

Con las muestras obtenidas en las calicatas se han llevado a cabo ensayos de identificación y ensayos de carácter químico. Los ensayos se han realizado en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la empresa EUROCONSULT, S.A. Los ensayos se recogen en la tabla adjunta.

Tabla 3. Ensayos realizados

Tipo de Ensayos	Norma utilizada	Número de ensayos
Humedad natural de un suelo.	UNE 103-300/93	8
Análisis granulométrico por tamizado.	UNE 103-101/95	4
Límites de Atterberg	UNE 103-103/94	4
Ensayo de próctor normal	UNE 103500:1994	3
Corte directo tipo consolidado-drenado	UNE 103401/98	5
Hinchamiento libre	UNE 103601/96	3
Colapso	NLT-254	1
Tratamiento 2 % de cal viva.		1



El procedimiento para ensayar los materiales ha sido el siguiente:

1º Emisión de una primera petición de ensayos al laboratorio para ensayar una mezcla de materiales en proporciones 2:1 (2 mineral marginal agotado y 1 torta). Se determinaron las humedades iniciales y finales después del secado a 60 °C de cada material. Se realizaron ensayos de identificación, compactación, resistencia al corte directo en condiciones del Próctor normal y deformabilidad.

2º Emisión de una segunda petición de ensayos de laboratorio confeccionada en función de los resultados de los ensayos de la primera. Se realizó una mezcla equitativa en proporción 1:1 (1 mineral marginal agotado y 1 torta), y por otro lado, se realizó un estabilizado de la torta agregando un 2 % de cal viva. Se realizaron ensayos de identificación, compactación, resistencia al corte en condiciones del Próctor normal y deformabilidad.

3º Emisión de una tercera petición de ensayos de laboratorio consistente en la realización de dos (2) ensayos de corte directo consolidados-drenados de muestras inalteradas de torta vieja y torta nueva.

En ambas mezclas que se realizaron, conviene resaltar que resultó muy costoso llegar a conseguir una mezcla homogénea respetando las dosificaciones previstas, ya que el material de la torta tuvo que perder un elevado contenido de humedad y posteriormente tuvo que ser minuciosamente machacado para alcanzar una adecuada superficie específica de contacto entre los granos. Este procedimiento extrapolado a escala industrial, es decir, enfocado a la movilización de grandes volúmenes de material en la mina, llevaría consigo la implantación de instalaciones de mezclado con las dificultades propias del método, así como las implicaciones radiológicas que pudieran conllevar.

También se dispone de una serie de ensayos de laboratorio que se realizaron para la redacción del Proyecto constructivo que se incluirán en el apartado de caracterización



geotécnica de los materiales del presente informe. Este planteamiento conjunto permite aumentar considerablemente los datos geotécnicos disponibles y, al mismo tiempo, optimiza en el número de prospecciones y ensayos de laboratorio.

En el Apéndice IV del informe se incluyen los partes de laboratorio.



6 - MARCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

6.1 - Geología general

La zona pertenece a la hoja "525 – CIUDAD RODRIGO" del mapa geológico 1:50.000 editado por el *Instituto Geológico y Minero de España*, quedando definida bajo el epígrafe 14 – *Pelitas grises, pelitas negras y areniscas* la Figura 6. Por su parte en la Figura 7 se muestra la leyenda del mapa.

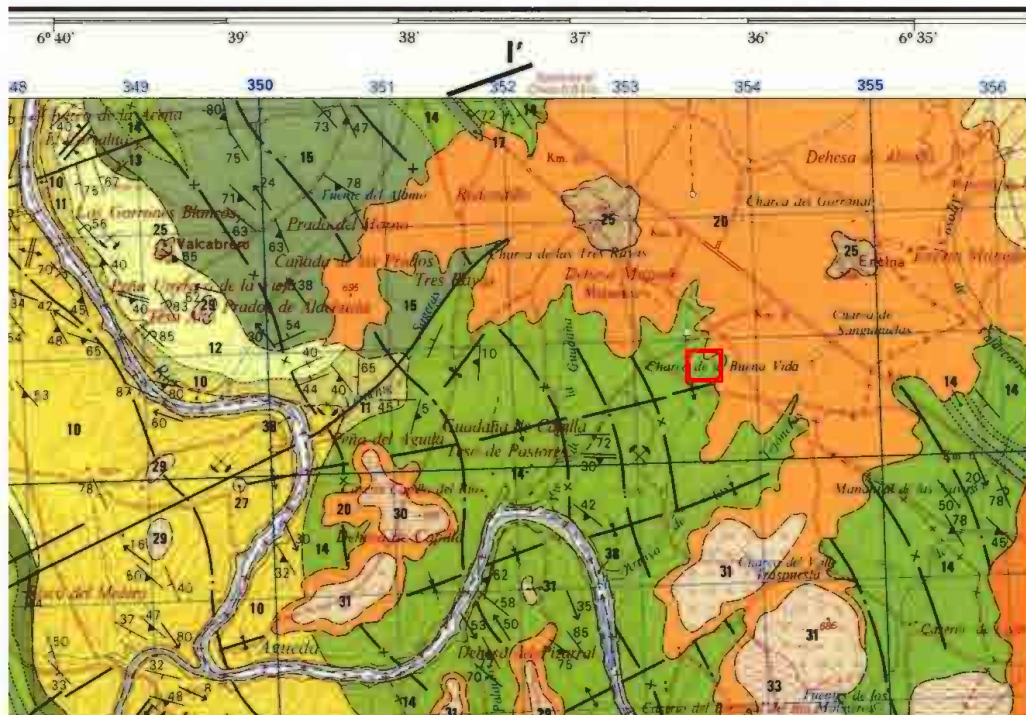
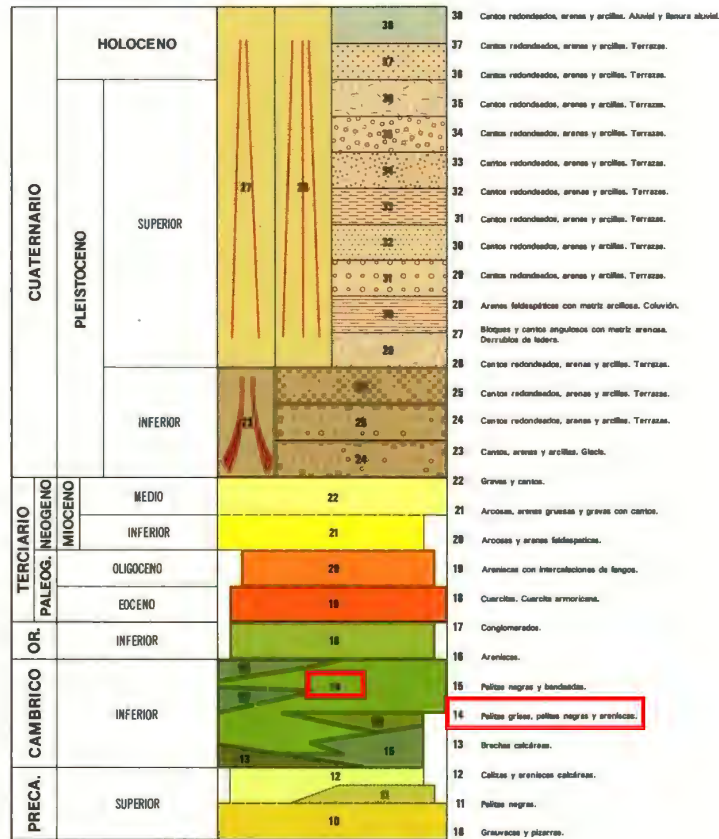
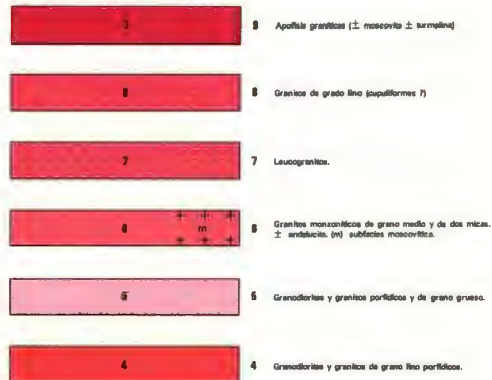


Figura 6. Porción del mapa geológico Magna con indicación del emplazamiento



ROCAS PLUTONICAS



ROCAS FILONIANAS



Figura 7. Leyenda del mapa geológico con unidades geológicas afectadas (en rojo)



En un contexto de geología general, la hoja de Ciudad Rodrigo se encuentra situada en la zona suroccidental de la provincia de Salamanca, y forma frontera con Portugal

El marco geológico se encuadra dentro del Macizo Hespérico y, más concretamente, en la parte meridional de la Unidad Geológica Centroibérica (Julivert et al., 1974).

Los materiales que configuran la Hoja se encuentran representados por rocas sedimentarias en un 85 % de la superficie total, que están, a su vez, incluidas dentro del Precámbrico Superior-Cámbrico Inferior, Ordovícico Inferior, Terciario y Cuaternario. El resto aparece ocupado por rocas graníticas del área de Vilar Formoso-Fuentes de Oñoro, pertenecientes al batolito de Guarda (Portugal).

La estructura responde a las mismas características regionales en la que se encuadra. Destacan como más acusadas la existencia de una primera fase de deformación hercínica que origina pliegues de dirección ONO-ESE de plano axial subvertical, en ocasiones convergentes al NE, que lleva asociada una esquistosidad de flujo S_1 muy marcada en los términos más pelíticos.

Con posterioridad se produce una segunda fase de deformación con pliegues de dirección general E-O y esquistosidad de flujo asociada con buzamientos generalizados hacia el sur. Por último, tienen lugar movimientos tardíos que originan algunos repliegues de las trazas previas de Fase 1 y 2, con esquistosidad de crenulación observada a nivel puntual.

Los sistemas de fracturación tardihercínica que reactivados por la Orogenia Alpina va a dar lugar a una tectónica de bloques, sobre los que se sedimentaron los materiales terciarios de la Fosa de Ciudad Rodrigo.

La morfología viene reflejada por un contraste marcado preferentemente por la diversidad litológica que condiciona los relieves o superficies existentes. Destacan las superficies desarrolladas por los abanicos terciarios adosados al bloque sur de la Fosa



de Ciudad Rodrigo. Son abundantes los arroyos que vierten sus aguas al río Águeda, pertenecientes todos ellos a la Cuenca del Duero.

6.2 - Geología local

La Era de lixiviación estática Quercus está emplazada sobre metasedimentos paleozoicos del Complejo Esquisto-Grauváquico (CEG).

Los materiales paleozoicos están formados por pelitas grises y negras y areniscas, que intercalan algunos niveles de areniscas y conglomerados. Además existe cartografía geológica de detalle, efectuada por ENUSA, durante la época de actividad minera (exploración y explotación).

Sobre el sustrato rocoso formado por pizarras, anteriormente descritas, se desarrolla un horizonte de alteración muy típico en este tipo de materiales. Si bien, con el paso del tiempo se transforma la roca sana en un suelo residual (evolutivo), perdiendo la estructura original (mezcla de limos arenosos de tacto jabonoso con presencia de fragmentos de pizarra). Esta transformación de la roca original viene dada por la actuación de los agentes físicos y químicos, favorecida por el mayor grado de fracturación de la roca.

Todo el conjunto (perfil de alteración de suelo residual más roca) se distribuye en la zona de objeto de estudio de forma irregular tanto en planta como en profundidad. Por este motivo, en ocasiones se produce un perfil de meteorización muy irregular, en el que resulta complicado diferenciar los horizontes de alteración, aun estando éstos relativamente próximos. En la siguiente figura se adjunta un perfil característico de este tipo de materiales según Deere y Patton (1971).



Figura 8. Perfil de alteración de las pizarras. (Geotecnia y Cimientos I. pp 21)

6.3 - Ambiente geotécnico

La zona pertenece a la hoja “43 - PLASENCIA” del mapa geotécnico 1:200.000, editado por el Instituto Geológico y Minero de España, quedando caracterizada bajo los epígrafes I_2 y III_1 .

El epígrafe I_2 engloba a los materiales terciarios detríticos que se disponen mediante una morfología plana con pendientes menores del 5 % y alta estabilidad general. Poseen una permeabilidad alta por percolación y fisuración y un drenaje bueno por escorrentía. Sin acuíferos importantes. Su capacidad de carga es media, sin importantes asentamientos.

El epígrafe III_1 lo forman las cuarcitas, grauvacas y pizarras de fuerte relieve. Se disponen en potentes bancos de cuarcita con intercalación de niveles de grauvacas, pizarras y areniscas. Se ha observado procesos de inestabilidad de los piedemontes y alguna caída de bloques localmente. Son materiales semipermeables e impermeables., cuyo drenaje por escorrentía es fácil. Presentan una capacidad de carga alta y carencia de asentamientos.



6.4 - Condiciones hidrogeológicas. Nivel freático.

La zona objeto de estudio pertenece a la cuenca hidrográfica del Duero, si bien las aguas de escorrentía superficial son recogidas por el río Águeda, que discurre normalmente a favor de líneas estructurales.

Los sedimentos terciarios hacen pensar en la posibilidad de constituir un acuífero de cierta entidad. No obstante, el contenido en arcilla que tienen las arcosas y las arenas arcósicas, limitan en gran medida las posibilidades de conseguir caudales relativamente importantes.

Las condiciones hidrogeológicas de los materiales precámbrico-cámbricos del CEG indican que las perspectivas de captación de agua subterránea son muy escasas debido a que presentan una permeabilidad muy baja por porosidad y, en la originada por fracturación, aunque puede ser importante, las discontinuidades se encuentran selladas por material arcilloso. Existen determinadas zonas de fracturación con escasos caudales que forman manantiales y fuentes, aunque el máximo desarrollo de la escorrentía radica a nivel superficial.

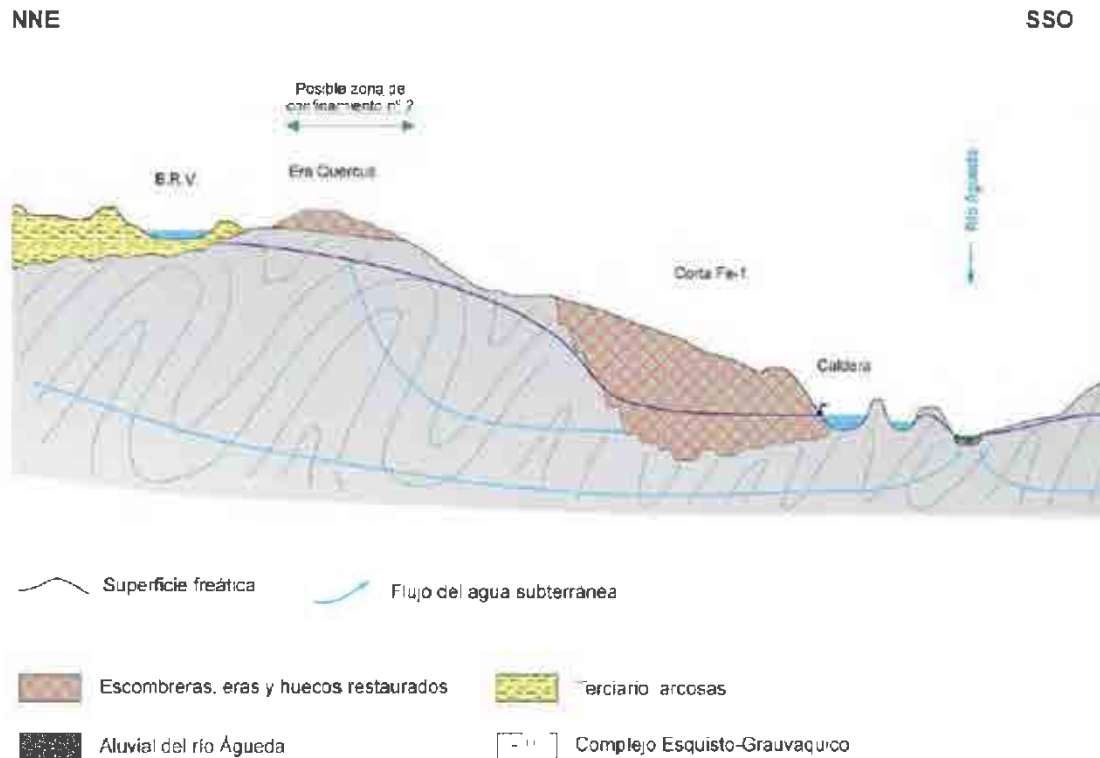


Figura 9. Esquema hidrogeológico de la Era Quercus. Jesús Mª Suso 2013 (Fuente: Proyecto constructivo Anexo I – Memoria pp 38).

Como puede apreciarse en la figura anterior el flujo de agua subterráneo se dirige hacia el río Águeda a modo de descarga. Existen estudios hidrogeológicos recientes llevados a cabo por una consultora externa, que detallan las características de la zona afectada (incluidos en el Proyecto constructivo).

No se disponen de datos de piezometría por debajo de la huella de la Era de lixiviación estática Quercus. Los datos piezométricos con mayor proximidad se han obtenido a partir del Estudio Geotécnico (Proyecto constructivo. Anejo 2 – Estudio Geotécnico) realizado para el Recinto de Confinamiento de los residuos de la Planta Quercus en noviembre de 2013. En dicho estudio se tomaron mediciones de la evolución del nivel freático entre el 31 de octubre de 2017 y el 10 de abril de 2015.



Asimismo, se determinó que la cota del nivel freático en la zona del Recinto de Confinamiento oscilaba entre la +674 y +675 m.



Figura 10. Gráfica de niveles piezométricos del Recinto y del Dren de base (Fuente: Proyecto constructivo Anexo I – Memoria pp 39).

Por último, conviene tener en consideración que la posición de la superficie freática, no es estable, sino que experimenta fluctuaciones en el tiempo derivadas del régimen hídrico de precipitaciones, épocas de estiaje, de las condiciones hidrogeológicas, de aportes artificiales, extracciones próximas, etc.



6.5 - Sismicidad

A efectos del cálculo sísmico según indica la “Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02)” aprobada por Real Decreto 997/2002 del 27 de septiembre y publicada en el B.O.E. núm. 244, de 11 de octubre de 2002, en la que se indica que para valores de la aceleración sísmica de cálculo, a_c , inferiores a 0,04 g (siendo g la aceleración de la gravedad) no es obligatoria la consideración de acciones sísmicas. Según el Mapa de Peligrosidad Sísmica de la Figura 11, el área de estudio se encuentra en zona de aceleración sísmica básica, a_b , menor a 0,04 g.



Figura 11. Mapa sísmico de la norma sismorresistente NCSE-02

A efecto de instalaciones nucleares es de aplicación la norma americana (Apartado 2.2 NUREG-1620 Rev. 1), en la que para el análisis de estabilidad se establecerá el 67 % del pico de aceleración de la tierra (PGA) o de 0,10 g cualquiera que sea mayor, como coeficiente sísmico. Por lo tanto a efectos del cálculo de estabilidad de los taludes se emplearán valores de aceleración vertical de 0,10 g y de aceleración horizontal 0,15 g, considerados como coeficientes sísmicos conservadores.



Tabla 4. Coeficientes sísmicos para cálculo de estabilidad

Aceleraciones	Aceleración sísmica de cálculo (g)
Vertical	0,10
Horizontal	0,15



7 - CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES

7.1 - Introducción

El conjunto de ensayos de campo y de laboratorio realizados sobre las distintas muestras tomadas en las calicatas, ha permitido realizar una caracterización geotécnica de los materiales contenidos en la Era, de sus mezclas y sus tratamientos, de tal manera que:

- Se identificó el material desde el punto de vista geotécnico, con ensayos de identificación para determinar la humedad natural, granulometría por tamizado y plasticidad.
- Se realizaron compactación y deformabilidad.
- Se realizaron ensayos de resistencia mediante la realización de ensayos de corte directo de tipo consolidado-drenado bajo condiciones de Próctor normal.
- Se realizaron ensayos “in situ” por método nuclear para determinar la humedad natural, humedad seca y aparente de los materiales originales de la Era (mineral marginal agotado y torta de neutralización).

En la Tabla 5 se recoge un cuadro resumen de los ensayos de laboratorio.

Posteriormente se realiza la caracterización geotécnica de los materiales.

TITULO: ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA
"QUERCUS" EN SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA)..

REF.:GT17056SA (SALAMANCA)



Tabla 5. Resumen de los ensayos de laboratorio

					Clasificación		Estado			Ensayos de Identificación										Resistencia		Deformabilidad			Compac.		
					USCS	PG3	Humedad Natural	Peso específico Seco	Peso específico aparente o húmedo	Análisis granulométrico UNE								Lim. Atterberg %			C. Directo (CD)		Hich.	Colapso		Proctor N.	
Calicata	Prof. muestra	Tipo de Muestra	Descripción Genética del Nivel	Unidad Geotécnica	CASAGRANDE	Máxima calidad del suelo según ensayos realizados				w	γ _d	γ _{ap}	# 100 mm (4")	# 80 mm	# 20 mm (7/8")	# 5 mm (nº4)	# 2 mm (nº10)	# 0,4 mm (nº40)	# 0,16 mm (nº??)	# 0,08 mm (nº200)	Limite líquido	Limite plástico	Indice de plasticidad	Cohesión efectiva	Angulo de roz. efectivo	Hinchamiento libre	Indice de Colapso
							%	t/m³	t/m³																		
C-1/C-3	0,00 - 1,20	MA-1	2 PIZARRA (C-1): 1 TORTA (C-3)	MEZCLA 2:1	SC	ADECUADO	1,6			100	100	100	84	73	37	25	20	33	23	10	0,23	36	0,10	0,10	0,10	1,66	17,0
C-1	1,20 - 1,20	MA-1	TALUD TORTA VIEJA	TORTA-V			39,1																				
C-3	0,00 - 0,00	MA-1	PIZARRAS	MIN. AGOT.			5,3																				
C-5/C-6	0,00 - 1,20	MA-1	1 PIZARRA (C-6): 1 TORTA (C-5)	MEZCLA 1:1	SM	MARGINAL	40,2			100	100	100	54	43	28	26	26	53	36	17	0,46	34	0,10			1,45	14,7
C-5 EST	1,00 - 1,00	MA-1	TALUD TORTA NUEVA ESTAB. 2% CAL	TOTAL-EST	MH	MARGINAL	92,3			100	100	100	100	100	92	71	60	65	37	28	0,30	27	1,70			1,01	50,6
C-5	1,00 - 1,00	MA-1	TALUD TORTA NUEVA	TORTA-N	CH	TOLERABLE	93,4			100	100	100	100	100	100	99	98	61	18	43							
C-1	0,20 - 0,20	TROX	PIZARRAS	MIN. AGOT.			4,6	1,76	1,84																		
C-2	0,20 - 0,20	TROX	PIZARRAS	MIN. AGOT.			4,3	1,79	1,87																		
C-3	0,20 - 0,20	TROX	TALUD TORTA VIEJA	TORTA-V			39,0	0,67	0,93																		
C-5	0,20 - 0,20	TROX	TALUD TORTA NUEVA	TORTA-N			110,0	0,49	1,02																		
C-6	0,20 - 0,20	TROX	PIZARRAS	MIN. AGOT.			3,9	1,67	1,73																		
C-3	1,20 - 1,20	MI-1	TORTA VIEJA	TORTA-V			46,3	1,07	1,57												0,60	26,0					
C-5	1,20 - 1,20	MI-1	TORTA NUEVA	TORTA-N			85,7	0,68	1,26												0,38	24,0					

Además de los ensayos realizados para el presente estudio, se cuenta con ensayos realizados para el proyecto constructivo junto con los parámetros geotécnicos obtenidos y validados de los materiales de mineral marginal agotado y torta de neutralización.

Posteriormente se realiza la caracterización geotécnica de las diferentes unidades diferenciadas en los perfiles geológico-geotécnicos.



7.2 - Mineral marginal agotado.

Antes de que se iniciase el proceso de acumulación del material de la torta de neutralización, la Era de lixiviación estática se componía exclusivamente de pizarras paleozoicas machacadas con una fracción granulométrica comprendida entre 1 y 10 mm y una ley media de 568 ppm de U_3O_8 .

Se trata de un cuerpo que ocupa una superficie de 82.803 m^2 , un volumen de 774.763 m^3 y que se encuentra dispuesto en 4 niveles (desde cota +651 a +684 m).

El aspecto que poseen estos materiales se recoge en la siguiente fotografía:



Fotografía 8. Mineral marginal agotado (pizarras machacadas) Acopio de calicata C-5.

En cuanto a los ensayos de identificación propios de la presente campaña, se han realizado cuatro (4) ensayos para determinar la humedad natural tanto en el laboratorio como en el método nuclear. Los valores de humedad natural variaron entre el 3,9 y 5,3 %, siendo el valor promedio del 4,5 %.

Mediante el método nuclear “in situ” se obtuvieron tres (3) densidades secas que estuvieron comprendidas entre 1,67 y $1,77 \text{ t/m}^3$, siendo el valor medio de $1,74 \text{ t/m}^3$.



El resto de parámetros geotécnicos del mineral marginal agotado han sido validados del Proyecto constructivo (2015) en su apartado 5.3 “mineral marginal agotado” y que se exponen a continuación a modo de resumen:

Tabla 6. Parámetros geotécnicos para la unidad de mineral marginal agotado

Humedad natural (%)	4
Contenido de finos (% cernido 0,08 mm)	13
LL (%)	NP
IP (%)	NP
Densidad seca (t/m^3)	1,74
Densidad aparente (t/m^3)	1,82
Densidad máxima – Próctor Normal (t/m^3)	1,94
Humedad óptima – Próctor Normal (%)	6
Cohesión efectiva c' (kPa)	91
Ángulo rozamiento efectivo ϕ' (°)	36
Permeabilidad k (m/s)	$3,35 \cdot 10^{-8}$

En la tabla anterior puede verse que la densidad aparente obtenida mediante el método nuclear se encontraría muy próxima a la densidad máxima del Próctor normal (al 95 % del PN). Los valores de humedad natural están dos puntos por debajo de la humedad óptima del PN. En conjunto puede considerarse que los materiales de mineral marginal agotado mantienen unas adecuadas condiciones de compactación.

7.3 - Tortas de neutralización.

Durante los últimos años se han acopiado (en forma de vertido), entre las cotas +679 y +690 de la Era, un material limoso de aspecto jabonoso y blanquecino, denominado “tortas de neutralización”, que se ha ido generando durante el tratamiento de efluentes.



El objetivo de este tratamiento es mitigar la acidez de las aguas para conseguir un pH neutro, antes de proceder a su vertido controlado al río Águeda, de acuerdo a las condiciones de vertido vigentes, autorizado por la Confederación Hidrográfica del Duero, y a los parámetros radiológicos impuestos por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Este material de morfología tableada y frágil posee unas características geotécnicas que lo harían clasificarse según PG-3 entre un material marginal-inadecuado para su puesta en obra a la hora de formar una estructura de tierras. La dificultad en su extendido se debe al alto porcentaje de humedad y elevado índice de plasticidad a su salida del filtro prensa. Estos factores hacen muy compleja su colocación mediante maquinaria convencional.



Fotografía 9. Detalle de la torta original a su salida del filtro prensa con alto contenido en humedad.

Sobre los materiales de torta más antigua que se han ido acumulando desde el sur de la Era al noroeste de la misma, se desarrolla una capa de alteración al estar en contacto con la intemperie de unos 20-30 cm que adquiere un color ocre a consecuencia de procesos de oxidación. Esta capa “encapsula” al material más húmedo de la torta que mantiene constante su humedad en torno al 30-40 %.



El aspecto que presentan estos materiales se recogen en la siguiente fotografía:



Fotografía 10. Superficie de torta alterada que recubre el material más húmedo.



Fotografía 11. Detalle de la torta nueva donde puede apreciarse la huella sobre la cual no llega a traccionar una máquina retroexcavadora.

Según datos aportados por Enusa, a fecha del 31 de diciembre de 2016 se determinó un volumen de torta de neutralización acumulado de unos 124.000 m³, dispuesto en la parte alta de la Era. La producción anual depende, lógicamente, del volumen de agua tratada, estimándose que por cada 100.000 m³/año de agua tratada se puede depositar en la era un volumen equivalente a unos 4.000 m³, aproximadamente.

Antes de proceder a ensayar este material para realizar los ensayos de identificación (granulometría y Límites de Atterberg) se realizó un secado a 60 °C para facilitar la disgregación por machaqueo mediante mazo de goma.



Fotografía 12. Torta en condiciones naturales. Fotografía 13. Torta secada y machacada

Se realizaron seis (6) ensayos tanto en el laboratorio como en el método nuclear variaron para obtener los porcentajes de humedad natural de las tortas. Los valores de humedad variaron entre el 39 y 110 %, siendo la media del 67 %.

Mediante el método nuclear se obtuvieron cuatro (4) densidades secas que estuvieron comprendidas entre 0,48 y 0,82 t/m³, siendo el valor medio de 0,61 t/m³. Estos resultados clasifican este material de muy baja densidad, ya que fue vertido sobre la parte alta de la Era y carece de compactación.

En la siguiente tabla se exponen todos los resultados de humedad y densidad (fases de estado) obtenidos tanto con métodos nucleares como en ensayos de laboratorio diferenciando el material de torta vieja y nueva:



Tabla 7. Resultados de humedad y densidad de la torta vieja y nueva.

Calicata	Prof. muestra	Tipo de Muestra	Descripción Genética del Nivel	Unidad Geotécnica	Estado		
					Humedad Natural	Peso específico Seco	Peso específico aparente o húmedo
					w %	γ_d t/m ³	γ_{ap} t/m ³
C-1	1,20 - 1,20	MA-1	TALUD TORTA VIEJA	TORTA-V	39,1		
C-5	1,00 - 1,00	MA-1	TALUD TORTA NUEVA	TORTA-N	93,4		
C-3	0,20 - 0,20	TROX	TALUD TORTA VIEJA	TORTA-V	39,0	0,67	0,93
C-5	0,20 - 0,20	TROX	TALUD TORTA NUEVA	TORTA-N	110,0	0,49	1,02
C-3	1,20 - 1,20	MI-1	TORTA VIEJA	TORTA-V	46,3	1,07	1,57
C-5	1,20 - 1,20	MI-1	TORTA NUEVA	TORTA-N	85,7	0,68	1,26
Media	0,83 0,83			T	68,9	0,73	1,19
Máxim	1,20 1,20			T	110,0	1,07	1,57
Minim	0,20 0,20			T	39,0	0,49	0,93

Tal y como se puede apreciar las humedades naturales varían entre el 39 y 110 %, si bien cabe puntualizar que las humedades de la torta vieja son en torno a un 60 % inferiores que las de la torta nueva, debido a la disipación de humedad a lo largo del tiempo. Las densidades aparentes estuvieron comprendidas entre 0,93 y 1,57 t/m³, siendo el valor promedio de 1,19 t/m³.

En la presente campaña geotécnica se ha realizado un ensayo de granulometría por tamizado sobre una muestra tomada del acopio de la calicata C-5. El contenido en grava fue nulo El contenido en arena del 2 %, mientras que el contenido en finos (tamaño de grano inferior a 0,08 mm) fue del 98 %.

Con la fracción de material que pasaba por el tamiz 0,40 mm se comprobó su plasticidad mediante la determinación de los Límites de Atterberg. Se obtuvo un Límite Líquido del 61 %, Límite Plástico del 18 % e Índice de Plasticidad del 43 %.



Teniendo en cuenta los resultados de granulometría y plasticidad, según la clasificación USCS estos materiales se denominan “Arcillas inorgánicas de alta plasticidad (CH)”.

En los ensayos de compactación realizados para el proyecto constructivo se ha obtenido un promedio en el ensayo Próctor Normal de densidad máxima de 1,02 t/m³ para una humedad óptima del 48,2 %.

En cuanto a los ensayos de resistencia para el proyecto constructivo (2015) se realizaron tres (3) ensayos triaxiales de tipo CU (Consolidado-no drenado) con medida de las presiones intersticiales y bajo condiciones de Próctor Normal. Los valores promedio que caracterizaron los parámetros resistentes fueron los siguientes:

Cohesión efectiva (c'): 41,7 kPa (0,41 kg/cm²)

Ángulo de rozamiento efectivo (ϕ'): 31°

Para el presente estudio se han realizado dos (2) ensayos de corte directo consolidado-drenado en muestras inalteradas (condiciones naturales) procedentes de la calicata C-3 y C-5 a 1,20 m de profundidad. Los resultados han sido los siguientes:

Tabla 8. Resultados de ensayos de corte directo sobre torta vieja y nueva.

Muestra	Tipo de torta	Cohesión efectiva c' (kPa)	Ángulo de rozamiento efectivo (ϕ')
C-3 MI-1	Vieja	60	26
C-5 MI-1	Nueva	38	24

A efectos de cálculos de estabilidad en el presente informe se contará con los parámetros resistentes más desfavorables que corresponderían con la muestra de la torta nueva (calicata C-5), con un valor de cohesión efectiva c' de 38 kPa y ángulo de rozamiento efectivo de 24 °.



Para determinar la permeabilidad bajo condiciones de Próctor Normal se realizó un (1) ensayo triaxial con presión en cola en el que se obtuvo un coeficiente de permeabilidad k : $1,22 \cdot 10^{-8}$ m/s.

A efectos del presente informe se han validado la mayor parte de los parámetros geotécnicos que se encuentran recogidos en el proyecto constructivo (2015) y que son los siguientes:

Tabla 9. Parámetros geotécnicos para la unidad de torta de neutralización.

Humedad natural (%)	39-110
Contenido de finos (% cernido 0,08 mm)	98
LL (%)	61
IP (%)	43
Densidad seca (t/m^3)	0,73*
Densidad aparente (t/m^3)	1,19*
Densidad máxima – Próctor Normal (t/m^3)	1,02
Humedad óptima – Próctor Normal (%)	48
Cohesión efectiva c' (kPa) en cond. PN	41,7
Ángulo rozamiento efectivo ϕ' (°) en cond. PN	31
Cohesión efectiva c' (kPa)	38
Ángulo rozamiento efectivo ϕ' (°)	24
Permeabilidad k (m/s)	$1,22 \cdot 10^{-8}$

(*) Densidad determinada sobre material vertido sin compactación.

Como puede comprobarse en la tabla anterior, el parámetro de densidad aparente “in situ” es prácticamente muy similar al obtenido en el ensayo Próctor normal, sin embargo las humedades naturales son mayoritariamente superiores que la humedad óptima del Próctor Normal. Esto hace indicar que se debería, en su caso, reducir el contenido en humedad de la torta antes de su extendido y compactación, si se optara por este tipo de solución.



7.4 - Mezcla de mineral marginal agotado y tortas de neutralización - 2:1.

Inicialmente se propuso realizar una mezcla 2:1 (2 mineral marginal agotado y 1 tortas previamente desecadas), ya que incrementado el volumen de pizarra se mejoraría los resultados de plasticidad, compactación y deformabilidad para la puesta en obra de los materiales.

Obviamente, la problemática de conseguir esta mezcla es que se tendría que movilizar un mayor volumen de material de mineral marginal agotado para reconfigurar el diseño final de la Era. También sería preciso construir unas instalaciones que garantizaran la desecación previa del material de tortas y una mezcla homogénea, teniendo en cuenta una evaluación previa del condicionante radiológico que ello pudiera implicar, también en el caso que se optara por este tipo de solución.

El aspecto que muestran estos materiales secos antes de ser mezclados se presenta en la siguiente fotografía:



Fotografía 14. A la derecha los materiales de torta y a la izquierda de mineral marginal agotado (mezcla de acopios de calicatas C-3 y C-1).



Identificación y estado

Se realizó una (1) determinación de la humedad natural en laboratorio del material mezclado en el que se obtuvo un valor del 2 %.

Se realizó un (1) ensayo de granulometría por tamizado sobre muestras de la mezcla de los acopios de las calicatas C-1 y C-3. El contenido en grava y arena fue del 27 y 53 % respectivamente, mientras que el contenido finos (tamaño de grano inferior a 0,008 mm) fue del 20 %.

Con la fracción de material que pasaba por el tamiz 0,40 mm se comprobó su plasticidad mediante la determinación de los Límites de Atterberg. El Límite Líquido fue del 33 %, el Límite Plástico del 23 % y el Índice de Plasticidad del 10 %.

Teniendo en cuenta los resultados de granulometría y plasticidad, según la clasificación USCS estos materiales se denominan “Arenas arcillosas (SC)”.

Compactación y deformabilidad

Se realizó un (1) ensayo de Próctor Normal en el que se obtuvo una densidad máxima de $1,66 \text{ t/m}^3$ para una humedad óptima del 17 %.

Por otro lado, se estudió la deformabilidad de la mezcla según condiciones del Próctor Normal. El porcentaje de hinchamiento libre fue del 0,10 %.

En el ensayo de colapso según condiciones del Próctor Normal se obtuvo un índice de colapso del 0,10 %.



Resistencia

Se realizó un (1) ensayo de resistencia al corte directo de tipo CD (Consolidado-Drenado) en condiciones del Próctor Normal. Los parámetros resistentes que se obtuvieron fueron los siguientes:

Cohesión efectiva (c'): 23 kPa (0,23 kg/cm²)

Ángulo de rozamiento efectivo (ϕ'): 36°

Aprovechamiento de materiales

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y lo indicado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales PG-3, se clasifica este material como suelo adecuado.

El resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio se recoge en la tabla siguiente:

Tabla 10. Parámetros geotécnicos para la mezcla 2:1.

Humedad natural (%)	2
Contenido de finos (% cernido 0,08 mm)	20
LL (%)	33
IP (%)	10
Densidad máxima – Próctor Normal (t/m ³)	1,66
Humedad óptima – Próctor Normal (%)	17
Hinchamiento libre (%)	0,10
Cohesión efectiva c' (kPa) en cond. PN	23
Ángulo rozamiento efectivo ϕ' (°) en cond. PN	36



7.5 - Mezcla de mineral marginal agotado y tortas de neutralización - 1:1.

Conocidos los resultados de la mezcla 2:1 se realizó una segunda mezcla equitativa al 1:1 (obviamente menos conservadora en cuanto a parámetros geotécnicos que la primera). La dificultad para conseguir una mezcla homogénea fue causa del elevado grado de humedad de la torta y su lenta pérdida de la misma. Además, posteriormente al secado de los materiales de la torta se tuvieron que machacar minuciosamente hasta conseguir el tamaño de grano original, ya que mostraban un aspecto apelmazado.

El aspecto que muestran estos materiales mezclados se presenta en la siguiente fotografía:



Fotografía 15. Mezcla de mineral marginal agotado y torta al 1:1.

Identificación y estado

Se realizó una (1) determinación de la humedad natural en laboratorio del material mezclado en el que se obtuvo un valor del 40 %.

Se realizó un (1) ensayo de granulometría por tamizado sobre muestras de la mezcla de los acopios de las calicatas C-5 y C-6. El contenido en grava fue del 57 %, en arena del 17 % y en finos (tamaño de grano inferior a 0,008 mm) del 26 %.



Con la fracción de material que pasaba por el tamiz 0,40 mm se comprobó su plasticidad mediante la determinación de los Límites de Atterberg. El Límite Líquido fue del 53 %, el Límite Plástico del 36 % y el Índice de Plasticidad del 17 %.

Teniendo en cuenta los resultados de granulometría y plasticidad, según la clasificación USCS estos materiales se denominan “Arenas limosas (SM)”.

Compactación y deformabilidad

Se realizó un (1) ensayo de Próctor Normal en el que se obtuvo una densidad máxima de $1,45 \text{ t/m}^3$ para una humedad óptima del 15 %.

Por otro lado, se estudió la deformabilidad de la mezcla según condiciones del Próctor Normal. El porcentaje de hinchamiento libre fue del 0,10 %.

Resistencia

Se realizó un (1) ensayo de resistencia al corte directo de tipo CD (Consolidado-Drenado) en condiciones del Próctor Normal. Los parámetros resistentes que se obtuvieron fueron los siguientes:

Cohesión efectiva (c'): 46 kPa ($0,46 \text{ kg/cm}^2$)

Ángulo de rozamiento efectivo (ϕ'): 34°



Aprovechamiento de materiales

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y lo indicado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales PG-3, se clasifica este material como suelo marginal.

El resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 11. Parámetros geotécnicos para la mezcla 1:1.

Humedad natural (%)	40
Contenido de finos (% cernido 0,08 mm)	26
LL (%)	53
IP (%)	17
Densidad máxima – Próctor Normal (t/m^3)	1,45
Humedad óptima – Próctor Normal (%)	15
Hinchamiento libre (%)	0,10
Cohesión efectiva c' (kPa) en cond. PN	46
Ángulo rozamiento efectivo ϕ' (°) en cond. PN	34

7.6 - Torta de neutralización estabilizada al 2 % de cal.

Los materiales arcillosos de muy baja densidad, como son los de la torta, presentan unas características geotécnicas de problemática calidad cuando son compactados y, además, encierran el riesgo de expansividad cuando el agua termina infiltrándose al propio cuerpo. En las partes más superficiales suelen aparecer fenómenos de retracción (por fuerte desecación), alternada con hinchamiento (por humectación cíclica).

En caso de que estos materiales se compacten del lado seco, se suelen formar una agrupación de grumos con el agua en su interior y el aire de los huecos parcialmente



expulsado (estructura floculada). Esta estructura es sensible a la presencia de agua, que mueve los grumos y produce movimientos. Esto se puede evitar, sólo en parte, compactando del lado húmedo en el interior del cuerpo de tierras, consiguiendo una estructura dispersa en que los huecos se llenan de agua, con burbujas de aire aprisionadas entre partículas y que no pueden salir al exterior. En cualquier caso, en materiales como muy baja densidad seca óptima ($<1,20 \text{ t/m}^3$) la estructura es tan abierta que la facilidad de tomar agua es grande, lo cual deja planteado constantemente el problema de la expansividad.

Teniendo en cuenta la problemática anterior, hace que estos materiales arcillosos deban ser tratados con un aditivo que consiga:

- Aumentar la cohesión, a corto o largo plazo, gracias a un efecto cementante con las partículas arcillosas y el agua existente.
- Obtener una estructura menos plástica y menos expansiva (se aumentaría el Límite Plástico y se reduciría el Índice de Plasticidad), en que el efecto cementante disminuya la facilidad de entrada del agua y la separación de las láminas de silicatos que componen su red arcillosa.
- Aumentar la resistencia frente a la acción (cambios de humedad, erosión hídrica o eólica en espaldones, etc.).

Esto puede conseguirse reforzando el terreno con un aglomerante o cementante como es la cal. Este efecto cementante de la cal en laboratorio, hace que aumente la resistencia del material para mayores humedades, se aumenta el Límite Plástico y se reduce el Índice de Plasticidad (se mantiene prácticamente constante el Límite Líquido).

Para el presente estudio se ha pretendido estabilizar los materiales de torta con el 2 % de cal viva como una opción valorable, la cual debería llevar consigo un estudio pormenorizado. Normalmente en los tratamientos precedentes con cal se hacen



ensayos en laboratorio hasta llegar al 5 %, pero los mejores resultados se sitúan entre el 1,5 y 3 %. El añadir más cal supone mayor costo, pero no una mejora efectiva. Estas cifras suelen ser mayores en laboratorio que en el campo, ya que en el laboratorio el mayor grado de desmenuzamiento que se alcanza supone un claro aumento de la superficie de adsorción de la arcilla. Por el contrario, en campo, al tener menos superficie de adsorción no es necesario llegar a valores del 3-5 % de cal. En la siguiente figura se expone un gráfico que determina el porcentaje de cal en función del porcentaje de finos:

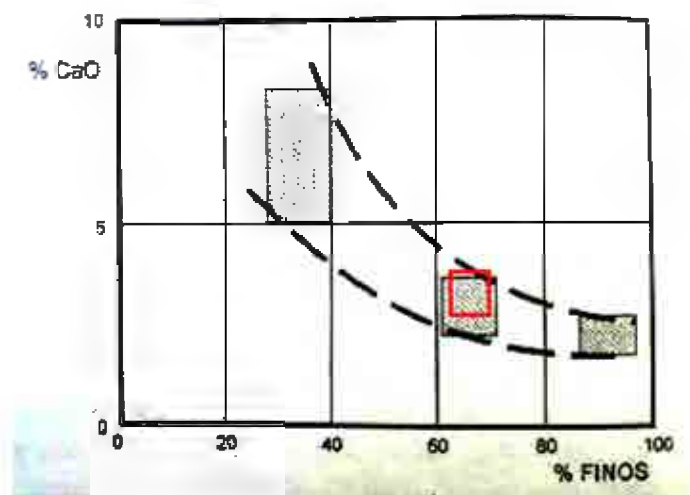


Figura 12. Posible proporción de cal a utilizar en función del contenido en finos (Oteo, 2006).

En la siguiente fotografía se muestra el agregado que se forma cuando se incluye la cal en el material de la torta.



Fotografía 16. Material de torta tratado con el 2 % de cal.

Identificación y estado

Se realizó una (1) determinación de la humedad natural en laboratorio del material mezclado en el que se obtuvo un valor del 92 %.

Se realizó un (1) ensayo de granulometría por tamizado sobre la muestra tratada con cal procedente del acopio de la calicata C-5. El contenido en grava fue nulo, en arena del 40 % y en finos (tamaño de grano inferior a 0,008 mm) del 60 %.

Con la fracción de material que pasaba por el tamiz 0,40 mm se comprobó su plasticidad mediante la determinación de los Límites de Atterberg. El Límite Líquido fue del 65 %, el Límite Plástico del 37 % y el Índice de Plasticidad del 28 %.

Teniendo en cuenta los resultados de granulometría y plasticidad, según la clasificación USCS estos materiales se denominan “Limos inorgánicos de alta plasticidad (MH)”.



Compactación y deformabilidad

Se realizó un (1) ensayo de Próctor Normal en el que se obtuvo una densidad máxima de $1,01 \text{ t/m}^3$ para una humedad óptima del 51 %.

Por otro lado, se estudio la deformabilidad de la mezcla según condiciones del Próctor Normal. El porcentaje de hinchamiento libre fue del 1,70 %. Se considera este un valor anómalo dada la adición de cal, por lo que no se tiene en cuenta.

Resistencia

Se realizó un (1) ensayo de resistencia al corte directo de tipo CD (Consolidado-Drenado) en condiciones del Próctor Normal. Los parámetros resistentes que se obtuvieron fueron los siguientes:

Cohesión efectiva (c'): 30 kPa ($0,30 \text{ kg/cm}^2$)

Ángulo de rozamiento efectivo (ϕ'): 27°

Aprovechamiento de materiales

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y lo indicado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales PG-3, se clasifica este material como suelo marginal.

La adición del 2 % de cal viva no ha supuesto una mejora notable de las propiedades geotécnicas con respecto al material sin estabilizar, ya que solamente se consigue reducir el Índice de Plasticidad del 43 al 28 %, sin llegar a mitigar la expansividad e incrementar una mejoría en los resultados de compactación según el ensayo de Próctor Normal.



En caso de optar por este tratamiento, se recomienda desarrollar un estudio específico con cal, empleando cal apagada con diferentes porcentajes de cal, para estudiar una posible mejoría para su puesta en obra.

El resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 12. Parámetros geotécnicos para la torta estabilizada con el 2 % de cal.

