

**ANEJO Nº 3**

**ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO  
E INSPECCIÓN DE PATOLOGÍAS**



## **INDICE**

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO E INSPECCIÓN DE PATALOGÍAS.....	5



## 1. INTRODUCCIÓN

La campaña de campo así como la redacción del estudio geológico- geotécnico para este proyecto ha sido subcontratado directamente por la División de Proyectos de Abastecimiento de Canal de Isabel II Gestión a la empresa ORBIS TERRARUM S.L.

En el epígrafe 2 del presente Anejo se adjunta un ejemplar completo de dicho estudio y para su redacción se han realizado los siguientes trabajos.

- Recopilación bibliográfica y análisis de documentación.
- Campaña de investigación geotécnica de campo, que incluye:
  - Estudios geofísicos: georadar y tomografía eléctrica.
  - Ejecución de sondeos geotécnicos a rotación con recuperación continua de testigo. Se han ejecutado diez (10) sondeos con 96,80 m de perforación. En dos de los sondeos se ha medido el nivel piezométrico en la perforación.
  - Ejecución de calicatas (2).
  - Inspección visual de patologías del depósito y toma de testigos de hormigón de los muros perimetrales.
  - Realización de ensayos de laboratorio.
  - Realización de ensayos de penetración dinámica. Se han ejecutado once (11) ensayos de penetración dinámica, de los cuales ocho (8) de ellos, fueron del tipo DPSH con energía constante, y tres (3) tipo Panda 2 con energía variable.

Los datos proporcionados por las investigaciones realizadas, así como los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras tomadas en los sondeos han permitido realizar una caracterización geotécnica de los materiales sobre los que se implanta el depósito de Tres Cantos. En el área de estudio se pueden distinguir las siguientes unidades geotécnicas:

• **UG-R:** Rellenos del trasdós de los muros del depósito. Estos rellenos rodean totalmente al depósito y proceden tanto de la construcción original como de los diversos rellenos generados durante la construcción del parque y del lago artificial. Parte de este material procede muy probablemente de las excavaciones del depósito.

• **UG-Am:** Arena de miga. Se trata de arenas arcósicas con algo de matriz arcillosa. Sobre esta unidad se construyó el depósito de Tres Cantos.

A partir de los datos obtenidos de una muestra de agua de uno de los sondeos, se obtiene que el agua tiene un grado de **AGRESIVIDAD DÉBIL** al hormigón, debido al contenido de dióxido carbono libre (20,3 mg/l).

El depósito de Tres Cantos tiene forma rectangular y, en su interior se divide en dos cámaras. Estos sub-depósitos, se ejecutaron con muros perimetrales de hormigón en masa con una tipología trapezoidal con inclinaciones del trasdós de unos 50º, pilares circulares interiores de hormigón armado en una cuadrícula aproximada de 4,40 m de lado, y cerrado con bóvedas de hormigón armado entre alineaciones de pilares, que permite el tránsito de personas por su cubierta, no así de maquinaria pesada.

Las patologías detectadas en el interior de uno de los vasos del depósito son:

1) Bóvedas, en las que se detectan fisuras transversales generalizadas a dirección de bóveda con presencia de humedad y raíces. El armado es visible y con signos avanzados de corrosión.

2) Pilares, en los que se detecta desagregado de árido fino del hormigón en la superficie del pilar (por debajo de la zona inundable), signos puntuales y aislados de corrosión de armadura y porosidad superficial.

3) Muros longitudinales, en los que no se detectan fisuras con un buen estado general. Los muros en su intradós tienen una berma de hormigón de 2,00 m de altura.

4) Muros transversales, en los que se detectan fisuras sub-horizontales antiguas, con signos de humedad y precipitados de sales en intradós. Estos muros han sido impermeabilizados en su intradós y tratado las juntas constructivas.

Para el estudio del estado actual del muro perimetral de hormigón se perforaron dos taladros con extracción de testigo, sobre los cuales se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Dos (2) ensayos de resistencia a compresión uniaxial, donde se han obtenido unos valores de 18,27 MPa para la probeta T1 y 23,62 MPa para la probeta T2.
- Dos (2) ensayos de carbonatación con fenolftaleína. Los resultados de avance de la carbonatación son 17 mm para la probeta T1 y 25 mm para la probeta T2, valores que se consideran bajos.
- Dos (2) estudios petrográficos en lámina delgada.
- Un (1) ensayo de difracción por rayos X en la probeta del muro transversal. Se concluye que la hidratación de la pasta ha sido total y no se detectan minerales extraños que puedan alterar el hormigón.



**2. ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO E INSPECCIÓN DE PATOLOGÍAS**



**ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO  
E INSPECCIÓN DE PATOLOGÍAS**

**DEPÓSITO SOTERRADO**

**PARQUE CENTRAL DE TRES CANTOS  
(MADRID)**



**MARZO de 2014**



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO .....	1
2. TRABAJOS REALIZADOS.....	3
3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y GEOLÓGICA.....	18
4. SISMICIDAD .....	21
5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	22
6. INSPECCIÓN Y ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DEL DEPÓSITO .....	37

### PLANOS:

PLANO 1. PLANO DE SITUACIÓN DE SONDEOS

PLANO 2. CROQUIS DE PATOLOGÍAS

PLANO 3. SITUACIÓN DE ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA

PLANO 4. PLANO DE SITUACIÓN DE SONDEOS DE INVESTIGACIÓN DE MUROS

### APÉNDICES:

APÉNDICE 1. REGISTRO DE SONDEOS

APÉNDICE 2. INFORME DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

APÉNDICE 3. REPORTAJE FOTOGRÁFICO DE INSPECCIÓN DE PATOLOGÍAS

APÉNDICE 4. ENSAYOS DE LABORATORIO

APÉNDICE 5. ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA

APÉNDICE 6: REGISTRO DE CALICATAS



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

Se redacta el presente documento a petición del Canal de Isabel II Gestión para realizar un estudio geotécnico que permita caracterizar adecuadamente el terreno para, posteriormente, poder redactar un Proyecto de soluciones a las patologías aparecidas en algunos muros perimetrales y bóvedas del depósito de Tres Cantos (Madrid).

El objetivo del presente informe es realizar una caracterización geotécnica detallada de los distintos suelos detectados en las investigaciones para definir sus características resistentes y deformacionales.

Adicionalmente, se incluye un capítulo de inventario e inspección de las patologías observadas en el Depósito 1 durante la visita realizada el día 9 de octubre de 2013 por dos técnicos de Orbis Terrarum aprovechando el vaciado del mismo. Este estudio se completó con la extracción de testigos de hormigón, que posteriormente fueron sellados, y ensayos de laboratorio.

Previamente a la realización de los sondeos geotécnicos se realizó un estudio geofísico mediante Georradar (GPR) con el objetivo de detectar los posibles servicios enterrados y con el segundo objetivo de detectar la morfología superior de los muros del depósito. Se comprobó que el segundo objetivo perseguido con esta técnica, aportaron datos no suficientemente fiables o no concluyentes.

El estudio geofísico se completó con la realización de varios perfiles de tomografía eléctrica, orientados a conocer la resistividad del terreno perimetral al depósito y para poder dar información para el posterior diseño de la red de tierras, así como para confirmar la homogeneidad del terreno y zonas húmedas.

Finalmente, una vez se tuvo disponible la topografía "as built" del depósito, la cual se comprobó que no correspondía con los planos inicialmente enviados, se ejecutaron ensayos de penetración dinámica, con el objetivo de localizar más detalladamente la posición del muro y su morfología. La posición de estos ensayos fue indicada por Acciona.

Posteriormente, el 30 de enero de 2014, se realizaron dos calicatas en el borde del muro del depósito para determinar la geometría inicial de los muros.

Esta campaña de investigación de la geometría de los muros se completó finalmente con la ejecución de sondeos geotécnicos perimetrales realizados entre los días 27 de febrero y 3 de marzo de 2014.

## 2. TRABAJOS REALIZADOS

### 2.1. INTRODUCCIÓN

Se han realizado las siguientes actuaciones previamente y durante la campaña geotécnica.

- Recopilación bibliográfica y análisis de documentación
- Campaña de investigación geotécnica de campo. Incluye:
  - Ejecución de geo-radar y tomografía eléctrica
  - Ejecución de sondeos geotécnicos
- Inspección visual de patologías del depósito y toma de testigos de hormigón
- Realización de ensayos de laboratorio
- Realización de ensayos de penetración dinámica

A continuación se describe cada una de estas actividades.

### 2.2. RECOPILACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ANÁLISIS DE DOCUMENTACIÓN

Para determinar el marco geológico-geotécnico, se ha tomado como base la siguiente información:

- Mapa Geológico de España (MAGNA) a escala 1:50.000, nº 534 (Colmenar Viejo).
- Planos de proyecto de los muros transversales y longitudinales del depósito realizados por Pypsa y facilitados por el Canal de Isabel II Gestión. Estos planos difieren de lo realmente ejecutado según información aportada por el Canal y confirmada durante la campaña.
- Plano topográfico actual del depósito realizado por Acciona. Recibido el día 4 de Diciembre de 2013.

### 2.3. RECONOCIMIENTOS DE CAMPO

A continuación se describe cada una de las actividades realizadas:

### 2.3.1. Estudios geofísicos

Se han realizado estos estudios geofísicos con los siguientes objetivos:

- Tomografía eléctrica: Determinación de la homogeneidad del terreno en términos de resistividad y definición de las características geoeléctricas del terreno para el posterior diseño de la red de tierras.
- Georadar: Detección de servicios enterrados previamente a la ejecución de los sondeos y tipología de muro de hormigón enterrado. Finalmente se concluyó que los datos del georadar no eran suficientemente concluyentes, por lo que se realizó la campaña de penetrómetros.

El estudio de tomografía eléctrica se puede consultar en el apéndice 2.

### 2.3.2. Sondeos

Con objeto de determinar la naturaleza, características y espesor del material que compone tanto el terreno de relleno del trasdós como el de la cimentación del depósito, se han realizado seis (6) sondeos geotécnicos a rotación con recuperación continua de testigo.

En la siguiente tabla se resumen la longitud y el muestreo realizado en los distintos sondeos:

**Tabla 1. Resumen de sondeos realizados**

Sondeo	Posición	Instalación de piezómetro	Coordenadas (UTM Huso 30)		Profundidad (m)	M.I.	SPT	MB	MA
			X	Y					
S-1	Vertical	No	440.470	4.495.646	12,00	3	3	-	-
S-2	Vertical	Si	440.514	4.495.690	12,00	3	3	-	1
S-3	Vertical	No	440.538	4.495.584	12,00	3	3	-	-
S-4	Vertical	No	440.438	4.495.514	12,00	3	3	-	-
S-5	Inclinado-10°	No	440.357	4.495.523	10,40	-	-	2	-
S-6	Vertical	Si	440.346	4.495.546	12,00	3	3	-	-
			<b>Total</b>		<b>70,4</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

M.I.: muestra inalterada, SPT: ensayo estándar de penetración, M.B.: muestra alterada en bolsa, M.A.: Muestra de agua.

Los sondeos S-1, S-2, S-4, y S-6 han sido ejecutados con una máquina modelo Mobile Drill N80, y los sondeos S-3 y S-5 con una máquina modelo Tecoinasa TP50-D2, a fin de poder acercarse más a la valla que separa el paseo del parque del depósito y así aumentar la probabilidad de alcanzar el muro hormigón del depósito, con objeto de estudiar posteriormente las características del material que lo compone.



Fotografía 1: Máquina de sondeos Mobile Drill N80 durante la ejecución del sondeo S-6



Fotografía 2: Máquina de sondeos Tecoinasa TP50-D2 durante la ejecución del sondeo inclinado S-5

Durante la ejecución de los sondeos se ha realizado una supervisión continua del mismo y se han realizado las correspondientes descripciones geológico-geotécnicas de los terrenos atravesados.

Las columnas de los sondeos se adjuntan en el *Apéndice 1* del presente informe y su posición se detalla en el *Plano 1* (Plano de situación de sondeos).

Entre los días 27 de febrero y 3 de marzo de 2014 se realizaron 4 nuevos sondeos en el perímetro del muro con el objetivo de determinar la geometría de los muros del depósito.

Estos sondeos se realizaron con una sonda modelo CEFRE XCH-90 de reducido tamaño para evitar sobrecargas en los muros del depósito.



*Fotografía 3: Máquina de sondeos CEFRE XCH-90 durante la ejecución del sondeo SD-3*

Los sondeos fueron posicionados por técnicos de Acciona.

Todos los sondeos que atravesaron los muros de hormigón fueron posteriormente sellados con mortero mediante inyección.

En la siguiente tabla se incluye un resumen de los cuatro sondeos de investigación del muro realizados.

**Tabla 2. Resumen de los sondeos de investigación del muro realizados**

Sondeo	Posición	Instalación de piezómetro	Coordenadas (UTM Huso 30)		Profundidad (m)	SPT	Prof. Superior muro	Prof. Inferior muro
			X	Y				
SD-1	Vertical	No	440.606	4.495.862	6,20	1	-	-
SD-2	Vertical	No	440.612	4.495.859	8,60	-	4,70	7,10
SD-3	Vertical	No	440.607	4.495.721	4,60	-	3,30	4,10
SD-4	Vertical	No	440.607	4.495.861	7,00	-	2,80	4,25

El registro de estos sondeos se recoge en el *Apéndice 1* y su posición se ha reflejado en los Planos 1 y 4.

### 2.3.3. Calicatas

El día 31 de enero de 2014 se realizaron dos calicatas en el borde exterior del muro del depósito con el objetivo de determinar la geometría de la parte superior del mismo. Estas calicatas fueron emplazadas por técnicos de Acciona.

En la siguiente tabla se resumen las calicatas realizadas:

**Tabla 3. Resumen de calicatas realizadas en el perímetro del muro**

Calicata	Coordenadas (UTM Huso 30)		Profundidad (m)
	X	Y	
C-1	440.607	4.495.860	1,90
C-2	440.611	4.495.856	2,30

El registro de estas calicatas se incluye en el *Apéndice 6*.



*Fotografía 4: Ejecución de la calicata C-1*

#### 2.3.4. NIVELES PIEZOMÉTRICOS

Se han medido las profundidades de los niveles de agua detectados durante la perforación en los sondeos S-2 y S-6 y tras concluir los sondeos.

Para ello, en los sondeos S-2 Y S-6 se instaló un piezómetro abierto con tubería ranurada de PVC.

La muestra de agua tomada, para el análisis de agresividad al hormigón según EHE, fue tomada del sondeo S-2 a 7,00 m de profundidad.

Las medidas tomadas se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 4. Medidas de niveles de agua durante la campaña**

Fecha	Profundidad en sondeo (m)	
	S-2	S-6
Primera aparición (durante las perforaciones) 21-10-2013	6,20	10,20
Nivel final (último día de campaña) 28-10-2013	6,70	10,20

Según se ha detectado en el estudio de tomografía eléctrica recogido en el Apéndice 2, existen zonas muy saturadas de agua que no se puede atribuir con los datos existentes si son debidas a fugas del depósito o concentraciones naturales por infiltración o escorrentía subterránea.

### 2.3.5. Extracción de testigos de hormigón y sellado

Durante los días 20, 21 y 22 de Noviembre de 2013, se procedió a la extracción y posterior sellado de dos (2) testigos de hormigón de los muros perimetrales del compartimento 1, y desde el interior del mismo, el cual permaneció vacío para poder realizar los trabajos.

La posición en la que se ejecutaron estas perforaciones tanto en planta como en perfil, se esquematiza en la siguiente figura. En ambos casos, las perforaciones fueron horizontales, y no se atravesó el muro en ningún caso. Asimismo, en ninguno de los casos se detectó o atravesó ningún tipo de armadura, por lo que parece que los muros están realizados en hormigón en masa.

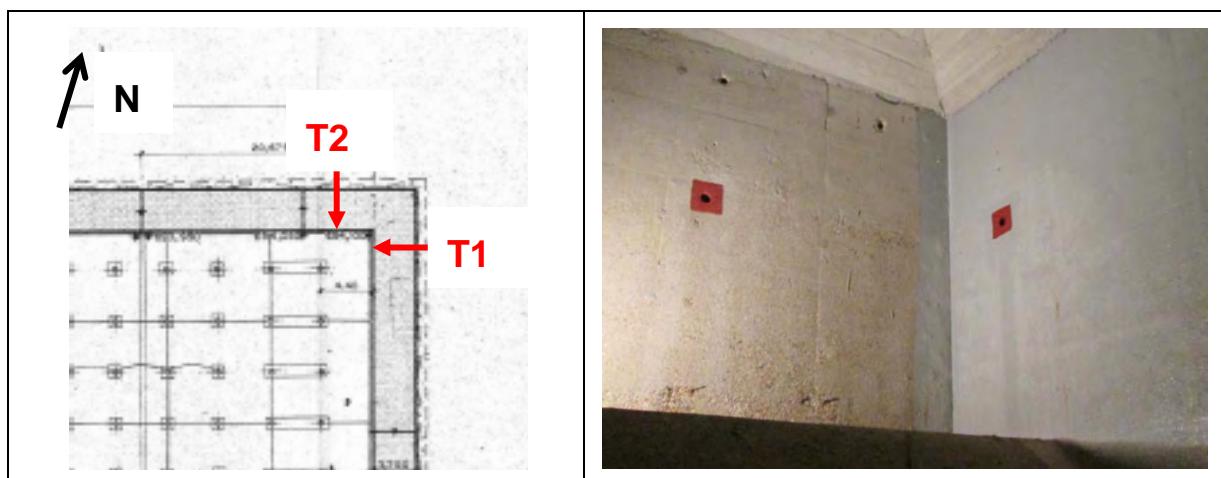


Fig. 1: Posición en planta y perfil de testigos de hormigón

Dichos taladros se realizaron empleando una perforadora eléctrica anclada sobre el propio muro de hormigón, empleando una corona de diamante de 62 mm de diámetro exterior y 44 cm de largo. La perforación se realizó a rotación y utilizando agua como fluido refrigerante.

En la siguiente figura se muestra el equipo de perforación utilizado.



Fig. 2: Equipo de perforación utilizado

Los testigos extraídos fueron de 54,4 mm de diámetro y una longitud aproximada de entre 30 y 40 cm, los cuales fueron identificados *in situ* según su posición, según queda ilustrado en la figura 1. En la siguiente figura se muestran los testigos inmediatamente después de su extracción.



Fig. 3: Testigos de hormigón extraídos

Los testigos fueron protegidos para evitar contaminaciones posteriores y llevados al laboratorio para la realización de los ensayos previstos (compresión simple, comprobación de la carbonatación, difracción de rayos X y estudio petrográfico mediante lámina delgada).

Finalmente, se procedió tanto al sellado e impermeabilización de los taladros de apoyo como a las perforaciones de los testigos.

Los productos utilizados para estos trabajos, fueron los mismos que los utilizados anteriormente para la impermeabilización de los muros transversales del depósito; y además, fueron aplicados por los propios fabricantes de los mismos, la empresa IRETSA. Se dispone de un certificado de garantía instalación emitido por dicha empresa.

En la siguiente figura se muestran varias de las distintas etapas del proceso.



Fig. 4: Sellado de taladros

#### 2.3.6. Ensayos de penetración dinámica

Una vez que se ha dispuesto de la topografía real del depósito realizada por Acciona, se realizaron ensayos de penetración dinámica en distintas situaciones, para que, a través de la posición y la profundidad del rechazo, se pudiera localizar más detalladamente el trasdós del muro, identificando más fielmente la morfología de muro en cada uno de sus laterales.

Los puntos en los que se realizaron estos ensayos fueron determinados por los Técnicos de Acciona, los cuales también estuvieron presentes durante su ejecución.

Se han realizado un total de once (11) ensayos de penetración dinámica, de los cuales ocho (8) de ellos, fueron del tipo DPSH con energía constante, y tres (3) tipo Panda2 con energía variable.

Estas investigaciones se realizaron durante las jornadas del 10 y 12 de Diciembre de 2013.

En la siguiente figura se muestra la situación general en donde se realizaron los trabajos descritos.



Fig. 5: Zona de ejecución de los ensayos de penetración dinámica

En la siguiente tabla se resumen los datos más importantes de los ensayos realizados.

Tabla 5. Resumen de penetrómetros dinámicos realizados

Penetrómetro	Coordenadas (UTM Huso 30)		Distancia desde el borde interior del muro de gaviones (m)	Profundidad de rechazo (m)
	X	Y		
P-1	440.606,4	4.495.863,2	1,20	4,47
PD-2	440.606,8	4.495.862,4	2,00	4,10
PD-3	440.606,9	4.495.862,0	2,50	5,05
PD-1	440.607,1	4.495.861,8	2,70	5,10
P-2	440.607,3	4.495.861,3	3,25	4,15
P-7	440.607,5	4.495.860,9	3,75	4,21
P-3	440.607,7	4.495.860,4	4,25	1,15
P-4	440.612,8	4.495.857,4	2,35	7,16
P-5	440.612,2	4.495.857,1	3,05	7,40
P-6	440.611,7	4.495.856,9	3,60	0,80
P-8	440.614,4	4.495.851,3	3,61	0,65

La posición de los penetrómetros se puede consultar en el *Plano 3*.

## 2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Para realizar la caracterización geotécnica del terreno atravesado por las investigaciones, se han realizado los ensayos de laboratorio que se incluyen en la siguiente tabla:

**Tabla 6. Ensayos geotécnicos de laboratorio realizados**

Descripción	Cantidad
<b>Identificación y estado</b>	
Granulometría por tamizado	18
Límites de Atterberg	18
Densidad seca del suelo	4
Humedad de un suelo	13
<b>Resistencia y deformabilidad</b>	
Resistencia a compresión simple en suelos	4
Ensayo Triaxial CU con medida de P.I.	1
<b>Ensayos químicos</b>	
Contenido en sulfatos solubles de un suelo	4
Contenido en sales solubles de un suelo	1
Determinación del pH de un suelo	1
Contenido en carbonatos de un suelo	1
Grado de acidez de Baumann-Gully	1
Agresividad del agua al hormigón (EHE)	1

Asimismo, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio sobre los testigos de hormigón extraídos, que se incluyen en la siguiente tabla.

**Tabla 7. Ensayos de laboratorio realizados en hormigón**

Descripción	Cantidad
<b>Resistencia</b>	
Resistencia a compresión simple uniaxial	2
<b>Ensayos petrográficos</b>	
Estudio petrográfico en lámina delgada	2
Difracción por rayos X	1
<b>Químicos</b>	
Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína	2

Las actas de laboratorio se adjuntan en el *Apéndice 4* del presente estudio. En la siguiente tabla se resumen los resultados de laboratorio obtenidos:

Tabla 8. Resumen de ensayos geotécnicos de laboratorio en sondeos

Sondeo	Muestra	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Arenas (%)	Gravas (%)	Fines (%)	LP (%)	IP (%)	Clasificación USCS			RCS	Triaxial	Ensayos químicos			
									Deformación (%)	q <sub>c</sub> (kPa)	c (kPa)	ϕ (°)	Sulfatos solubles en sales sulfato SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/kg)	Contenido en sales solubles (%)	pH	Contenido en carbonatos (%)	Ácido Baumann-Guly (ml/kg)
S-1	MI-1	18,90	-	14,00	63,40	22,60	31,00	24,70	6,30	SM	-	-	-	-	-	-	
S-1	MI-2	8,60	-	34,10	56,40	9,50	NP	NP	SM	8,00	1	-	-	-	-	-	
S-1	MI-3	11,20	2,04	2,27	2,30	55,80	41,90	33,30	21,10	12,20	SC	-	-	-	451,00	-	-
S-2	MI-1	8,80	1,92	2,09	15,00	62,90	22,10	31,00	18,90	12,10	SC	-	-	-	-	-	-
S-2	MI-2	13,20	-	23,70	54,50	21,80	37,30	19,80	17,50	SC	-	-	-	-	-	-	-
S-2	MI-3	15,10	1,91	2,20	10,60	67,40	22,00	30,30	20,70	9,60	SC	12,00	2	-	375,00	1,40	8,05
S-3	MI-1	14,70	-	5,00	59,40	35,60	37,30	23,30	14,00	SC	-	-	-	-	-	-	-
S-3	MI-2	16,60	-	15,60	62,60	21,80	32,60	20,40	12,20	SC	-	-	-	-	-	-	-
S-3	MI-3	14,30	-	21,00	66,90	12,10	30,00	21,50	8,50	SC	18,00	1	-	-	-	-	-
S-3	SPT-3	12,20	-	15,70	66,20	18,10	NP	NP	SM	-	-	-	-	-	-	-	-
S-4	MI-1	9,90	-	13,50	61,40	25,10	40,20	20,20	20,00	SC	-	-	-	386,00	-	-	-

Sondeo	Muestra	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )		Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )		Arenas (%)	Gravas (%)	LP (%)	IP (%)	Clasificación USCS			Deformación (%)	c (kPa)	φ (°)	Sulfatos solubles en sales sulfatadas (mg/kg)	Contenido en sales sulfatadas (%)	pH	Ensayos químicos		
		Humedad (%)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	NP	NP					SM	SM	NP									
S-4	MI-2	9,50	-	8,40	78,00	13,60	NP	NP	NP	5,00	1	-	-	-	-	-	-	-			
S-4	MI-3	12,20	1,83	2,05	17,70	70,50	11,80	NP	NP	NP	SM	-	-	-	-	-	-	-			
S-5	MB-1	-	-	13,10	60,00	26,90	36,50	20,70	15,80	SC	-	-	-	-	-	-	-	-			
S-5	MB-2	-	-	8,40	62,80	28,80	35,40	20,60	14,80	SC	-	-	-	-	-	-	-	-			
S-6	MI-1	11,70	-	14,30	60,30	25,40	37,00	20,90	16,10	SC	-	-	-	-	-	-	-	-			
S-6	MI-2	13,30	-	14,60	58,70	26,70	31,00	17,70	13,30	SC	-	-	-	-	-	-	-	-			
S-6	MI-3	-	-	9,70	72,00	18,30	NP	NP	NP	SM	-	-	CU	6,00	37,98	-	-	-			

**Tabla 9. Resumen de ensayos químicos realizados en muestras de agua del sondeo S-2**

Parámetro	Resultado
pH	6,74
Magnesio $Mg^{2+}$ (mg/l)	35,0
Amonio $NH_4^+$ (mg/l)	2,0
Sulfato $SO_4^{2-}$ (mg/l)	65
Dióxido libre $CO_2$ (mg/l)	20,3
Residuo seco (mg/l)	575

**Tabla 10. Resumen de ensayos de resistencia sobre testigos de hormigón**

Testigo	Resistencia a compresión simple uniaxial (MPa)
T1	18,27
T2	23,62

### 3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y GEOLÓGICA

#### 3.1. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

El depósito de Tres Cantos tiene forma rectangular y, en su interior se divide en dos subdepósitos.

Estos subdepósitos, se ejecutaron con muros perimetrales de hormigón, de distinta geometría (según zona), pilares circulares interiores de hormigón armado en una cuadrícula aproximada de 4,40 m de lado, y cerrado con bóvedas de hormigón armado entre alineaciones de pilares, que permite el tránsito de personas por su cubierta, no así de maquinaria pesada.

Conforme la información extraída de los planos facilitados, existen dos tipologías supuestas de muros perimetrales, los cuales se ilustran en la siguiente figura.

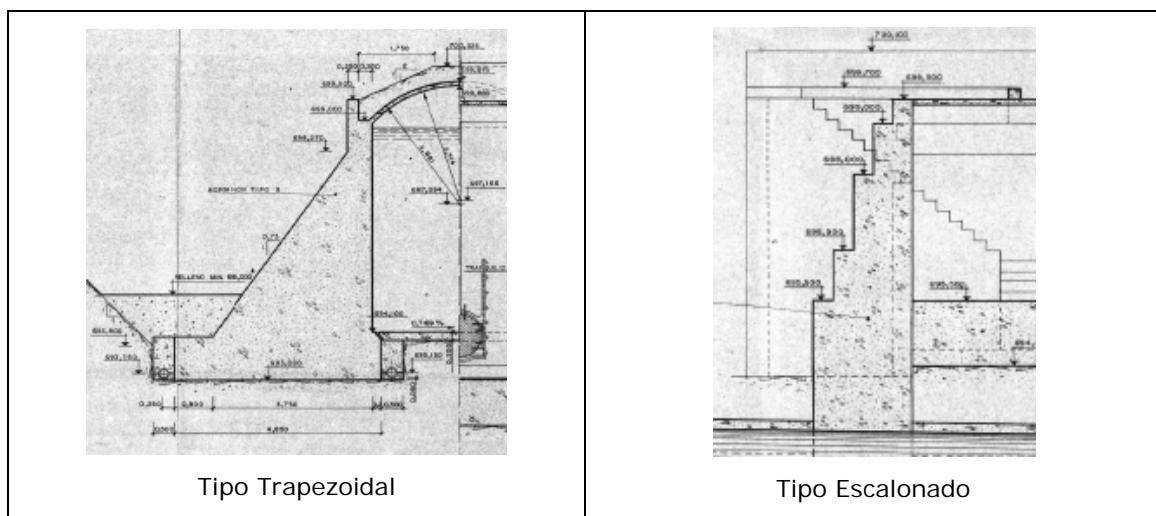


Fig. 6: Tipología de proyecto de muros perimetrales depósito

Gracias a las investigaciones realizadas específicamente para conocer la geometría de los muros norte y este, se ha comprobado que estos dos muros presentan una tipología trapezoidal con inclinaciones del trasdós de unos 50°. Las cotas de cimentación determinadas para estos dos muros a partir de las investigaciones son la 692,5 para el muro norte y la 689,3 para el muro este.

Con ocasión de la obra de construcción del parque, el nivel de rellenos en el lado del trasdós ha subido hasta la cota 698-699, causando un incremento de empujes importante sobre el muro y que puede haber sido una causa

coadyuvante a las patologías observadas en forma de grietas y fisuras subparalelas en el lado del trasdós.

### 3.2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

#### 3.2.1. Geología local

Geológicamente, la zona de estudio se encuentra situada sobre los rellenos de la zona norte de la Cuenca de Madrid.

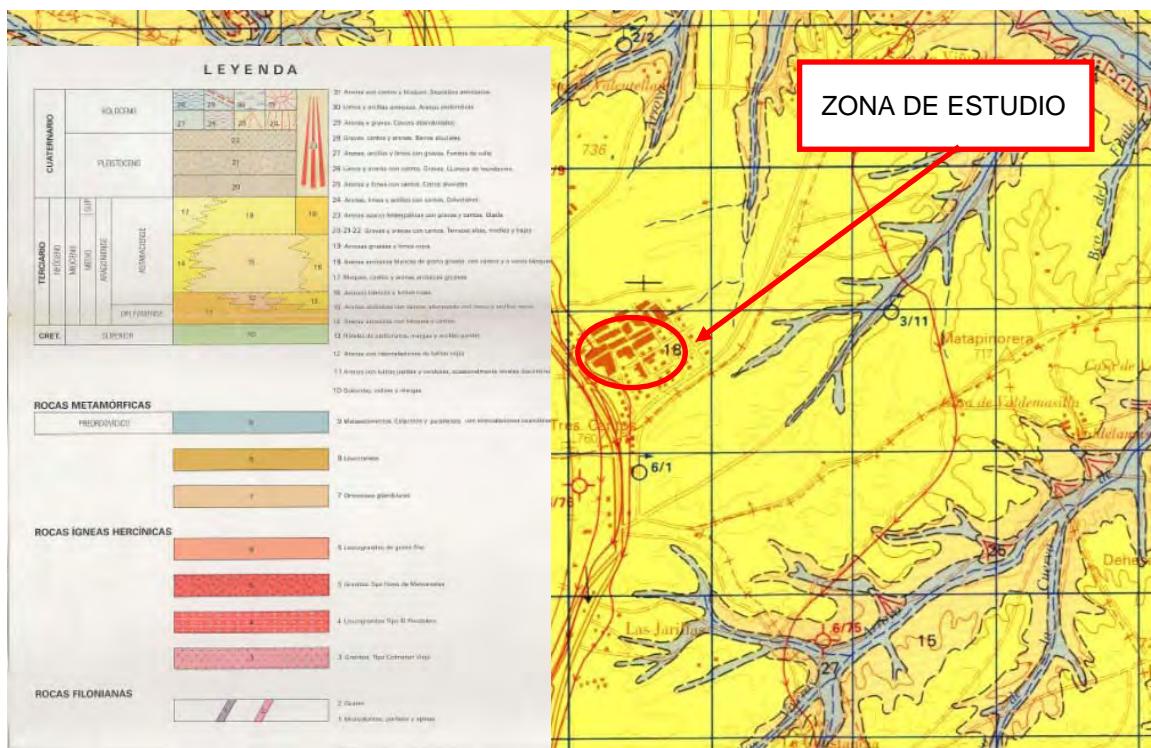


Fig. 7: Situación de la zona de estudio. Fuente: Mapa Geológico de España (MAGNA) a escala 1:50.000, nº 534 (Colmenar Viejo).

Como se puede observar en la figura anterior, la parcela objeto de estudio se encuentra situada sobre las arenas arcósicas blancas de grano grueso, con cantos y a veces bloques (Ref. 18) del Mioceno, Terciario. Según la nomenclatura geotécnica tradicional empleada en el ámbito de la Comunidad de Madrid esta unidad corresponde a la Arena de migas.

#### 3.2.2. Hidrogeología

Desde el punto de vista hidrogeológico, la parcela objeto de estudio se encuentra situada sobre el acuífero terciario constituido por los materiales detríticos de la facies Madrid.

Se clasifican como acuíferos de permeabilidad primaria por porosidad intergranular.

### 3.2.3. Geomorfología

La parcela objeto de estudio es morfológicamente llana y se encuentra en una zona ligeramente deprimida. Al estar ubicada en un parque, su morfología plana se debe a su naturaleza antrópica.

Los materiales que rodean el depósito son en su mayoría procedentes de rellenos que llegan a superar la coronación de los muros perimetrales del mismo.



*Fotografía 5: Perspectiva del camino circundante al depósito*

#### 4. SISMICIDAD

Para la consideración de la acción sísmica de las futuras construcciones de esta zona se ha utilizado la Norma de Construcción Sismorresistente (Parte General y Edificación) NCSE-02 publicada en el B.O.E. el 11 de Octubre de 2002.

Las construcciones se clasifican de acuerdo al uso al que se destinan. Para este caso las instalaciones se consideran de especial importancia.

Según el mapa de peligrosidad sísmica de esta Norma, en el Término Municipal de Tres Cantos la aceleración sísmica básica es inferior a 0,04 g.

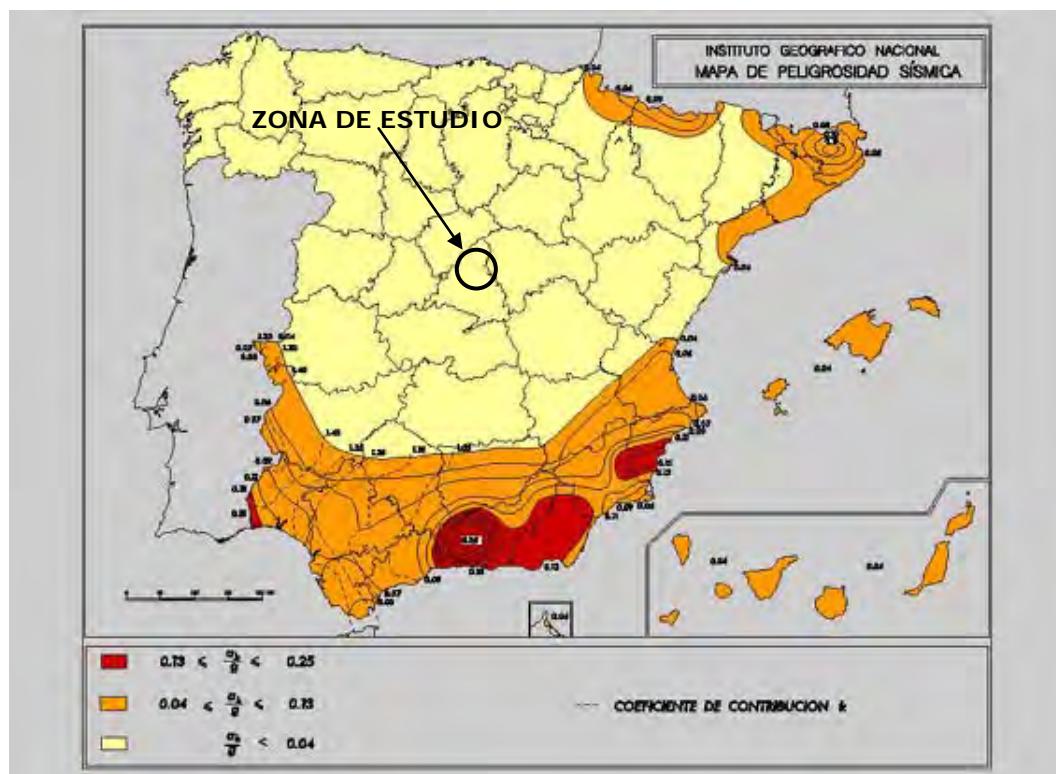


Fig. 8: Mapa de peligrosidad sísmica

Según lo anterior, no es de obligado cumplimiento la citada Norma, debido al valor inferior a 0,04 de la aceleración básica en la zona de estudio.

## 5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

### 5.1. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES

Los datos proporcionados por las investigaciones realizadas, así como los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras tomadas en el sondeo han permitido realizar una caracterización geotécnica de los materiales.

En el área de estudio se pueden distinguir las siguientes unidades geotécnicas:

- **UG-R:** Rellenos del trasdós de los muros del depósito. Estos rellenos rodean totalmente al depósito y proceden tanto de la construcción original como de los diversos rellenos generados durante la construcción del parque y del lago artificial. Parte de este material procede muy probablemente de las excavaciones del depósito.
- **UG-Am:** Arena de miga. Se trata de arenas arcósicas con algo de matriz arcillosa. Sobre esta unidad se construyó el depósito de Tres Cantos.

A continuación se realiza la descripción y caracterización geotécnica de cada una de estas unidades:

#### 5.1.1. UG-R: Rellenos del trasdós de los muros del depósito

Los rellenos detectados por las distintas investigaciones, en general, poseen espesores en torno a 8-9 m.

Los rellenos están formados principalmente por los mismos materiales presentes en la parcela objeto de estudio ya que es probable que, gran parte de ellos, provenga de la excavación del depósito. En ocasiones, contienen restos antrópicos dispersos.

Su compactación es variable, tal y como ha mostrado los resultados de los ensayos SPT realizados en los sondeos, que muestran zonas muy compactadas alternando con otras pobemente compactadas.

Están formados por arenas arcósicas con algo de matriz arcillosa e incluyen restos antrópicos y, en ocasiones, bolos de granito.

## Identificación y estado

Se cuenta con doce (11) ensayos de granulometría por tamizado en muestras tomadas en los sondeos realizados. El pasante medio por el tamiz 200 (tamaños inferiores a 0,08 mm) ha sido del 24,85%. Por su parte, el contenido medio de arenas y gravas ha sido de 62,18 y 13,24% respectivamente.

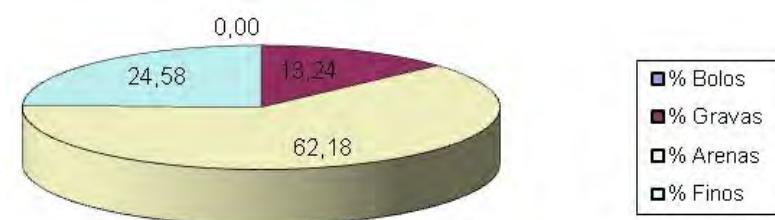


Fig. 9: Distribución de la granulometría de la UG-R

El análisis de los Límites de Atterberg realizados sobre la fracción de finos de las muestras indica que las muestras analizadas presentan una plasticidad media-baja con valores medios de  $L.L. = 34,9 \pm 3\%$ ,  $L.P. = 20,7 \pm 3\%$ ; e  $I.P. = 14,2 \pm 4\%$ .

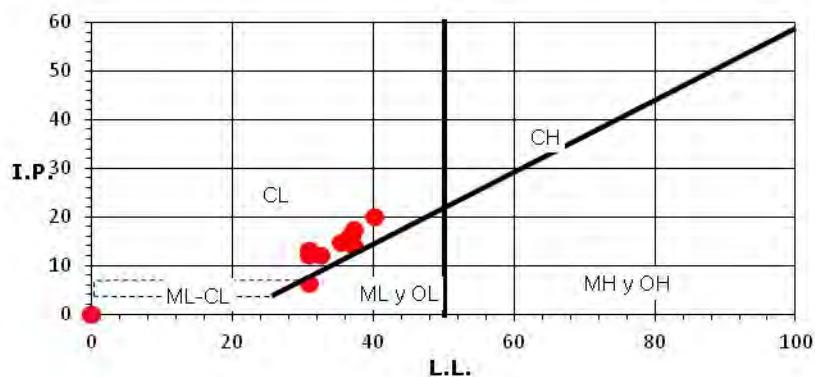


Fig. 10: Gráfico de Casagrande para los Límites de Atterberg de la UG-R

Según el sistema unificado de clasificación de suelos USCS, las muestras se clasifican como SM (Arenas limosas) y SC (Arenas limosas, mezcla de arena, grava y limo de baja plasticidad). Las 11 muestras ensayadas se distribuyen de la siguiente manera:

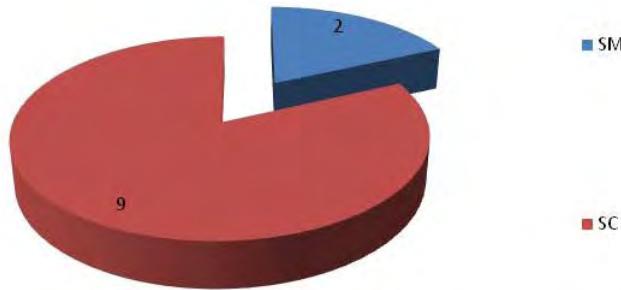


Fig. 11: Distribución de las muestras en función de la clasificación USCS

Se dispone de nueve (9) ensayos de humedad natural y de dos (2) ensayos de densidad seca y aparente. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 11. Resultados de ensayos de estado, UG-R**

	W (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{ap}$ (kN/m <sup>3</sup> )
Promedio	<b>12,96</b>	<b>1,84</b>	<b>2,01</b>
Desviación	3,39	0,12	0,12
Mínimo	8,80	1,75	1,93
Máximo	18,90	1,92	2,09

## Resistencia y deformabilidad

### COMPRESIÓN SIMPLE

Se ha realizado un (1) ensayo de resistencia a compresión simple. El resultado obtenido se recoge en la siguiente tabla:

**Tabla 12. Valores de resistencia a compresión simple, UG-R**

$q_u$ (kPa)	Deformación (%)
5,0	1

Como se puede observar, la resistencia obtenida en la muestra ensayada es muy baja, lo que indica la escasa cohesión que aporta la fracción fina y que habrá influido en unos resultados excesivamente bajos que no son representativos de la resistencia real del material, al estar éste realmente confinado. Esto se confirma con los resultados de los ensayos SPT, que son más altos que lo que le correspondería a esta resistencia.

