

ANÁLISIS DE PARÁMETROS DINÁMICOS Y ESTÁTICOS EN LA PROSPECCIÓN DE ÁRIDOS. CASO PRÁCTICO: CANTERA DE ARCILLAS EN MADRID (ESPAÑA)

Domingo Alfonso Martín Sánchez⁽¹⁾, Cosme Rafael Pérez-Puig Obieta⁽¹⁾, Jesús María Díaz Curiel⁽¹⁾, Jorge Luis Costafreda Mustelier⁽¹⁾ y José Luis Parra y Alfaro⁽¹⁾

(1) Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. Ingeniería Geológica. Calle Ríos Rosas 21, Madrid, España. E-mail: domingoalfonso.martin@upm.es; cosmeperezpuig@gmail.com; j.diazcuriel@upm.es; costafreda@yahoo.es ; joseluis.parra@upm.es

RESUMEN

En el presente trabajo se hace una valoración de los recursos existentes en una explotación de áridos estudiando parámetros dinámicos mediante técnicas geofísicas y parámetros estáticos mediante ensayos de caracterización de arcillas en laboratorio. Esta doble actuación obedece a la nueva normativa aplicada a las explotaciones mineras en las que se indica la necesidad de la realización de un informe geotécnico incluido dentro de la valoración arqueológica de la explotación. Para ilustrar este "modus operandi" se ha elegido un caso práctico real: una explotación sita en el municipio de Torres de la Alameda, Madrid (España).

En cuanto al análisis de los parámetros dinámicos se ha realizado una campaña de prospección geofísica utilizando Corriente Continua mediante la técnica de los Sondeos Eléctricos Verticales (S.E.V.). La selección de los lugares de prospección ha obedecido a criterios estadísticos apoyados en las observaciones de la geología de superficie y las características morfológicas de la explotación.

La aplicación de los S.E.V. ha permitido determinar la distribución en profundidad de los diferentes niveles geoelectrónicos del área estudiada, además de la distribución de resistividades en cada uno de los niveles.

Para el estudio de parámetros estáticos se realizó una investigación de las características geotécnicas del terreno mediante la realización de calicatas geomecánicas y ensayos de penetración dinámica además de ensayos de caracterización de muestras.

Dicha información, conjuntamente con las descripciones sobre las muestras obtenidas, han permitido realizar una caracterización fiable y barata de los recursos presentes en la zona de estudio.

ABSTRACT

This paper makes an assessment of existing resources in an aggregates exploitation by studying dynamic parameters with geophysical techniques and static parameters with laboratory tests. This double performance reflects the new mining operations standards in Madrid, the duty of geotechnical studies and an archeological valuation of the exploitation. To illustrate this "modus operandi" a real case study is shown: a mine located in the municipality of Torres de la Alameda, Madrid (Spain).

The analysis of dynamic parameters has been done with a geophysical prospection campaign. The selected method has been the vertical electrical soundings (V.E.S.) with direct current. The selection

of survey sites has resulted from statistical criteria supported by surface geology observations and the morphology of the exploitation.

The application of V.E.S. had allowed determining the distribution of different geoelectrical levels in depth through the study area, as well as the distribution of resistivity in each of these levels.

The static parameters studied have consisted in geotechnical characterization of soils, such as geomechanical trenches, SPT and in lab sample characterization test (Atterberg f.e.).

The information obtained combining dynamic and static parameters have enabled a reliable and cheap characterization of the resources in the study area.

1. INTRODUCCIÓN

Partiendo del objetivo principal de valoración de los recursos existente en una explotación vamos a desarrollar un modus operandi que constará de los siguientes pasos; primero realizaremos un estudio de la geología general de la zona pasando a un estudio de detalle en el entorno de la explotación.

Después de conocer el entorno geológico se planificara la campaña geofísica que pretende determinar la distribución en profundidad de los diferentes niveles geoelectricos existentes en la zona, así como la distribución de resistividades dentro de ellos y su correspondiente asignación litológica, de cara a hacer una caracterización y cubicación de los recursos por niveles explotables. Estos dos apartados constituirán la parte dinámica del estudio ya que las observaciones se hacen sobre el material "in situ", sometido a las mismas condiciones que tiene en yacencia.

De los niveles caracterizados geoelectricamente se seleccionaran una serie de muestras que se estudiarán mediante ensayos de laboratorio encaminados a la caracterización de los niveles arcillosos que aparecen en diferentes lugares de la explotación.

A continuación será necesario hacer una valoración geotécnica que nos permita identificar y valorar las posibles alteraciones generadas por las acciones susceptibles de producir un impacto directo o indirecto el medioambiente o sobre los bienes materiales incluyéndose el patrimonio histórico artístico y arqueológico (ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid). Esta será la parte estática ya que dichos ensayos se realizaran con dos objetivos, caracterización litológica y caracterización geotécnica, a través de muestra extraída de su entorno natural.