Humedad natural (%)	92
Contenido de finos (% cernido 0,08 mm)	60
LL (%)	65
IP (%)	28
Densidad máxima – Próctor Normal (t/m^3)	1,01
Humedad óptima – Próctor Normal (%)	51
Hinchamiento libre (%)	1,70
Cohesión efectiva c' (kPa) en cond. PN	30
Ángulo rozamiento efectivo φ' (°) en cond. PN	27



7.7 - Resumen de los principales parámetros geotécnicos de los materiales.

En la siguiente tabla se expone a modo de resumen los parámetros geotécnicos de los diferentes tipos de materiales:

Tabla 13. Valores de los principales parámetros geotécnicos de los diferentes materiales.

Parámetro	M. Marginal agotado	Torta de neutralización	Mezcla 1:1 (Min.:Torta)	Mezcla 2:1 (Min.:Torta)	Torta estabilizada 2 % cal.
Comportamiento geotécnico	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Humedad natural (%)	4	67	40	2	92
Contenido de finos (% cernido 0,08 mm)	13	98	26	20	60
LL (%)	NP	61	53	33	65
IP (%)	NP	43	17	10	28
Densidad seca (t/m^3)	1,74	0,61 ⁽¹⁾	---	---	---
Densidad aparente (t/m^3)	1,82	0,98 ⁽¹⁾	---	---	---
Densidad máxima – Próctor Normal (t/m^3)	1,94	1,02	1,45	1,66	1,01
Humedad óptima – Próctor Normal (%)	6	48	15	17	51
Hinchamiento libre (%)	---	---	0,10	0,10	1,70
Cohesión efectiva c' (kPa) cond. PN	91 ⁽²⁾	41,7 ⁽²⁾	46 ⁽³⁾	23 ⁽³⁾	30 ⁽³⁾
Ángulo rozamiento efectivo ϕ' (°) en cond. PN	36 ⁽²⁾	31 ⁽²⁾	34 ⁽³⁾	36 ⁽³⁾	27 ⁽³⁾
Cohesión efectiva c' (kPa)	---	38	---	---	---
Ángulo rozamiento efectivo ϕ' (°)	---	24	---	---	---
Permeabilidad k (m/s)	$3,35 \cdot 10^{-8}$ ⁽²⁾	$1,22 \cdot 10^{-8}$ ⁽²⁾	---	---	---

⁽¹⁾Determinación de la densidad sobre material vertido en la parte alta de la Era.

⁽²⁾Valores obtenidos en ensayos en célula triaxial en condiciones de PN.



⁽³⁾Valores obtenidos en bancada de ensayo de corte directo tipo CD en condiciones de PN.

Nota: En caso de mezclar materiales procedentes del desmantelamiento de la Planta Quercus (hormigón machacado como residuo de obra civil), es obvio que estos materiales al ser fragmentos de mayor granulometría mejorarán las propiedades geotécnicas de los materiales originales y facilitarían el tránsito de la maquinaria pesada.



8 - ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA QUERCUS.

8.1 - Introducción.

Como se ha descrito anteriormente, la reconfiguración de la Era exige un correcto diseño y puesta en obra de los materiales acumulados (mineral marginal agotado y tortas de neutralización), de los residuos de la obra civil y de la capa de sellado.

Para conseguir esto, será de aplicación la norma americana NUREG-1620 rev. 1 para garantizar una adecuada estabilidad de los taludes a largo plazo. Ello supone remodelar las superficies con pendientes del tipo 5H:1V (20 % de pendiente) y la parte final del cuerpo de tierras al 5 % de pendiente, evitando en todo lo posible la erosión superficial por efectos de los flujos por escorrentía.

Independientemente al diseño interior de los materiales que formarán el cuerpo de la Era y según se ilustra en el Plano A.2-AI-13 “Remodelación topográfica de materiales de la Era de Lixiviación Estática y Recinto de Confinamiento” se establece el siguiente contorno:

- Desde la cota +665 m hasta la cota +684 el talud de la Era tendrá una pendiente del 20 %.
- Desde la cota +684 m hasta la cota +687 m, el talud será más tendido asumiendo una pendiente del 5 %.
- Por encima del cuerpo de tierras formado se dispondrá una capa de sellado según diseño del Proyecto.

Teniendo en cuenta los anteriores requerimientos, el volumen y las características geotécnicas de los materiales presentes; desde el punto de vista del presente informe resulta necesario abordar el análisis geotécnico de:



- Posibles soluciones para la puesta en obra de los materiales, mezclas y tratamiento con cal. Se propondrán espesores de tongada y de capa de material.
- Análisis de la estabilidad de taludes con las diferentes soluciones para conformar el cuerpo de la Era.

Todas las soluciones se estudiarán con la puesta en obra de los materiales de torta aireados y materiales de torta en condiciones originales, de acuerdo a la petición de ENUSA, estudiándose en los apartados siguientes.



8.2 - Soluciones para la remodelación de la Era Quercus.

8.2.1 - Introducción

Para la reconfiguración “in situ” de la Era de Lixiviación Estática Quercus, se plantean las siguientes soluciones:

- Mezcla de materiales (mineral marginal agotado y tortas) en diferentes proporciones, si bien se adelanta que las que mejores prestaciones geotécnicas se han conseguido con la mezcla 2:1.
- Construcción de una estructura tipo “sándwich” con diferentes espesores y posible tratamiento con cal.

Teniendo en cuenta las soluciones anteriores (estructura en mezcla o sándwich), la puesta en obra de los materiales de torta se dividiría en dos alternativas:

1ª -. Colocación de los materiales de torta, mediante su desecación o aireación.

2ª -. Colocación de los materiales de torta en condiciones originales. Esta alternativa es la propuesta por ENUSA ya que el procedimiento de desecación o aireación del material de torta sería muy dificultoso, llevaría un tiempo indeterminado y sujeto a las condiciones meteorológicas y un sobre coste económico, además de sus posibles implicaciones radiológicas.

8.2.2 - Mezcla de materiales

Ante el excedente de material de mineral marginal agotado (774.763 m^3), el volumen actual de tortas de neutralización de unos 124.000 m^3 y la complejidad para realizar el extendido de las tortas de manera directa, se ha considerado realizar un estudio con diferentes proporciones de mezclas de ambos materiales.

En primer lugar se realizó una mezcla “conservadora” de proporción 2:1 (Mineral:Torta previamente desecada) y cuando se analizaron los resultados de los



ensayos de laboratorio, se propuso una segunda mezcla al 1:1 con el fin de minimizar la movilización en obra del mineral marginal agotado.

Los resultados de los ensayos de laboratorio de ambas mezclas se exponen en la tabla siguiente:

Tabla 14. Valores de los principales parámetros geotécnicos de las diferentes mezclas.

Parámetro	Tipo de ensayo	Mezcla 1:1 (Min.:Torta)	Mezcla 2:1 (Min.:Torta)
Comportamiento geotécnico		Suelo	Suelo
Humedad natural (%)*	Identificación y estado	40	2
Contenido de finos (% cernido 0,08 mm)		26	20
LL (%)		53	33
IP (%)		17	10
Densidad máxima – Próctor Normal (t/m³)	Compactación	1,45	1,66
Humedad óptima – Próctor Normal (%)		15	17
Hinchamiento libre (%)	Deformabilidad	0,10	0,10
Cohesión efectiva c' (kPa)	Resistencia	46	23
Ángulo rozamiento efectivo φ' (°)		34	36
CLASIFICACIÓN PG-3		Marginal	Adecuado

*La humedad natural hace referencia al contenido de humedad de la mezcla antes de su desecación.

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior las principales diferencias entre ambas mezclas son las siguientes:

- Menor grado de humedad de la muestra 2:1 que la 1:1 previa a su desecación.
- Menor índice de plasticidad de la muestra 2:1 que la 1:1. La muestra 1:1 posee una alta plasticidad ($LL > 50\%$) y la muestra 2:1 baja plasticidad ($LL < 50\%$).
- En la muestra 2:1 se alcanza una densidad máxima del PN superior a la muestra 1:1, para humedades óptimas prácticamente similares.



- A tenor de los ensayos de laboratorio realizados, y según el PG-3 la muestra 1:1 se clasifica como un “suelo marginal”, el cual no podría llegar a formar parte ni tan siquiera del núcleo de un terraplén sin tratamiento. La muestra 2:1 queda clasificada como “suelo adecuado”, y por lo tanto apta para su puesta en obra.

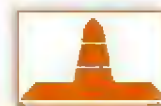
Teniendo en cuenta los resultados de laboratorio y su interpretación, sería factible emplear la mezcla 2:1 para reconfigurar el cuerpo de la Era, ya que dispone de mejores prestaciones geotécnicas que la mezcla 1:1. Inevitablemente, se tendría que movilizar mayor volumen de mineral marginal agotado de cotas inferiores a la +680 m y con ello la implantación de equipos mecánicos nuevos de desecación previa de las tortas y de mezclado, con sus posibles implicaciones radiológicas, como se indicó anteriormente.

Vertido, extendido y compactación

Antes de proceder al vertido y compactación, se deberá poner especial interés que formar una mezcla lo más homogénea posible en proporción 2:1. Es muy probable que se necesitaran equipos mecánicos adicionales para alcanzar este grado de uniformidad. No obstante este aspecto no es objeto del presente informe.

No se extenderá ninguna tongada mientras no se haya comprobado que la superficie subyacente cumple las condiciones exigidas y sea debidamente autorizada. Cuando la tongada subyacente se halle reblandecida por una humedad excesiva, no se autorizará la extensión de la siguiente.

El material sería extendido en tongadas sucesivas, de espesor uniforme y sensiblemente paralelas a la explanada. El espesor de estas tongadas sería lo suficientemente reducido para que, con los medios disponibles, se obtenga en todo su espesor el grado de compactación exigido (como mínimo el 95 % de la máxima obtenida en el ensayo Próctor). Este espesor máximo puede ser de 60 cm, según PG-3 (de hasta unos 100 cm, aunque el PG-3 lo limita a 60 cm). A efectos del presente



informe se recomienda, en su caso, emplear espesores de tongada entre 30 y 60 cm, tal y como se recoge en la siguiente figura:

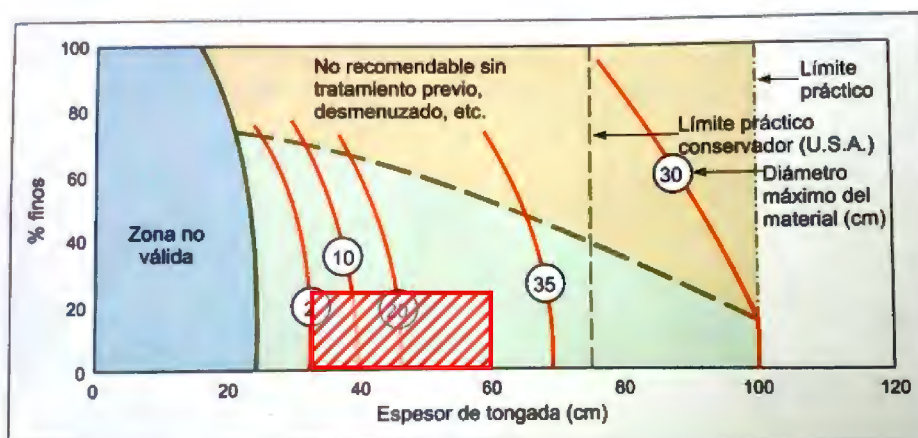


Figura 13. Recomendaciones para estimar el espesor de tongada por Oteo C. 1988. (Fuente: "Ingeniería Geológica" Luis I. González de Vallejo pp 590).

La compactación de esta mezcla se podría llevar a cabo mediante rodillo liso vibratorio.

8.2.3 - Estructura tipo "sándwich" sin tratamiento de cal

Esta solución estaría encaminada a construir un cuerpo de tierras o terraplén según una distribución alternante de capas de mineral marginal agotado y tortas de neutralización.

La principal problemática de esta solución viene dada por el tratamiento previo y extendido de los materiales de torta. Como ya se ha comentado, estos materiales se extraen del filtro prensa con humedades muy elevadas (se han llegado a determinar humedades del 110 %) y el elevado Índice de Plasticidad (material en estado líquido), lo hace que el material sea extremadamente plástico. Estas características complican el extendido y compactación de manera directa, ya que el tránsito de la maquinaria sería dificultoso, ineficiente y costoso.



Para conseguir la pérdida de humedad de los materiales de torta, es indispensable aplicar tratamientos de aireación o desecación y posteriormente realizar un disgregado de las zonas más aglutinadas antes de proceder a su compactación. De esta manera se estaría por debajo de la curva de saturación, y además se evitaría dejar una estructura notablemente porosa.

Obviamente, el tratamiento de aireación en este tipo de material arcilloso puede conllevar una gran dificultad, ya que se tendrían que ejecutar tongadas de torta muy reducidas de espesor y dejarlas “orear” un prolongado estado de tiempo, pudiendo quedar el tratamiento invalidado a consecuencia de las precipitaciones.

En caso de que con la pérdida de humedad el tránsito de la maquinaria siguiera siendo dificultoso, se podría proceder al extendido de una tongada de torta de 80-100 cm sin compactar y por encima de ella continuar con el extendido de una tongada de mineral marginal agotado de entre 50 y 70 cm. Finalmente, se transitaría sobre este último para compactar ambos materiales. Ahora bien, este procedimiento puede suponer que no se llegarían a alcanzar un grado óptimo de compactación de los materiales de torta y con ello se alimentaría la deformabilidad del cuerpo de la Era a medida que se fuera construyendo.

Si el tratamiento de aireación fuera exitoso y diera lugar al tránsito de maquinaria tipo rodillo pata de cabra, se podría proceder al vertido y compactación de tongadas de torta de entre 30 y 40 cm, alcanzando un grado de compactación mínimo del 95 % del Próctor.

La inclusión de los materiales o restos de demolición de la Planta Quercus (bloques trapezoidales de hormigón entre 20 y 30 cm) mejorarían el cuerpo de la Era y facilitarían el tránsito de la maquinaria de compactación.

Teniendo como referencia algunas de las secciones de terraplenes utilizadas en obras lineales con materiales arcillosos de baja densidad, se propone para ambos



procedimientos comentados anteriormente la siguiente sección, en caso de que se optara alguna de ellas:

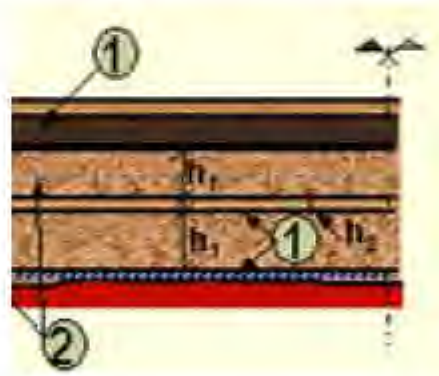


Figura 14. Sección “sándwich” con la alternancia de materiales de mineral marginal agotado y tortas. h_1 = mineral marginal agotado y h_2 = torta de neutralización

Los espesores de capa de los diferentes materiales serían los siguientes:

$$h_1 = 3,0-4,0 \text{ m.}$$

$$h_2 = 0,8-1,0 \text{ m.}$$

La compactación de esta mezcla se podría llevar a cabo mediante pata de cabra y rodillo liso vibratorio. El primero se utilizaría para la compactación y disgregación de los materiales de torta y para “trabar” las primeras togadas del mineral marginal agotado con los materiales de torta y, a continuación, seguir compactando el mineral marginal con rodillo liso hasta el espesor de 3-4 m.

Se recomienda que antes de proceder a la ejecución de esta solución se realizara un terraplén de prueba o área experimental que validara o no dicha solución.



8.2.4 - Estructura tipo "sándwich" con tratamiento de cal

Al igual que en la solución anterior, se podría diseñar la remodelación del cuerpo de la Era mediante capas alternantes de mineral marginal agotado y tortas de neutralización tratadas con cal.

En el presente estudio se ha realizado un tratamiento de la torta con la adicción del 2 % de cal viva. Los resultados se exponen en la tabla siguiente:

Tabla 15. Resultados de los ensayos de laboratorio de la torta tratada al 2 % de cal.

Parámetro	Tipo de ensayo	Torta estabilizada 2 % cal.
Comportamiento geotécnico		Suelo
Humedad natural (%)	Identificación y estado	92
Contenido de finos (% cernido 0,08 mm)		60
LL (%)		65
IP (%)		28
Densidad máxima – Próctor Normal (t/m³)	Compactación	1,01
Humedad óptima – Próctor Normal (%)		51
Hinchamiento libre (%)	Deformabilidad	1,70 ⁽¹⁾
Cohesión efectiva c' (kPa)	Resistencia	30
Ángulo rozamiento efectivo φ' (°)		27
Clasificación por PG-3		Suelo marginal

⁽¹⁾El valor del ensayo de hinchamiento libre se considera anómalo, por lo que se descarta.

Analizando los resultados de la tabla anterior, y comparándola con los resultados de la torta sin tratamiento, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El porcentaje de cal añadida provoca que se reduzca la humedad del 110 % al 92 %, lo que indica que prácticamente se mantiene la humedad de la torta. Posiblemente, el aumentar el tiempo de maduración de la mezcla con cal remitiría el porcentaje de humedad.



- Se mantiene el Límite Líquido y aumenta el Límite Plástico y, con ello, disminuye el Índice de Plasticidad. Este era uno de los objetivos que se buscaba con la adicción de la cal para reducir dicha plasticidad del material.
- Los resultados de compactación del Próctor no han mejorado con el 2 % de cal viva. Se esperaba que la densidad máxima aumentara a 1,1-1,2 t/m³ para una humedad óptima algo inferior a la arrojada.
- Aumenta el porcentaje de hinchamiento libre con la adicción de la cal del 0,10 al 1,70 %. Este resultado se considera anómalo, ya que no guarda relación alguna con la reducción de la plasticidad por lo que se ha descartado.
- En los parámetros resistentes tampoco se producen grandes diferencias. No obstante, cabe señalar que los parámetros resistentes de la torta fueron obtenidos mediante ensayo triaxial para unas determinadas condiciones de Próctor y los de la torta estabilizada con ensayo de corte directo.

En el tratamiento con cal al 2 % solamente se ha conseguido una reducción de la plasticidad. Sin embargo, se ha de considerar éste un suelo marginal según el PG-3. De todas formas, no debe pensarse, al tratar con materiales marginales, sólo en su plasticidad (que puede ser muy elevada y que indica posibilidades de expansión) sino que debe de analizarse su granulometría y establecer la variación de su densidad seca óptima Próctor Normal, parámetro muy importante para distinguir su posible aprovechamiento y comportamiento. Probablemente, no se dejó suficiente periodo de curado en laboratorio de la muestra para que aumentará la densidad máxima del PN y disminuyera el porcentaje de hinchamiento libre, como realmente suele ocurrir con el paso del tiempo.

Otro aspecto a tener en cuenta es que existe actualmente un gran número de experiencias exitosas sobre la utilización de materiales marginales en la ejecución de rellenos para obras lineales.



El análisis de las experiencias realizadas en España pone de manifiesto que la ejecución de terraplenes con material arcilloso marginal puede realizarse básicamente de dos formas diferentes:

- Estructuras en las que se mejoran las propiedades de las arcillas marginales mediante un tratamiento de modificación con un aglomerante, preferentemente cal. El material así tratado podría utilizarse también, dependiendo de la mejora obtenida en sus propiedades, en la zona de cimientó, cuerpo de terraplén y coronación.
- Estructuras en las que se mantiene el material marginal con sus propiedades originales, pero se fija un procedimiento que haga viable su colocación además de protegerlo adecuadamente mediante la colocación de láminas impermeabilizantes o mediante la ejecución de espaldones de suelos de mejor calidad o incluso del propio material marginal una vez tratado y mejoradas sus propiedades mecánicas, con objeto de evitar la entrada de agua que pudiera producir efectos indeseados de expansividad. En el interior de estas estructuras puede ser necesario la colocación de capas intermedias de refuerzo realizadas con materiales de mejores características resistentes, que garanticen incluso para terraplenes altos que se va a tener un coeficiente de seguridad suficiente frente al riesgo de rotura del propio terraplén.

Como resultado de los trabajos realizados a lo largo de bastantes años sobre utilización de materiales marginales arcillosos en la construcción de terraplenes carreteros, existe en la literatura (Oteo, 2006)² una clasificación de los materiales para terraplenes en función de su Límite Líquido y su densidad seca, tal como se recoge en la siguiente figura, que después se vincula con las secciones tipo a ejecutar.

² Oteo Mazo, C. (2006) "Las obras de tierra de la M-45 (Tramo II)". Contraste de las soluciones geotécnicas aplicadas en los accesos a Madrid. Curso Intevía. Madrid.

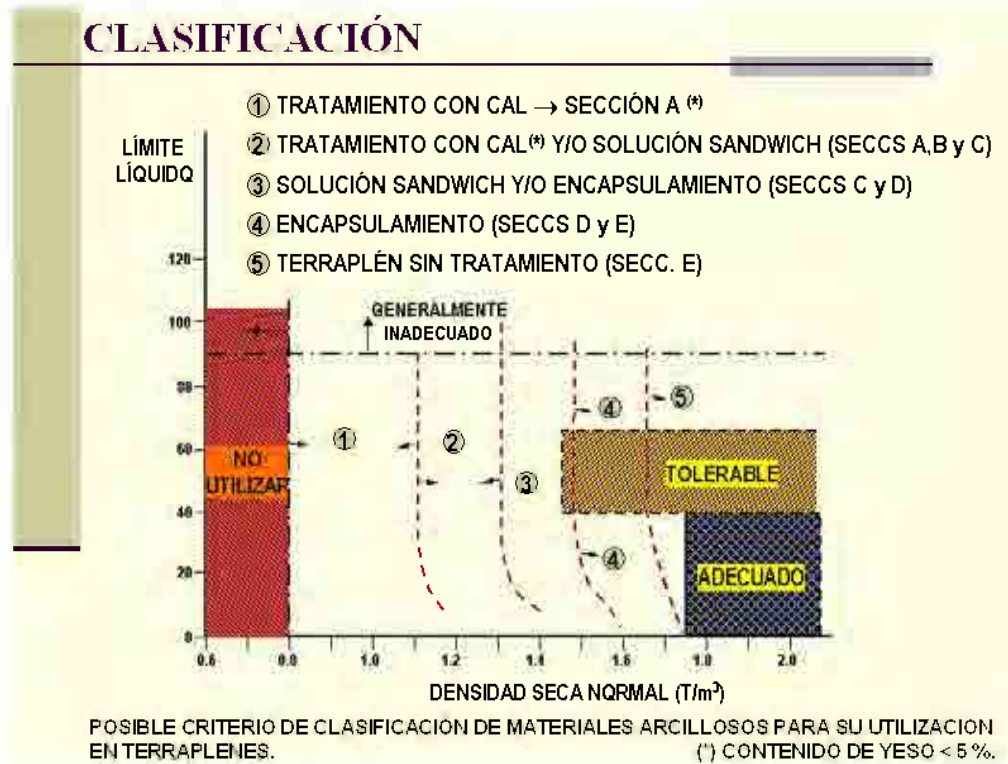


Figura 15. Criterio de clasificación de materiales arcillosos para su utilización en terraplenes (tomado de Oteo, 2006)

En la figura siguiente se recogen algunas secciones tipo de rellenos, en función de la zona de la clasificación de la figura anterior. Como puede apreciarse hay secciones en las que se trata todo el material con cal y hay otras en las que se crea una estructura típica de “sándwich” sin tratamientos especiales generalizados a todo el material, como es el mineral marginal agotado.

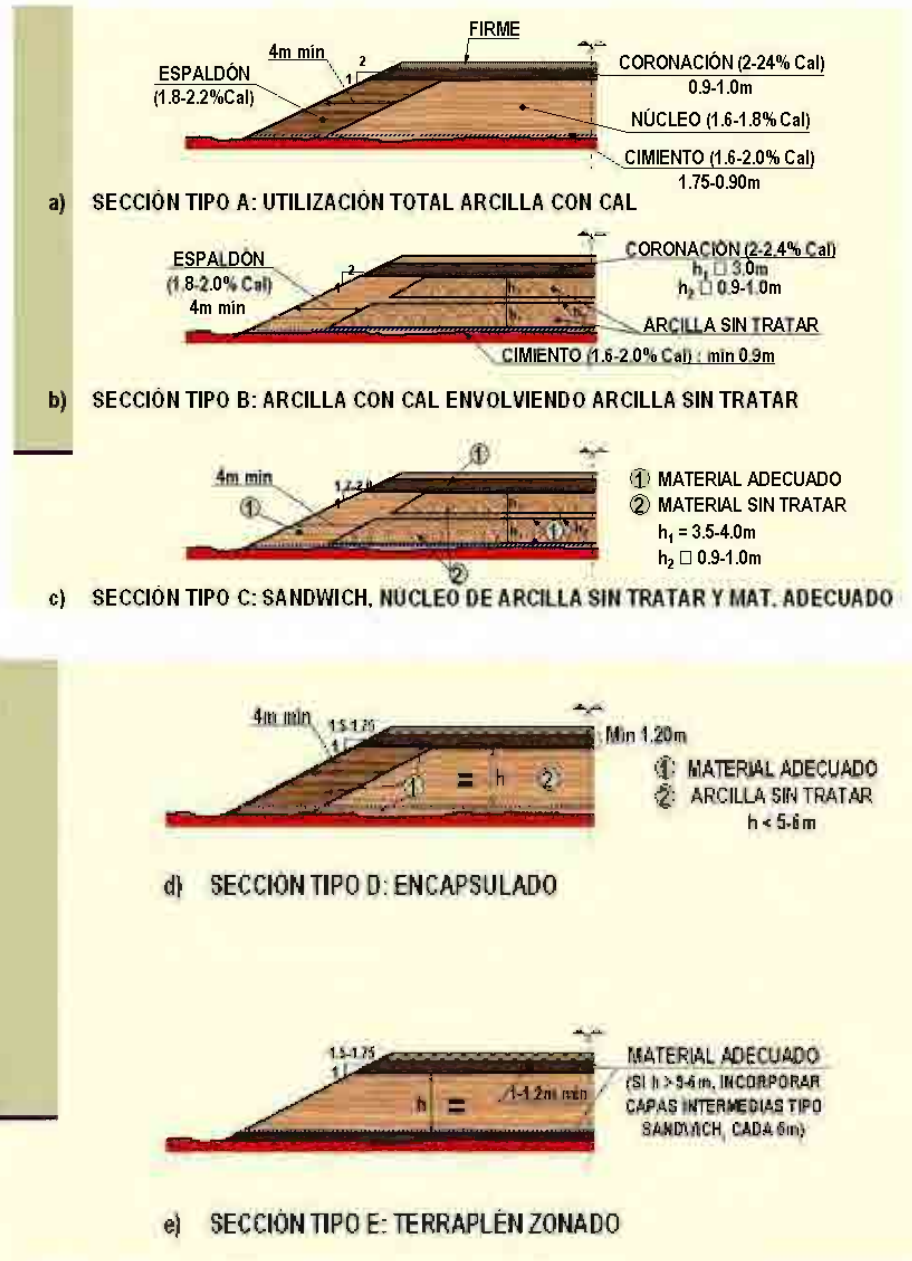


Figura 16. Secciones tipo de rellenos realizados con material arcilloso marginal (tomado de Oteo, 2006)

Como se puede apreciar en las secciones tipo anteriores, los espaldones deben ser suficientemente impermeables para evitar la infiltración de agua en el núcleo, dado el peligro potencial que supone el carácter expansivo, de medio a alto, de los limos



arcillosos. Para esto se prevé que la clausura de la Era se realice mediante una capa de sellado de 1,5 m de espesor, aproximadamente.

Esta clasificación y soluciones deben tomarse como indicativas y no como verdades absolutas, aunque si es verdad que su adopción está ya avalada por una cierta práctica real empleada en terraplenes de carreteras.

Teniendo en cuenta los valores de densidad seca y de Límite Líquido de la torta de neutralización ($\gamma_{d \max} \text{ PN} = 1,02 \text{ t/m}^3$ y $\text{LL}=61\%$), la sección que resultaría sería la sección tipo A. En este punto, cabe pensar que una sección alternante de tipo “sándwich” aportaría una menor deformabilidad en el cuerpo de la Era que una sección de tipo “encapsulado”, y además, sería necesario removilizar mucho menor volumen de material.

Evidentemente, las secciones tipo anteriores son las más recomendables desde el punto de vista técnico, puesto que están diseñadas específicamente para terraplenes de carretera, con lo que ello implica de condiciones de tráfico pesado y de velocidades elevadas en los vehículos, inexistentes, a las que se pueda esperar en la remodelación de la Era Quercus, que no estará expuesta a solicitud de carga alguna.

Vertido, extendido y compactación

Antes de proceder al vertido y extendido se debería realizar un tratamiento de aireación o desecación del material de la torta procedente del filtro presenta, ya que el elevado grado de humedad provoca que la torta se encuentre en un estado prácticamente líquido, imposibilitando ciertas operaciones con maquinaria.

La maquinaria para la colocación de este suelo tratado deberá ser:

- Para el extendido de la tierra, un *bulldozer* de cadenas.
- Para el extendido de la cal, la misma cisterna en que se suministre, con un dosificador trasero de aire comprimido. Las máquinas especiales de extendido



presentan el inconveniente de que retrasan el proceso y sueltan mucho polvo de cara a la atmósfera.

- Mezclado y trituración mediante pata de cabra. La elevada pegajosidad del material humedecido de torta puede imposibilitar el uso de estabilizadoras de eje horizontal (rotobator), con lo que el mezclado se realiza mediante pata de cabra, grada de rejas o arado de volteo.

Independientemente de la sección tipo que se fuera a utilizar en el proyecto sería conveniente tener en cuenta las siguientes condiciones de puesta en obra de los materiales marginales:

- Las energías de compactación deberían ser tales que aseguraran, al menos, densidades superiores al 98% del Próctor Normal.
- La compactación se realizaría del lado húmedo, es decir, dentro del rango comprendido entre 0 y +2% de la humedad óptima del Próctor Normal.
- Se deberían utilizar compactadores de pata de cabra, como anteriormente se ha comentado, ya que se ejecutaría el terraplén con suelos arcillosos.

En caso de que se vaya a estabilizar el material con cal sería necesario realizar un estudio específico para determinar el porcentaje óptimo de cal, tipo de cal que se debe utilizar en el tratamiento y el riesgo de su manejo para los trabajadores.

Asimismo, se recomienda establecer un área de prueba para dar conformidad del procedimiento.

8.2.5 - Mezcla de materiales en condiciones originales.

De acuerdo a la petición de ENUSA, y ante la dificultad de llegar a conseguir una aireación efectiva de los materiales de torta en la obra, como ya se ha indicado, se



propone la mezcla “in situ” en condiciones de humedad natural de los materiales de torta con los de mineral marginal agotado en proporción 1:1.

El principal problema en este procedimiento sería llegar a conseguir una adecuada uniformidad de la mezcla, puesto que los materiales de torta carecerían de disgregación por la elevada plasticidad y no se llegaría a obtener un contacto eficiente entre los diferentes materiales (torta y mineral agotado). El resultado de esta mezcla sería de una distribución algo caótica con agregados “apelmazados” de torta embebidos en mineral marginal agotado.

Este tipo de mezcla no llegaría a arrojar los parámetros geotécnicos de la mezcla 1:1 ensayada en el laboratorio, previamente desecada, desmenuzada y mezclada; con lo cual, a efectos de cálculo de estabilidad, se proponen los siguientes parámetros geotécnicos sustancialmente más desfavorables, obtenidos en parte, de correlaciones con los ensayos de laboratorios disponibles (granulometría y Límites de Atterberg):

Densidad aparente: 1,30 t/m³.

Cohesión efectiva (c'): 20 kPa (0,20 kg/cm²)

Ángulo de rozamiento efectivo (ϕ'): 28°

La construcción de esta mezcla se realizaría en la parte superior y más centrada posible de la Era, alejada todo lo posible de los taludes, de tal forma que se movilice el volumen imprescindible de mineral marginal agotado, con objeto de minimizar el impacto radiológico, además de reducir el coste económico derivado.

Vertido, extendido y compactación

Sobre una superficie regular y previamente compactada de mineral marginal, se vertería y extendería por franja lineal mediante retroexcavadora entre 20 y 30 cm de material de torta original. Cuando finalice el recorrido final de la franja, se habilitaría una rampa para proceder al vertido y extendido de mineral marginal agotado de entre



20 y 30 cm sobre el material de la torta en sentido opuesto al vertido y extendido de la torta. De esta manera se iría transitando en todo momento sobre el mineral marginal agotado, lo que facilitaría el tránsito de la maquinaria.

Una vez extendidas las dos capas en proporción 1:1 se realizarían las pasadas necesarias mediante ripper profundizando con sus vástagos una profundidad de, al menos, 50 cm, hasta alcanzar una adecuada homogeneización de los dos materiales.

Por último, se procedería a la realización de pasadas para compactar la mezcla mediante pata de cabra.

Control y seguimiento

Al ser éste un procedimiento experimental, no regulado a la fecha por algún tipo de normativa específica, se recomienda instrumentar el resultado final de la mezcla, una vez se haya reconfigurado completamente la Era. Esta instrumentación se podría llevar a cabo mediante control de asientos por técnicas topográficas y la instalación de inclinómetros (inclinometría biaxial) dispuestos perimetralmente, que determinen si se producen desplazamientos horizontales (laterales) o no.

La definición de estas medidas de instrumentación se realizaría en un informe independiente, al igual que el establecimiento de la pauta de medición y control.

Asimismo, se recomienda construir un terraplén o área de prueba para evaluar su comportamiento en condiciones reales.



8.2.6 - Estructura tipo “sándwich” en condiciones originales de los materiales.

La otra alternativa propuesta por ENUSA, y estudiada en este informe, se centraría en la construcción de una estructura de tipo “sándwich” con los materiales de torta en sus condiciones de humedad originales.

Esta solución implicaría movilizar un mayor volumen de mineral marginal agotado, con el fin de mitigar la deformabilidad de la Era, y que parte de éste acoja un cierto contenido de humedad de la torta, bien por gravedad o por capilaridad a lo largo del tiempo.

Los parámetros geotécnicos que se emplearán para el cálculo de estabilidad serán los obtenidos en los cortes directos de muestras inalteradas de los materiales de torta (los resultados del corte directo más desfavorable) y los de mineral agotado en condiciones de Próctor Normal. Estos parámetros se encuentran recogidos en el apartado 7.7 “Resumen de los principales parámetros geotécnicos de los materiales”

Vertido, extendido y compactación

De la misma forma que en la solución anterior de mezcla 1:1, se realizaría un vertido y extendido de entre 25 y 30 cm de tongada de torta sobre la superficie compacta y regular de mineral agotado en una franja lineal. Una vez finalizado el extendido de la primera tongada de torta, mediante una reducida rampa, se empezaría a verter y extender una tontada de 25-30 cm de mineral agotado sobre la torta, de tal forma que la máquina siempre transite por el material de mineral agotado. Una vez que se llegue al final del recorrido de la franja (punto de inicio de la primera tongada de torta) se realizaría un segundo extendido de mineral agotado con el mismo espesor (25-30 cm).

La compactación se realizaría mediante rodillo vibratorio sobre la siguiente sección establecida de techo a muro:

- 25-30 cm de mineral marginal agotado (2º tongada).



- 25-30 cm de mineral marginal agotado. (1º tongada)
- 25-30 cm de torta (1º tongada)

Control y seguimiento

Se establecerán las mismas medidas de control instrumental que para el caso anterior de mezcla 1:1 en condiciones originales.

También se deberá construir un terraplén o área de prueba en el que se pueda estudiar la sección de los materiales en corte vertical y validar o no el comportamiento general de la estructura.



8.3 - Estabilidad de taludes a largo plazo

8.3.1 - Introducción

En este apartado se analizan las condiciones de estabilidad a largo plazo para las soluciones anteriormente propuestas.

La normativa de aplicación se basa en los criterios recogidos en el apartado 2 de la norma americana NUREG -1620 Rev.1 "*Geotechnical Stability*".

El diseño geométrico de los taludes está contemplado en el Proyecto constructivo (2015). Constarán de una zona inferior, que se desarrolla desde la cota 655 hasta la cota 684 (Cotas ENUSA), con pendiente del 20% y con un recorrido máximo de unos 130 m de longitud hacia el suroeste del talud. La zona de más altitud comprendida entre las cotas 684 y 687 (cotas ENUSA) se sitúa en la cumbrera de la Era y presenta una pendiente de 5% y un recorrido de unos 150 m. Estas superficies corresponden a la rasante a ejecutar sobre los materiales de la Era, a los que se le deberá añadir 1,50 m de capa de sellado y cobertera vegetal. No obstante, como es usual en cualquier obra de este tipo, se deberá efectuar un replanteo topográfico al inicio de los trabajos, reflejando la situación real en dicho momento, procediendo, en su caso, a rediseñar la estructura remodelada donde fuera necesario.

8.3.2 - Hipótesis de cálculo.

Para los cálculos de estabilidad se ha seleccionado el mismo tipo de talud que en el Proyecto constructivo (2015), siendo este el más desfavorable. La modificación que se ha realizado para este estudio ha consistido en definir los límites para el cálculo del equilibrio límite desde la coronación del talud hasta su salida al suroeste.

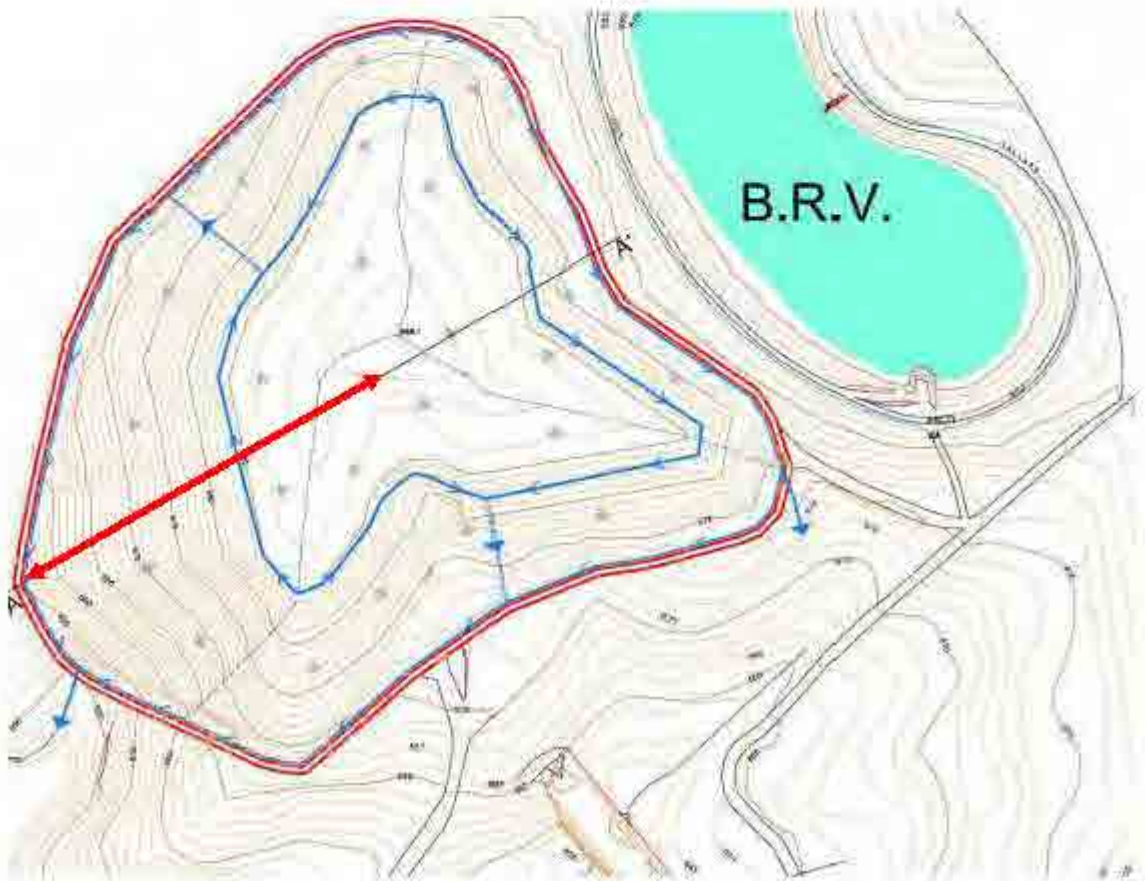


Figura 17. Situación de la sección considerada para los cálculos de estabilidad con un recorrido de unos 200 m.

Partiendo del perfil anterior, como más desfavorable, se han asumido las siguientes hipótesis de cálculo:

- Se han estudiado cinco modelos sobre las soluciones de propuestas en el anterior apartado.
 - Condiciones según Próctor Normal (aireación de los materiales de torta):
1) Era de material mezcla 2:1; 2) Era en estructura “sándwich”; 3) Era en estructura “sándwich” con tratamiento de cal.



- Condiciones originales de los materiales de torta a petición de ENUSA. 1º Mezcla 1:1 "in situ" zona superior-centrada de la Era y 2º estructura sándwich igualmente centrada.

- Los parámetros resistentes de los materiales son los indicados en la tabla siguiente, recopilada de la caracterización geotécnica realizada en apartados anteriores.

Tabla 16. Parámetros geotécnicos utilizados en los cálculos de estabilidad

Material	Densidad (t/m ³)	Cohesión (kPa)	Ang. Rozam (°)
Mineral agotado cond. PN.	1,94	91	36
Tortas de neutralización cond. PN.	1,02	42	31
Tortas de neutralización originales	1,19	38	24
Mezcla 1:1 original	1,30	20	28
Mezcla 2:1 cond. PN.	1,66	23	36
Tortas con 2 % cal cond. PN	1,01	30	27
Arcosas en cond. PN	1,89	52	44
Gravas de drenaje	2,64	---	31
Cubierta vegetal - Rañas	1,91	---	---

Nota: se han incluido los materiales de la capa de sellado (arcosas, gravas de drenaje y cubierta vegetal) cuyos parámetros geotécnicos se encuentra recogidos en el Proyecto constructivo (2015).



- No se ha tenido en cuenta la presencia de nivel freático, ya que las aguas pluviales son drenadas por la capa de proyección-drenaje (capa de sellado).
- El sustrato rocoso compuesto por pizarras paleozoicas sobre el que apoya la Era se ha definido como “*Bedrock*”, es decir, resistencia infinita.
- No se han considerado sobrecargas permanentes sobre el talud de la Era.
- De acuerdo con la normativa, para el cálculo de estabilidad se han contemplado valores de aceleración vertical de 0,1g y de aceleración horizontal de 0,15g, considerados como coeficientes sísmicos conservadores.
- Los cálculos se han realizado suponiendo superficies de deslizamiento circulares y utilizando el método de equilibrio límite de Morgenstern-Price (fuerzas y momentos).



8.3.3 - Salida gráfica – Solución mezcla 2:1.

En la siguiente figura se muestra la modelización de la Era según una solución de mezcla 2:1 (2 mineral marginal agotado y 1 torta previamente aireada):

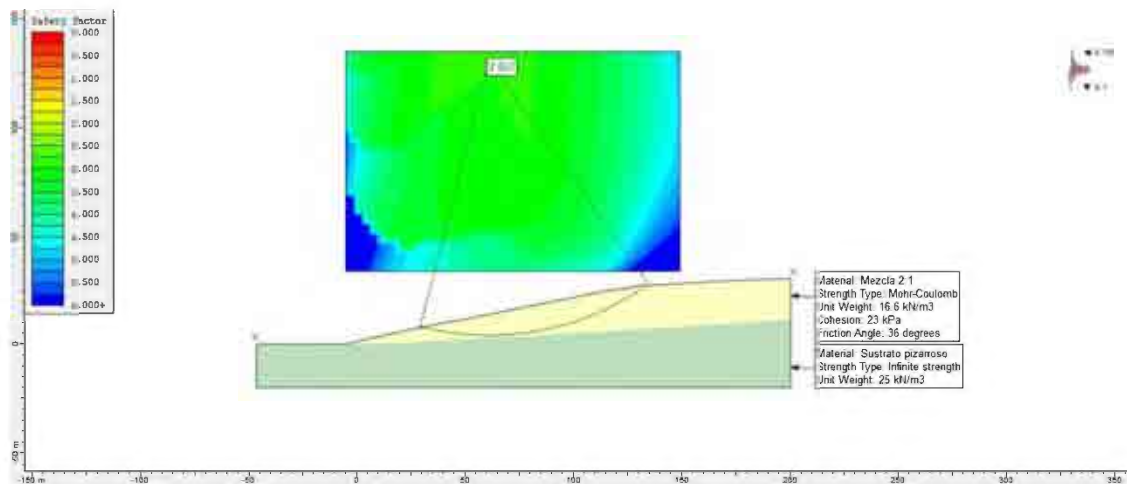


Figura 18. Modelo de análisis de estabilidad para el cuerpo de la Era con una mezcla 2:1.
Se obtiene un factor de seguridad $FS = 2,857$

Según el modelo de rotura circular de la figura anterior se obtiene un factor de seguridad correspondiente al círculo pésimo de $FS = 2,857$. Este valor de factor de seguridad es superior al habitualmente preconizado en las normas ($FS > 1,30$), por lo que se puede considerar que el diseño de talud es estable.

8.3.4 - Salida gráfica – Solución “sándwich”

En la siguiente figura se muestra la modelización de la Era según una solución de tipo “sándwich”, alternando capas de 1 m de material de torta, previa aireación, y capas de entre 3 y 4 m de mineral marginal agotado.

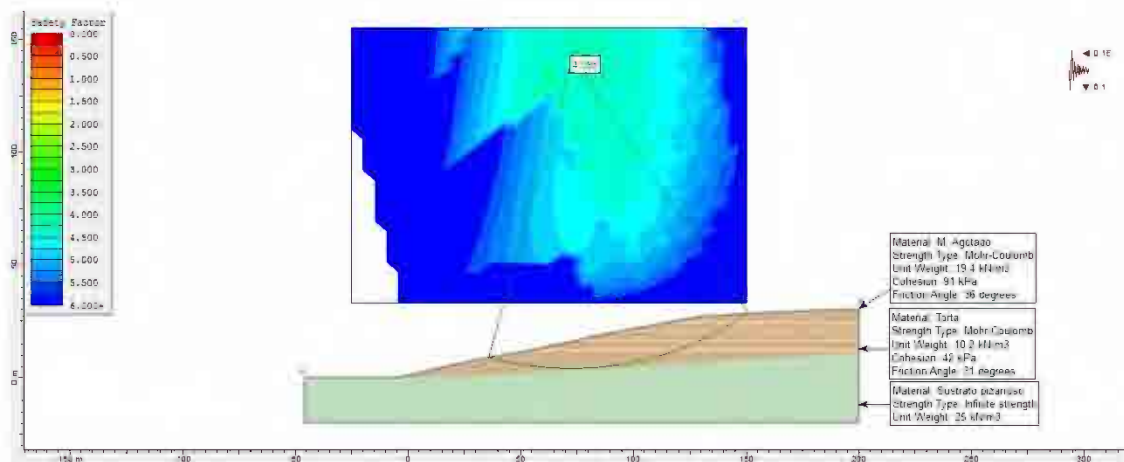


Figura 19. Modelo de análisis de estabilidad para el cuerpo de la Era con una solución de tipo “sándwich”. Se obtiene un factor de seguridad FS = 4,095

En el modelo de la figura anterior se obtiene un factor de seguridad correspondiente al círculo pésimo de FS =4,095, lo que corrobora con mucha seguridad la estabilidad del talud.