#### ENSAYOS SPT

Se dispone del golpeo obtenido en nueve (9) ensayos SPT realizados en los distintos sondeos. Los golpeos han oscilado entre 3 y 59. Estos golpeos se han representado según su profundidad:

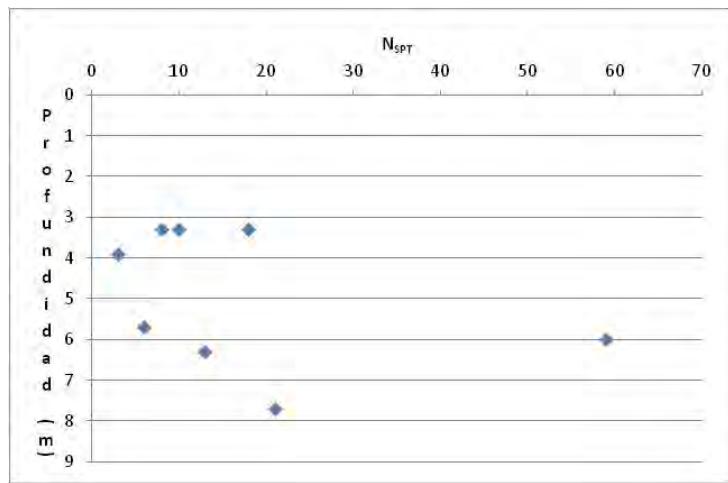


Fig. 12: Distribución de los valores de  $N_{SPT}$  con la profundidad. Unidad UG-R

Si se eliminan los dos valores mayores, que parecen corresponder a zonas puntuales algo más compactadas o a la presencia de algún bloque aislado, el golpeo promedio es de, aproximadamente,  $N_{SPT} = 17$ . Esto indicaría una compacidad media.

Los golpeos se han corregido por tensión efectiva a la cota de la realización del ensayo mediante las expresiones de Peck (1974), obteniéndose valores de  $(N_1)_{60}$  corregidos comprendidos entre 3 y 53. En la siguiente tabla se puede observar la corrección realizada.

**Tabla 13. Correcciones de  $N_{SPT}$  por tensión efectiva**

Sondeo	Muestra	Prof. media (m)	$N_{SPT}$	Tensión efectiva (kPa)	$C_N$	$(N_1)_{60}$
S-1	SPT-1	3,3	18	62,7	1,1	20
S-2	SPT-1	3,3	18	62,7	1,1	20
S-2	SPT-2	5,7	6	108,3	1	6
S-3	SPT-1	3,9	3	74,1	1,1	3
S-3	SPT-2	7,7	21	146,3	0,9	19
S-4	SPT-1	3,3	10	62,7	1,1	11
S-4	SPT-2	5,995	59	113,905	0,9	53
S-6	SPT-1	3,3	8	62,7	1,1	9
S-6	SPT-2	6,3	13	119,7	0,9	12

De esta forma, el golpeo promedio corregido es igual a  $(N_1)_{60} = 17$ .

Al tratarse en general de materiales granulares ya que se ha comprobado que la cohesión no tiene mucha influencia, se ha procedido a relacionar los golpeos,  $N_{SPT}$ , con el ángulo de rozamiento efectivo ( $\phi'$ ) empleando la corrección propuesta por Peck et al. (1974), representada en la siguiente figura:

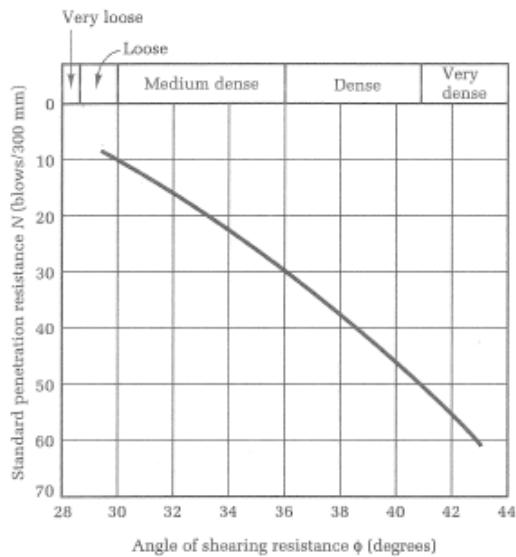


Fig. 13: Gráfica que relaciona el ángulo de rozamiento interno efectivo y densidad relativa con el golpeo del SPT, Peck et al (1974).

Para un golpeo medio de  $N_{SPT} = 17$ , los materiales se englobarían dentro de una compacidad medianamente densa, con ángulos de rozamiento del orden de  $\phi' = 33^\circ$ .

La cohesión se considera despreciable y, debido a su mayor componente arenosa no se ha considerado adecuado considerar resistencia al corte sin drenaje ( $c_u$ ).

#### DEFORMABILIDAD

La determinación de la deformabilidad para esta unidad geotécnica se efectúa a partir de correlaciones con los ensayos SPT efectuados. Así, a continuación, se han empleado otras correlaciones definidas para arenas y arenas limosas en las que se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 14. Correlaciones de  $(N_1)_{60}$  con módulo de deformación

Autor	Expresión	$E$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
Beguemann (1974)	$E = 40 + 12 \cdot ((N_1)_{60} - 6) \text{ kg}/\text{cm}^2$	$(N_1)_{60} = 17 \rightarrow 172$
Stroud (1989)	$E' = 1 \cdot (N_1)_{60} \text{ MPa}$	$(N_1)_{60} = 17 \rightarrow 170$

A partir de estas correlaciones el valor que se propone para el módulo de deformación es  $E' = 17,0 \text{ MPa} (170 \text{ kg/cm}^2)$

### Ensayos químicos

Se ha realizado un (1) ensayo de determinación del contenido en sulfatos en una muestra de esta unidad. El ensayo realizado ha arrojado un resultado de 386,00 mg/kg, que lo clasifica como de **Ataque débil** según la EHE 2008.

#### 5.1.2. UG-Am: Arena de miga con intercalaciones tosquizas

Los materiales de la presente unidad corresponden con arenas arcósicas con algo de matriz arcillosa. Como se ha indicado anteriormente, se engloban dentro de la unidad de Arenas de miga de Madrid, según la nomenclatura más tradicional.

Incluye, además, pasadas de niveles tosquizos caracterizadas por un mayor contenido en arcillas.

Es en esta unidad sobre la que se ha construido el depósito de Tres Cantos y de la cual proceden gran parte de los rellenos perimetrales del depósito.

A continuación se describen sus características a partir de los resultados de los ensayos de laboratorio y de las investigaciones de campo.

#### Identificación y estado:

Se cuenta con siete (7) ensayos de granulometría por tamizado. El pasante medio por el tamiz 200 (tamaños inferiores a 0,08 mm) ha sido del 19,10%. Por su parte, el contenido medio de arenas y gravas ha sido de 65,03 y 15,87% respectivamente. Los contenidos de cada fracción se recogen en la siguiente figura:



Fig. 14: Distribución de la granulometría de la UG-Am

La distribución de las curvas granulométricas se puede observar en la siguiente figura:

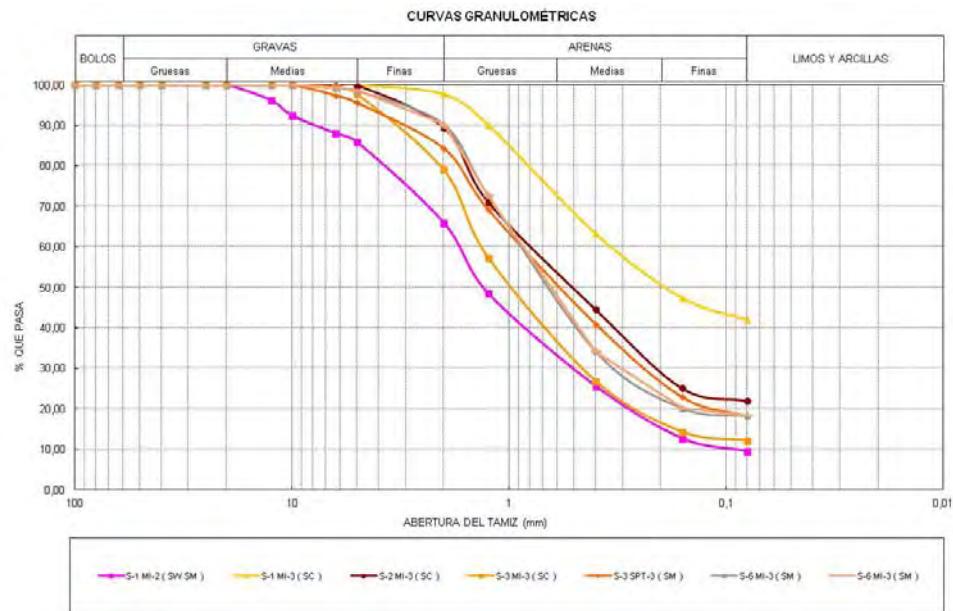


Fig. 15: Curvas granulométricas Unidad geotécnica UG-Am

El análisis de los Límites de Atterberg realizados sobre la fracción de finos de las muestras indica que las muestras analizadas presentan una plasticidad media-baja con valores medios de  $L.L. = 31,2 \pm 2\%$ ,  $L.P. = 21,1 \pm 1\%$ ; e  $I.P. = 10,1 \pm 2\%$ . Hay que indicar que de las 6 muestras ensayadas, 3 han resultado No Plásticas.

Atendiendo al gráfico de Casagrande, para la clasificación de los finos en base a su plasticidad, las muestras analizadas se localizan tal y como se muestra a continuación:

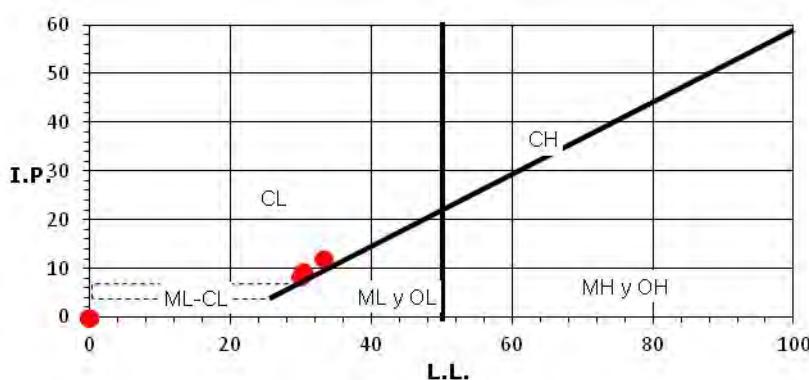


Fig. 16: Gráfico de Casagrande para los Límites de Atterberg de la UG-Am

Según el sistema unificado de clasificación de suelos USCS, tres de las muestras se clasifican como SM (Arenas limosas), otras tres como SC (Arenas limosas, mezcla de arena, grava y limo de baja plasticidad) y una de ellas como SW-SM. Las siete muestras ensayadas se distribuyen de la siguiente manera:

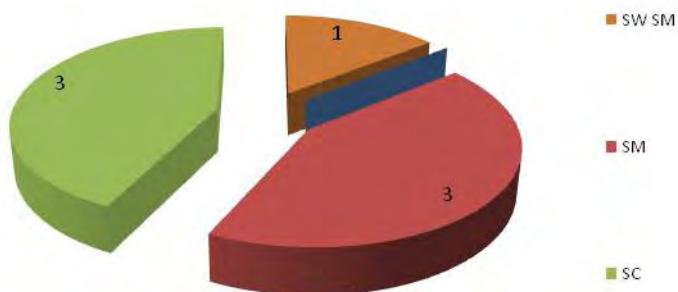


Fig. 17: Distribución de las muestras en función de la clasificación USCS de la unidad UG-Am

Se dispone de seis (6) ensayos de humedad natura y de cuatro (4) ensayos de densidad seca y aparente. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 15. Resultados de ensayos de estado, UG-Am**

	W (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{ap}$ (kN/m <sup>3</sup> )
Promedio	12,27	1,91	2,14
Desviación	2,31	0,10	0,12
Mínimo	8,60	1,80	1,98
Máximo	15,10	2,04	2,27

## Resistencia y deformabilidad

### COMPRESIÓN SIMPLE

Se han realizado un total de tres (3) ensayos de resistencia a compresión simple. Los resultados obtenidos en los ensayos se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 16. Valores de resistencia a compresión simple, UG-Am

	<b>q<sub>u</sub> (kPa)</b>	<b>Deformación (%)</b>
<b>Promedio</b>	<b>12,67</b>	<b>1,5</b>
Desviación	5,03	0,5
Mínimo	8,00	1
Máximo	18,00	2

Al igual que en la unidad anterior, la resistencia obtenida en las muestras ensayadas es muy baja, lo que indica la escasa cohesión que aporta la fracción fina y que habrá influido en unos resultados excesivamente bajos que no son representativos de la resistencia real del material, al estar éste realmente confinado. Esto se confirma con los resultados de los ensayos SPT, que son más altos que lo que le correspondería a esta resistencia, como se observa en el siguiente apartado.

Además, las roturas del ensayo triaxial, el cual se ha realizado con tensiones de confinamiento similares a las que existirán bajo la zapata del muro, ha aportado resistencias de rotura de entre 548 a 1.504 kPa, aumentando con el confinamiento y coincidiendo con lo que es esperable a partir de los ensayos in situ SPT.

#### ENSAYOS SPT

Se dispone del golpeo obtenido en seis (6) ensayos SPT realizados en los distintos sondeos. Los golpeos han oscilado entre 43 y rechazo. Estos golpeos se han representado según su profundidad:

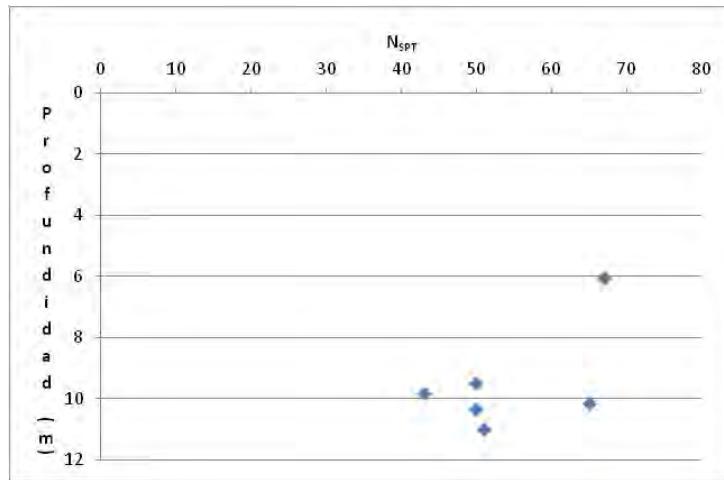


Fig. 18: Distribución de los valores de  $N_{SPT}$  con la profundidad. Unidad UG-Am

El golpeo promedio es de, aproximadamente,  $N_{SPT} = 50$ . Esto indicaría una compacidad muy densa.

Los golpeos se han corregido por tensión efectiva a la cota de la realización del ensayo mediante las expresiones de Peck (1974), obteniéndose valores de  $(N_1)_{60}$  corregidos comprendidos entre 36 y 60. En la siguiente tabla se puede observar la corrección realizada.

Tabla 17. Correcciones de  $N_{SPT}$  por tensión efectiva en la unidad UG-Am

Sondeo	Muestra	Prof. media (m)	$N_{SPT}$	Tensión efectiva (kPa)	$C_N$	$(N_1)_{60}$
S-1	SPT-2	6,045	67	114,855	0,9	60
S-1	SPT-3	10,34	50	196,46	0,8	40
S-2	SPT-3	9,83	43	150,47	0,9	39
S-3	SPT-3	11	51	209	0,7	36
S-4	SPT-3	9,5	50	180,5	0,8	40
S-6	SPT-3	10,18	65	193,42	0,8	52

De esta forma, el golpeo promedio corregido es igual a  $(N_1)_{60} = 45$ .

Al tratarse en general de materiales granulares ya que se ha comprobado que la cohesión no tiene mucha influencia, se ha procedido a relacionar los golpeos,  $N_{SPT}$ , con el ángulo de rozamiento efectivo empleando la correlación propuesta por Peck et al. (1974) indicada en la fig. 7. Para un golpeo medio de

**N<sub>SPT</sub> = 50**, los materiales se englobarían dentro de una compacidad muy densa, con ángulos de rozamiento del orden de  $\phi' = 40^\circ$ .

### RESISTENCIA AL CORTE

Se ha realizado un (1) ensayo triaxial tipo CU con medida de las presiones intersticiales sobre una de las muestras inalteradas. Los valores obtenidos han sido:

$$c' = 6 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 38^\circ$$

Estos valores son coherentes con los obtenidos a partir de los golpeos del ensayo SPT.

Por otra parte, dado que la fracción fina apenas aporta cohesión a esta unidad, no se ha considerado resistencia al corte sin drenaje ( $c_u$ ).

### DEFORMABILIDAD

La determinación de la deformabilidad para esta unidad geotécnica se efectúa a partir de correlaciones con los ensayos SPT efectuados. Así, se han empleado las mismas correlaciones indicadas en la unidad geotécnica anterior:

**Tabla 18. Correlaciones de  $(N_1)_{60}$  con módulo de deformación**

Autor	Expresión	E (kg/cm <sup>2</sup> )
Beguemann (1974)	$E = 40 + 12 \cdot ((N_1)_{60} - 6) \text{ kg/cm}^2$	$(N_1)_{60} = 45 \rightarrow 508$
Stroud (1989)	$E' = 1 \cdot (N_1)_{60} \text{ MPa}$	$(N_1)_{60} = 45 \rightarrow 450$

A partir de estas correlaciones el valor que se propone para el módulo de deformación es  $E' = 45,0 \text{ MPa}$  ( $450 \text{ kg/cm}^2$ )

### Ensayos químicos

Se han realizado una serie de ensayos químicos orientados a determinar el grado de agresividad del suelo. Los ensayos realizados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 19. Resultados de ensayos químicos, UG-Am

	Sulfatos sol. ( $\text{SO}_4^{2-}$ mg/Kg)	Contenido en sales solubles (%)	pH	Contenido en carbonatos (%)	Acidez Baumann-Gully (ml/kg)
<b>Promedio</b>	<b>413,00</b>	<b>1,40</b>	<b>8,02</b>	<b>11,2</b>	<b>10,2</b>
Desviación	53,74	-	-	-	-
Mínimo	375,00	-	-	-	-
Máximo	451,00	-	-	-	-

Según los resultados de estos ensayos, los suelos de la UG-Am presentan, en conjunto, una **agresividad nula** frente al hormigón según la EHE-08.

## 5.2. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS REPRESENTATIVOS

Tras la caracterización realizada con los datos obtenidos en la campaña geotécnica, se consideran adecuados los siguientes parámetros geotécnicos como representativos de las unidades definidas. En la siguiente tabla se aportan datos de la identificación y estado de los materiales que son homogéneos para todo el entorno del depósito, los parámetros del Criterio de rotura según Mohr Coulomb y el modelo constitutivo a partir del Módulo de deformación elástico y el coeficiente de Poisson.

**Tabla 20. Tabla resumen de parámetros geotécnicos de las distintas unidades**

U.G.	% pasa 0,08 mm	W <sub>nat</sub> (%)	γ <sub>ap</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	L.L. (%)	I.P. (%)	c'	φ'	E' (MPa)	ν	N <sub>SPT</sub>
UG-R	24,6	13,0	20,1	31,8	12,9	0	33	17,0	0,30	17
UG-Am	19,1	12,3	21,4	31,2	10,1	6	38	45,0	0,3	50

Para la evaluación de los empujes de tierras sobre los muros, se proporcionan, en la siguiente tabla, los parámetros necesarios para su determinación:

**Tabla 21. Tabla resumen de parámetros geotécnicos para muros**

U.G	K <sub>o</sub>	δ (°)	K <sub>a</sub>	K <sub>p</sub>
UG-R	0,46	22,0	0,29	3,39
UG-Am	0,38	25,3	0,17	5,83

## 5.3. AGRESIVIDAD DEL AGUA AL HORMIGÓN

Se ha realizado un ensayo completo de agua extraída del sondeo S-2, para el análisis completo al hormigón, según EHE 2008.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 22. Agresividad del agua al hormigón**

Parámetro	Resultado
pH	6,74
Magnesio $Mg^{2+}$ (mg/l)	35,0
Amonio $NH_4^+$ (mg/l)	2,0
Sulfato $SO_4^{2-}$ (mg/l)	65
Dióxido libre $CO_2$ (mg/l)	20,3
Residuo seco (mg/l)	575
<b>AGRESIVIDAD</b>	<b>DÉBIL</b>

A partir de los datos obtenidos, se obtiene que el agua tiene un grado de **AGRESIVIDAD DÉBIL** al hormigón, debido al contenido de dióxido carbono libre.

## 6. INSPECCIÓN Y ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DEL DEPÓSITO

### 6.1. ANTECEDENTES

Inicialmente y en su origen, dicho depósito se proyectó y construyó como construcción sobre rasante. Asimismo, en análisis y estudios posteriores, se observaron indicios que hacían pensar que el depósito no se correspondía exactamente con los planos disponibles. Especialmente, se detectó que la dirección de las bóvedas estaba construida en dirección perpendicular a la prevista, el edificio de control estaba situado en distinta posición, y que la división de los dos compartimentos del depósito se situaba transversalmente al depósito.

Por otro lado, había dudas razonables sobre la tipología de los muros perimetrales construida y su relación con los planos. Esto no se pudo comprobar mediante en estudio *in visu*, debido a que debido al cambio del uso del terreno perimetral, no era posible inspección directa.

A partir de la construcción del parque y el cambio de uso del terreno circundante, el depósito pasó de estar situado sobre rasante a estar enterrado, cambiando el tipo de solicitudes existentes en los muros a modos no previstos en el proyecto.

A partir de entonces, se ha venido detectando en los muros una serie de fisuras transversales, con signos de infiltraciones que hacían pensar que el muro estaba perdiendo capacidad portante, debido a las nuevas solicitudes no previstas. Igualmente, se detectó el mal estado de conservación de las juntas constructivas. En la siguiente figura se ilustra el tipo de fisuras detectadas:

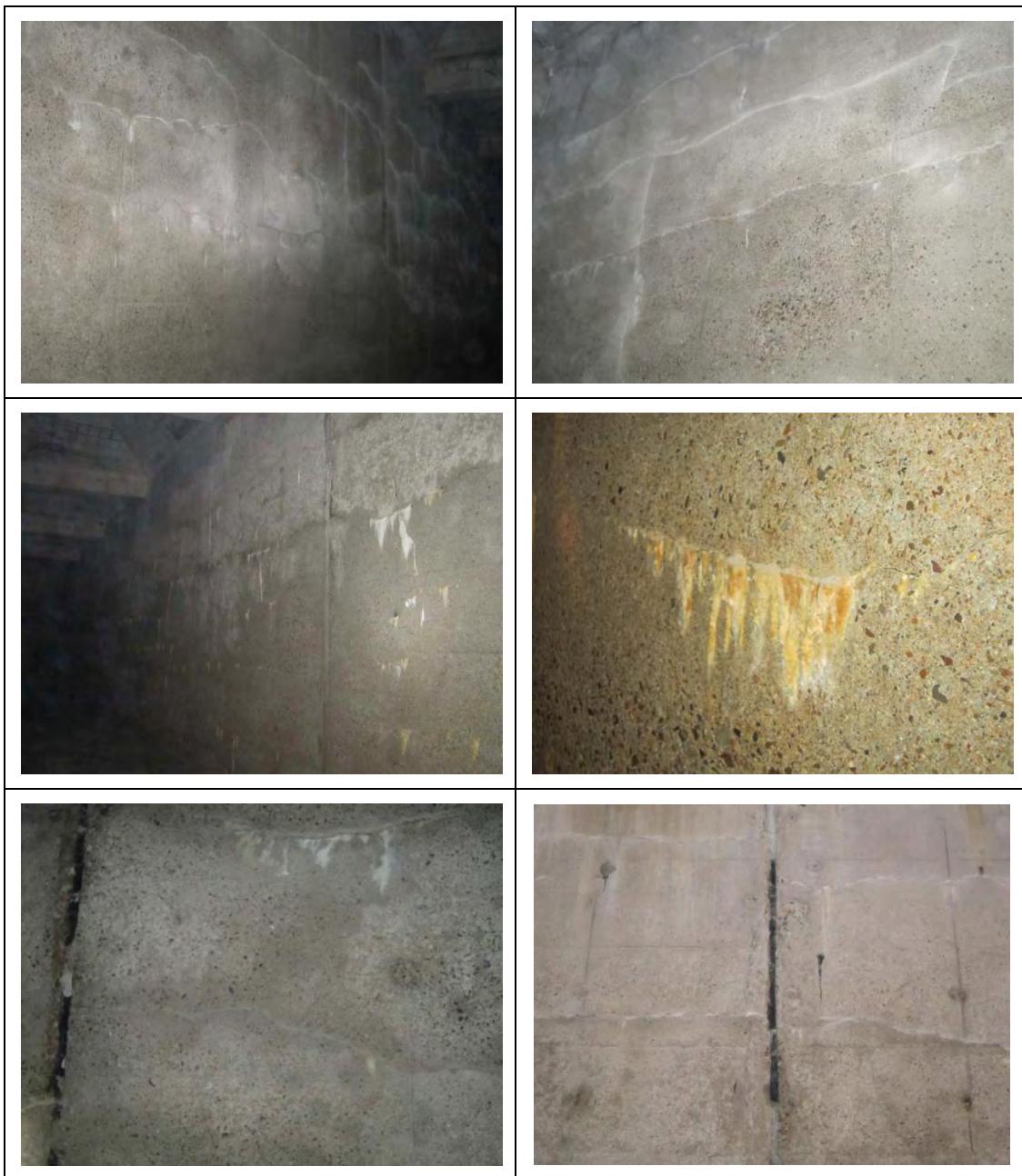


Fig. 19: Fisuras y estado junta constructiva de muros perimetrales. Depósito enterrado

Por tanto, se ha realizado una inspección detallada del depósito, para que en una fase posterior, los proyectistas, determinen el grado de seguridad del depósito y, en su caso, propongan las medidas correctoras necesarias para el mantenimiento de su uso actual.

## 6.2. OBJETO

A petición de Canal de Isabel II, el día 9 de Octubre de 2013, dos técnicos de Orbis se desplazaron al depósito de Tres Cantos. En esta visita, se realizó una inspección visual de sus muros perimetrales, por el interior del mismo. En el momento de la inspección de los dos compartimentos independientes existentes únicamente se pudo entrar en el “Compartimiento 1”, el cual estaba completamente vacío, ya que el “Compartimento 2” tenía un nivel de agua de 3,6 m, lo que hacía imposible su inspección.

Estos trabajos, sirven como complemento a los estudios geofísicos realizados (georadar y tomografía eléctrica) y al estudio geotécnico.

Posteriormente, para completar este estudio se realizaron dos perforaciones con extracción de testigo en el muro perimetral de hormigón, de cara a realizar ensayos de laboratorio.

## 6.3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Debido a que el depósito estaba cubierto por las bóvedas, y además, carecía de iluminación fija propia, se utilizaron una serie de linternas para iluminar las zonas inspeccionadas.

Se realizó un recorrido a pie por el interior del compartimento y a lo largo de los muros perimetrales, iluminando tanto dichos muros, como las bóvedas, vigas y pilares perimetrales. Asimismo, se fueron tomando fotografías puntuales de las patologías y modificaciones más importantes detectadas durante el recorrido, con las cuales se ha realizado el reportaje fotográfico incluido en el apéndice 3.

Finalmente, estas modificaciones y patologías han sido plasmadas en el esquema en planta del depósito, incluido en el Plano 2.

## 6.4. MODIFICACIONES Y PATOLOGÍAS DETECTADAS

En la siguiente tabla se detalla las modificaciones y patologías detectadas en el depósito.

Además, se incluye un reportaje fotográfico de las patologías detectadas en el depósito y en el edificio de bombas en el Apéndice 3.

**Tabla 23: Resumen de modificaciones y patologías detectadas**

ELEMENTO	PATOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	ESTADO ACTUAL	FOTOGRAFÍA
Bóveda	Si	<p>1) Fisuras transversales a dirección de bóveda generalizadas. Presencia de humedad y raíces.</p> <p>2) Armado visto y con signos muy avanzados de corrosión.</p>	Sin reparar	
Pilares	Si	<p>1) Desagregado de árido fino del hormigón en la superficie del pilar, por debajo de la zona inundable.</p> <p>2) Signos puntuales y aislados de corrosión de armadura.</p> <p>3) Porosidad superficial</p>	Sin reparar	

	
<p>Muro longitudinal</p> <p>No</p> <p>Berma de hormigón en intradós de muro, de unos 2,0 m de altura.</p> <p>No se detectan fisuras, buen estado general.</p>	<p>Muro transversal</p> <p>Si</p> <p>Fisuras subhorizontales antiguas, con signos de humedad y precipitados de sales en intradós de hormigón</p> <p>Impermeabilizado el intradós y tratado de juntas constructivas</p>

## 6.5. ANÁLISIS DEL MURO DE HORMIGÓN

Para el estudio del estado actual del muro perimetral de hormigón se perforaron dos taladros con extracción de testigo, sobre los cuales se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Dos (2) ensayos de resistencia a compresión uniaxial
- Dos (2) ensayos de carbonatación con fenolftaleína
- Dos (2) estudios petrográficos en lámina delgada
- Un (1) ensayo de difracción por rayos X.

En los siguientes párrafos se analiza los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

### **RESISTENCIA**

En la siguiente tabla se incluye los resultados obtenidos de los ensayos a compresión simple uniaxial realizados sobre los testigos extraídos.

**Tabla 24. Resultados obtenidos de ensayos de resistencia sobre testigos de hormigón**

Testigo	Resistencia a compresión simple uniaxial (MPa)
T1	18,27
T2	23,62

En la siguiente figura se ilustra el tipo de rotura obtenida en cada uno de ellos.



Fig. 20: Rotura obtenida en los ensayos de compresión del hormigón

Los testigos extraídos mostraban un aspecto sano, sin fisuras visibles, homogeneidad en el reparto de árido junto con la pasta de hormigón. Asimismo, el tipo de rotura obtenida, es una rotura característica de este tipo de material y probetas, por lo que se puede concluir que los resultados obtenidos son representativos de la resistencia del hormigón.

Según los planos del proyecto inicial, el hormigón de estos muros es de "Tipo B", si bien no se dispone de un cuadro de materiales para verificar cual era la resistencia solicitada en este documento y compárala con los resultados de laboratorio obtenidos.

### **PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN**

Para determinar la profundidad de carbonatación del hormigón, se ha realizado un ensayo en cada testigo utilizando el método de la fenolftaleína.

Con este método se mide el pH del hormigón, con el marcador químico anterior, el cual permanece incoloro con valores inferiores a 7, y cambia a color morado con valores superiores.

Al realizarse este ensayo sobre una sección del testigo, se conoce el perfil de avance de la carbonatación, y por tanto su profundidad.

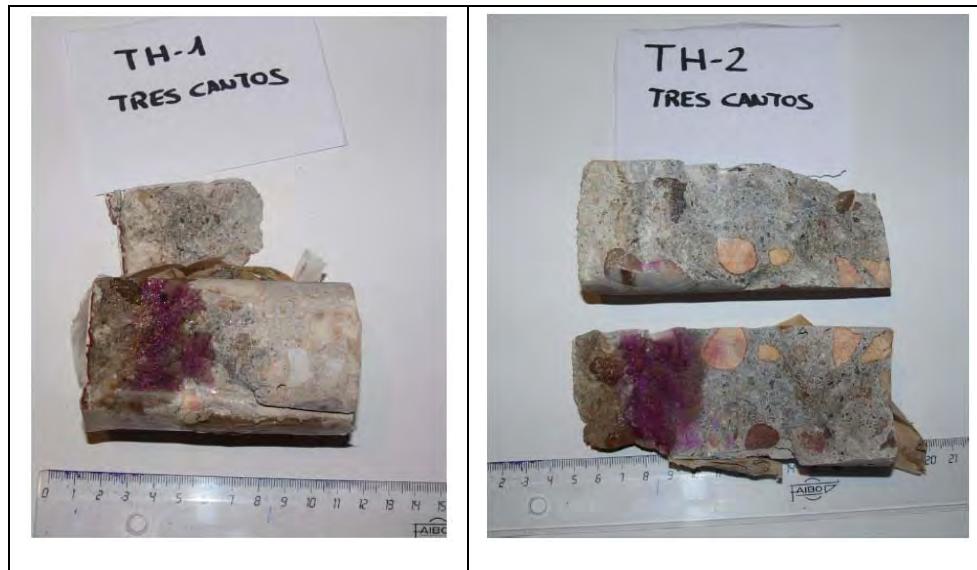


Fig. 21: Análisis de carbonatación en testigos de hormigón

Los resultados de avance de la carbonatación para cada una de las muestras son los siguientes:

- T1: 17 mm
- T2: 25 mm

Estos valores se consideran bajos, más aun teniendo en cuenta la edad del depósito y a que no está expuesto a ambientes de intemperie, con mayores concentraciones de dióxido de carbono, principal motor de la carbonatación, junto con la humedad.

Por otro lado, dado que estos muros están fabricados según parece en hormigón en masa, y no disponen de armadura, este efecto no tiene repercusión práctica en este caso.

Finalmente indicar que, el proceso de la carbonatación lleva ligado un ligero aumento de resistencia superficial, así como una reducción de los poros del hormigón, lo que reduce su permeabilidad.

## **ESTUDIO PETROGRÁFICO CON LÁMINA DELGADA**

Se ha realizado un estudio petrográfico con lámina delgada sobre cada uno de los dos testigos extraídos.

En ambas muestras, se tiene las siguientes similitudes:

- Aspecto compacto y buena distribución árido-pasta.
- Tamaño máximo de árido 20 mm.
- Pasta con aspecto homogéneo y sin fisuración.
- Se observan burbujas dispersas de 2-3 mm.
- No se observa ni presencia de armaduras ni fibras.

En la muestra del testigo T1, que corresponde al muro transversal, anteriormente impermeabilizado se remarca que la pasta de cemento es muy permeable, lo que ha favorecido su alteración superficial.

Por otro lado, en la muestra del testigo T2, que corresponde al muro longitudinal, recrecido en el intradós, se indica que la superficie de exposición original se encuentra alterada, disgregándose los áridos con facilidad. Este muro no ha sido tratado con ningún tipo de pintura impermeabilizante.

En las siguientes figuras se ilustran las muestras analizadas con dos tipos de iluminación.

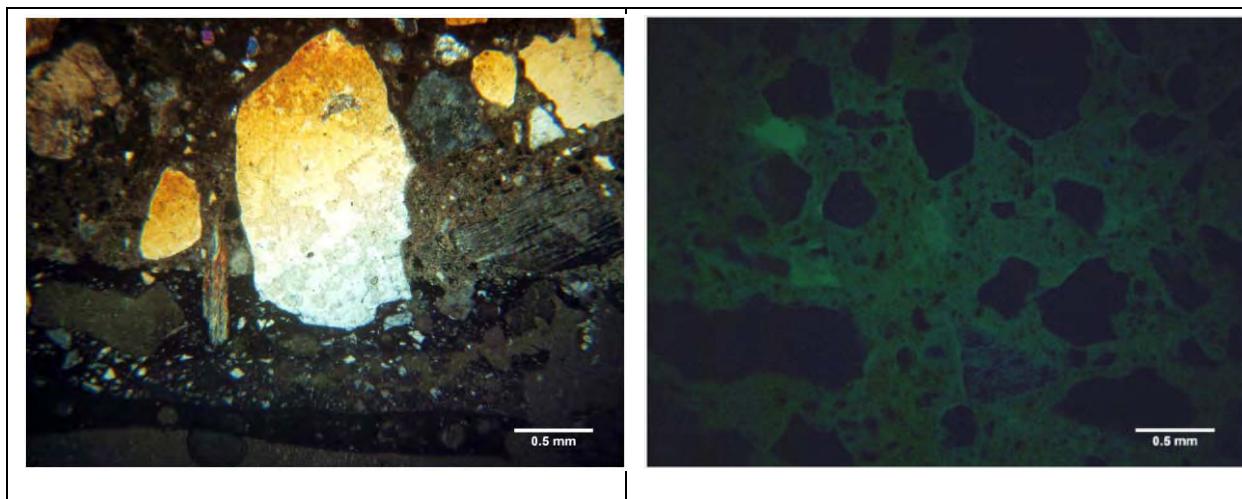


Fig. 22: Imágenes hormigón en análisis petrográfico

## DIFRACCIÓN DE RAYOS X

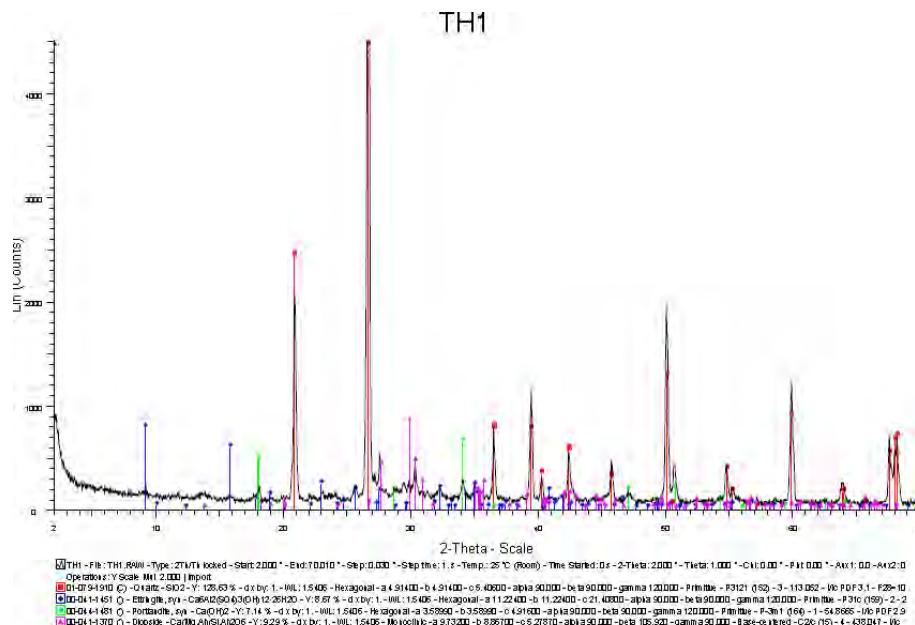
Se ha realizado un ensayo de difracción de rayos X sobre una porción de hormigón del testigo T1, formada principalmente por pasta de cemento, aunque también estaba compuesta por algo de fracción fina del árido.

Se ha detectado cuarzo, que pertenece a la fracción de áridos.

Hay duda entre diópsido y **ortoclasa** ya que sus reflexiones pueden solaparse en algunos puntos, pero conociendo los áridos observados en la lámina delgada queda despejada la duda a favor de la ortoclasa.

En la pasta se ha detectado la presencia de **Portlandita** y de **Ettringita**. No se detecta ni gehlenita, ni jaffeita, ni belita, ni alita. Lo cual nos indica que la hidratación de la pasta ha sido total.

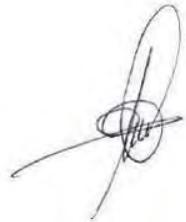
No se detectan minerales extraños que puedan alterar el hormigón.



Este estudio consta de 47 páginas numeradas de la 1 a la 47, cuatro (4) planos y seis (6) apéndices.

4 de Marzo de 2014

Fdo.:



Noé Pastrana

Ingeniero de Minas



José Alberto López Chinarro

Ingeniero Geólogo

*Este informe es propiedad intelectual de Orbis Terrarum y, salvo para los fines para los que fue contratado por el Cliente, no podrá ser utilizado o reproducido sin autorización expresa de Orbis Terrarum.*

**PLANOS**

## PLANO 1. PLANO DE SITUACIÓN DE SONDEOS







## PLANO 2. CROQUIS DE PATOLOGÍAS

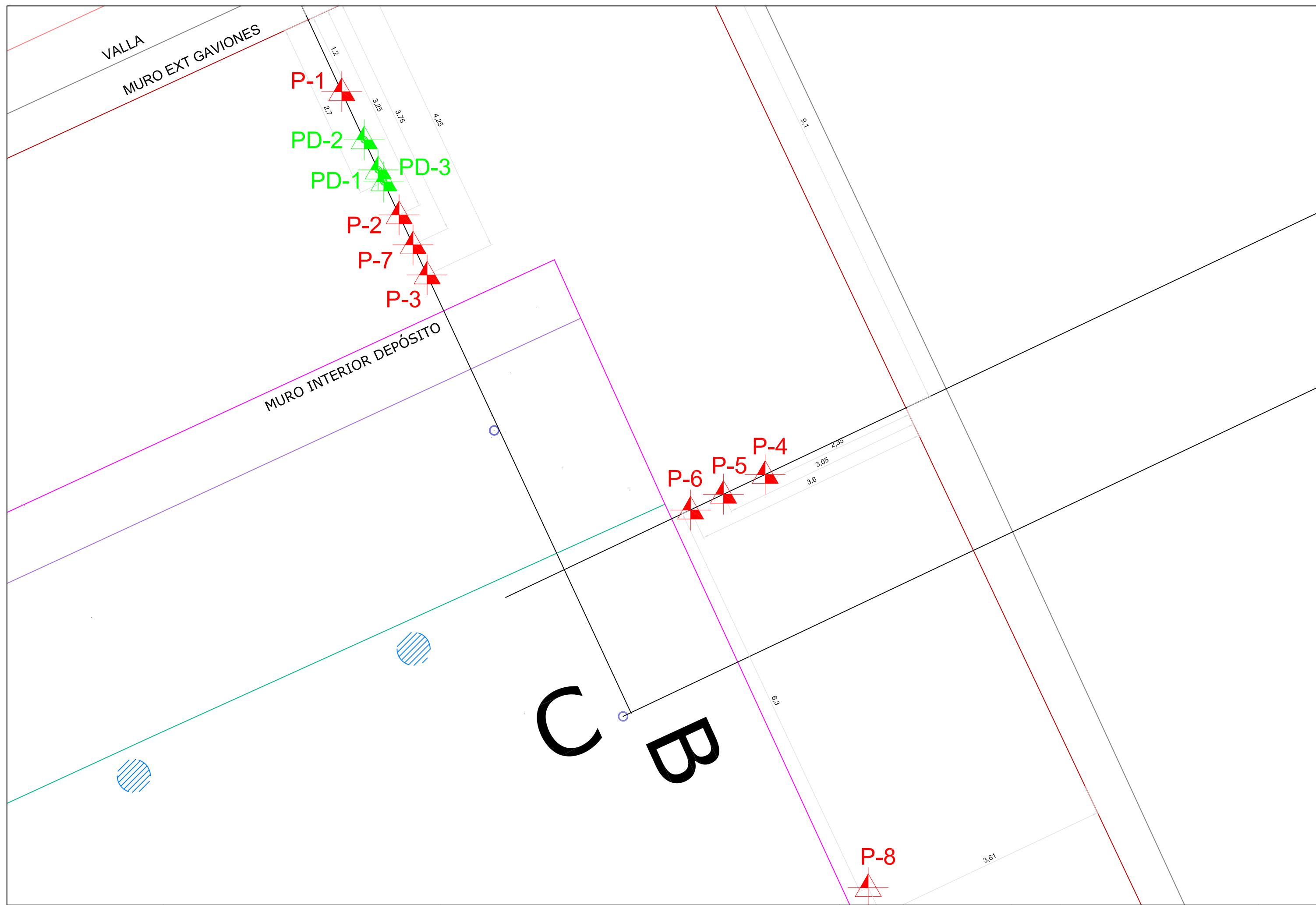






### PLANO 3. SITUACIÓN DE ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA

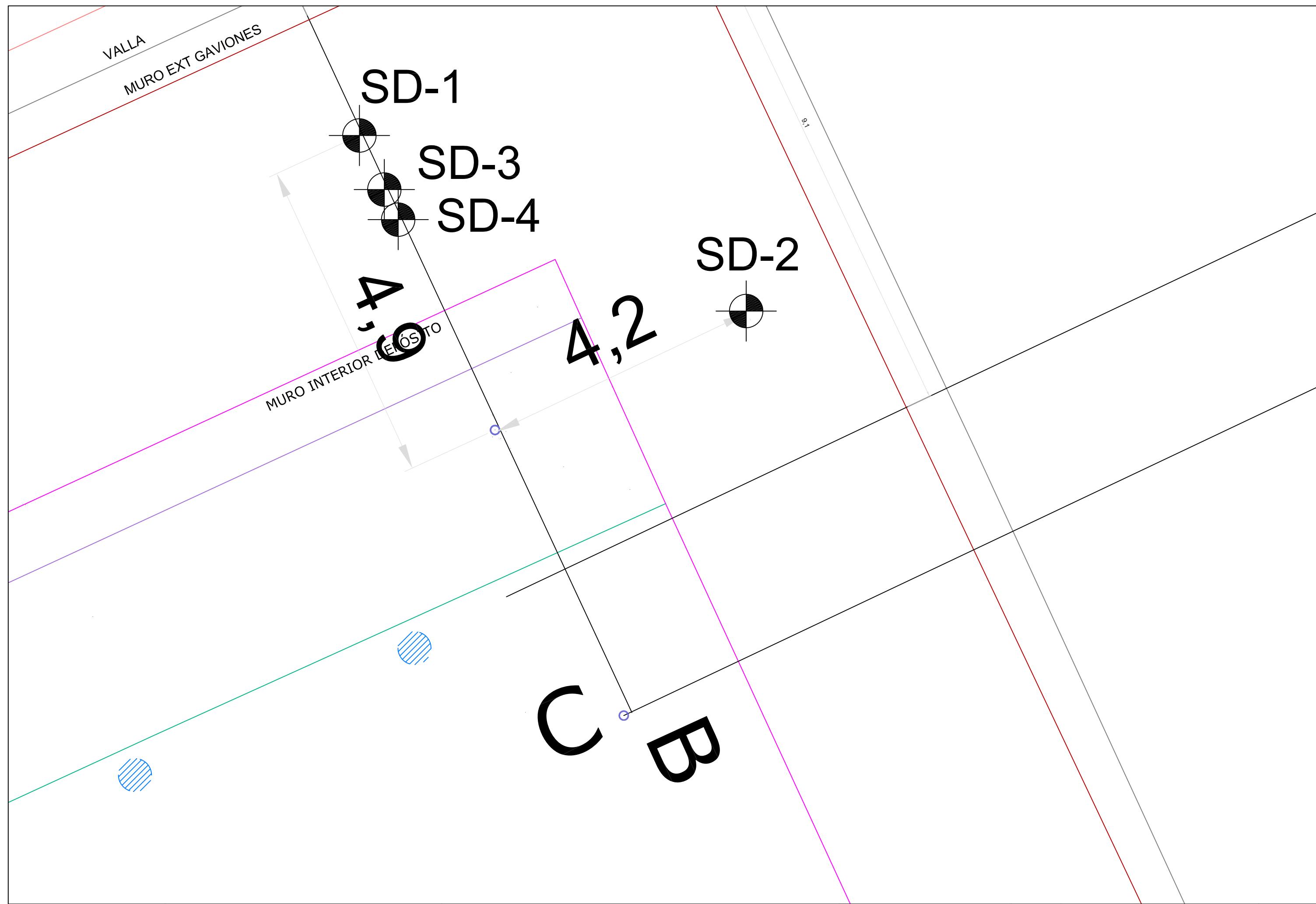






#### PLANO 4. PLANO DE SITUACIÓN DE SONDEOS DE INVESTIGACIÓN DE MUROS







## APÉNDICES



## APÉNDICE 1: REGISTRO DE SONDEOS













Perspectiva general y ubicación del sondeo S-1.