Al final veremos las equivalencias existentes y la posibilidad de extender estas observaciones a lo largo de toda la explotación y la opción de utilizar estas observaciones en las explotaciones geológicamente próximas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización de la zona de estudio se abordó desde el punto de vista bibliográfico apoyado en observaciones hechas en campo y mediante la utilización de instrumentación de medida tanto dinámica o en campo como estática o medida de laboratorio

2.1 Materiales.

La identificación de los materiales se realizó bajo tres aspectos fundamentales, uno geográfico que nos ubica la zona de estudio en un entorno concreto, otro aspecto geológico que nos acota la geología regional en la que nos encontramos y nos permite centrar las observaciones en campo y otro aspecto geotécnico que nos ayuda a determinar de forma precisa el tipo de ensayos a realizar.

2.1.1 Marco Geográfico

Las coordenadas de ubicación de la zona son $40^{\circ} 22'$ y $3^{\circ} 23'$ dentro del sector centro oriental de la cuenca del Tajo o Cuenca de Madrid. Está situada dentro de la comunidad de Madrid entre los términos municipales de Loeches y Campo Real perteneciendo, la zona de estudio al término municipal de Torres de la Alameda.

El relieve es poco accidentado a excepción de los Márgenes de los ríos Jarama y Henares. Aparecen zonas escarpadas que enlazan las vegas de los ríos con las altiplanicies.

La densidad de población es elevada con alta actividad agrícola e industrial, como ciudades importantes próximas a la zona de estudio tenemos

La zona de estudio abarca tanto la explotación actual de arcillas como una zona adyacente donde se planea la expansión de la explotación. Las actuaciones se han realizado en un área de aproximadamente 10.000 m^2 . En el momento de realización de los trabajos de campo, la parcela presentaba una topografía llana, tomándose como cota de referencia a 650 metros sobre el nivel del mar.

2.1.2 Marco Geológico

La zona de estudio está situada dentro de la Hoja Geológica escala 1:50.000 N° 560 de Alcalá de Henares. Está situada dentro de la cuenca Meso-Terciaria del Tajo en las zonas de transición de las facies intermedias a centro de la cuenca de Madrid. Un esquema general del entorno geológico se presenta en la Figura 1.

Los materiales de la zona son de la era Cenozoica del periodo Neógeno y de edad Miocena pertenecientes a la facies de arcillas inferiores de la unidad Alcalá.

Sedimentológicamente se produjo el relleno de la Cuenca del Tajo en condiciones endorreicas con abanicos aluviales en los bordes que pasan hacia el centro de la cuenca en forma de evaporizas lacustres.

Litológicamente son arcillas marrones y grises con cristales de yeso y yeso diagenético, arcillas marrones y arenas finas micáceas gris verdosas de la unidad Alcalá inferior (Orleaniense).

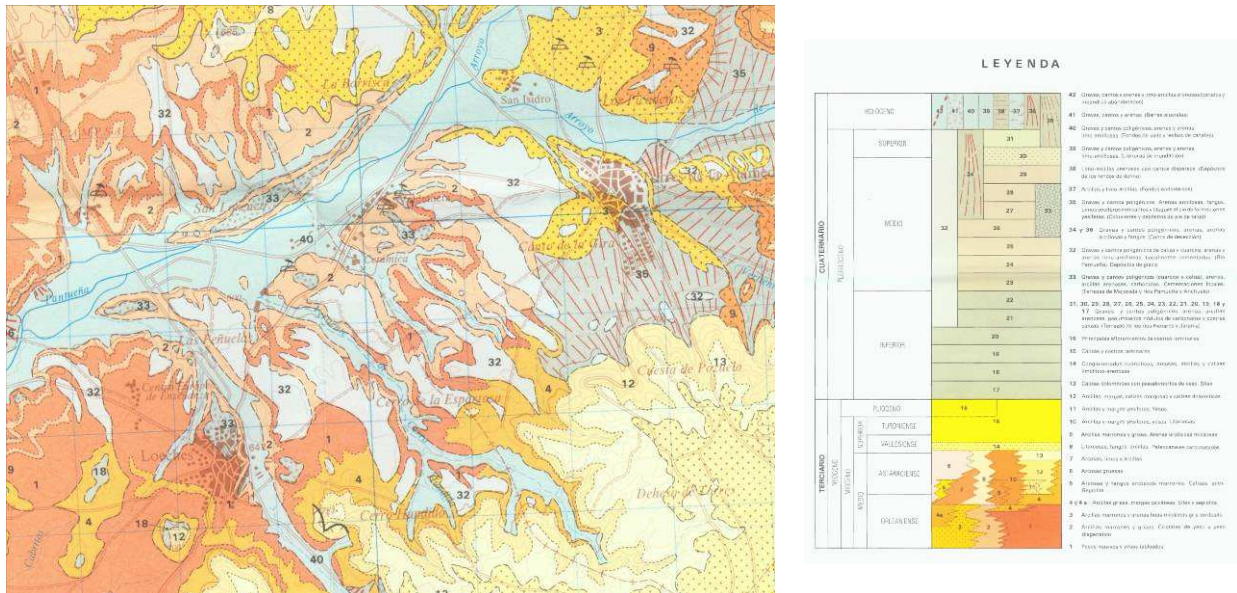


Figura 1: Esquema geológico de la zona (Portero et al. 1986).