8.3.5 - Salida gráfica – Solución “sándwich” con tratamiento de cal

En la siguiente figura se muestra el diseño de la Era según una solución de tipo “sándwich” con el tratamiento de cal en la torta de neutralización. Siguiendo el mismo diseño anterior se alternarían las capas de mineral marginal agotado y las de la torta de neutralización.

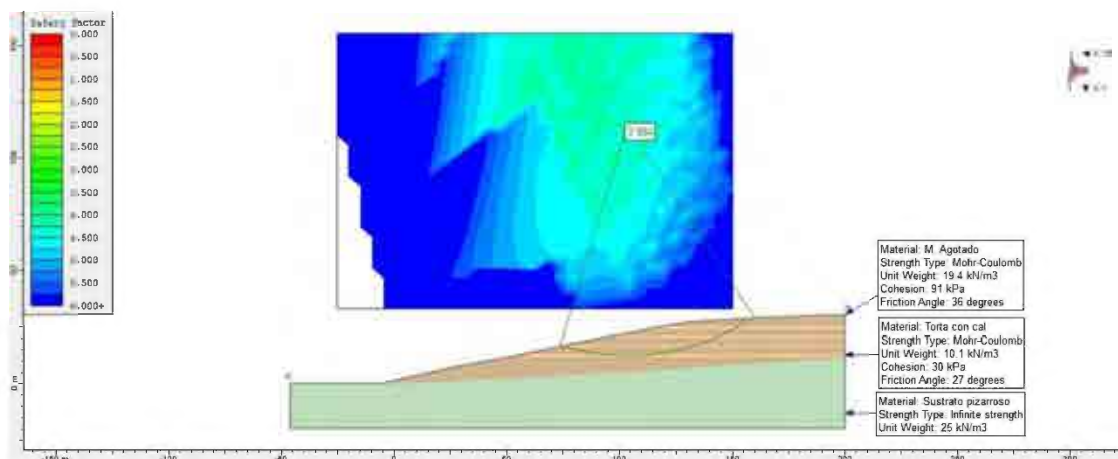


Figura 20. Modelo de análisis de estabilidad para el cuerpo de la Era con una solución de tipo “sándwich” con tratamiento de cal en la torta. Se obtiene un factor de seguridad FS = 3,984

En el modelo de la figura anterior se obtiene un factor de seguridad correspondiente al círculo pésimo de FS = 3,984, lo cual cumpliría con los requerimientos de la normativa (FS > 1,3) y, por lo tanto, se consideraría un talud estable.

8.3.6 - Salida gráfica – Solución mezcla 1:1 en condiciones originales.

En la siguiente figura se muestra la modelización de la Era según una solución de mezcla 1:1 (1 mineral marginal agotado y 1 torta) en condiciones de la torta original en cuanto a humedad y densidad aparente (condiciones originales demandadas por ENUSA). En este caso es necesaria la homogeneización de ambas capas de material, de entre 20 y 30 cm de espesor, mediante varias pasadas de *ripper* con *bulldozer* y la posterior compactación del conjunto.

En el contorno del modelo se puede apreciar que el perfil de la mezcla se extendería en profundidad mucho más que en las condiciones de obra que se situaría en la parte superior central. Este planteamiento pretende recrear unas condiciones, si cabe, más desfavorables que en la situación real.

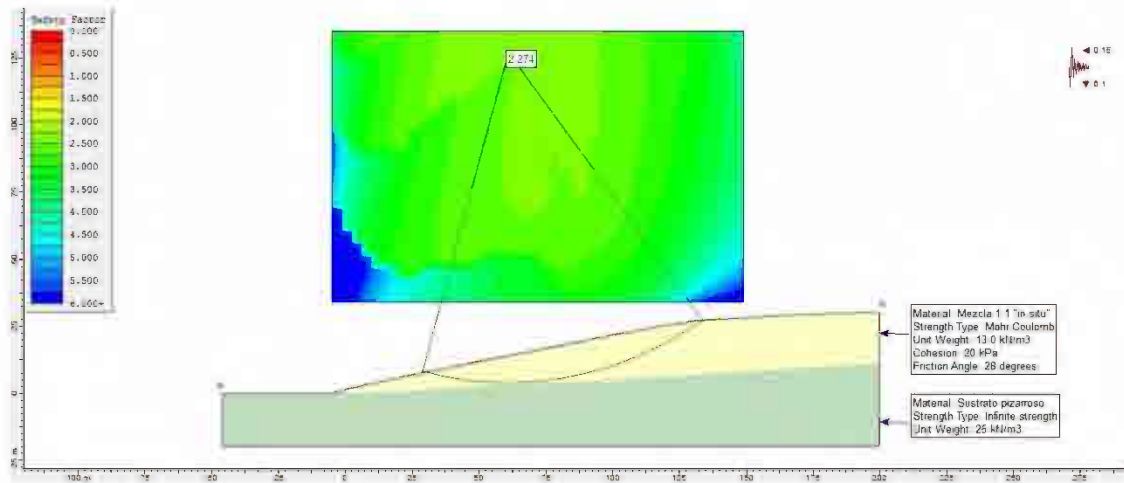


Figura 21. Modelo de análisis de estabilidad para el cuerpo de la Era con una mezcla 1:1 en condiciones originales. Se obtiene un factor de seguridad FS = 2,274

Según el modelo de rotura circular de la figura anterior se obtiene un factor de seguridad correspondiente al círculo pésimo de $FS = 2,274$. Este valor de factor de seguridad es superior al habitualmente preconizado en las normas ($FS > 1,30$), por lo que se puede considerar que el diseño de talud es estable.

8.3.7 - Salida gráfica – Solución “sándwich” en condiciones originales.

En la siguiente figura se muestra el diseño de la Era según una solución de tipo “sándwich” según una sección de una tongada de 25-30 cm de torta original y dos tongadas de 25-30 cm cada una de mineral marginal agotado.

La primera tongada de torta original se colocaría y extendería sobre la superficie compactada y regularizada de mineral marginal agotado.

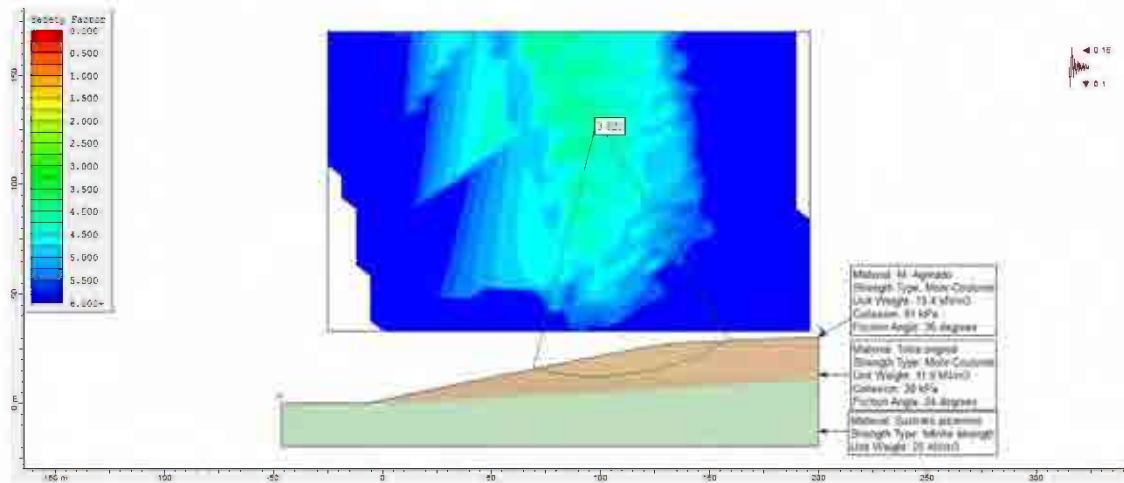


Figura 22. Modelo de análisis de estabilidad para el cuerpo de la Era con una solución de tipo “sándwich” en condiciones de torta original. Se obtiene un factor de seguridad FS = 3,823.

En el modelo de la figura anterior se obtiene un factor de seguridad correspondiente al círculo pésimo de $FS = 3,823$, cumpliendo así con los requerimientos de la normativa ($FS > 1,3$) y, por lo tanto, se consideraría un talud estable.



8.4 - Conclusiones para los cálculos de estabilidad.

En los resultados de los cálculos de estabilidad aplicados a los diseños anteriores se ha considerado el mismo modelo de contorno que para el proyecto constructivo (2015) en su Anejo 3, siendo la sección considerada la más desfavorable y la que mayor recorrido aporta.

En la siguiente tabla se exponen los factores de seguridad que se han obtenido en cada una de las soluciones:

Tabla 17. Factores de seguridad obtenidos para cada diseño

Tipo de talud desde la +665 a la +684 m.	Tipo de talud desde la +684 a la +687 m.	Situación – método de cálculo	Diseño talud	Factor de seguridad (FS)
5H:1V (20 %)	20H:1V (5 %)	Situación final Era – Morgenstern-Price	Mezcla 2:1	2,857
			“Sándwich”	4,095
			“Sándwich” con cal	3,984
			Mezcla 1:1 condiciones originales	2,274
			“Sándwich” condiciones originales	3,823

El coeficiente de seguridad mínimo según la norma de referencia “NRC Regulatory Guide 3.11, Rev. 3”, es de Factor de Seguridad FS = 1,3, para el estado final de la construcción de la Era.

A partir de los resultados obtenidos para cada diseño, se exponen las siguientes conclusiones:



- Los factores de seguridad obtenidos para cada uno de los diseños de colocación de los materiales en la Era reconfigurada en su estado final, son muy superiores al exigible, incluso, aplicando el factor sismo a modo conservador.
- Se puede apreciar como el diseño tipo “sándwich”, con aireación previa de las tortas, tanto con tratamiento de cal como sin él, arroja un valor de factor de seguridad superior a la situación mezcla 2:1, en la que habría una homogeneización o uniformidad en el cuerpo de la Era.
- Aunque en ambas soluciones tipo “sándwich” se obtienen valores de factor de seguridad bastante holgados (muy por encima de la seguridad mínima exigida), en la solución tipo “sándwich” con tratamiento de cal no se llega a obtener un resultado de factor de seguridad superior a la solución sin cal, como sería de esperar. Esto se debe a que los parámetros resistentes de la torta con cal no superan a los de la torta sin tratamiento, claramente notorio en la diferencia entre los valores de cohesión efectiva entre uno y otro material.
- Los cálculos de estabilidad realizados en condiciones originales de la torta, conducen a factores de seguridad muy por encima al exigible. Entre los dos planteamientos de cálculo, el mayor factor de seguridad se obtiene en la solución tipo “sándwich”, con un $FS = 3,823$. Esta solución se considera mucho más factible que la solución de mezcla en condiciones naturales, ya que el procedimiento de su puesta en obra ofrece menor complejidad.



9 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La empresa ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A., S.M.E., solicitó a D. Álvaro Rodríguez Zapata (Geólogo Col. nº 6.875), que actúa bajo la firma comercial GEOESTUDIOS ZAPATA, la elaboración de un estudio de estabilidad en el proceso de desmantelamiento de la Era de lixiviación estática “Quercus”, situada en la parte norte de las explotaciones mineras de Saelices el Chico (Salamanca), propiedad de dicha empresa.

Dicha Era se ha ido construyendo sobre materiales paleozoicos pizarrosos mediante el extendido de cuatro tongadas de mineral marginal agotado desde la cota +651 a la +684 m. Además durante los últimos años se han ido acopiando en la parte alta de la Era, tortas generadas durante el proceso tratamiento de las aguas ácidas de mina, mediante neutralización química, previo a su vertido controlado al río Águeda.

El planteamiento actual para remodelar la Era se centra en la reutilización conjunta de los materiales de mineral marginal agotado (pizarras trituradas y lixiviadas con solución ácida) y tortas de neutralización.

Se han determinado los parámetros geotécnicos de los materiales originales, mezclas entre si y tratamiento de adición con cal. Para ello se han utilizado datos geotécnicos procedentes de ensayos de laboratorio que se realizaron para el Proyecto constructivo (2015) y los resultados de los ensayos de campo y laboratorio de la presente campaña geotécnica. Así, la caracterización geotécnica se ha basado en los siguientes materiales:

- Mineral marginal agotado.
- Tortas de neutralización.
- Mezcla 2:1 (2 mineral marginal agotado y 1 torta)
- Mezcla 1:1 (1 mineral marginal agotado y 1 torta)
- Torta de neutralización estabilizada al 2 % de cal.



El principal problema para abordar la reconfiguración de la Era radica en la puesta en obra de los materiales de torta de neutralización. Este material queda clasificado por el PG-3 como un “suelo marginal” que por sí solo no se podría emplear en núcleos de terraplenes para obra lineal. El elevado grado de humedad y elevada plasticidad, hace que sea muy complejo su extendido y compactación. Para conseguir la colocación de estos materiales, antes de acometer cualquier solución, será imprescindible disminuir el contenido en humedad mediante tratamientos de aireación o desecación. Procedimiento este último difícil y costoso.

Para la reconfiguración “in situ” de los materiales contenidos en la Era de Lixiviación Estática Quercus, se plantean las siguientes soluciones:

- Mezcla de materiales (mineral marginal agotado y tortas) en diferentes proporciones, si bien se adelanta que las que mejores prestaciones geotécnicas se ha conseguido con la mezcla 2:1.
- Construcción de una estructura tipo “sándwich” sin tratamiento con cal y con tratamiento con cal.
- Remodelación de la Era con los materiales de torta en condiciones originales tanto con mezcla de materiales “in situ” en proporción 1:1 (mineral marginal agotado y torta) como en estructura de tipo “sándwich”. El estudio de estas dos soluciones ha sido el propuesto por ENUSA, como ya se ha indicado, ante la dificultad de poder conseguir una reducción del contenido de humedad de la torta de neutralización.

El estudio de cada una de las soluciones que se han propuesto se recoge en detalle en el apartado 8.1 “Soluciones para la remodelación de la Era Quercus”.

En ambas mezclas realizadas en laboratorio resultó muy costoso llegar a conseguir su homogeneización, ya que el material de la torta tuvo que perder un elevado contenido de humedad y, posteriormente, tuvo que ser minuciosamente machacado hasta alcanzar



una adecuada superficie específica de contacto entre los granos. Este procedimiento extrapolado a escala industrial, exigiría la movilización de grandes volúmenes de mineral agotado, por lo que sería necesaria la implantación de equipos de mezclado con las todas implicaciones, también señaladas anteriormente.

En caso de mezclar materiales procedentes del desmantelamiento de la Planta Quercus (hormigón machacado como residuo de obra civil), es obvio que estos materiales al ser fragmentos entre 20-30 cm mejorarán las propiedades geotécnicas de los materiales originales y con ello el tránsito de la maquinaria.

Para controlar la humedad y densidad en la compactación de los materiales según Próctor de referencia, se realizarán ensayos “in situ” mediante el método nuclear, siguiendo todo lo establecido en el PG-3.

En caso de ejecutar una solución orientada al tratamiento de la torta con cal, se deberá acometer un estudio pormenorizado para diferentes tipos y porcentajes de cal.

Se recomienda ejecutar terraplenes o áreas de prueba que permitan validar las soluciones de diseño recomendadas. Asimismo, se deberá instrumentar la Era remodelada mediante métodos topográficos e inclinometría biaxial, con el objetivo de controlar deformaciones y movimientos.

Para los cálculos de estabilidad aplicados a los diferentes diseños del cuerpo de la Era, se ha considerado el mismo modelo de contorno que para el proyecto constructivo (2015) en su Anejo 3, siendo la sección considerada, la más desfavorable y la que mayor recorrido aporta.

En la siguiente tabla se exponen los factores de seguridad que se han obtenido en cada una de las soluciones:



Tipo de talud desde la +665 a la +684 m.	Tipo de talud desde la +684 a la +687 m.	Situación – método de cálculo	Diseño talud	Factor de seguridad
5H:1V (20 %)	20H:1V (5 %)	Situación final Era – Morgenstern-Price	Mezcla 2:1	2,857
			“Sándwich”	4,095
			“Sándwich” con cal.	3,984
			Mezcla 1:1 cond. originales	2,274
			“Sándwich” cond. originales	3,823

El coeficiente de seguridad mínimo según la norma de referencia “NRC Regulatory Guide 3.11, Rev. 3”, es de Factor de Seguridad $FS = 1,3$, para el estado final de la construcción de la Era. Por lo tanto en vista de los factores de seguridad obtenidos, se considera que todos los diseños propuestos guardan la mínima seguridad exigida.

Se considera necesario que durante el proceso de remodelación de la Era se confirme y corrobore este informe. En caso contrario, es necesario que la Dirección de Obra informe a GEOESTUDIOS ZAPATA, para que personal técnico inspeccione las obras y pueda tomar las decisiones adecuadas.

No se detectó la presencia de nivel de agua en ninguno de los reconocimientos realizados a fecha del 19 de julio de 2017.

Las conclusiones y recomendaciones emitidas en este informe son válidas para la obra descrita, en los puntos investigados y en la fecha de ejecución. Toda variación importante en localización o proyecto, así como cualquier anomalía del terreno que se detecte y no haya sido prevista deberá ser comunicada.



No obstante lo aquí expuesto, corresponde a la Dirección de Obra el tomar las medidas que estime oportunas en cada momento. Del presente informe, que consta de noventa y cinco (95) páginas numeradas y cuatro (4) apéndices, no se facilitará información a terceros, salvo autorización expresa del peticionario, considerándose estos trabajos de carácter particular y confidencial.

En Salamanca, septiembre de 2017.



Fdo.: Álvaro Rodríguez Zapata
Geólogo colegiado nº 6.875
Máster Mecánica del Suelo. CEDEX



GEOESTUDIOS ZAPATA

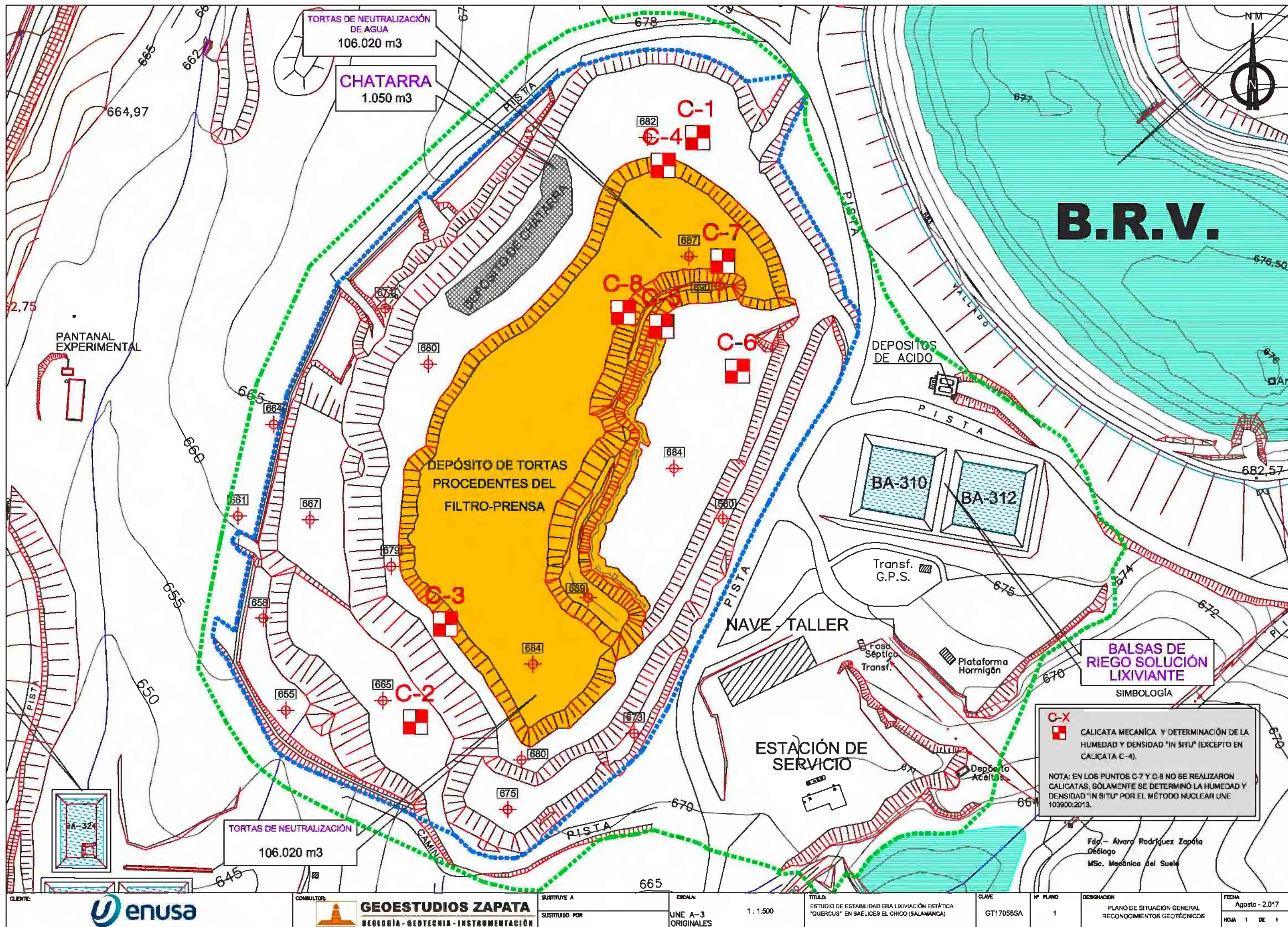
GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A.

**ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE
LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN
SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA).**

SALAMANCA

**APÉNDICE I: PLANO DE SITUACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE CAMPO**





GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A.

**ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE
LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN
SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA).**

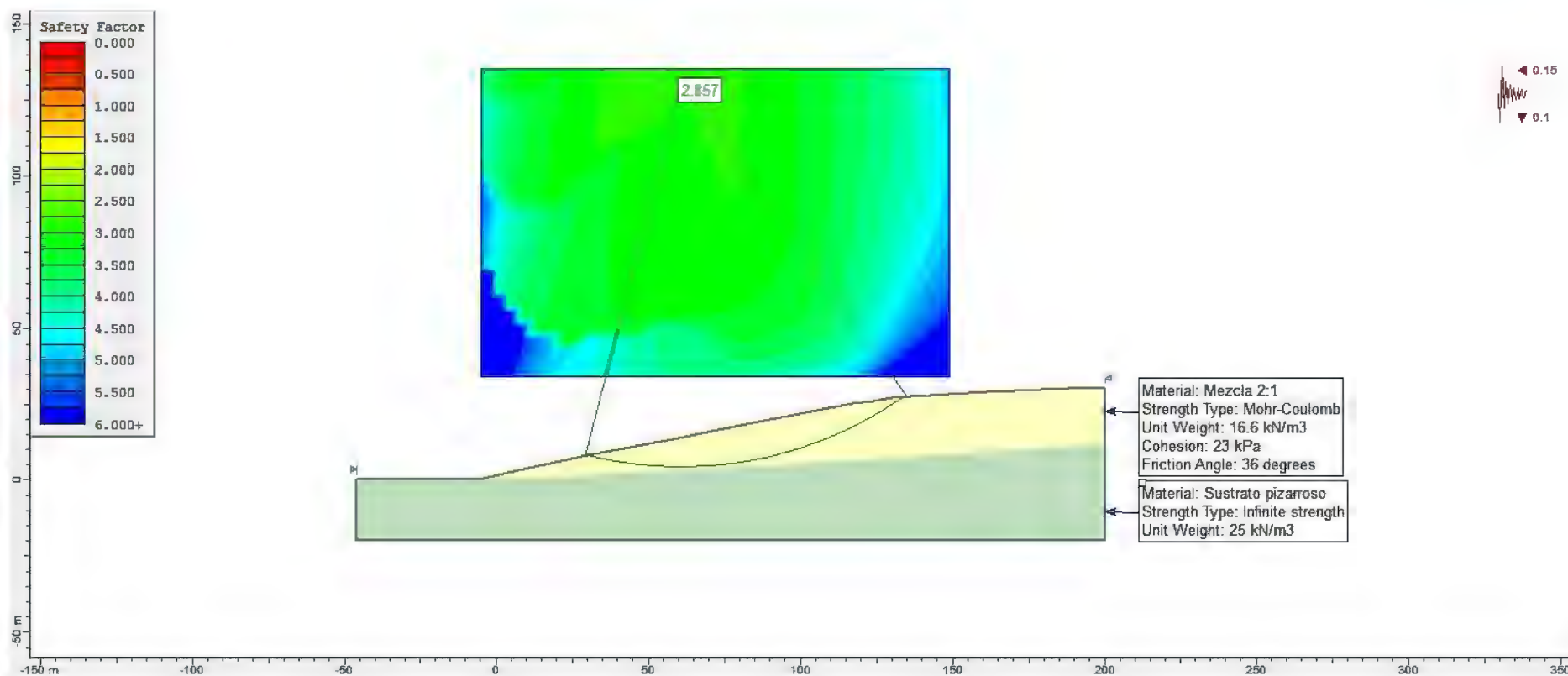
SALAMANCA

**APÉNDICE II: SITUACIÓN DEL TRAZADO DEL PERFIL
DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD. SALIDAS GRÁFICAS.**



TITULO: ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA
"QUERCUS" EN SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA)..

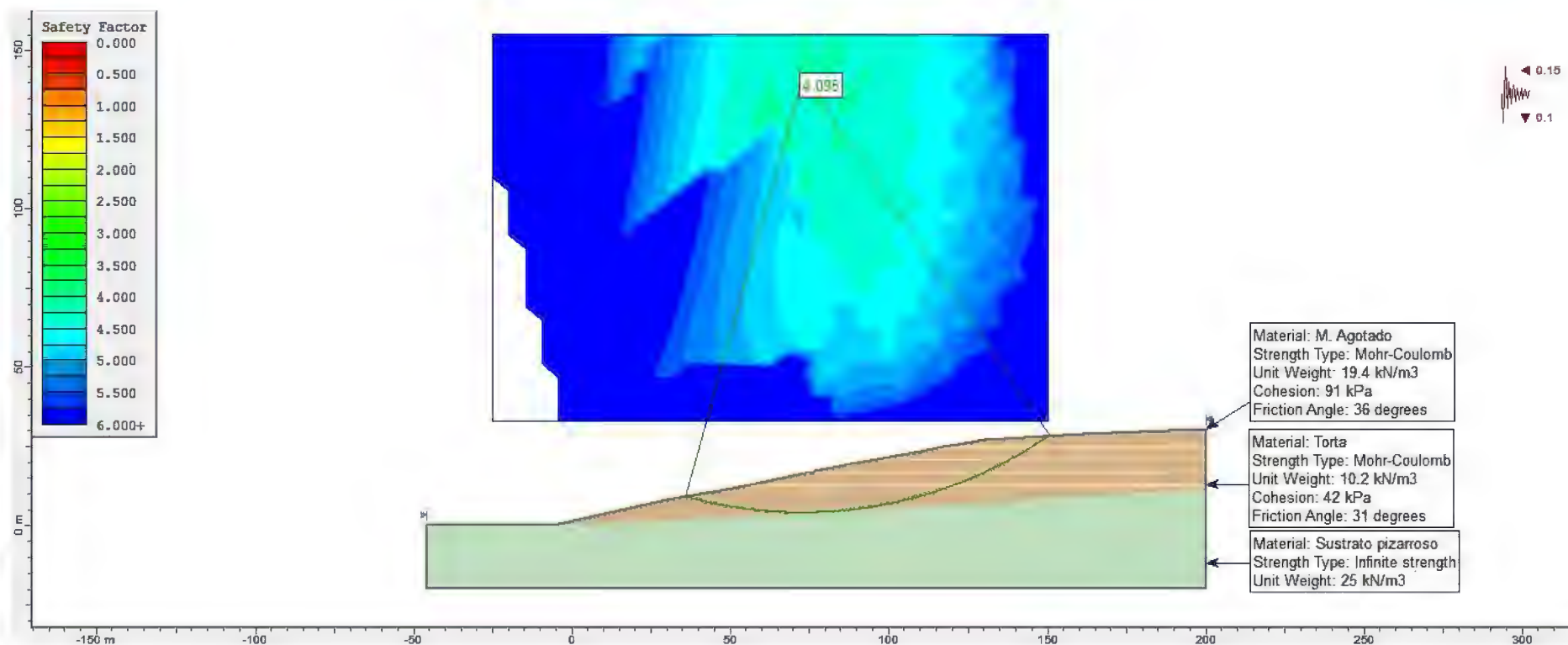
REF.:GT17056SA (SALAMANCA)



Modelo de análisis de estabilidad para el cuerpo de la Era con una mezcla 2:1. Se obtiene un factor de seguridad FS = 2,857

TITULO: ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA
“QUERCUS” EN SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA)..

REF.:GT17056SA (SALAMANCA)

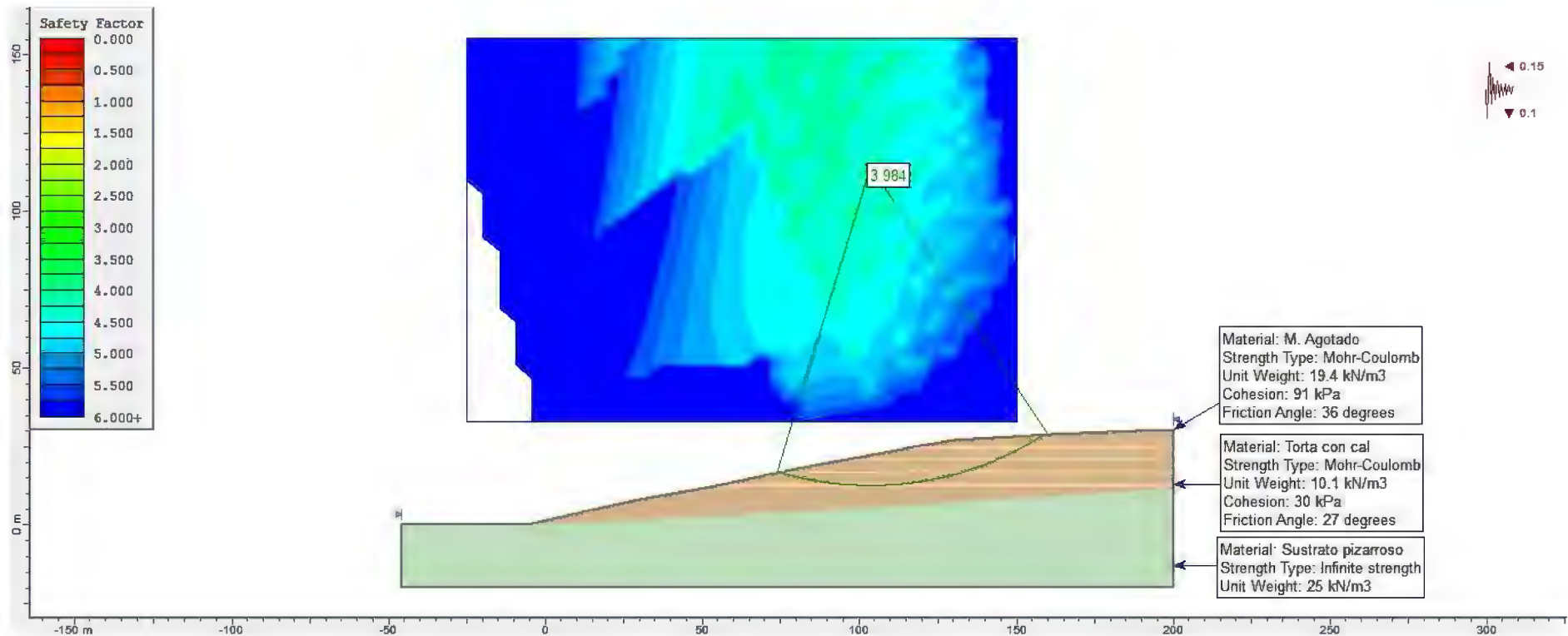


Modelo de análisis de estabilidad para el cuerpo de la Era con una solución de tipo “sándwich”. Se obtiene un factor de seguridad FS =

4,095

TITULO: ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA
“QUERCUS” EN SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA)..

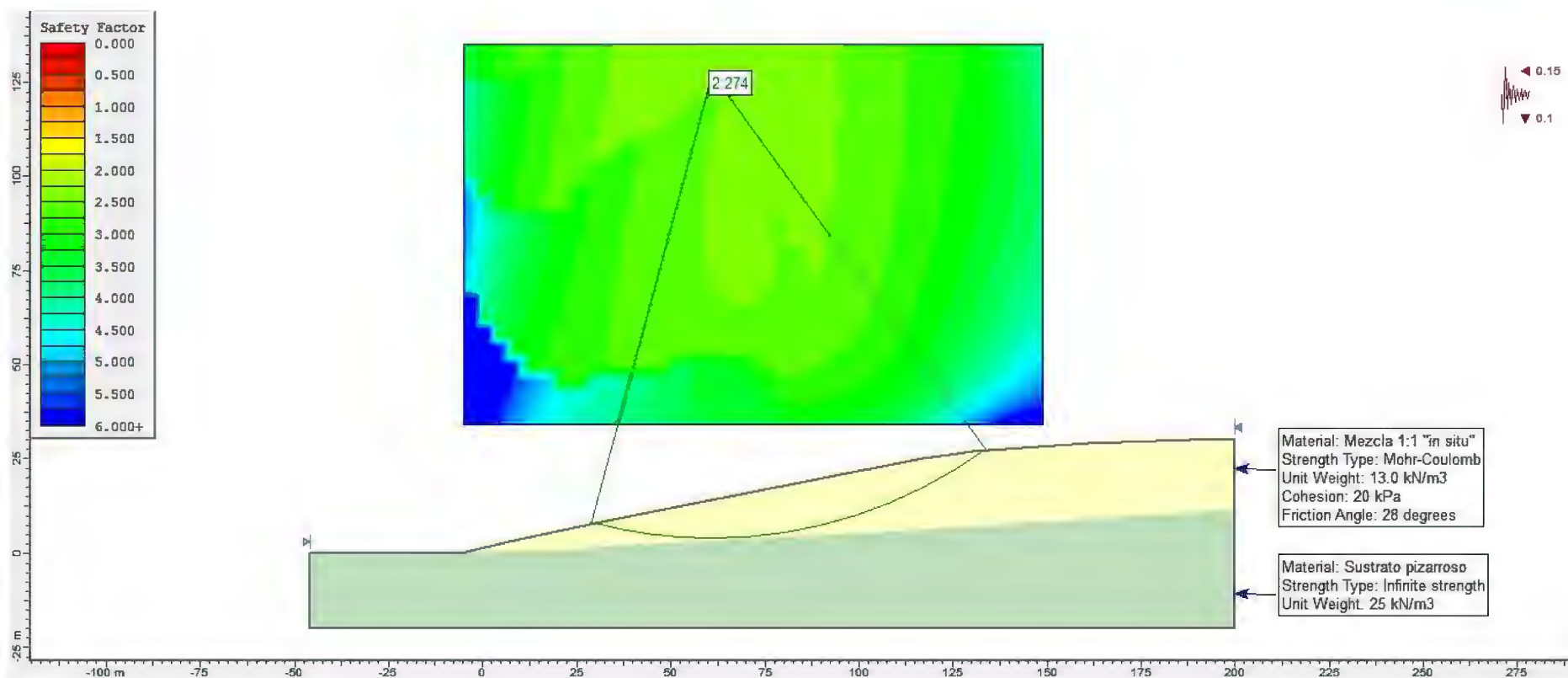
REF.:GT17056SA (SALAMANCA)



Modelo de análisis de estabilidad para el cuerpo de la Era con una solución de tipo “sándwich” con tratamiento de cal en la torta. Se obtiene un factor de seguridad $FS = 3,984$

TITULO: ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA
"QUERCUS" EN SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA)..

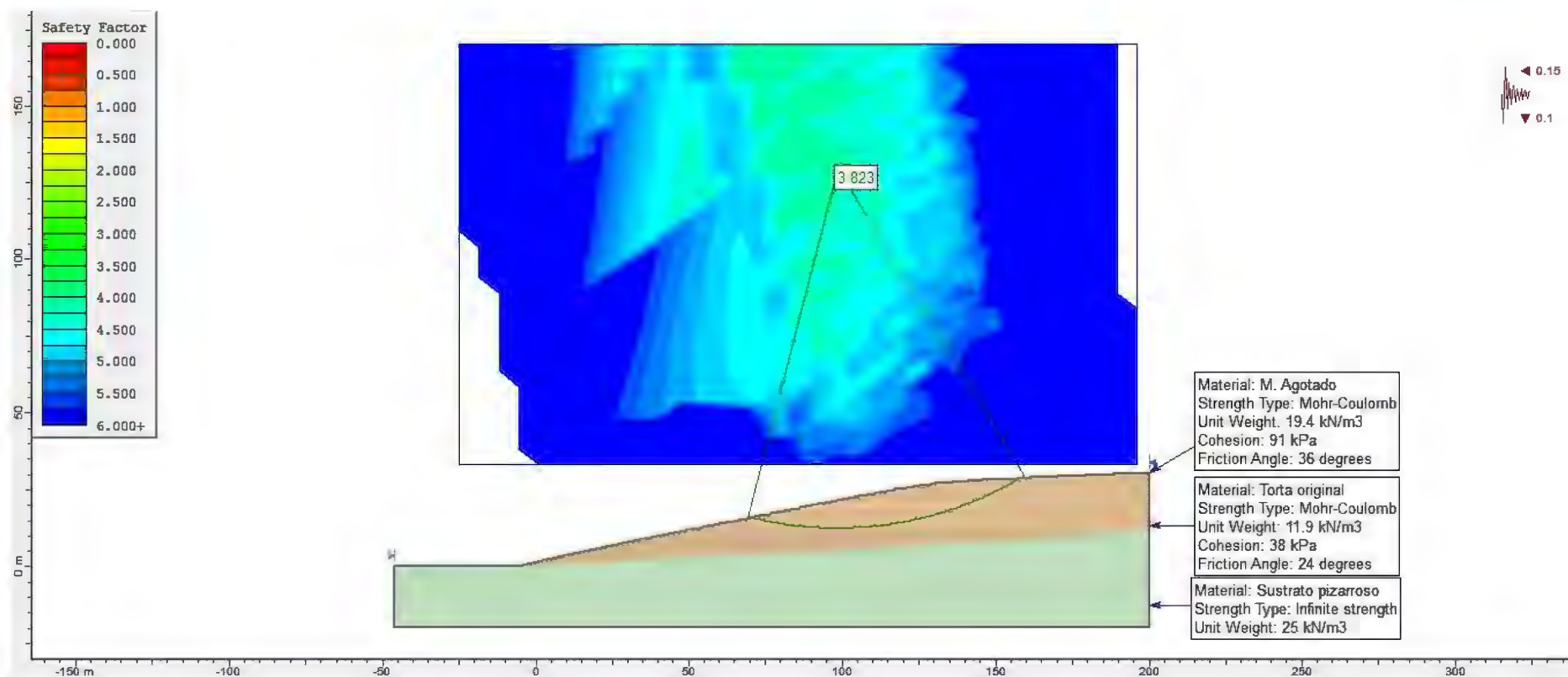
REF.:GT17056SA (SALAMANCA)



Modelo de análisis de estabilidad para el cuerpo de la Era con una mezcla 1:1 "in situ" en condiciones originales de la torta. Se obtiene un factor de seguridad $FS = 2,274$

TITULO: ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA
“QUERCUS” EN SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA)..

REF.:GT17056SA (SALAMANCA)



Modelo de análisis de estabilidad para el cuerpo de la Era con una solución de tipo “sándwich” en condiciones originales de la torata. Se obtiene un factor de seguridad $FS = 3,823$



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A.

**ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE
LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN
SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA).**

SALAMANCA

**APÉNDICE III: PARTE DEL REGISTRO DE LAS
CALICATAS MECÁNICAS.**

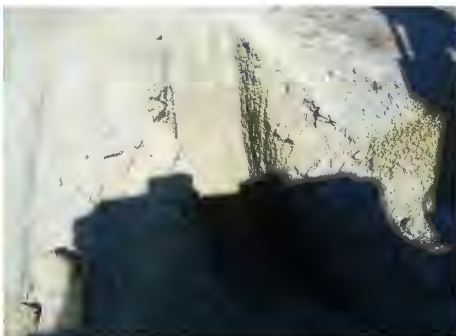


PROYECTO: ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAÉLICES EL CHICO.				CC n° C-1	
Cliente: 	Trabajo ref.: GT17056SA	Coordenadas: X: 701.575 / Y: 4.502.436 / Z: 682	Localidad: Saélíce el Chico (SA)		
	Fecha: 19/07/2017	Maquinaria: Excavadora mixta	Testificado por: Álvaro Rodríguez (Geólogo)		Hoja: 1 de 1

Prof. (m)	N.F.	Leyenda	Descripción	Excavab.				Estab.				N° Muestra
				1	2	3	4	1	2	3	4	
0,50 1,00			0,00-1,30 m: Relleno vertido y débilmente compactado por el tránsito de maquinaria. Mineral marginal agotado. Pizarras machacadas con granulometría comprendida entre 1 y 10 mm. Estado seco. Color gris-verdoso.									MA-1 MI-1 1,20
1,50 2,00 2,50 3,00 3,50 4,00			FIN DE CALICATA A 1,30 m.									

Excavabilidad: 1. Fácilmente excavable, 2. Excavable con cierta dificultad, 3. Difícilmente excavable, 4. No excavable
Estabilidad de las paredes: 1. Estable, 2. Ligeramente inestable, 3. Bastante inestable, 4. Inestable-Cierre de las paredes

Fotografías:



Observaciones:

Se realiza ensayo para la determinación de la densidad y humedad "in situ" por método nuclear UNE 103-00:2013. Humedad: 4,6 %. Densidad aparente: 1,84 t/m³.



PROYECTO: ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAÉLICES EL CHICO.				CC n° C-2	
Cliente: 	Trabajo ref.: GT17056SA	Coordenadas: X: 701.480 / Y: 4.502.120 / Z: 665	Localidad: Saélíce el Chico (SA)		
	Fecha: 19/07/2017	Maquinaria: Excavadora mixta	Testificado por: Álvaro Rodríguez (Geólogo)		Hoja: 1 de 1

Prof. (m)	N.F.	Leyenda	Descripción	Excavab.				Estab.				N° Muestra
				1	2	3	4	1	2	3	4	
0,50			0,00-0,80 m: Relleno vertido y débilmente compactdo por el tránsito de maquinaria. Mineral marginal agotado. Pizarras machacadas con granulometría comprendida entre 1 y 10 mm. Estado seco. Color gris-verdoso.									MA-1 MI-1 0,80
1,00			FIN DE CALICATA A 0,80 m.									
1,50												
2,00												
2,50												
3,00												
3,50												
4,00												

Excavabilidad: 1. Fácilmente excavable, 2. Excavable con cierta dificultad, 3. Difícilmente excavable, 4. No excavable
Estabilidad de las paredes: 1. Estable, 2. Ligeramente inestable, 3. Bastante inestable, 4. Inestable-Cierre de las paredes

Fotografías:



Observaciones:

Se realiza ensayo para la determinación de la densidad y humedad "in situ" por método nuclear UNE 103-00:2013. Humedad: 4,3 %. Densidad aparente: 1,87 t/m3.



PROYECTO: ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAÉLICES EL CHICO.				CC nº C-3	
Cliente: 		Trabajo ref.: GT17056SA	Coordenadas: X: 701.494 / Y: 4.502.167 / Z: 679	Localidad: Saélíce el Chico (SA)	
		Fecha: 19/07/2017	Maquinaria: Excavadora mixta	Testificado por: Álvaro Rodríguez (Geólogo)	Hoja: 1 de 1

Prof. (m)	N.F.	Leyenda	Descripción	Excavab.				Estab.				Nº Muestra
				1	2	3	4	1	2	3	4	
0,50			0,00-1,50 m. Talud. Torta vieja. Material vertido. Torta de neutralización de las aguas. Textura tableada y jabonosa. Estado muy húmedo con los primeros 30-40 cm alterados. Color del interior de la torta blanquecino y superficie de alteración ocre.									MA-1 T. VIEJA
1,00												
1,50												
2,00												
2,50												
3,00			FIN DE CALICATA A 1,50 m.									MI-1
3,50												
4,00												


Excavabilidad: 1. Fácilmente excavable, 2. Excavable con cierta dificultad, 3. Difícilmente excavable, 4. No excavable
Estabilidad de las paredes: 1. Estable, 2. Ligeramente inestable, 3. Bastante inestable, 4. Inestable-Cierre de las paredes

Fotografías:



Observaciones:

Se realiza ensayo para la determinación de la densidad y humedad "in situ" por método nuclear UNE 103-00:2013. Humedad: 39,0 %. Densidad aparente: 0,93 t/m3.

PROYECTO: ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAÉLICES EL CHICO.				CC n° C-4	
Cliente: 		Trabajo ref.: GT17056SA	Coordenadas: X: 701.573 / Y: 4.502.401 / Z: 683	Localidad: Saélice el Chico (SA)	
		Fecha: 19/07/2017	Maquinaria: Excavadora mixta	Testificado por: Álvaro Rodríguez (Geólogo)	Hoja: 1 de 1

Prof. (m)	N.F.	Leyenda	Descripción	Excavab.				Estab.				N° Muestra
				1	2	3	4	1	2	3	4	
0,50			0,00-1,00 m. Talud. Torta vieja. Material vertido. Torta de neutralización de las aguas. Textura tableada y jabonosa. Estado muy húmedo con los primeros 30-40 cm alterados. Color del interior de la torta blanquecino y superficie de alteración ocre.									
1,00			FIN DE CALICATA A 1,00 m.									
1,50												
2,00												
2,50												
3,00												
3,50												
4,00												

Excavabilidad: 1. Fácilmente excavable, 2. Excavable con cierta dificultad, 3. Difícilmente excavable, 4. No excavable
 Estabilidad de las paredes: 1. Estable, 2. Ligeramente inestable, 3. Bastante inestable, 4. Inestable-Cierre de las paredes

Fotografías:



Observaciones:



PROYECTO: ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAÉLICES EL CHICO.				CC n° C-5	
Cliente: 	Trabajo ref.: GT17056SA	Coordenadas: X: 701.571 / Y: 4.502.320 / Z: 684		Localidad: Saélice el Chico (SA)	
	Fecha: 19/07/2017	Maquinaria: Excavadora mixta	Testificado por: Álvaro Rodríguez (Geólogo)		Hoja: 1 de 1

Prof. (m)	N.F.	Leyenda	Descripción	Excavab.				Estab.				N° Muestra
				1	2	3	4	1	2	3	4	
0,50			0,00-1,10 m. Talud. Torta nueva. Material vertido. Torta de neutralización de las aguas. Textura tableada formada por el filtro prensa. Estado muy húmedo a saturado. Color blanquecino.									
1,00			FIN DE CALICATA A 1,10 m.									MA-1 MI-1
1,50												
2,00												
2,50												
3,00												
3,50												
4,00												

Excavabilidad: 1. Fácilmente excavable, 2. Excavable con cierta dificultad, 3. Difícilmente excavable, 4. No excavable
Estabilidad de las paredes: 1. Estable, 2. Ligeramente inestable, 3. Bastante inestable, 4. Inestable-Cierre de las paredes

Fotografías:



Observaciones:

Se realiza ensayo para la determinación de la densidad y humedad "in situ" por método nuclear UNE 103-00:2013. Humedad: 110,0 %. Densidad aparente: 1,01 t/m3.