Caja 1 del sondeo S-1 de 0,00 a 2,40 m.



Caja 2 del sondeo S-1 de 2,40 a 6,28 m.



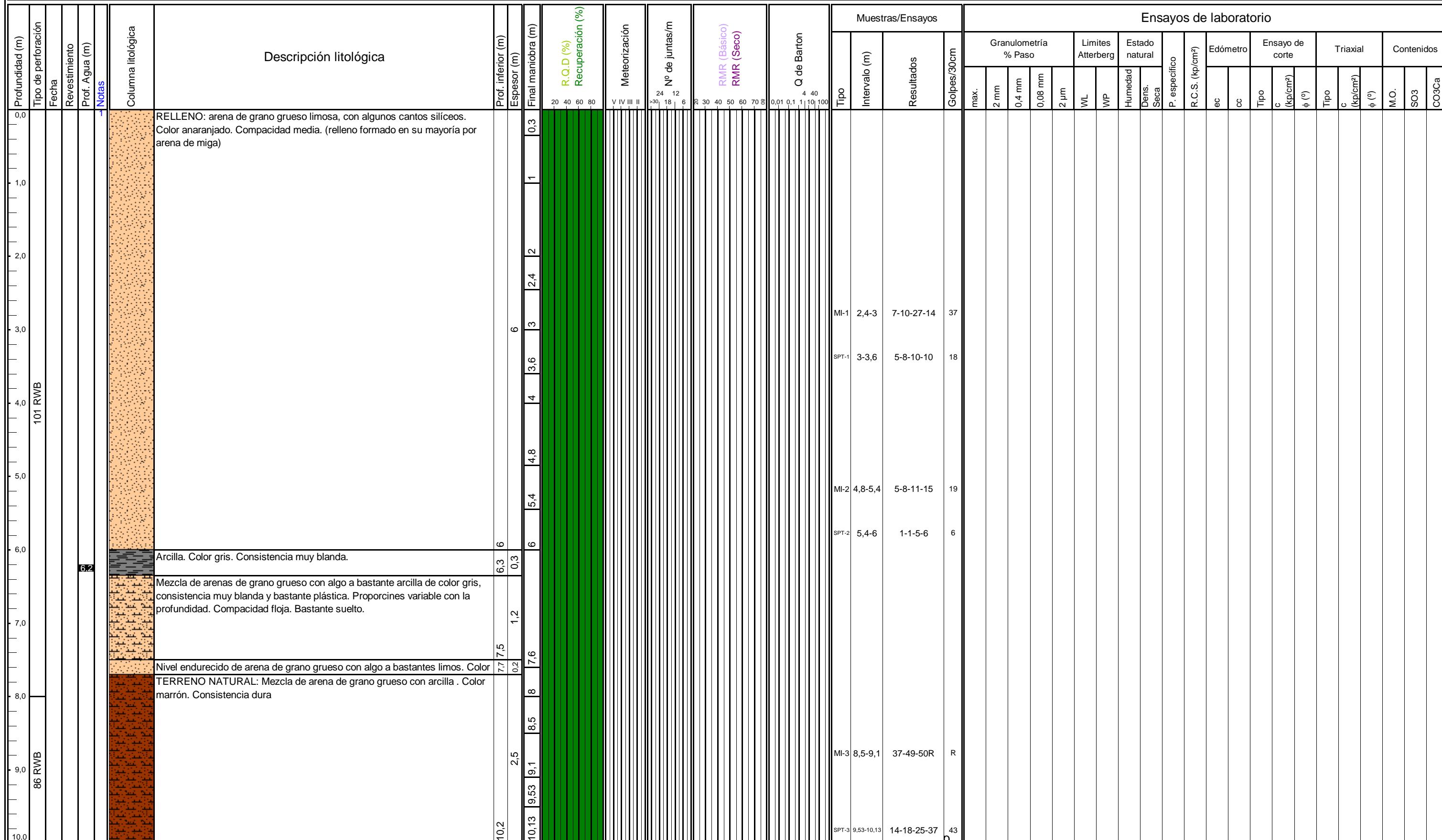
Caja 3 del sondeo S-1 de 6,85 a 9,30 m.



Caja 4 del sondeo S-1 de 9,30 a 12 m.



CLIENTE:	TRABAJO:	EMPRESA CONSULTORA:	Supervisor:	P.K.:	SONDEO:
	DEPÓSITO DE TRES CANTOS CYII		Eva Sicilia Til GEOTÉCNICA CONSULTORES Ricardo Iglesias MOBILE DRILL N80	X UTM: 440514 Y UTM: 4495690 Z UTM: 697,3	S-2 Hoja: 1-2 F. de inicio: 21/10/2013 F. finalización: 21/10/2013



Nota nº 1: Se deja instalado un piezómetro ranurado y la medida del N.F. se detecta durante días consecutivos a 6,7 m de profundidad //

MI: MUESTRA INALTERADA  
LF: ENSAYO LEFRANC  
Ox: ÓXIDO

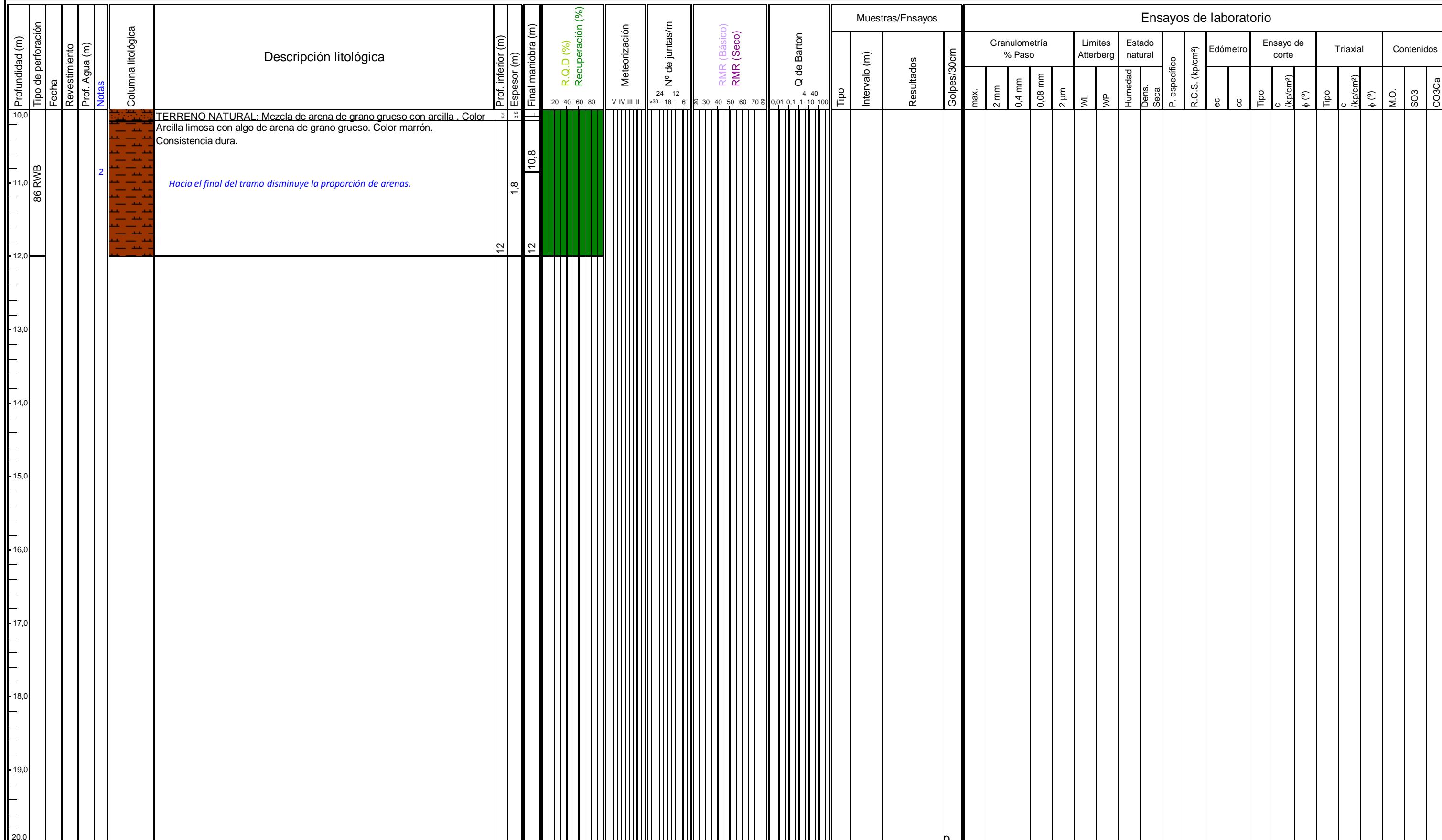
MA: MUESTRA ALTERADA  
LG: ENSAYO LUGEON  
Q: CUARZO

SPT: PENETRÓMETRO  
TP: TESTIGO PARAFINADO  
Ar: ARCILLA

MW: MUESTRA DE AGUA  
PR: ENSAYO PRESIOMÉTRICO  
DL: ENSAYO DILATOMÉTRICO



CLIENTE:	TRABAJO:	EMPRESA CONSULTORA:	Supervisor:	P.K.:	SONDEO:
	DEPÓSITO DE TRES CANTOS CYII		Eva Sicilia Til GEOTÉCNICA CONSULTORES Ricardo Iglesias MOBILE DRILL N80	X UTM: 440514 Y UTM: 4495690 Z UTM: 697,3	S-2 Hoja: 2-2 F. de inicio: 21/10/2013 F. finalización: 21/10/2013



MI: MUESTRA INALTERADA  
LF: ENSAYO LEFRANC  
Ox: ÓXIDO

MA: MUESTRA ALTERADA  
LG: ENSAYO LUGEON  
Q: CUARZO

SP: PENETRÓMETRO  
TP: TESTIGO PARAFINADO  
MW: MUESTRA DE AGUA

Ar: ARCILLA  
PR: ENSAYO PRESIOMÉTRICO  
DL: ENSAYO DILATOMÉTRICO





Perspectiva general y ubicación del sondeo S-2.



Caja 1 del sondeo S-2 de 0,00 a 2,40 m.



Caja 2 del sondeo S-2 de 2,40 a 5,40 m.



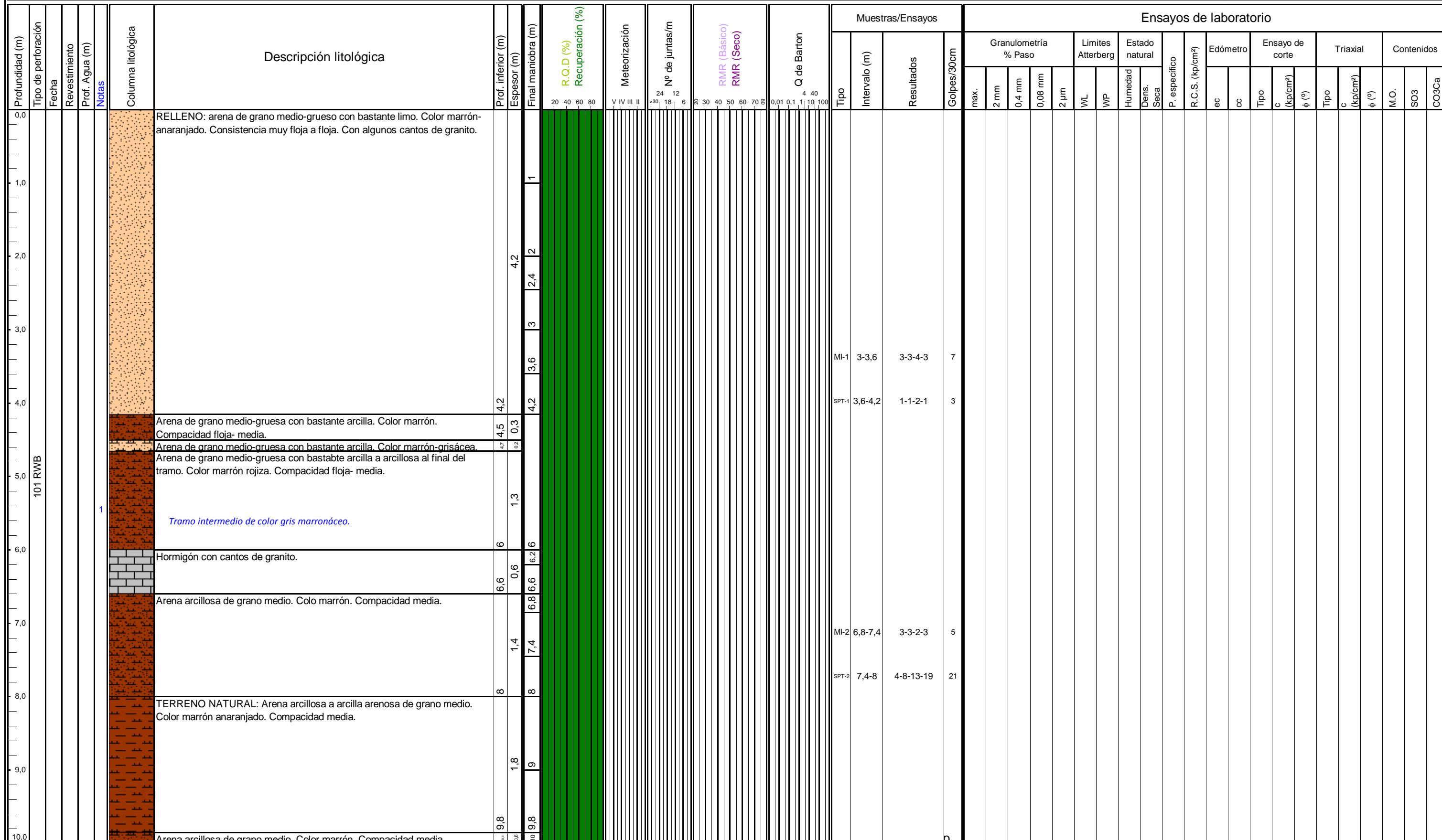
Caja 3 del sondeo S-2 de 5,40 a 8,60 m.



Caja 4 del sondeo S-2 de 9 a 12 m.



CLIENTE:	TRABAJO:	EMPRESA CONSULTORA:	Supervisor:	P.K.:	SONDEO:
	<b>DEPÓSITO DE TRES CANTOS CYII</b>		LEYRE TABOADA GEOTÉCNICA CONSULTORES RICARDO IGLESIAS TP50-D2	X UTM: 440538 Y UTM: 4495584 Z UTM: 698,1	S-3 Hoja: 1-2 F. de inicio: 25-10-2013 F. finalización: 25-10-2013



MI: MUESTRA INALTERADA  
LF: ENSAYO LEFRANC  
Ox: ÓXIDO

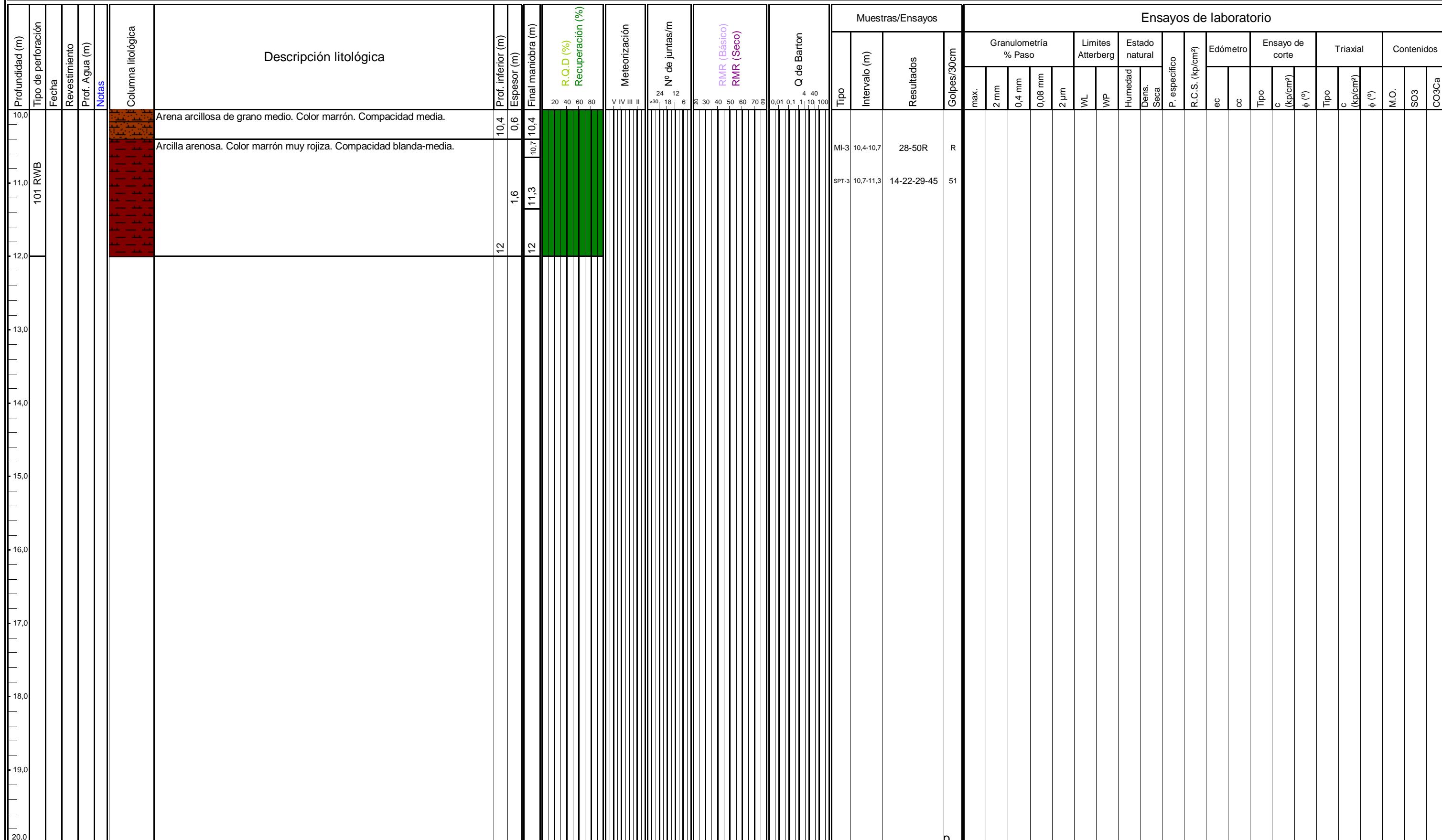
MA: MUESTRA ALTERADA  
LG: ENSAYO LUGEON  
Q: CUARZO

## SPT: PENETRÓMETRO

TP: TESTIGO PARAFINADO MW: MUESTRA DE AGUA  
PR: ENSAYO PRESIOMÉTRICO DL: ENSAYO DILATOMÉTRICO



CLIENTE:	TRABAJO:	EMPRESA CONSULTORA:	Supervisor:	P.K.:	SONDEO:
	DEPÓSITO DE TRES CANTOS CYII		LEYRE TABOADA GEOTÉCNICA CONSULTORES RICARDO IGLESIAS TP50-D2	X UTM: 440538 Y UTM: 4495584 Z UTM: 698,1	S-3 Hoja: 2-2 F. de inicio: 25-10-2013 F. finalización: 25-10-2013



MI: MUESTRA INALTERADA  
LF: ENSAYO LEFRANC  
Ox: ÓXIDO

MA: MUESTRA ALTERADA  
LG: ENSAYO LUGEON  
Q: CUARZO

SPT: PENETRÓMETRO  
TP: TESTIGO PARAFINADO  
Ar: ARCILLA

MW: MUESTRA DE AGUA  
PR: ENSAYO PRESIOMÉTRICO  
DL: ENSAYO DILATOMÉTRICO

M.O. SO3 CO3Ca  
C (kp/cm<sup>2</sup>) ϕ (%)  
cc





Perspectiva general y ubicación del sondeo S-3.



Caja 1 del sondeo S-3 de 0,00 a 2,40 m.



Caja 2 del sondeo S-3 de 2,40 a 6,20 m.



Caja 3 del sondeo S-3 de 6,20 a 9,80 m.



Caja 4 del sondeo S-3 de 9,80 a 12,00 m.



CLIENTE:	TRABAJO:	EMPRESA CONSULTORA:	Supervisor:	P.K.:	SONDEO:
	<b>DEPÓSITO DE TRES CANTOS CYII</b>		EVA SICILIA TIL	X UTM: 440438	S-4
			Empresa: GEOTÉCNICA CONSULTORES	Y UTM: 4495514	Hoja: 1-2
			Sondista: JOSE MANUEL LUQUE	Z UTM: 698,1	F. de inicio: 23/10/2013
			Equipo: MOBILE DRILL N80		F. finalización: 23/10/2013

MI: MUESTRA INALTERADA  
LF: ENSAYO LEFRANC  
Ox: ÓXIDO

MI: MUESTRA INALTERADA	MA: MUESTRA ALTERADA
LF: ENSAYO LEFRANC	LG: ENSAYO LUGEON
Ox: ÓXIDO	Q: CUARZO

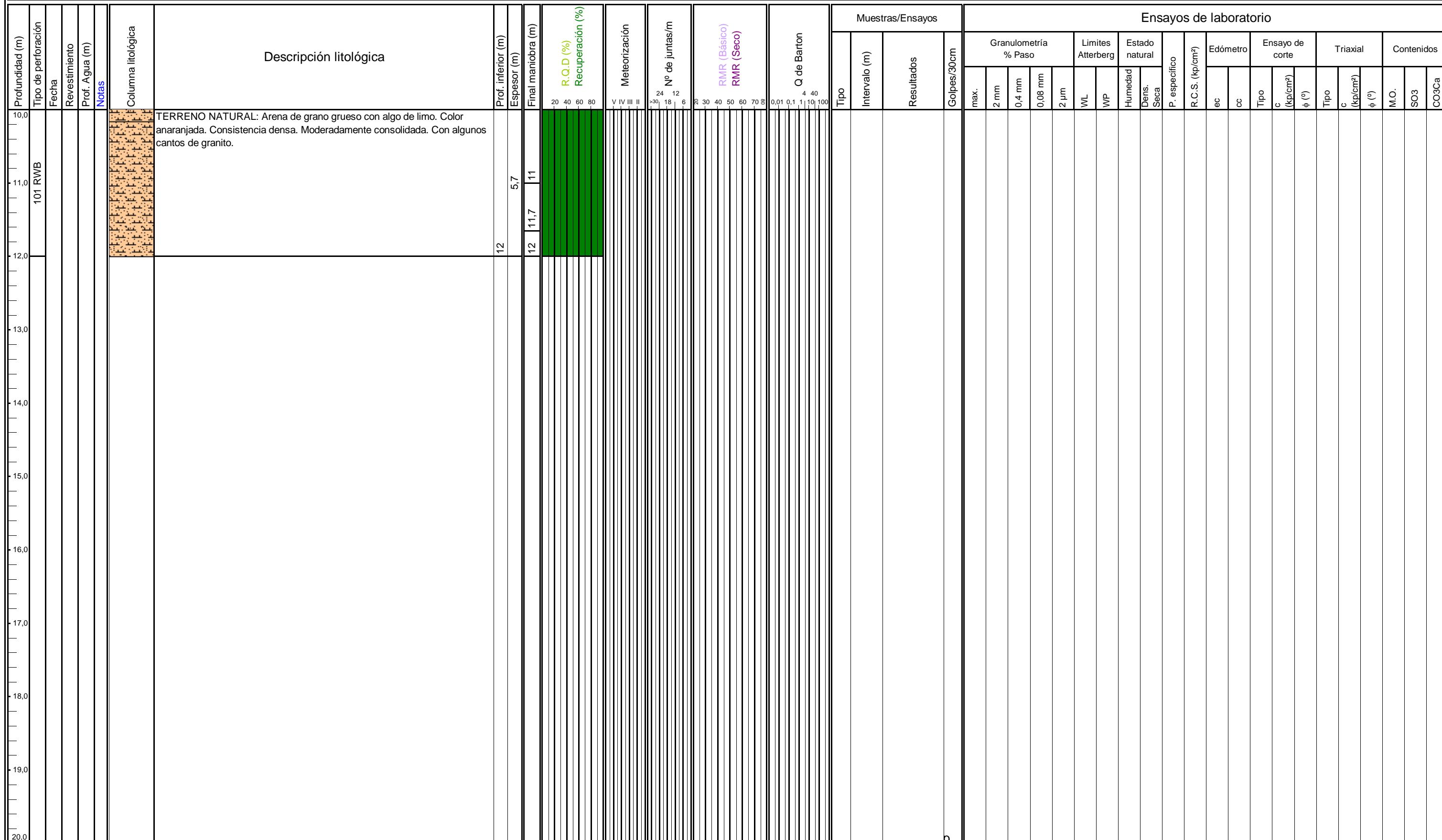
## SPT: PENETRÓMETRO

TP: TESTIGO PARAFINADO

## MW: MUESTRA DE AGUA



CLIENTE:	TRABAJO:	EMPRESA CONSULTORA:	Supervisor:	P.K.:	SONDEO:
	DEPÓSITO DE TRES CANTOS CYII		EVA SICILIA TIL GEOTÉCNICA CONSULTORES JOSE MANUEL LUQUE MOBILE DRILL N80	X UTM: 440438 Y UTM: 4495514 Z UTM: 698,1	S-4 Hoja: 2-2 F. de inicio: 23/10/2013 F. finalización: 23/10/2013



MI: MUESTRA INALTERADA  
LF: ENSAYO LEFRANC  
Ox: ÓXIDO

MA: MUESTRA ALTERADA  
LG: ENSAYO LUGEON  
Q: CUARZO

SPT: PENETRÓMETRO  
Ar: ARCILLA

TP: TESTIGO PARAFINADO  
PR: ENSAYO PRESIOMÉTRICO  
MW: MUESTRA DE AGUA  
DL: ENSAYO DILATOMÉTRICO





Perspectiva general y ubicación del sondeo S-4.



Caja 1 del sondeo S-4 de 0,00 a 2,40 m.



Caja 2 del sondeo S-4 de 2,40 a 5,40 m.



Caja 3 del sondeo S-4 de 5,30 a 8,70 m.



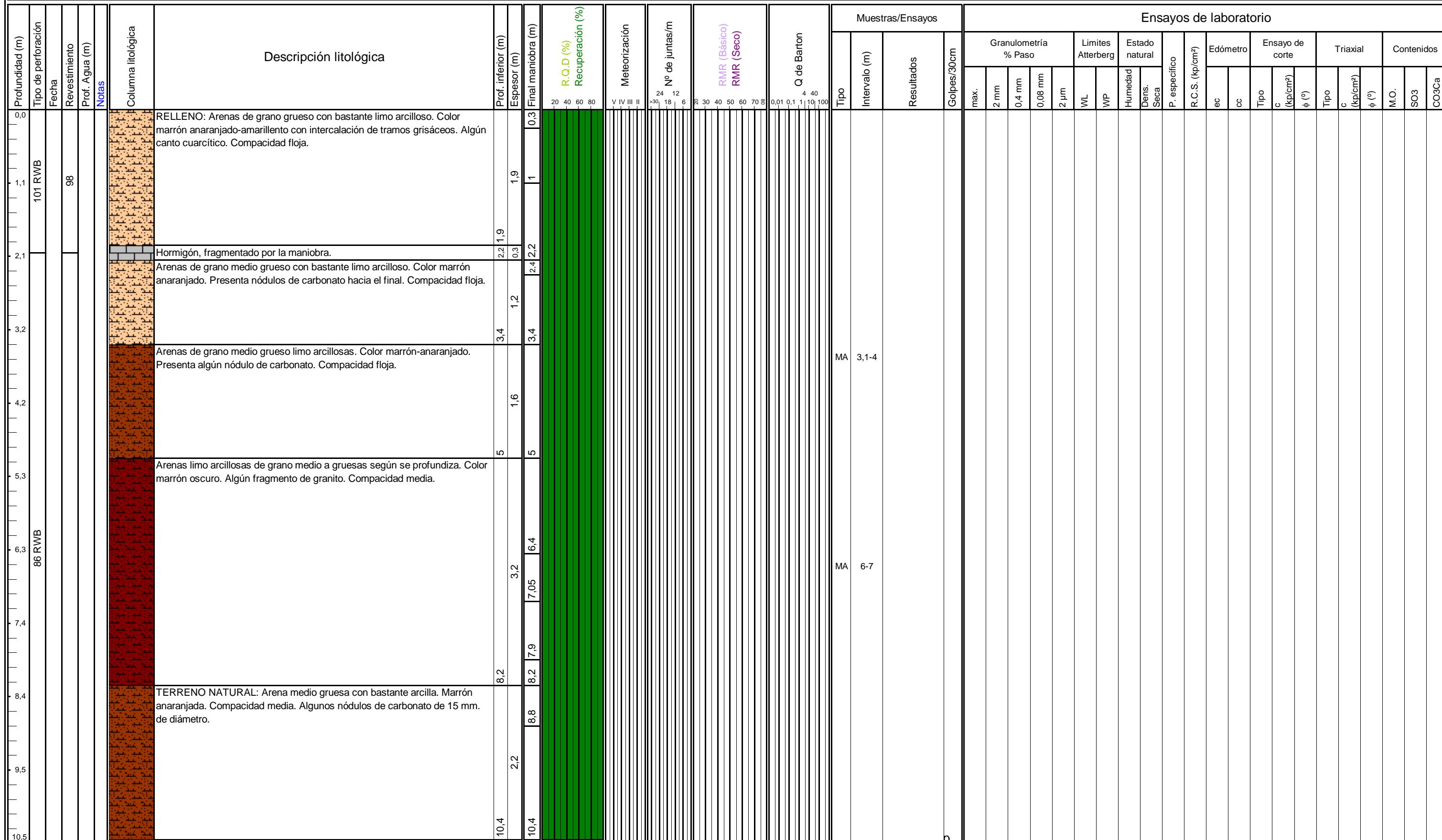
Caja 4 del sondeo S-4 de 8,70 a 11,70 m.



Caja 5 del sondeo S-4 de 11,70 a 12 m.



CLIENTE:	TRABAJO:	EMPRESA CONSULTORA:	Supervisor:	P.K.:	SONDEO:
	DEPÓSITO DE TRES CANTOS CYII		LEYRE TABOADA GEOTÉCNICA CONSULTORES JOSE MANUEL LUQUE TP50-D2	X UTM: 440357 Y UTM: 4495523 Z UTM: 698,6	S-5 Hoja: 1-1 F. de inicio: 28-10-2013 F. finalización: 28-10-2013



MI: MUESTRA INALTERADA  
LF: ENSAYO LEFRANC  
Ox: ÓXIDO

MA: MUESTRA ALTERADA  
LG: ENSAYO LUGEON  
Q: CUARZO

SPT: PENETRÓMETRO  
LG: ENSAYO LUGEON  
Q: CUARZO

TP: TESTIGO PARAFINADO  
PR: ENSAYO PRESIOMÉTRICO  
MW: MUESTRA DE AGUA  
DL: ENSAYO DILATOMÉTRICO





Perspectiva general y ubicación del sondeo S-5. Inclinado 10°



Detalle del sondeo inclinado S-5



Caja 1 del sondeo S-4 de 0,00 a 2,40 m.



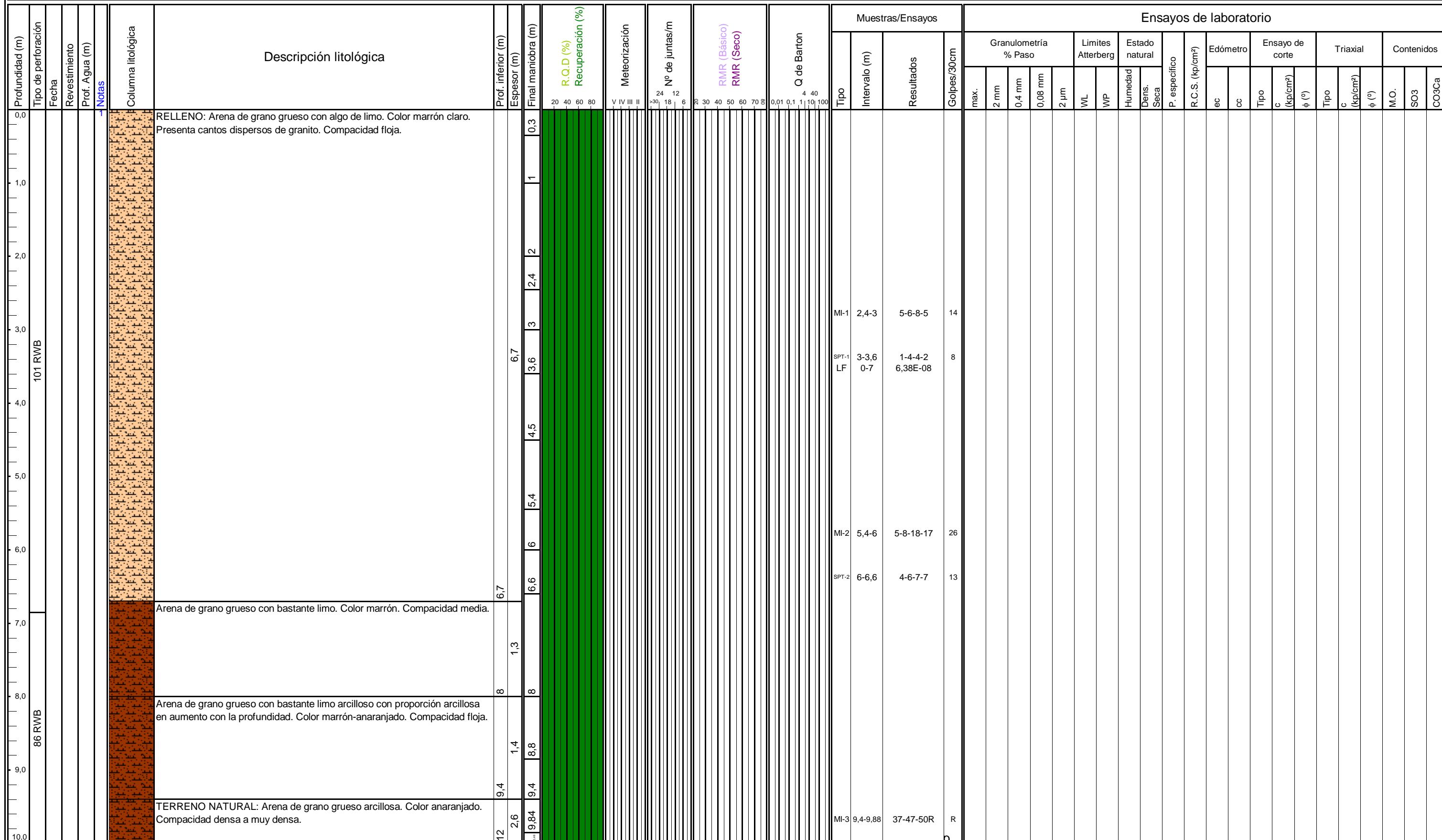
Caja 2 del sondeo S-4 de 2,40 a 7,05 m.



Caja 3 del sondeo S-4 de 7,05 a 10,40 m.



CLIENTE:	TRABAJO:	EMPRESA CONSULTORA:	Supervisor:	P.K.:	SONDEO:
	DEPÓSITO DE TRES CANTOS CYII		EVA SICILIA TIL GEOTÉCNICA CONSULTORES JOSE MANUEL LUQUE MOBILE DRILL N80	X UTM: 440346 Y UTM: 4495546 Z UTM: 698,6	S-6 Hoja: 1-2 F. de inicio: 22/10/2013 F. finalización: 22/10/2013



Nota nº 1: Se deja instalado piezómetro ranurado y la medida del N.F. se detecta durante días consecutivos a 10,20 m. de profundidad //

MI: MUESTRA INALTERADA  
LF: ENSAYO LEFRANC  
Ox: ÓXIDO

MA: MUESTRA ALTERADA  
LG: ENSAYO LUGEON  
Q: CUARZO

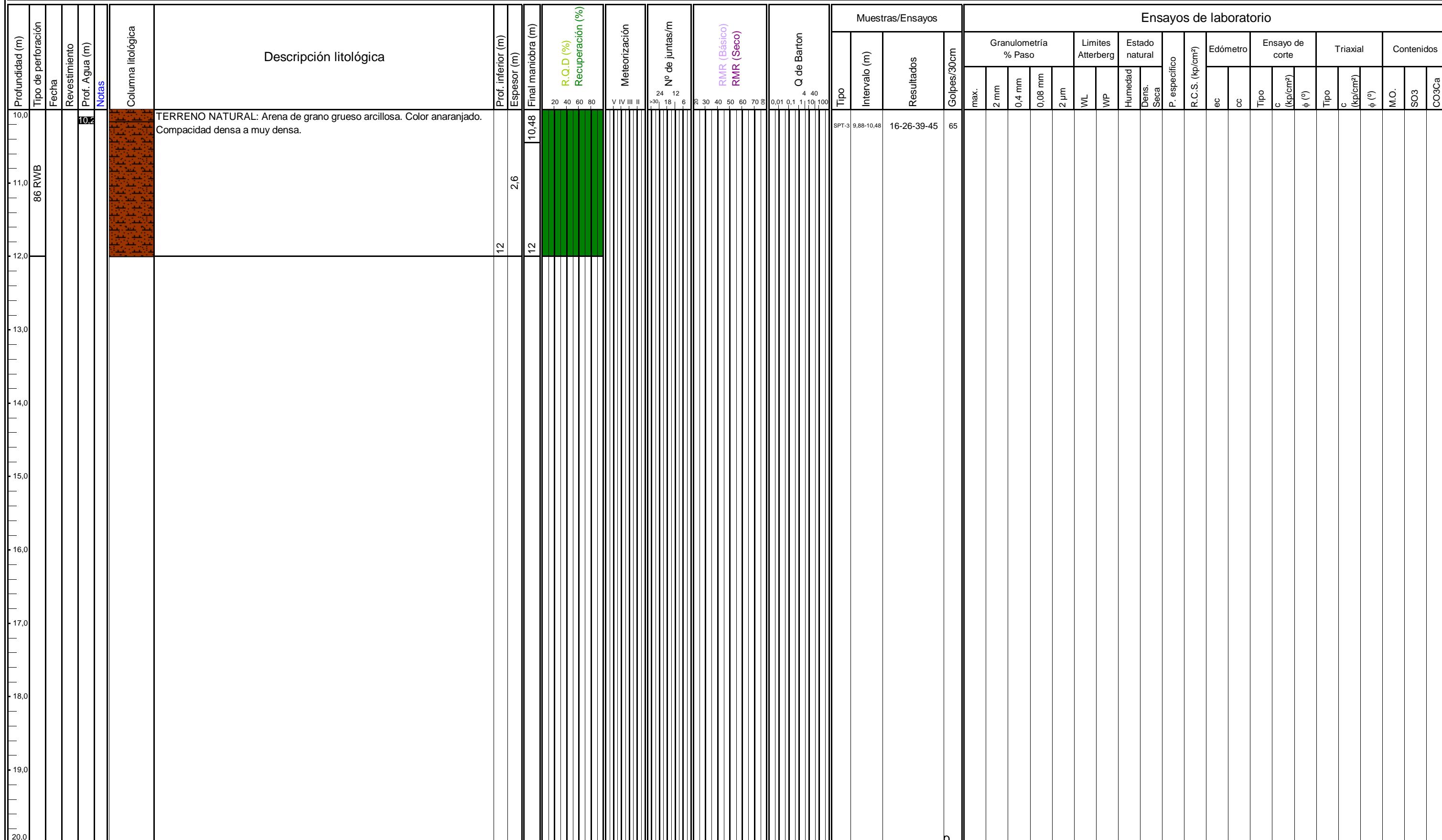
SPT: PENETRÓMETRO  
TP: TESTIGO PARAFINADO  
MW: MUESTRA DE AGUA

Ar: ARCILLA

PR: ENSAYO PRESIOMÉTRICO  
DL: ENSAYO DILATOMÉTRICO



CLIENTE:	TRABAJO:	EMPRESA CONSULTORA:	Supervisor:	P.K.:	SONDEO:
	DEPÓSITO DE TRES CANTOS CYII		EVA SICILIA TIL GEOTÉCNICA CONSULTORES JOSE MANUEL LUQUE MOBILE DRILL N80	X UTM: 440346 Y UTM: 4495546 Z UTM: 698,6	S-6 Hoja: 2-2 F. de inicio: 22/10/2013 F. finalización: 22/10/2013



MI: MUESTRA INALTERADA  
LF: ENSAYO LEFRANC  
Ox: ÓXIDO

MA: MUESTRA ALTERADA  
LG: ENSAYO LUGEON  
Q: CUARZO

SPT: PENETRÓMETRO  
Ar: ARCILLA

TP: TESTIGO PARAFINADO  
PR: ENSAYO PRESIOMÉTRICO  
MW: MUESTRA DE AGUA  
DL: ENSAYO DILATOMÉTRICO

Ar: ARCILLA  
PR: ENSAYO PRESIOMÉTRICO  
MW: MUESTRA DE AGUA  
DL: ENSAYO DILATOMÉTRICO





Perspectiva general y ubicación del sondeo S-6.