Afloran en los escarpes de la margen izquierda, bajo las terrazas del río Henares y en las laderas de los arroyos. En la zona de estudio los materiales se encuentran bajo un depósito de glacia.

Los materiales se explotan activamente, por la industria cerámica implantadas en Alcalá de Henares, Torre de Alameda y Loeches.

Ambas unidades están limitadas en su techo por una importante ruptura sedimentaria que separa yesos y arcillas.

Se produce alternancia de arcillas limoníticas marrones en gruesas capas de hasta 1 m con niveles laminados de limos y arenas finas micáceas.

Desde el punto de vista tectónico los materiales se encuentran subhorizontales con pendientes entre 5 y 6 por mil en las calizas del Páramo.

Hidrogeológicamente el conjunto Mioceno es un mismo acuífero donde se aglutinan distintas series heterogéneas procedentes de abanicos aluviales.

Estas facies están compuestas por arcillas arenosas y arenas arcillosas como efecto de depósitos de inundación.

El acuífero es un nivel lenticular y tabular con intercalaciones de fangos (acuitardos).

2.1.3 Marco Geotécnico

Los terrenos donde encontramos la zona de estudio están clasificados bibliográficamente según la Hoja Nº 45 de escala 1:200.000 del Mapa Geotécnico de Madrid como terrenos del tipo II4.

Las litologías definidas presentan formas redondeadas allí donde aparecen yesos masivos y con abarrancamientos profundos según la dirección de la máxima pendiente.

Su permeabilidad es prácticamente nula y su drenaje es malo creándose redes de escorrentía superficial muy acusada. El nivel freático no suele aparecer y si lo hace es por debajo de los 15 m.

Con respecto a las condiciones constructivas hemos de decir que las capacidades de carga tienen un periodo de variación bastante amplia desde altas a bajas, siendo posible la aparición de asentamientos bruscos por disolución de yesos.

La capacidad de carga es alta y los asentamientos de magnitud media, sin embargo la existencia de yesos y su fácil disolución pueden provocar la aparición, al cargar excesivamente el terreno y no contar con un sistema de drenaje adecuado, de asentamiento importante que a veces pueden darse de forma brusca.

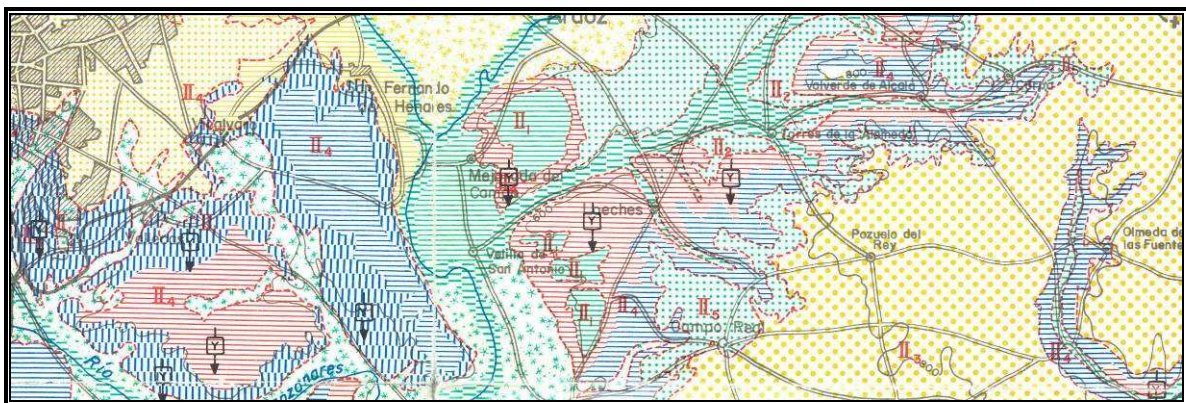


Figura 2: Esquema geotécnico (IGME; 1972).

2.2 Métodos.

Teniendo en cuenta el orden metodológico utilizado en campo vamos a comentar cada una de las técnicas propuestas para poder extraer conclusiones sobre sus resultados y la necesidad o no de implementarlas dentro del modus operandi.

2.2.1 Sondeos eléctricos verticales

Los métodos eléctricos de prospección se basan en la existencia de variaciones de las propiedades eléctricas, en especial la resistividad de las distintas formaciones del subsuelo, teniendo como objetivo determinar la distribución en profundidad (resistividades y espesores) de los niveles geoelectrónicos presentes.

La resistividad de medios porosos, tanto de origen antrópico como natural, depende fundamentalmente, del grado de humedad de éstos y de la conductividad del fluido que rellena sus poros, dado que la resistividad de la fase sólida es, a los efectos de prospección, infinita (salvo presencia de elementos metálicos). Dicha humedad depende, a su vez, de la porosidad que presente el medio y del grado de saturación.