PROYECTO: ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAÉLICES EL CHICO.				CC n° C-6	
Cliente: 		Trabajo ref.: GT17056SA	Coordenadas: X: 701.618 / Y: 4.502.305 / Z: 684	Localidad: Saélice el Chico (SA)	
		Fecha: 19/07/2017	Maquinaria: Excavadora mixta	Testificado por: Álvaro Rodríguez (Geólogo)	Hoja: 1 de 1

Prof. (m)	N.F.	Leyenda	Descripción	Excavab.				Estab.				N° Muestra
				1	2	3	4	1	2	3	4	
0,50			0,00-1,20 m: Relleno vertido y débilmente compactado por el tránsito de maquinaria. Mineral marginal agotado. Pizarras machacadas con granulometría comprendida entre 1 y 10 mm. Aspecto oxidado. Estado seco. Color gris-amarillento.									
1,00												MA-1 1,20
1,50			FIN DE LA CALICATA A 1,20 m.									
2,00												
2,50												
3,00												
3,50												
4,00												

Excavabilidad: 1. Fácilmente excavable, 2. Excavable con cierta dificultad, 3. Difícilmente excavable, 4. No excavable
Estabilidad de las paredes: 1. Estable, 2. Ligeramente inestable, 3. Bastante inestable, 4. Inestable-Cierre de las paredes

Fotografías:



Observaciones:

Se realiza ensayo para la determinación de la densidad y humedad "in situ" por método nuclear UNE 103-00:2013. Humedad: 3,9 %. Densidad aparente: 1,73 t/m3.



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A.

**ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE
LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN
SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA).**

SALAMANCA

**APÉNDICE IV: PARTES DE LOS ENSAYOS DE
LABORATORIO**

DETERMINACIÓN DE LA
HUMEDAD NATURAL
DE UN SUELO
UNE-EN ISO 17892-1:2015

Laboratorio de SALAMANCA

Ensayo n° 980/

Fecha: 28/07/2017

Hoja: 1 de 1

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA

OBRA: EST. ESTAB. LIXIVIACIÓN EST. QUERCUS EN SAÉLICES EL CHICO
(SALAMANCA)

FECHA TOMA: 19/07/2017

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: C-3 (TORTA VIEJA), TALUD

MUESTRA:	SUELO
----------	-------

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Humedad Natural del Suelo	%	39.1

OBSERVACIONES:

ALBARAN EUROCONSULT: 300778

JEFE DE AREA

SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTÍN ARENAS

**DETERMINACIÓN DE LA
HUMEDAD NATURAL
DE UN SUELO
UNE-EN ISO 17892-1:2015**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **980/**
Fecha: **28/07/2017**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA

OBRA: EST. ESTAB. LIXIVIACIÓN EST. QUERCUS EN SAELICES EL CHICO
(SALAMANCA)

FECHA TOMA: 19/07/2017

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: C-1 (MA-1), COTA 1,20 m + C-3 (TORTA VIEJA), TALUD

MUESTRA: SUELO (SEGÚN DOSIFICACIÓN 2 C1-1 C3)

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Humedad Natural del Suelo	%	1,6

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300778-300779

JEFE DE ÁREA


SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO


AITOR MARTÍN ARENAS

**DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES
DE ATTERBERG
UNE 103103:94 - UNE 103104/93**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **980/**
Fecha: **28/07/2017**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA

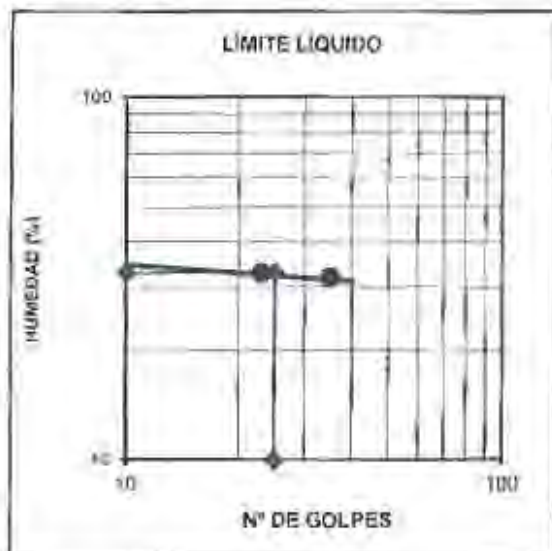
OBRA: EST. ESTAD. LIXIVIACIÓN EST. QUERCUS EN SABELICES EL CHICO (SALAMANCA)

FECHA TOMA: 19/07/2017

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: C-1 (MA-1), COTA 1,20 m + C-3 (TORTA VIEJA), TALUD

MUESTRA: SUELO (SEGÚN DOSIFICACIÓN 2 C1/1 C3)

RESULTADOS



LÍMITE LÍQUIDO 32,9
LÍMITE PLÁSTICO 22,9
ÍNDICE DE PLASTICIDAD 10,1

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300778-300779

JEFE DE ÁREA

SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTÍN ARENAS

HINCHAMIENTO LIBRE DE UN SUELO EN EDÓMETRO UNE 103601/96

Laboratorio de: **SALAMANCA**
 Ensayo nº: **980/**
 Fecha: **02/08/2017**
 Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA

OBRA: EST ESTAB LIXIVIACIÓN EST QUERCUS EN SAEICES EL CHICO
(SALAMANCA)

FECHA TOMA: 19/07/2017

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: C-1 (MA-1), COTA 1.20 m + C-3 (TORTA VIEJA), TALUD

MUESTRA: SUELO (SEGÚN DOSIFICACIÓN 2 C1:1 C3)

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	UNIDADES	VALORES OBTENIDOS
Humedad inicial	%	17,1
Humedad final	%	24,2
Densidad	gr/cm ³	1,66
Hinchamiento libre	%	0,10

OBSERVACIONES: Muestra remoldeada con la energía de compactación del proctor normal y su humedad óptima Material utilizado: inferior a 4 mm.

ALBARÁN EUROCONSULT: 300778-300779

JEFE DE ÁREA



SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO



AITOR MARTÍN ARENAS

ENSAYO DE COLAPSO S/ NLT-254

Laboratorio de: **SALAMANCA**
 Ensayo n°: **980/**
 Fecha: **02/08/2017**
 Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA

OBRA: EST. ESTAB. LIXIVIACIÓN EST. QUERCUS EN SAÉLICES EL CHICO
(SALAMANCA)

FECHA TOMA: 19/07/2017

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: C-1 (MA-1), COTA 1,20 m + C-3 (TORTA VIEJA), TALUD

MUESTRA: SUELO (SEGÚN DOSIFICACIÓN 2 C1 1 C3)

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	UNIDADES	VALORES OBTENIDOS
Humedad inicial	%	17,2
Humedad final	%	23,9
Densidad	gr/cm ³	1,66
Presión vertical	MPa	0,20
Índice de colapso	-	0,10
Potencial porcentual de colapso	%	0,10

OBSERVACIONES: Muestra remoldeada con la energía de compactación del próctor normal y su humedad óptima. Material utilizado, inferior a 4 mm.

ALBARÁN EUROCONSULT: 300778-300779

JEFE DE ÁREA

SANDRA RODRIGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTÍN ARENAS

DETERMINACIÓN DE LA
HUMEDAD NATURAL
DE UN SUELO
UNE-EN ISO 17892-1:2015

Laboratorio de:	SALAMANCA
Ensayo nº:	980/
Fecha:	16/08/2017
Foja:	1 de 1

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA

CONTRATISTA: GEDESTUDIOS ZAPATA

OBRA: EST. ESTAB. LIXIVIACIÓN EST. QUERCUS EN SAÉLICES EL CHICO
(SALAMANCA)

FECHA TOMA: 19/07/2017

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: C-5 (COTA TALUD) MA-I

MUESTRA: SUELO

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Humedad Natural del Suelo	%	93.4

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT:

300782

JEFE DE AREA

SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTÍN ARENAS

DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG UNE 103103/94 - UNE 103104/93

Laboratorio de **SALAMANCA**
 Ensayo nº **980/**
 Fecha **15/08/2017**
 Hoja **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA

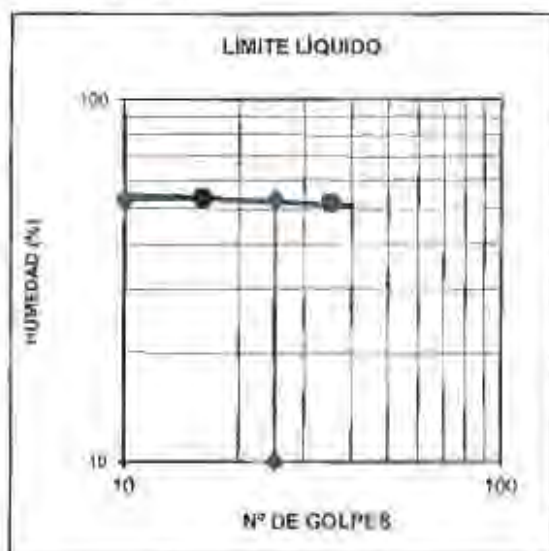
OBRA: EST. ESTAB. LIXIVIACIÓN EST. QUERCUS EN SAÉLICES EL CHICO
 (SALAMANCA)

FECHA TOMA: 19/07/2017

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: C-5 (COTA TALUD) MA-1 Y C-6 (COTA 1,20 m)

MUESTRA: SUELO MEZCLA 1:1

RESULTADOS



LÍMITE LÍQUIDO **52,9**
 LÍMITE PLÁSTICO **35,6**
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD **17,3**

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300782

JEFE DE ÁREA

SANDRA RODRIGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTÍN ARENAS

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR NORMAL UNE 103500:1994

Laboratorio de

Ensayo nº

Fecha

Hoja

SALAMANCA

980/

16/08/2017

1 de 1

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA

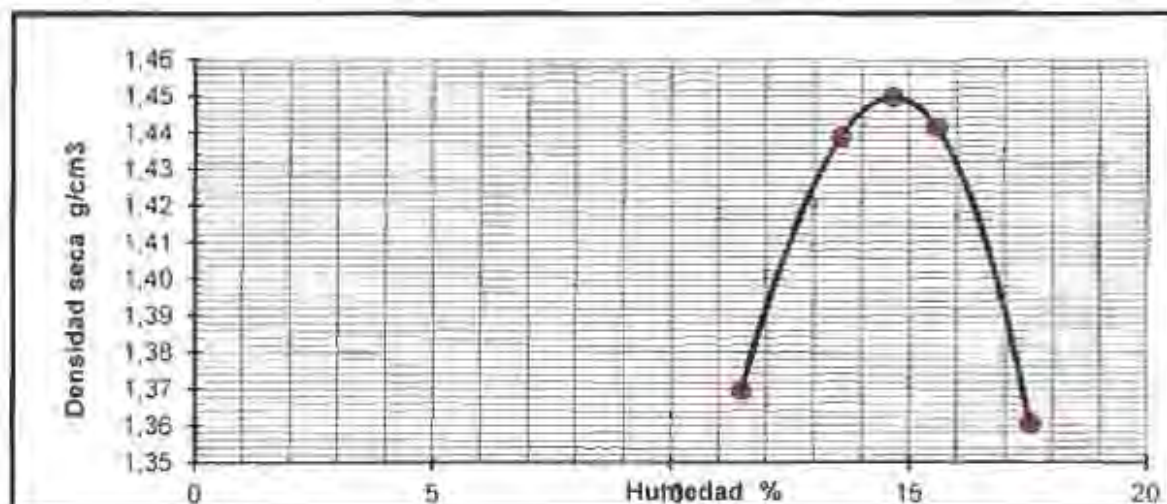
OBRA: EST. ESTAB. LIXIVIACIÓN EST. QUERCUS EN SAÉLICES EL CHICO
 (SALAMANCA)

FECHA Y SITIO TOMA DE MUESTRA: 19/07/2017

C-5 (COTA TALUD) MA-1 Y C-6 (COTA 1,20 m)

MUESTRA: SUELO MEZCLA 1:1

PROCTOR	NORMAL
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	1.000
PESO MAZA (kg)	2,5
ALTURA DE CAÍDA (cm)	30,5
Nº DE CAPAS	3
Nº GOLPES POR CAPA	25
TIPO DE COMPACTADORA	AUTOMÁTICA
MATERIAL UTILIZADO (%)	100



DENSIDAD MÁXIMA	g/cm³	1,45
HUMEDAD ÓPTIMA	%	14,7

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT:

300782

JEFE DE ÁREA

SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTÍN ARENAS

Laboratorio de	SALAMANCA
Ensayo nº	980/
Fecha:	16/08/2017
Hora	1 de 1

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN
SUELOS TIPO C.D.
UNE 103401/98**

Laboratorio de: MADRID
Ensayo nº 130153/17-9962/123899
Fecha: 17/08/2017
3286

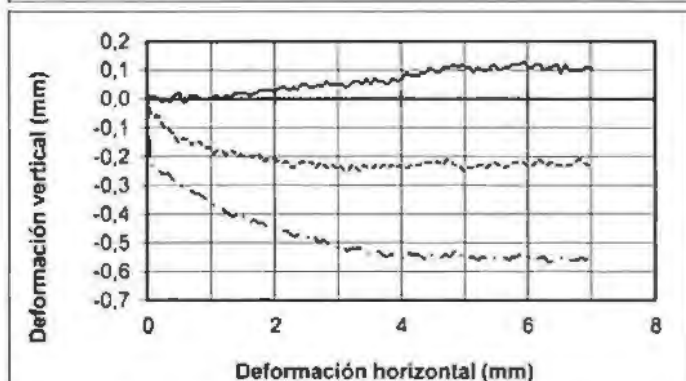
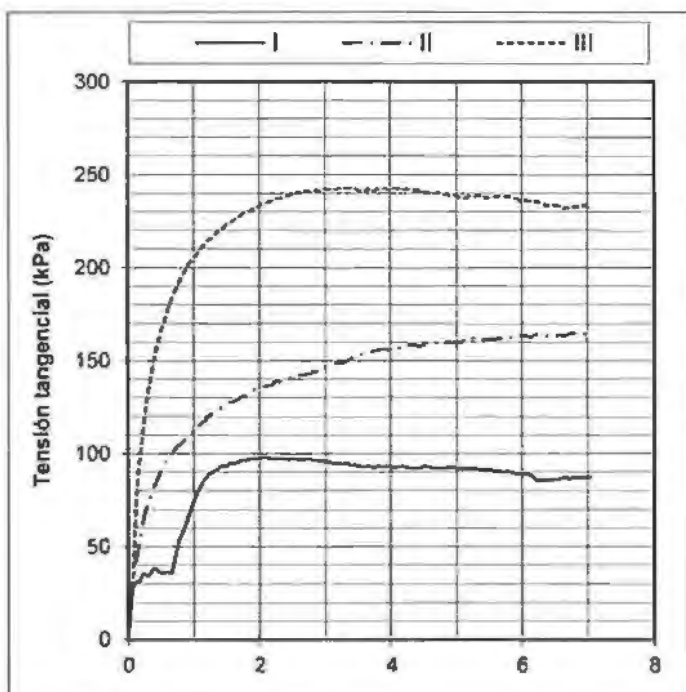
PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA

CONTRATISTA: -

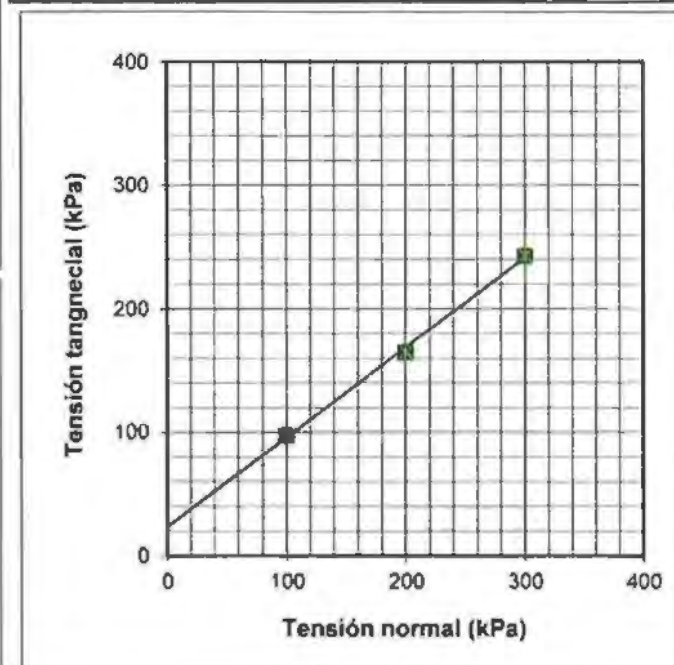
OBRA: QUERCUS EN SAÉLICES EL CHICO - (SALAMANCA)

LOCALIZACION TOMA DE MUESTRA: 19-07-17 - C1 y C3 MA cota 1,20 y talud.

TIPO DE MUESTRA: Suelo



Determin.	Unidad	I	II	III
Densidad seca	g/cm ³	1,80	1,82	1,82
Humedad	%	10,5	10,4	10,6
Tensión normal	kPa	100	200	300
Tensión tangencial	kPa	98	165	241
Ángulo rozamiento	°	35,97		
Cohesión	kPa	23		



OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA

Javier NIETO RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO

José A. HERGUETA LAZARO

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN
SUELOS TIPO C.D.
UNE 103401/98**

Laboratorio de: **MADRID**
Ensayo nº **130153/17-9963/123901**
Fecha: **17/08/2017**
3284

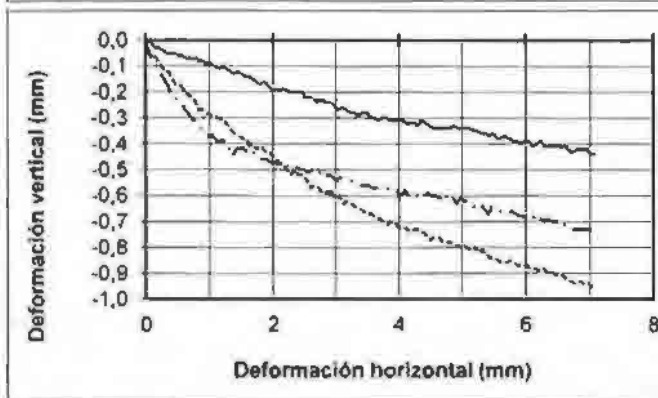
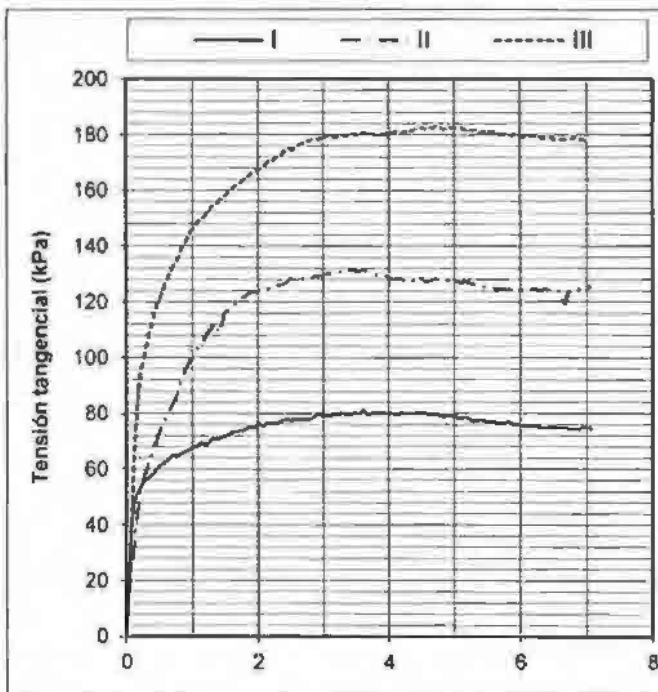
PETICIONARIO: **GEOESTUDIOS ZAPATA**

CONTRATISTA:

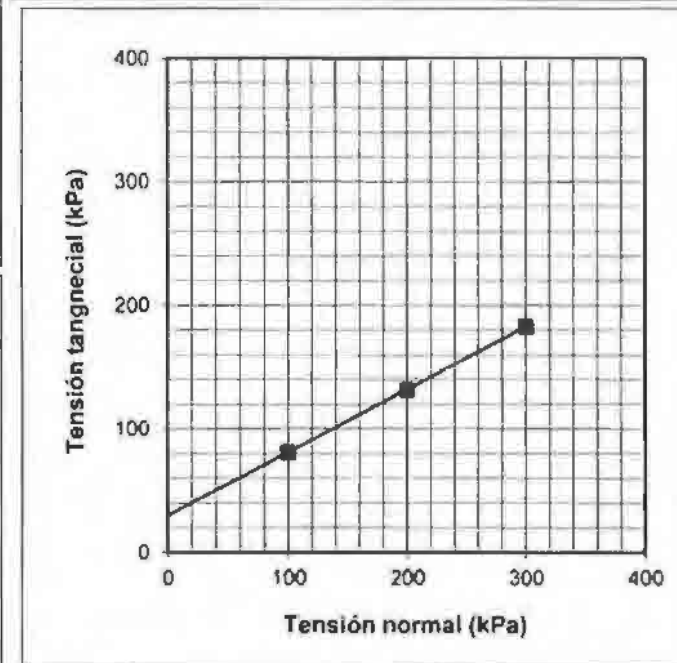
OBRA: **QUERCUS EN SAÉLICES EL CHICO - (SALAMANCA)**

LOCALIZACION TOMA DE MUESTRA: **19/07/17 - Catas estabilizado con el 2% cal.**

TIPO DE MUESTRA: **Suelo**



Determin.	Unidad	I	II	III
Densidad seca	g/cm ³	0,69	0,67	0,68
Humedad	%	96,1	96,2	96,1
Tensión normal	kPa	100	200	300
Tensión tangencial	kPa	81	132	183
Angulo rozamiento	°	27,01		
Cohesión	kPa	30		



OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA

Javier NIETO RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO

José A. HERGUETA LAZARO

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN
SUELOS TIPO C.D.
UNE 103401/98**

Laboratorio de: MADRID
Ensayo nº 130153/17-9964/123903
Fecha: 17/08/2017
3285

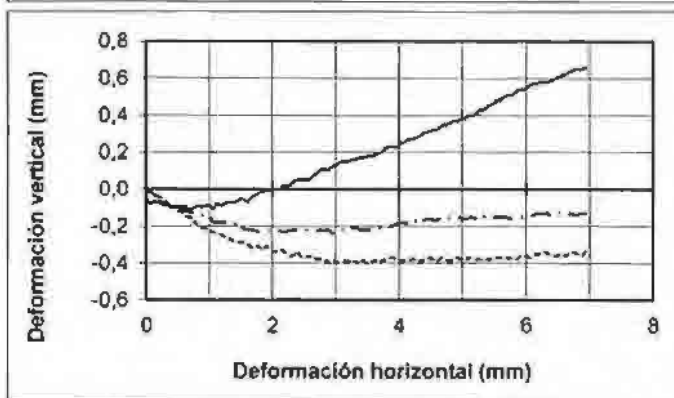
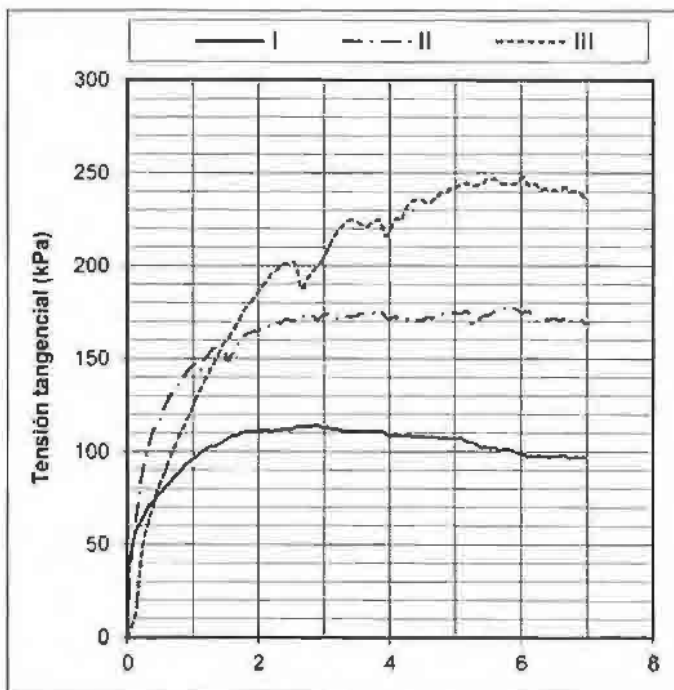
PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA

CONTRATISTA: -

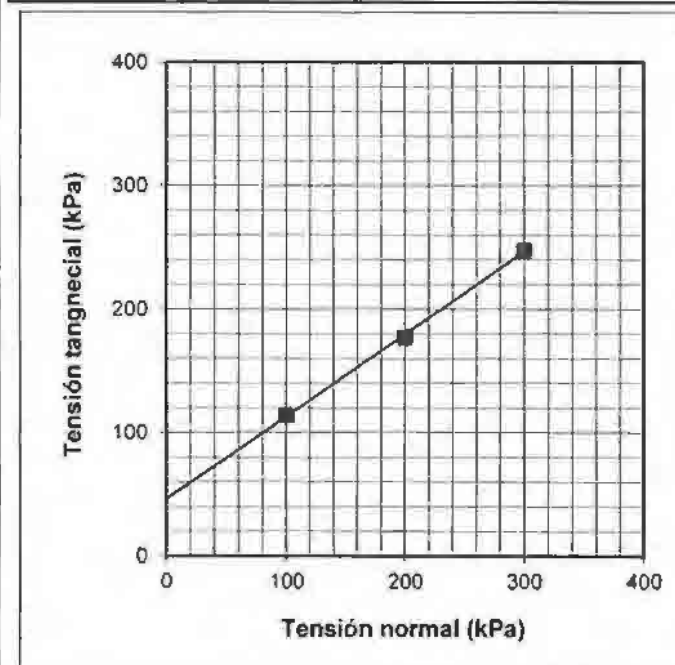
OBRA: QUERCUS EN SAÉLICES EL CHICO - (SALAMANCA)

LOCALIZACION TOMA DE MUESTRA: 19/07/17 - C5 y C6 talud y 1,20.

TIPO DE MUESTRA: Suelo



Determn.	Unidad	I	II	III
Densidad seca	g/cm ³	1,19	1,20	1,21
Humedad	%	42,9	42,7	42,8
Tensión normal	kPa	100	200	300
Tensión tangencial	kPa	114	177	246
Angulo rozamiento	°	33,72		
Cohesión	kPa	46		



OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA

Javier NIETO RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO

Jose A. HERGUETA LAZARO

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN
SUELOS TIPO C.D.
UNE 103401/98**

Laboratorio de: MADRID

Ensayo n° 130153/17-12760/133028

Fecha: 02/10/2017

3303

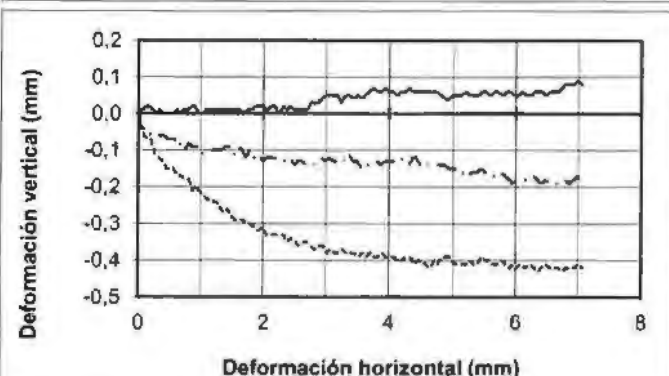
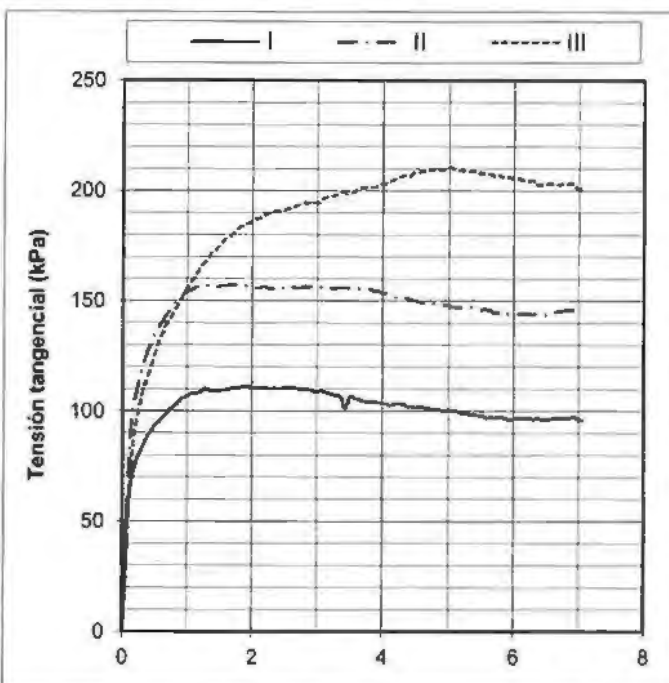
PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA

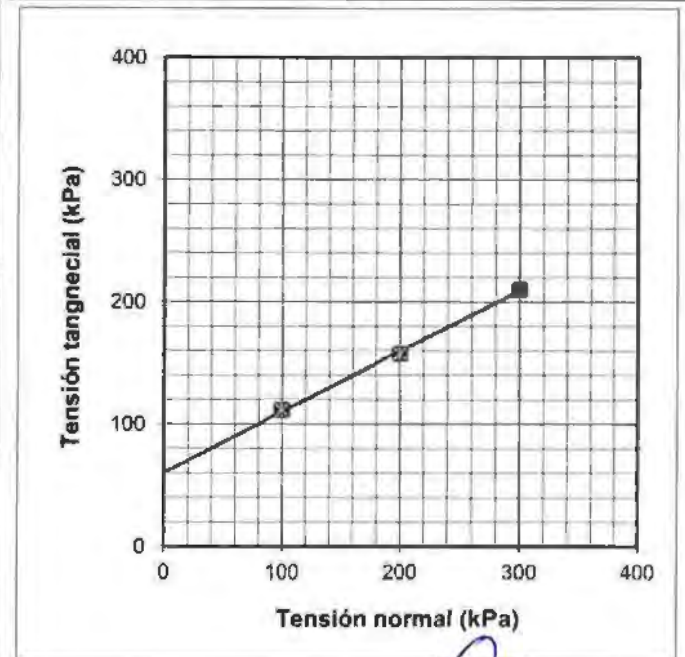
OBRA: EST. ESTAB. LIXIVIACIÓN EST. QUERCUS EN SAELICES EL CHICO

LOCALIZACIÓN TOMA DE MUESTRA: 19/07/17; C-3 Cota talud (muestra inalterada)

TIPO DE MUESTRA: suelo



Determin.	Unidad	I	II	III
Densidad seca	g/cm ³	1,07	1,07	1,07
Humedad	%	46,2	46,3	46,3
Tensión normal	kPa	100	200	300
Tensión tangencial	kPa	111	157	209
Angulo rozamiento	°	26,38		
Cohesión	kPa	60		



OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA
Javier NIETO RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO
José A. HERGUETA LÁZARO

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN
SUELOS TIPO C.D.
UNE 103401/98**

Laboratorio de: MADRID

Ensayo n° 130153/17-12582/132511

Fecha: 28/09/2017

3302

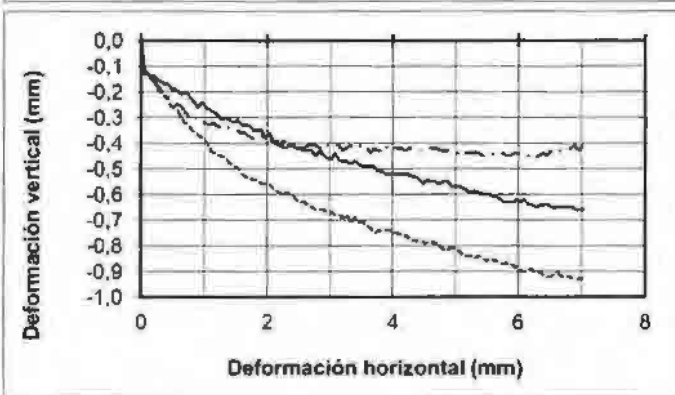
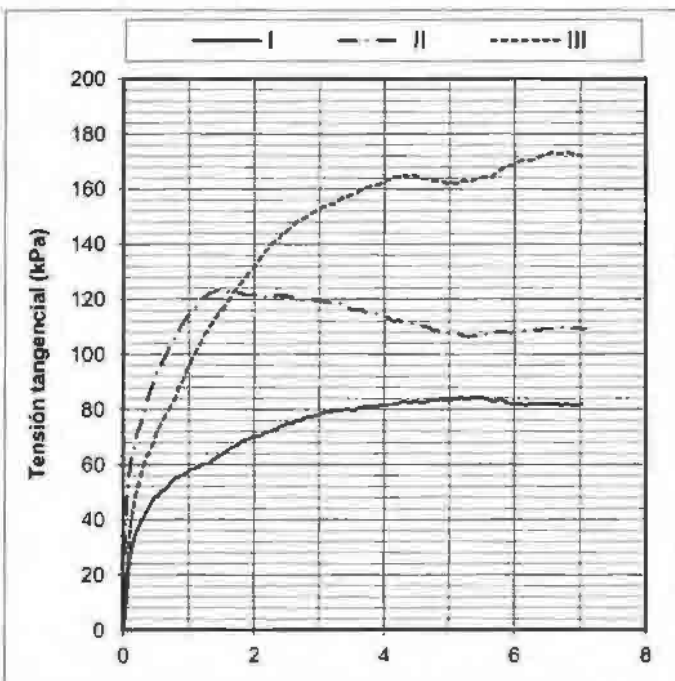
PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA

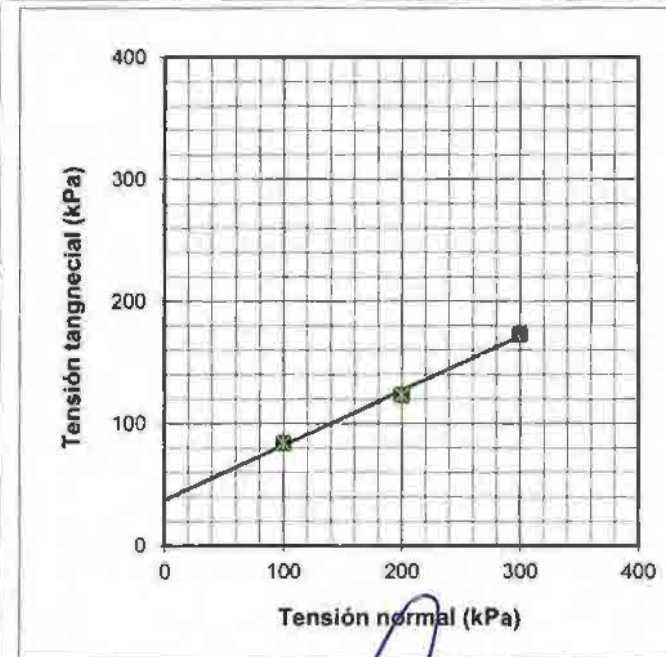
OBRA: EST.ESTAB.LIXIVIACIÓN EST. QUERCUS EN Saelices el Chico

LOCALIZACION TOMA DE MUESTRA: 19/07/17; C-5 (Cota talud) MA-1

TIPO DE MUESTRA: SUELO



Determin.	Unidad	I	II	III
Densidad seca	g/cm ³	0,66	0,69	0,67
Humedad	%	85,8	85,7	85,6
Tensión normal	kPa	100	200	300
Tensión tangencial	kPa	84	123	172
Ángulo rozamiento	°	24,04		
Cohesión	kPa	38		



OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA

Javier NIETO RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO

José A. HERGUETA LÁZARO

LABORATORIO INSCRITO EN EL REGISTRO GENERAL DEL CTE COMO LECCE CON Nº CYL-L-001, PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS Y PRUEBAS INCLUIDOS EN EL APARTADO "ENSAYOS DECLARACIÓN" DE DICHO REGISTRO.
VER: http://WWW.codigotecnico.org/web/recursos/registro/registroent/texto_0003.html

**DETERMINACIÓN IN SITU DE LA DENSIDAD Y
DE LA HUMEDAD DE SUELOS Y MATERIALES
GRANULARES POR MÉTODOS NUCLEARES
UNE 103900:2013**

Laboratorio de: SALAMANCA
Ensayo Nº. 980/17-5504/17/123751
Fecha informe: 18/08/2017
Hoja: 1 de 1

PETICIONARIO: D.ALVARO RODRIGUEZ ZAPATA
C/LAS LILAS Nº2, 4º A

OBRA: ENSAYOS DE LABORATORIO PARA GEOESTUDIOS ZAPATA S.L.

FECHA Y SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: 19/07/2017 - DISTINTAS LOCALIZACIONES.

Nº PARTE EUROCONSULT: 0301258

TIPO DE MUESTRA: SUELO

Nº	LOCALIZACIÓN	DATOS DE CAMPO		
		Dens. húmeda kg/m³	Humedad %	Densidad kg/m³
1	C-1	1849	4,6	1768
2	C-2	1871	4,3	1794
3	C-3	937	39,0	674
4	C-5	1019	110,0	485
5	C-6	1733	3,9	1668

PROCTOR MODIFICADO

Densidad máxima	----
Humedad óptima	----
Profundidad de sonda	15 cm.

EQUIPO UTILIZADO

Marca	TROXLER
Modelo	3440
Nº serie	33766

OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA

CRESCENCIANO RIOS RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTIN ARENAS

LABORATORIO INSCRITO EN EL REGISTRO GENERAL DEL CTE COMO LECCE CON Nº CYL-L-001, PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS Y PRUEBAS INCLUIDOS EN EL APARTADO "ENSAYOS DECLARACIÓN" DE DICHO REGISTRO.
 VER: http://WWW.codigotecnico.org/web/recursos/registro/registroent/texto_0003.html

DETERMINACIÓN IN SITU DE LA DENSIDAD Y DE LA HUMEDAD DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES POR MÉTODOS NUCLEARES UNE 103900:2013

Laboratorio de: SALAMANCA
Ensayo Nº. 980/17-5505/18/123752
Fecha informe: 18/08/2017
Hoja: 1 de 1

PETICIONARIO: D.ALVARO RODRIGUEZ ZAPATA
 C/LAS LILAS Nº2, 4º A

OBRA: ENSAYOS DE LABORATORIO PARA GEOESTUDIOS ZAPATA S.L.

FECHA Y SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: 19/07/2017 - ACOPIO TORTAS.

Nº PARTE EUROCONSULT: 0301259

TIPO DE MUESTRA: SUELO

Nº	LOCALIZACIÓN	DATOS DE CAMPO		
		Dens. húmeda kg/m³	Humedad %	Densidad kg/m³
1	C-7 ACOPIO	986	20,1	821
2	C-8 ACOPIO	963	100,0	482

PROCTOR NORMAL

Densidad máxima ----
 Humedad óptima ----
 Profundidad de sonda 15 cm.

EQUIPO UTILIZADO

Marca TROXLER
 Modelo 3440
 Nº serie 33766

OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA

CRESCENCIANO RIOS RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTIN ARENAS



A.3.3. ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN Saelices el Chico (Salamanca)

A continuación se incluye íntegramente el citado estudio de terraplenes de prueba, realizado por GEOESTUDIOS ZAPATA en agosto de 2018, recomendado por el estudio de estabilidad realizado anteriormente, para comprobar la idoneidad de la puesta en obra de los materiales de la era en condiciones originales.



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

Camino de las Aguas, 16-18 37003-SALAMANCA

Juan de Arespacochaga y Felipe, 6 – 28037-MADRID

Tel.: 651 94 38 00

info@geoestudioszapata.es

www.geoestudioszapata.es

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A., S.M.E.

ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAELICES EL CHICO (SALAMANCA).

SALAMANCA

Ref: GT18023SA

Salamanca, agosto de 2018.



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

Camino de las Aguas, 16-18 37003-SALAMANCA
Juan de Arespacochaga y Felipe, 6 – 28037-
MADRID

Tel.: 651 94 38 00

info@geoestudioszapata.es

www.geoestudioszapata.es

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A., S.M.E.

ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAELICES EL CHICO (SALAMANCA).

<u>ÍNDICE</u>	<u>Pág.</u>
1 - INTRODUCCIÓN Y OBJETO.....	1
1.1 - General.....	1
2 - DOCUMENTACIÓN, NORMATIVA Y BIBLIOGRAFÍA.	3
3 - ANTECEDENTES. PLANTEAMIENTO DE LA CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN.....	5
4 - DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO Y DE LOS TERRAPLENES DE PRUEBA.	7
5 - DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	17
5.1 - Introducción.....	17
5.2 - Terraplenes de prueba.	18
5.3 - Placas de asiento.	22
5.4 - Hitos de nivelación.	24
5.5 - Trabajos de campo – Carga vertical en suelos mediante placa dinámica.	25
5.6 - Trabajos de campo – Humedad y densidad “in situ” por método nuclear.....	29
5.7 - Trabajos de campo – Calicatas mecánicas.....	33
5.8 - Ensayos de laboratorio.....	35
6 - CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES.....	37
6.1 - Introducción.....	37



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

Camino de las Aguas, 16-18 37003-SALAMANCA

Juan de Arespacochaga y Felipe, 6 – 28037-
MADRID

Tel.: 651 94 38 00

info@geoestudioszapata.es

www.geoestudioszapata.es

6.2 - Mezcla de mineral marginal agotado y tortas de neutralización en tongadas 1ª y 2ª del terraplén de prueba A.	40
6.3 - Torta de neutralización.	48
7 - ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TERRAPLENES DE PRUEBA.....	49
7.1 - Introducción.	49
7.2 - Terraplén de prueba A.	50
7.3 - Terraplén de prueba B.....	60
7.4 - Idoneidad de los terraplenes de prueba contruidos.	67
7.5 - Recomendaciones constructivas.	69
7.6 - Patologías observadas en los terraplenes de prueba.	70
APÉNDICE I: PLANO DE SITUACIÓN DE LOS TERRAPLES DE PRUEBA FACILITADO POR ENUSA.	
APÉNDICE II: REGISTRO DE LAS MEDICIONES TOPOGRÁFICAS REALIZADAS POR ENUSA HASTA EL 21 DE AGOSTO DE 2018.	
APÉNDICE III: REGISTRO DE LOS ENSAYOS DE PLACA DINÁMICA DE CARGA VERTICAL.	
APÉNDICE IV: REGISTRO DE LAS DETERMINACIONES DE HUMEDAD Y DENSIDAD “IN SITU” MEDIANTE MÉTODO NUCLEAR.	
APÉNDICE V: REGISTRO DE LAS CALICATAS MECÁNCIAS.	
APÉNDICE VI. ENSAYOS DE LABORATORIO.	



ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A., S.M.E.

ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN SAELICES EL CHICO (SALAMANCA).

1 - INTRODUCCIÓN Y OBJETO

1.1 - General

La empresa **ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.M.E.**, (en adelante ENUSA), solicitó al gabinete de ingeniería geotécnica de Geoestudios Zapata, S.L., la elaboración de un estudio sobre el comportamiento tenso-deformacional de dos terraplenes de prueba contruidos en la parte norte de la Era Quercus en Saélices el Chico (Salamanca).

Se dispone de la memoria del “*PROYECTO CONSTRUTIVO DE LA EJECUCIÓN DEL RECINTO DE CONFINAMIENTO Y EL DESMANTELAMIENTO DE LA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA DE LA PLANTA QUÉRCUS, SAELICES EL CHICO (SALAMANCA) - Septiembre 2015*”, redactado por personal técnico de ENUSA y que ha sido facilitado a Geoestudios Zapata, S.L. como documentación previa para el presente informe, junto con otra información solicitada.

El punto de partida del presente informe se encuentra enmarcado en las recomendaciones contenidas en el “ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA ERA DE LIXIVIACIÓN QUERCUS EN SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA)” para la puesta en obra de materiales (mineral agotado y torta de neutralización) en condiciones originales. Este estudio de estabilidad fue redactado por Geoestudios Zapata en septiembre de 2017.

Para la realización de este informe, Geoestudios Zapata ha llevado a cabo una campaña geotécnica que fue previamente consensuada con el cliente, basada en: la



instalación de placas de asiento, instalación de hitos topográficos, determinación de humedades y densidades “in situ”, realización de ensayos de placa dinámica, ejecución de calicatas, toma de muestras y ensayos de laboratorio.

Es objeto del presente informe dar cuenta de los trabajos realizados, de las características de los materiales que constituyen ambos terraplenes, del análisis de los asientos en los terraplenes de prueba, así como de las patologías que pudieran aparecer en dichas estructuras de tierras en relación a su estabilidad.

También se justificará en su correspondiente apartado la cadencia de toma de lecturas topográficas en función de la velocidad de los asientos que vayan padeciendo los terraplenes de prueba.

No es objeto del presente el diseño del movimiento de tierras para la reconfiguración final de la Era.

Para clasificar los materiales que conforman los terraplenes en sus condiciones originales se ha aplicado el artículo 330- “Terraplenes” del Pliego de de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes.

Esta fuera del alcance del presente estudio cualquier aspecto constructivo-estructural tanto del recinto de confinamiento como de la capa de sellado de la Era de lixiviación estática Quercus.



2 - DOCUMENTACIÓN, NORMATIVA Y BIBLIOGRAFÍA.

- 1- NUREG-1620 Rev. 1. Standard Review Plan for the Review of a Reclamation Plan for Mill Tailings Sites Under Title II of the Uranium Mill Tailings Radiation Control Act of 1978. US Nuclear Regulatory Commission.
- 2- Proyecto constructivo de la ejecución del recinto de confinamiento y el desmantelamiento de la era de lixiviación estática de la planta Quercus, SAELICES el Chico (Salamanca) --Anexo I. Memoria, anejos y planos – Septiembre de 2015. Redactado por personal técnico de ENUSA.
- 3- Ministerio de Fomento. ROM 0.5-05 Recomendaciones Geotécnicas para las Obras Marítimas y/o Portuarias. Madrid 2005.
- 4- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Ministerio de Fomento
- 5- Norma 6.1 IC Secciones de firme de la Instrucción de Carreteras. Ministerio de Fomento.
- 6- J.A.Jiménez Salas, J.L.de Justo Alpañés. Geotecnia y Cimientos I. 1975. Ed. Rueda.
- 7- J.A. Jiménez Salas, J.L. De Justo Alpañés, A.A. Serrano González. Geotecnia y Cimientos II. 1981. Ed. Rueda.
- 8- Luis González de Vallejo. Ingeniería Geológica. 2002. Ed. Pearson Educación.
- 9- Módulo X Estructuras de tierra. Máster en Mecánica del Suelo e Ingeniería de cimentaciones. CEDEX – Ministerio de Fomento.
- 10- Interpretación de los Ensayos Geotécnicos en Suelos. Septiembre 2012. Ignacio Morilla Abad.