Caja 1 del sondeo S-6 de 0,00 a 2,40 m.



Caja 2 del sondeo S-6 de 2,40 a 5,40 m.



Caja 3 del sondeo S-6 de 5,40 a 8,80 m.



Caja 4 del sondeo S-6 de 8,80 a 12 m.









Perspectiva general y ubicación del sondeo SD-1.



Caja 01. De 0,00 a 3,60 m.



Caja 02. De 3,60 a 6,20 m.









Perspectiva general y ubicación del sondeo SD-2.



Caja 01. De 0,00 a 5,30 m.



Caja 02. De 5,30 a 8,60 m.









Perspectiva general y ubicación del sondeo SD-3.



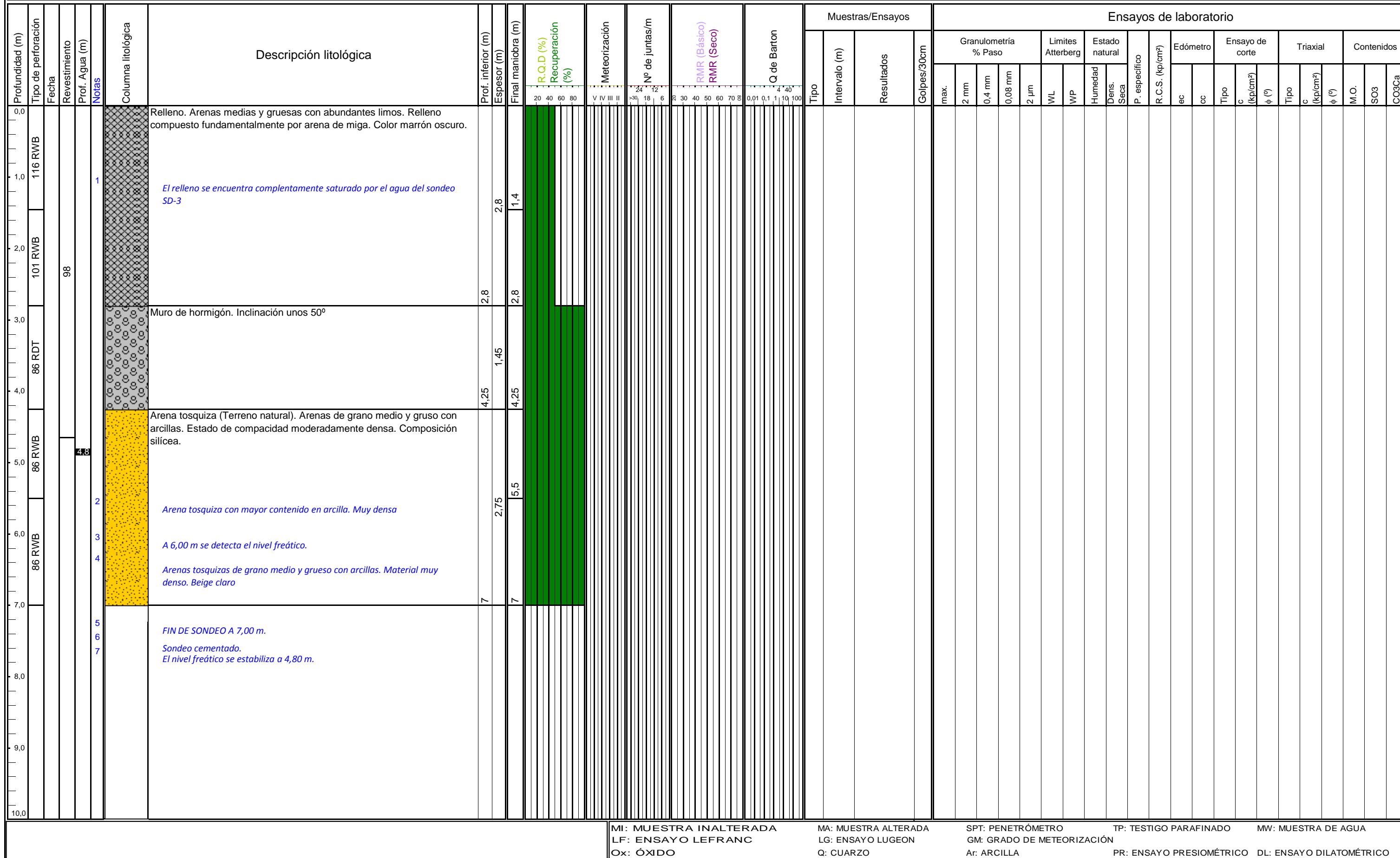
Caja 01. De 0,00 a 4,10 m.



Caja 02. De 4,10 a 4,60 m.



CLIENTE:	TRABAJO:	EMPRESA CONSULTORA:	Supervisor:	P.K.:	SONDEO:
	SONDEOS PERIMETRALES EN EL DEPÓSITO DE TRES CANTOS (MADRID)		ITZIAR PÉREZ Macías Melgarejo, S.L. DIEGO GARCÍA MELGAREJO XC-90	X UTM: 440607 Y UTM: 4495861 Z UTM: 696,6	SD-4 Hoja: 1 F. de inicio: 27-02-2014 F. finalización: 27-02-2014



MI: MUESTRA INALTERADA  
LF: ENSAYO LEFRANC  
Ox: ÓXIDO

MA: MUESTRA ALTERADA  
LG: ENSAYO LUGEON  
Q: CUARZO

SPT: PENETRÓMETRO  
GM: GRADO DE METEORIZACIÓN  
Ar: ARCILLA

TP: TESTIGO PARAFINADO  
MW: MUESTRA DE AGUA  
PR: ENSAYO PRESIOMÉTRICO  
DL: ENSAYO DILATOMÉTRICO





Perspectiva general y ubicación del sondeo SD-4.



Caja 01. De 0,00 a 3,20 m.



Caja 02. De 3,20 a 5,50 m.



Caja 03. De 5,50 a 7,00 m.



## APÉNDICE 2: INFORME DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA



**ESTUDIO GEOFÍSICO  
MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA PARA LA  
CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO DEL DEPÓSITO  
DE TRES CANTOS (MADRID)**



**Tres Cantos (Madrid)**

**Octubre 2013**



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO .....	2
2. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA.....	2
3. CONCLUSIONES.....	9

### **ANEJOS:**

**ANEJO I: PERFIL GEOELÉCTRICO INTERPRETADO**

**ANEJO II: PLANO DE SITUACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES**

**ANEJO III: REPORTAJE FOTOGRÁFICO**

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El presente estudio se realiza en el contexto de la campaña geotécnica para la realización de los estudios de caracterización del terreno, patologías y soluciones de reparación del depósito de Tres Cantos (Madrid), en el marco del contrato Nº175/2012 LOTE Nº2.

El objetivo de la Tomografía eléctrica es doble. Por un lado se busca determinar la resistividad del terreno para el diseño de la red de tierras. Igualmente se quiere determinar las características del terreno hasta una profundidad de 15,00 m y la posible presencia de zonas saturadas.

En la ejecución del estudio se han llevado a cabo las siguientes actividades:

- Prospección geofísica por el método de Tomografía Eléctrica.
- Interpretación de datos y redacción de informe.

## 2. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA.

### 2.1. INTRODUCCIÓN A LA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

En su sentido más amplio la Tomografía Eléctrica es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución de un parámetro físico característico del mismo dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno o desde perforaciones combinando distintas posiciones entre dipolos transmisores y receptores. En particular, con esta técnica se realizan medidas de diferencia de potencial para visualizar propiedades eléctricas del terreno.

Los perfiles de Tomografía Eléctrica son, actualmente, los más utilizados dentro de la prospección eléctrica ya que miden las variaciones del parámetro físico de la resistividad eléctrica de los materiales del subsuelo y aportan una imagen en profundidad de las capas que presentan diferente comportamiento eléctrico. Las secciones de resistividad eléctrica obtenidas se correlacionan con la información

geológica o geofísica de la zona aportando información detallada del subsuelo terrestre.

En concreto, la Tomografía Eléctrica tiene por objetivo específico determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo en el ámbito comprendido entre dos perforaciones o bien hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil medida, a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua. De este modo se obtendrá un modelo de distribución de resistividades reales en el subsuelo, obtenidas por un proceso de inversión, a partir de las resistividades aparentes obtenidas durante la interpretación.

La resistividad aparente ( $r_{ap}$ ), es la resistividad del conjunto de materiales que en cada momento están afectados por el paso de una corriente eléctrica continua (DC).

$$r_{ap} = K \cdot \frac{V}{I}$$

Siendo:

$V$  la diferencia de potencial entre dos electrodos (denominados M y N)

$I$  la intensidad de corriente introducida en el terreno entre otros dos electrodos (denominados A y B)

$K$  es una constante geométrica que depende de las distancias existentes entre los cuatro electrodos A, B, M y N

Las representaciones de la distribución de resistividades aparentes en el subsuelo se denominan pseudosecciones, mientras que la resistividad real ( $r$ ) es una propiedad intrínseca de las rocas y depende de la litología, de la fábrica y de los fluidos que contiene. Para obtener la resistividad real a partir de las pseudosecciones se requiere un proceso de inversión que será más o menos complejo en función del método utilizado: diferencias finitas; elementos finitos; aplicación de mallas distorsionadas para corregir la topografía; u otras.

Las medidas de resistividad aparente de terreno para un estudio mediante Tomografía Eléctrica se efectúan mediante técnicas de corriente continua con posibilidad de empleo de una gran variedad de dispositivos en lo que a la distribución de los electrodos se refiere. Entre los más habitualmente utilizados cabe citar los dispositivos polo-dipolo, polo-polo, dipolo-dipolo, Schulumberger, Wenner, etc.

Todo el procedimiento para lograr una imagen tomográfica de la resistividad eléctrica ( $r$ ) es automático y comienza con la definición a priori de la geometría y el nivel de estudio requerido del medio geológico. Si se posee información del modelo a estudiar o es necesaria una búsqueda específica, es posible hacer trabajos de modelación matemática, los que ofrecen una óptima planificación de los trabajos de investigación.

La Tomografía Eléctrica exige el empleo de una instrumentación específica capaz de realizar un gran número de medidas de forma rápida y fiable. Las imágenes tomográficas se pueden obtener tanto en perfiles, en cuyo caso se distribuyen electrodos de medición sobre la superficie del terreno, como en otras configuraciones en las que los electrodos se sitúan en perforaciones realizadas para las investigaciones. Este procedimiento es ampliamente ventajoso en los estudios que requieran conocer en detalle las características estratigráficas de los medios geológicos, las discontinuidades presentes, los aspectos relacionados con propiedades de las rocas y suelos, entre otras.

El resultado final de este tipo de estudio es una imagen distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos, geotécnicos o ambientales.

## 2.2. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

Se ha seleccionado como método a emplear la tomografía eléctrica, debido a que permite analizar con una alta densidad de información, la distribución de resistividades reales en profundidad, hasta unos límites que dependen fundamentalmente de las características logísticas de la zona a investigar. Los

valores de resistividad permiten discriminar entre diferentes litologías, así como detectar la presencia de huecos y/o agua subterránea.

El objetivo de esta campaña de Tomografía Eléctrica, es obtener los valores de resistividad de los materiales existentes en profundidad, con el fin de determinar el contacto entre los materiales de terraplenado artificial y el terreno natural.

La resistividad de suelo es la propiedad que tiene este para conducir electricidad, y es conocida además como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente" que para el interés de este trabajo, será conocida simplemente como "Resistividad del Terreno".

En la NOM-022-STPS-1999 se define el término resistividad, como la resistencia que ofrece al paso de la corriente un cubo de terreno de un metro por lado.

De acuerdo con la NOM-008-SCFI-1993, Su representación dimensional debe estar expresada en Ohm-m, cuya acepción es utilizada internacionalmente.

Sin embargo estos límites pueden cambiar según diferentes factores geológicos que puedan determinar cambios en las resistividades de los materiales, ya que la resistividad del terreno varía ampliamente en función de muchos otros factores:

- Composición propia del terreno
- Estratigrafía
- Granulometría
- Estado higrométrico
- Temperatura
- Compactación

### 2.3. TRABAJOS REALIZADOS EN EL DEPÓSITO DE TRES CANTOS DEL CANAL DE ISABEL II.

Se han realizado **dos (2) perfiles de tomografía eléctrica** de 100 m de longitud, siendo el dispositivo de 42 electrodos, con 2,50 m de separación entre electrodos. Con este dispositivo, se ha obtenido una **profundidad de 15,00 m** en el tercio central del perfil.

La localización de dichos trabajos realizados se ha representado en el Anejo II: "Plano de situación de las investigaciones".



Fotografía 02.01. Terrámetro SAS-4000 de ABEM empleado en la campaña de campo.

El equipo empleado para este trabajo es un terrámetro de corriente continua de baja frecuencia, fabricado por la compañía ABEM, modelo SAS-4000, de altas prestaciones y fiabilidad, con el que se ha empleado un dispositivo Wenner para dos cables como aparece en la fotografía anterior. Este dispositivo se considera ideal para el tipo de formación estudiada.

El voltaje inyectado en cada medida ha sido de 12 V. Con el objeto de tener un buen control de la calidad de los datos se ha realizado una monitorización en

tiempo real sobre el terreno del error de cada medida (desviación estándar), impidiendo aceptar errores mayores del 1% entre dos medidas consecutivas. La corrección de topografía se efectuó utilizando una malla distorsionada (Loke, 2000).

Para la interpretación de los datos obtenidos en campo se ha empleado el programa RES2DINV 3.46 que efectúa la inversión completa 2D (y no la simple deconvolución iterativa de las pseudo-secciones) de perfiles eléctricos de superficie para los diferentes dispositivos de medidas (dipolo-dipolo, polo-dipolo, Wenner, polo-polo, etc.). El programa utiliza el método de los elementos finitos (FEM) en dos dimensiones para obtener un modelo de la respuesta eléctrica del subsuelo (Loke & Barker, 1996). No es necesario especificar ningún tipo de parámetro para la construcción de la malla, tan solo la posición y la numeración de los electrodos utilizados para las medidas de campo.

El algoritmo iterativo de inversión se basa en la minimización del error cuadrático medio entre los datos de campo y los datos simulados mediante el FEM, según el método propuesto por Sasaki (1994).

El resultado es la obtención en forma de sección de la resistividad real de los diferentes materiales y su profundidad. La bondad del modelo se estima mediante el valor RMS (error cuadrático medio) que expresa la diferencia porcentual entre el modelo final calculado y el medido in situ.

## 2.4. INTERPRETACIÓN Y RESULTADOS.

Una vez procesados los datos de campo, se obtiene una representación en perfil de las resistividades que ofrecen los diferentes materiales que existen en profundidad, dando los límites entre cada uno de ellos (Ver Anejo I: "Perfil Geoeléctrico Interpretado").

A continuación se describirá el perfil interpretado en el Anejo I:

**Perfil TEO1:**

Este perfil se ha realizado con dirección S-N, en sentido N. Topográficamente el perfil se considera llano (Ver Anejo I: "Perfil Geoeléctrico Interpretado").

En función de las resistividades obtenidas se ha podido diferenciar una capa superior que se correlaciona con el relleno arenoso del lado del intradós original del muro perimetral del depósito. Esta capa presenta un espesor más o menos continuo de unos 3 - 4 m de espesor. A partir de esta profundidad se considera que se encuentra el contacto con el terreno natural compuesto por arenas arcósicas.

Los 3 - 4 primeros metros de terreno muestran una distribución de resistividades más heterogénea, mientras que a partir de esta cota el terreno muestra un valor de resistividad constante entre 1 y 10 ohm.m, que se interpreta como terreno natural saturado en agua.

**Perfil TEO2:**

Este perfil se ha realizado con dirección SW-NE, en sentido NE. Topográficamente el perfil se considera llano (Ver Anejo I: "Perfil Geoeléctrico Interpretado").

En función de las resistividades obtenidas se ha podido diferenciar, al igual que en el perfil anterior, el relleno arenoso del lado del intradós original del muro perimetral del depósito. Esta capa presenta un espesor más o menos continuo de unos 4 m de espesor. A partir de esta profundidad se considera que se encuentra el contacto con el terreno natural compuesto por arenas arcósicas.

En general este perfil muestra una distribución de resistividades muy heterogénea debido a la saturación en agua de ciertas zonas teniendo valores de resistividad de entre 1 y 90 ohm.m. Se pueden destacar tres zonas donde la saturación en agua es bastante alta. La primera zona se encontraría desde el comienzo del perfil hasta los 30 m de longitud y a una profundidad de unos 2 m. La segunda zona es encontraría entre los 35 y 65 m de perfil y a una profundidad

de unos 3 m llegando ha tener un espesor de 12 m. La tercera zona se localiza en los últimos 27,50 m de perfil y a una profundidad de unos 2 m.

### 3. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el resultado de la tomografía eléctrica, los valores de resistividad de teetados distinguen dos niveles, uno el terreno natural y sobre este el relleno del intradós del muro original formado por materiales de la misma naturaleza.

En estos perfiles de tomografía eléctrica se observa que los diferentes materiales tienen unos valores de resistividad similares, que no muestran grandes diferencias (los valores de resistividad varían entre 20 y 90 ohm.m). Esto se debe a que el relleno está formado con los mismos materiales que componen el terreno natural. Existen zonas muy saturadas de agua que no se puede atribuir con los datos existentes si son debidas a fugas del depósito o concentraciones naturales por infiltración o es corriente subterránea. Estas zonas saturadas, tienen valores de resistividad que bajan hasta valores de entre 1 y 20 ohm.m.

Este estudio consta de 10 páginas numeradas de la 1 a la 10 y tres anejos.

11 de Octubre de 2013

Fdo.:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Irene" or "Irene Díaz Quero".

Irene Díaz Quero

Licenciada en Cc. Geológicas

NO SE PERMITE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN LA AUTORIZACIÓN DE ORBIS TERRARUM

**ANEJOS**

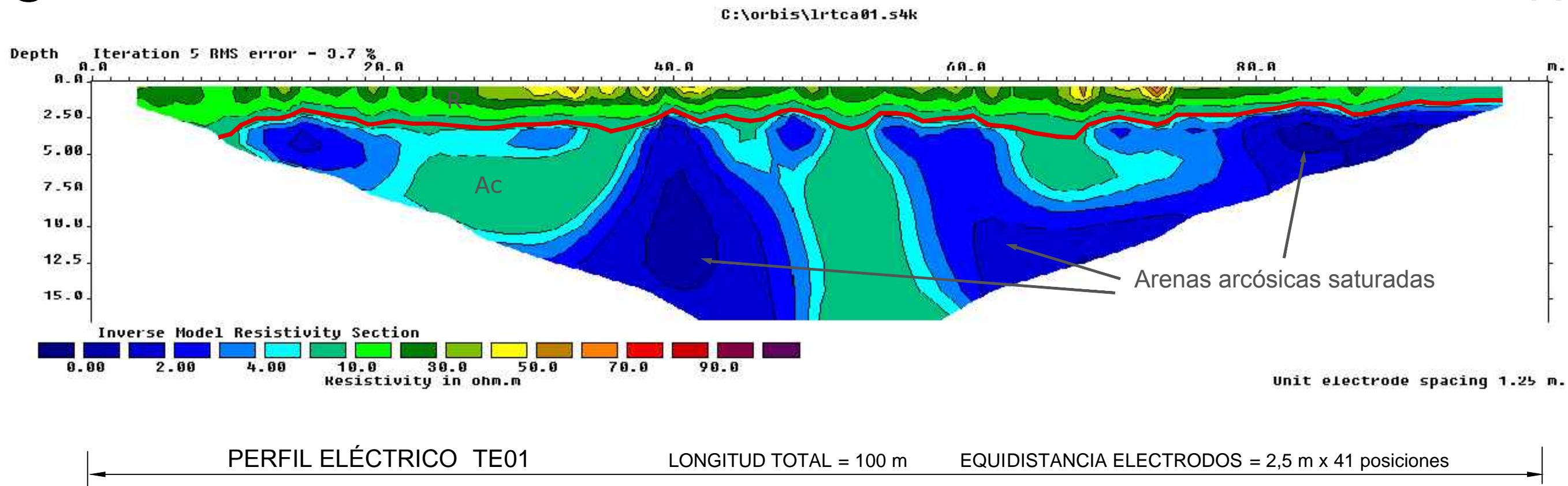


#### **ANEJO 1: PERFILES GEOELÉCTRICOS INTERPRETADOS**



S

N



## LEYENDA:

— Isolíneas de Resistividad

Re Relleno arenoso

— Contacto capas interpretación geológica

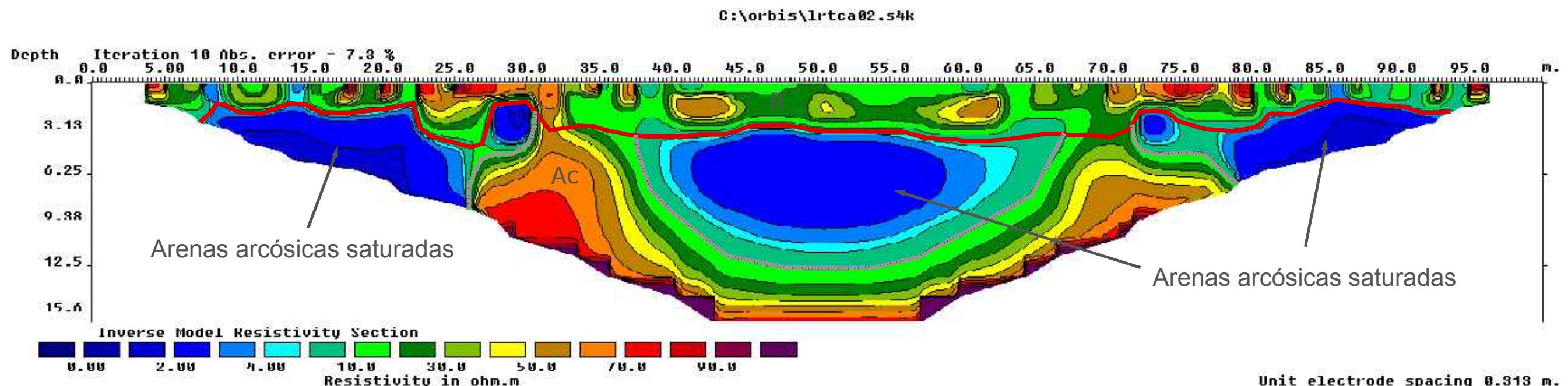
Ac Arenas arcósicas

..... Contacto zonas saturadas



SW

NE



PERFIL ELÉCTRICO TE02

LONGITUD TOTAL = 100 m

EQUIDISTANCIA ELECTRODOS = 2,5 m x 41 posiciones

LEYENDA:



Isolíneas de Resistividad



Contacto capas interpretación geológica



Contacto zonas saturadas

Re

Relleno arenoso

Ac

Arenas arcósicas



## ANEJO 2: PLANO DE SITUACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES

---

13053.2.- Estudio geofísico. Tomografía Eléctrica en el Depósito de Tres Cantos (Madrid).







### ANEJO 3: REPORTAJE FOTOGRÁFICO

---

13053.2.- Estudio geofísico. Tomografía Eléctrica en el Depósito de Tres Cantos (Madrid).





*Fotografía 1.: Realización de TE01. Punto central del perfil 01.*



*Fotografía 2.: Realización de TE01. Vista desde el centro al inicio del perfil 01.*





*Fotografía 3.: Realización de TE01. Vista desde el centro al final del perfil 01.*



*Fotografía 4.: Realización de TE02. Punto central del perfil 02.*





*Fotografía 5.: Realización de TE02. Vista desde el centro al inicio del perfil 02.*



*Fotografía 6.: Realización de TE02. Vista desde el centro al final del perfil 02.*



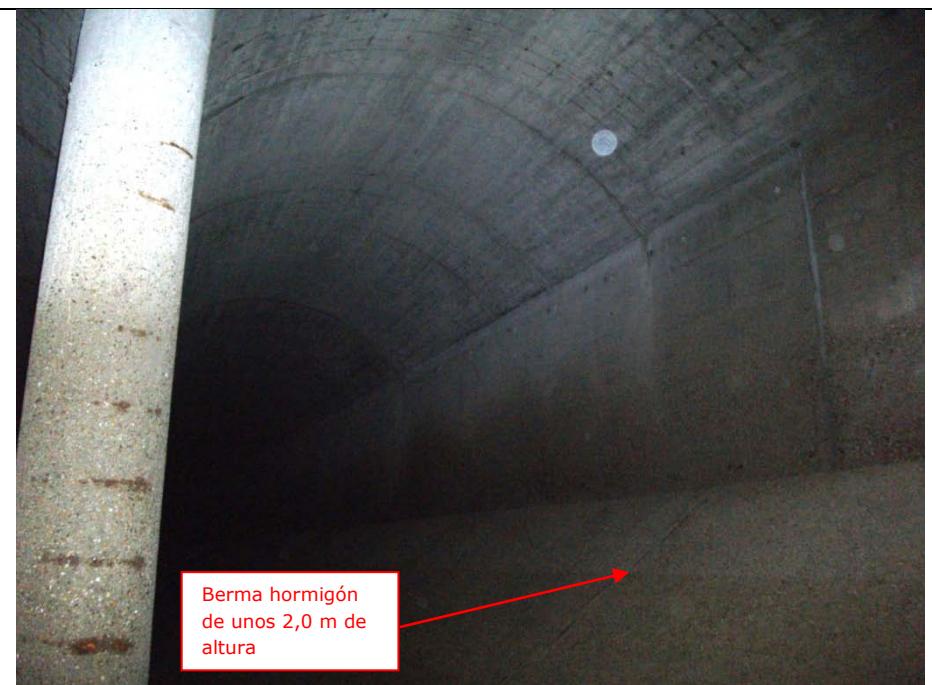
### APÉNDICE 3: REPORTAJE FOTOGRAFÍCO DE INSPECCIÓN DE PATOLOGÍAS



## COMPARTIMENTO 1



**Foto 1.** Aspecto generalizado de bóvedas. Armadura vista y con corrosión avanzada



**Foto 2.** Berma de hormigón en intradós muro longitudinal



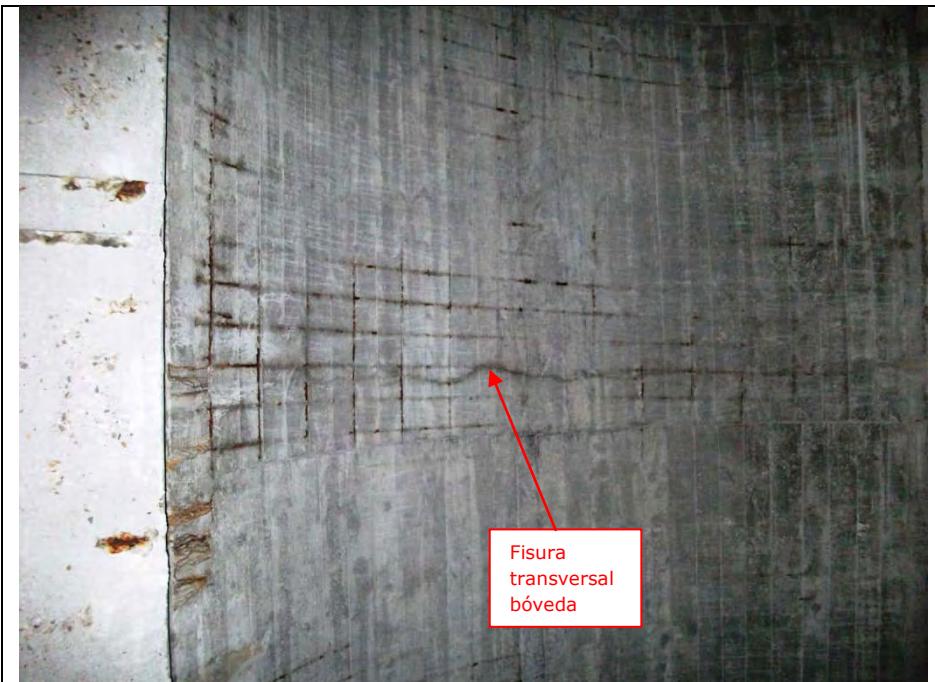


Foto 3. Fisura transversal bóveda, cara interna.

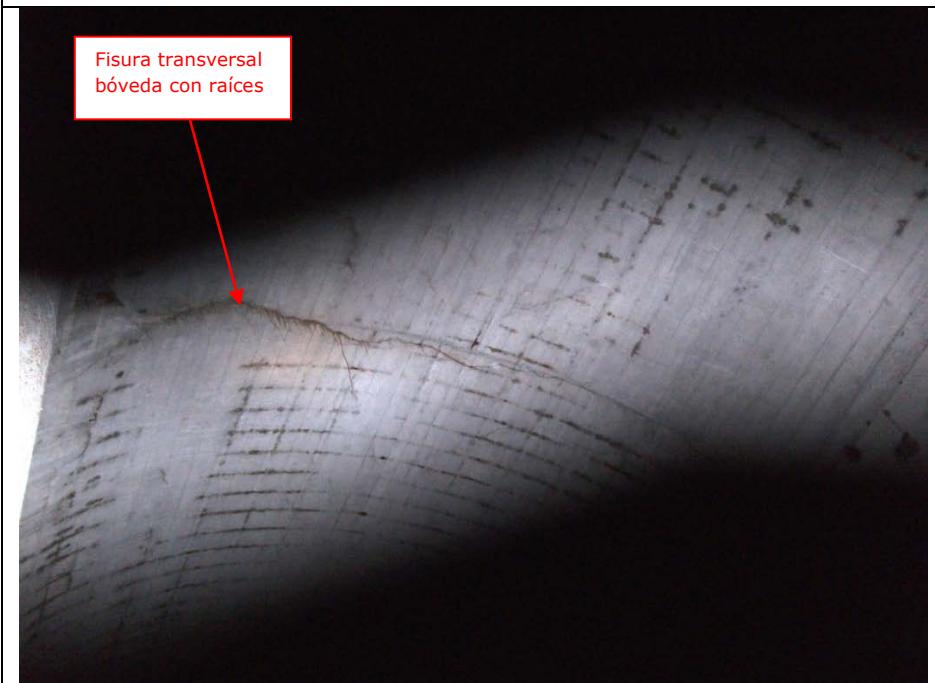


Foto 4. Fisura transversal bóveda, cara interna. Presencia de raíces



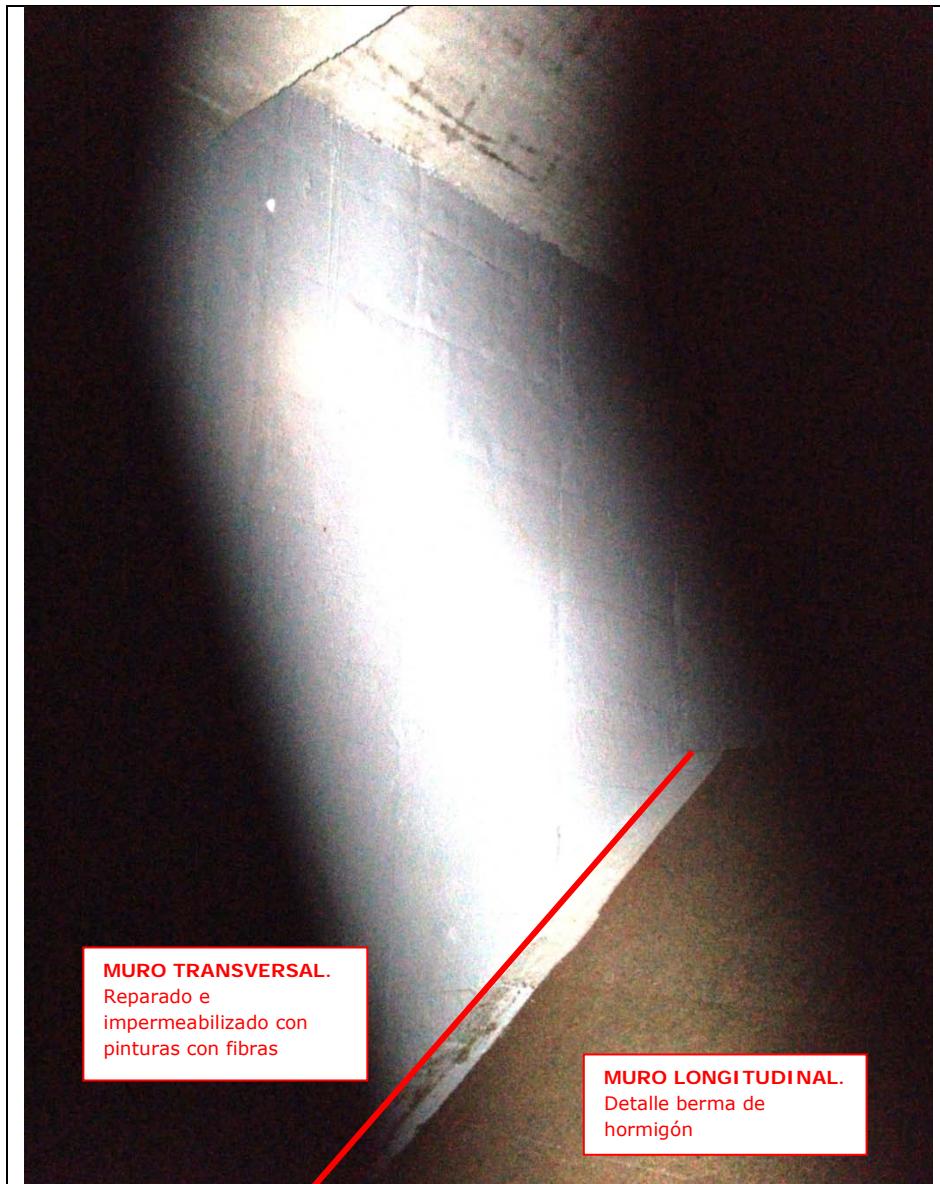
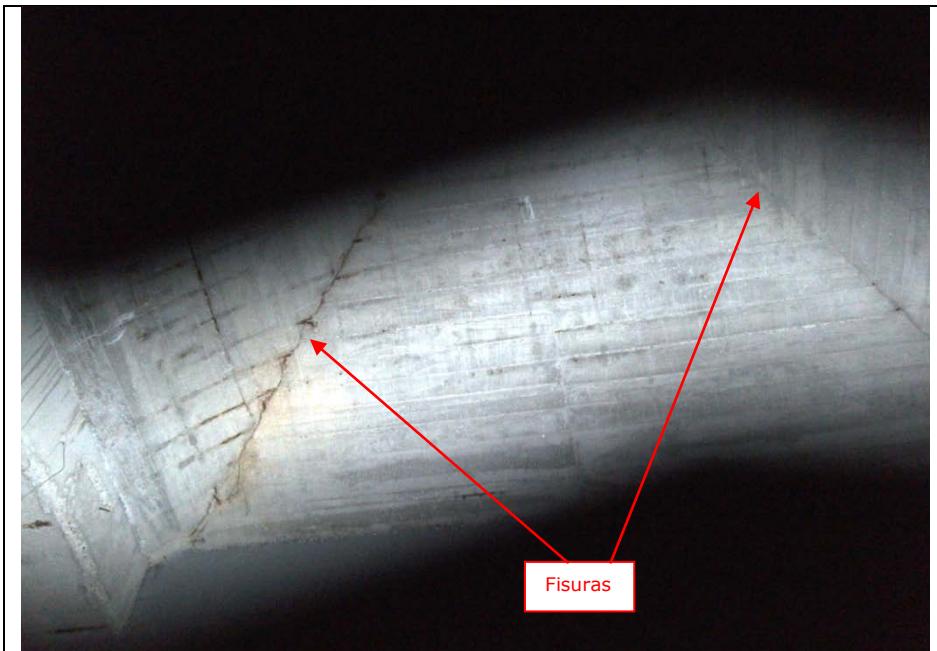


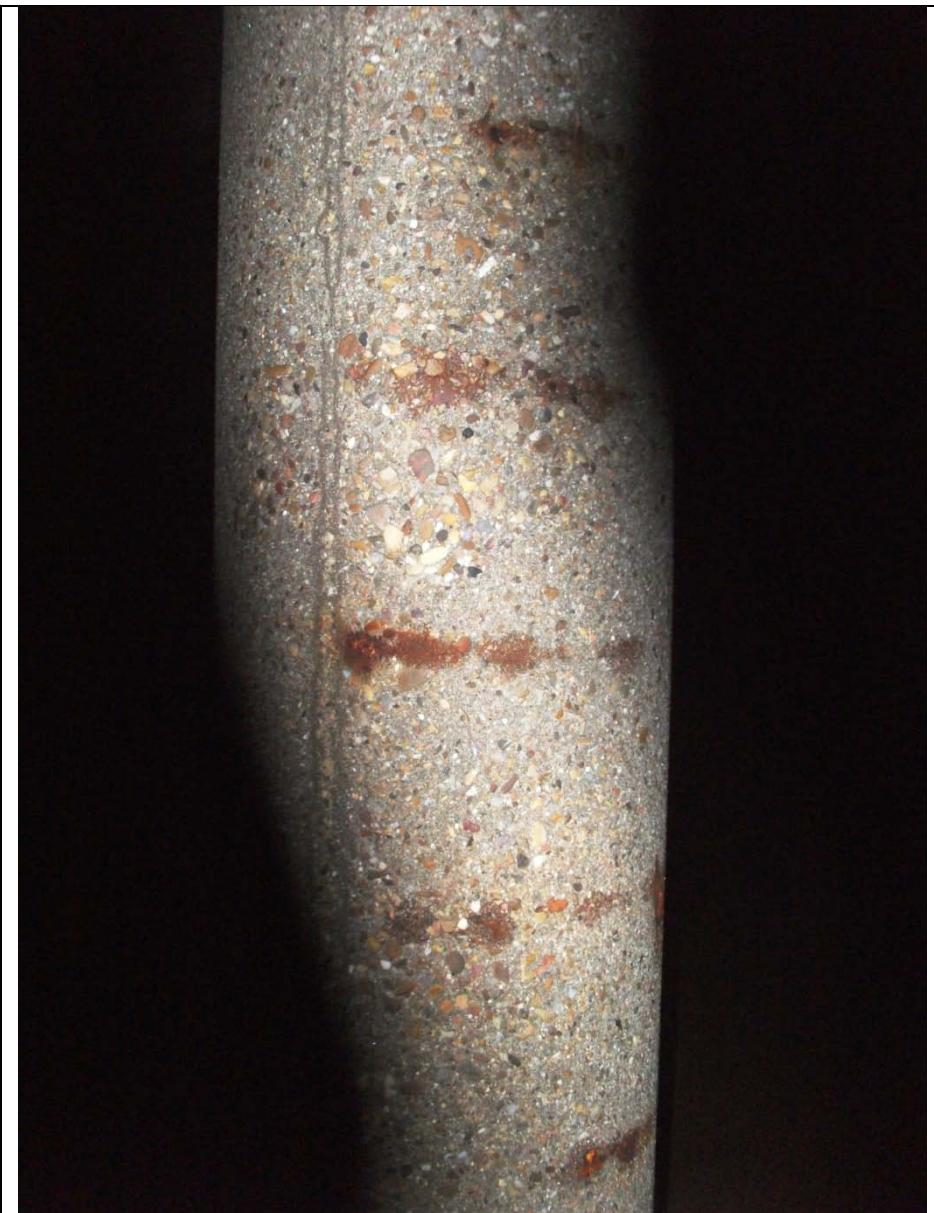
Foto 5. Encuentro muro longitudinal y transversal





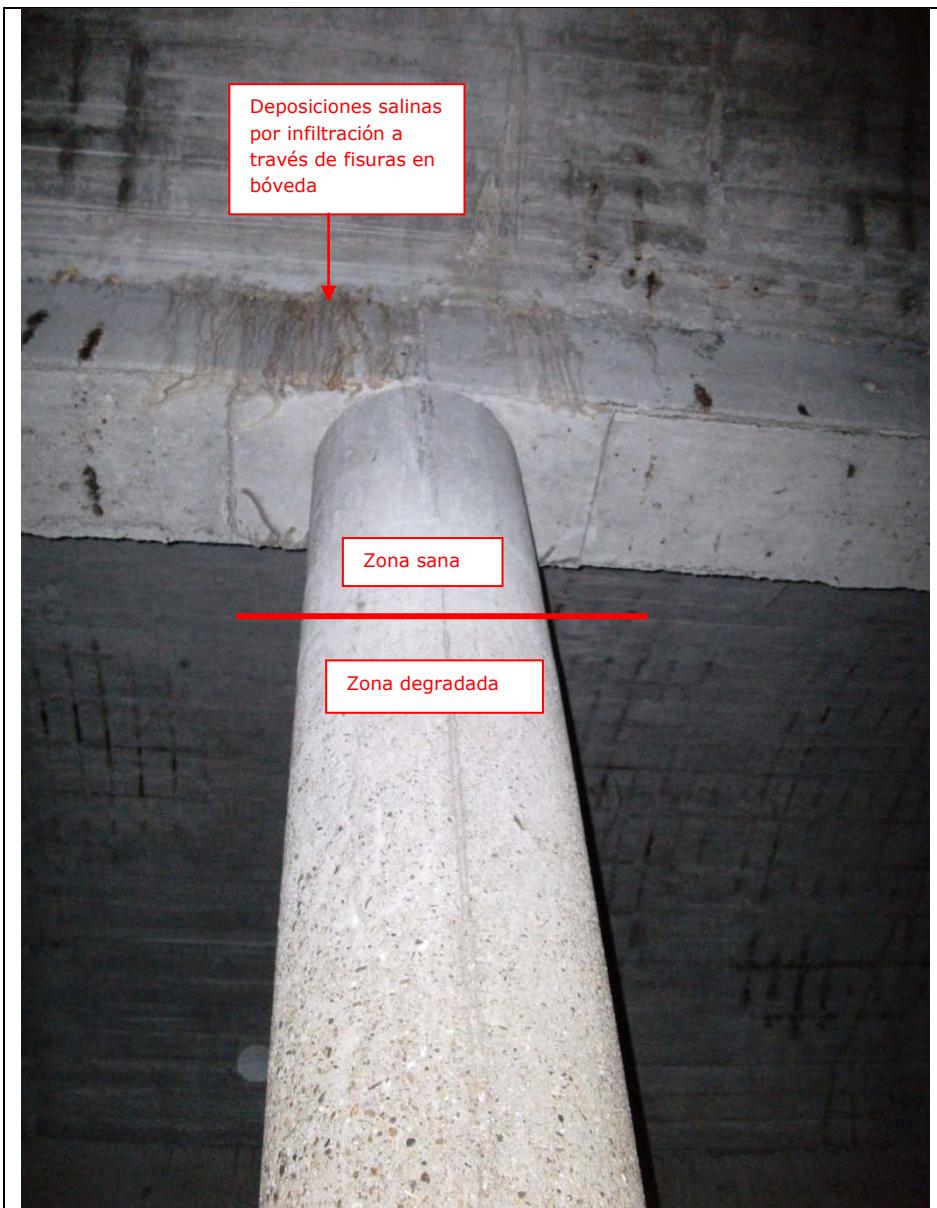
**Foto 6.** Fisuras en bóveda de esquina