Considerando las dimensiones de las zonas de trabajo propias de estos medios, es razonable asumir una cierta homogeneidad en la conductividad del agua de las formaciones, por lo que la resistividad real será función, fundamentalmente, de la porosidad (que a su vez dependerá del tamaño y selección de grano y de la proporción de finos) y del grado de humedad.

De esta forma, la variación de los valores de resistividad muestra una distribución de las zonas con mayor o menor grado de compactación y con distinta proporción de agua.

La técnica desarrolla los campos eléctricos analizando el paso de una corriente continua a través del subsuelo, resultante de aplicar una fuerza electromotriz al terreno mediante electrodos enclavados en la superficie.

La relación entre la diferencia de potencial medida en determinados puntos de la superficie y la intensidad de corriente del circuito, dará como resultado una resistividad aparente. Dicho valor depende inicialmente de la disposición de los electrodos de emisión y de potencial (dispositivo de medida), como puede verse en la Figura 3.

Analizando los valores de la resistividad aparente para distintos dispositivos, es posible determinar la distribución de la resistividad real del medio, en función de las características que presente.

Si el terreno está constituido por diferentes niveles homogéneos que presentan una distribución aproximadamente subhorizontal (hasta 25°) de sus características eléctricas, se podrá deducir la resistividad y espesor de cada uno. Ensayos de laboratorio.

No se han considerado métodos más avanzados de prospección como la tomografía eléctrica por motivos económicos y de simplicidad en la interpretación

El objetivo es el levantamiento de la columna estratigráfica a partir de la naturaleza y descripción litológica de los distintos niveles encontrados y determinar niveles colgados de agua o cualquier anomalía existente.



Figura 3.- Fotografía del desarrollo del SEV 1.

2.2.2 Reconocimiento de visu

Se han realizado 2 levantamientos de visu sobre zanjas excavadas con una pala mecánica de la marca y modelo CAT 9626. Se ha considerado aceptable el número de dos en función de la superficie de estudio y de la homogeneidad de los materiales observados en el estudio geológico previo y constatado con las medidas geofísicas

La profundidad alcanzada con dichas zanjas ha sido de 2,40 y 2,20 metros para los ensayos C-1 Y C-2 respectivamente, la columna elaborada para la calicata 1 (C-1) se puede apreciar en la Figura 4.

2.2.3 Ensayos de Penetración Dinámica

Con el ensayo de penetración dinámica (tipo borros) se pretende obtener la resistencia del terreno de penetración. Este ensayo consiste en la hincada de una puntaza tipo de 40 cm x 40 cm acoplada al extremo de un varillaje de 32 mm de diámetro, golpeado mediante una maza de 63,5 kg de peso, que cae desde una altura de 0,5 m.

Sucesivamente se van anotando el número de golpes N_{20} necesarios para lograr penetraciones de 20 cm de la puntaza en el terreno. Los ensayos se realizan hasta la profundidad en la cual se alcanza el rechazo de los mismos, es decir cuando el número de golpes para penetrar los 20 cm es superior a 100 ($N_{20} > 100$ golpes/20 cm) o los 10 m para estructuras habituales.

Dada la tipología de los ensayos de penetración dinámica, que no extraen testigo, y por tanto no permiten determinar la naturaleza del terreno atravesado, ni conocer el mismo por debajo de las profundidades de rechazo.

Lo que sí permiten es determinar, de una forma pseudo-cualitativa, la mayor o menor resistencia del terreno atravesado mediante la interpretación de los golpes obtenidos en tramos de 20 cm de profundidad.



Laboratorio de Prospección
 Departamento de Ingeniería Geológica
 Universidad Politécnica de Madrid
 Ríos Rosas, 21 - 28003 Madrid
 Tel: 91.336.6982 - Fax: 91.336.6981

RESULTADOS DE TESTIFICACIÓN DE CALICATA		C-1	
Cliente:	Sociedad Tierras de Alcalá S.L.	Profundidad:	2,40
Obra:	Tachuela (Torres de la Alameda)	Ancho:	4,00
Fecha:	21/01/2009	Largo:	10,00
		Maquinaria:	CAT 9626
		Dificultad Excavación:	I
		Estabilidad del Corte:	IV