11- Ortofotografías obtenidos en los vuelos PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea). Visor Iberpix.



3 - ANTECEDENTES. PLANTEAMIENTO DE LA CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se redacta como respuesta a las recomendaciones de control y seguimiento implícitas en el apartado 8.2 Soluciones para la remodelación de la Era Quercus del estudio de estabilidad realizado por Geoestudios Zapata, referidas únicamente a los materiales de mineral agotado y torta en condiciones originales.

Cabe recordar, que la configuración de ambas soluciones en condiciones originales, fueron propuestas para el estudio de estabilidad por ENUSA ante la inviabilidad técnica y económica que pudiera suponer la instalación de una planta industrial para llegar a conseguir una aireación exhaustiva de los materiales de torta en la obra y un mezclado homogéneo del mineral agotado y torta. Estas soluciones fueron las siguientes:

- Solución 1 (Terraplén de prueba A). Sobre una superficie regular y previamente compactada de mineral marginal, se vertería y extendería por franja lineal mediante retroexcavadora entre 20 y 30 cm de material de torta original. Cuando finalice el recorrido final de la franja, se habilitaría una rampa para proceder al vertido y extendido de mineral marginal agotado de entre 20 y 30 cm sobre el material de la torta en sentido opuesto al vertido y extendido de la torta. De esta manera se iría transitando en todo momento sobre el mineral marginal agotado, lo que facilitaría el tránsito de la maquinaria. Una vez extendidas las dos capas en proporción 1:1 se realizarían las pasadas necesarias mediante ripper profundizando con sus vástagos una profundidad de, al menos, 50 cm, hasta alcanzar una adecuada homogeneización de los dos materiales. Posteriormente se compactaría el conjunto de capas mediante varias pasadas de rodillo vibrante.
- Solución 2 (Terraplén de prueba B). Construcción de una estructura de tipo “sandwich” con los materiales de torta en sus condiciones de humedad originales. Se realizaría un vertido y extendido de entre 25 y 30 cm de tongada



de torta sobre la superficie compacta y regular de mineral agotado en una franja lineal. Una vez finalizado el extendido de la primera tongada de torta, mediante una reducida rampa, se empezaría a verter y extender una tontada de 25-30 cm de mineral agotado sobre la torta, de tal forma que la máquina siempre transite por el material de mineral agotado. Una vez que se llegue al final del recorrido de la franja (punto de inicio de la primera tongada de torta) se realizaría un compactado superficial y un segundo extendido de mineral agotado con el mismo espesor (25-30 cm) que posteriormente también se compactaría.

Para realizar el estudio en condiciones similares a las reales, personal de Enusa diseñó dos terraplenes de prueba uno para cada tipo de solución, que fueron contruidos sobre una plataforma previamente regularizada o refinada de mineral agotado en la parte norte de la Era a la cota +682,00. No obstante, las dimensiones de los terraplenes de prueba, tanto en planta como en alzado, se vieron limitadas por la superficie real disponible dentro del contorno de la Era.

Durante la construcción de los terraplenes se fueron realizando pruebas de carga vertical mediante placa dinámica para controlar la deformabilidad, determinaciones de humedad y densidad “in situ” por método nuclear y se fueron instalando las placas de asiento e hitos topográficos en superficie. Posteriormente a la construcción de ambas estructuras, se realizaron dos calicatas mecánicas en los espaldones de cada terraplén para observar la disposición de las tongadas y realizar tomas de muestras de los materiales.

El conjunto de todos los ensayos realizados y medidas topográficas definirá el comportamiento tenso-deformacional (traducido en asientos/desplazamientos), bajo un diseño preestablecido, a medio y largo plazo.



4 - DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO Y DE LOS TERRAPLENES DE PRUEBA.

La zona objeto de estudio está situada en la “Finca Capilla del Río” en el término municipal de SAELICES el Chico, al oeste de la provincia de Salamanca. El acceso a la explotación minera se realiza mediante un vial asfaltado que parte del Km 7 de la carretera SA-324 entre Ciudad Rodrigo y Lumbrales (Véase Figura 1 y Figura 2).



Figura 1. Situación de la zona objeto de estudio.(Fuente: Iberpix)



Figura 2. Ortofoto con el conjunto de la Era Quercus.



Dentro del contorno de la Era Quercus, los terraplenes de prueba se proyectaron ejecutar en la parte norte sobre la plataforma de mineral agotado (cota +682,00), ya que existía espacio suficiente para llevar a cabo la construcción teniendo en cuenta las dos soluciones de puesta en obra.

En la siguiente figura se muestra una ortofoto con la zona de emplazamiento de ambos terraplenes:



Figura 3. Ortofoto en detalle de la zona de emplazamiento de los terraplenes de prueba.

A continuación se presenta un reportaje fotográfico durante el desarrollo de construcción de ambos terraplenes:



Fotografía 1. Vista general de la superficie donde se apoyarán los terraplenes.



Fotografía 2. Humectación de la superficie de apoyo mediante camión-cisterna para evitar polvo en suspensión.



Fotografía 3. Nivelación y refinado de la superficie de mineral agotado mediante motoniveladora.



Fotografía 4. Colocación de placas de asiento y toma de coordenadas sobre la superficie de mineral agotado.



Fotografía 5. Vertido de los materiales de torta (Terraplén de prueba A – Primera tongada).



Fotografía 6. Finalización del vertido de mineral de torta y comienzo del vertido de mineral agotado (Terraplén de prueba A – primera tongada). Puede observarse en el centro la placa de asiento con la protección de tubería de pvc de alta resistencia.



Fotografía 7. Mezcla de los materiales de torta y mineral agotado mediante ripper (Terraplén de prueba A- primera tongada).



Fotografía 8. Compactación con rodillo vibratorio de 18 t de materiales de mineral agotado y torta previamente mezclados (Terraplén de prueba A- finalización primera tongada).



Fotografía 9. Placa de carga realizada sobre primera tongada (Terraplén de prueba A).



Fotografía 10. Determinación de humedad y densidad “in situ” (Terraplén de prueba A).



Fotografía 11. Finalización del terraplén de prueba A con la puesta en obra de tres tongadas. Se pueden observar las placas de asiento protegidas por tubería de pvc y los hitos de nivelación en superficie.



Fotografía 12. Finalización de la primera tongada formada por 30 cm de una capa de torta y dos capas de 25-30 cm de mineral agotado (Terraplén de prueba B).



Fotografía 13. Terraplén de prueba B finalizado.



Fotografía 14. Hito Era Quercus.

El terraplén de prueba A ocupó una longitud de unos 33 m y una anchura de 15 m aproximadamente. Alcanzó una altura de 2,25 m con una pendiente de taludes laterales de tipo 4H:3V y un 21 % de pendiente en la rampa de acceso.



El terraplén de prueba B se dispuso a lo largo de una longitud de 38 m y una anchura de 17 m. Alcanzó una altura máxima de 3,25 m manteniendo pendientes de taludes laterales próximas al 3H:2V, a excepción de la rampa de acceso que fue del 22 % aproximadamente.



5 - DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

5.1 - Introducción

La campaña de instrumentación y toma de muestras fue diseñada por GEOESTUDIOS ZAPATA y consensuada con el cliente, se proyectó con objeto de llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Instrumentación de dos terraplenes de prueba con la puesta en obra de materiales de mineral agotado y torta en condiciones originales con diferentes configuraciones de espesores de tongada.
- Realización de una caracterización geotécnica de los materiales que forman el terraplén de prueba A.
- Determinación de la deformabilidad de las diferentes tongadas de materiales que constituyen cada terraplén.
- Determinación de las humedades y densidades “in situ”.
- Análisis de desplazamientos/asientos en los terraplenes de prueba.
- Observación de presencia de patologías que pudiera afectar a los terraplenes.

Esta campaña consistió en la instalación de cuatro (4) placas de asiento a diferentes niveles, cuatro (4) hitos de nivelación, en la realización de veinte y dos (22) ensayos de placa de carga, diez y seis (16) ensayos para determinar la humedad y densidad “in situ” por método nuclear y dos (2) calicatas mecánicas en los taludes de cada terraplén. Su emplazamiento aproximado puede verse en la Figura 4, y más en detalle, en el plano general de emplazamiento incluido en el Apéndice I.

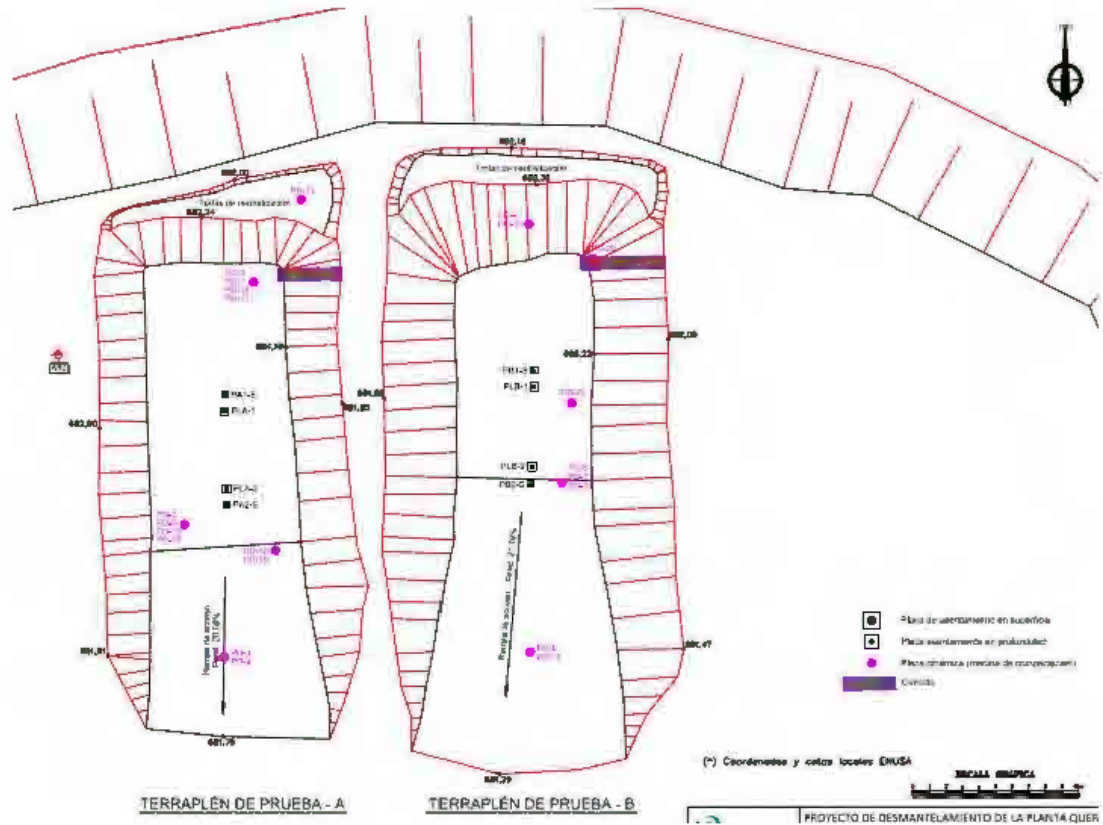


Figura 4. Terraplenes de prueba con la situación de la instrumentación instalada y los reconocimientos realizados. Nota: las placas de asentamiento en superficie son los denominados hitos topográficos (plano elaborado y facilitado por Enusa).

5.2 - Terraplenes de prueba.

Se han construido dos terraplenes de prueba que han sido diseñados por personal técnico de Enusa, según dos soluciones de puesta en obra de materiales de mineral agotado y torta en condiciones originales estudiadas por Geoestudios Zapata. La construcción de los terraplenes se llevó a cabo durante los días 15, 16, 17 y 18 de mayo de 2018.

Terraplén de prueba A. Ocupó una superficie de 33 m de largo por 15 m de ancho hasta finalizar en una altura de 2,25 m (3 tongadas). La rampa de acceso mantuvo una pendiente del 21 % y los taludes laterales una pendiente del tipo 4H:3V. En este



terraplén se desarrolló la **Solución 1**; sobre una superficie regular y previamente compactada de mineral marginal, se vertió y extendió por franja lineal mediante retroexcavadora unos 30 cm de material de torta original. Cuando finalizó el recorrido de la franja, se habilitó una rampa para proceder al vertido y extendido de mineral marginal agotado de unos 30 cm sobre el material de la torta en sentido opuesto al vertido y extendido de la torta. De esta manera se fue transitando en todo momento sobre el mineral marginal agotado, lo que facilitó el tránsito de la maquinaria. Una vez extendidas las dos capas en proporción 1:1 se realizaron dos pasadas mediante ripper profundizando con sus vástagos una profundidad de 50 cm, hasta mezclar los materiales de mineral agotado y torta. Al finalizar de cada tongada se realizaron dos pasadas mediante rodillo vibratorio de 18 t.



Figura 5. Configuración del terraplén de prueba A.



En este terraplén se instalaron dos placas de asiento a diferentes niveles, la placa PA2-S y la placa PA1-S. Al lado de estas dos placas se instalaron dos hitos de nivelación el PLA-2 y el PLA-1.

Una vez finalizada la compactación de cada tongada se fueron realizando placas de carga hasta sumar un total de 13 placas de carga, al igual que determinaciones de humedad y densidad “in situ”.

Finalmente se realizó una calicata en el talud del terraplén para testificar los espesores de las capas del terraplén, observar el aspecto de mezclado, la compactación y tomar muestras para realizar ensayos de laboratorio.

Tabla 1. Resumen de la instrumentación instalada, ensayos realizados y tomas de muestras en el terraplén A.

Terraplén	Placas de asiento (niveladas)	Hitos de nivelación	Placas dinámicas	Humedad y densidad “in situ”	Calicatas
Terraplén prueba A	PA1-S, PA2-S	PLA-1, PLA-2	PD-1, PD-2, PD-3, PD-7, PD-8, PD-9, PD-13, PD-14, PD-15, PD-16, PD-17, PD-18, PD-19	PD-1, PD-2, PD-3, PD-7, PD-8, PD-9, PD-13, PD-14, PD-15, PD-16, PD-17, PD-18, PD-19	Un (1) calicata Muestras: MA-1 (2ª tongada) y MA-2 (1ª tongada). MI-1 (torta 2ª tongada).

*Nota: La situación de los ensayos de placa dinámica y determinaciones de la humedad y densidad “in situ” son coincidentes.

Terraplén de prueba B. Se construyó con una longitud de 38 m y una anchura de 17 m aproximadamente. Alcanzó una altura máxima de 3,25 m (3 tongadas) manteniendo pendientes de talud próximas al 3H:2V, con una rampa de acceso del 22 %. Define lo que sería la **Solución 2**, que consistió en la construcción de una estructura de tipo “sándwich” con los materiales de torta en sus condiciones de humedad originales. Se realizó un vertido y extendido de 30 cm de capa de torta sobre la superficie compacta y



regular de mineral agotado en una franja lineal. Una vez finalizó el extendido de la primera tongada de torta, mediante una reducida rampa, se empezó a verter y extender una tontada de 30 cm de mineral agotado sobre la torta, de tal forma que la máquina siempre transitara por el material de mineral agotado. Una vez que se llegó al final del recorrido de la franja (punto de inicio de la primera tongada de torta) se realizó un segundo extendido de mineral agotado con el mismo espesor (30 cm). Al finalizar de cada tongada se realizaron dos pasadas mediante rodillo vibratorio de 18 t.

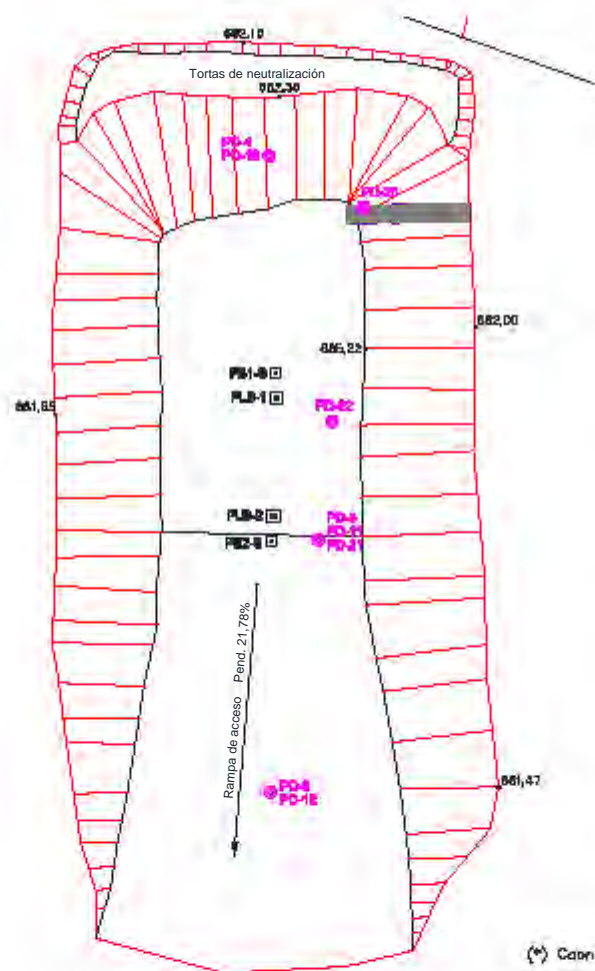


Figura 6. Configuración del terraplén de prueba B construido.

Al igual que en el terraplén anterior en este se instalaron dos placas de asiento a diferentes niveles, la placa PB2-S y la placa PB1-S. Al lado de estas dos placas se instalaron dos hitos de nivelación el PLB-2 y el PLB-1.



Una vez finalizada la compactación de cada tongada se fueron realizando placas de carga hasta sumar un total de 9 placas de carga. Cabe señalar, que no se realizaron placas de carga ni en la 2ª ni en la 3ª tongada. Sin embargo, en cada tongada se determinaron humedades y densidades “in situ”.

Finalmente se realizó una calicata en el talud del terraplén para testificar los espesores de las capas del terraplén y tomar muestras para realizar ensayos de laboratorio.

Tabla 2. Resumen de la instrumentación instalada, ensayos realizados y tomas de muestras en el terraplén B.

Terraplén	Placas de asiento (niveladas)	Hitos de nivelación	Placas dinámicas	Humedad y densidad “in situ”	Calicatas
Terraplén prueba B	PB1-S, PB2-S	PLB-1, PLB-2	PD-4, PD-5, PD-6, PD-10, PD-11, PD-12, PD-20, PD-21, PD-22	PD-10, PD-11, PD-12, PD-20, PD-21, PD-22	Una (1) calicata. Muestras: MI-1 (torta 2ª tongada)

*Nota: La situación de los ensayos de placa dinámica y determinaciones de la humedad y densidad “in situ” son coincidentes.

5.3 - Placas de asiento.

Las placas de asiento tienen como objetivo conocer la magnitud de los asientos bajo un punto de un terraplén. Consta de una chapa de acero, emplazada en la superficie del terreno original alisada previamente. La plataforma tiene una tubería de acero acoplada que se mueve de forma solidaria a la placa. Esta tubería viene en módulos roscados de 1 m que se van añadiendo a medida que se construye el terraplén. También lleva una



tubería de protección de diámetro mayor para prevenir de daños a la tubería de medida y que también se recrece mediante rosca.



Fotografía 15. Placa de asiento



Fotografía 16. Tubería de protección.

A través de las medidas topográficas del extremo del tubo se tiene el valor de los movimientos de la plataforma situado a la base del terraplén, o incluso, colocada en la parte interna del cuerpo del terraplén.

En la siguiente tabla se recogen la relación de las placas de asiento instaladas junto con sus coordenadas (coordenadas y cotas locales Enusa):

Tabla 3. Relación de las placas de asiento instaladas en cada terraplén (origen – sin nivelar).

DENOMINACIÓN	FECHA	COORDENADAS ENUSA (Locales)			OBSERVACIONES
		X	Y	Z (Niveladas)	
HITO ERA QUERCUS	21/05/2018	5.365,003	5.949,425	681,788	Hito de control
PA-1	16/05/2018	5.272,610	5.890,657	682,594	Módulo A: Varilla de asiento sobre la 1ª tongada
PA-2	15/05/2018	5.272,616	5.883,757	681,835	Módulo A: Varilla de asiento sobre la base
PB-1	16/05/2018	5.291,155	5.892,157	682,837	Módulo B: Varilla de asiento sobre la 1ª tongada
PB-2	15/05/2018	5.291,160	5.885,257	681,879	Módulo B: Varilla de asiento sobre la base

Las lecturas de asiento tomadas mediante métodos topográficos se han tomado hasta el momento desde el día 30 de mayo de 2018 hasta el día 21 de agosto de 2018. Desde el día 30 de mayo de 2018 hasta el día 20 de junio de 2018 la cadencia de lectura fue semana, y desde esa fecha a la del 21 de agosto de 2018 la cadencia está siendo mensual.



5.4 - Hitos de nivelación.

Las bases de referencia para medida de asientos (hitos de nivelación) consisten en una varilla con cabeza semiesférica, o bien, un dado de hormigón solapado a una varilla, anclada a una profundidad de 1 m.

Estos hitos de nivelación se instalaron al lado de las placas de asiento para poder realizar una comparativa de desplazamientos.



Fotografía 17. Hito de nivelación junto a la terminación de la placa de asiento.

En la siguiente tabla se recogen la relación de los hitos de nivelación junto con sus coordenadas (coordenadas y cotas locales Enusa):

Tabla 4. Relación de los hitos de nivelación dispuestos en cada terraplén.

DENOMINACIÓN	FECHA	COORDENADAS ENUSA (Locales)			OBSERVACIONES
		X	Y	Z (Niveladas)	
HITO ERA QUERCUS	21/05/2018	5.365,003	5.949,425	681,788	Hito de control
PLA-1	"	5.272,491	5.889,577	684,194	Módulo A: Placa de asiento en superficie
PLA-2	"	5.272,626	5.884,906	684,221	Módulo A: Placa de asiento en superficie
PLB-1	"	5.291,088	5.891,044	685,175	Módulo B: Placa de asiento en superficie
PLB-2	"	5.290,967	5.886,241	685,191	Módulo B: Placa de asiento en superficie

La cadencia de lecturas se está realizando del mismo modo que para las placas de asiento.



5.5 - Trabajos de campo – Carga vertical en suelos mediante placa dinámica.

Se realizaron un total de veinte y dos (22) ensayos de carga vertical en suelos mediante placa de carga dinámica sobre las diferentes tongadas terminadas de ambos terraplenes. Se realizaron entre 2 y 3 ensayos emplazados de manera longitudinal por cada tongada finalizada.

Este ensayo se encuentra regulado por la norma UNE 103807-2.

Estos ensayos se realizaron con una placa dinámica ZFG 3.0 y se obtuvieron los módulos de deformación dinámica del terreno " E_{vd} ". La metodología de este ensayo, la descripción del equipo y sus actas de resultados se han incluido en el Apéndice I.

Adicionalmente, se ha incluido la estimación del módulo estático del segundo ciclo de carga " E_{v2} ", a partir del resultado dinámico (E_{vd}), usando la expresión proporcionada por el fabricante del equipo.



Fotografía 18. Ensayo de carga vertical en suelos mediante placa dinámica.

En la siguiente figura se ilustra, a modo de ejemplo, una figura de resultados de uno de los ensayos de placa dinámica realizados.

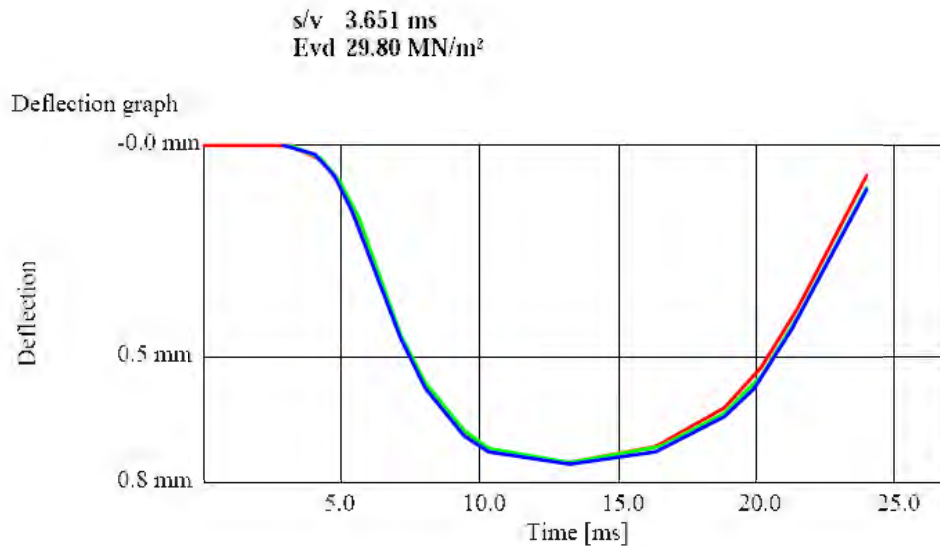


Figura 7. Acta de placa dinámica.

En la siguiente tabla se detallan los resultados de los ensayos de placa dinámica, su profundidad y correspondencia con la investigación.

Tabla 5. Resultados de ensayos de placa de carga dinámica.

Placa dinámica	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Espesor tongada completa (m)	Ev _d (MPa)
PD-1	Terraplén A.	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 681,952	Superficie refinada mineral agotado	20,47
PD-2	Terraplén A	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 681,86	Superficie refinada mineral agotado	29,8
PD-3	Terraplén A	X= 5272,466 Y= 5874,75 Z= 681,842	Superficie refinada mineral agotado	28,88
PD-4	Terraplén B.	X= 5290,785 Y= 5900,868 Z= 682,077	Superficie refinada mineral agotado	22,06



Placa dinámica	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Espesor tongada completa (m)	Ev _a (MPa)
PD-5	Terraplén B	X= 5292,788 Y= 5885,279 Z= 681,859	Superficie refinada mineral agotado	13,41
PD-6	Terraplén B	X= 5290,847 Y= 5875,046 Z= 681,654	Superficie refinada mineral agotado	36,06
PD-7	Terraplén A.	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 682,551	1ª Tongada. 30 cm de Torta + 35 cm Min.	17,06
PD-8	Terraplén A	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 682,618	1ª Tongada. 30 cm de Torta + 35 cm Min.	20,25
PD-9	Terraplén A	X= 5272,466 Y= 5874,75 Z= 682,218	1ª Tongada. 30 cm de Torta + 35 cm Min.	21,53
PD-10	Terraplén B.	X= 5290,785 Y= 5900,868 Z= 682,618	1º Tongada.30 cm de Torta + 50 Min. Agotado (2	21,21
PD-11	Terraplén B	X= 5292,788 Y= 5885,279 Z= 682,369	1º Tongada.30 cm de Torta + 50 Min. Agotado (2	25,28
PD-12	Terraplén B	X= 5290,847 Y= 5875,046 Z= 682,114	1º Tongada.30 cm de Torta + 50 Min. Agotado (2	25,83
PD-13	Terraplén A	X= 5277,126 Y= 5902,348 Z= 682,19	Ensayo prueba sobre capa de torta vertida en 1ª tongada.	9,56
PD-14	Terraplén A	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 683,248	2ª Tongada. 35 cm de Torta + 35 cm Min.	19,95



Placa dinámica	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Espesor tongada completa (m)	E_{va} (MPa)
PD-15	Terraplén A	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 683,398	2ª Tongada. 35 cm de Torta + 35 cm Min.	26,38
PD-16	Terraplén A	X= 5275,58 Y= 5881,188 Z= 683,497	2ª Tongada. 35 cm de Torta + 35 cm Min.	22,21
PD-17	Terraplén A	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 683,838	3ª Tongada. 30 cm de Torta + 10 cm Min.	13,38
PD-18	Terraplén A	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 684,038	3ª Tongada. 30 cm de Torta + 10 cm Min.	16,65
PD-19	Terraplén A	X= 5275,58 Y= 5881,188 Z= 683,958	3ª Tongada. 30 cm de Torta + 10 cm Min.	6,46
PD-20	Terraplén B.	X= 5294,621 Y= 5898,793 Z= 683,484	2ª Tongada. 35 cm de Torta + 90 Min. Agotado (2	12,84
PD-21	Terraplén B	X= 5292,788 Y= 5885,279 Z= 683,298	2ª Tongada. 35 cm de Torta + 90 Min. Agotado (2	18,47
PD-22	Terraplén B	X= 5293,369 Y= 5890,075 Z= 683,415	2ª Tongada. 35 cm de Torta + 90 Min. Agotado (2	21,15

*Nota: No se pudo ensayar la 3ª tongada del terraplén B, al no disponer del equipo.

En el Apéndice III se recogen las actas de los ensayos.



5.6 - Trabajos de campo – Humedad y densidad “in situ” por método nuclear.

Se realizaron diez y seis (16) ensayos para determinar la humedad y densidad “in situ” por método nuclear, marca “Troxler”, en cada una de las tongadas finalizadas de cada terraplén. Los objetivos que persigue este ensayo es la determinación de la humedad natural, densidad aparente y densidad seca de cada material, en condiciones naturales.

Al ser un método no destructivo permite repetir medidas en un mismo lugar y el análisis estadístico de estos resultados.

El alcance habitual de los equipos se encuentra entre 0 y 300 mm de profundidad de un suelo, si bien para la presente campaña de investigación se ha profundizado unos 250 mm, previa retirada de 50 a 100 mm de suelo superficial con el fin de evitar resultados anómalos.

La determinación de la densidad húmeda está basada en la interacción de la radiación gamma, emitida por una de las fuentes radiactivas del equipo, y los electrones exteriores (efecto Compton) de los átomos del material a ensayar, captados por un detector situado a determinada distancia de la fuente. Los fotones gamma viajan, a través del material a ensayar, desde la fuente alojada en el extremo de la varilla hasta un detector Geiger-Müller, o similar, ubicado en la base del equipo, que realiza el conteo de la radiación gamma.

La determinación de la humedad se base en la interacción de los neutrones rápidos, emitidos por una de las fuentes radioactivas del equipo, con los átomos de hidrógeno del material ensayado. En este proceso, los neutrones rápidos colisionan con los átomos de hidrógeno y son termalizados. Un detector de helio-3 o similar cuenta la cantidad de neutrones termalizados y los correlaciona con el valor de la humedad del material analizado, siendo esa cantidad directamente proporcional a la humedad.



Fotografía 19. Ensayo nuclear para determinar la densidad y humedad “in situ” de un suelo. Marca “Troxler”.

En la tabla siguiente se exponen las coordenadas de los puntos ensayados y los resultados obtenidos:

Tabla 6. Resumen de los ensayos de humedad y densidad “in situ” por método nuclear por tongada de cada terraplén.

Ensayo	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Humedad natural (%)	Densidad seca (t/m^3)	Densidad aparente (t/m^3)	Material
PD-7	Terraplén A. 1ª tongada	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 682,551	8,0	1,87	2,02	Min. Agotado y torta
PD-8	Terraplén A. 1ª tongada	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 682,618	8,7	1,94	2,11	Min. Agotado y torta



Ensayo	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Humedad natural (%)	Densidad seca (t/m ³)	Densidad aparente (t/m ³)	Material
PD-9	Terraplén A. 1 ^a tongada	X= 5272,466 Y= 5874,75 Z= 682,218	8,5	1,91	2,08	Min. Agotado y torta
PD-10	Terraplén B. 1 ^a tongada	X= 5290,785 Y= 5900,868 Z= 682,618	7,2	1,90	2,04	Min. agotado
PD-11	Terraplén B. 1 ^a tongada	X= 5292,788 Y= 5885,279 Z= 682,369	7,6	1,94	2,09	Min. Agotado
PD-12	Terraplén B. 1 ^a tongada	X= 5290,847 Y= 5875,046 Z= 682,114	8,3	1,92	2,08	Min. Agotado
PD-13 (prueba)	Terraplén A. 1 ^o tongada sobre torta vertida	X= 5277,126 Y= 5902,348 Z= 682,19	64,6	0,91	1,50	Torta vertida
PD-14	Terraplén A. 2 ^a tongada	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 683,248	10,2	1,86	2,05	Min. Agotado y torta
PD-15	Terraplén A. 2 ^a tongada	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 683,398	9,6	1,85	2,02	Min. Agotado y torta
PD-16	Terraplén A. 2 ^a tongada	X= 5275,58 Y= 5881,188 Z= 683,497	9,8	1,83	2,01	Min. Agotado y torta
PD-17	Terraplén A. 3 ^a tongada	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 683,838	6,4	1,80	1,91	Min. Agotado y torta



Ensayo	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Humedad natural (%)	Densidad seca (t/m ³)	Densidad aparente (t/m ³)	Material
PD-18	Terraplén A. 3ª tongada	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 684,038	5,8	1,88	1,99	Min. Agotado y torta
PD-19	Terraplén A. 3ª tongada	X= 5275,58 Y= 5881,188 Z= 683,958	10,4	1,60	1,76	Min. Agotado y torta
PD-20	Terraplén B. 2ª tongada	X= 5294,621 Y= 5898,793 Z= 683,484	7,9	1,94	2,10	Min. Agotado
PD-21	Terraplén B. 2ª tongada	X= 5292,788 Y= 5885,279 Z= 683,298	7,2	1,92	2,06	Min. Agotado
PD-22	Terraplén B. 2ª tongada	X= 5293,369 Y= 5890,075 Z= 683,415	7,5	1,93	2,08	Min. Agotado

*Nota: No se determina la humedad y densidad "in situ" de la 3ª tongada al no tener a disposición el equipo.

Los ensayos para la determinación de humedad y densidad "in situ" han sido realizados por método nuclear siguiendo la norma UNE 103900:2013.

En el Apéndice IV se recogen las actas de los ensayos.



5.7 - Trabajos de campo – Calicatas mecánicas.

Las calicatas o “catas” son una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico. Son excavaciones de profundidad pequeña a media, realizadas normalmente con pala retroexcavadora.

Estas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa.

Por consiguiente, se han realizado un total de dos (2) calicatas mecánicas con objeto de llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Comprobar los espesores de las tongadas en cada terraplén.
- Determinar el grado de mezcla entre los materiales de mineral agotado y torta en el terraplén A.
- Observar el estado de compactación de los materiales.
- A partir de las observaciones de las calicatas, se han determinado los siguientes aspectos de interés: la estabilidad de las paredes, superficies de alteración, grado de humedad, expansividad, retracción, excavabilidad, etc...
- Toma de muestra alterada y/o inalterada para posteriores ensayos de laboratorio.

En todas las calicatas ejecutadas las paredes se mantuvieron estables, sin apreciarse ningún síntoma de desprendimientos.



Fotografía 20. Calicata realizada en el talud del terraplén A.



Fotografía 21. Calicata realizada en el talud del terraplén B.

En la tabla siguiente se resumen todas las calicatas realizadas, sus coordenadas y las profundidades a las que se tomó muestra de suelo.



Tabla 7. Resumen de las calicatas mecánicas

Calicata	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Muestra	Profundidad (m)
C-1	Talud terraplén A	X= 5277,699 Y= 5897,822	MA-1 (2ª tongada) y MA-2 (1ª tongada). MI-1 (torta 2ª tongada).	2,25
C-2	Talud terraplén B	X= 5296,587 Y= 5898,548	MI-1 (torta 2ª tongada)	3,25

La testificación de las calicatas se encuentra recogida en el Apéndice V.

5.8 - Ensayos de laboratorio

Con las muestras obtenidas en las calicatas se han llevado a cabo ensayos de identificación y ensayos de carácter químico. Los ensayos se han realizado en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la empresa EUROCONSULT, S.A. Los ensayos se recogen en la tabla adjunta.

Tabla 8. Ensayos realizados

Tipo de Ensayos	Norma utilizada	Número de ensayos
Humedad natural de un suelo.	UNE 103-300/93	2
Determinación de la densidad de un suelo	UNE-EN ISO 17892-2:2015	2
Análisis granulométrico por tamizado.	UNE 103-101/95	2
Límites de Atterberg	UNE 103-103/94	2
Ensayo de próctor modificado	UNE 103501:1994	2
Ensayo CBR	UNE 103502:1995	2
Hinchamiento libre	UNE 103601/96	2
Colapso	NLT-254	2



Contenido en materia orgánica	UNE 103204/1993	2
Contenido en yesos	NLT-115/99	2
Contenido en sales solubles	UNE 103205:2006	2

En el Apéndice VI del informe se incluyen los partes de laboratorio.



6 - CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES

6.1 - Introducción

Una vez finalizada la construcción de los terraplenes de prueba se realizaron dos (2) calicatas, una por cada talud de terraplén, para comprobar el espesor de las tongadas de los materiales, verificar el grado de mezcla de materiales en el caso del terraplén de prueba A, comprobar la compactación y tomar una serie de muestras para realizar una caracterización geotécnica de los materiales.

La mayor relevancia del presente estudio se centra en las muestras tomadas en las diferentes tongadas del terraplén A, ya que se procedió a la mezcla de materiales (mineral agotado y torta) mediante dos pasadas de ripper por banda. En este sentido, resulta obvio pensar que con este mecanismo no se alcanza el grado óptimo de homogenización entre materiales, no obstante se debe estudiar el aprovechamiento de materiales en condiciones originales desde una puesta en obra viable desde el punto de vista técnico y económico en sustitución de la opción de la instalación de una planta industrial independiente que garantizara el proceso de desecado de los materiales de torta y su mezcla con el material de mineral agotado.

La caracterización geotécnica y aprovechamiento de los materiales mezclados en las distintas tongadas del terraplén de prueba A, se basan en:

- Identificación del material desde el punto de vista geotécnico, con ensayos de identificación para determinar la humedad natural, densidad, granulometría por tamizado y plasticidad.
- Realización de ensayos de compactación, capacidad de soporte y deformabilidad.
- Determinación de contenidos en materia orgánica, sales solubles y yesos.



- Realización de ensayos “in situ” por método nuclear para determinar la humedad natural, humedad seca y aparente de los materiales de las diferentes tongadas de los terraplenes A y B.
- Determinación de la deformabilidad “in situ” mediante ensayos de placa de carga vertical, obteniendo el módulo de compresibilidad en segundo ciclo de carga por cada tongada completa (ambos terraplenes).

En la Tabla 9 se recoge un cuadro resumen de los ensayos de laboratorio.

Posteriormente se realiza la caracterización geotécnica de los materiales.

TITULO: ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA “QUERCUS” EN SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA).

REF.:GT18023SA (SALAMANCA)



Tabla 9. Resumen de los ensayos de laboratorio

						Clasificación		Estado			Ensayos de Identificación										Deformabilidad			Compac.		Cap. Port.		C.Química						
						USCS	PG3	Humedad Natural	Peso específico Seco	Peso específico aparente o húmedo	Análisis granulométrico UNE							Lim. Atterberg %			Hich.	Colapso	Proctor M.		CBR 95%PM		Materia orgánica	Contenido en Sales Solubles	Contenido en Yesos					
Calicata	Prof. muestra	Tipo de Muestra	Descripción Genética del Nivel	Unidad Geotécnica	CASAGRANDE	Máxima calidad del suelo según ensayos realizados	w				γ _d	γ _{ap}	# 100 mm (4")	# 80 mm	# 20 mm (7/8")	# 5 mm (nº4)	# 2 mm (nº10)	# 0,4 mm (nº40)	# 0,16 mm (nº??)	# 0,08 mm (nº200)	LL	LP	IP	i _h	I	ic				γ _{dmax}	w _{opt}	CBR	H _{CBR}	M.O.
							%				t/m³	t/m³																				%	%	%
C-1	0,80 - 1,50	MA-1	MINERAL AGOTADO + TORTA	MEZCLA	SW-SM	MARGINAL	29,6			100	100	100	56	33	11	7	6	40	33	7	0,05	2,94	3,00	1,6	29,6	6,3	0,3	0,08	9,75	0,13				
C-1	1,50 - 2,15	MA-2	MINERAL AGOTADO + TORTA	MEZCLA	SW-SM	MARGINAL	39,1			100	100	100	55	34	13	9	7	50	37	13	0,20	0,40	0,40	1,55	32,8	5,6	0,7	0,1	10,66	0,12				
C-1	1,20 - 1,20	MI-1	TORTA (2ª TONGADA)	TORTA			118,4	0,26	0,57																									
C-2	2,30 - 2,30	MI-1	TORTA (2ª TONGADA)	TORTA			127,2	0,35	0,80																									

Posteriormente se realiza la caracterización geotécnica de las diferentes unidades diferenciadas en los perfiles geológico-geotécnicos.



6.2 - Mezcla de mineral marginal agotado y tortas de neutralización en tongadas 1ª y 2ª del terraplén de prueba A.

Durante la apertura de la calicata C-1 en el terraplén A se tomaron dos muestras de material mezclado de las tongadas 1ª (mezcla de 30 cm de torta y 35 cm de mineral agotado) y 2ª (mezcla de 35 cm de torta y 35 cm de mineral agotado).

El aspecto que muestran estos materiales mezclados se presenta en las siguientes fotografías:



Fotografía 22. Materiales de torta y mineral agotado solapados por la mezcla.

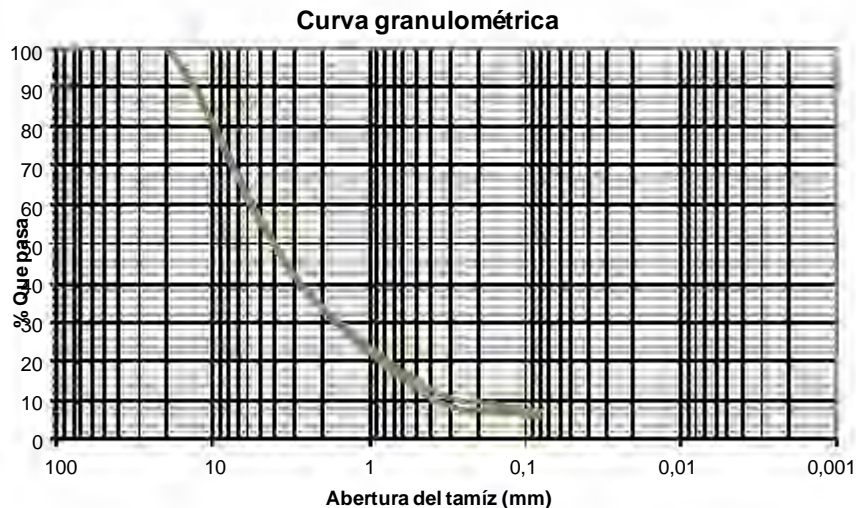


Fotografía 23. Mezcla de mineral marginal agotado y torta. Acopio de la calicata C-1.

Identificación y estado

En el laboratorio se realizaron dos (2) determinaciones de la humedad natural en el que se obtuvieron valores del 30 y 39 %. Estos resultados se consideran razonables ya que el material de mineral agotado (pizarras machacadas) tiende a demandar humedad del mineral de torta. Por el contrario, no se puede contar con los resultados de las determinaciones de humedad y densidad “in situ” ya que los valores obtenidos no superaban el 10 % de humedad y las densidades aparentes variaban entre 1,91 y 2,10 t/m³, lo que indica que el aparato estaba registrando, en mayor proporción, la humedad más superficial correspondiente al mineral agotado.

Se realizaron dos (2) ensayos de granulometría por tamizado sobre muestras de la mezcla del acopio de la tongada 1ª y tongada 2ª. El contenido en grava fue del 66 y 67 %, el contenido de arena fue del 26 y 27 %, mientras que el contenido en finos (tamaño de grano inferior a 0,008 mm) fue del 6 y 7 %. En la siguiente figura se recoge la curva granulométrica de cada muestra ensayada:



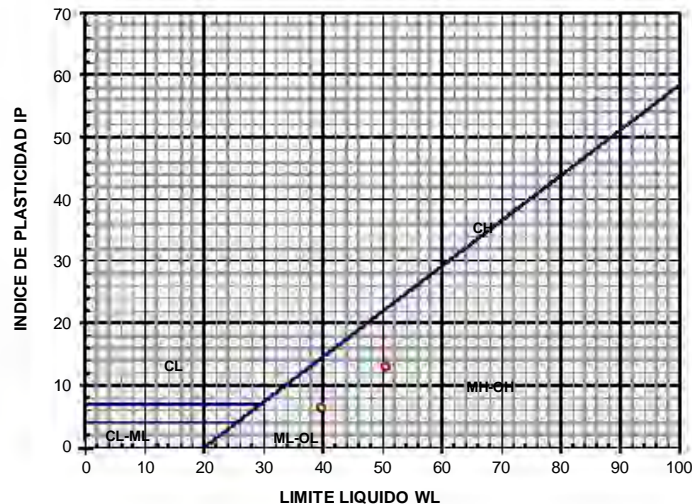


Figura 9. Gráfico de plasticidad de Casagrande con los resultados obtenidos.

Teniendo en cuenta los resultados de granulometría y plasticidad, según la clasificación USCS esta mezcla de materiales se denomina “Arenas bien graduadas y arenas limosas (SW-SM)”.

Compactación y deformabilidad

Se realizaron dos (2) ensayos de Próctor Modificado en los que se obtuvo una densidad máxima de 1,55 y 1,60 t/m³ para humedades óptimas del 30 y 33 % respectivamente.

Se realizaron dos (2) ensayos de CBR al 95 % del Próctor Modificado. En una de las muestras el Índice CBR fue del 5,6 y en la otra del 6,3 para hinchamientos del 0,30 y 0,70 %.

Se realizaron dos (2) ensayos de hinchamiento libre en los que se obtuvieron valores del 0,05 y 0,20 %, indicativo de que estos materiales experimentaban un bajo potencial de hinchamiento. Sin embargo, en dos (2) ensayos de colapso realizados en las mismas



muestras se obtuvieron valores de Índices de Colapso¹ del 0,40 y 2,94 %, lo que indica que estos materiales tienen un grado de colapso entre medio y alto.

En cuanto a los ensayos químicos, los contenidos en materia orgánica fueron del 0,08 y 0,1 %, lo cual se pueden considerar de muy bajos. Los contenidos en sales solubles fueron del 9,7 y 10,6 %, catalogados de muy altos. Finalmente los contenidos en yesos fueron del 0,12 y 0,13 %, valores muy bajos.

Si tenemos en cuenta los valores de colapso y de sales solubles, estos materiales en presencia de una disolución acuosa, pueden experimentar un proceso de disolución acompañados de fenómenos de asentamiento (colapso). Este aspecto se estudiará más adelante en el apartado de análisis de los terraplenes.

Ensayos de placa de carga vertical

En el terraplén A se realizaron un total de trece (13) ensayos de placa de carga vertical, si bien tres (3) se realizaron en la superficie refinada base de mineral agotado y nueve (9) en sus diferentes tongadas completas. En la siguiente tabla se recogen todos los ensayos realizados junto con los valores del módulo dinámico y el módulo de compresibilidad del segundo ciclo de carga:

Tabla 10. Resultados de ensayos de placa de carga dinámica en el terraplén A.

Placa dinámica	Situación	Espesor tongada completa (m)	Ev _d (MPa)	Ev ₂ (MPa)
PD-1	Terraplén A.	Superficie refinada mineral agotado	20,47	42
PD-2	Terraplén A	Superficie refinada mineral agotado	29,8	63

¹ Asiento inducido por colapso bajo inundación referido a la altura inicial de la muestra.