**Foto 7.** Pilares con desprendimiento superficial de árido fino del hormigón. Signos de corrosión de armaduras





**Foto 8.** En pilares se elimina efecto de degradación superficial en altura, para zonas permanentemente por encima de nivel de agua





**Foto 9.** Filtraciones en bóveda desde respiraderos y fisuras



**Foto 10.** Encuentro muro transversal y longitudinal. Berma de hormigón en muro longitudinal



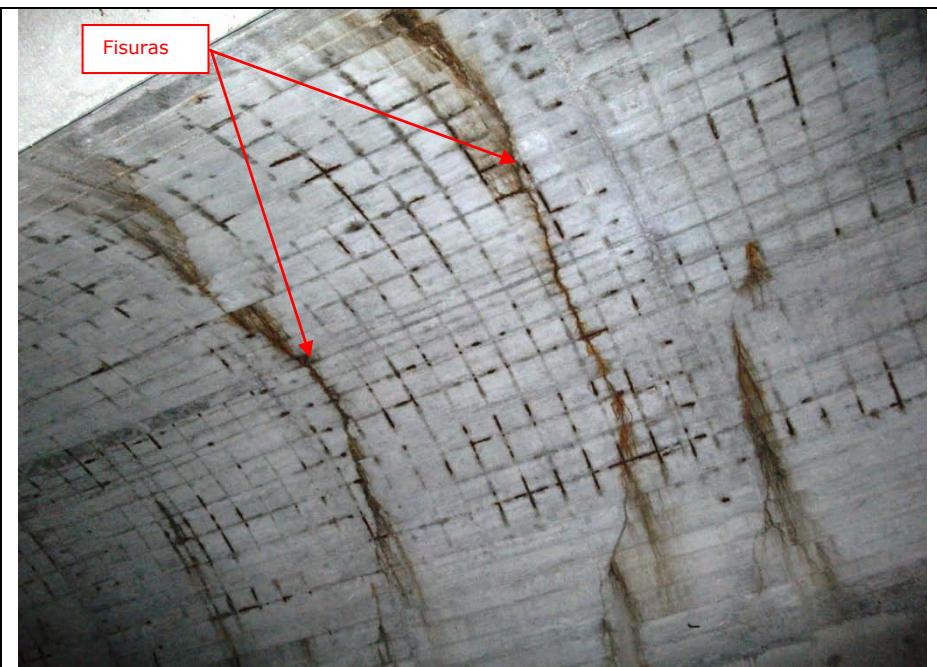


Foto 11. Fisuras transversales en bóveda, cara interna. Zona de mayor afección



## EDIFICIO DE BOMBAS



Foto 12. Grieta horizontal en la entrada del edificio de bombas

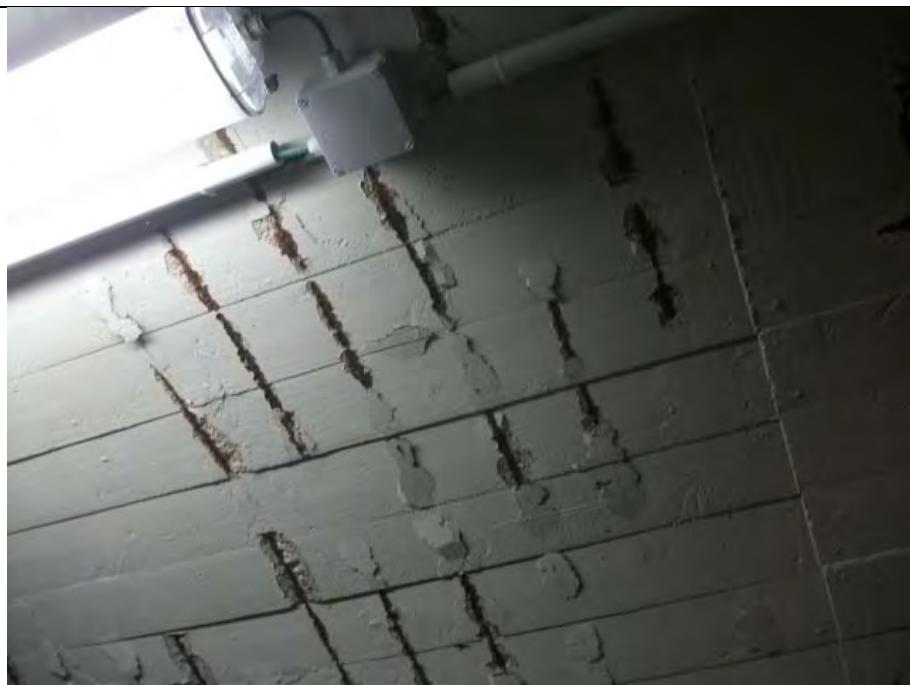


Foto 13. Bóveda con armaduras al descubierto





**Foto 14.** Grieta horizontal en el hueco de la escalera de acceso a la sala de bombas



**Foto 15.** Grieta en la viga que arranca junto al hueco de la escalera





**Foto 16.** Grieta horizontal en la sala de bombas



**Foto 17.** Grieta vertical situada junto al nudo de arranque de una viga en la sala de bombas





**Foto 18.** Grieta vertical situada junto al nudo de arranque del lado opuesto de una viga en la sala de bombas



**Foto 19.** Grietas en el techo de la sala de bombas



#### APÉNDICE 4: ENSAYOS DE LABORATORIO



**N º TRABAJO** 13053

**CLIENTE** CANAL ISABEL II GESTIÓN

**DENOMINACIÓN** ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y  
GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES  
CANTOS

**FECHA DE ENTREGA:** 06/11/2013

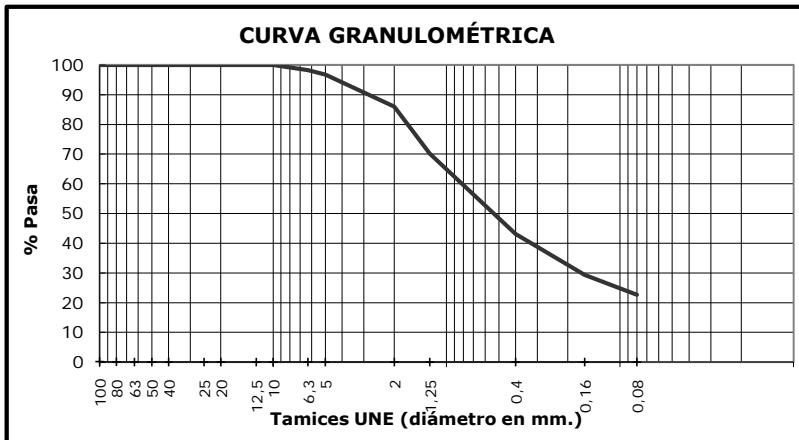
Nº de Sondeo	Tipo de muestra	Profundidad	Granulometría por tamizado (%) pase)			Límites de Atterberg			Ensayos químicos			
			63 mm	20 mm	5 mm	0,4 mm	0,08 mm	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Límite líquido	Límite plástico	Indice de plasticidad	Carbonatos solubles (%)
S-1	MI	2,40-3,00	100,0	100,0	96,7	86,0	43,1	22,6	31,0	24,7	6,3	18,9
S-1	MI	5,40-5,81	100,0	100,0	85,8	65,9	25,6	9,5	NP	NP	8,6	
S-1	MI	9,90-10,13	100,0	100,0	100,0	97,7	63,2	41,9	33,3	21,1	12,2	2,04
S-2	MI	2,40-3,00	100,0	100,0	96,4	85,0	35,8	22,1	31,0	18,9	12,2	8,8
S-2	MI	4,80-5,40	100,0	89,7	88	76,3	35,5	21,8	37,3	19,8	17,5	13,2
S-2	MI	9,10-9,53	100,0	100,0	99,8	89,4	44,5	22,0	30,3	20,7	9,6	15,1
S-3	MI	3,00-3,60	100,0	100,0	99	95	67,5	35,6	37,3	23,3	14	14,7
S-3	MI	6,80-7,40	100,0	100,0	93,3	84,4	43,6	21,8	32,6	20,4	12,2	16,6
S-3	MI	10,40-10,70	100,0	100,0	97,7	79	26,8	12,1	30,0	21,5	8,5	14,3
S-3	SPT	10,70-11,30	100,0	100,0	95,5	84,3	40,9	18,1	NP	NP	12,2	
S-4	MI	2,40-3,00	100,0	100,0	95,5	86,5	40,1	25,1	40,2	20,2	18	9,9
S-4	MI	5,30-5,71	100,0	100,0	99,7	91,6	24,5	13,6	NP	NP	9,5	
S-4	MI	9,30-9,43	100,0	100,0	96,7	82,3	22,4	11,8	NP	NP	12,2	1,83
S-5	MB	3,10-4,00	100,0	100,0	98,2	86,9	43,3	26,9	36,5	20,7	15,8	
S-5	MB	6,00-7,00	100,0	100,0	98,2	91,6	49,6	28,8	35,4	20,6	14,8	
S-6	MI	2,40-3,00	100,0	100,0	96,5	85,7	43,5	25,4	37	20,9	16,1	11,7
S-6	MI	5,40-6,00	100,0	100,0	94,9	85,4	47,6	26,7	31	17,7	13,3	13,3
S-6	MI	9,40-9,88	100,0	100,0	98,6	90,3	34,2	18,3	NP	NP	NP	

<b>MUESTRA</b>	13-228
<b>REFERENCIA</b>	S-1 MI 2,40-3,00
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	100,0
6,3	98,3
5	96,7
2	86,0
1,25	70,2
0,4	43,1
0,16	29,3
0,08	22,6



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:	31,0
LÍMITE PLÁSTICO:	24,7
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	6,3

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD	18,9
-----------	------

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

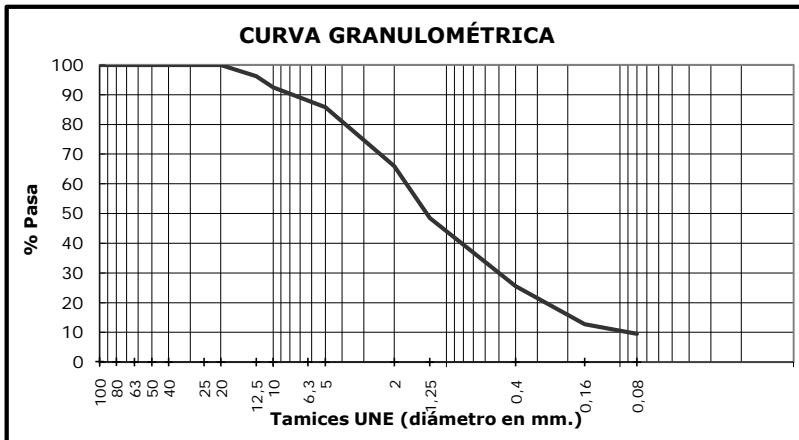
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-230
<b>REFERENCIA</b>	S-1 MI 5,40-5,81
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95**

<b>TAMICES UNE</b>	<b>PASA %</b>
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	96,2
10	92,4
6,3	88,0
5	85,8
2	65,9
1,25	48,5
0,4	25,6
0,16	12,7
0,08	9,5



**LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104**

LÍMITE LÍQUIDO:

NP

LÍMITE PLÁSTICO:

NP

ÍNDICE DE PLASTICIDAD:

NP

**DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300**

% HUMEDAD

8,6

**OBSERVACIONES:**

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

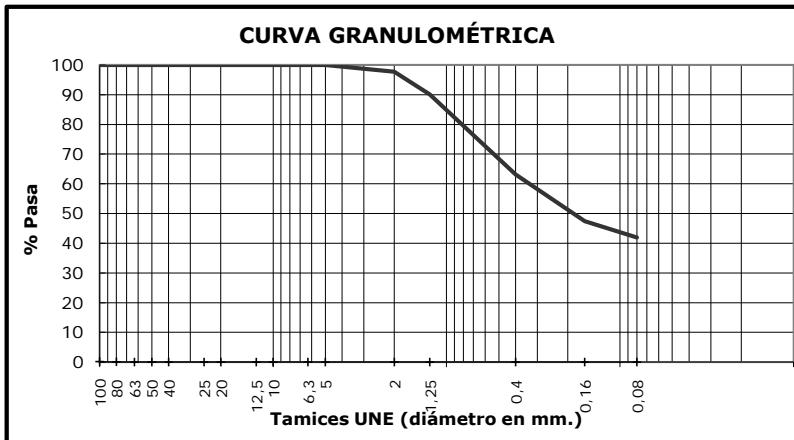
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-232
<b>REFERENCIA</b>	S-1 MI 9,90-10,13
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	100,0
6,3	100,0
5	100,0
2	97,7
1,25	90,1
0,4	63,2
0,16	47,4
0,08	41,9



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:	33,3
LÍMITE PLÁSTICO:	21,1
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	12,2

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD	11,2
-----------	------

#### DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA DE UN SUELO S/ UNE 103301

D. SECA (g/cm <sup>3</sup> )	2,04
D. APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	2,29

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

**Fdo.: Eva S. Sicilia Til**

<b>MUESTRA</b>	13-232
<b>REFERENCIA</b>	S-1 MI 9,90-10,13
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

F-10.01.06

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN SULFATOS SOLUBLES EN AGUA S/ UNE 103201**

(mg/kg)  $\text{SO}_4^{2-}$

451

**OBSERVACIONES:**

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**



Fdo.: **Eva S. Sicilia Til**

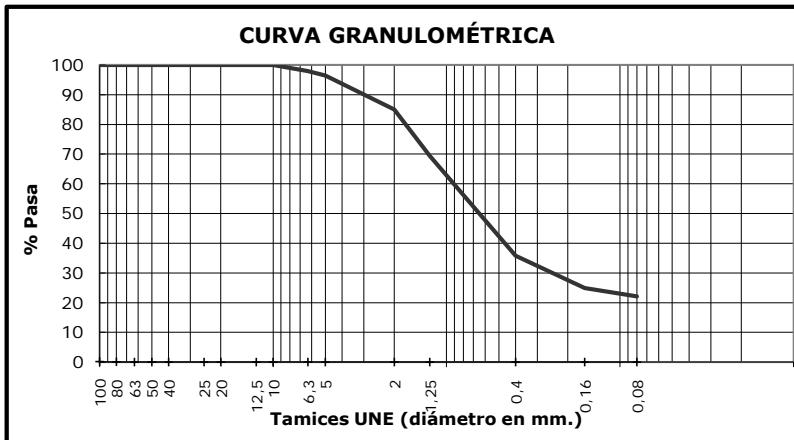
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-234
<b>REFERENCIA</b>	S-2 MI 2,40-3,00
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	100,0
6,3	97,9
5	96,4
2	85,0
1,25	69,4
0,4	35,8
0,16	24,9
0,08	22,1



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:

31,0

LÍMITE PLÁSTICO:

18,9

ÍNDICE DE PLASTICIDAD:

12,2

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD

8,8

#### DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA DE UN SUELO S/ UNE 103301

D. SECA (g/cm<sup>3</sup>)

1,92

D. APARENTE (g/cm<sup>3</sup>)

2,09

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

**Fdo.: Eva S. Sicilia Til**

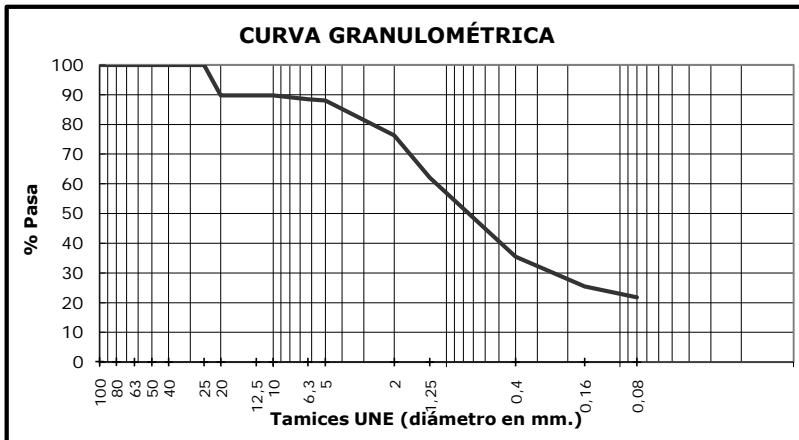
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-236
<b>REFERENCIA</b>	S-2 MI 4,80-5,40
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	89,7
12,5	89,7
10	89,7
6,3	88,5
5	88,0
2	76,3
1,25	62,1
0,4	35,5
0,16	25,4
0,08	21,8



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:	37,3
LÍMITE PLÁSTICO:	19,8
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	17,5

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD	13,2
-----------	------

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

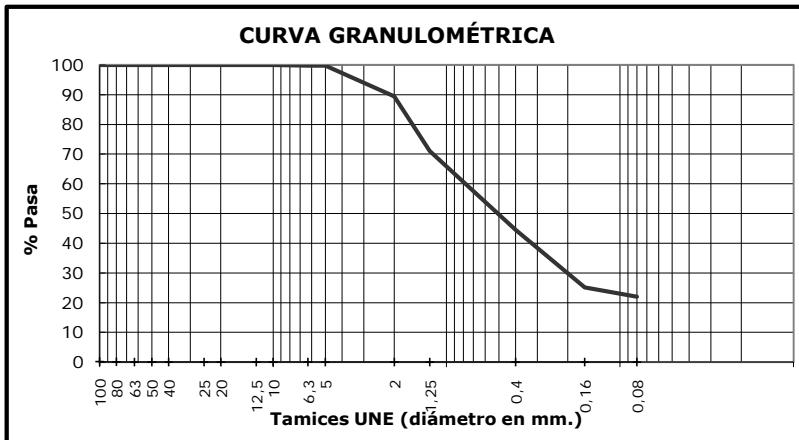
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-239
<b>REFERENCIA</b>	S-2 MI 9,10-9,53
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	100,0
6,3	99,8
5	99,8
2	89,4
1,25	71,0
0,4	44,5
0,16	25,1
0,08	22,0



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:	30,3
LÍMITE PLÁSTICO:	20,7
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	9,6

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD	15,1
-----------	------

#### DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA DE UN SUELO S/ UNE 103301

D. SECA (g/cm <sup>3</sup> )	1,91
D. APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	2,20

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-239
<b>REFERENCIA</b>	S-2 MI 9,10-9,53
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN SULFATOS SOLUBLES EN AGUA S/ UNE 103201**(mg/kg)  $\text{SO}_4^{2-}$ 

375

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN SALES SOLUBLES EN AGUA S/ NLT 114**

% sales

1,40

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN CARBONATOS S/ UNE 103200**%  $\text{CO}_3$ 

11,16

**DETERMINACIÓN DEL GRADO DE ACIDEZ BAUMANN GULLY S/ UNE 83962**

Grado de acidez (ml/kg)

10,20

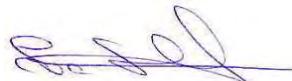
**DETERMINACIÓN DEL pH S/ UNE ISO 10390**

pH

8,05

**OBSERVACIONES:**

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio****Fdo.: Eva S. Sicilia Til**

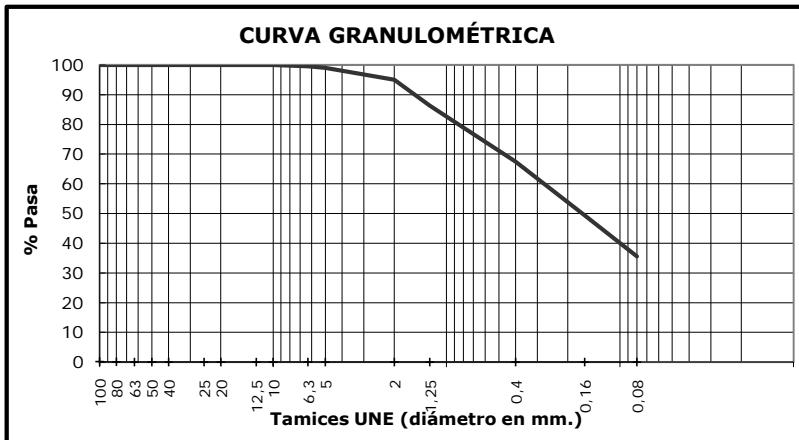
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-241
<b>REFERENCIA</b>	S-3 MI 3,00-3,60
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	100,0
6,3	99,5
5	99,0
2	95,0
1,25	86,3
0,4	67,5
0,16	49,4
0,08	35,6



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:	37,3
LÍMITE PLÁSTICO:	23,3
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	14,0

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD	14,7
-----------	------

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

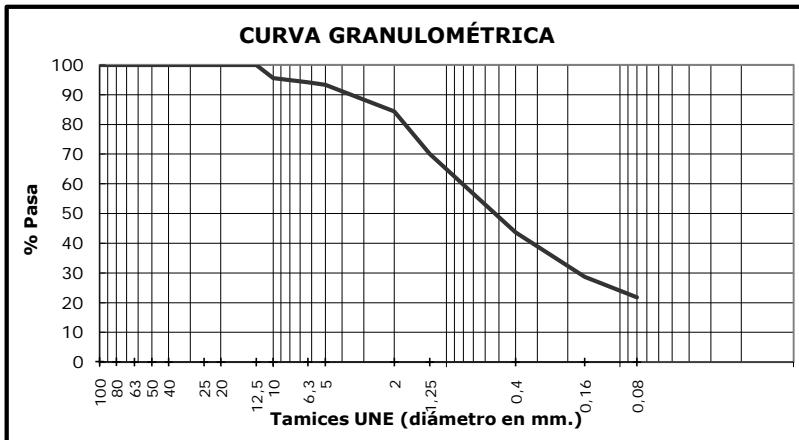
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-243
<b>REFERENCIA</b>	S-3 MI 6,80-7,40
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	95,6
6,3	94,2
5	93,3
2	84,4
1,25	70,0
0,4	43,6
0,16	28,7
0,08	21,8



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:	32,6
LÍMITE PLÁSTICO:	20,4
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	12,2

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD	16,6
-----------	------

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

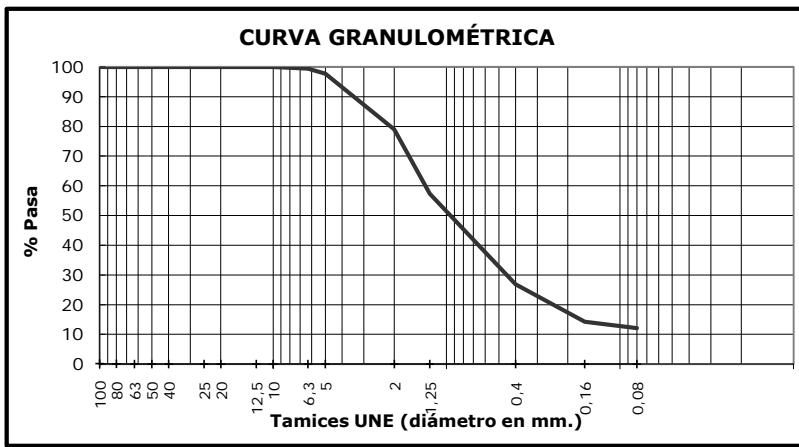
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-245
<b>REFERENCIA</b>	S-3 MI 10,40-10,70
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	100,0
6,3	99,4
5	97,7
2	79,0
1,25	57,3
0,4	26,8
0,16	14,3
0,08	12,1



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:	30,0
LÍMITE PLÁSTICO:	21,5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	8,5

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD	14,3
-----------	------

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

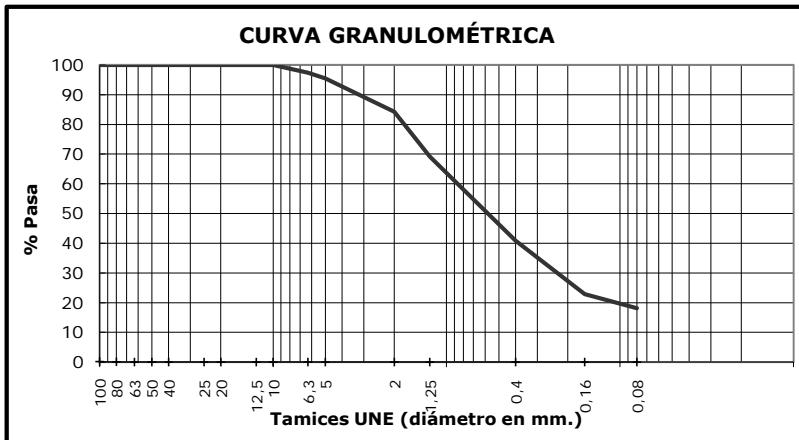
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-246
<b>REFERENCIA</b>	S-3 SPT 10,70-11,30
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	100,0
6,3	97,4
5	95,5
2	84,3
1,25	69,2
0,4	40,9
0,16	22,9
0,08	18,1



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:

NP

LÍMITE PLÁSTICO:

NP

ÍNDICE DE PLASTICIDAD:

NP

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD

12,2

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

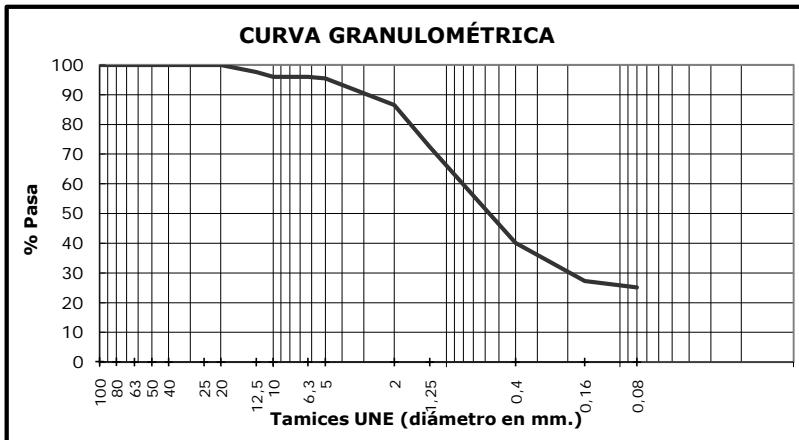
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-247
<b>REFERENCIA</b>	S-4 MI 2,40-3,00
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	97,6
10	96,0
6,3	96,0
5	95,5
2	86,5
1,25	72,4
0,4	40,1
0,16	27,3
0,08	25,1



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:	40,2
LÍMITE PLÁSTICO:	22,2
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	18,0

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD	9,9
-----------	-----

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

**Fdo.: Eva S. Sicilia Til**

<b>MUESTRA</b>	13-247
<b>REFERENCIA</b>	S-4 MI 2,40-3,00
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN SULFATOS SOLUBLES EN AGUA S/ UNE 103201**

(mg/kg)SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>

386

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

**OBSERVACIONES:**

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**



**Fdo.: Eva S. Sicilia Til**

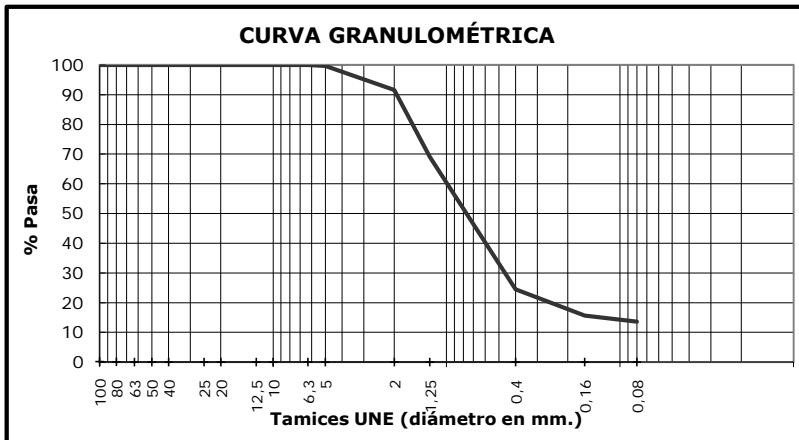
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-249
<b>REFERENCIA</b>	S-4 MI 5,30-5,71
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	100,0
6,3	100,0
5	99,7
2	91,6
1,25	69,1
0,4	24,5
0,16	15,6
0,08	13,6



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:

NP

LÍMITE PLÁSTICO:

NP

ÍNDICE DE PLASTICIDAD:

NP

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD

9,5

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

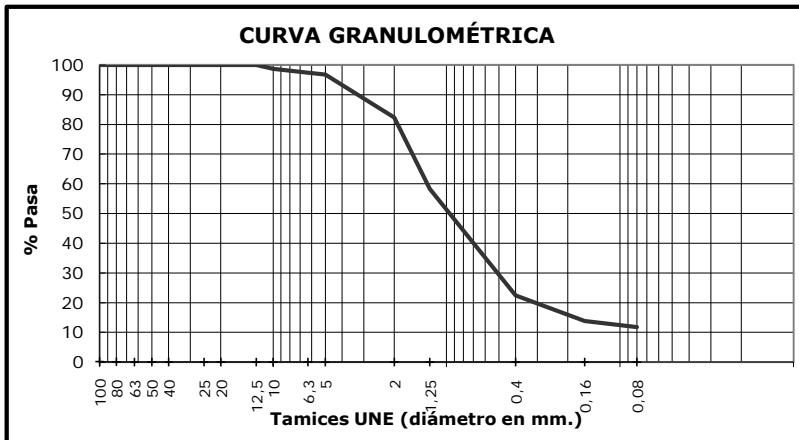
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-251
<b>REFERENCIA</b>	S-4 MI 9,30-9,43
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	98,7
6,3	97,4
5	96,7
2	82,3
1,25	58,3
0,4	22,4
0,16	13,8
0,08	11,8



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:

NP

LÍMITE PLÁSTICO:

NP

ÍNDICE DE PLASTICIDAD:

NP

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD

12,2

#### DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA DE UN SUELO S/ UNE 103301

D. SECA (g/cm<sup>3</sup>)

1,83

D. APARENTE (g/cm<sup>3</sup>)

2,06

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

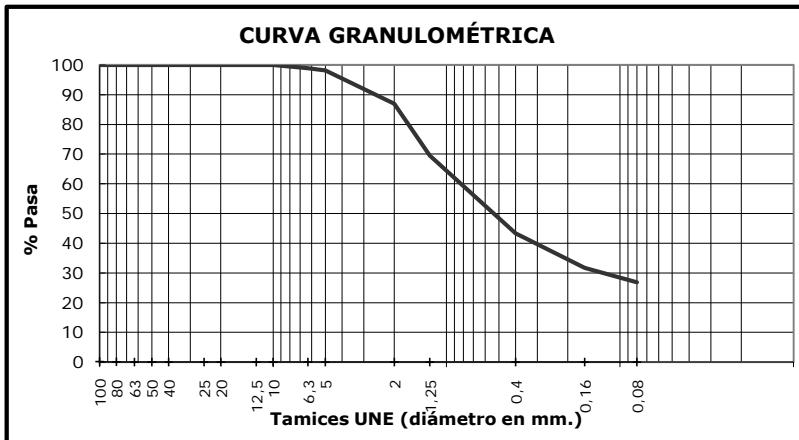
**Fdo.: Eva S. Sicilia Til**

<b>MUESTRA</b>	13-253
<b>REFERENCIA</b>	S-5 MB-1 3,10-4,00
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	100,0
6,3	98,9
5	98,2
2	86,9
1,25	69,5
0,4	43,3
0,16	31,7
0,08	26,9



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:

36,5

LÍMITE PLÁSTICO:

20,7

ÍNDICE DE PLASTICIDAD:

15,8

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

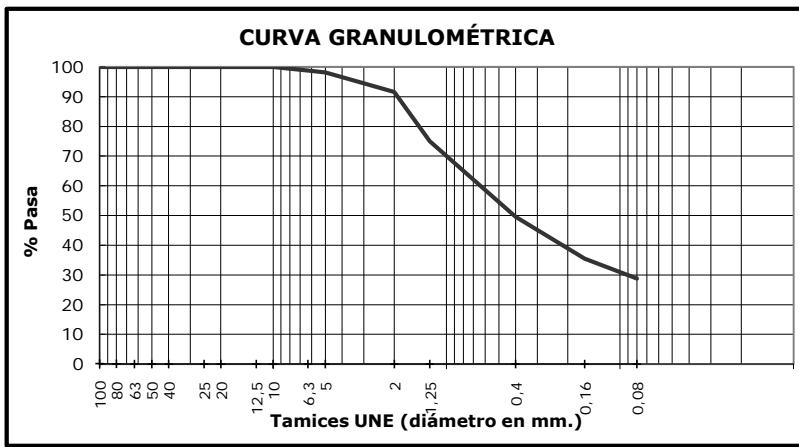
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-254
<b>REFERENCIA</b>	S-5 MB-2 6,00-7,00
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	100,0
6,3	98,8
5	98,2
2	91,6
1,25	75,0
0,4	49,6
0,16	35,5
0,08	28,8



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:	35,4
LÍMITE PLÁSTICO:	20,6
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	14,8

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

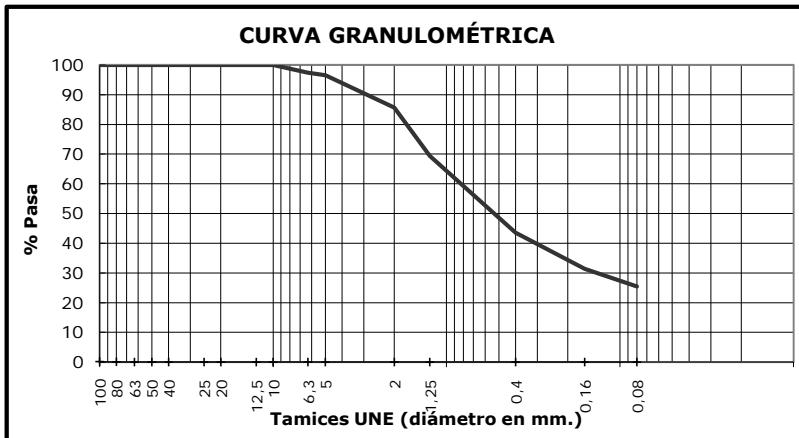
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-255
<b>REFERENCIA</b>	S-6 MI 2,40-3,00
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	100,0
6,3	97,4
5	96,5
2	85,7
1,25	69,4
0,4	43,5
0,16	31,4
0,08	25,4



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:	37,0
LÍMITE PLÁSTICO:	20,9
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	16,1

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD	11,7
-----------	------

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

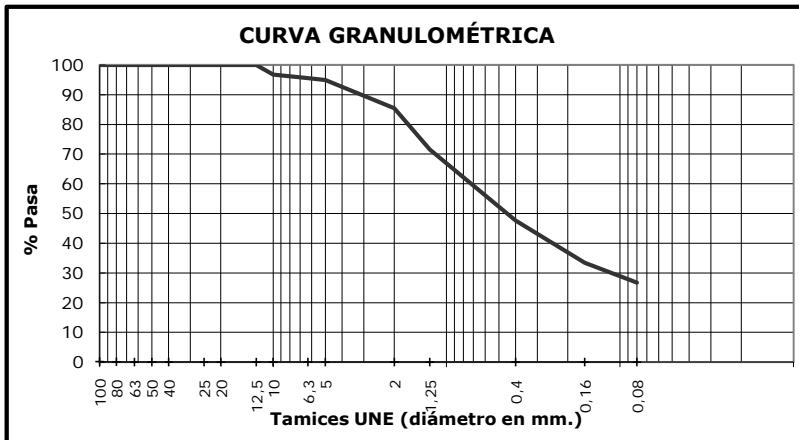
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-257
<b>REFERENCIA</b>	S-6 MI 5,40-6,00
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	96,8
6,3	95,6
5	94,9
2	85,4
1,25	71,6
0,4	47,6
0,16	33,4
0,08	26,7



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:	31,0
LÍMITE PLÁSTICO:	17,7
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	13,4

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD	13,3
-----------	------

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

Fdo.: Eva S. Sicilia Til

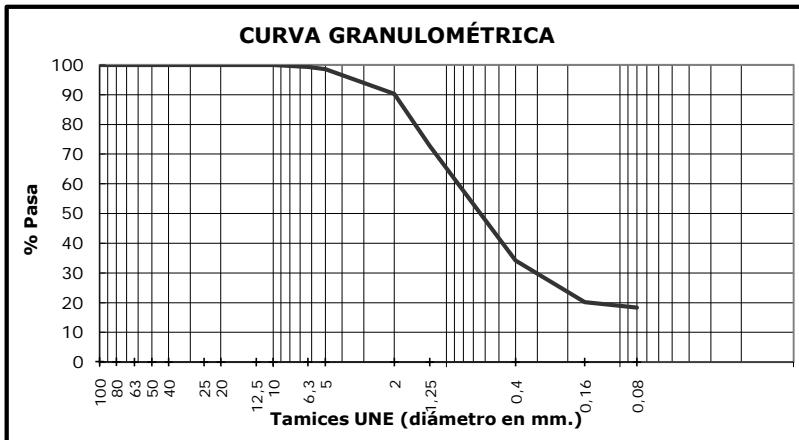
F-10.01.06

<b>MUESTRA</b>	13-259
<b>REFERENCIA</b>	S-6 MI 9,40-9,88
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO S/UNE 103101:95

TAMICES UNE	PASA %
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	100,0
10	100,0
6,3	99,3
5	98,6
2	90,3
1,25	72,7
0,4	34,2
0,16	20,2
0,08	18,3



#### LÍMITES DE ATTERBERG S/UNE 103103 Y UNE 103104

LÍMITE LÍQUIDO:

NP

LÍMITE PLÁSTICO:

NP

ÍNDICE DE PLASTICIDAD:

NP

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL S/ UNE 103300

% HUMEDAD

14,8

#### DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA DE UN SUELO S/ UNE 103301

D. SECA (g/cm<sup>3</sup>)

1,71

D. APARENTE (g/cm<sup>3</sup>)

1,96

#### OBSERVACIONES:

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**

**Fdo.: Eva S. Sicilia Til**

<b>MUESTRA</b>	13-259
<b>REFERENCIA</b>	S-6 MI 9,40-9,88
<b>LOCALIZACIÓN</b>	ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28/10/2013 - 06/11/2013

Los resultados reflejados en este Acta sólo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de Orbis Terrarum.

F-10.01.06

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN SULFATOS SOLUBLES EN AGUA S/ UNE 103201**

(mg/kg)  $\text{SO}_4^{2-}$

131

**OBSERVACIONES:**

Madrid, 6 de noviembre de 2013

**Jefe de laboratorio**



Fdo.: **Eva S. Sicilia Til**

F-10.01.06

Este informe consta de 25 páginas.

Madrid, 6 de Noviembre de 2013

Fdo.:



Eva S. Sicilia Til

Jefe de laboratorio





## **RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO**

CLIENTE: **ORBIS TERRARUM, S. L.**

OBRA: **ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES  
CANTOS (Número de proyecto: 13053)**

Nº OBRA: **2013173**

FECHA INFORME: **11 de noviembre de 2013**

LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN EDIFICACIÓN Y OBRA CIVIL

Área de ensayos de laboratorio de geotecnia (GTL) Nº 03267GTL08:

- C.2. Ensayos básicos (GTL.b)
  - Identificación y estado de suelos.*
  - Resistencia y deformación de suelos.*
  - Agresividad de aguas y suelos.*
- C.3.1. Ensayos complementarios primero (GTL.c1)
  - Resistencia y deformación de rocas.*
  - Compactaciones.*
- C.3.2. Ensayos complementarios segundo (GTL.c2)
  - Determinación del módulo de elasticidad (Young) y del coeficiente de Poisson*
  - Resistencia a la carga puntual*
- C.3.3. Ensayos complementarios tercero (GTL.c3)
  - Parámetros resistentes de una muestra de suelo en el equipo Triaxial.*

*Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo establecidos en la norma de calidad  
UNE-EN ISO/IEC 17025:2005*



## **ORBIS TERRARUM, S. L.**

C/ Cronos nº 20, Portal 3 – Local 6  
28037-Madrid

**Nº OBRA: 2013173**

## **OBRA: ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS**

(Número de proyecto: 13053)

### **1. ANTECEDENTES**

El día 29 de octubre de 2013 se recibe en el laboratorio Tecnología del suelo y materiales, S.L. la petición de ensayos de la citada obra, que se compone de cinco muestras inalteradas de suelo y una muestra de agua recibida en condiciones ambientales.

### **2. ENSAYOS SOLICITADOS**

- 2.1. Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo, según norma UNE 103400:93
- 2.2. Determinación de los parámetros resistentes de una muestra de suelo en el equipo triaxial: ensayo consolidado, sin drenaje y con medida de las presiones intersticiales (CU), según norma UNE 103402:98  
*(El cliente indica que el ensayos se haga con las siguientes presiones de confinamiento: 1.0 kg/cm<sup>2</sup>, 2.0 kg/cm<sup>2</sup> y 4.0 kg/cm<sup>2</sup>)*
- 2.3. Método para determinar la agresividad de las aguas al hormigón. Incluye los siguientes ensayos: valor pH (UNE 83952:2008), magnesio ( $Mg^{2+}$ ) (UNE 83955:2008), amonio ( $NH_4^+$ ) (UNE 83954:2008), sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ) (UNE 83956:2008), dióxido de carbono libre ( $CO_2$ ) (UNE-EN 13577:2008) y residuo seco (UNE 83957:2008). Los ensayos se clasifican según la instrucción EHE 2008.



C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375 881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

**Tecnología del suelo y materiales, S. L.**  
LABORATORIO GEOTÉCNICO

### 3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

Nº Obra: 2013173

Cliente: ORBIS TERRARUM, S.L.

ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPÓSITO TRES CANTOS (Número de proyecto: 130533)

11 de noviembre de 2013



Tecnología del suelo y materiales, S. L.  
LABORATORIO GEOTÉCNICO

C/ Oporto, nº 11  
Polígono Europolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

## HOJA RESUMEN DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS

Muestra ensayada	Tipo de muestra	Densidad seca, en g/cm <sup>3</sup>	Densidad humeda, en g/cm <sup>3</sup>	Peso específico, en g/cm <sup>3</sup>	Tipo de Proctor	Humedad óptima, en %	Indice C.B.R. al 100%	Hinchamiento, en %	Granulometría por Tamizado	Indice de Plasticidad	Edométro muestra saturada (índice de poros inicial e <sub>0</sub> )	Presión de hinchamiento, en kPa	Indice de colapso I, en %	Tensión, en kg/cm <sup>2</sup>	Deformación, en %	Angulo de Rozamiento	Tipo de Triaxial o Corte	Cohesión, en kg/cm <sup>2</sup>	Agresividad EHE	Sulfatos Cuantitativos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), en mg/kg	Acidez Baumann-Guilly, en ml/kg	Madera Organica, en %	Sales Solubles, en %	Químicos		Ensayos Químicos				
S-1 5.40-5.81	MI-2																													
S-2 7.00 Agua	A																													
S-2 9.10-9.53	MI-4																													
S-3 10.40-10.70	MI-3																													
S-4 5.30-5.71	MI-2																													
S-6 9.40-9.88	MI-3																													

Nº Obra: 2013173

Cliente: ORBIS TERRARUM, S.L.

Obra: ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TF

Muestra: S-2 7.00 Agua A

Fecha: 11 de noviembre de 2013



C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375881

[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

número de proyecto: 13

Tecnología del suelo y materiales, S. L.

LABORATORIO GEOTÉCNICO

## Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas.