Prof. (m)	Nivel Freatico	Esesor	Columna	Descripción Litológica	Fotografía																																																											
0,5		0,3		Nivel 1.- Suelo arcilloso con mucha Materia Organica	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">OTRAS PROPIEDADES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Suelo Vegetal</td> <td>SI</td> </tr> <tr> <td>Presencia de agua</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Excavabilidad</td> <td>I - Baja</td> </tr> <tr> <td>II - Media-Baja</td> </tr> <tr> <td>III - Media</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Estabilidad</td> <td>I - Baja</td> </tr> <tr> <td>II - Media-Baja</td> </tr> <tr> <td>III - Media</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>0,4</td> <td></td> <td>Nivel 2.- Arcillas rojas masivas</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td>0,6</td> <td></td> <td>Nivel 3.- Arcillas Gris-verdosa tableadas. N180E B.3NW. Muestra TASLTAC090121083</td> </tr> <tr> <td>1,5</td> <td></td> <td>0,6</td> <td></td> <td>Nivel 4.- Arcillas rojas. Muestra TASLTAC090121082</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Nivel 5.- Arcillas Gris Verdosas</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="2"> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">OTRAS PROPIEDADES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Suelo Vegetal</td> <td>SI</td> </tr> <tr> <td>Presencia de agua</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Excavabilidad</td> <td>I - Baja</td> </tr> <tr> <td>II - Media-Baja</td> </tr> <tr> <td>III - Media</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Estabilidad</td> <td>I - Baja</td> </tr> <tr> <td>II - Media-Baja</td> </tr> <tr> <td>III - Media</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	OTRAS PROPIEDADES		Suelo Vegetal	SI	Presencia de agua	NO	Excavabilidad	I - Baja	II - Media-Baja	III - Media	Estabilidad	I - Baja	II - Media-Baja	III - Media			0,4		Nivel 2.- Arcillas rojas masivas	1		0,6		Nivel 3.- Arcillas Gris-verdosa tableadas. N180E B.3NW. Muestra TASLTAC090121083	1,5		0,6		Nivel 4.- Arcillas rojas. Muestra TASLTAC090121082	2				Nivel 5.- Arcillas Gris Verdosas	2,5					 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">OTRAS PROPIEDADES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Suelo Vegetal</td> <td>SI</td> </tr> <tr> <td>Presencia de agua</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Excavabilidad</td> <td>I - Baja</td> </tr> <tr> <td>II - Media-Baja</td> </tr> <tr> <td>III - Media</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Estabilidad</td> <td>I - Baja</td> </tr> <tr> <td>II - Media-Baja</td> </tr> <tr> <td>III - Media</td> </tr> </tbody> </table>	OTRAS PROPIEDADES		Suelo Vegetal	SI	Presencia de agua	NO	Excavabilidad	I - Baja	II - Media-Baja	III - Media	Estabilidad	I - Baja	II - Media-Baja	III - Media	3				
OTRAS PROPIEDADES																																																																
Suelo Vegetal	SI																																																															
Presencia de agua	NO																																																															
Excavabilidad	I - Baja																																																															
	II - Media-Baja																																																															
	III - Media																																																															
Estabilidad	I - Baja																																																															
	II - Media-Baja																																																															
	III - Media																																																															
		0,4		Nivel 2.- Arcillas rojas masivas																																																												
1		0,6		Nivel 3.- Arcillas Gris-verdosa tableadas. N180E B.3NW. Muestra TASLTAC090121083																																																												
1,5		0,6		Nivel 4.- Arcillas rojas. Muestra TASLTAC090121082																																																												
2				Nivel 5.- Arcillas Gris Verdosas																																																												
2,5					 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">OTRAS PROPIEDADES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Suelo Vegetal</td> <td>SI</td> </tr> <tr> <td>Presencia de agua</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Excavabilidad</td> <td>I - Baja</td> </tr> <tr> <td>II - Media-Baja</td> </tr> <tr> <td>III - Media</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Estabilidad</td> <td>I - Baja</td> </tr> <tr> <td>II - Media-Baja</td> </tr> <tr> <td>III - Media</td> </tr> </tbody> </table>	OTRAS PROPIEDADES		Suelo Vegetal	SI	Presencia de agua	NO	Excavabilidad	I - Baja	II - Media-Baja	III - Media	Estabilidad	I - Baja	II - Media-Baja	III - Media																																													
OTRAS PROPIEDADES																																																																
Suelo Vegetal	SI																																																															
Presencia de agua	NO																																																															
Excavabilidad	I - Baja																																																															
	II - Media-Baja																																																															
	III - Media																																																															
Estabilidad	I - Baja																																																															
	II - Media-Baja																																																															
	III - Media																																																															
3																																																																

Figura 4: Calicata C-1

Se ha realizado 2 ensayos de penetración dinámica (tipo borros). Dichos ensayos se ha realizado con un equipo de accionamiento automático marca Tecoinsa, modelo PDP 1998.

Para los dos penetrómetros realizados no se ha encontrado un rechazo, hasta los 10 m seleccionados como profundidad máxima necesaria.

Al igual que en el caso anterior también se han utilizado criterios de homogeneidad y observaciones geofísicas para delimitar a 2 los ensayos a realizar.

2.2.4 Ensayos de Laboratorio

Los ensayos seleccionados para la caracterización de los niveles arcillosos que aparecen en diferentes lugares de la explotación son: La determinación de la densidad aparente (UNE 103-301), la determinación de la humedad de un suelo (UNE 7328), la determinación de los límites de Atterberg (UNE 103-103 y 103-104), el hinchamiento libre en edómetro (UNE 103-306). Estos ensayos fueron seleccionados atendiendo a criterios de simplicidad y económicos.