Placa dinámica	Situación	Espesor tongada completa (m)	E_{v_d} (MPa)	E_{v_2} (MPa)
PD-3	Terraplén A	Superficie refinada mineral agotado	28,88	61
PD-7	Terraplén A.	1ª Tongada. 30 cm de Torta + 35 cm Min. Agotado.	17,06	35
PD-8	Terraplén A	1ª Tongada. 30 cm de Torta + 35 cm Min. Agotado.	20,25	42
PD-9	Terraplén A	1ª Tongada. 30 cm de Torta + 35 cm Min. Agotado.	21,53	45
PD-13	Terraplén A	Ensayo prueba sobre capa de torta vertida en 1ª tongada.	9,56	19
PD-14	Terraplén A	2ª Tongada. 35 cm de Torta + 35 cm Min. Agotado.	19,95	41
PD-15	Terraplén A	2ª Tongada. 35 cm de Torta + 35 cm Min. Agotado.	26,38	55
PD-16	Terraplén A	2ª Tongada. 35 cm de Torta + 35 cm Min. Agotado.	22,21	46
PD-17	Terraplén A	3ª Tongada. 30 cm de Torta + 10 cm Min. Agotado.	13,38	27
PD-18	Terraplén A	3ª Tongada. 30 cm de Torta + 10 cm Min. Agotado.	16,65	34
PD-19	Terraplén A	3ª Tongada. 30 cm de Torta + 10 cm Min. Agotado.	6,46	13



Los valores de E_{v2} obtenidos en la superficie refinada variaron entre 42 y 63 MPa, mientras que los valores E_{v2} obtenidos en sus tres tongadas restantes estuvieron comprendidos entre 13 y 55 MP.

Aprovechamiento de materiales (PG-3).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y lo indicado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales PG-3, se clasifica este material mezcla como suelo marginal.

Según el artículo 330.4.4 contenido en el PG-3, las precauciones especiales para los distintos tipos de suelo, si bien, hace referencia a “suelos marginales”, sólo podrán utilizarse en algunas zonas de la obra siempre que su uso se justifique mediante estudio especial, aprobado por el Director de las Obras.

Este "Estudio de usos de materiales marginales" deberá contemplar explícitamente y con detalle al menos los siguientes aspectos:

- Determinación y valoración de las propiedades que confieren al suelo su carácter de marginal.
- Influencia de dichas características en los diferentes usos del suelo dentro de la obra.
- Posible influencia en el comportamiento o evolución de otras zonas u elementos de la obra.
- Estudio pormenorizado en donde se indique las características resistentes del material y los asientos totales y diferenciales esperados, así como la evolución futura de estas características.
- Conclusión justificada de los posibles usos del material en estudio.
- Cuidados, disposiciones constructivas y prescripciones técnicas a adoptar para los diferentes usos del suelo dentro de la obra.



En función de los reconocimientos de campo y ensayos de laboratorio se expone la siguiente tabla con el resumen de los parámetros para los materiales de mezcla en condiciones naturales “in situ” del terraplén A.

Tabla 11. Valores de los principales parámetros geotécnicos en el Terraplén A.

Parámetro	Mezcla 1:1 (Min.:Torta)
Comportamiento geotécnico	Suelo
Humedad natural (%)	30-39
Contenido de finos (% cernido 0,08 mm)	6-7
LL (%)	40-50
IP (%)	7-13
Densidad aparente (t/m^3) “in situ”	1,99 ⁽¹⁾
Densidad máxima – Próctor Modificado (t/m^3)	1,55-1,60
Humedad óptima –95 % Próctor Modificado (%)	30-33
Índice CBR	6,3-5,6
Hinchamiento libre (%)	0,05-0,20
Índice de Colapso (%)	0,40-2,94
Módulo de compresibilidad (Ev_2)	40,23 ⁽²⁾
Contenido en materia orgánica (%)	0,08-0,10
Contenido en sales solubles (%)	9,75-10,66
Contenido en yesos (%)	0,12-0,13

⁽¹⁾Determinación de la densidad “in situ” promedio probablemente anómala, al medir en mayor porcentaje los centímetros superficiales de mineral agotado compactado.

⁽²⁾Valor promedio de los resultados de los ensayos de placa dinámica realizados.



6.3 - Torta de neutralización.

En las tortas de neutralización únicamente se han realizado ensayos para determinar el contenido de humedad y densidad tanto en laboratorio como “in situ”.

En la determinación de humedad y densidad “in situ” de la torta en la 1ª tongada del terraplén A (no compactada, tipificada como PD-13), se obtuvo un valor de humedad natural del 65 % y una densidad aparente de 1,50 t/m³.

Por otro lado, en la calicata C-1 (Terraplén A) en el tramo de torta de la 2ª tongada se tomó una muestra inalterada (MI-1). En la calicata C-2 (Terraplén B) en el tramo de torta de la 2ª tongada se tomó igualmente una muestra inalterada (MI-1). Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 12. Resultados de laboratorio en el material de torta.

Calicata	Prof. muestra	Tipo de Muestra	Descripción Genética del Nivel	Unidad Geotécnica	Humedad Natural	Peso específico Seco	Peso específico aparente o húmedo
					w	γ_d	γ_{ap}
símbolo	m				%	t/m ³	t/m ³
C-1	1,20 - 1,20	MI-1	TORTA (2ª TONGADA)	TORTA	118,4	0,26	0,57
C-2	2,30 - 2,30	MI-1	TORTA (2ª TONGADA)	TORTA	127,2	0,35	0,80

...De la tabla anterior se puede extraer que el material de torta estaba totalmente saturado y que las densidades aparente fueron de 0,57 y 0,80 t/m³, catalogadas como densidades muy bajas. Debido al alto porcentaje de humedad es probable que la torta no llegara a compactarse.



7 - ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TERRAPLENES DE PRUEBA.

7.1 - Introducción.

Como se ha descrito anteriormente, se han construido dos terraplenes de prueba en la parte norte de la Era Quercus a partir de la cota +682,00. Cada terraplén cuenta con una configuración diferente en lo que se refiere al diseño de la puesta en obra de los materiales de mineral agotado y torta.

Durante y posteriormente a la construcción de ambos terraplenes se han ido realizado ensayos “in situ”, ensayos de laboratorio y mediciones topográficas para el seguimiento y control de los asientos. Estas mediciones topográficas se tomarán de manera continuada y periódica a lo largo del tiempo para estudiar los asientos que se vayan produciendo en ambos terraplenes.

Por lo tanto, desde el punto de vista geotécnico resulta necesario abordar el siguiente análisis para cada terraplén:

- Análisis de los ensayos de laboratorio.
- Análisis de los resultados obtenidos en la determinación de humedad y densidad “in situ”.
- Análisis de la deformabilidad en base a los resultados obtenidos en los ensayos de placa dinámica de carga vertical.
- Análisis de los desplazamientos/asientos medidos mediante métodos topográficos. Justificación de la cadencia de lecturas en placas de asiento y en hitos topográficos.

Todos estos puntos se estudiarán en los apartados siguientes.



7.2 - Terraplén de prueba A.

7.2.1 - Ensayos de laboratorio

Sobre dos (2) muestras tomadas de manera representativa en la calicata C-1, se realizaron una batería de ensayos de laboratorio para catalogar el material de mezcla según el artículo 330 “Terraplenes” del PG-3.

El resultado de los ensayos que se obtuvo en ambas muestras fue de un “suelo marginal”, ya que no cumplía con las siguientes condiciones para, al menos, ser calificado como “suelo tolerable”:

- Índice de colapso $< 1 \%$.
- Si $LL > 40$ $IP > 0,73(LL - 20)$.
- Contenido en yesos-sales solubles $< 1 \%$.

Los parámetros anteriores son directamente atribuibles al material de torta que complementa al 50 % la mezcla teórica. Es un material caracterizado por tener una estructura muy abierta y floja que mantiene su estabilidad por el estado de sequedad de la atmosfera (en los 20-30 cm de la cubierta exterior en contacto con la atmósfera). Inicialmente, cuando son depositados por vía acuosa no tienen ninguna cohesión, pero con la pérdida de humedad se cementan por uniones entre cristales adquiriendo una cohesión “aparente” que permite unas mínimas condiciones de estabilidad.

Estos suelos con cierto contenido en material de torta, se pueden considerar geotécnicamente metaestables, puesto que tienen un comportamiento que varía según el contenido de humedad. Cuando aumenta ésta, la estructura inicial puede ser destruida, produciéndose una importante disminución del volumen aparente (colapso) y el consiguiente asiento (además de un posible arrastre de finos por agua con cierta velocidad).

Para caracterizar la peligrosidad de colapso de los suelos se suele utilizar la siguiente tabla:



Tabla 13. Criterios de colapsabilidad.

Grado de colapso	Potencial de colapso (%)*
Bajo	<0,25
Bajo a medio	0,25-1,0
Medio a alto	1,0-5,0
Alto a muy alto	>5,0

Teniendo en cuenta los resultados de colapso obtenidos y la clasificación anterior, podemos catalogar la mezcla de los materiales del terraplén de un grado de colapso medio a alto.

Por último, como es bien sabido, un contenido en sales solubles en un suelo lleva implícito como riesgo la disolución de esas sales en contacto con el agua y con ello el aumento de la porosidad del material, con lo cual cabe la posibilidad de alcanzar el fenómeno de colapso.



7.2.2 - Determinación de la humedad y densidad “in situ”

Una vez finalizada la compactación de cada tongada, se procedió a tomar la humedad y densidad “in situ” mediante Troxler. Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 14. Resumen de los ensayos de humedad y densidad “in situ” por método nuclear por tongada de cada terraplén A.

Ensayo	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Humedad natural (%)	Densidad seca (t/m ³)	Densidad aparente (t/m ³)	Material
PD-7	Terraplén A. 1 ^a tongada	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 682,551	8,0	1,87	2,02	Min. Agotado y torta
PD-8	Terraplén A. 1 ^a tongada	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 682,618	8,7	1,94	2,11	Min. Agotado y torta
PD-9	Terraplén A. 1 ^a tongada	X= 5272,466 Y= 5874,75 Z= 682,218	8,5	1,91	2,08	Min. Agotado y torta
PD-13 (prueba)	Terraplén A. 1 ^o tongada sobre torta vertida	X= 5277,126 Y= 5902,348 Z= 682,19	64,6	0,91	1,50	Torta vertida
PD-14	Terraplén A. 2 ^a tongada	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 683,248	10,2	1,86	2,05	Min. Agotado y torta
PD-15	Terraplén A. 2 ^a tongada	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 683,398	9,6	1,85	2,02	Min. Agotado y torta
PD-16	Terraplén A. 2 ^a tongada	X= 5275,58 Y= 5881,188 Z= 683,497	9,8	1,83	2,01	Min. Agotado y torta



Ensayo	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Humedad natural (%)	Densidad seca (t/m ³)	Densidad aparente (t/m ³)	Material
PD-17	Terraplén A. 3ª tongada	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 683,838	6,4	1,80	1,91	Min. Agotado y torta
PD-18	Terraplén A. 3ª tongada	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 684,038	5,8	1,88	1,99	Min. Agotado y torta
PD-19	Terraplén A. 3ª tongada	X= 5275,58 Y= 5881,188 Z= 683,958	10,4	1,60	1,76	Min. Agotado y torta

*Nota: No se determina la humedad y densidad "in situ" de la 3ª tongada al no tener a disposición el equipo.

Los datos recogidos en la tabla anterior indican que los valores de densidad aparente estuvieron comprendidos entre 1,76 y 2,11 t/m³ con humedades que variaron entre 5,8 y 10,4 %. No se ha computado el ensayo PD-13 al haberse realizado directamente sobre los materiales de torta y así tener un patrón comparativo.

Como se ha mencionado anteriormente, las determinaciones se han realizado sobre la capa de mineral agotado por la cual primeramente ha transitado el ripper para mezclar la capa de torta inferior y posteriormente el rodillo para compactar toda la tongada. Es probable que no se haya alcanzado el grado de mezcla de materiales deseado, o también, que el clavo de troxler haya profundizado tan sólo 20-25 cm y haya captado en su mayor parte la humedad y densidad de la capa superior (mineral agotado).

En definitiva, no se pueden considerar estos valores de referencia como medición de la mezcla realizada, ya que se considera que no se ha llegado un grado suficiente de mezclado, sin tener que alcanzar necesariamente un grado puramente homogéneo.



Estos valores de humedad y densidad se han obtenido con dos pasadas de rodillo vibratorio.

7.2.3 - Análisis de la deformabilidad. Placa de carga vertical.

La deformabilidad del terraplén se ha ido midiendo por cada tongada completada en tres puntos de la superficie del terraplén. Los valores obtenidos en cada ensayo han sido los siguientes:

Se ha estimado el valor del módulo estático del segundo ciclo de carga “Ev₂”, a partir del resultado dinámico (Evd) usando la expresión proporcionada por el fabricante del equipo.

Tabla 15. Resultados de ensayos de placa de carga dinámica en el terraplén A.

Placa dinámica	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Espesor tongada completa (m)	Ev _d (MPa)	Ev ₂ (MPa)
PD-1	Terraplén A.	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 681,952	Superficie refinada mineral agotado	20,47	42
PD-2	Terraplén A	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 681,86	Superficie refinada mineral agotado	29,8	63
PD-3	Terraplén A	X= 5272,466 Y= 5874,75 Z= 681,842	Superficie refinada mineral agotado	28,88	61
PD-7	Terraplén A.	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 682,551	1ª Tongada. 30 cm de Torta + 35 cm Min.	17,06	35
PD-8	Terraplén A	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 682,618	1ª Tongada. 30 cm de Torta + 35 cm Min.	20,25	42
PD-9	Terraplén A	X= 5272,466 Y= 5874,75 Z= 682,218	1ª Tongada. 30 cm de Torta + 35 cm Min.	21,53	45



Placa dinámica	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Espesor tongada completa (m)	Ev _d (MPa)	Ev ₂ (MPa)
PD-13	Terraplén A	X= 5277,126 Y= 5902,348 Z= 682,19	Ensayo prueba sobre capa de torta vertida en 1ª tongada.	9,56	19
PD-14	Terraplén A	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 683,248	2ª Tongada. 35 cm de Torta + 35 cm Min.	19,95	41
PD-15	Terraplén A	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 683,398	2ª Tongada. 35 cm de Torta + 35 cm Min.	26,38	55
PD-16	Terraplén A	X= 5275,58 Y= 5881,188 Z= 683,497	2ª Tongada. 35 cm de Torta + 35 cm Min.	22,21	46
PD-17	Terraplén A	X= 5274,26 Y= 5897,378 Z= 683,838	3ª Tongada. 30 cm de Torta + 10 cm Min.	13,38	27
PD-18	Terraplén A	X= 5270,092 Y= 5882,754 Z= 684,038	3ª Tongada. 30 cm de Torta + 10 cm Min.	16,65	34
PD-19	Terraplén A	X= 5275,58 Y= 5881,188 Z= 683,958	3ª Tongada. 30 cm de Torta + 10 cm Min.	6,46	13

Nota: Valores obtenidos posteriormente a la compactación mediante rodillo vibrador mediante dos pasadas.

Como puede apreciarse en la tabla anterior los valores del módulo de compresibilidad del segundo ciclo de carga Ev₂ han variado entre 13 y 55 MPa, con un promedio de 36 MPa, para el caso de los ensayos realizados en tongadas completas. Sin embargo, como resulta obvio, los valores resultantes en el superficie refinada de mineral agotado (antes de comenzar con la puesta en obra de los materiales de torta y



mineral agotado) han sido superiores, si bien han estado comprendidos entre 42 y 63 MPa, siendo la media de 55 MPa.

Los valores Ev_2 relativamente bajos obtenidos en la 3ª tongada se deben al escaso espesor de mineral agotado que se vertió (10-12 cm) el día 16 de mayo de 2018. No obstante, al día siguiente este espesor se recreció hasta los 30 cm, pero no se pudieron tomar datos de deformabilidad al no tener a disposición el equipo de medida.

A modo de rango comparativo si se tiene en cuenta la Norma 6.1 IC Secciones de firme de la Instrucción de Carreteras del Ministerio de Fomento, estos valores no llegarían a dar conformidad para un tipo de explanada E1, donde $Ev_2 \geq 60$ MPa. En cualquier caso, este tipo los rangos de explanada son proyectadas para soportar cargas de tráfico, aspecto que no estará contemplado en la futura remodelación de la Era.

7.2.4 - Análisis de asentamientos mediante métodos topográficos.

Para el control de los asentamientos el terraplén A se han instalado dos (2) placas de asiento a diferente cota y dos (2) hitos topográficos en la superficie del terraplén.

- Placas de asiento (colocación inicial-sin nivelar): PA-1 a la cota +682,594 sobre la 1ª tongada finalizada y PA-2 a la +681,835 en la superficie refinada de mineral agotado.
- Hitos topográficos (nivelados origen): PLA-1 a la cota +684,194 y PLA-2 a la cota +684,221.

Una vez finalizada la construcción del terraplén se procedió a la realización de la nivelación de cotas (cotas locales Enusa). A partir de este momento se tomó una primera lectura a la semana, el 30 de mayo, a partir de esta fecha se fueron tomando lecturas semanales hasta el 20 de junio. En esta última fecha se pudo comprobar que el asiento que se estaba produciendo era lo suficientemente lento para dilatar la toma de lecturas a periodicidad mensual. La última lectura que se ha registrado ha sido la del



21 de agosto del 2018. En la siguiente tabla se recogen todas las lecturas efectuadas en el terraplén de prueba A:

TITULO: ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA “QUERCUS” EN SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA).

REF.:GT18023SA (SALAMANCA)



Tabla 16. Medidas topográficas tomadas en el terraplén de prueba A hasta el 21 de agosto de 2018.

DENOMINACIÓN	FECHA	COORDENADAS ENUSA (Locales) I N I C I A L E S			FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	DIFERENCIA DE COTA (mm)		OBSERVACIONES
		X	Y	Z (Niveladas)								CON ANTERIOR	AL ORIGEN	
HITO ERA QUERCUS	21/05/2018	5.365,003	5.949,425	681,788										Hito de control
PA-1	16/05/2018	5.272,610	5.890,657	682,594										Módulo A: Varilla de asiento sobre la 1ª tongada
PA-2	15/05/2018	5.272,616	5.883,757	681,835										Módulo A: Varilla de asiento sobre la base
PA1-S	23/05/2018	5.272,515	5.890,587	684,584	684,584	684,584	684,584	684,584	684,584	684,584	684,584	0	0	Módulo A: Varilla de asiento sobre la base
PA2-S	"	5.272,638	5.883,951	684,830	684,830	684,830	684,830	684,830	684,830	684,830	684,830	0	0	Módulo A: Varilla de asiento sobre la 1ª tongada
PLA-1	"	5.272,491	5.889,577	684,194	684,194	684,194	684,194	684,193	684,193	684,192	684,192	-1	-2	Módulo A: Hito en superficie
PLA-2	"	5.272,626	5.884,906	684,221	684,221	684,221	684,221	684,221	684,220	684,219	684,218	-1	-3	Módulo A: Hito en superficie



En la siguiente figura se proyectan las mediciones a lo largo del tiempo:

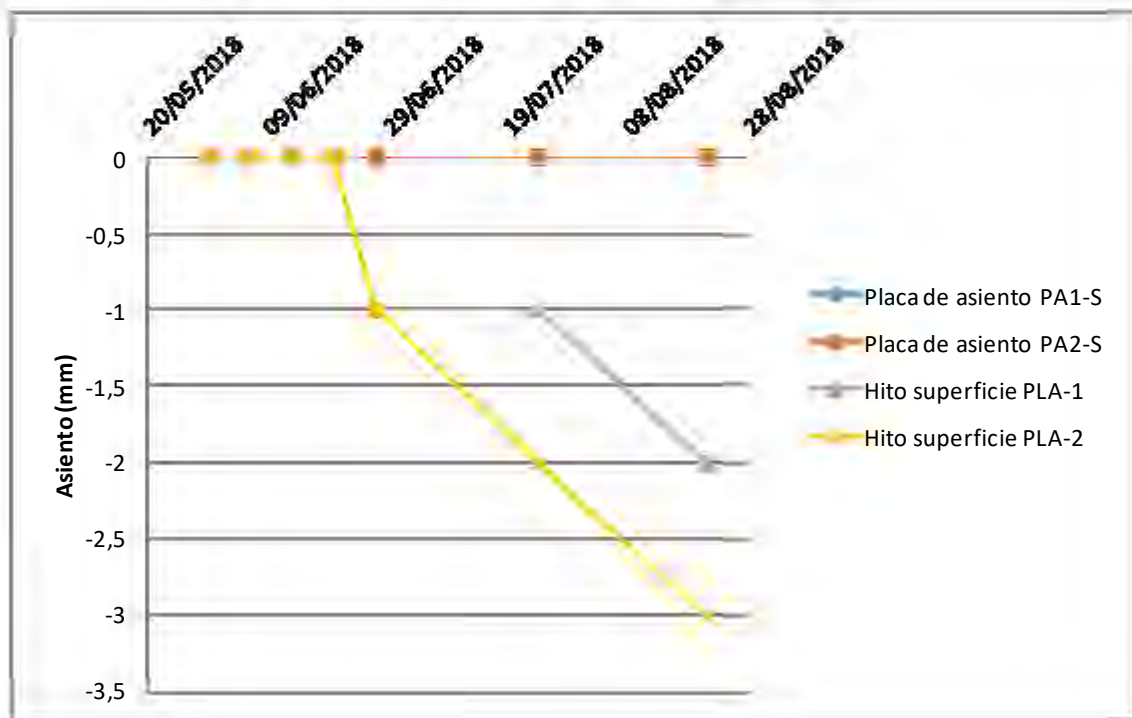


Figura 10. Asientos registrados en el terraplén A hasta el 21 de agosto de 2018.

A partir de estas mediciones puede decirse que las placas de asiento no han registrado asiento del terraplén de prueba construido y en los hitos topográficos colocados en la superficie del terraplén se han registrado asientos de 2 y 3 mm. Estos últimos asientos son catalogados de muy bajos, si bien es probable que parte de ellos se deban en un primer momento al reajuste del hito y/o a error de medición completamente asumible al equipo de medida empleado².

² Las características del nivel empleado por personal de Enusa son las siguientes: Incertidumbre de 0,25 mm a 100 metros y precisión $\pm 0,7$ mm.



Se recomienda mantener la pauta de medición topográfica mensual al menos un año, para estudiar el comportamiento del terraplén en épocas de precipitaciones y cambios estacionales. En este sentido se podría simular cómo se comportaría el futuro terraplén en caso de que se vea afectado por la entrada de agua de precipitación.

7.3 - Terraplén de prueba B.

7.3.1 - Ensayos de laboratorio

En caso del terraplén de prueba B, no se ha realizado una batería de ensayos de laboratorio como en el caso del terraplén de prueba A, ya que estos materiales han confeccionado un terraplén tipo “sándwich” sin posibilidad de mezcla entre ellos mismos. En el informe geotécnico de estabilidad de la Era Quercus aparece una caracterización geotécnica pormenorizada de cada material.

Únicamente se han tomado una muestra inalterada del material de torta de la 2ª tongada en la calicata C-2. En esta muestra se han realizado ensayos para determinar el estado de dicho material (humedad y densidad).

La humedad obtenida en la muestra fue del 127 %, indicativo de que la muestra se encuentra totalmente saturada.

La densidad seca obtenida en la misma muestra fue de $0,35 \text{ t/m}^3$. Este valor de peso específico es extremadamente bajo y es muy probable que la compactación no haya llegado a ser efectiva en esta capa, lo cual no es raro de esperar (alto contenido en humedad y baja densidad).



7.3.2 - Determinación de la humedad y densidad “in situ”

El objetivo de este ensayo fue el mismo que en el terraplén A, es decir, una vez finalizada la compactación de cada tongada, proceder a tomar la humedad y densidad “in situ” mediante Troxler. Esto sólo se consiguió en la primera y segunda tongada, ya que en la tercera tongada no se disponía de equipo de medición. Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 17. Resumen de los ensayos de humedad y densidad “in situ” tomados en el terraplén B.

Ensayo	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Humedad natural (%)	Densidad seca (t/m ³)	Densidad aparente (t/m ³)	Material
PD-10	Terraplén B. 1ª tongada	X= 5290,785 Y= 5900,868 Z= 682,618	7,2	1,90	2,04	Min. agotado
PD-11	Terraplén B. 1ª tongada	X= 5292,788 Y= 5885,279 Z= 682,369	7,6	1,94	2,09	Min. Agotado
PD-12	Terraplén B. 1ª tongada	X= 5290,847 Y= 5875,046 Z= 682,114	8,3	1,92	2,08	Min. Agotado
PD-20	Terraplén B. 2ª tongada	X= 5294,621 Y= 5898,793 Z= 683,484	7,9	1,94	2,10	Min. Agotado
PD-21	Terraplén B. 2ª tongada	X= 5292,788 Y= 5885,279 Z= 683,298	7,2	1,92	2,06	Min. Agotado
PD-22	Terraplén B. 2ª tongada	X= 5293,369 Y= 5890,075 Z= 683,415	7,5	1,93	2,08	Min. Agotado



*Nota: No se determina la humedad y densidad “in situ” de la 3ª tongada al no tener a disposición el equipo.

Al tener el vástago de medición del equipo troxler una profundidad de penetración entre 20 y 30 cm y las últimas capas dispuestas por encima de la capa de torta superiores a 30 cm (en la segunda tongada se alcanzó los 90 cm en su conjunto), todos los valores obtenidos son propios del mineral agotado.

Los valores de humedad estuvieron comprendidos entre 7,2 y 8,3 %, siendo el valor medio de 7,6 %.

Los valores de densidad seca variaron entre 1,90 y 1,94 t/m³, con una media de 1,92 t/m³.

Los anteriores valores (humedad y densidad) se han alcanzado con dos pasadas de rodillo vibratorio.

7.3.3 - Análisis de la deformabilidad. Placa de carga vertical.

La deformabilidad del terraplén se ha ido midiendo por cada tongada completada en tres puntos de la superficie del terraplén. En la 3ª tongada finalizada no se pudieron determinar los valores de deformabilidad al no tener a disposición el equipo de medida. Los valores obtenidos en cada ensayo han sido los siguientes:

Tabla 18. Resultados de ensayos de placa de carga dinámica.

Placa dinámica	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Espesor tongada completa (m)	Ev _d (MPa)	Ev ₂ (MPa)
PD-4	Terraplén B.	X= 5290,785 Y= 5900,868 Z= 682,077	Superficie refinada mineral agotado	22,06	46
PD-5	Terraplén B	X= 5292,788 Y= 5885,279 Z= 681,859	Superficie refinada mineral agotado	13,41	27



Placa dinámica	Situación	Coordenadas UTM (Locales Enusa)	Espesor tongada completa (m)	Ev _d (MPa)	Ev ₂ (MPa)
PD-6	Terraplén B	X= 5290,847 Y= 5875,046 Z= 681,654	Superficie refinada mineral agotado	36,06	77
PD-10	Terraplén B.	X= 5290,785 Y= 5900,868 Z= 682,618	1º Tongada.30 cm de Torta + 50 Min. Agotado (2	21,21	44
PD-11	Terraplén B	X= 5292,788 Y= 5885,279 Z= 682,369	1º Tongada.30 cm de Torta + 50 Min. Agotado (2	25,28	53
PD-12	Terraplén B	X= 5290,847 Y= 5875,046 Z= 682,114	1º Tongada.30 cm de Torta + 50 Min. Agotado (2	25,83	54
PD-20	Terraplén B.	X= 5294,621 Y= 5898,793 Z= 683,484	2º Tongada.35 cm de Torta + 90 Min. Agotado (2	12,84	26
PD-21	Terraplén B	X= 5292,788 Y= 5885,279 Z= 683,298	2º Tongada.35 cm de Torta + 90 Min. Agotado (2	18,47	38
PD-22	Terraplén B	X= 5293,369 Y= 5890,075 Z= 683,415	2º Tongada.35 cm de Torta + 90 Min. Agotado (2	21,15	44

*Nota: No se pudo ensayar la 3ª tongada del terraplén B, al no disponer del equipo.

Los valores Ev₂ obtenidos en la superficie refinada de mineral agotado variaron entre 27 y 77 MPa, siendo el valor promedio de 50 MPa.

Los valores Ev₂ obtenidos en las tongadas 1ª y 2ª estuvieron comprendidos entre 26 y 54 MPa, siendo la media de 43 MPa. Este valor promedio es algo superior al obtenido en el caso del terraplén A (36 MPa) para tongadas completas, y se debe a que el espesor de mineral agotado es el doble y con ello se incrementa el número de pasadas de rodillo vibratorio (hasta 4 para completar la tongada).



7.3.4 - Análisis de asentamientos mediante métodos topográficos

Para el control de los asentamientos el terraplén B se ha instalado dos (2) placas de asiento a diferente cota y dos (2) hitos topográficos en la superficie del terraplén.

- Placas de asiento (colocación inicial-sin nivelar): PB-1 a la cota +682,837 sobre la 1ª tongada finalizada y PB-2 a la +681,879 en la superficie refinada del mineral agotado.
- Hitos topográficos (nivelados origen): PLB-1 a la cota +685,175 y PLB-2 a la cota +685,191.

Una vez finalizada la construcción del terraplén se procedió a la realización de la nivelación de cotas (cotas locales Enusa) al igual que en el terraplén A, teniendo como punto de partida el Hito Era Quercus a la +681,788. La cadencia de lecturas fue coetánea a la del terraplén A, es decir, se tomaron en el mismo día. En la siguiente tabla se recogen todas las lecturas efectuadas en el terraplén de prueba A:

TITULO: ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA “QUERCUS” EN SAÉLICES EL CHICO (SALAMANCA).

REF.:GT18023SA (SALAMANCA)



Tabla 19. Medidas topográficas tomadas en el terraplén de prueba B hasta el 21 de agosto de 2018.

DENOMINACIÓN	FECHA	COORDENADAS EN USA (Locales) INICIALES			FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	DIFERENCIA DE COTA (mm)		OBSERVACIONES
		X	Y	Z (Niveladas)								CON ANTERIOR	AL ORIGEN	
HITO ERA QUERCUS	21/05/2018	5.365,003	5.949,425	681,788										Hito de control
PB-1	16/05/2018	5.291,155	5.892,157	682,837										Módulo B: Varilla de asiento sobre la 1ª tongada
PB-2	15/05/2018	5.291,160	5.885,257	681,879										Módulo B: Varilla de asiento sobre la base
PB1-S	"	5.291,087	5.892,051	685,823	685,822	685,823	685,822	685,822	685,822	685,821	685,821	0	-2	Módulo B: Varilla de asiento sobre la 1ª tongada
PB2-S	"	5.290,894	5.885,209	685,841	685,841	685,841	685,841	685,840	685,840	685,840	685,839	-1	-2	Módulo B: Varilla de asiento sobre la base
PLB-1	"	5.291,088	5.891,044	685,175	685,175	685,175	685,174	685,174	685,174	685,172	685,171	-1	-4	Módulo B: Hito en superficie
PLB-2	"	5.290,967	5.886,241	685,191	685,191	685,191	685,190	685,190	685,190	685,189	685,188	-1	-3	Módulo B: Hito en superficie



En la siguiente figura se proyectan las mediciones a lo largo del tiempo:

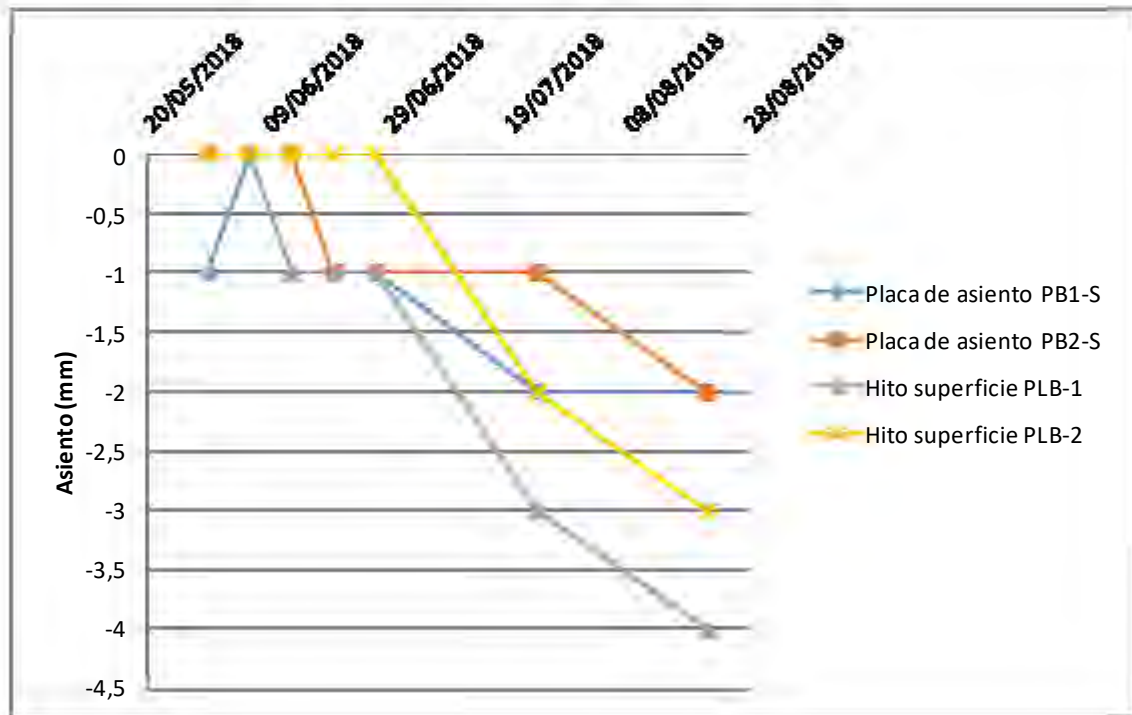


Figura 11. Asientos registrados en el terraplén B hasta el 21 de agosto de 2018.

En el registro de las lecturas topográficas en el terraplén B se ha medido que las placas de asiento, ambas, han asentado 2 mm. En los hitos topográficos se han obtenido lecturas de asiento de 3 y 4 mm. A fecha de hoy son valores de magnitud muy bajos, no obstante son indicativos que el cimiento del terraplén está asentando (PB2-S) por el propio peso del terraplén y que además se está produciendo un asiento propio del cuerpo del terraplén del orden de 2 mm.

Hasta el momento los valores obtenidos no clarifican el comportamiento y evolución del terraplén, pero sí son un indicio para tomarlos como referencia para futuras medidas.



7.4 - Idoneidad de los terraplenes de prueba contruidos.

A tenor de los resultados obtenidos, del diseño establecido y procedimiento constructivo en obra para ambos terraplenes, se debe definir qué tipo de terraplén de prueba resulta más adecuado desde el punto de vista de:

- Puesta en obra de los materiales. Movimiento de tierras.
- Fenómenos de colapso y disolución de sales.
- Grado de compactación de los materiales. Mezcla y sándwich.
- Control de grado de humedad y densidad de los materiales.
- Deformabilidad de la estructura de tierras (deformabilidad parcial como total-asientos).

Como resulta obvio, en el caso de la construcción del terraplén B, se tiene que movilizar un mayor volumen de mineral agotado (Solución sandwich 2:1 en condiciones originales) junto con las implicaciones radiológicas que ello tuviera que conllevar. Sin embargo, en el terraplén A se movilizará un menor volumen de mineral agotado (Solución mezcla 1:1 en condiciones originales), lo que supondría un menor plazo de ejecución y coste económico, así como una reducción del riesgo radiológico.

Ambos terraplenes presentan posibilidad de colapso debido a las propias características geotécnicas del material de torta. Además, el elevado contenido de sales solubles-yesos no hace descartable contemplar procesos de disolución al entrar en contacto con un fluido acuoso. Cabe destacar que, una vez estabilizados los materiales mediante la distribución en alternancia de capas, está previsto el sellado del conjunto de de la Era de lixiviación estática, lo que evitará el contacto de los materiales con las aguas pluviales.

Para el control del grado de compactación de los materiales, se ha comprobado mayor eficiencia en la disposición del vertido y compactación de capas de espesores de entre 25 y 30 cm, tanto para torta como para mineral agotado. Esto se puede



comprobar en las determinaciones de humedades y densidades “in situ” y en los ensayos de deformabilidad. Este rasgo es válido para ambos terraplenes de prueba.

El terraplén B al ser diseñado mediante una estructura “sándwich” no sería preciso emplear el ripper para el mezclado. Este sería aspecto más ventajoso en referencia al terraplén A, en cuanto al empleo de maquinaria y tiempos de ejecución.

El control del grado humedad y densidad en obra se ejerce con mayor facilidad en el caso del terraplén A ya que supone una mezcla de materiales (mineral agotado y torta) en proporción 1:1. Además en esta mezcla, el material limoso contenido en el mineral agotado tiende a captar humedad de la torta, aspecto fundamental para conseguir disipar humedad de la torta en condiciones naturales (máxima superficie de contacto entre granos de diferentes materiales). En el caso del terraplén B, la humedad de la torta tan sólo se logra disipar en muy pequeña proporción durante el la etapa del extendido, y además, la humedad se podría transferir en hacia el mineral agotado solo en la zona de contacto, reduciendo así el contacto específico entre los granos del mineral agotado y torta.

Si comparamos los valores de asiento hasta la última medida efectuada (21 de agosto de 2018), aunque la diferencia de altura entre los terraplenes es de 1 m, se están registrando valores de asiento relativamente más altos en el terraplén B que en el A. Además las placas de asiento instaladas en el terraplén A no han sufrido asiento de momento, sin embargo las colocadas en el terraplén B han registrado asientos de 2 mm.

Evaluando los valores de asiento de ambos terraplenes hasta la última fecha, estos se pueden considerar de muy poco significativos.

Si se tienen en cuenta todos los aspectos anteriormente comentados, resulta evidente que entre ambas soluciones, la que mejor comportamiento tenso-deformacional está aportando y mejor modelo constructivo contempla, sería el terraplén de prueba A.



7.5 - Recomendaciones constructivas.

Partiendo de las labores constructivas que se han llevado a cabo en ambos terraplenes, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- El espesor de las capas que formarán la llamada tongada tipo (torta más mineral agotado) serán entre 25 - 30 cm. Para garantizar estos espesores se podrá emplear medición topográfica.
- Siempre que sea posible, se recomienda un vertido y extendido de los materiales de torta en una mayor ocupación superficial que el material de mineral agotado. De esta manera a medida que se van extendiendo bandas de mineral agotado se aprovecharía el tiempo en la aireación/oreo de la torta para reducir los puntos de humedad. Este aspecto se ha podido comprobar en un sobre ancho situado al norte del terraplén A.



Fotografía 24 Aspecto de desecación parcial del material de torta en 24 h. Zona norte del terraplén A donde se ejecuto el ensayo de placa de carga PD-13.

- Para llegar a una mezcla aceptable de materiales de torta y mineral agotado el ripper deberá profundizar al menos 50 cm. El número mínimo de pasadas por banda será no inferior a seis.



- En la compactación se utilizarán rodillos vibratorios, puesto que se transitará siempre por la capa de mineral agotado de 25-30 cm de espesor. El peso estático del rodillo no deberá ser inferior a diez toneladas (10 t) y el número de pasadas por banda no será inferior a cuatro.
- Después de la terminación de cada tongada se procederá a la realización de ensayos de placa de carga vertical para dar conformidad del acabado en función de los valores de deformabilidad. Se deberá establecer un valor mínimo de modulo de compresibilidad de segundo ciclo (Ev_2) que nunca será inferior a 30 MPa.
- Para el control y seguimiento de las deformaciones de la futura remodelación de la Era Quercus, se recomienda instalar una red de inclinómetros, placas de asiento e hitos topográficos.

7.6 - Patologías observadas en los terraplenes de prueba.

De acuerdo con las observaciones llevadas a cabo por personal de Enusa durante los días de la toma de lecturas topográficas, únicamente se ha observado un desprendimiento muy superficial de materiales en el talud oeste del terraplén de prueba B, casi en la coronación de la última tongada. Este desprendimiento se registró el día 26 de julio de 2018. En la siguiente fotografía se puede observar dicha patología:



Fotografía 25. Desprendimiento longitudinal de tierras afectando al terraplén B (26-07-2018).



Se debe recordar que la pendiente que mantiene ese talud (3H:2V aproximadamente), la cual no llegará a tenerla en la remodelación de la futura Era Quercus, si bien para el diseño final de la Era será de aplicación la normativa vigente (NUREG-1620 rev. 1), en la que se construirá un talud con pendiente del 20 % (talud tipo 5H:1V similar a la rampa de acceso al terraplén B) hasta los 3-4 m superiores de coronación, a partir de aquí la pendiente se reducirá a un 5 %, taludes similares a los empleados en las eras Elefante remodeladas y las escombreras mineras restauradas, aprobados, en su momento, por los organismos correspondientes (Consejo de Seguridad Nuclear, principalmente).

Se recomienda que a medida que se vayan tomando medidas topográficas se realicen inspecciones visuales que registren cualquier tipo de patología que afecte a uno o ambos terraplenes.



Las conclusiones y recomendaciones emitidas en este informe son válidas para la obra descrita, en los puntos investigados y en la fecha de ejecución. Toda variación importante en localización o proyecto, así como cualquier anomalía del terreno que se detecte y no haya sido prevista deberá sernos comunicada.

No obstante lo aquí expuesto, corresponde a la Dirección de Obra el tomar las medidas que estime oportunas en cada momento.

Del presente informe, que consta de setenta y dos (72) páginas numeradas y seis (6) apéndices, no se facilitará información a terceros, salvo autorización expresa del petitionerio, considerándose estos trabajos de carácter particular y confidencial.

En Salamanca, agosto de 2018.

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is cursive and appears to read 'Álvaro Rodríguez Zapata'.

Fdo.: Álvaro Rodríguez Zapata
Geólogo colegiado nº 6.875
Máster Mecánica del Suelo. CEDEX



GEOESTUDIOS ZAPATA

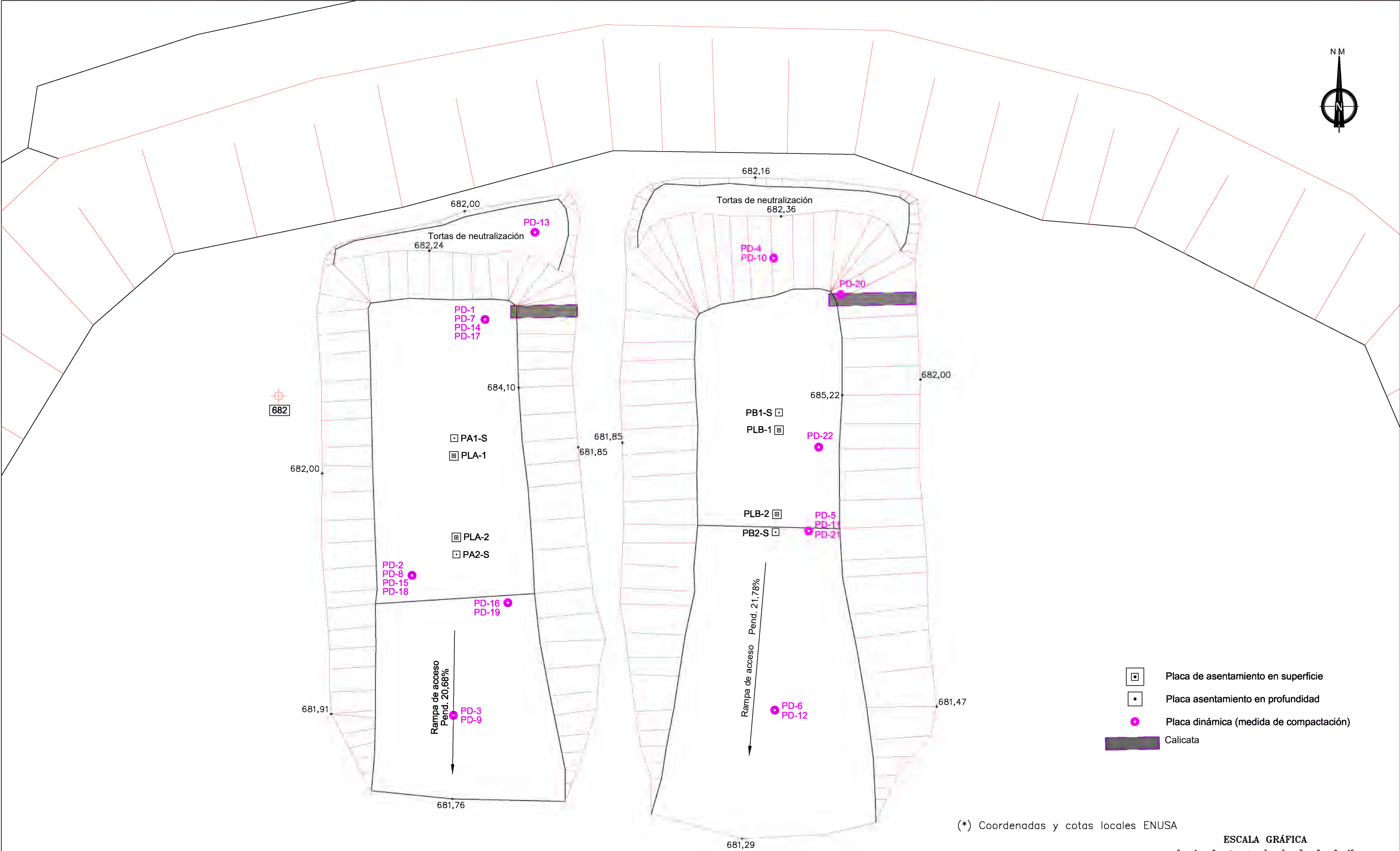
GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A.,
S.M.E.

**ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA
PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE
LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN
SAELICES EL CHICO (SALAMANCA).**

SALAMANCA

**APÉNDICE I: PLANO DE SITUACIÓN DE LOS
TERRAPLES DE PRUEBA FACILITADO POR ENUSA.**



TERRAPLÉN DE PRUEBA - A

COMPOSICIÓN TEÓRICA POR TONGADA:

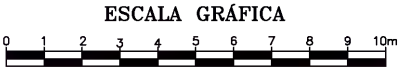
Tortas de Neutralización: 30 cm
Mineral agotado: 30 cm
Compactación

TERRAPLÉN DE PRUEBA - B

COMPOSICIÓN TEÓRICA POR TONGADA:

Tortas de Neutralización: 30 cm
Mineral agotado: 30 cm
Compactación
Mineral agotado: 30 cm
Compactación

(*) Coordenadas y cotas locales ENUSA



	PROYECTO DE DESMANTELAMIENTO DE LA PLANTA QUERCUS ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA TERRAPLÉN PARA PRUEBA DE COMPACTACIÓN			
	ESCALA: 1: 200	FECHA	NOMBRE	SUSTITUYE A:
		Dibujado	Mayo-2018	D. Pacheco
	OBSERVACIONES: _____	Levant. Topográfico		Of. Técnica
		Comp. Jefe Of. Técnica		O. García
		Comprobado		P. V. Rodríguez
		Director Facultativo		Ignacio J. Vecillas

TERR-PRUEBA.DWG
(05-18)



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A.,
S.M.E.

**ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA
PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE
LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN
SAELICES EL CHICO (SALAMANCA).**

SALAMANCA

**APÉNDICE II: REGISTRO DE LAS MEDICIONES
TOPOGRÁFICAS REALIZADAS POR ENUSA HASTA EL
21 DE AGOSTO DE 2018.**

ERA DE LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS"
TERRAPLÉN DE PRUEBA SOBRE MINERAL AGOTADO Y TORTAS DE NEUTRALIZACIÓN
PRUEBAS DE COMPACTACIÓN

DENOMINACIÓN	FECHA	COORDENADAS ENUSA (Locales)		INICIALES	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	DIFERENCIA DE COTA (mm)		OBSERVACIONES
		X	Y	Z (Niveladas)	30/05/2018	06/06/2018	13/06/2018	20/06/2018	27/06/2018	24/07/2018	21/08/2018	CON ANTERIOR	AL ORIGEN	
HITO ERA QUERCUS	21/05/2018	5.365,003	5.949,425	681,788										Hito de control
PA-1	16/05/2018	5.272,610	5.890,657	682,594										Módulo A: Varilla de asiento sobre la 1ª tongada
PA-2	15/05/2018	5.272,616	5.883,757	681,835										Módulo A: Varilla de asiento sobre la base
PB-1	16/05/2018	5.291,155	5.892,157	682,837										Módulo B: Varilla de asiento sobre la 1ª tongada
PB-2	15/05/2018	5.291,160	5.885,257	681,879										Módulo B: Varilla de asiento sobre la base
PA1-S	23/05/2018	5.272,515	5.890,587	684,584	684,584	684,584	684,584	684,584	684,584	684,584	684,584	0	0	Módulo A: Varilla de asiento sobre la base
PA2-S	"	5.272,638	5.883,951	684,830	684,830	684,830	684,830	684,830	684,830	684,830	684,830	0	0	Módulo A: Varilla de asiento sobre la base
PLA-1	"	5.272,491	5.889,577	684,194	684,194	684,194	684,194	684,194	684,193	684,193	684,192	-1	-2	Módulo A: Placa de asiento en superficie
PLA-2	"	5.272,626	5.884,906	684,221	684,221	684,221	684,221	684,221	684,220	684,219	684,218	-1	-3	Módulo A: Placa de asiento en superficie
PB1-S	"	5.291,087	5.892,051	685,823	685,822	685,823	685,822	685,822	685,822	685,821	685,821	0	-2	Módulo B: Varilla de asiento sobre la base
PB2-S	"	5.290,894	5.885,209	685,841	685,841	685,841	685,841	685,840	685,840	685,840	685,839	-1	-2	Módulo B: Varilla de asiento sobre la base
PLB-1	"	5.291,088	5.891,044	685,175	685,175	685,175	685,174	685,174	685,174	685,172	685,171	-1	-4	Módulo B: Placa de asiento en superficie
PLB-2	"	5.290,967	5.886,241	685,191	685,191	685,191	685,190	685,190	685,190	685,189	685,188	-1	-3	Módulo B: Placa de asiento en superficie



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A.,
S.M.E.

**ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA
PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE
LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN
SAELICES EL CHICO (SALAMANCA).**

SALAMANCA

**APÉNDICE III: REGISTRO DE LOS ENSAYOS DE
PLACA DINÁMICA DE CARGA VERTICAL.**



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	15.05.2018 12:24:32
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-01		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Required minimum quantil 25.00 MN/m²

no	Measuring time	Deflection [mm]				Evd	Remarks
		Single value			Av. value		
		s1	s2	s3	s		
10	15.05.2018 12:24:32	1.069	1.121	1.107	1.099	20.47 MN/m ²	PD-01 mineral agotado
11	15.05.2018 12:29:06	0.752	0.752	0.761	0.755	29.80 MN/m ²	PD-02 mineral agotado
12	15.05.2018 12:32:28	0.778	0.788	0.770	0.779	28.88 MN/m ²	PD-03 mineral agotado
13	15.05.2018 15:04:15	1.028	1.001	1.031	1.020	22.06 MN/m ²	PD-04 mineral agotado
14	15.05.2018 15:07:24	1.700	1.690	1.643	1.678	13.41 MN/m ²	PD-05 mineral agotado
15	15.05.2018 15:10:23	0.626	0.635	0.610	0.624	36.06 MN/m ²	PD-06 mineral agotado
16	16.05.2018 09:14:09	1.313	1.342	1.301	1.319	17.06 MN/m ²	PD-07 mineral agotado
17	16.05.2018 09:17:42	1.139	1.114	1.079	1.111	20.25 MN/m ²	PD-08 mineral agotado
18	16.05.2018 09:20:42	1.045	1.035	1.055	1.045	21.53 MN/m ²	PD-09 mineral agotado
19	16.05.2018 09:34:50	1.075	1.053	1.056	1.061	21.21 MN/m ²	PD-10 mineral agotado
20	16.05.2018 09:37:40	0.885	0.890	0.895	0.890	25.28 MN/m ²	PD-11 mineral agotado
21	16.05.2018 09:41:49	0.880	0.865	0.867	0.871	25.83 MN/m ²	PD-12 mineral agotado
22	16.05.2018 11:24:09	2.388	2.347	2.323	2.353	9.56 MN/m ²	PD-13 torta prueba
23	16.05.2018 13:20:13	1.128	1.138	1.119	1.128	19.95 MN/m ²	PD-14 mineral agotado
24	16.05.2018 13:24:26	0.875	0.850	0.834	0.853	26.38 MN/m ²	PD-15 mineral agotado
25	16.05.2018 13:28:02	1.017	1.018	1.003	1.013	22.21 MN/m ²	PD-16 mineral agotado
26	16.05.2018 18:29:12	1.665	1.715	1.666	1.682	13.38 MN/m ²	PD-17 mineral agotado
27	16.05.2018 18:33:05	1.317	1.379	1.357	1.351	16.65 MN/m ²	PD-18 mineral agotado
28	16.05.2018 18:36:47	3.512	3.427	3.507	3.482	6.46 MN/m ²	PD-19 mineral agotado
29	16.05.2018 18:51:03	1.695	1.770	1.792	1.752	12.84 MN/m ²	PD-20 mineral agotado
30	16.05.2018 18:54:43	1.192	1.226	1.237	1.218	18.47 MN/m ²	PD-21 mineral agotado
31	16.05.2018 18:57:47	1.075	1.059	1.057	1.064	21.15 MN/m ²	PD-22 mineral agotado

Arithmetic average of spot check Xm (Evd): 20.40 MN/m²

Standard deviation s (Evd): 6.90 MN/m²

Variation coefficient v (Evd): 33.81 %

Quality number -0.67

The test (Q>0,88) is not accepted



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

Manufacturer: Zorn Instruments

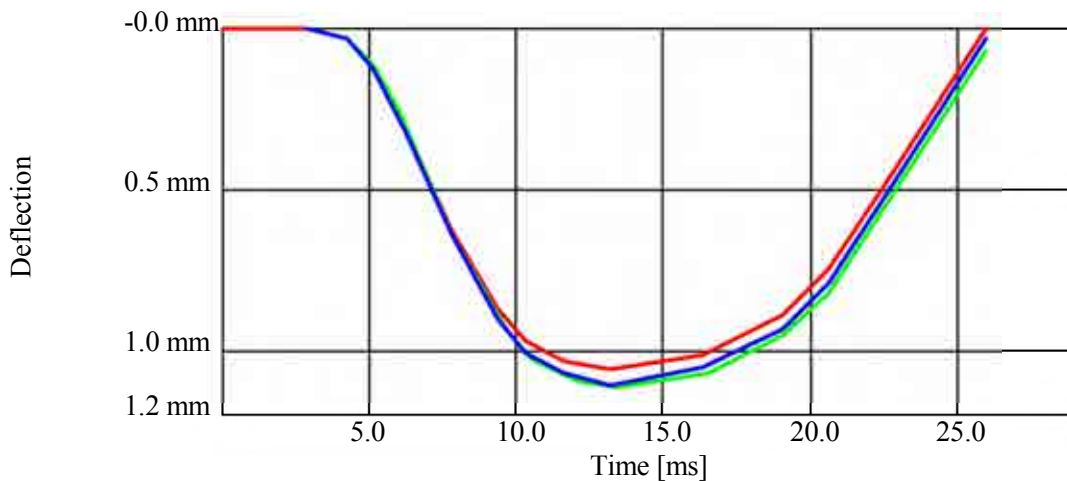
Client		Measuring time	15.05.2018 12:24:32
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	10
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-01		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	237.6	1.069
	2	242.9	1.121
	3	239.4	1.107
	Ø	240.0	1.099

s/v **4.579 ms**

Evd 20.47 MN/m²

Deflection graph



Remarks

PD-01 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

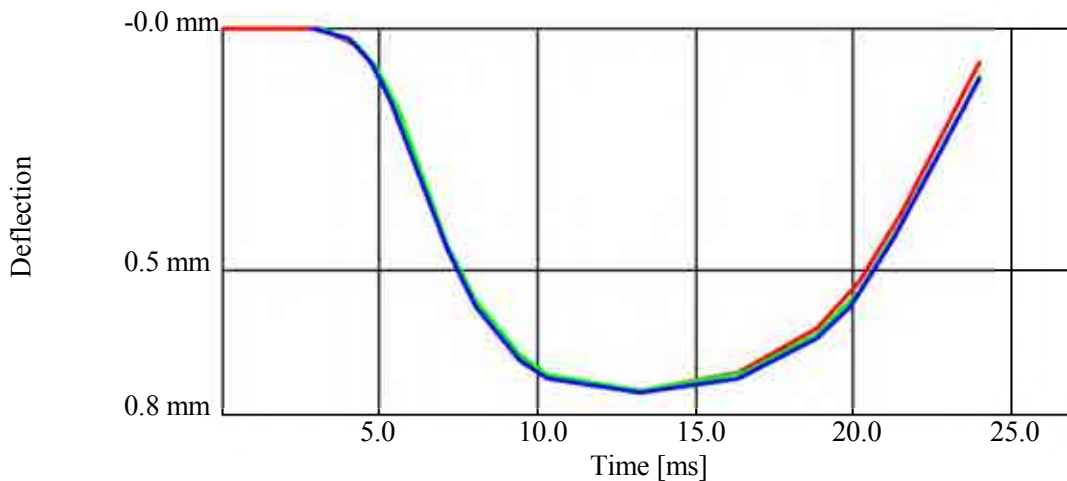
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	15.05.2018 12:29:06
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	11
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-02		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	206.9	0.752
	2	206.3	0.752
	3	207.3	0.761
	Ø	206.8	0.755

s/v 3.651 ms
Evd 29.80 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-02 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

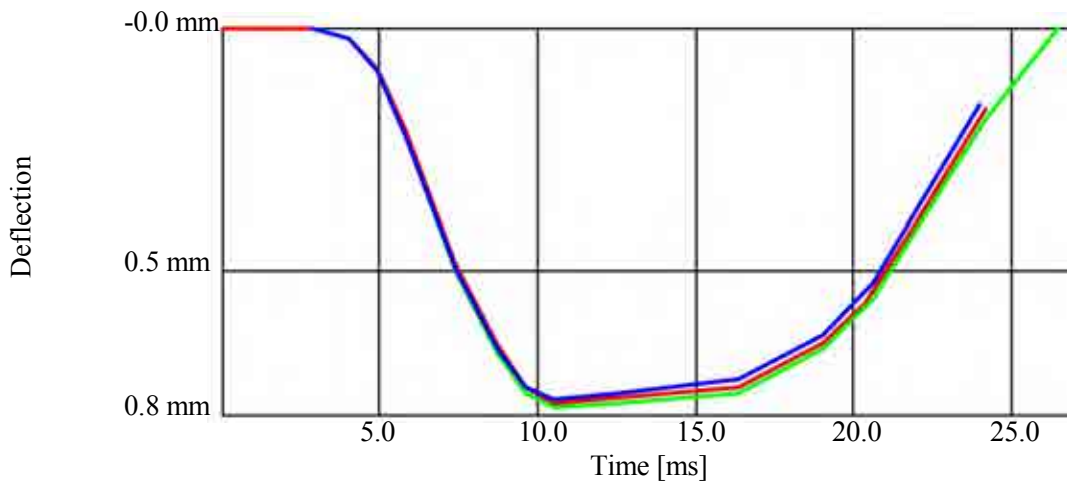
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	15.05.2018 12:32:28
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	12
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-03		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	207.6	0.778
	2	211.0	0.788
	3	208.0	0.770
	Ø	208.9	0.779

s/v 3.729 ms
Evd 28.88 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-03 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

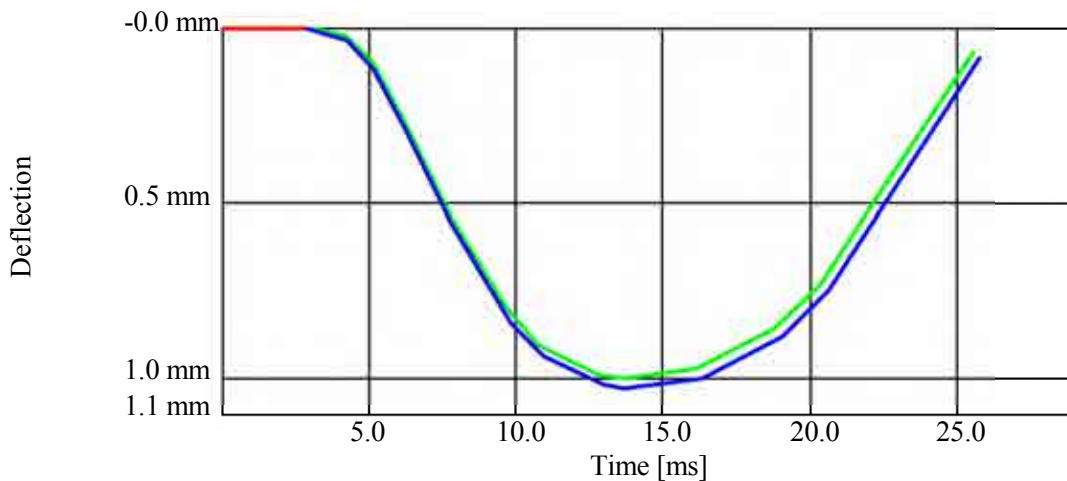
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	15.05.2018 15:04:15
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	13
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-04		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	Velocity		Deflection
	No.	v[mm/s]	s[mm]
	1	204.4	1.028
	2	200.6	1.001
	3	205.7	1.031
	Ø	203.6	1.020

s/v 5.010 ms
Evd 22.06 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-04 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

Manufacturer: Zorn Instruments

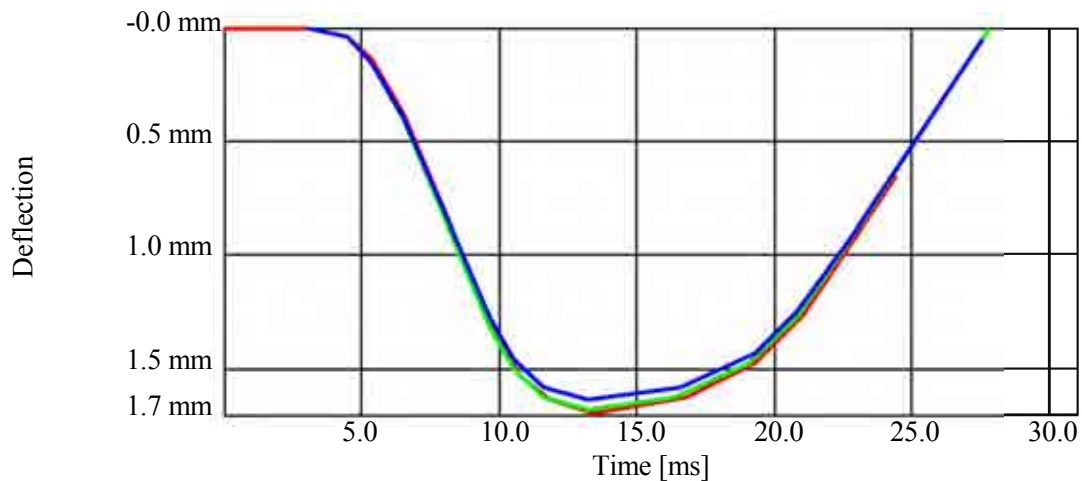
Client		Measuring time	15.05.2018 15:07:24
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	14
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-05		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	336.8	1.700
	2	335.8	1.690
	3	326.5	1.643
	Ø	333.0	1.678

s/v **5.039 ms**

Evd 13.41 MN/m²

Deflection graph



Remarks

PD-05 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

Manufacturer: Zorn Instruments

Client

Measuring time 15.05.2018 15:10:23

Device number 9209

Project

TERRAPLENES DE PRUEBA ERA
QUERQUS

Device type 300 mm/10 kg

Check number 15

Test depth

0,0

Card number 21117181200

Test

PD-06

Weather

SUNNY

Operator

ARZ

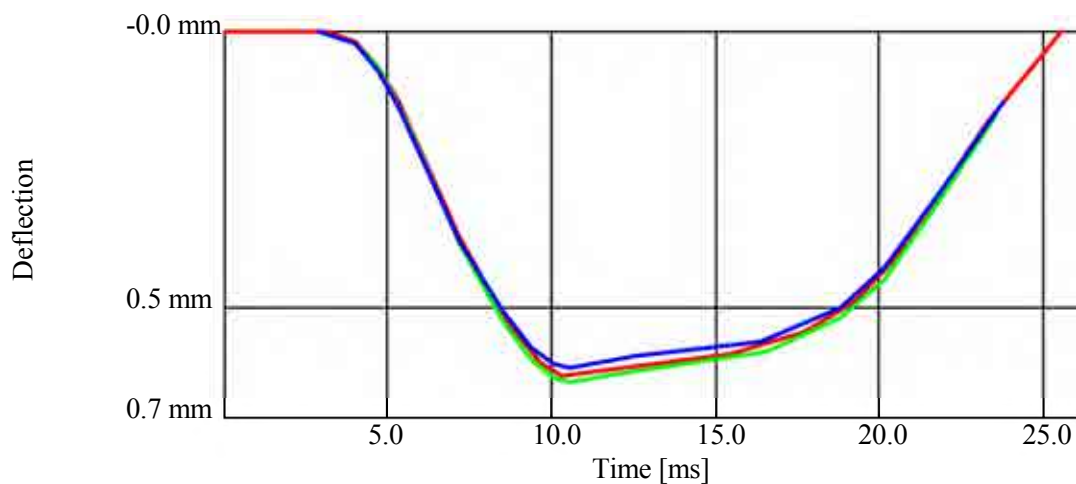
Result

No.	Velocity v[mm/s]	Deflection s[mm]
1	163.3	0.626
2	165.6	0.635
3	160.6	0.610
Ø	163.2	0.624

s/v 3.824 ms

Evd 36.06 MN/m²

Deflection graph



Remarks

PD-06 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

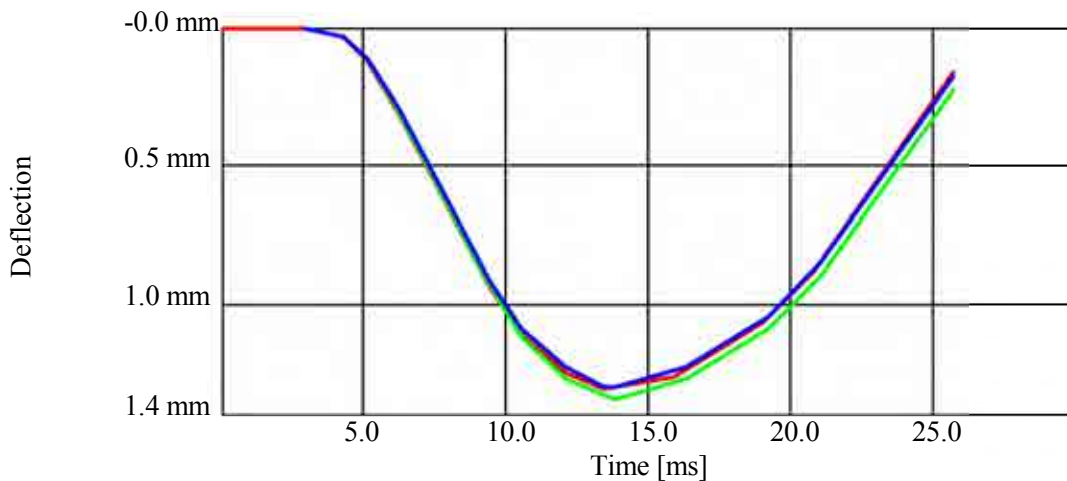
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	16.05.2018 09:14:09
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	16
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-07		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	233.7	1.313
	2	239.1	1.342
	3	231.9	1.301
	Ø	234.9	1.319

s/v **5.615 ms**
Evd 17.06 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-07 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

Manufacturer: Zorn Instruments

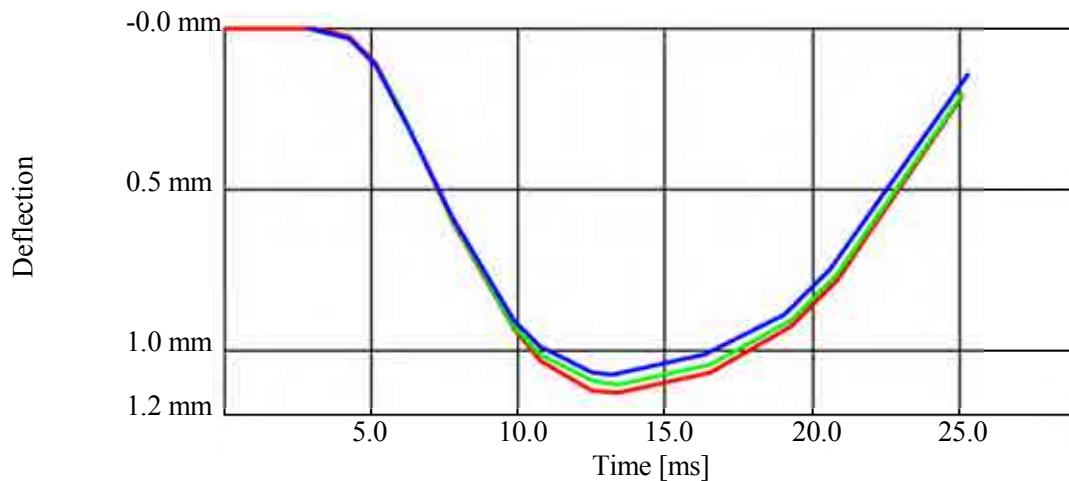
Client		Measuring time	16.05.2018 09:17:42
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	17
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-08		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	Velocity		Deflection
	No.	v[mm/s]	s[mm]
	1	229.4	1.139
	2	225.8	1.114
	3	220.5	1.079
	Ø	225.2	1.111

s/v **4.933 ms**

Evd 20.25 MN/m²

Deflection graph



Remarks

PD-08 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

Manufacturer: Zorn Instruments

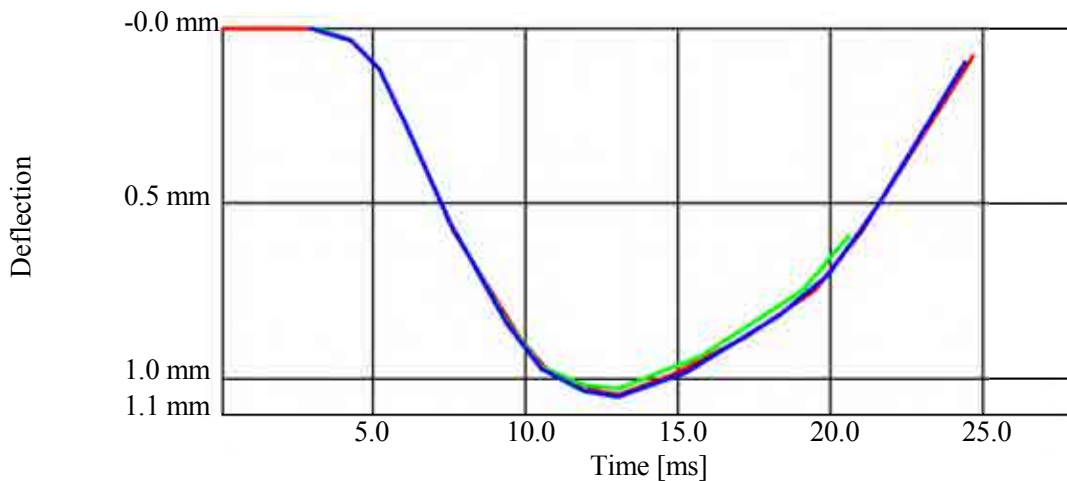
Client		Measuring time	16.05.2018 09:20:42
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	18
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-09		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	234.0	1.045
	2	234.0	1.035
	3	236.9	1.055
	Ø	235.0	1.045

s/v **4.447 ms**

Evd 21.53 MN/m²

Deflection graph



Remarks

PD-09 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

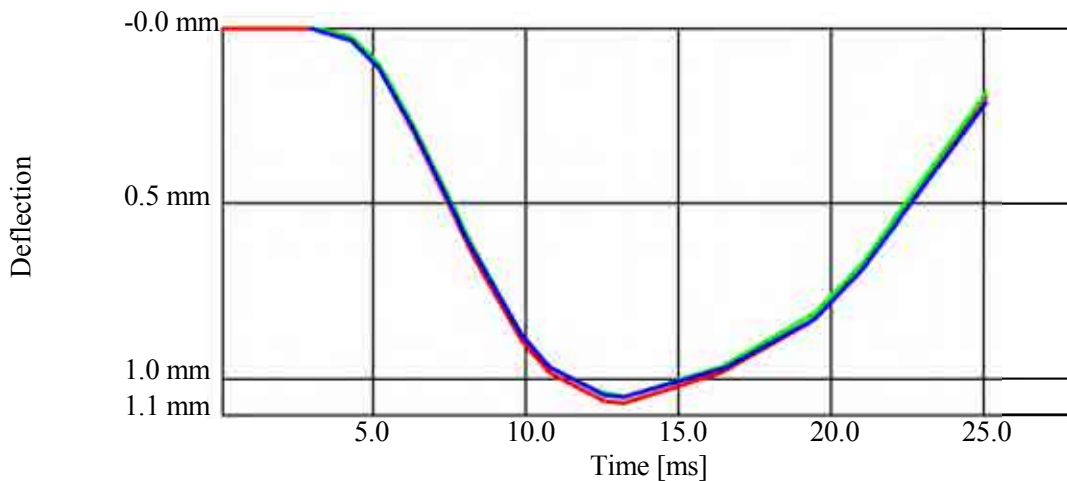
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	16.05.2018 09:34:50
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	19
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-10		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	209.0	1.075
	2	206.3	1.053
	3	206.6	1.056
	Ø	207.3	1.061

s/v 5.118 ms
Evd 21.21 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-10 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

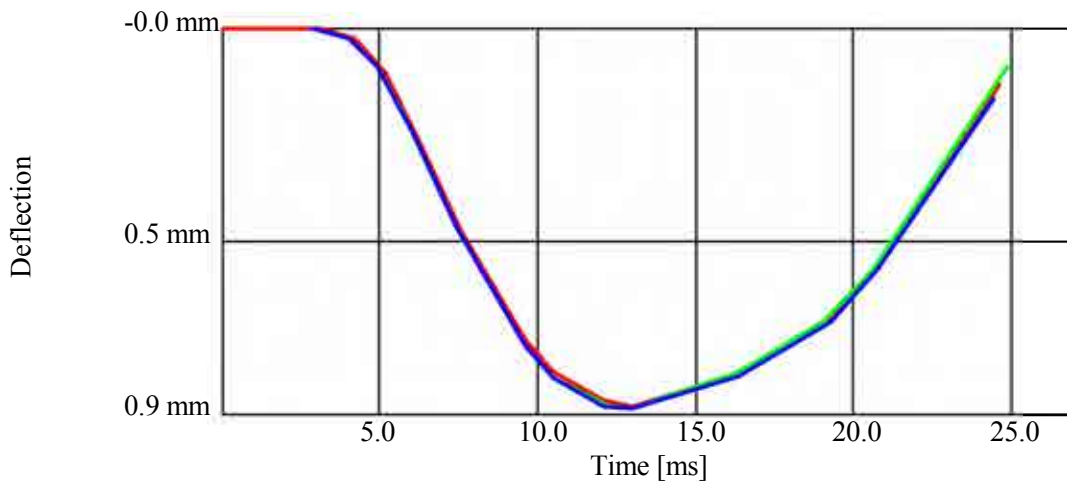
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	16.05.2018 09:37:40
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	20
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-11		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	184.8	0.885
	2	186.9	0.890
	3	186.8	0.895
	Ø	186.2	0.890

s/v 4.780 ms
Evd 25.28 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-11 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

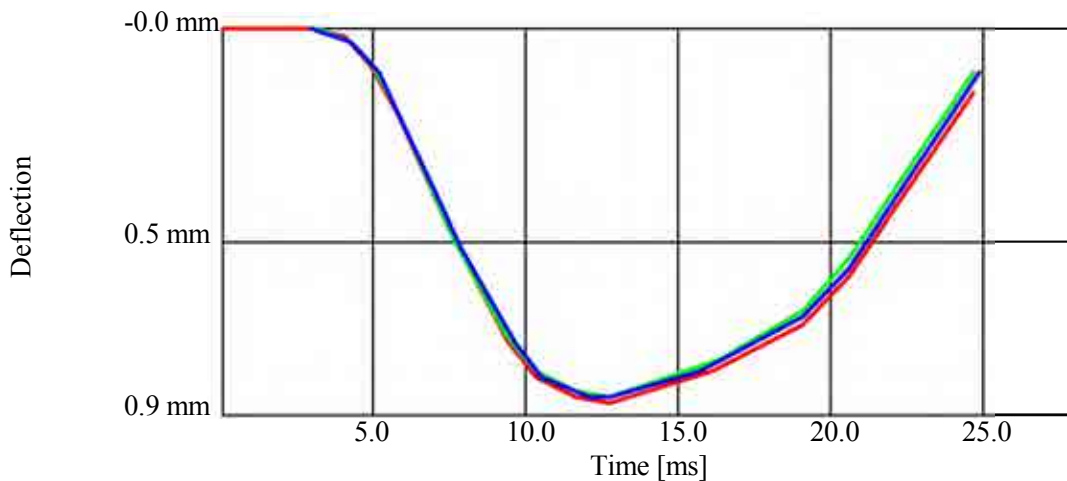
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	16.05.2018 09:41:49
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	21
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-12		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	189.9	0.880
	2	188.1	0.865
	3	186.7	0.867
	Ø	188.2	0.871

s/v **4.628 ms**
Evd 25.83 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-12 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

Manufacturer: Zorn Instruments

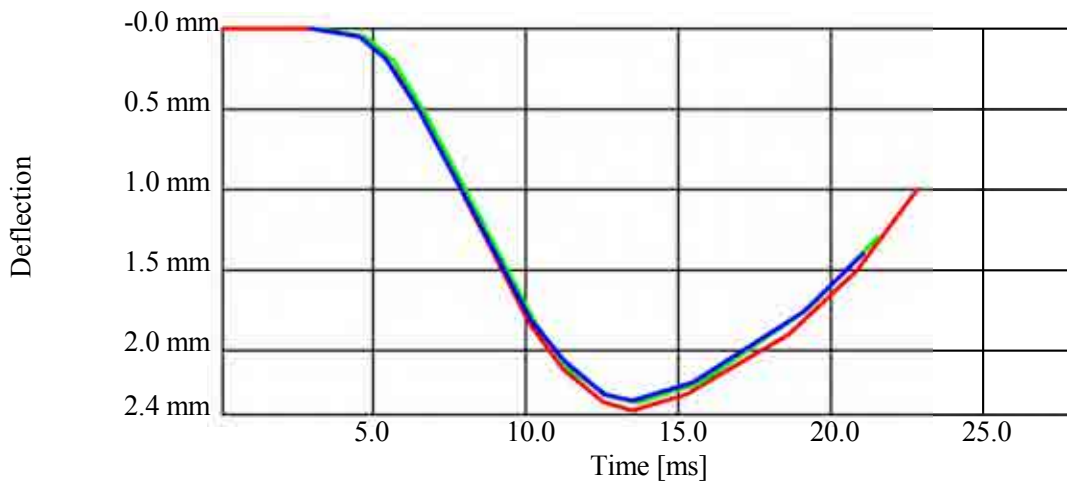
Client		Measuring time	16.05.2018 11:24:09
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	22
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-13		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	Velocity		Deflection
	No.	v[mm/s]	s[mm]
	1	431.8	2.388
	2	424.3	2.347
	3	410.6	2.323
	Ø	422.2	2.353

s/v **5.573 ms**

Evd 9.56 MN/m²

Deflection graph



Remarks

PD-13 torta prueba

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

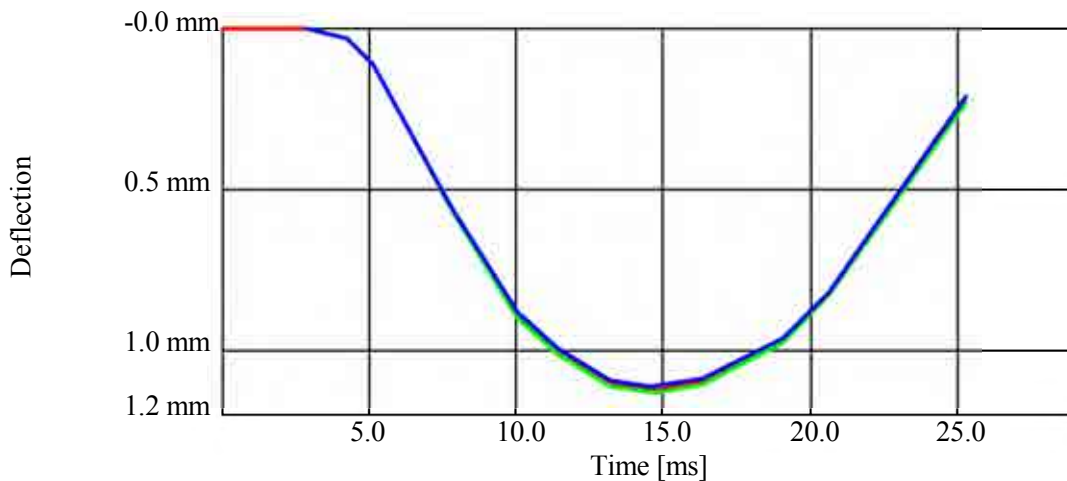
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	16.05.2018 13:20:13
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	23
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-14		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	205.7	1.128
	2	207.0	1.138
	3	204.3	1.119
	Ø	205.7	1.128

s/v **5.484 ms**
Evd 19.95 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-14 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

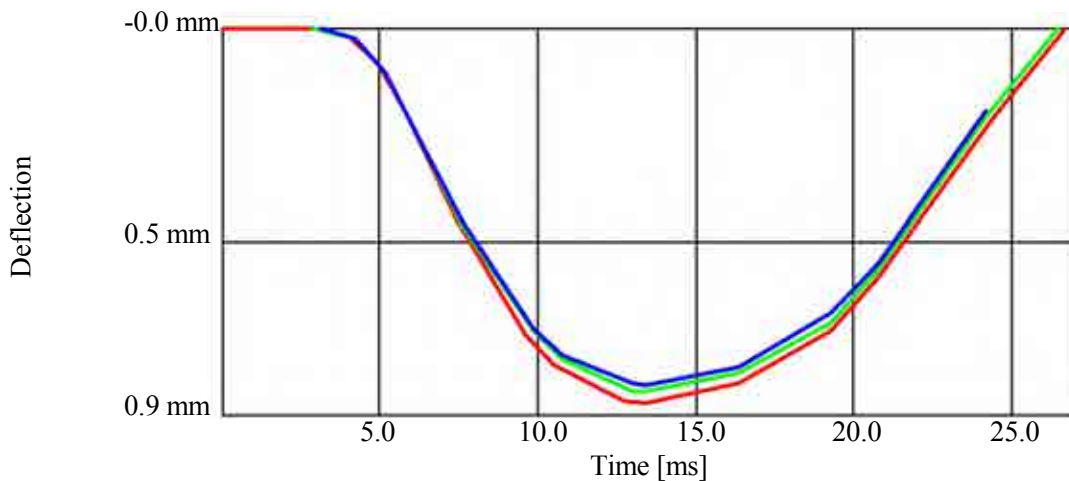
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	16.05.2018 13:24:26
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	24
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-15		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	185.7	0.875
	2	177.1	0.850
	3	173.4	0.834
	Ø	178.7	0.853

s/v **4.773 ms**
Evd 26.38 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-15 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

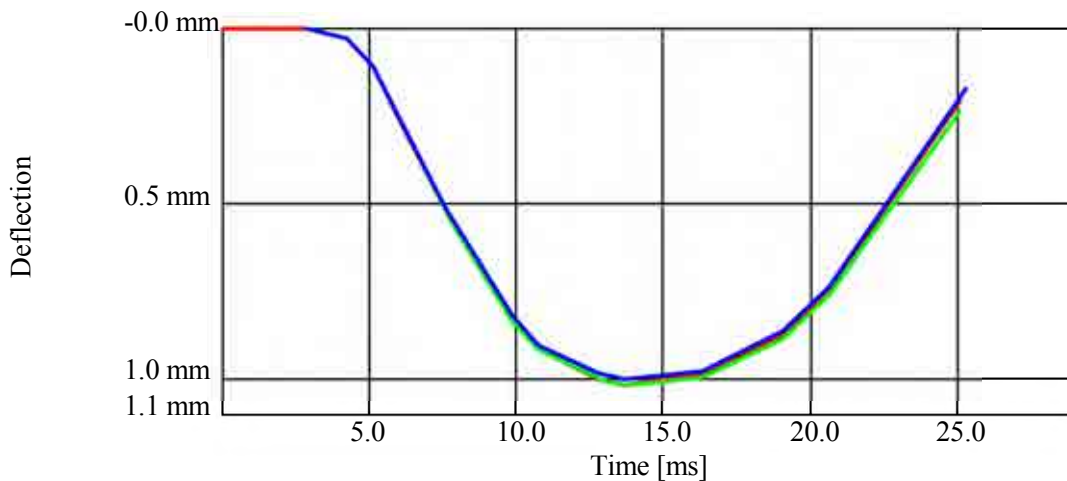
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	16.05.2018 13:28:02
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	25
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-16		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	202.4	1.017
	2	201.0	1.018
	3	200.7	1.003
	Ø	201.4	1.013

s/v **5.030 ms**
Evd 22.21 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-16 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

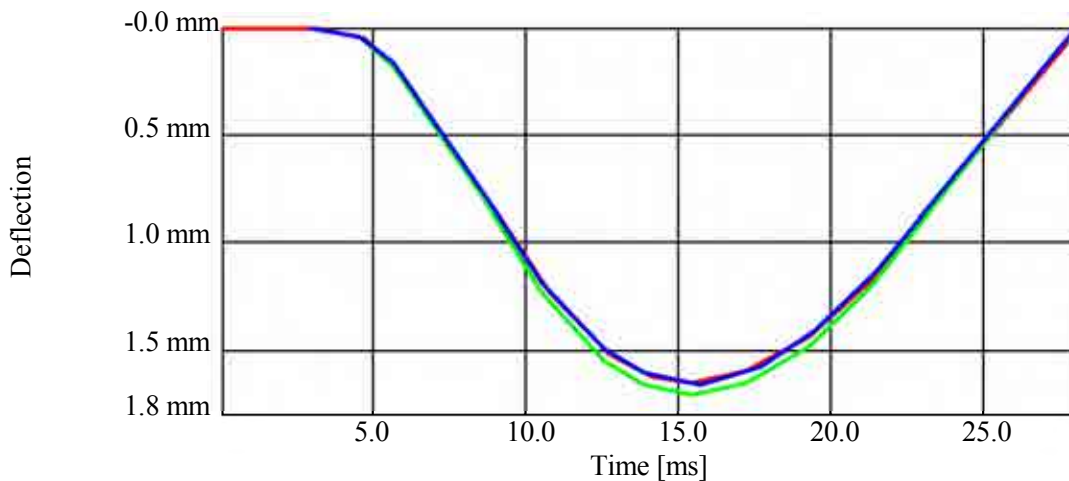
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	16.05.2018 18:29:12
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	26
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-17		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	259.0	1.665
	2	268.7	1.715
	3	258.1	1.666
	Ø	261.9	1.682

s/v **6.422 ms**
Evd 13.38 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-17 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

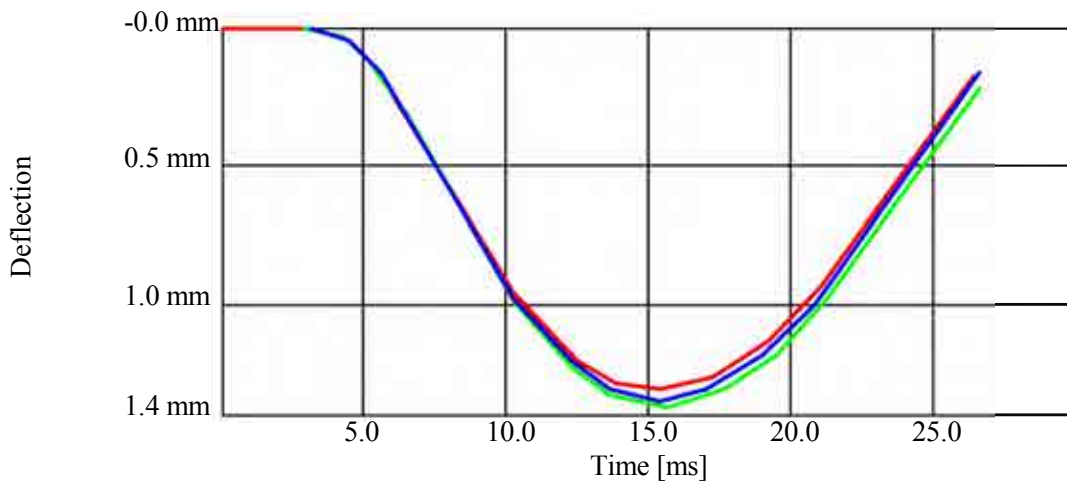
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	16.05.2018 18:33:05
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	27
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-18		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	201.3	1.317
	2	207.5	1.379
	3	205.7	1.357
	Ø	204.8	1.351

s/v 6.597 ms
Evd 16.65 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-18 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

Manufacturer: Zorn Instruments

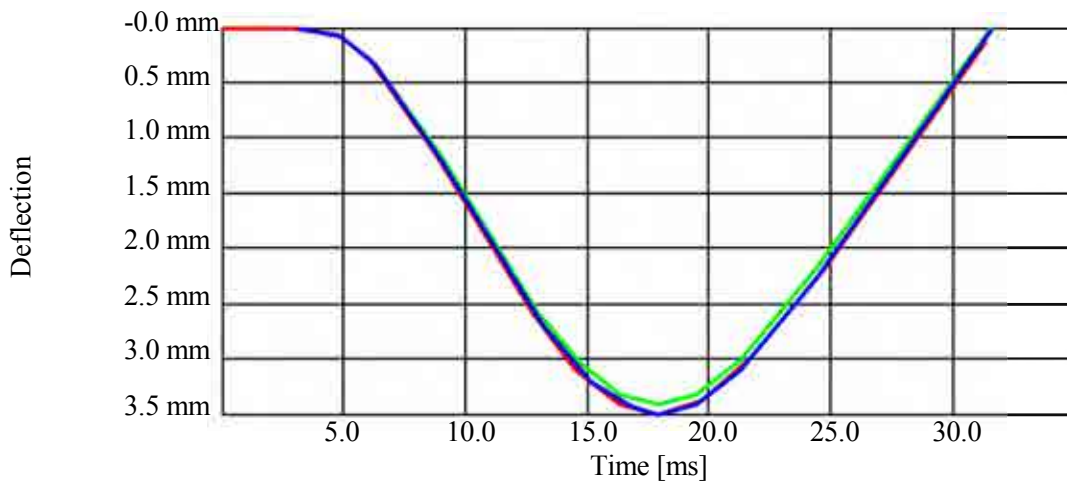
Client		Measuring time	16.05.2018 18:36:47
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	28
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-19		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	425.1	3.512
	2	416.7	3.427
	3	423.5	3.507
	Ø	421.8	3.482

s/v **8.255 ms**

Evd 6.46 MN/m²

Deflection graph



Remarks

PD-19 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

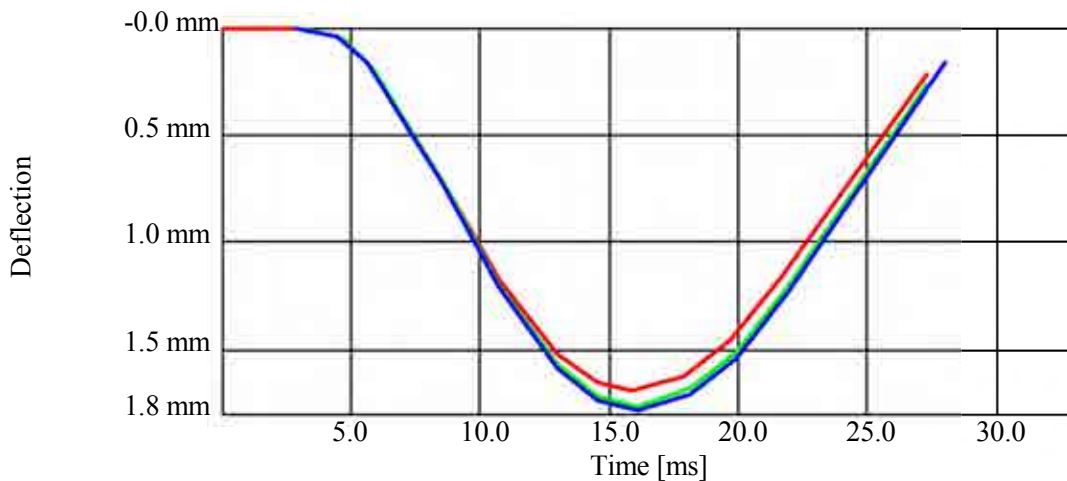
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	16.05.2018 18:51:03
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	29
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-20		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	Velocity		Deflection
	No.	v[mm/s]	s[mm]
	1	251.2	1.695
	2	260.6	1.770
	3	262.9	1.792
	Ø	258.2	1.752

s/v **6.785 ms**
Evd 12.84 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-20 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

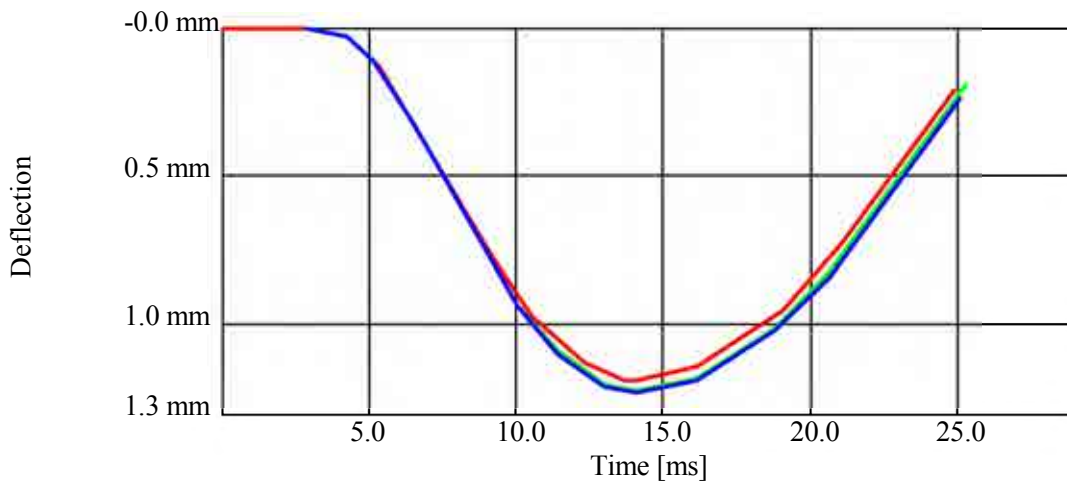
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	16.05.2018 18:54:43
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	30
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-21		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	196.7	1.192
	2	201.9	1.226
	3	203.1	1.237
	Ø	200.6	1.218

s/v 6.072 ms
Evd 18.47 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-21 mineral agotado

Signature



Dynamic load plate test

Determine of dynamic deformation modulus according TP BF-StB, part B8.3

Device: LWD ZFG 3.0

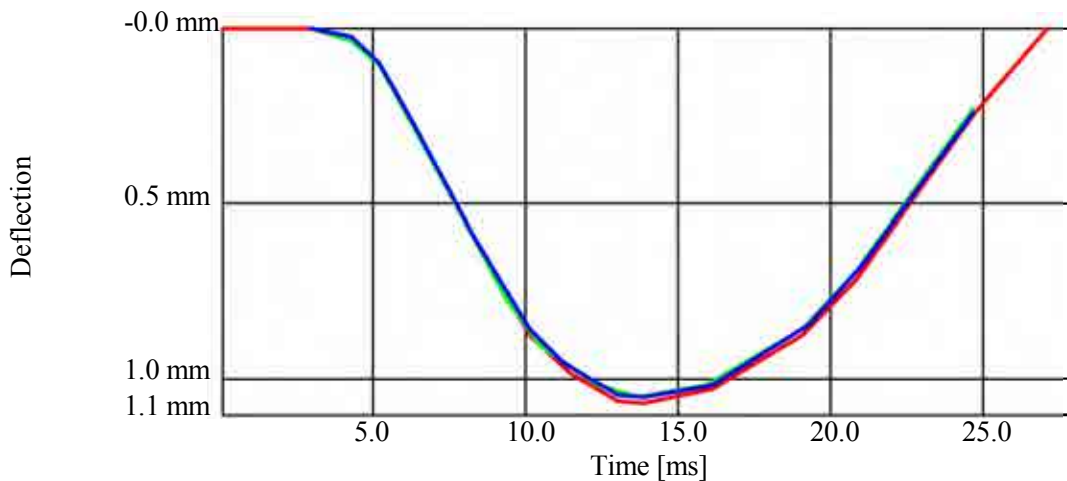
Manufacturer: Zorn Instruments

Client		Measuring time	16.05.2018 18:57:47
		Device number	9209
Project	TERRAPLENES DE PRUEBA ERA QUERQUS	Device type	300 mm/10 kg
		Check number	31
Test depth	0,0	Card number	21117181200
Test	PD-22		
Weather	SUNNY		
Operator	ARZ		

Result	No.	Velocity	Deflection
		v[mm/s]	s[mm]
	1	195.0	1.075
	2	192.7	1.059
	3	193.2	1.057
	Ø	193.6	1.064

s/v 5.496 ms
Evd 21.15 MN/m²

Deflection graph



Remarks
 PD-22 mineral agotado

Signature



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A.,
S.M.E.

**ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA
PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE
LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN
SAELICES EL CHICO (SALAMANCA).**

SALAMANCA

**APÉNDICE IV: REGISTRO DE LAS
DETERMINACIONES DE HUMEDAD Y DENSIDAD “IN
SITU” MEDIANTE MÉTODO NUCLEAR.**

LABORATORIO INSCRITO EN EL REGISTRO GENERAL DEL CTE COMO LECCE CON Nº CYL-L-001, PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS Y PRUEBAS INCLUIDOS EN EL APARTADO "ENSAYOS DECLARACIÓN" DE DICHO REGISTRO.

VER: http://WWW.codigotecnico.org/web/recursos/registro/registroent/texto_0003.html

**DETERMINACIÓN IN SITU DE LA DENSIDAD Y
DE LA HUMEDAD DE SUELOS Y MATERIALES
GRANULARES POR MÉTODOS NUCLEARES
UNE 103900:2013**

Laboratorio de: SALAMANCA

Ensayo Nº. 2589/18-1968/13/163595

Fecha informe: 21/05/2018

Hoja: 1 de 1

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, S.L.
CAMINO DE LAS AGUAS Nº 16, BAJO

OBRA: ENSAYOS DE LABORATORIO PARA GEOESTUDIOS ZAPATA

FECHA Y SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: 16/05/2018 - TERRAPLEN A (1ª TONGADA)

Nº PARTE EUROCONSULT: 003125

TIPO DE MUESTRA: MEZCLA MINERAL AGOTADO+TORTA

Nº	LOCALIZACIÓN	DATOS DE CAMPO			
		Tongada Capa	Dens. húmeda kg/m³	Humedad %	Densidad kg/m³
1	PD-7	1	2016	8,0	1867
2	PD-8	1	2110	8,7	1941
3	PD-9	1	2075	8,5	1912

PROCTOR MODIFICADO	
Densidad máxima	----
Humedad óptima	----
Profundidad de sonda	25 cm.

EQUIPO UTILIZADO	
Marca	TROXLER
Modelo	3440
Nº serie	33766

OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA

CRESCENCIANO RIOS RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTIN ARENAS

LABORATORIO INSCRITO EN EL REGISTRO GENERAL DEL CTE COMO LECCE CON Nº CYL-L-001, PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS Y PRUEBAS INCLUIDOS EN EL APARTADO "ENSAYOS DECLARACIÓN" DE DICHO REGISTRO.
VER: http://WWW.codigotecnico.org/web/recursos/registro/registroent/texto_0003.html

DETERMINACIÓN IN SITU DE LA DENSIDAD Y DE LA HUMEDAD DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES POR MÉTODOS NUCLEARES **UNE 103900:2013**

Laboratorio de: SALAMANCA
Ensayo Nº. 2589/18-1969/14/163596
Fecha informe: 21/05/2018
Hoja: 1 de 1

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, S.L.
CAMINO DE LAS AGUAS Nº 16, BAJO

OBRA: ENSAYOS DE LABORATORIO PARA GEOESTUDIOS ZAPATA

FECHA Y SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: 16/05/2018 - TERRAPLEN B (1ª TONGADA)

Nº PARTE EUROCONSULT: 003126

TIPO DE MUESTRA: NO MEZCLA (SANWICH)

Nº	LOCALIZACIÓN	DATOS DE CAMPO			
		Tongada Capa	Dens. húmeda kg/m³	Humedad %	Densidad kg/m³
1	PD-10	1	2037	7,2	1900
2	PD-11	1	2091	7,6	1943
3	PD-12	1	2084	8,3	1924

PROCTOR MODIFICADO	
Densidad máxima	----
Humedad óptima	----
Profundidad de sonda	25 cm.

EQUIPO UTILIZADO	
Marca	TROXLER
Modelo	3440
Nº serie	33766

OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA

CRESCENCIANO RIOS RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTIN ARENAS

LABORATORIO INSCRITO EN EL REGISTRO GENERAL DEL CTE COMO LECCE CON Nº CYL-L-001, PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS Y PRUEBAS INCLUIDOS EN EL APARTADO "ENSAYOS DECLARACIÓN" DE DICHO REGISTRO.
VER: http://WWW.codigotecnico.org/web/recursos/registro/registroent/texto_0003.html

**DETERMINACIÓN IN SITU DE LA DENSIDAD Y
DE LA HUMEDAD DE SUELOS Y MATERIALES
GRANULARES POR MÉTODOS NUCLEARES
UNE 103900:2013**

Laboratorio de: SALAMANCA
Ensayo Nº. 2589/18-1970/15/163597
Fecha informe: 21/05/2018
Hoja: 1 de 1

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, S.L.
CAMINO DE LAS AGUAS Nº 16, BAJO

OBRA: ENSAYOS DE LABORATORIO PARA GEOESTUDIOS ZAPATA

FECHA Y SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: 16/05/2018 - TERRAPLEN A (2ª TONGADA)

Nº PARTE EUROCONSULT: 003127

TIPO DE MUESTRA: MEZCLA (MINERAL AGOTADO+TORTA)

Nº	LOCALIZACIÓN	DATOS DE CAMPO			
		Tongada Capa	Dens. húmeda kg/m³	Humedad %	Densidad kg/m³
1	PD-14	2	2048	10,2	1858
2	PD-15	2	2019	9,6	1842
3	PD-16	2	2010	9,8	1831

PROCTOR MODIFICADO	
Densidad máxima	----
Humedad óptima	----
Profundidad de sonda	25 cm.

EQUIPO UTILIZADO	
Marca	TROXLER
Modelo	3440
Nº serie	33766

OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA

CRESCENCIANO RIOS RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTIN ARENAS

LABORATORIO INSCRITO EN EL REGISTRO GENERAL DEL CTE COMO LECCE CON Nº CYL-L-001, PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS Y PRUEBAS INCLUIDOS EN EL APARTADO "ENSAYOS DECLARACIÓN" DE DICHO REGISTRO.

VER: http://WWW.codigotecnico.org/web/recursos/registro/registroent/texto_0003.html

**DETERMINACIÓN IN SITU DE LA DENSIDAD Y
DE LA HUMEDAD DE SUELOS Y MATERIALES
GRANULARES POR MÉTODOS NUCLEARES
UNE 103900:2013**

Laboratorio de: SALAMANCA
Ensayo Nº. 2589/18-1971/16/163598
Fecha informe: 21/05/2018
Hoja: 1 de 1

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, S.L.
CAMINO DE LAS AGUAS Nº 16, BAJO

OBRA: ENSAYOS DE LABORATORIO PARA GEOESTUDIOS ZAPATA

FECHA Y SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: 16/05/2018 - TERRAPLEN A, PRUEBA 1, TORTA

Nº PARTE EUROCONSULT: 003129

TIPO DE MUESTRA: TORTA

Nº	LOCALIZACIÓN	DATOS DE CAMPO		
		Dens. húmeda kg/m³	Humedad %	Densidad kg/m³
1	PRUEBA 1 TORTA PD-13	1505	64,6	914

PROCTOR NORMAL

Densidad máxima	----
Humedad óptima	----
Profundidad de sonda	25 cm.

EQUIPO UTILIZADO

Marca	TROXLER
Modelo	3440
Nº serie	33766

OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA

CRESCENCIANO RIOS RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTIN ARENAS

LABORATORIO INSCRITO EN EL REGISTRO GENERAL DEL CTE COMO LECCE CON Nº CYL-L-001, PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS Y PRUEBAS INCLUIDOS EN EL APARTADO "ENSAYOS DECLARACIÓN" DE DICHO REGISTRO.

VER: http://WWW.codigotecnico.org/web/recursos/registro/registroent/texto_0003.html

**DETERMINACIÓN IN SITU DE LA DENSIDAD Y
DE LA HUMEDAD DE SUELOS Y MATERIALES
GRANULARES POR MÉTODOS NUCLEARES
UNE 103900:2013**

Laboratorio de: SALAMANCA

Ensayo Nº. 2589/18-1972/17/163599

Fecha informe: 21/05/2018

Hoja: 1 de 1

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, S.L.
CAMINO DE LAS AGUAS Nº 16, BAJO

OBRA: ENSAYOS DE LABORATORIO PARA GEOESTUDIOS ZAPATA

FECHA Y SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: 16/05/2018 - TERRAPLEN A (3ª TONGADA)

Nº PARTE EUROCONSULT: 003130

TIPO DE MUESTRA: MEZCLA (MINERAL AGOTADO+TORTA)

Nº	LOCALIZACIÓN	DATOS DE CAMPO			
		Tongada Capa	Dens. húmeda kg/m³	Humedad %	Densidad kg/m³
1	PD-17	3	1911	6,4	1796
2	PD-18	3	1995	5,8	1886
3	PD-19	3	1769	10,4	1602

PROCTOR NORMAL

Densidad máxima	----
Humedad óptima	----
Profundidad de sonda	25 cm.

EQUIPO UTILIZADO

Marca	TROXLER
Modelo	3440
Nº serie	33766

OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA

CRESCENCIANO RIOS RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTIN ARENAS

LABORATORIO INSCRITO EN EL REGISTRO GENERAL DEL CTE COMO LECCE CON Nº CYL-L-001, PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS Y PRUEBAS INCLUIDOS EN EL APARTADO "ENSAYOS DECLARACIÓN" DE DICHO REGISTRO.
VER: http://WWW.codigotecnico.org/web/recursos/registro/registroent/texto_0003.html

**DETERMINACIÓN IN SITU DE LA DENSIDAD Y
DE LA HUMEDAD DE SUELOS Y MATERIALES
GRANULARES POR MÉTODOS NUCLEARES
UNE 103900:2013**

Laboratorio de: SALAMANCA
Ensayo Nº. 2589/18-1973/18/163603
Fecha informe: 21/05/2018
Hoja: 1 de 1

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, S.L.
CAMINO DE LAS AGUAS Nº 16, BAJO

OBRA: ENSAYOS DE LABORATORIO PARA GEOESTUDIOS ZAPATA

FECHA Y SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: 17/05/2018 - TERRAPLEN B (2ª TONGADA)

Nº PARTE EUROCONSULT: 003131

TIPO DE MUESTRA: NO MEZCLA (SANWICH)

Nº	LOCALIZACIÓN	DATOS DE CAMPO			
		Tongada Capa	Dens. húmeda kg/m³	Humedad %	Densidad kg/m³
1	PD-20	2	2096	7,9	1943
2	PD-21	2	2056	7,2	1918
3	PD-22	2	2079	7,5	1934

PROCTOR NORMAL	
Densidad máxima	----
Humedad óptima	----
Profundidad de sonda	25 cm.

EQUIPO UTILIZADO	
Marca	TROXLER
Modelo	3440
Nº serie	33766

OBSERVACIONES:

JEFE DE ÁREA

CRESCENCIANO RIOS RUBIO

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTIN ARENAS



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN


ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A.,
S.M.E.

**ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA
PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE
LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN
SAELICES EL CHICO (SALAMANCA).**

SALAMANCA

**APÉNDICE V: REGISTRO DE LAS CALICATAS
MECÁNICAS.**



PROYECTO:				CC nº
ESTUDIO TERRAPLENES DE PRUEBA EN ERA "QUERCUS" EN SAÉLICES EL CHICO.				C-1
Cliente:	Trabajo ref.:	Coordenadas:	Localidad:	
	GT18023SA	X: 5.277,699 / Y: 5.897,822	Saélíce el Chico (SA)	Hoja:
	Fecha:	Maquinaria:	Testificado por:	
	24/05/2018	Excavadora mixta	Álvaro Rodríguez (Geólogo)	1 de 1

Prof. (m)	N.F.	Leyenda	Descripción	Excavab.				Estab.				N° Muestra
				1	2	3	4	1	2	3	4	
0,50			0,00-0,50 m: Mineral marginal agotado. Pizarras machacadas entre 1 y 10 mm. Color gris-verdoso.	3ª tongada								
			0,50-0,80 m: Torta de neutralización. Textura tableada y jabonosa. Estado muy húmedo. Color blanquecino.									
1,00			0,80-1,15 m: Mineral marginal agotado. Pizarras machacadas entre 1 y 10 mm. Color gris-verdoso.	2ª tongada								MA-1 2ª tong.
			1,15-1,50 m: Torta de neutralización. Textura tableada y jabonosa. Estado muy húmedo. Color blanquecino.									
1,50			1,50-1,85 m: Mineral marginal agotado. Pizarras machacadas entre 1 y 10 mm. Color gris-verdoso.	1ª tongada								MA-2 1ª tong.
			1,85-2,15 m: Torta de neutralización. Textura tableada y jabonosa. Estado muy húmedo. Color blanquecino.									
2,00			2,15-2,25 m: Mineral marginal agotado. Pizarras machacadas entre 1 y 10 mm. Color gris-verdoso.	Nivel base de mineral								
2,50			FIN DE LA CALICATA A 2,25 m (espesor terraplén prueba - A)									
3,00												
3,50												
4,00												

Excavabilidad: 1. Fácilmente excavable, 2. Excavable con cierta dificultad, 3. Difícilmente excavable, 4. No excavable
Estabilidad de las paredes: 1. Estable, 2. Ligeramente inestable, 3. Bastante inestable, 4. Inestable-Cierre de las paredes


Fotografías:



Observaciones:

Se toma una muestra inalterada (MI-1) del material de torta de la 2ª tongada.



PROYECTO:					CC nº
ESTUDIO TERRAPLENES DE PRUEBA EN ERA "QUERCUS" EN SAÉLICES EL CHICO.					C-2
Cliente: 	Trabajo ref.: GT18023SA	Coordenadas: X: 5.296,587 / Y: 5.898,548		Localidad: Saélice el Chico (SA)	
	Fecha: 24/05/2018	Maquinaria: Excavadora mixta		Testificado por: Álvaro Rodríguez (Geólogo)	Hoja: 1 de 1

Prof. (m)	N.F.	Leyenda	Descripción	Excavab.				Estab.				N° Muestra
				1	2	3	4	1	2	3	4	
0,50			0,00-0,70 m: Mineral marginal agotado. Pizarras machacadas entre 1 y 10 mm. Color gris-verdoso. Dos capas de 30 cm aprox.									
1,00			0,70-1,00 m: Torta de neutralización. Textura tableada y jabonosa. Estado muy húmedo. Color blanquecino.									
1,50			1,00-1,90 m: Mineral marginal agotado. Pizarras machacadas entre 1 y 10 mm. Color gris-verdoso. Dos capas de 30 cm aprox.									
2,00			1,90-2,25 m: Torta de neutralización. Textura tableada y jabonosa. Estado muy húmedo. Color blanquecino.									MI-1
2,50			2,25-2,75 m: Mineral marginal agotado. Pizarras machacadas entre 1 y 10 mm. Color gris-verdoso. Dos capas de 30 cm aprox.									
3,00			2,75-3,10 m: Torta de neutralización. Textura tableada y jabonosa. Estado muy húmedo. Color blanquecino.									
3,50			3,10-3,25 m: Mineral marginal agotado. Pizarras machacadas entre 1 y 10 mm. Color gris-verdoso.									
4,00			FIN DE CALICATA A 3,25 m (espesor terraplen prueba - B)									

Excavabilidad: 1. Fácilmente excavable, 2. Excavable con cierta dificultad, 3. Difícilmente excavable, 4. No excavable
Estabilidad de las paredes: 1. Estable, 2. Ligeramente inestable, 3. Bastante inestable, 4. Inestable-Cierre de las paredes

Fotografías:



Observaciones:



GEOESTUDIOS ZAPATA

GEOLOGÍA – GEOTECNIA – INSTRUMENTACIÓN

ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A.,
S.M.E.

**ESTUDIO DE TERRAPLENES DE PRUEBA
PARA LA REMODELACIÓN DE LA ERA DE
LIXIVIACIÓN ESTÁTICA "QUERCUS" EN
SAELICES EL CHICO (SALAMANCA).**

SALAMANCA

APÉNDICE VI. ENSAYOS DE LABORATORIO.

**ANALISIS GRANULOMETRICO DE
SUELOS POR TAMIZADO
UNE 103101/1995**

Laboratorio de: SALAMANCA
 Nº Ensayo: 2589/2080/164510
 Fecha : 28/05/2018

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

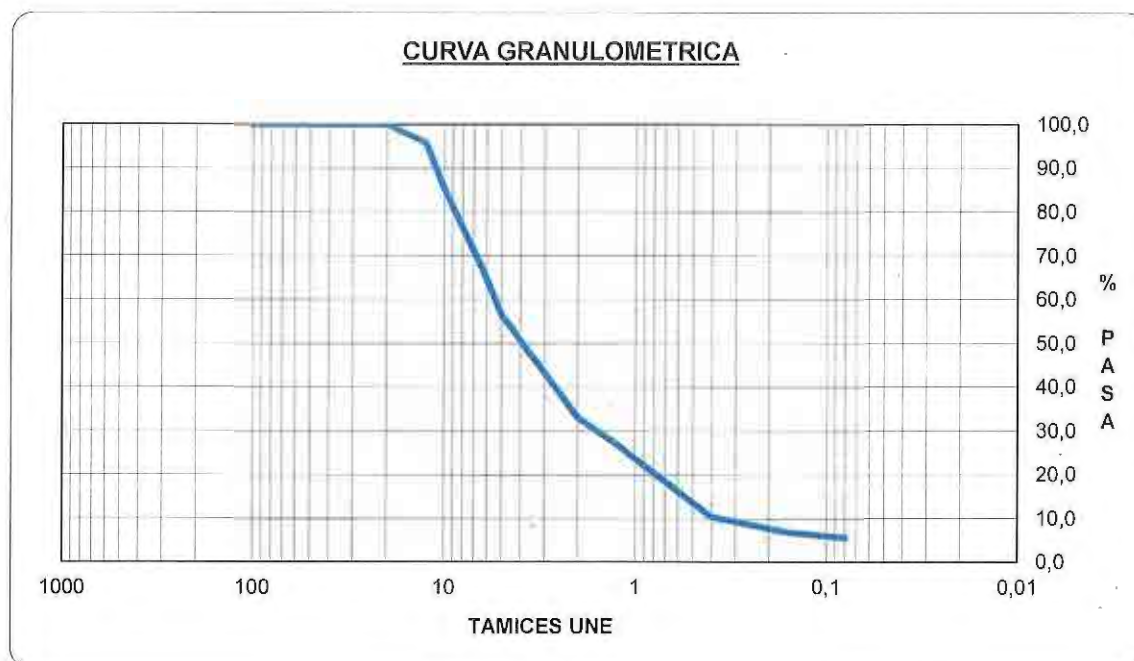
CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN SAELICES EL CHICO, SALAMANCA

FECHA Y LUGAR DE LA TOMA: 24/05/2018 TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 2ª TONGADA

Muestra: AGOTADO + TORTA

TAMICES UNE (Abertura en mm)								CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)							
100	80	63	50	40	25	20	12,5	10	6,3	5	2	1,25	0,40	0,16	0,080
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	95,7	85,5	67,0	56,4	33,1	27,0	10,5	7,0	5,8



OBSERVACIONES:

ALBARAN EUROCONSULT: 300020

JEFE DE ÁREA



SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO



AITOR MARTÍN ARENAS

**DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES
DE ATTERBERG
UNE 103103:94 - UNE 103104/93**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2080/164513**
Fecha: **25/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

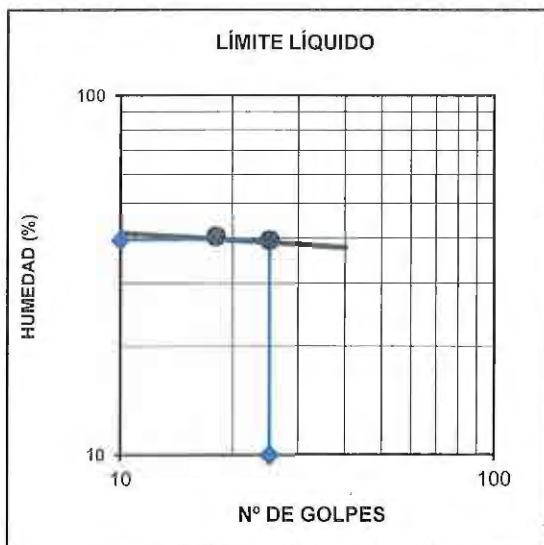
OBRA: MINAS DE ENUSA EN Saelices el Chico, Salamanca

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 2ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

RESULTADOS



LÍMITE LÍQUIDO 39,5

LÍMITE PLÁSTICO 32,9

INDICE DE PLASTICIDAD 6,6

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300020

JEFE DE ÁREA

SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTÍN ARENAS

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO UNE 103501:1994

Laboratorio de:
 Ensayo nº:
 Fecha:
 Hoja: 1/1

SALAMANCA
2589/2080/164520
25/05/2018
1 de 1

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

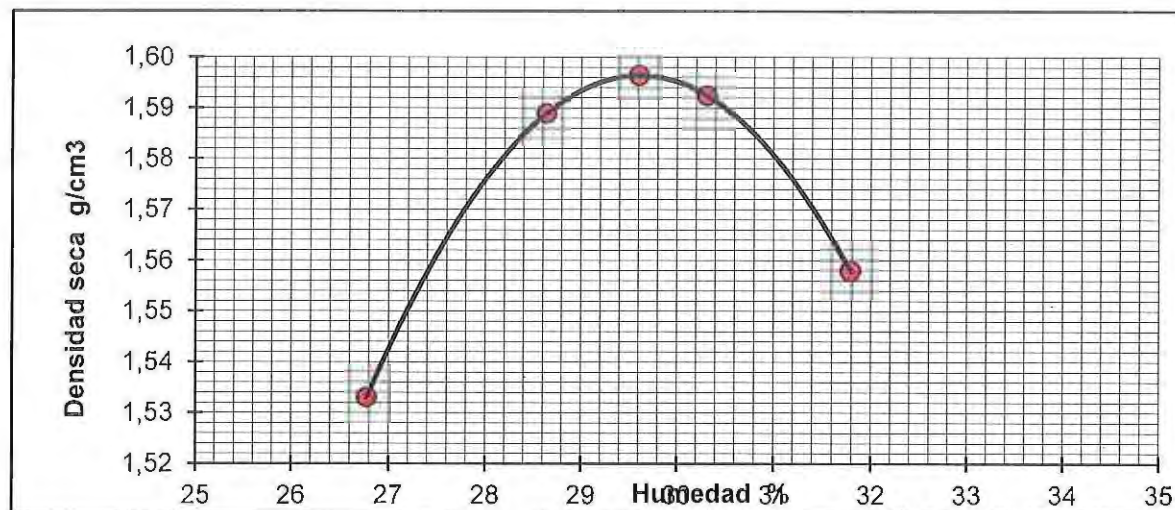
OBRA: MINAS DE ENUSA EN Saelices el Chico, Salamanca

FECHA Y SITIO TOMA DE MUESTRA: 24/05/2018

TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 2ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

PROCTOR	MODIFICADO
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	2.318
PESO MAZA (kg)	4,5
ALTURA DE CAIDA (cm)	45,7
Nº DE CAPAS	5
Nº GOLPES POR CAPA	60
TIPO DE COMPACTADORA	AUTOMATICA
MATERIAL UTILIZADO (%)	100



DENSIDAD MÁXIMA	g/cm³	1,60
HUMEDAD ÓPTIMA	%	29,6

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300020

JEFE DE ÁREA

SANDRA RODRIGUEZ MORÁN

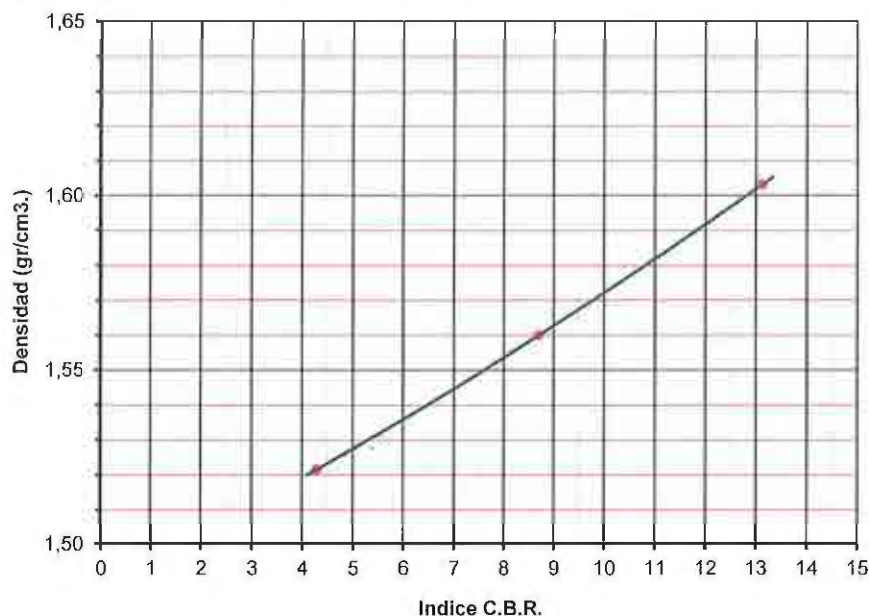
DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTÍN ARENAS

ENSAYO C. B. R. EN LABORATORIO
UNE 103502:1995LABORATORIO DE
ENSAYO Nº:
FECHA:
Hoja:**SALAMANCA**
2589/2080/164521
28/05/2018
1 de 1PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL
CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL
OBRA: MINAS DE ENUSA EN Saelices el Chico, SALAMANCAFECHA Y SITIO DE TOMA DE LA MUESTRA: 24/05/2018
TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 2ª TONGADA
TIPO DE MUESTRA: AGOTADO + TORTA

PROCTOR DE REFERENCIA:	MODIFICADO
Densidad máxima:	1,60
Humedad óptima:	29,6

Indice C.B.R.	Densidad gr/cm3.	Humedad % inicial	Humedad % final	Absorción %	Hinchamiento %
13,1	1,60	29,6	29,9	0,3	0,6
8,7	1,56	29,6	31,5	1,9	0,4
4,3	1,52	29,6	33,9	4,3	0,2

Indice C.B.R. al 100 % de compactación: 13,1**Indice C.B.R. al 95 % de compactación: 6,3**OBSERVACIONES: Sobrecarga empleada: 4,5 Kg.
ALABARÁN EUROCONSULT: 300020**JEFE DE AREA**

SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTÍN ARENAS

**HINCHAMIENTO LIBRE DE UN
SUELO EN EDÓMETRO
UNE 103601/96**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2080/164523**
Fecha: **28/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN SAELICES EL CHICO, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 2ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	UNIDADES	VALORES OBTENIDOS
Humedad inicial	%	29,6
Humedad final	%	34,4
Densidad	gr/cm ³	1,60
Hinchamiento libre	%	0,05

OBSERVACIONES: Muestra remoldeada con la energía de compactación del proctor normal y su humedad óptima. Material utilizado, inferior a 4 mm.

ALBARÁN EUROCONSULT: 300020

JEFE DE ÁREA


SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO


AITOR MARTÍN ARENAS

**ENSAYO DE COLAPSO
S/ NLT-254**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2080/164524**
Fecha: **28/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN SAELICES EL CHICO, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 2ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	UNIDADES	VALORES OBTENIDOS
Humedad inicial	%	29,6
Humedad final	%	34,4
Densidad	gr/cm ³	1,60
Presión vertical	MPa	0,20
Índice de colapso	-	2,94
Potencial porcentual de colapso	%	3,00

OBSERVACIONES: Muestra remoldeada con la energía de compactación del proctor normal y su humedad óptima. Material utilizado, inferior a 4 mm.

ALBARÁN EUROCONSULT: 300020

JEFE DE ÁREA


SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO


AITOR MARTÍN ARENAS

**CONTENIDO DE MATERIA
ORGANICA OXIDABLE DE UN
SUELO POR PERMANGANATO
POTASICO UNE 103204/1993**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2080/164525**
Fecha: **28/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN Saelices el Chico, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 2ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Contenido en materia orgánica	%	0,08%

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300020

JEFE DE ÁREA


SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO


AITOR MARTÍN ARENAS

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO
SALES SOLUBLES DE UN SUELO
UNE 103205:2006**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2080/164516**
Fecha: **28/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN Saelices el Chico, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 2ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Contenido en Sales Solubles	%	9,75%

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300020

JEFE DE ÁREA



SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO



AITOR MARTÍN ARENAS

**DETERMINACION DE
YESO EN SUELOS
NLT-115/99**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2080/164517**
Fecha: **28/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN Saelices el Chico, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 2ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Contenido en yesos (CaSO ₄ 2H ₂ O)	%	0,131

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300020

JEFE DE ÁREA


SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO


AITOR MARTÍN ARENAS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE
SUELOS POR TAMIZADO
UNE 103101/1995**

Laboratorio de: SALAMANCA
Nº Ensayo: 2589/2081/164536
Fecha : 28/05/2018

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

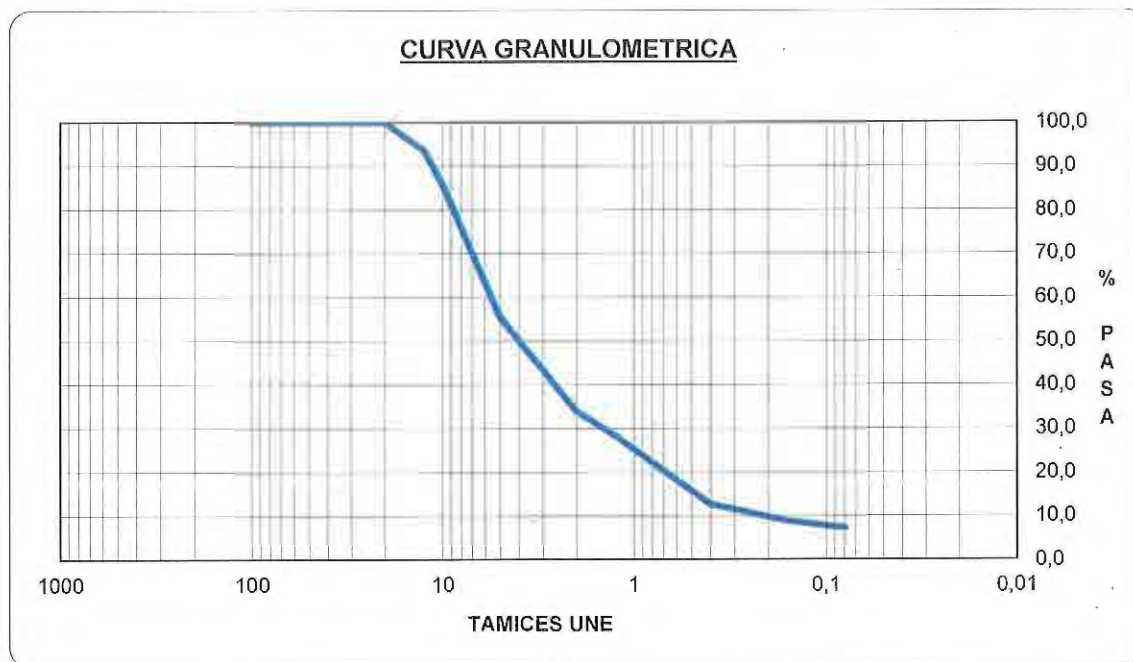
CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN SAELICES EL CHICO, SALAMANCA

FECHA Y LUGAR DE LA TOMA: 24/05/2018 TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 1ª TONGADA

Muestra: AGOTADO + TORTA

TAMICES UNE (Abertura en mm)								CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)							
100	80	63	50	40	25	20	12,5	10	6,3	5	2	1,25	0,40	0,16	0,080
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	93,6	85,9	65,6	55,4	33,9	28,3	12,8	9,0	7,3



OBSERVACIONES:

ALBARAN EUROCONSULT: 300021

JEFE DE ÁREA



SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO



AITOR MARTÍN ARENAS

**DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES
DE ATTERBERG
UNE 103103:94 - UNE 103104/93**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2081/164537**
Fecha: **25/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

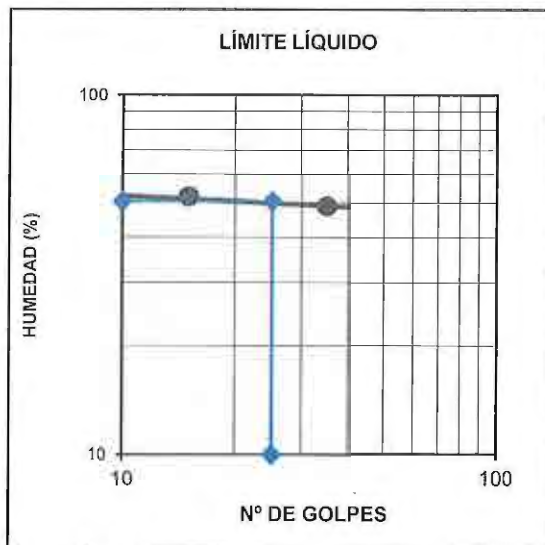
OBRA: MINAS DE ENUSA EN SAELICES EL CHICO, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 1ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

RESULTADOS



LÍMITE LÍQUIDO 50,4

LÍMITE PLÁSTICO 37,2

INDICE DE PLASTICIDAD 13,2

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300021

JEFE DE ÁREA

SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTÍN ARENAS

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO UNE 103501:1994

Laboratorio de:
Ensayo nº:
Fecha:
Hoja: 1/1

SALAMANCA
2589/2081/164544
28/05/2018
1 de 1

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

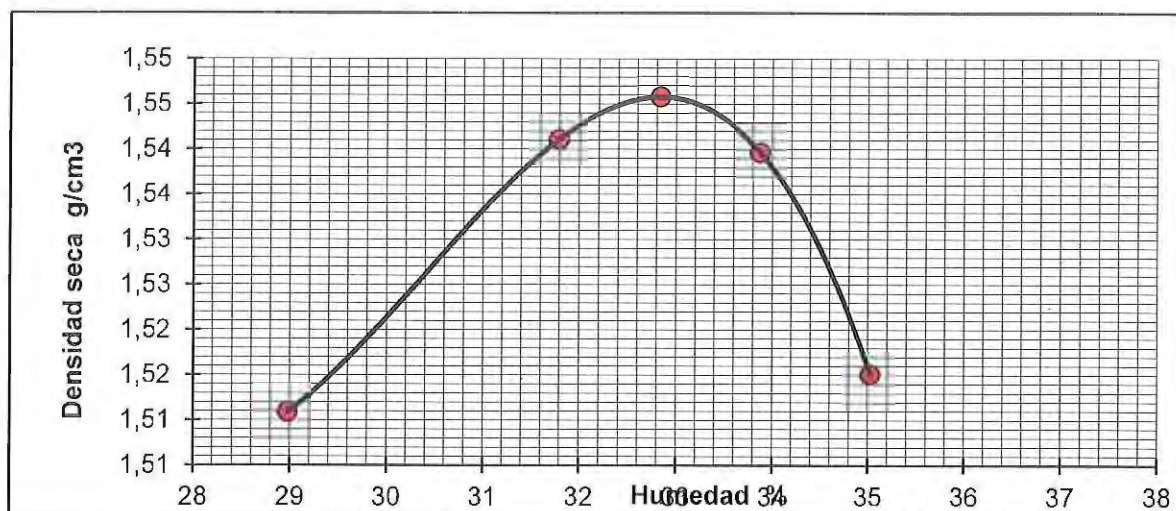
OBRA: MINAS DE ENUSA EN Saelices el Chico, Salamanca

FECHA Y SITIO TOMA DE MUESTRA: 24/05/2018

TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 1ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

PROCTOR	MODIFICADO
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	2.318
PESO MAZA (kg)	4,5
ALTURA DE CAIDA (cm)	45,7
Nº DE CAPAS	5
Nº GOLPES POR CAPA	60
TIPO DE COMPACTADORA	AUTOMATICA
MATERIAL UTILIZADO (%)	100



DENSIDAD MÁXIMA	g/cm³	1,55
HUMEDAD ÓPTIMA	%	32,8

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300021

JEFE DE ÁREA

SANDRA RODRIGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTÍN ARENAS

ENSAYO C. B. R. EN LABORATORIO
UNE 103502:1995

LABORATORIO DE
ENSAYO Nº:
FECHA:
Hoja:

SALAMANCA
2589/2081/164545
28/05/2018
1 de 1

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL
CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL
OBRA: MINAS DE ENUSA EN Saelices el Chico, SALAMANCA

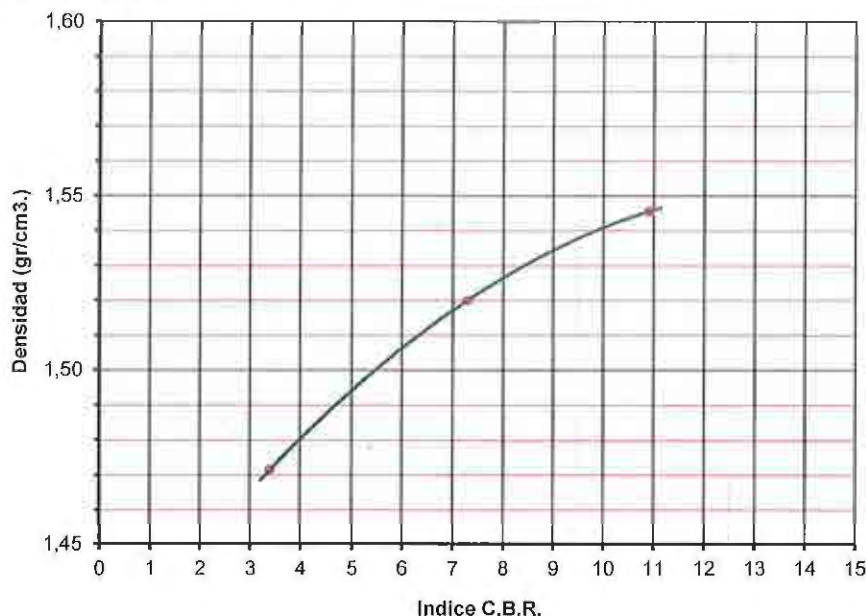
FECHA Y SITIO DE TOMA DE LA MUESTRA: 24/05/2018
TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 1ª TONGADA
TIPO DE MUESTRA: AGOTADO + TORTA

PROCTOR DE REFERENCIA:	MODIFICADO
Densidad máxima:	1,55
Humedad óptima:	32,8

Índice C.B.R.	Densidad gr/cm ³ .	Humedad %		Absorción %	Hinchamiento %
		inicial	final		
10,9	1,55	32,8	33,2	0,4	0,9
7,3	1,52	32,8	34,1	1,3	0,8
3,4	1,47	32,8	35,8	3,0	0,7

Índice C.B.R. al 100 % de compactación: 10,9

Índice C.B.R. al 95 % de compactación: 5,6



OBSERVACIONES: Sobrecarga empleada: 4,5 Kg.
ALABARÁN EUROCONSULT: 300021

JEFE DE ÁREA

SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN
DIRECTOR DE LABORATORIO

AITOR MARTÍN ARENAS

**HINCHAMIENTO LIBRE DE UN
SUELO EN EDÓMETRO
UNE 103601/96**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2081/164546**
Fecha: **28/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN SAELICES EL CHICO, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 1ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	UNIDADES	VALORES OBTENIDOS
Humedad inicial	%	32,8
Humedad final	%	35,7
Densidad	gr/cm ³	1,54
Hinchamiento libre	%	0,20

OBSERVACIONES: Muestra remoldeada con la energía de compactación del proctor normal y su humedad óptima. Material utilizado, inferior a 4 mm.

ALBARÁN EUROCONSULT: 300021

JEFE DE ÁREA


SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO


AITOR MARTÍN ARENAS

**ENSAYO DE COLAPSO
S/ NLT-254**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2081/164552**
Fecha: **28/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN SAELICES EL CHICO, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 1ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	UNIDADES	VALORES OBTENIDOS
Humedad inicial	%	29,6
Humedad final	%	34,4
Densidad	gr/cm ³	1,54
Presión vertical	MPa	0,20
Índice de colapso	-	0,40
Potencial porcentual de colapso	%	0,40

OBSERVACIONES: Muestra remoldeada con la energía de compactación del proctor normal y su humedad óptima. Material utilizado, inferior a 4 mm.

ALBARÁN EUROCONSULT: 300021

JEFE DE ÁREA


SANDRA RODRIGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO


AITOR MARTÍN ARENAS

**CONTENIDO DE MATERIA
ORGANICA OXIDABLE DE UN
SUELO POR PERMANGANATO
POTASICO UNE 103204/1993**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2081/164556**
Fecha: **28/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN SAELICES EL CHICO, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 1ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Contenido en materia orgánica	%	0,10%

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300021

JEFE DE ÁREA


SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO


AITOR MARTÍN ARENAS

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO
SALES SOLUBLES DE UN SUELO
UNE 103205:2006**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2081164542**
Fecha: **28/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN Saelices el Chico, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 1ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Contenido en Sales Solubles	%	10,66%

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300021

JEFE DE ÁREA



SANDRA RODRÍGUEZ MCRÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO



AITOR MARTÍN ARENAS

**DETERMINACION DE
YESO EN SUELOS
NLT-115/99**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2081/164543**
Fecha: **28/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN SAELICES EL CHICO, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRPLÉN 2, MÓDULO A, 1ª TONGADA

MUESTRA: AGOTADO + TORTA

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Contenido en yesos (CaSO ₄ 2H ₂ O)	%	0,121

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300021

JEFE DE ÁREA


SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO


AITOR MARTÍN ARENAS

**DETERMINACIÓN DE LA
HUMEDAD NATURAL
DE UN SUELO
UNE-EN ISO 17892-1:2015**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2082/164561**
Fecha: **24/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN Saelices el Chico, Salamanca

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRAPLÉN 2, MÓDULO A, 2ª CAPA TORTA, INALTERADA

MUESTRA: TORTA, C-1, MI-1

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Humedad Natural del Suelo	%	118,4

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300023

JEFE DE ÁREA


SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO


AITOR MARTÍN ARENAS

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD
DE UN SUELO
UNE-EN ISO 17892-2:2015**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2082/164562**
Fecha: **25/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN SAELICES EL CHICO, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRAPLÉN 2, MÓDULO A, 2ª CAPA TORTA, INALTERADA

MUESTRA: TORTA, C-1, MI-1

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Determinación de la densidad húmeda de un suelo	g/cm ³	0,577
Determinación de la densidad seca de un suelo	g/cm ³	0,264

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300023

JEFE DE AREA


SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO


AITOR MARTÍN ARENAS

**DETERMINACIÓN DE LA
HUMEDAD NATURAL
DE UN SUELO
UNE-EN ISO 17892-1:2015**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2083/164573**
Fecha: **24/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN Saelices el Chico, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRAPLÉN 1, MÓDULO B, 2ª CAPA TORTA, INALTERADA

MUESTRA: TORTA, MI-1

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Humedad Natural del Suelo	%	127,2

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300024

JEFE DE ÁREA



SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO



AITOR MARTÍN ARENAS

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD
DE UN SUELO
UNE-EN ISO 17892-2:2015**

Laboratorio de: **SALAMANCA**
Ensayo nº: **2589/2083/164574**
Fecha: **25/05/2018**
Hoja: **1 de 1**

PETICIONARIO: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

CONTRATISTA: GEOESTUDIOS ZAPATA, SL

OBRA: MINAS DE ENUSA EN Saelices el Chico, SALAMANCA

FECHA TOMA: 24/05/2018

SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: TERRAPLÉN 1, MÓDULO B, 2ª CAPA TORTA, INALTERADA

MUESTRA: TORTA, MI-1

RESULTADOS

DETERMINACIÓN	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	VALORES OBTENIDOS
Determinación de la densidad húmeda de un suelo	g/cm ³	0,809
Determinación de la densidad seca de un suelo	g/cm ³	0,356

OBSERVACIONES:

ALBARÁN EUROCONSULT: 300024

JEFE DE ÁREA


SANDRA RODRÍGUEZ MORÁN

DIRECTOR DE LABORATORIO


AITOR MARTÍN ARENAS