### Determinación de la agresividad de las aguas, según la instrucción EHE 2008.

1. Información general / 2. Información adicional		
Tipo de agua:	Profundidad muestreo:	Descripción del agua:
<b>Sondeo</b>	<b>7.00</b>	<b>Freática</b>
Puntos de recogida:	Hora recogida:	Día de recogida de la muestra:
<b>1</b>	<b>-</b>	<b>07/11/2013</b>
Temperatura del agua en la recogida:	Nivel de agua freática:	Condiciones de envío:
<b>-</b>	<b>7.00</b>	<b>Agua no refrigerada</b>
Temperatura del agua en la recepción:	Hora recepción:	Día de recepción en laboratorio*:
<b>15.5 °C</b>	<b>14:00</b>	<b>07/11/2013</b>

3. Análisis del agua		4. Grado de agresividad**		
Parámetro	Resultado	Débil	Medio	Fuerte
APARIENCIA	<b>Clara</b>			
OLOR (muestra no tratada)	<b>No</b>			
OLOR (muestra tratada)	<b>No</b>			
VALOR DEL pH*(UNE 83952:2008)	<b>6.74</b>	6.5 - 5.5	5.5 - 4.5	< 4.5
MAGNESIO ( $Mg^{2+}$ ), en mg/l (UNE 83955:2008)	<b>35.0</b>	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
AMONIO ( $NH_4^+$ ), en mg/l (UNE 83954:2008)	<b>2.0</b>	15 -30	30 - 60	> 60
SULFATO ( $SO_4^{2-}$ ), en mg/l (UNE 83956:2008)	<b>65</b>	200 - 600	600 - 3000	> 3000
DIÓXIDO LIBRE ( $CO_2$ ), en mg/l* (UNE-EN 13577:2008)	<b>20.3</b>	15 - 40	40 - 100	> 100
RESIDUO SECO, en mg/l (UNE 83957:2008)	<b>575</b>	150 - 75	75 - 50	< 50

La evaluación del agua se basará en el valor que se considera en el grado más elevado de la categoría de agresividad, incluso si este valor representa sólo uno de los parámetros. Cuando dos o más valores estén por encima del cuantil superior de una categoría particular o en el cuantil inferior en el caso del pH, el agua se asignará al nivel más elevado (excepto en el agua de mar o de lluvia)

\*Estos ensayos se realizan el día de recepción de la muestra.

\*\*Tabla 8.2.3.b Clasificación de la agresividad química.

5. Evaluación				
Evaluación	No Agresiva	Débil	Medio	Fuerte
<b>Agresividad del agua</b>		<b>X</b>		

\*\*Marcar el que proceda

Observaciones: Agresividad débil por CO<sub>2</sub>.

Ensayo Acreditado por la Comunidad de Madrid en el Área de Geotecnia (GTL) Nº 03267GTL08

Formato ACA-02/02

Los resultados contenidos en el presente informe sólo afectan al material sometido a ensayo.

El informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio que lo emite.

Página 5 de 15

Nº Obra: 2013173

Cliente: ORBIS TERRARUM, S.L.

Obra: ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS (Número  
Muestra: S-1 5.40-5.81 MI-2

Fecha: 30 de octubre de 2013



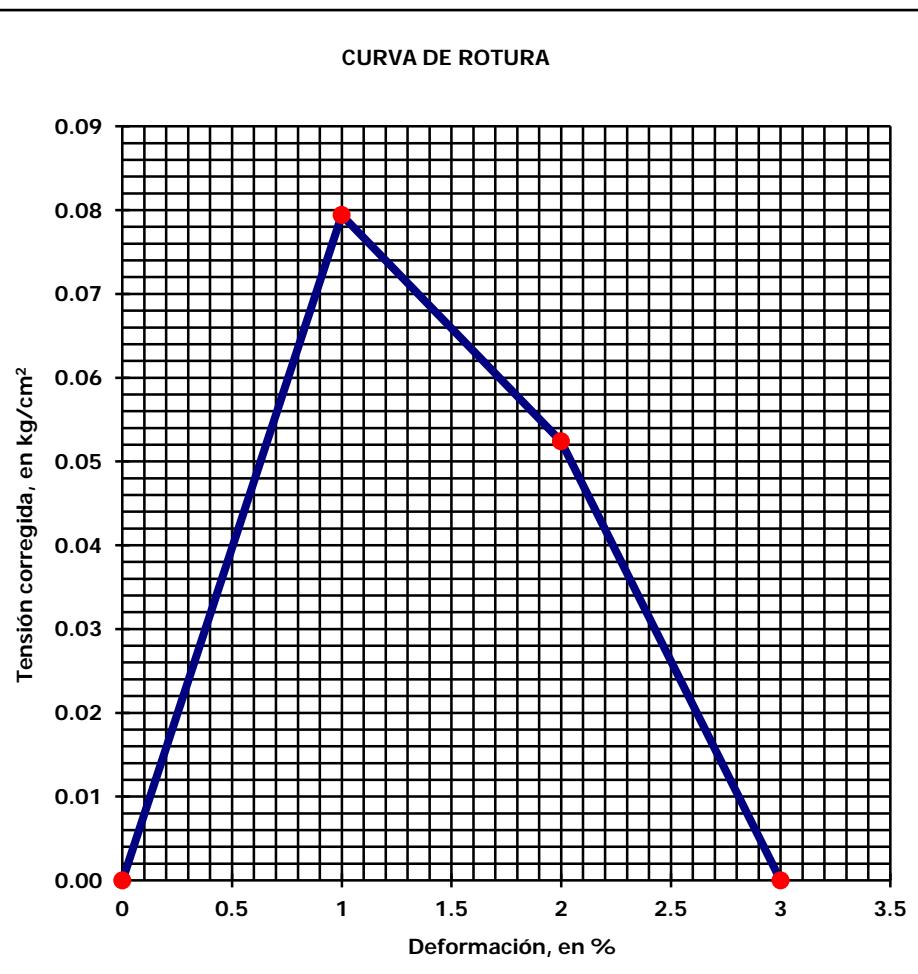
C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

Tecnología del suelo y materiales, S. L.  
LABORATORIO GEOTÉCNICO

## ENSAYO DE ROTURA A COMPRESIÓN SIMPLE: UNE 103-400-93

Tipo de probeta	Diámetro, en cm	Altura, en cm	Humedad, en %	Densidad seca, en g/cm <sup>3</sup>	Resistencia, en kg/cm <sup>2</sup>
Inalterada	6.9	13.8	9.7	1.803	0.1
			Factor esbeltez	Deformación, en %	Resistencia, en kPa
			1.000	1.0	8

Deformación en %	Tensión corregida en kg/cm <sup>2</sup>
0	0.0
1	0.1
2	0.1



El ensayo se realiza a una temperatura ambiente de 20 °C y una humedad relativa del 50 %.

Forma de rotura: Inalterada



Remoldeada

Observaciones: -

Nº Obra: 2013173

Cliente: ORBIS TERRARUM, S.L.

Obra: ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS (Número  
Muestra: S-2 9.10-9.53 MI-4

Fecha: 30 de octubre de 2013



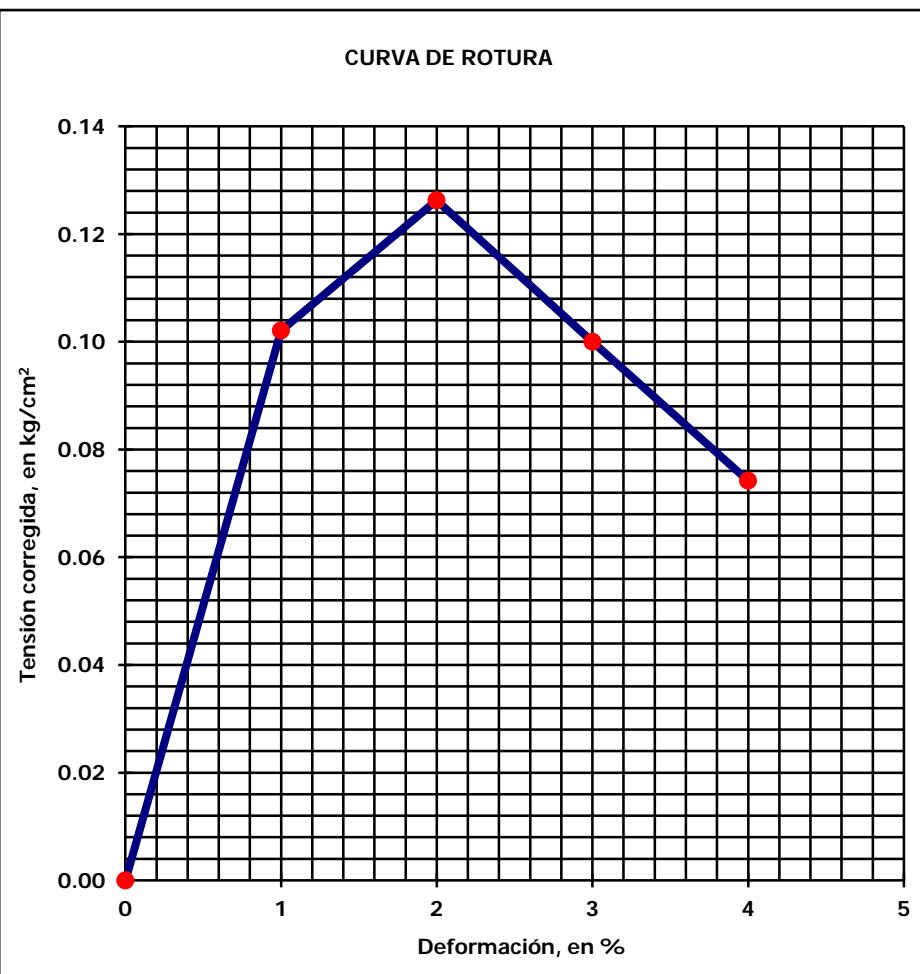
C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

Tecnología del suelo y materiales, S. L.  
LABORATORIO GEOTÉCNICO

## ENSAYO DE ROTURA A COMPRESIÓN SIMPLE: UNE 103-400-93

Tipo de probeta	Diámetro, en cm	Altura, en cm	Humedad, en %	Densidad seca, en g/cm <sup>3</sup>	Resistencia, en kg/cm <sup>2</sup>
Inalterada	7.0	13.1	16.1	1.851	0.1
			Factor esbeltez	Deformación, en %	Resistencia, en kPa
			1.008	2.0	12

Deformación en %	Tensión corregida en kg/cm <sup>2</sup>
0	0.0
1	0.1
2	0.1
3	0.1
4	0.1



El ensayo se realiza a una temperatura ambiente de 20 °C y una humedad relativa del 50 %.

Forma de rotura: Inalterada



Remoldeada



Observaciones: -

Nº Obra: 2013173

Cliente: ORBIS TERRARUM, S.L.

Obra: ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS (Número

Muestra: S-3 10.40-10.70 MI-3

Fecha: 30 de octubre de 2013



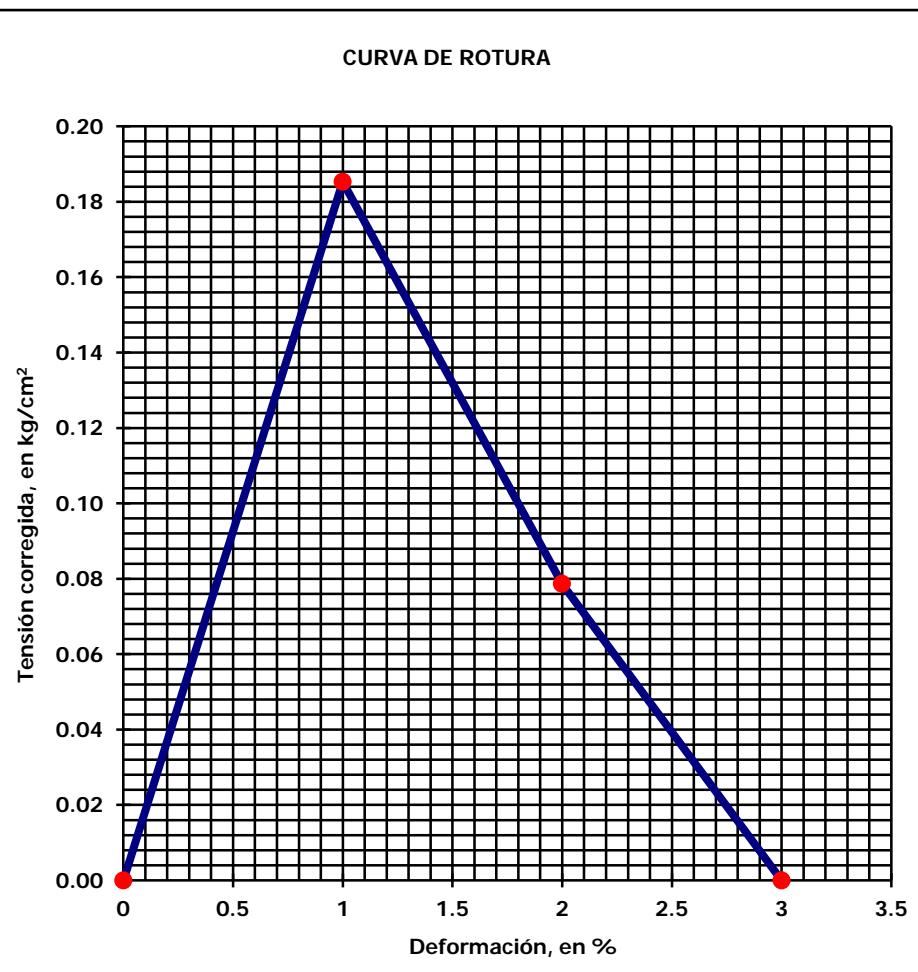
C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

Tecnología del suelo y materiales, S. L.  
LABORATORIO GEOTÉCNICO

## ENSAYO DE ROTURA A COMPRESIÓN SIMPLE: UNE 103-400-93

Tipo de probeta	Diámetro, en cm	Altura, en cm	Humedad, en %	Densidad seca, en g/cm <sup>3</sup>	Resistencia, en kg/cm <sup>2</sup>
Inalterada	6.9	13.8	11.1	1.978	0.2
			Factor esbeltez	Deformación, en %	Resistencia, en kPa
			1.000	1.0	18

Deformación en %	Tensión corregida en kg/cm <sup>2</sup>
0	0.0
1	0.2
2	0.1



El ensayo se realiza a una temperatura ambiente de 20 °C y una humedad relativa del 50 %.

Forma de rotura: Inalterada



Remoldeada



Observaciones: -

Nº Obra: 2013173

Cliente: ORBIS TERRARUM, S.L.

Obra: ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS (Número  
Muestra: S-4 5.30-5.71 MI-2

Fecha: 30 de octubre de 2013



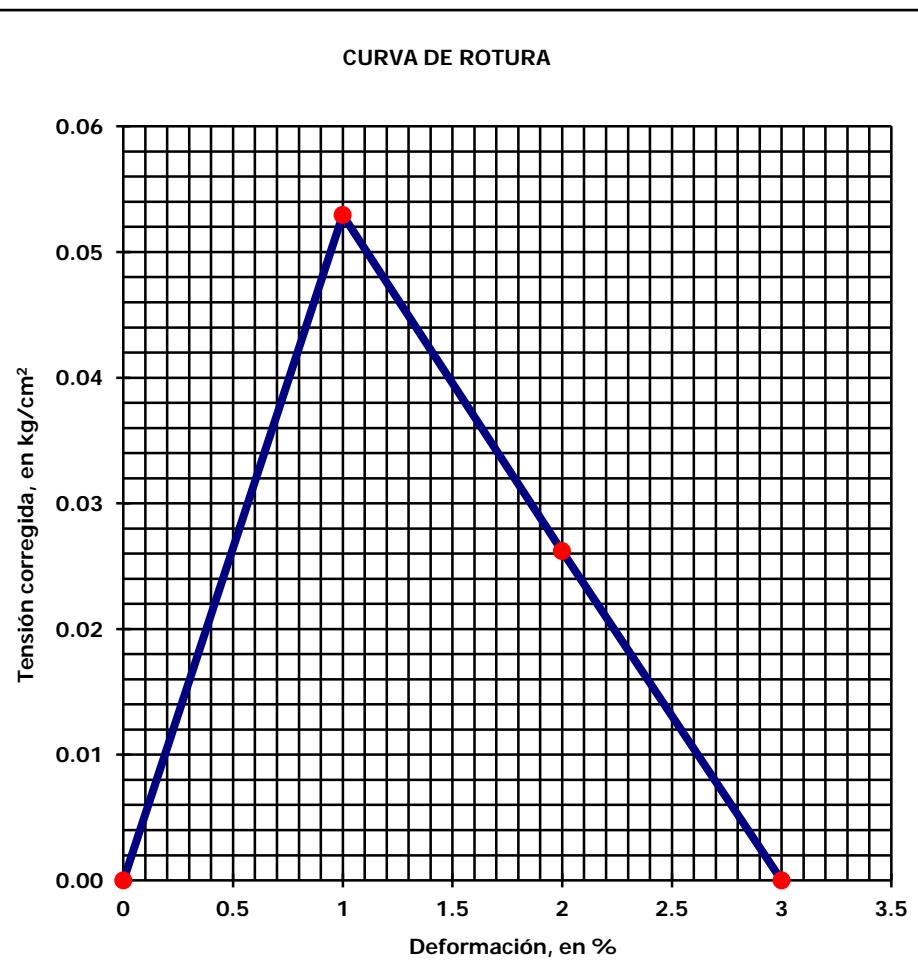
C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

Tecnología del suelo y materiales, S. L.  
LABORATORIO GEOTÉCNICO

## ENSAYO DE ROTURA A COMPRESIÓN SIMPLE: UNE 103-400-93

Tipo de probeta	Diámetro, en cm	Altura, en cm	Humedad, en %	Densidad seca, en g/cm <sup>3</sup>	Resistencia, en kg/cm <sup>2</sup>
Inalterada	6.9	13.8	10.0	1.750	0.1
			Factor esbeltez	Deformación, en %	Resistencia, en kPa
			1.000	1.0	5

Deformación en %	Tensión corregida en kg/cm <sup>2</sup>
0	0.0
1	0.1
2	0.0



El ensayo se realiza a una temperatura ambiente de 20 °C y una humedad relativa del 50 %.

Forma de rotura: Inalterada



Remoldeada



Observaciones: -

Nº Obra: 2013173

Cliente: **ORBIS TERRARUM, S.L.**  
 Obra: ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS (Número  
 Muestra: S-6 9.40-9.88 MI-3  
 Fecha: 5 de noviembre de 2013



C/ Oporto, nº 11  
 Polígono Európolis  
 28232-Las Rozas (Madrid)  
 Teléfono: 916 375881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

Tecnología del suelo y materiales, S. L.  
 LABORATORIO GEOTÉCNICO

## ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL: UNE 103 402:98

**Tipo de ensayo:** Triaxial CU: Consolidado y no drenado con medida de las presiones intersticiales.  
**Tipo de muestra:** Inalterada

### DATOS DEL ENSAYO

Presión lateral 6.0 kg/cm <sup>2</sup>				Presión lateral 7.0 kg/cm <sup>2</sup>				Presión lateral 9.0 kg/cm <sup>2</sup>				
Tiempo	Deformación	Tensión	P. Intersticial	Tiempo	Deformación	Tensión	P. Intersticial	Tiempo	Deformación	Tensión	P. Intersticial	
min.	%	kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	min.	%	kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	min.	%	kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6.00	0.56	0.93	0.19	5.93	0.56	3.91	0.01	6.00	0.56	0.48	0.14	
12.30	1.20	1.55	0.29	11.43	1.12	4.65	0.07	12.37	1.18	3.62	1.08	
19.35	1.90	2.11	0.30	18.57	1.80	5.21	0.16	19.53	1.87	5.45	1.17	
24.92	2.45	2.51	0.23	24.07	2.36	5.54	0.16	25.13	2.43	6.66	1.09	
31.72	3.16	2.90	0.13	30.88	3.08	5.83	0.12	32.17	3.13	8.00	0.90	
36.78	3.70	3.16	0.06	35.82	3.61	6.07	0.10	37.43	3.68	8.93	0.76	
43.35	4.41	3.49	-0.03	42.58	4.31	6.41	0.05	44.33	4.39	9.99	0.60	
48.65	4.95	3.77	-0.10	48.25	4.86	6.70	0.00	49.40	4.93	10.84	0.46	
55.85	5.64	4.14	-0.18	55.15	5.56	7.01	-0.06	56.27	5.64	11.85	0.29	
61.43	6.20	4.41	-0.24	60.65	6.11	7.27	-0.11	61.63	6.18	12.47	0.21	
68.40	6.90	4.73	-0.31	67.65	6.82	7.56	-0.18	68.57	6.88	13.13	0.06	
73.90	7.45	4.88	-0.36	73.03	7.36	7.72	-0.22	74.17	7.43	13.54	-0.05	
80.87	8.15	5.04	-0.40	80.00	8.06	7.88	-0.27	81.43	8.12	13.95	-0.19	
86.30	8.70	5.06	-0.43	85.43	8.61	7.96	-0.31	87.17	8.68	14.25	-0.28	
93.20	9.41	5.09	-0.47	92.23	9.32	7.97	-0.36	94.13	9.38	14.52	-0.37	
98.43	9.96	5.04	-0.50	97.27	9.86	7.98	-0.40	99.47	9.93	14.70	-0.44	
104.95	10.66	5.04	-0.52	103.90	10.58	8.04	-0.44	106.23	10.63	14.84	-0.47	
109.95	11.20	5.10	-0.54	109.23	11.11	8.11	-0.47	111.40	11.18	14.99	-0.52	
116.98	11.89	5.14	-0.56	116.43	11.81	8.07	-0.52	118.13	11.89	14.98	-0.55	
122.52	12.45	5.23	-0.58	121.88	12.36	8.06	-0.53	123.13	12.43	15.02	-0.57	
129.48	13.15	5.32	-0.59	128.72	13.06	8.08	-0.55	129.93	13.14	14.97	-0.59	
134.85	13.70	5.43	-0.60	134.05	13.61	8.09	-0.56	135.13	13.68	14.82	-0.61	
141.73	14.41	5.47	-0.62	140.92	14.31	8.06	-0.58	142.27	14.22	13.61	-0.42	
147.17	14.95	5.45	-0.62	146.22	14.86	7.95	-0.58	152.27	14.23	12.81	-0.08	
154.00	15.66	5.36	-0.62	153.12	15.57	7.79	-0.58	162.27	14.23	12.49	0.06	
159.13	16.20	5.30	-0.63	158.22	16.12	7.64	-0.58	172.27	14.23	12.27	0.13	
165.90	16.90	5.24	-0.63	164.83	16.82	7.58	-0.58	182.27	14.27	13.49	0.02	
170.93	17.45	5.23	-0.63	169.83	17.36	7.47	-0.57	188.97	14.93	14.04	-0.46	
177.67	18.16	5.21	-0.63	176.70	18.06	7.43	-0.56	196.20	15.63	13.96	-0.53	
183.33	18.70	5.16	-0.63	182.37	18.61	7.41	-0.57	201.47	16.18	13.78	-0.54	
190.58	19.39	5.25	-0.64	189.47	19.31	7.36	-0.57	208.23	16.89	13.42	-0.52	
Tensión de rotura, en kg/cm <sup>2</sup>				5.48	Tensión de rotura, en kg/cm <sup>2</sup>				8.11	Tensión de rotura, en kg/cm <sup>2</sup>		15.04

**Observaciones:** Muestra muy arenosas. La probeta de 7.0 kg/cm<sup>2</sup> eran menos arenosa que las otras dos y estaba más húmeda.

A petición del cliente las presiones de confinamiento para los ensayos son 1.0, 2.0 y 4.0 kg/cm<sup>2</sup>.

Ensayo Acreditado por la Comunidad de Madrid en el Área de Geotecnia (GTL) N° 03267GTL08

Formato TXC-02/02

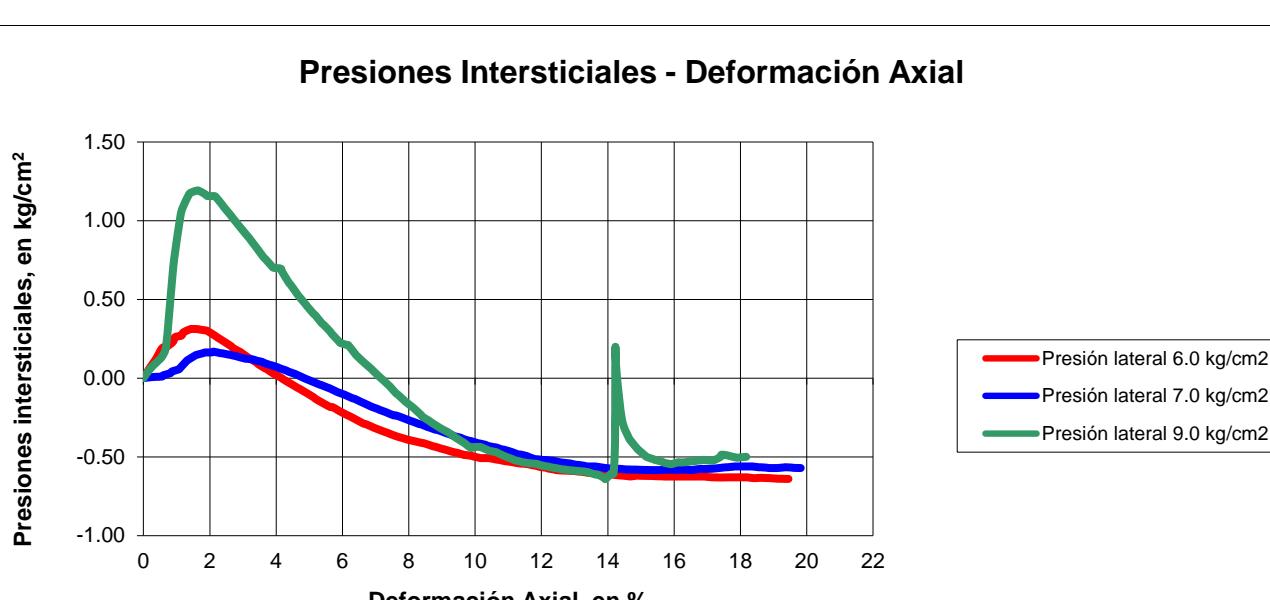
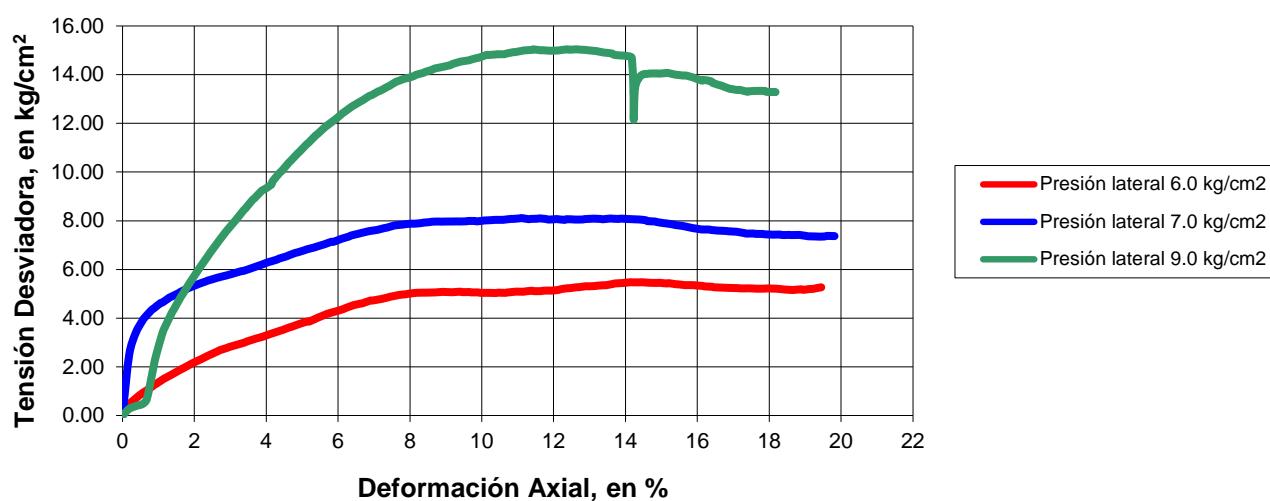
Nº Obra: 2013173

Cliente: **ORBIS TERRARUM, S.L.**  
 Obra: ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS (Número de  
 Muestra: S-6 9.40-9.88 MI-3  
 Fecha: 5 de noviembre de 2013



C/ Oporto, nº 11  
 Polígono Európolis  
 28232-Las Rozas (Madrid)  
 Teléfono: 916 375881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)  
**Tecnología del suelo y materiales, S. L.**  
 LABORATORIO GEOTÉCNICO

## ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL: UNE 103 402:98



**Observaciones:** Muestra muy arenosas. La probeta de 7.0 kg/cm<sup>2</sup> eranemos arenosa que las otras dos y estaba más húmeda.

A petición del cliente las presiones de confinamiento para los ensayos son 1.0, 2.0 y 4.0 kg/cm<sup>2</sup>.

Ensayo Acreditado por la Comunidad de Madrid en el Área de Geotecnia (GTL) N° 03267GTL08

Formato TXC-02/02

Nº Obra: 2013173

Cliente: **ORBIS TERRARUM, S.L.**  
 Obra: ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS (Número  
 Muestra: S-6 9.40-9.88 MI-3  
 Fecha: 5 de noviembre de 2013



C/ Oporto, nº 11  
 Polígono Európolis  
 28232-Las Rozas (Madrid)  
 Teléfono: 916 375881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

Tecnología del suelo y materiales, S. L.  
 LABORATORIO GEOTÉCNICO

## ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL: UNE 103 402:98

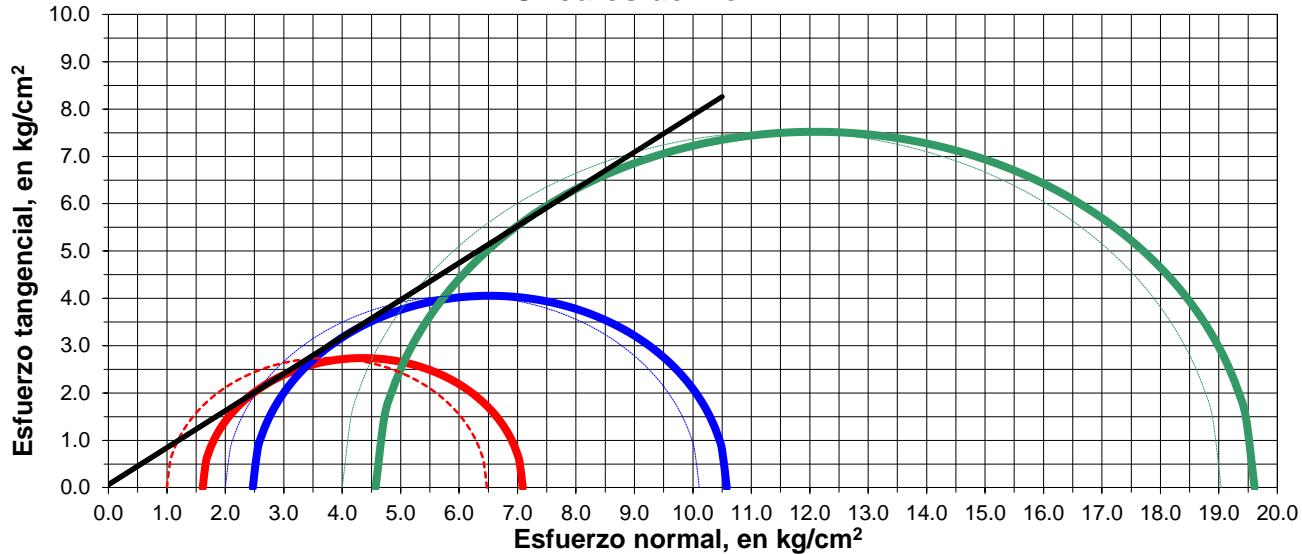
**Tipo de ensayo:** Triaxial CU: Consolidado y no drenado con medida de las presiones intersticiales.  
**Tipo de muestra:** Inalterada

Número de probeta	I	II	III
Presiones laterales de confinamiento ( $s_3^*$ ), en kg/cm <sup>2</sup>	6.0	7.0	9.0
Presión de cola ( $s_1$ ), en kg/cm <sup>2</sup>	5.0	5.0	5.0
<b>Presión lateral real (<math>s_3</math>), en kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>1.0</b>	<b>2.0</b>	<b>4.0</b>
Humedad inicial, en %	14.20	19.24	14.20
Humedad final, en %	16.48	15.76	14.32
Diámetro de la probeta, en cm	3.9	3.94	3.98
Altura de la probeta, en cm	7.62	7.62	7.62
Sección, en cm <sup>2</sup>	11.95	12.19	12.44
Volumen, en cm <sup>3</sup>	91.03	92.90	94.80
Densidad seca, en g/cm <sup>3</sup>	1.774	1.696	1.784
Velocidad, en mm/min	0.0762	0.0762	0.0762
<b>Tensión de rotura (<math>s_1 - s_3</math>), en kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>5.48</b>	<b>8.11</b>	<b>15.04</b>
<b>Deformación en la rotura, en %</b>	<b>14.15</b>	<b>11.11</b>	<b>12.39</b>
<b>Presión Intersticial en la rotura (<math>u</math>), en kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>-0.61</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.57</b>
Presión externa efectiva ( $s'_3$ ), en kg/cm <sup>2</sup>	1.61	2.47	4.57
Presión lateral efectiva ( $s'_1$ ), en kg/cm <sup>2</sup>	7.09	10.58	19.61
Centro del Círculo de Möhr en efectivas ( $s'_1 + s'_3$ )/2, en kg/cm <sup>2</sup>	4.35	6.52	12.09
Radio del Círculo de Möhr en efectivas ( $s'_1 - s'_3$ )/2, en kg/cm <sup>2</sup>	2.74	4.05	7.52
<b>Ángulo de rozamiento interno en efectivas, en °</b>	<b>37.98</b>		
<b>Cohesión en efectivas, en kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>0.06</b>		

\* Las presiones totales y efectivas se dibujan una vez descontada la presión de cola de 6.0 kg/cm<sup>2</sup>

$$y = 0.7808x + 0.0609$$

### Círculos de Möhr



Presiones efectivas ----- Presiones totales

\*El cálculo de la cohesión y ángulo de rozamiento se hace por mínimos cuadrados.

**Observaciones:** Muestra muy arenosa. La probeta de 7.0 kg/cm<sup>2</sup> era muy arenosa que las otras dos y estaba más húmeda. A petición del cliente las presiones de confinamiento para los ensayos son 1.0, 2.0 y 4.0 kg/cm<sup>2</sup>.

Ensayo Acreditado por la Comunidad de Madrid en el Área de Geotecnia (GTL) N° 03267GTL08

Formato TXC-02/02



C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375 881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

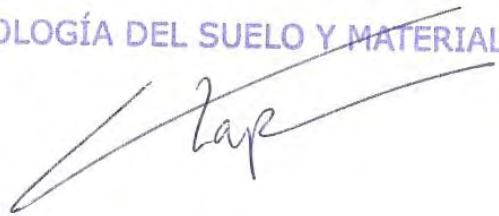
**Tecnología del suelo y materiales, S. L.**  
LABORATORIO GEOTÉCNICO

El presente informe consta de quince hojas numeradas y selladas, incluido el anexo con las fotos de las probetas sometidas a ensayo.



**RICARDO PÉREZ SARMIENTO**  
Responsable de Área GTL

TECNOLOGÍA DEL SUELO Y MATERIALES, S.L.  
P.R.



**CÉSAR ZAPICO MARTÍN**  
Director Técnico



C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375 881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

**Tecnología del suelo y materiales, S. L.**  
LABORATORIO GEOTÉCNICO

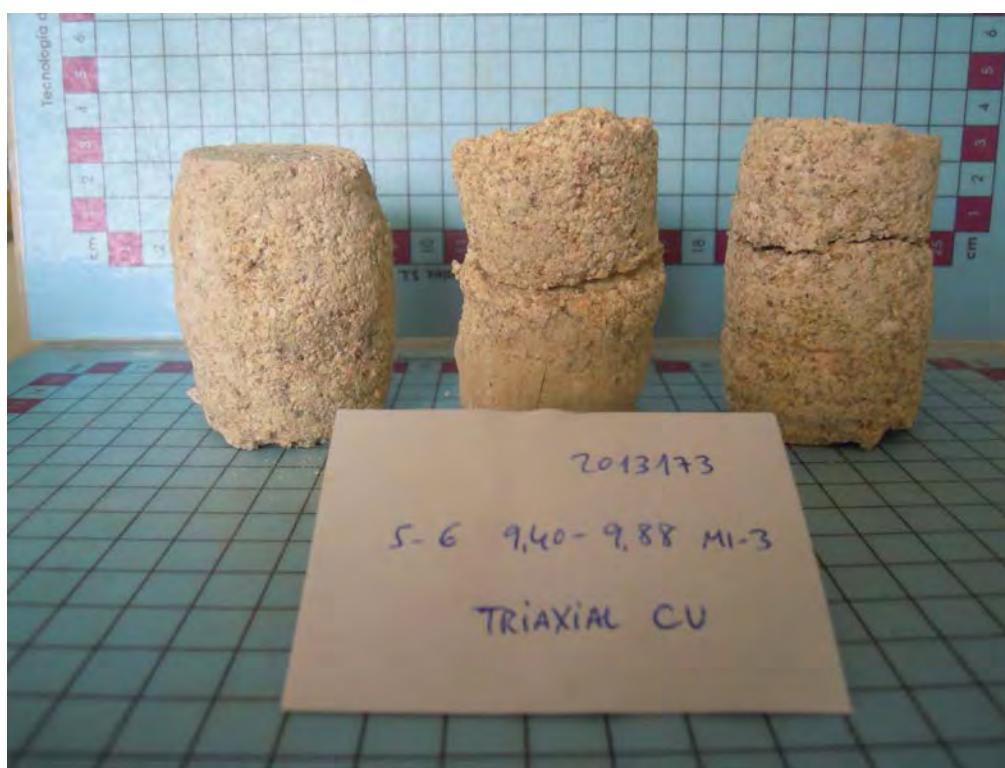
***ANEJO 1***  
***FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS***  
***PARA EL ENSAYO DE TRIAXIAL***



**Muestra S-02 1.50-2.10 MI-1**



Detalle de las probetas antes de ser sometidas a ensayo



Detalle de las probetas después de ser sometidas a ensayo



## **RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO**

CLIENTE: **ORBIS TERRARUM, S. L.**

OBRA: **ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS**  
(Número de proyecto: 13053)

Nº OBRA: **2013203**

FECHA INFORME: 5 de diciembre de 2013

LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN EDIFICACIÓN Y OBRA CIVIL

Área de ensayos de laboratorio de geotecnia (GTL) Nº 03267GTL08:

- C.2. Ensayos básicos (GTL.b)
  - Identificación y estado de suelos.*
  - Resistencia y deformación de suelos.*
  - Agresividad de aguas y suelos.*
- C.3.1. Ensayos complementarios primero (GTL.c1)
  - Resistencia y deformación de rocas.*
  - Compactaciones.*
- C.3.2. Ensayos complementarios segundo (GTL.c2)
  - Determinación del módulo de elasticidad (Young) y del coeficiente de Poisson*
  - Resistencia a la carga puntual*
- C.3.3. Ensayos complementarios tercero (GTL.c3)
  - Parámetros resistentes de una muestra de suelo en el equipo Triaxial.*

*Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo establecidos en la norma de calidad  
UNE-EN ISO/IEC 17025:2005*



## **ORBIS TERRARUM, S. L.**

C/ Cronos nº 20, Portal 3 – Local 6  
28037-Madrid

**Nº OBRA: 2013203**

**OBRA:** ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS  
(Número de proyecto: 13053)

### **1. ANTECEDENTES**

El día 25 de noviembre de 2013 se recibe en el laboratorio Tecnología del suelo y materiales, S.L. la petición de ensayos de la citada obra, que se compone de dos testigos de hormigón fraguado.

La denominación de las muestras y los ensayos realizados vienen indicados por el peticionario.

Los testigos hormigón fraguado, antes de someterlos al ensayo de resistencia a compresión, fueron curados al aire a una temperatura de 20 + 2° C durante 48 horas, tallados y refrentados por ambas caras.

### **2. ENSAYOS SOLICITADOS**

2.1. Determinación de la resistencia a compresión del hormigón, según normas UNE 83 302:1984, UNE 83 303:1984 y UNE 83 304:1984



C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375 881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

**Tecnología del suelo y materiales, S. L.**  
LABORATORIO GEOTÉCNICO

### 3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

Nº Obra:

client.

Obra 1.

114

2013203

OBBIS TERRARIUM S |

ESTUDIO DE DATOS ACUATICOS Y GEODINAMICOS EN LA BAHIA DE BAHIA BLANCA

ESTUDIO DE PAJULGAS Y GE

## HOJA RESUMEN DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS

GRUPO ENKANTON, S.L.  
ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPÓSITO TRES CANTOS (Número de proyecto: 13053)

elos y materiales S |

LABORATORIO GEOTÉCNICO  
Ingeniería del suelo y materiales, S. L.



C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375881  
[www.laboratoriotism.com](http://www.laboratoriotism.com)

www.ibraristi.it

elos y materiales S |

LABORATORIO GEOTÉCNICO  
Ingeniería del suelo y materiales, S. L.

Nº Obra: 2013203

Cliente: ORBIS TERRARUM, S.L.

Obra: ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS (M)

Muestra: T-1 4.00 TH

Fecha: 5 de diciembre de 2013



C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)  
(3053)

Tecnología del suelo y materiales, S. L.  
LABORATORIO GEOTÉCNICO

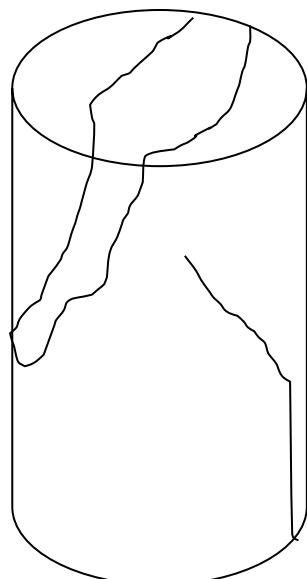
## Resistencia a compresión testigos de hormigón fraguado, según normas UNE 83 302:1984, UNE 83 303:1984 y UNE 83 304:1984

### DATOS DE LA PROBETA SOMETIDA A ENSAYO

Diámetro, en mm	54.40
Altura, en mm	140.50
Área, en cm <sup>2</sup>	23.24
Volumen, en cm <sup>3</sup>	326.56
Peso, en g	763.00
Densidad aparente, en g/cm <sup>3</sup>	2.336
Carga de rotura, en kg (P <sub>1</sub> )	4 414
Carga de rotura total, en kN (P)	43.300
Resistencia a compresión, en kg/cm <sup>2</sup>	190.1
Resistencia a compresión, en Mpa (s <sub>c</sub> )	18.629



Foto de la muestra sometida a ensayo



Forma de rotura de la probeta

**Observaciones:** Los testigos fueron curados al aire a una temperatura de 20 + 2º C durante 48 horas, tallados y tallados y refrentados por ambas caras.

**Ensayo No Acreditado** por la Comunidad de Madrid en el Área de Geotecnia (GTL) Nº 03001GTL03

Formato RCH-02/02

Los resultados contenidos en el presente informe sólo afectan al material sometido a ensayo.

El informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio que lo emite.

Página 5 de 7

Nº Obra: 2013203

Cliente: ORBIS TERRARUM, S.L.