Los ensayos de laboratorio seleccionados con el fin de caracterizar la naturaleza y los diferentes niveles geotécnicos del subsuelo son: Determinación de la humedad (UNE 103-300), Determinación de la densidad (UNE 103-301), Granulometría de suelos por tamizado y sedimentación (UNE 103-101), Determinación del Límite Líquido de un suelo (UNE 101-103), Determinación del Límite Plástico de un suelo

(UNE 101–104), Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo (UNE 103-201) e Hinchamiento libre en edómetro (UNE 103-306)

Aunque las muestras no eran las mismas se suprimen algunos de los ensayos para no incurrir en duplicidad ya que esta situación haría que la metodología fuera poco viable económicamente hablando.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS CONTENIDOS

Después de analizar la metodología de trabajo comprobaremos que con cada uno de los pasos obtenemos los objetivos propuestos, analizando los resultados que cada disciplina nos proporciona.

3.1 Sondeos eléctricos verticales.

Las características de los 11 SEV realizados aparecen en la Tabla 1:

Tabla 1: Características de los SEV realizados en la zona

SEV	Dispositivo	Acimut	Longitud
SEV-1	Schlumberger	360	200
SEV-2	Schlumberger	360	200
SEV-3	Schlumberger	355	200
SEV-4	Schlumberger	355	200
SEV-5	Schlumberger	210	200
SEV-6	Schlumberger	210	200
SEV-7	Schlumberger	10	160
SEV-8	Schlumberger	194	200
SEV-9	Schlumberger	360	200
SEV-10	Schlumberger	195	200
SEV-11	Schlumberger	360	200

La distribución espacial de los SEV y de las demás actuaciones se muestra en la Figura 6.

Con los resultados de los SEV se han confeccionado una serie de secciones geoelectricas A partir de las cuales se pueden establecer dos grandes diferenciaciones. Una en función de las variaciones de la resistividad con la profundidad, que nos define los 4 grandes grupos litológicos existentes en la zona y que son:

- 1) Arenas con resistividad > 200 Ohm•m.
- 2) Arenas arcillosas con resistividad entre 100 y 200 Ohm•m.
- 3) Arcillas arenosas con resistividad entre 30 y 100 Ohm•m.
- 4) Arcillas con resistividad entre 2 y 20 Ohm•m.

La otra diferenciación, en función de las variaciones laterales de resistividad encontradas dentro de cada grupo litológico, nos define las variaciones tanto en la proporción de contenidos en las distintas litologías como en las características geotécnicas de las mismas. En la Figura 7 presentamos los resultados de la interpretación mediante programa comercial del SEV 1 (TACH1)

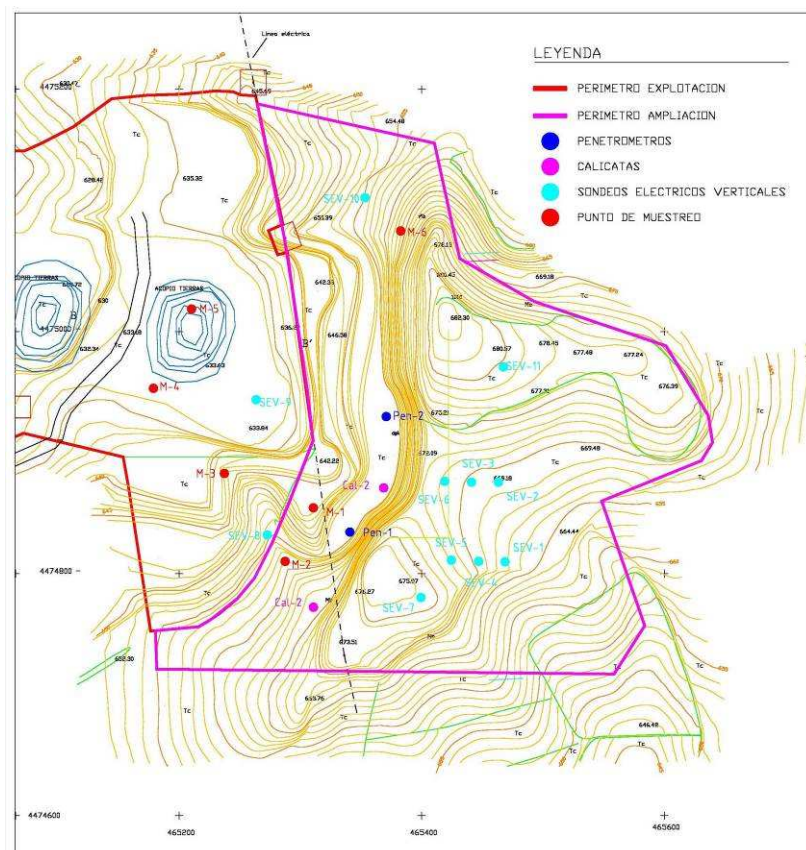


Figura 6: Plano de situación de los trabajos realizados

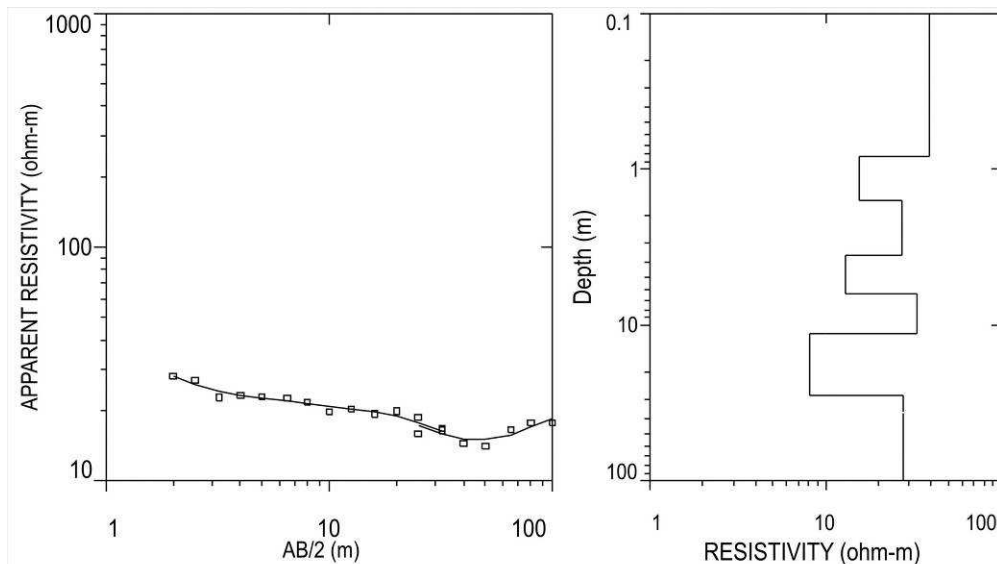


Figura 7: Interpretación del SEV1 (TACH1)

3.2 Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio se realizaron por el Laboratorio de Prospección acreditado como Laboratorio de ensayos según el Área de Acreditación GTL.b+c3 (Ensayos de Laboratorio de Geotecnia. Ensayos Básicos y Complementario Tercero), con N° en el Registro General: 03034 GTL05. (B.O.E nº 243 publicado el martes 11 de octubre de 2005)

En la tabla 2 se muestra de forma esquemática los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre la muestra tomada. Con ellos se pretende completar las propiedades geotécnicas del terreno en la zona de estudio.

Tabla 2: Extracto de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio

PARÁMETRO	VALOR
Humedad (%)	16,63 - 16,90
Densidad seca (g/cm^3)	1,50 - 1,76
Límite líquido	42,74 – 53,40
Límite plástico	27,14 - 31,46
Índice de plasticidad	11,28 – 26,26
Clasificación	A-7 (Índ. Grupo: 17) ó CH A-7 (Índ. Grupo: 9) ó MI
SO ₃ (mg/kg)	N. P. – 29,38

3.3 Reconocimientos de Visu

A partir de la excavación realizada en el terreno investigado, se han diferenciado 5 niveles litológicos. Las profundidades a las que se han localizado estos niveles se

describen a continuación a modo de ejemplo presentamos en la tabla 3 los resultados de la Cata C-1:

Tabla 3: Resultados Cata C-1

LEVANTAMIENTO DE VISU C-1		
Nivel Litológico	Profundidad (m)	Descripción
NIVEL 1	0 – 0,30 m	Suelo arcilloso con mucha Materia Orgánica
NIVEL 2	0,30 – 0,70 m	Arcillas rojas masivas
NIVEL 3	0,70 – 1,3 m	Arcillas Gris-verdosa tableadas
NIVEL 4	1,3 – 1,9 m	Arcillas rojas masivas
NIVEL 5	1,9 – 2,4 m	Arcillas gris verdosas masivas

3.4 Ensayos de Penetración Dinámica

Si tenemos en cuenta los valores de golpeo del penetrómetro, y tomamos un criterio de homogeneidad interna en cada nivel y diferenciación con los adyacentes, se pueden establecer los niveles geotécnicos del cual presentamos, en la tabla 4, los datos del penetrómetro 2.

Tabla 4: Niveles geotécnicos obtenidos en el ensayo de penetración

PENETROMETRO 2			
Nivel Geotécnico	Profundidad (m)	Valores N_B medios	Descripción
N-1	0,0 – 0,4	5	Suelo orgánico. Eliminar
N-2	0,4 – 0,8	16	Arcillas rojas masivas
N-3	0,8 – 1,4	29	Arcillas gris-verdosa tableadas
N-4	1,6 – 9,2	20	Alternancias de arcillas gris verdosas y arcillas rojas masivas
N-5	9,2 – 10,0	51	Material competente (Yesos)

3.5 Unidades Geotécnicas Diferenciadas

A partir de los trabajos realizados en el terreno y los ensayos de laboratorio, se han diferenciado atendiendo a su litología y características geotécnicas, los siguientes niveles:

- U.G.1: Suelo arcilloso con mucha Materia Orgánica. De nula resistencia que no es válido como cimentación. Es necesaria su eliminación.
- U.G.2: Arcillas rojas masivas. Con capacidades portantes pequeñas. Resistencias mínimas alrededor de 2 kp/cm^2 . Para estructuras livianas podría

servir de apoyo pero con deformaciones elevadas, estructuras rígidas para evitar agrietamientos.