Obra: ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y GEOTÉCNICO DE DEPOSITO TRES CANTOS (M)

Muestra: T-2 3.00 TH

Fecha: 5 de diciembre de 2013



C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)  
(3053)

Tecnología del suelo y materiales, S. L.  
LABORATORIO GEOTÉCNICO

## Resistencia a compresión testigos de hormigón fraguado, según normas UNE 83 302:1984, UNE 83 303:1984 y UNE 83 304:1984

### DATOS DE LA PROBETA SOMETIDA A ENSAYO

Diámetro, en mm	54.40
Altura, en mm	127.40
Área, en cm <sup>2</sup>	23.24
Volumen, en cm <sup>3</sup>	296.11
Peso, en g	684.22
Densidad aparente, en g/cm <sup>3</sup>	2.311
Carga de rotura, en kg (P <sub>1</sub> )	5 596
Carga de rotura total, en kN (P)	54.900
Resistencia a compresión, en kg/cm <sup>2</sup>	241.0
Resistencia a compresión, en Mpa (s <sub>c</sub> )	23.620

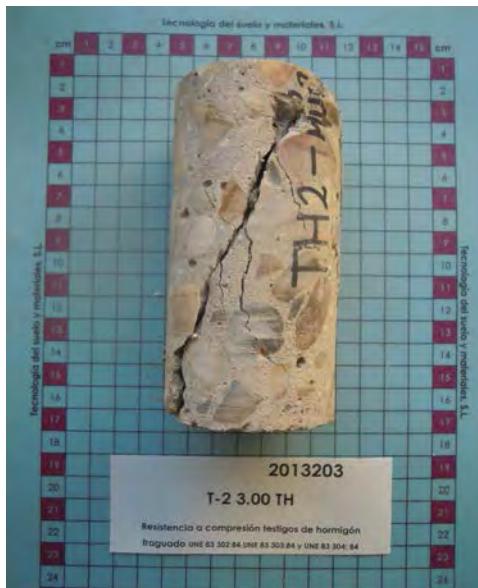
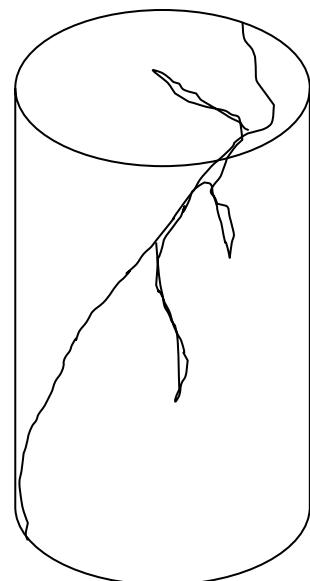


Foto de la muestra sometida a ensayo



Forma de rotura de la probeta

**Observaciones:** Los testigos fueron curados al aire a una temperatura de 20 + 2º C durante 48 horas, tallados y refrentados por ambas caras.

El testigo era corto y no se pudo tallar amayor altura.

**Ensayo No Acreditado** por la Comunidad de Madrid en el Área de Geotecnia (GTL) Nº 03001GTL03

Formato RCH-02/02



C/ Oporto, nº 11  
Polígono Európolis  
28232-Las Rozas (Madrid)  
Teléfono: 916 375 881  
[www.laboratoriotsm.es](http://www.laboratoriotsm.es)

**Tecnología del suelo y materiales, S. L.**  
LABORATORIO GEOTÉCNICO

El presente informe consta de siete hojas numeradas y selladas.

**RICARDO PÉREZ SARMIENTO**  
Responsable de Área GTL

Madrid, 5 de diciembre de 2013  
**TECNOLOGÍA DEL SUELO Y MATERIALES, S. L.**  
P.P.

**CÉSAR ZAPICO MARTÍN**  
Director Técnico



**N º TRABAJO** 13053

**CLIENTE** CANAL ISABEL II GESTIÓN

**DENOMINACIÓN** DEPÓSITO TRES CANTOS

**FECHA DE ENTREGA:** 16/12/2013



<b>MUESTRA:</b>	13-501
<b>REFERENCIA:</b>	TH-1
<b>LOCALIZACIÓN</b>	DEPÓSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	10/12/2013

### DIFRACCIÓN DE RAYOS X

#### **Introducción:**

Para la realización de la difracción de rayos X se ha tomado una porción del testigo de hormigón. Se ha intentado tomar sólo la parte de la pasta, aunque ha entrado una parte de la fracción más fina de los áridos. Estos áridos eran principalmente de cuarzo, el cual tiene una reflectancia muy elevada y enmascara el difractograma. Por esta razón sólo se puede dar una valoración cualitativa, pero no cuantitativa.

#### **Valores obtenidos:**

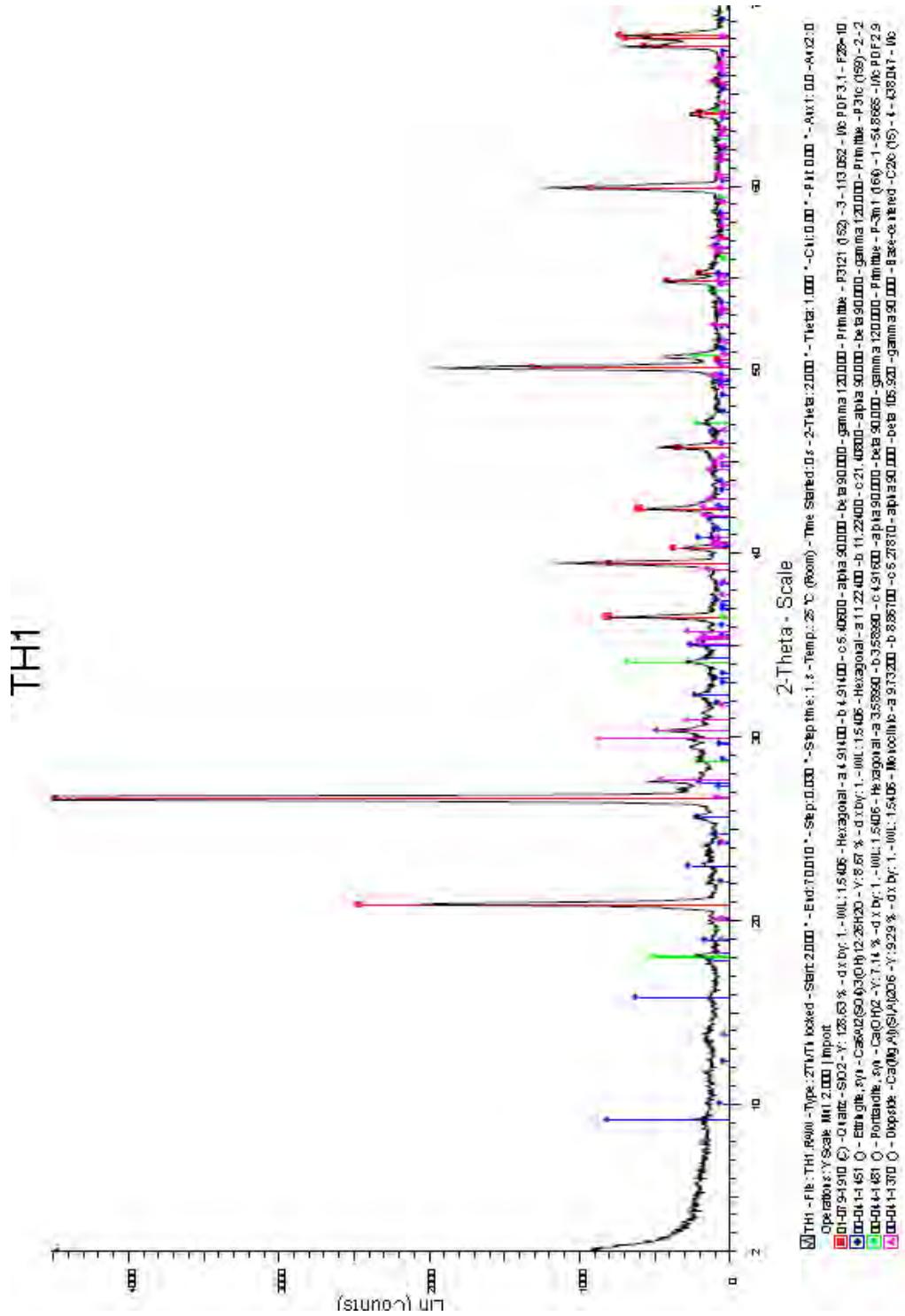
Se ha detectado **cuarzo**, que pertenece a la fracción de áridos.

Hay duda entre diópsido y **ortoclasa** ya que sus reflexiones pueden solaparse en algunos puntos, pero conociendo los áridos observados en la lámina delgada queda despejada la duda a favor de la ortoclasa.

En la pasta se ha detectado la presencia de **Portlandita** y de **Ettringita**.

No se detecta ni gehlenita, ni jaffeita, ni belita, ni alita. Lo cual nos indica que la hidratación de la pasta ha sido total.

No se detectan minerales extraños que puedan alterar el hormigón.



## DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DEL HORMIGÓN S/ ASTM C 856-04

### Preparación de la muestra

Se ha seleccionado una zona representativa de cada muestra recibida. Estas se han tallado y pulido hasta obtener una lámina delgada de 30 $\mu$ m de espesor y con una superficie de estudio de 28\*38 mm aproximadamente. Las muestras se han impregnado con resina epoxi fluorescente para la detección de irregularidades en la pasta.

El estudio se ha realizado con:

Microscopio petrográfico Nikon provisto de revólver con 2, 4, 10 y 100 aumentos.

Lupa binocular Optika hasta 4.5 aumentos.

Lámpara de iluminación Ultravioleta

**Aspecto general:** Testigo de hormigón de l=95mm y Ø= 54 mm. Color de la pasta según tabla Munsell gris muy claro n°8

Aspecto compacto. Buena distribución árido/pasta. No se observa dirección preferente en los áridos. Tamaño máximo de los áridos 20 mm.

La respuesta al salpiqueo es una inmediata expansión de la gota y rápida absorción.

En la superficie presenta 2 películas plásticas de escala submilimétrica: la primera y más superficial es de color gris y la segunda y más interna es rojiza.

**Áridos:** Árido silíceo que principalmente está compuesto por granos de cuarzo. Los de mayor tamaño son de borde redondeado, mientras que los de menores tamaños son más angulosos. En menor proporción se presentan algunos granos de feldespato potásico.

Entre los granos de cuarzo se pueden encontrar tanto cristales individuales como granos policristalinos. Y entre estos tanto con extinción recta como con extinción ondulante. En conjunto se diría que no son potencialmente reactivos frente a los álcalis del cemento.

Granulometría bien gradada.

**Pasta:** Presenta un aspecto homogéneo. Con luz ultravioleta no se observan irregularidades, fisuras ni alteraciones, tan sólo se podría observar que es algo clara.

**Aire:** Se observan burbujas dispersas de 2-3 mm.

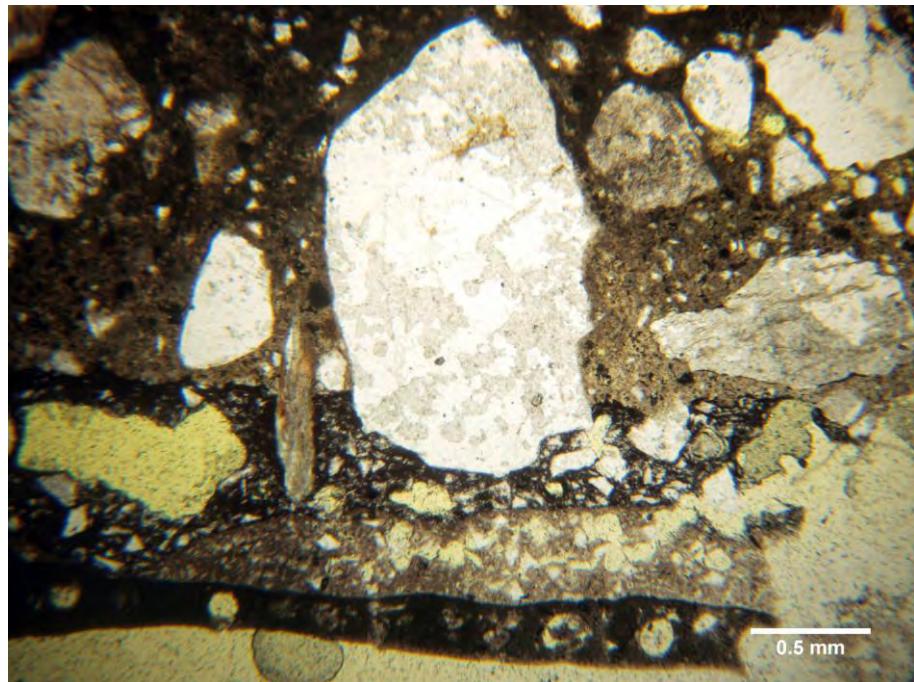
**Fisuración:** No se observa fisuración en la muestra.

**Armadura:** No se observa la presencia de armaduras ni fibras.

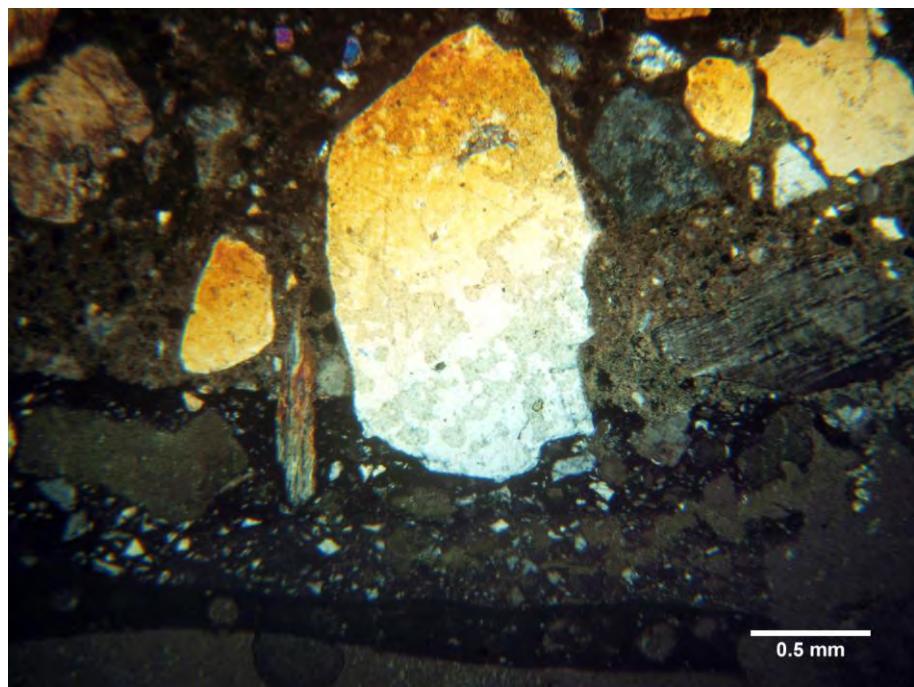
**Comentarios:** En la observación bajo microscopio se detecta que las capas superficiales eran realmente 3, de exterior a interior:

- Una capa plástica gris
- Un mortero rojizo con árido cuarcítico.
- Un mortero gris con árido cuarcítico.

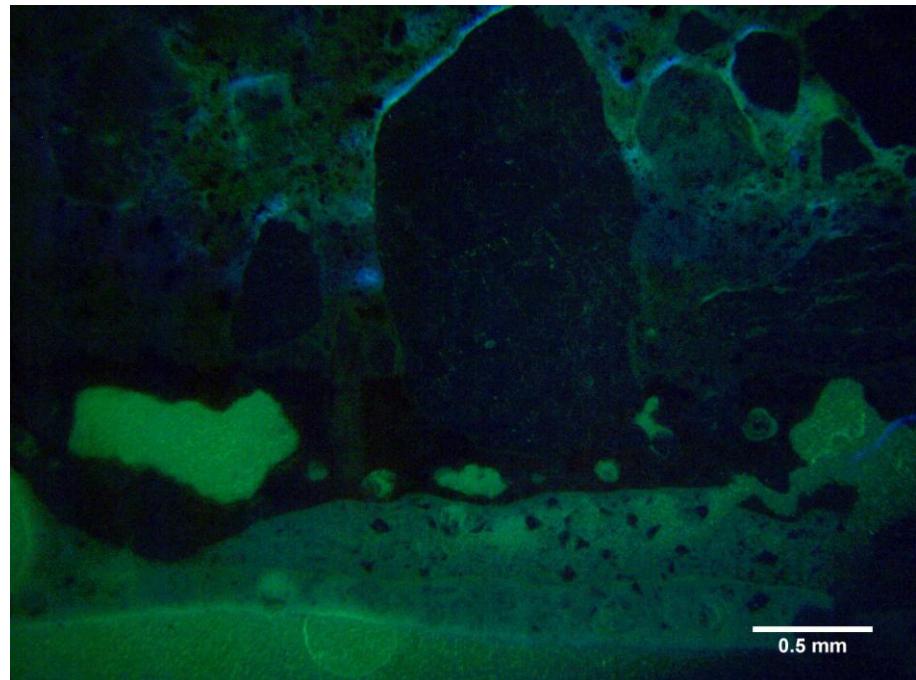
Se puede decir que el comportamiento de la pasta es muy permeable. Esto ha podido favorecer la alteración de las capas más superficiales. Incluso ha podido permitir que llegue la humedad a la armadura de acero y despasivarla con el consiguiente proceso de oxidación, que desencadena el aumento de volumen, corrosión y descamación del hormigón.



*Imagen con objetivo x4 bajo luz blanca*



*Imagen con objetivo x4 bajo luz polarizada*



*Imagen con objetivo x4 bajo luz UV*

**DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN POR EL  
MÉTODO DE LA FENOLFTALEÍNA UNE-EN-14630:2007**

**Profundidad de carbonatación: 17 mm**



<b>MUESTRA:</b>	13-502
<b>REFERENCIA:</b>	TH-2
<b>LOCALIZACIÓN</b>	DEPÓSITO TRES CANTOS
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	10/12/2013

### **DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DEL HORMIGÓN S/ ASTM C 856-04**

#### **Preparación de la muestra**

Se ha seleccionado una zona representativa de cada muestra recibida. Estas se han tallado y pulido hasta obtener una lámina delgada de 30 $\mu$ m de espesor y con una superficie de estudio de 28\*38 mm aproximadamente. Las muestras se han impregnado con resina epoxi fluorescente para la detección de irregularidades en la pasta.

El estudio se ha realizado con:

Microscopio petrográfico Nikon provisto de revólver con 2, 4, 10 y 100 aumentos.

Lupa binocular Optika hasta 4.5 aumentos.

Lámpara de iluminación Ultravioleta

**Aspecto general:** Testigo de hormigón de l=125mm y Ø= 54 mm. Color de la pasta según tabla Munsell gris muy claro nº8

Aspecto compacto. Buena distribución árido/pasta. No se observa dirección preferente en los áridos. Tamaño máximo de los áridos 20 mm.

La respuesta al salpiqueo es una inmediata expansión de la gota y rápida absorción.

La superficie de exposición original se encuentra alterada: Los áridos se disgregan con facilidad.

**Áridos:** Compuesto por arena silícea o “arena de miga”. En los granos más gruesos presentan borde redondeado y en los más finos presentan borde anguloso. Principalmente son grano de cuarzo, en menor proporción se presentan algunos granos de feldespato potásico, y de manera puntual se observan algunas láminas de moscovita.

Entre los granos de cuarzo se pueden encontrar cristales individuales con la extinción recta, granos policristalinos con la extinción recta y con extinción ondulante. En estos últimos se observa restos de opacos formando bandas.

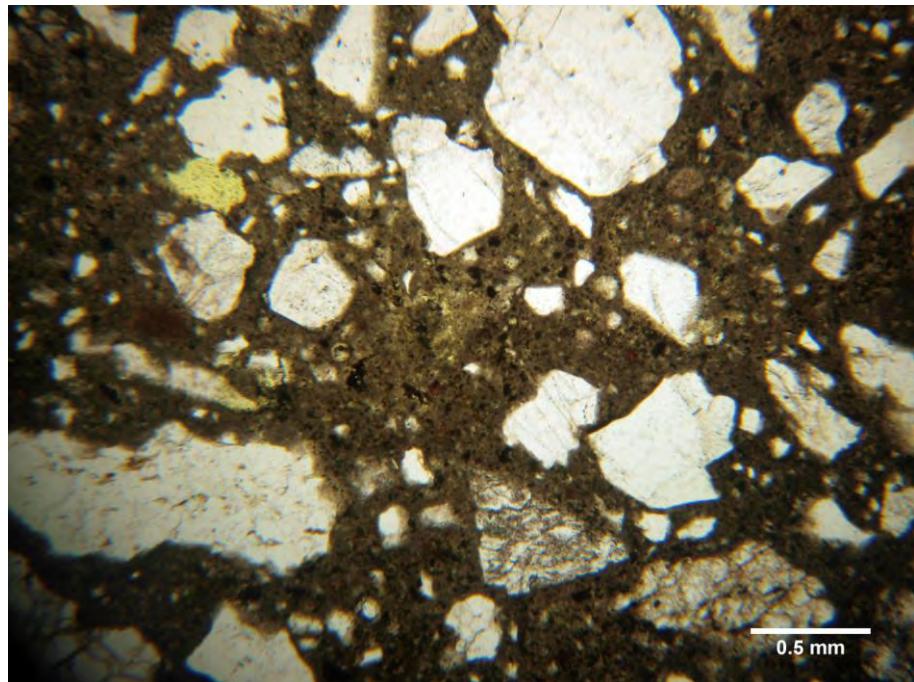
En conjunto, se considera que los áridos no son reactivos con los áridos del cemento.

**Pasta:** Es homogénea, bien adherida a los áridos, sin fisuras ni alteraciones visibles. Con observación bajo luz ultravioleta se observa un tono claro, lo que podría traducirse en baja resistencia o en una relación agua/cemento alta.

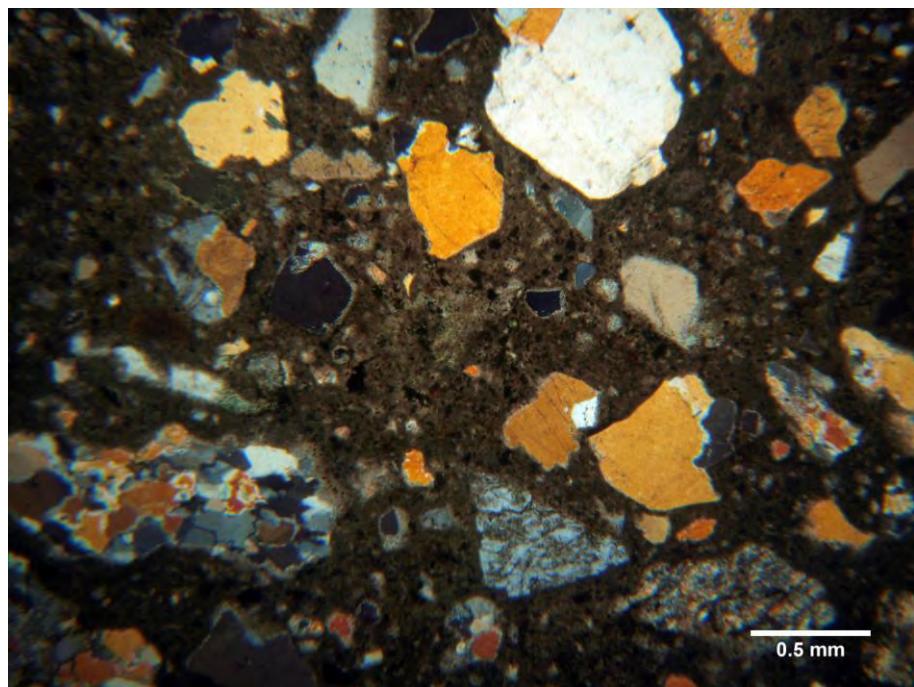
**Aire:** Se observan burbujas dispersas de alrededor de 2 mm.

**Fisuración:** No se observa fisuración en la muestra.

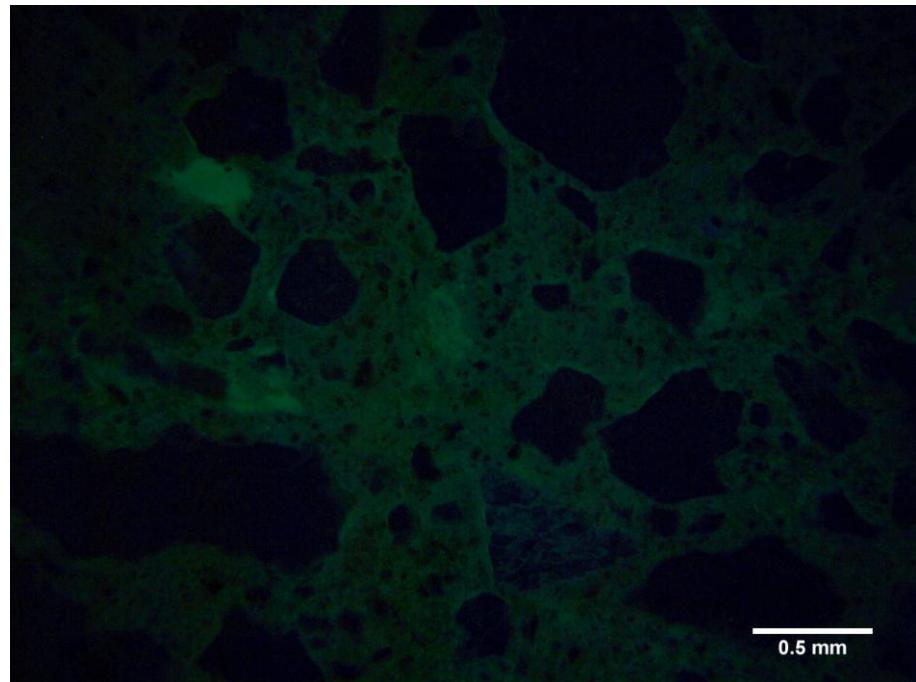
**Armadura:** No se observa la presencia de armaduras ni fibras.



*Imagen con objetivo x4 bajo luz blanca*



*Imagen con objetivo x4 bajo luz polarizada*



*Imagen con objetivo x4 bajo luz UV*

**DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN POR EL  
MÉTODO DE LA FENOLFTALEÍNA UNE-EN-14630:2007**

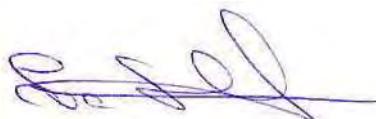
**Profundidad de carbonatación: 25mm**



Este informe consta de 14 páginas.

Madrid, 16 de Diciembre de 2013

Fdo.:



Eva S. Sicilia Til

Jefe de laboratorio



## APÉNDICE 5: ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA



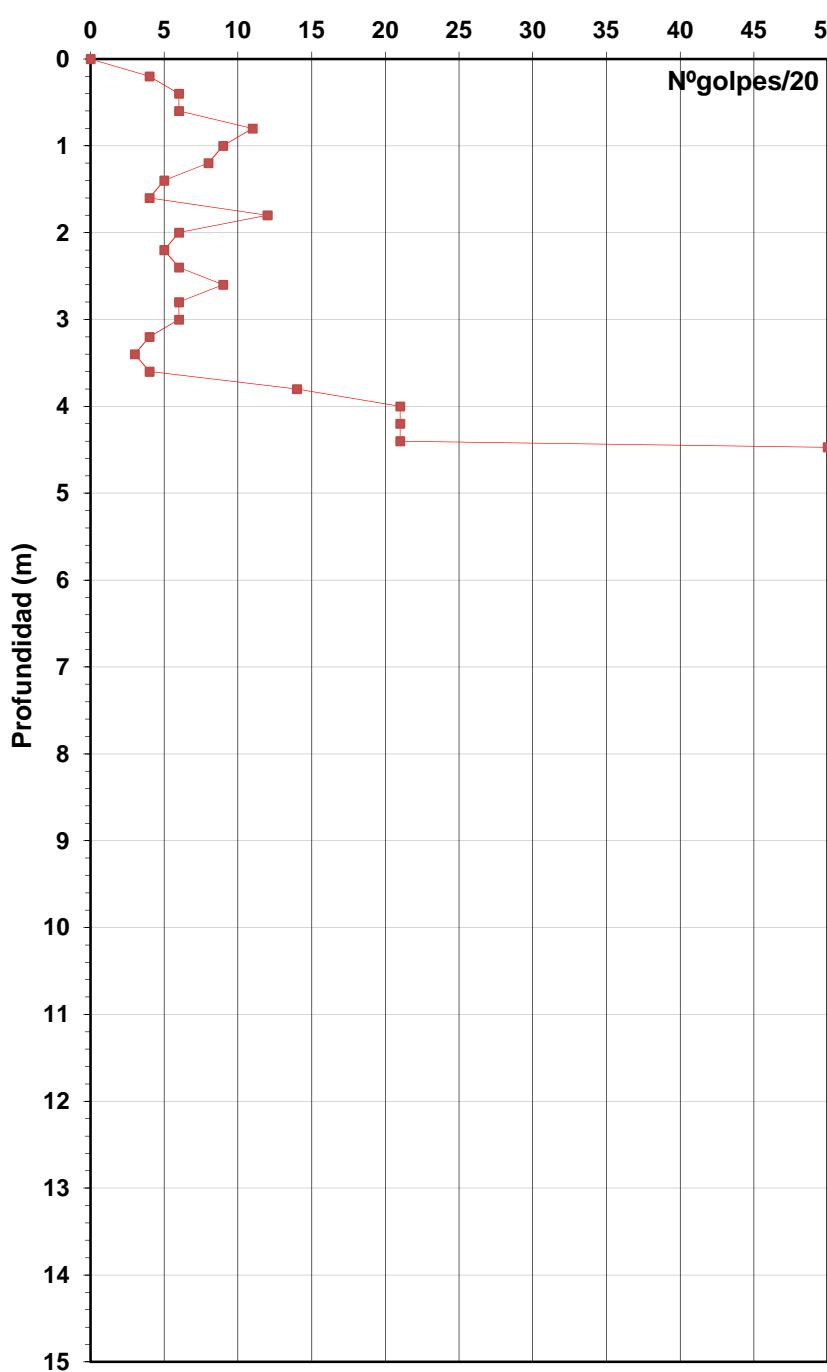


Nº Obra:	13056
Tipo de obra:	Ensayos de penetración dinámica
Denominación:	Depósito Tres Cantos. Madrid
Peticionario:	ORBIS TERRARUM PROJECTS SLNE

**Ensayo de penetración dinámica P-1 (B-B)**

Tipo de ensayo:	DPSH	Varillaje	Ø 32 mm	Equipo empleado	
Maza:	63,50 Kg	Puntaza	Cónica Ø 5 cm		
Altura de caída	75 cm	Cota emplz.	Techo deposito		

Prof.	Golpeo	Prof.	Golpeo
0,00	0	10,20	
0,20	4	10,40	
0,40	6	10,60	
0,60	6	10,80	
0,80	11	11,00	
1,00	9	11,20	
1,20	8	11,40	
1,40	5	11,60	
1,60	4	11,80	
1,80	12	12,00	
2,00	6	12,20	
2,20	5	12,40	
2,40	6	12,60	
2,60	9	12,80	
2,80	6	13,00	
3,00	6	13,20	
3,20	4	13,40	
3,40	3	13,60	
3,60	4	13,80	
3,80	14	14,00	
4,00	21	14,20	
4,20	21	14,40	
4,40	21	14,60	
4,47	50	14,80	
4,80		15,00	
5,00		15,20	
5,20		15,40	
5,40		15,60	
5,60		15,80	
5,80		16,00	
6,00		16,20	
6,20		16,40	
6,40		16,60	
6,60		16,80	
6,80		17,00	
7,00		17,20	
7,20		17,40	
7,40		17,60	
7,60		17,80	
7,80		18,00	
8,00		18,20	
8,20		18,40	
8,40		18,60	
8,60		18,80	
8,80		19,00	
9,00		19,20	
9,20		19,40	
9,40		19,60	
9,60		19,80	
9,80		20,00	
10,00		20,20	



Fecha	10/12/2013	Operario	José M. Luque	Supervisor	José M. Luque
-------	------------	----------	---------------	------------	---------------

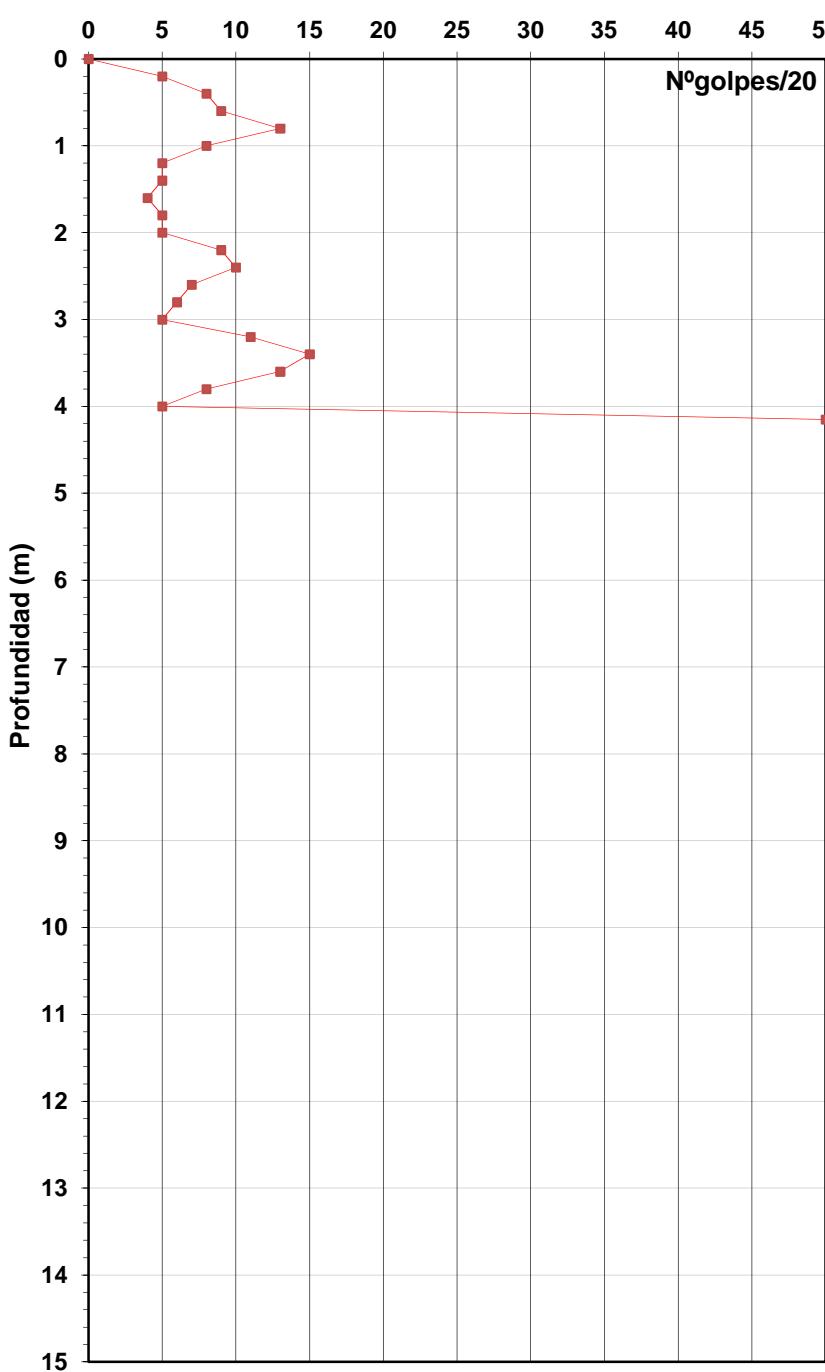


Nº Obra:	13056
Tipo de obra:	Ensayos de penetración dinámica
Denominación:	Depósito Tres Cantos. Madrid
Peticionario:	ORBIS TERRARUM PROJECTS SLNE

**Ensayo de penetración dinámica P-2 (B-B)**

Tipo de ensayo:	DPSH	Varillaje	Ø 32 mm	Equipo empleado	
Maza:	63,50 Kg	Puntaza	Cónica Ø 5 cm		
Altura de caída	75 cm	Cota emplz.	Techo deposito		

Prof.	Golpeo	Prof.	Golpeo
0,00	0	10,20	
0,20	5	10,40	
0,40	8	10,60	
0,60	9	10,80	
0,80	13	11,00	
1,00	8	11,20	
1,20	5	11,40	
1,40	5	11,60	
1,60	4	11,80	
1,80	5	12,00	
2,00	5	12,20	
2,20	9	12,40	
2,40	10	12,60	
2,60	7	12,80	
2,80	6	13,00	
3,00	5	13,20	
3,20	11	13,40	
3,40	15	13,60	
3,60	13	13,80	
3,80	8	14,00	
4,00	5	14,20	
4,15	50	14,40	
4,40		14,60	
4,60		14,80	
4,80		15,00	
5,00		15,20	
5,20		15,40	
5,40		15,60	
5,60		15,80	
5,80		16,00	
6,00		16,20	
6,20		16,40	
6,40		16,60	
6,60		16,80	
6,80		17,00	
7,00		17,20	
7,20		17,40	
7,40		17,60	
7,60		17,80	
7,80		18,00	
8,00		18,20	
8,20		18,40	
8,40		18,60	
8,60		18,80	
8,80		19,00	
9,00		19,20	
9,20		19,40	
9,40		19,60	
9,60		19,80	
9,80		20,00	
10,00		20,20	



Fecha	10/12/2013	Operario	José M. Luque	Supervisor	José M. Luque
-------	------------	----------	---------------	------------	---------------

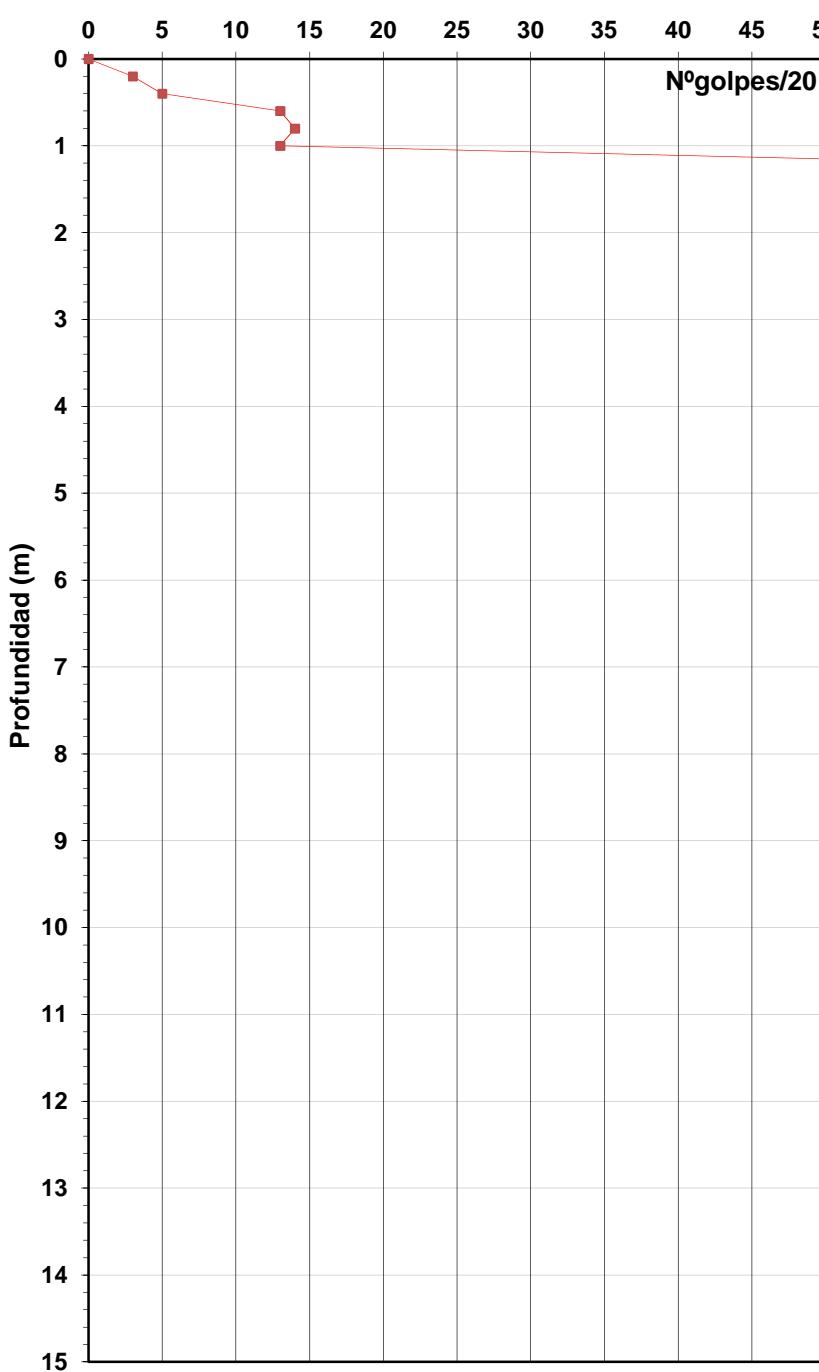


Nº Obra:	13056
Tipo de obra:	Ensayos de penetración dinámica
Denominación:	Depósito Tres Cantos. Madrid
Peticionario:	ORBIS TERRARUM PROJECTS SLNE

## Ensayo de penetración dinámica P-3 (B-B)

Tipo de ensayo:	DPSH	Varillaje	Ø 32 mm	Equipo empleado	
Maza:	63,50 Kg	Puntaza	Cónica Ø 5 cm		
Altura de caída	75 cm	Cota emplz.	Techo deposito		

Prof.	Golpeo	Prof.	Golpeo
0,00	0	10,20	
0,20	3	10,40	
0,40	5	10,60	
0,60	13	10,80	
0,80	14	11,00	
1,00	13	11,20	
1,15	50	11,40	
1,40		11,60	
1,60		11,80	
1,80		12,00	
2,00		12,20	
2,20		12,40	
2,40		12,60	
2,60		12,80	
2,80		13,00	
3,00		13,20	
3,20		13,40	
3,40		13,60	
3,60		13,80	
3,80		14,00	
4,00		14,20	
4,20		14,40	
4,40		14,60	
4,60		14,80	
4,80		15,00	
5,00		15,20	
5,20		15,40	
5,40		15,60	
5,60		15,80	
5,80		16,00	
6,00		16,20	
6,20		16,40	
6,40		16,60	
6,60		16,80	
6,80		17,00	
7,00		17,20	
7,20		17,40	
7,40		17,60	
7,60		17,80	
7,80		18,00	
8,00		18,20	
8,20		18,40	
8,40		18,60	
8,60		18,80	
8,80		19,00	
9,00		19,20	
9,20		19,40	
9,40		19,60	
9,60		19,80	
9,80		20,00	
10,00		20,20	



Fecha	10/12/2013	Operario	José M. Luque	Supervisor	José M. Luque
-------	------------	----------	---------------	------------	---------------

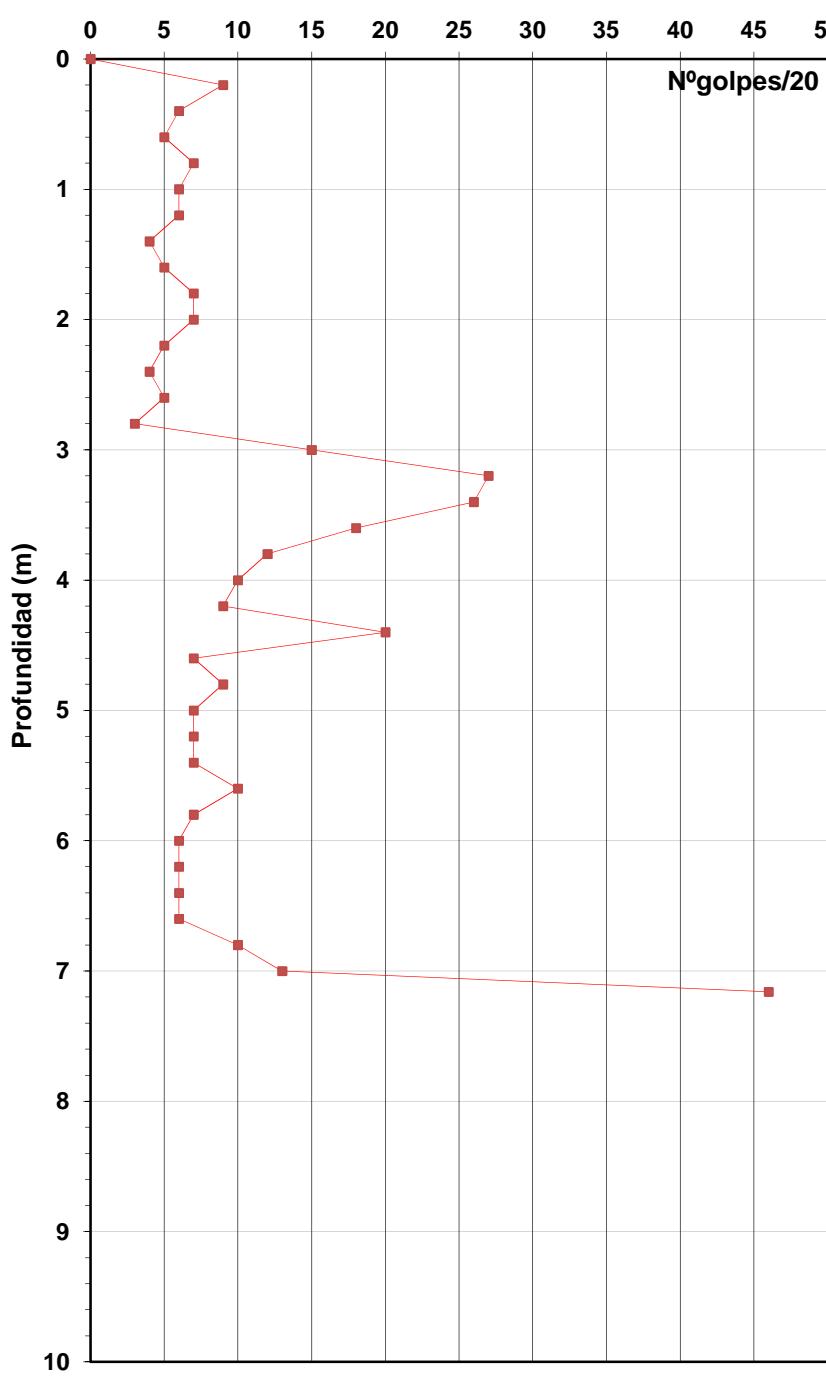


Nº Obra:	13056
Tipo de obra:	Ensayos de penetración dinámica
Denominación:	Depósito Tres Cantos. Madrid
Peticionario:	ORBIS TERRARUM PROJECTS SLNE

## Ensayo de penetración dinámica P-4 (C-C)

Tipo de ensayo:	DPSH	Varillaje	Ø 32 mm	Equipo empleado	
Maza:	63,50 Kg	Puntaza	Cónica Ø 5 cm		
Altura de caída	75 cm	Cota emplz.	Techo deposito		

Prof.	Golpeo	Prof.	Golpeo
0,00	0	10,20	
0,20	9	10,40	
0,40	6	10,60	
0,60	5	10,80	
0,80	7	11,00	
1,00	6	11,20	
1,20	6	11,40	
1,40	4	11,60	
1,60	5	11,80	
1,80	7	12,00	
2,00	7	12,20	
2,20	5	12,40	
2,40	4	12,60	
2,60	5	12,80	
2,80	3	13,00	
3,00	15	13,20	
3,20	27	13,40	
3,40	26	13,60	
3,60	18	13,80	
3,80	12	14,00	
4,00	10	14,20	
4,20	9	14,40	
4,40	20	14,60	
4,60	7	14,80	
4,80	9	15,00	
5,00	7	15,20	
5,20	7	15,40	
5,40	7	15,60	
5,60	10	15,80	
5,80	7	16,00	
6,00	6	16,20	
6,20	6	16,40	
6,40	6	16,60	
6,60	6	16,80	
6,80	10	17,00	
7,00	13	17,20	
7,16	46	17,40	
7,40		17,60	
7,60		17,80	
7,80		18,00	
8,00		18,20	
8,20		18,40	
8,40		18,60	
8,60		18,80	
8,80		19,00	
9,00		19,20	
9,20		19,40	
9,40		19,60	
9,60		19,80	
9,80		20,00	
10,00		20,20	



Fecha	10/12/2013	Operario	José M. Luque	Supervisor	José M. Luque
-------	------------	----------	---------------	------------	---------------

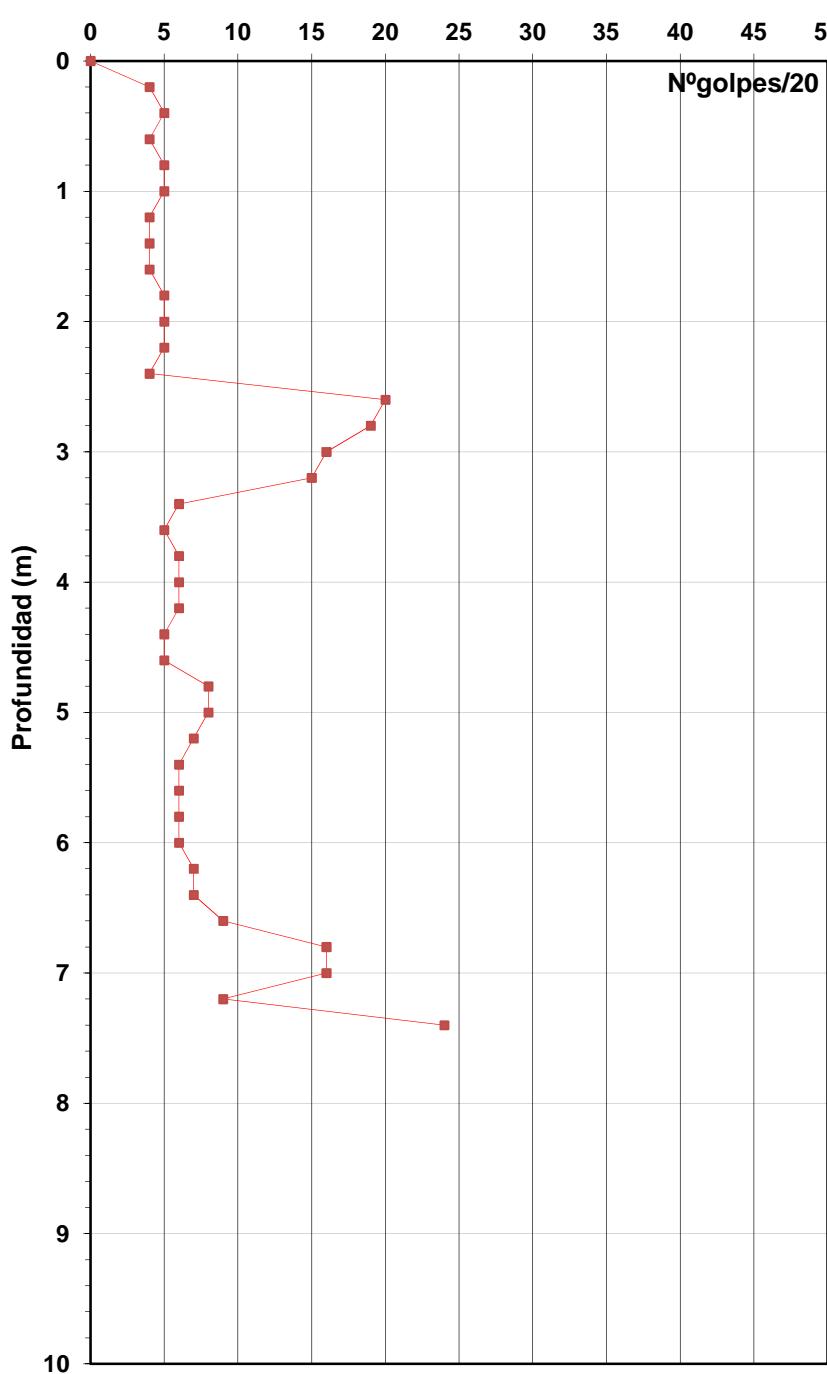


Nº Obra:	13056
Tipo de obra:	Ensayos de penetración dinámica
Denominación:	Depósito Tres Cantos. Madrid
Peticionario:	ORBIS TERRARUM PROJECTS SLNE

**Ensayo de penetración dinámica P-5 (C-C)**

Tipo de ensayo:	DPSH	Varillaje	Ø 32 mm	Equipo empleado	
Maza:	63,50 Kg	Puntaza	Cónica Ø 5 cm		
Altura de caída	75 cm	Cota emplz.	Techo deposito		

Prof.	Golpeo	Prof.	Golpeo
0,00	0	10,20	
0,20	4	10,40	
0,40	5	10,60	
0,60	4	10,80	
0,80	5	11,00	0
1,00	5	11,20	
1,20	4	11,40	
1,40	4	11,60	
1,60	4	11,80	
1,80	5	12,00	
2,00	5	12,20	
2,20	5	12,40	
2,40	4	12,60	
2,60	20	12,80	
2,80	19	13,00	
3,00	16	13,20	
3,20	15	13,40	
3,40	6	13,60	
3,60	5	13,80	
3,80	6	14,00	
4,00	6	14,20	
4,20	6	14,40	
4,40	5	14,60	
4,60	5	14,80	
4,80	8	15,00	
5,00	8	15,20	
5,20	7	15,40	
5,40	6	15,60	
5,60	6	15,80	
5,80	6	16,00	
6,00	6	16,18	
6,20	7	16,40	
6,40	7	16,60	
6,60	9	16,80	
6,80	16	17,00	
7,00	16	17,20	
7,20	9	17,40	
7,40	24	17,60	
7,60		17,80	
7,80		18,00	
8,00		18,20	
8,20		18,40	
8,40		18,60	
8,60		18,80	
8,80		19,00	
9,00		19,20	
9,20		19,40	
9,40		19,60	
9,60		19,80	
9,80		20,00	
10,00		20,20	



Fecha	10/12/2013	Operario	José M. Luque	Supervisor	José M. Luque
-------	------------	----------	---------------	------------	---------------

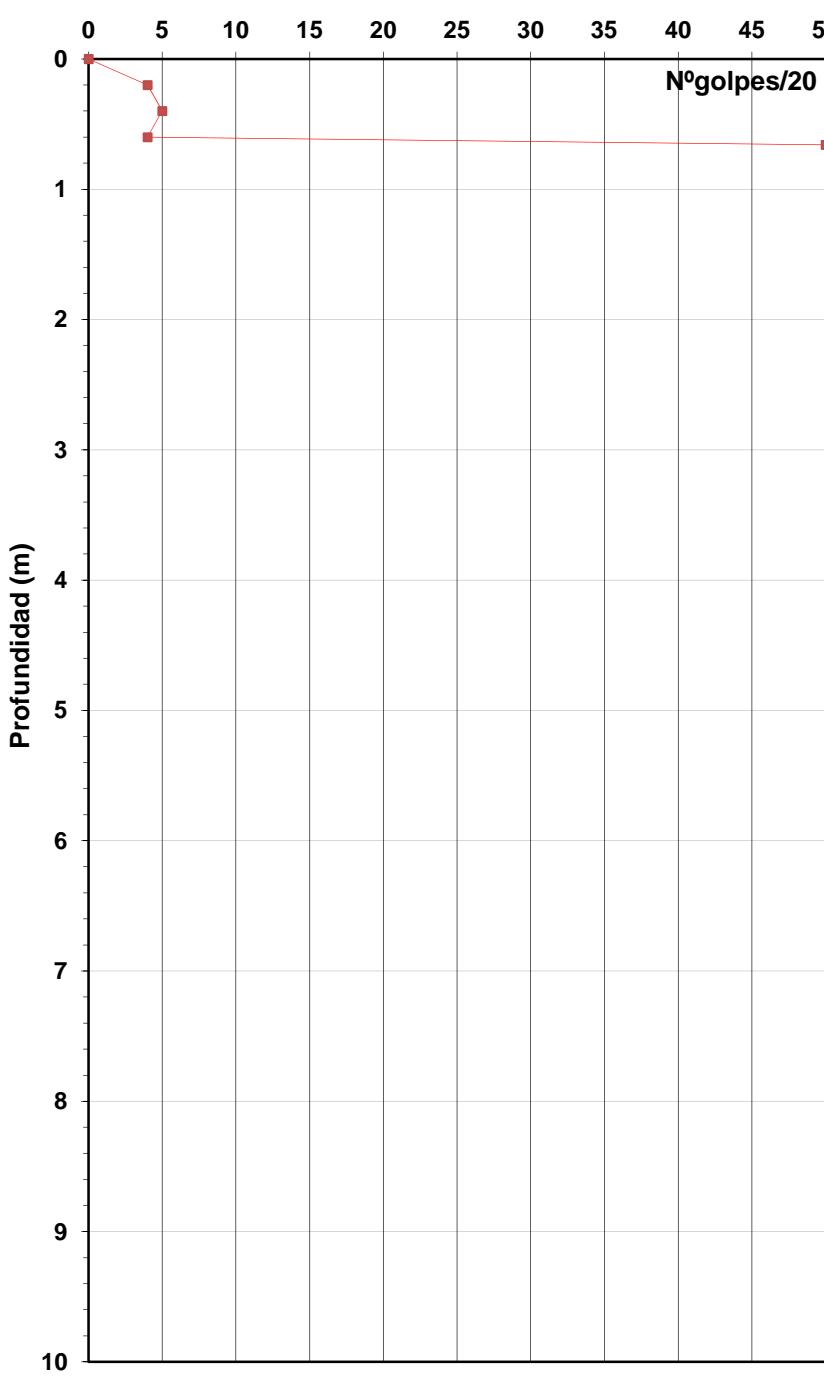


Nº Obra:	13056
Tipo de obra:	Ensayos de penetración dinámica
Denominación:	Depósito Tres Cantos. Madrid
Peticionario:	ORBIS TERRARUM PROJECTS SLNE

## Ensayo de penetración dinámica P-6 (C-C)

Tipo de ensayo:	DPSH	Varillaje	Ø 32 mm	Equipo empleado	
Maza:	63,50 Kg	Puntaza	Cónica Ø 5 cm		
Altura de caída	75 cm	Cota emplz.	Techo deposito		

Prof.	Golpeo	Prof.	Golpeo
0,00	0	10,20	
0,20	4	10,40	
0,40	5	10,60	
0,60	4	10,80	
0,66	50	11,00	
1,00		11,20	
1,20		11,40	
1,40		11,60	
1,60		11,80	
1,80		12,00	
2,00		12,20	
2,20		12,40	
2,40		12,60	
2,60		12,80	
2,80		13,00	
3,00		13,20	
3,20		13,40	
3,40		13,60	
3,60		13,80	
3,80		14,00	
4,00		14,20	
4,20		14,40	
4,40		14,60	
4,60		14,80	
4,80		15,00	
5,00		15,20	
5,20		15,40	
5,40		15,60	
5,60		15,80	
5,80		16,00	
6,00		16,20	
6,20		16,40	
6,40		16,60	
6,60		16,80	
6,80		17,00	
7,00		17,20	
7,20		17,40	
7,40		17,60	
7,60		17,80	
7,80		18,00	
8,00		18,20	
8,20		18,40	
8,40		18,60	
8,60		18,80	
8,80		19,00	
9,00		19,20	
9,20		19,40	
9,40		19,60	
9,60		19,80	
9,80		20,00	
10,00		20,20	



Fecha	10/12/2013	Operario	José M. Luque	Supervisor	José M. Luque
-------	------------	----------	---------------	------------	---------------

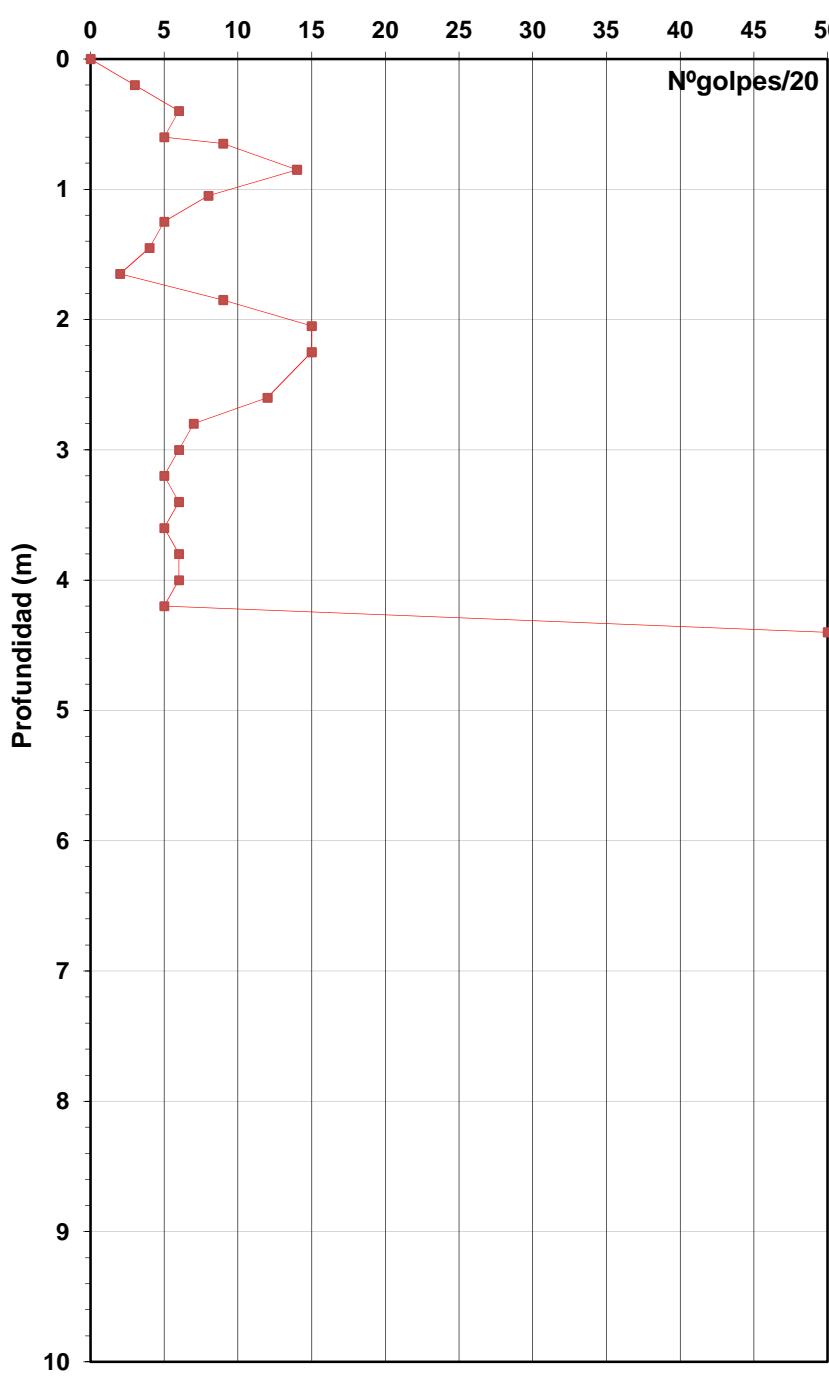


Nº Obra:	13056
Tipo de obra:	Ensayos de penetración dinámica
Denominación:	Depósito Tres Cantos. Madrid
Peticionario:	ORBIS TERRARUM PROJECTS SLNE

## Ensayo de penetración dinámica P-7 (B-B)

Tipo de ensayo:	DPSH	Varillaje	Ø 32 mm	Equipo empleado	
Maza:	63,50 Kg	Puntaza	Cónica Ø 5 cm		
Altura de caída	75 cm	Cota emplz.	Techo deposito		

Prof.	Golpeo	Prof.	Golpeo
0,00	0	10,20	
0,20	3	10,40	
0,40	6	10,60	
0,60	5	10,80	
0,80	9	11,00	
1,00	14	11,20	
1,20	8	11,40	
1,40	5	11,60	
1,60	4	11,80	
1,80	2	12,00	
2,00	9	12,20	
2,20	15	12,40	
2,40	15	12,60	
2,60	12	12,80	
2,80	7	13,00	
3,00	6	13,20	
3,20	5	13,40	
3,40	6	13,60	
3,60	5	13,80	
3,80	6	14,00	
4,00	6	14,20	
4,20	5	14,40	
4,21	50	14,60	
4,60		14,80	
4,80		15,00	
5,00		15,20	
5,20		15,40	
5,40		15,60	
5,60		15,80	
5,80		16,00	
6,00		16,20	
6,20		16,40	
6,40		16,60	
6,60		16,80	
6,80		17,00	
7,00		17,20	
7,20		17,40	
7,40		17,60	
7,60		17,80	
7,80		18,00	
8,00		18,20	
8,20		18,40	
8,40		18,60	
8,60		18,80	
8,80		19,00	
9,00		19,20	
9,20		19,40	
9,40		19,60	
9,60		19,80	
9,80		20,00	
10,00		20,20	



Fecha	10/12/2013	Operario	José M. Luque	Supervisor	José M. Luque
-------	------------	----------	---------------	------------	---------------

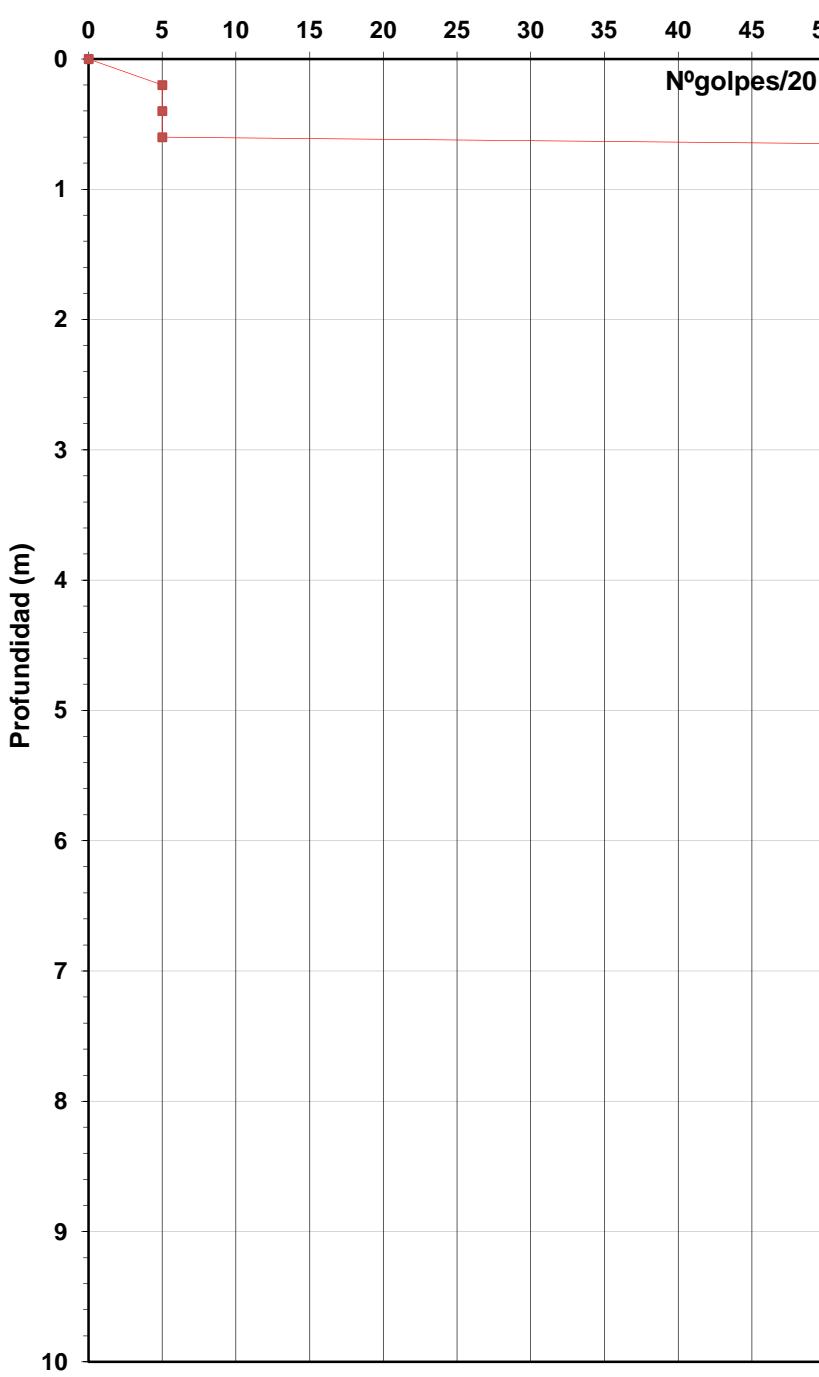


Nº Obra:	13056
Tipo de obra:	Ensayos de penetración dinámica
Denominación:	Depósito Tres Cantos. Madrid
Peticionario:	ORBIS TERRARUM PROJECTS SLNE

## Ensayo de penetración dinámica P-8 (C-C)

Tipo de ensayo:	DPSH	Varillaje	Ø 32 mm	Equipo empleado	
Maza:	63,50 Kg	Puntaza	Cónica Ø 5 cm		
Altura de caída	75 cm	Cota emplz.	Techo deposito		

Prof.	Golpeo	Prof.	Golpeo
0,00	0	10,20	
0,20	5	10,40	
0,40	5	10,60	
0,60	5	10,80	
0,65	50	11,00	
1,00		11,20	
1,20		11,40	
1,40		11,60	
1,60		11,80	
1,80		12,00	
2,00		12,20	
2,20		12,40	
2,40		12,60	
2,60		12,80	
2,80		13,00	
3,00		13,20	
3,20		13,40	
3,40		13,60	
3,60		13,80	
3,80		14,00	
4,00		14,20	
4,20		14,40	
4,40		14,60	
4,60		14,80	
4,80		15,00	
5,00		15,20	
5,20		15,40	
5,40		15,60	
5,60		15,80	
5,80		16,00	
6,00		16,20	
6,20		16,40	
6,40		16,60	
6,60		16,80	
6,80		17,00	
7,00		17,20	
7,20		17,40	
7,40		17,60	
7,60		17,80	
7,80		18,00	
8,00		18,20	
8,20		18,40	
8,40		18,60	
8,60		18,80	
8,80		19,00	
9,00		19,20	
9,20		19,40	
9,40		19,60	
9,60		19,80	
9,80		20,00	
10,00		20,20	



Fecha	10/12/2013	Operario	José M. Luque	Supervisor	José M. Luque
-------	------------	----------	---------------	------------	---------------

## Reconocimiento de suelos con penetrometro dinamico a energía variable

Documento :Y:\00 PROYECTOS\13053 CYII - Deposito de Tres Cantos\Trabajo\CAMPAÑA\PANDAS 10-12-13\Pandas Tres C;

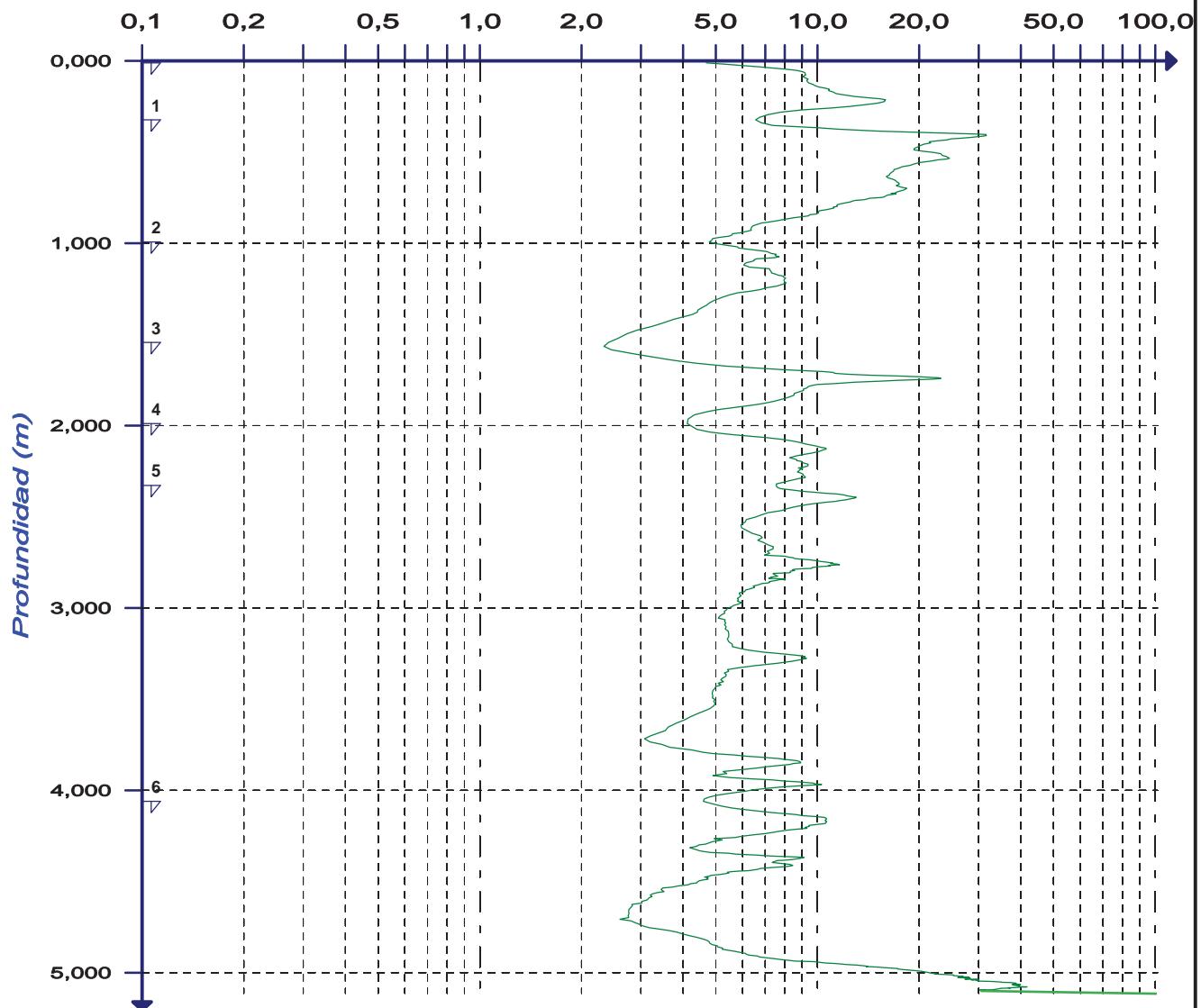
Sitio : DEPOSITO TRES CANTOS

Sondaje : PD-1

Cota : 0,00 m	Prof. pre-perforacion :0,000 m	Sección : 2 cm <sup>2</sup>	Prof. Napa :Indeterminada
Masa :Martillo Panda 2	Cond. de interrupción :Rechaz	Fecha : 06/12/2013	Hora :22:39:00
Operador :alp	Organismo :		

Comentarios :

Resistencia de punta (MPa)



## Reconocimiento de suelos con penetrometro dinamico a energía variable

Documento :Y:\00 PROYECTOS\13053 CYII - Deposito de Tres Cantos\Trabajo\CAMPAÑA\PANDAS 12-12-13\Tres cantos.pd

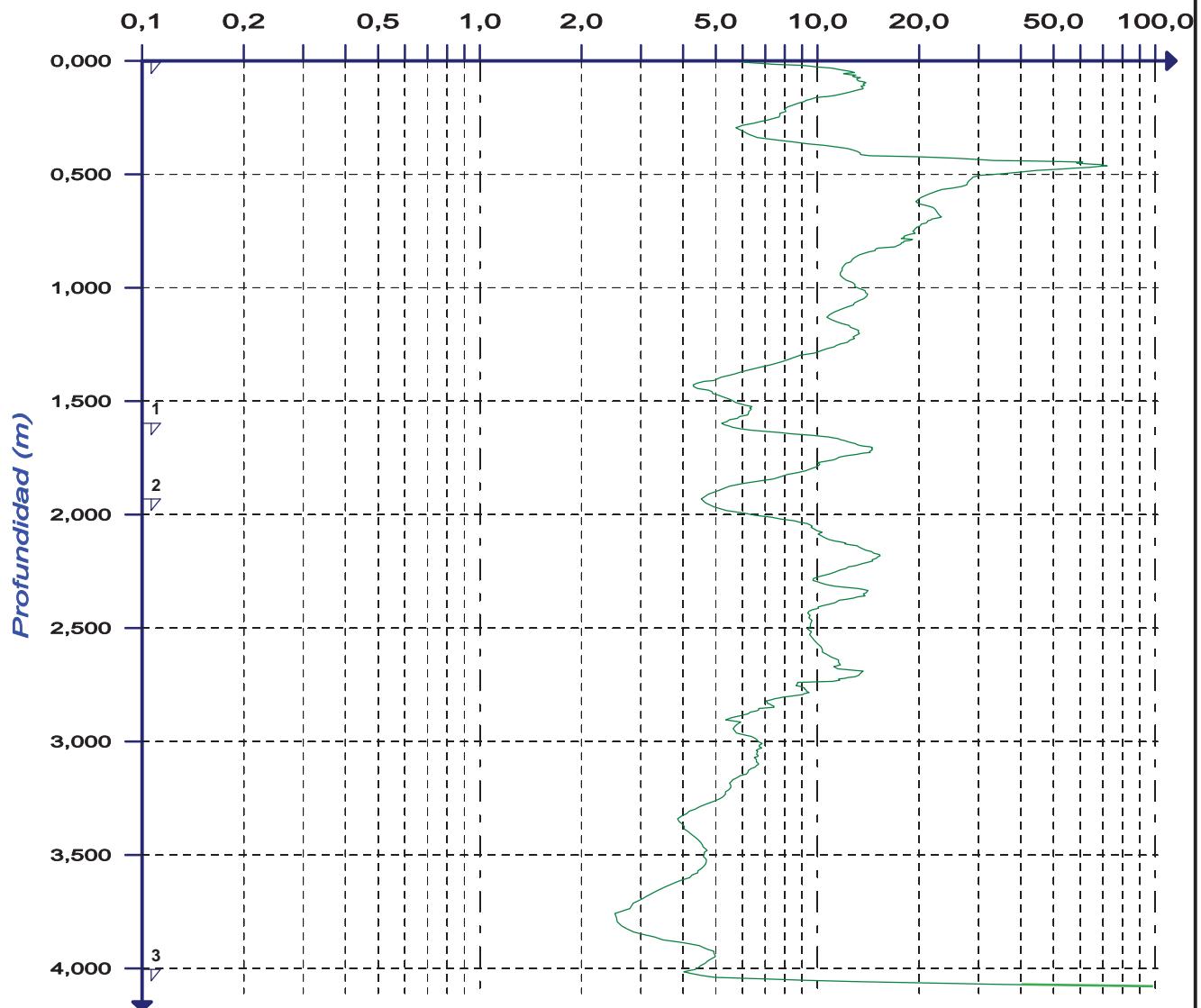
Sitio : TRES CANTOS

Sondaje : PD-2

Cota : 0,00 m	Prof. pre-perforacion :0,000 m	Sección : 2 cm <sup>2</sup>	Prof. Napa :Indeterminada
Masa :Martillo Panda 2	Cond. de interrupción :Rechaz	Fecha : 08/12/2013	Hora :22:20:00
Operador :alp		Organismo :	

Comentarios :

Resistencia de punta (MPa)



## Reconocimiento de suelos con penetrometro dinamico a energía variable

Documento :Y:\00 PROYECTOS\13053 CYII - Deposito de Tres Cantos\Trabajo\CAMPAÑA\PANDAS 12-12-13\Tres cantos.pd

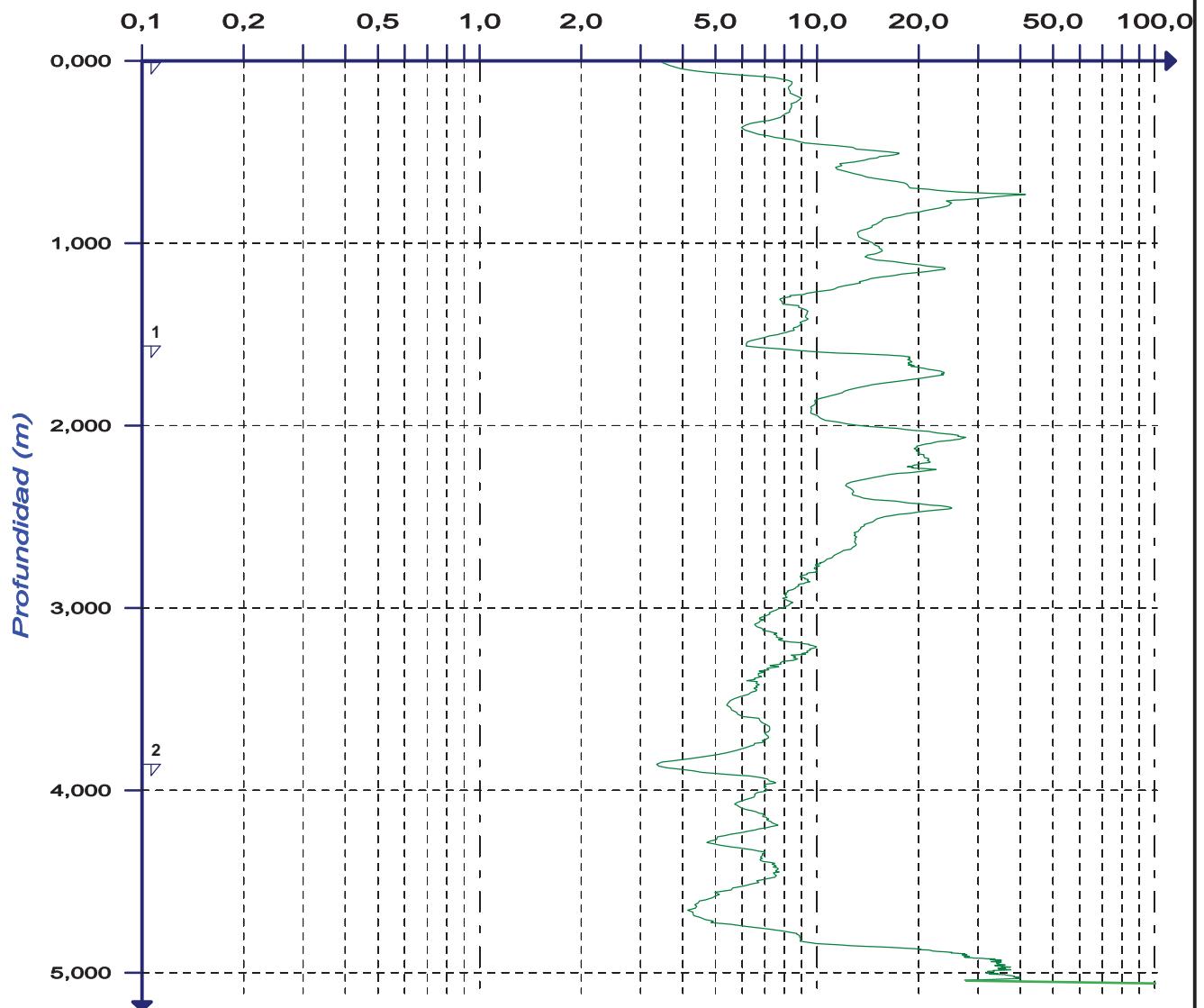
Sitio : TRES CANTOS

Sondaje : PD-3

Cota : 0,00 m	Prof. pre-perforacion :0,000 m	Sección : 2 cm <sup>2</sup>	Prof. Napa :Indeterminada
Masa :Martillo Panda 2	Cond. de interrupción :Rechaz	Fecha : 08/12/2013	Hora :22:58:00
Operador :alp		Organismo :	

Comentarios :

Resistencia de punta (MPa)

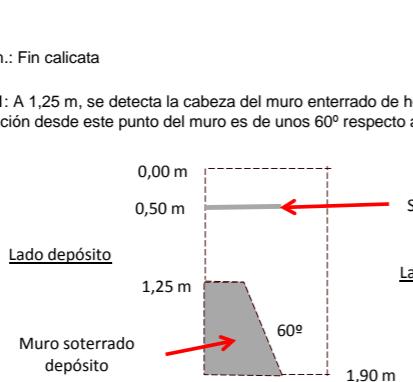


## APÉNDICE 6: REGISTRO DE CALICATAS







			<b>PROYECTO:</b> ESTUDIO GEOTÉCNICO DEPOSITO SOTERRADO TRES CANTOS <b>ZONA:</b> TRES CANTOS (MADRID) <b>CLIENTE:</b> CANAL ISABEL II GESTION										<b>COORDENADAS</b> <b>X:</b> 440607 <b>Y:</b> 4495860 <b>Z:</b> 696,6			<b>FECHA</b> 30-1-2014		<b>OTROS DATOS</b> <b>SUPERVISIÓN:</b> NOE PASTRANA <b>MAQUINARIA:</b> MINIEXCAVADORA <b>MAQUINISTA:</b>																			
<b>CALICATA C-1</b>																																					
<b>ENsayos de laboratorio</b>																																					
PROFUNDIDAD		NIVEL FREÁTICO		LITOLOGÍA		MUESTRAS		ESTABILIDAD DE LAS PAREDES		LÍMITES DE ATTEBERG		GRANULOMETRÍA		QUÍMICOS		PROCTOR MODIFICADO		C.B.R.																			
										LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		INDICE DE PLASTICIDAD	% BOLOS	% GRAVAS	% ARENAS	% FINOS	YESOS % SO4CaH2O	SALES SOLUBLES	MATERIA ORGÁNICA	$\gamma$ max (gr/cm <sup>3</sup> )																
																					HUMEDAD ÓPTIMA																
																					100% $\gamma$ max																
																					HINCH. (%)																
																					U.S.C.S.																
<b>FOTOGRAFÍA</b>																																					
																																					
																																					
OBSERVACIONES:																																					
<p>La calicata tiene unas dimensiones en planta de 2,10 x 1,70 m, y cuya longitud mayor es paralela al muro enterrado del depósito</p>																																					
DESCRIPCIÓN																																					
1																																					
2																																					
3																																					
4																																					
5																																					
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)																																					
																																					

			<b>PROYECTO:</b> ESTUDIO GEOTÉCNICO DEPOSITO SOTERRADO TRES CANTOS <b>ZONA:</b> TRES CANTOS (MADRID) <b>CLIENTE:</b> CANAL ISABEL II GESTION										<b>COORDENADAS</b> <b>X:</b> 440611 <b>Y:</b> 4495856 <b>Z:</b> 696,4			<b>FECHA</b> 30-1-2014		<b>OTROS DATOS</b> <b>SUPERVISIÓN:</b> NOE PASTRANA <b>MAQUINARIA:</b> MINIEXCAVADORA <b>MAQUINISTA:</b>																			
<b>CALICATA C-2</b>																																					
<b>ENsayos de laboratorio</b>																																					
PROFUNDIDAD		NIVEL FREÁTICO		LITOLOGÍA		MUESTRAS		ESTABILIDAD DE LAS PAREDES		LÍMITES DE ATTEBERG		GRANULOMETRÍA		QUÍMICOS		PROCTOR MODIFICADO		C.B.R.																			
										LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		INDICE DE PLASTICIDAD	% BOLOS	% GRAVAS	% ARENAS	% FINOS	YESOS % SO4CaH2O	SALES SOLUBLES	MATERIA ORGÁNICA	$\gamma$ max (gr/cm <sup>3</sup> )																
																					HUMEDAD ÓPTIMA																
																					100% $\gamma$ max																
																					HINCH. (%)																
																					U.S.C.S.																
<b>FOTOGRAFÍA</b>																																					
																																					
																																					
OBSERVACIONES:																																					
<p>La calicata tiene unas dimensiones en planta de 1,70 x 1,20 m, y cuya longitud mayor es paralela al muro enterrado del depósito</p>																																					