- U.G.3: Arcillas gris-verdosa tableadas. Es la capa competente pero de espesor pequeño, no podría ser nunca la unidad geotécnica de apoyo de las cimentaciones, aunque en estructuras livianas ayudaría a la U.G. 2.
- U.G.4: Arcillas gris verdosas. Con capacidades portantes pequeñas. Resistencias mínimas alrededor de 2 kp/cm². Se alternan con la U.G. 2. Para estructuras livianas podría servir de apoyo pero con deformaciones elevadas, estructuras rígidas para evitar agrietamientos. Sería necesario pensar en pilotaje para una estructura habitual.
- U.G.5: Material competente (Yesos). En una cimentación mediante pilotes sería la capa a alcanzar con la punta de los pilotes y transmitir la carga de la estructura. Puede aparecer a mayor profundidad de la conveniente, obligando a realizar pilotes flotantes.

3.6 Nivel Freático

No se ha detectado la presencia de agua libre ni en la realización del ensayo de penetración, ni en la perforación para extracción de muestras, ni en las calicatas analizadas.

3.7 Carga Admisible

La carga admisible del terreno suponiendo la cimentación superficial mediante zapatas pozo, se ha estimado a partir de los valores de golpeo obtenidos en el ensayo de penetración dinámica.

Calculando la tensión admisible, en función de los resultados de penetración dinámica, mediante la fórmula de Sanglerat, que es independiente del ancho de la zapata.

Calculamos la resistencia dinámica en punta, R_d , según la fórmula Holandesa de Inca. Se obtiene la tensión admisible, q_{adm} , independiente del ancho de la cimentación, mediante la fórmula empírica de Sanglerat, tomando el valor medio en un intervalo de 1 metro.

En la Tabla 5 se puede ver los resultados del Penetrómetro P-2

Tabla 5: Penetrómetro 2

UNIDADES GEOTECNICAS	PROFUNDIDAD	Nº de GOLPES	q_{adm}	
			MPa	kp/cm ²
U.G.1	0,20	4	0,07	0,72
U.G.1	0,40	5	0,09	0,91
U.G.2	0,60	10	0,18	1,81

UNIDADES GEOTECNICAS	PROFUNDIDAD	Nº de GOLPES	q _{adm}	
			MPa	kp/cm ²
U.G.2	0,80	22	0,39	3,98
U.G.3	1,00	27	0,44	4,50
U.G.3	1,20	38	0,62	6,34
U.G.3	1,40	23	0,38	3,83
U.G.4	1,60	22	0,36	3,67
U.G.4	1,80	22	0,36	3,67
U.G.4	2,00	24	0,36	3,71
U.G.4	2,20	21	0,32	3,24
U.G.4	2,40	20	0,30	3,09
U.G.4	2,60	22	0,33	3,40
U.G.4	2,80	21	0,32	3,24
U.G.4	3,00	20	0,28	2,88
U.G.4	3,20	18	0,25	2,59
U.G.4	3,40	22	0,31	3,17
U.G.4	3,60	22	0,31	3,17
U.G.4	3,80	19	0,27	2,73
U.G.4	4,00	17	0,22	2,29
U.G.4	4,20	18	0,24	2,42
U.G.4	4,40	20	0,26	2,69
U.G.4	4,60	26	0,34	3,50
U.G.4	4,80	26	0,34	3,50
U.G.4	5,00	23	0,29	2,91
U.G.4	5,20	22	0,27	2,78
U.G.4	5,40	19	0,24	2,40
U.G.4	5,60	16	0,20	2,02
U.G.4	5,80	17	0,21	2,15
U.G.4	6,00	20	0,23	2,39
U.G.4	6,20	17	0,20	2,03
U.G.4	6,40	18	0,21	2,15
U.G.4	6,60	18	0,21	2,15
U.G.4	6,80	22	0,26	2,63
U.G.4	7,00	20	0,22	2,26
U.G.4	7,20	16	0,18	1,81
U.G.4	7,40	21	0,23	2,37
U.G.4	7,60	19	0,21	2,15
U.G.4	7,80	16	0,18	1,81
U.G.4	8,00	16	0,17	1,71
U.G.4	8,20	17	0,18	1,82
U.G.4	8,40	20	0,21	2,14
U.G.4	8,60	21	0,22	2,25
U.G.4	8,80	23	0,24	2,46
U.G.4	9,00	17	0,17	1,73
U.G.4	9,20	23	0,23	2,34
U.G.5	9,40	34	0,34	3,47
U.G.5	9,60	44	0,44	4,48
U.G.5	9,80	56	0,56	5,71
U.G.5	10,00	71	0,68	6,90

4. CONCLUSIONES

4.1 Ensayos geofísicos y muestreo de niveles geoelectricos

Con los resultados de la interpretación de los SEV, se han realizado 4 secciones geoelectricas de las cuales presentamos en la Figura 8 la sección 2.

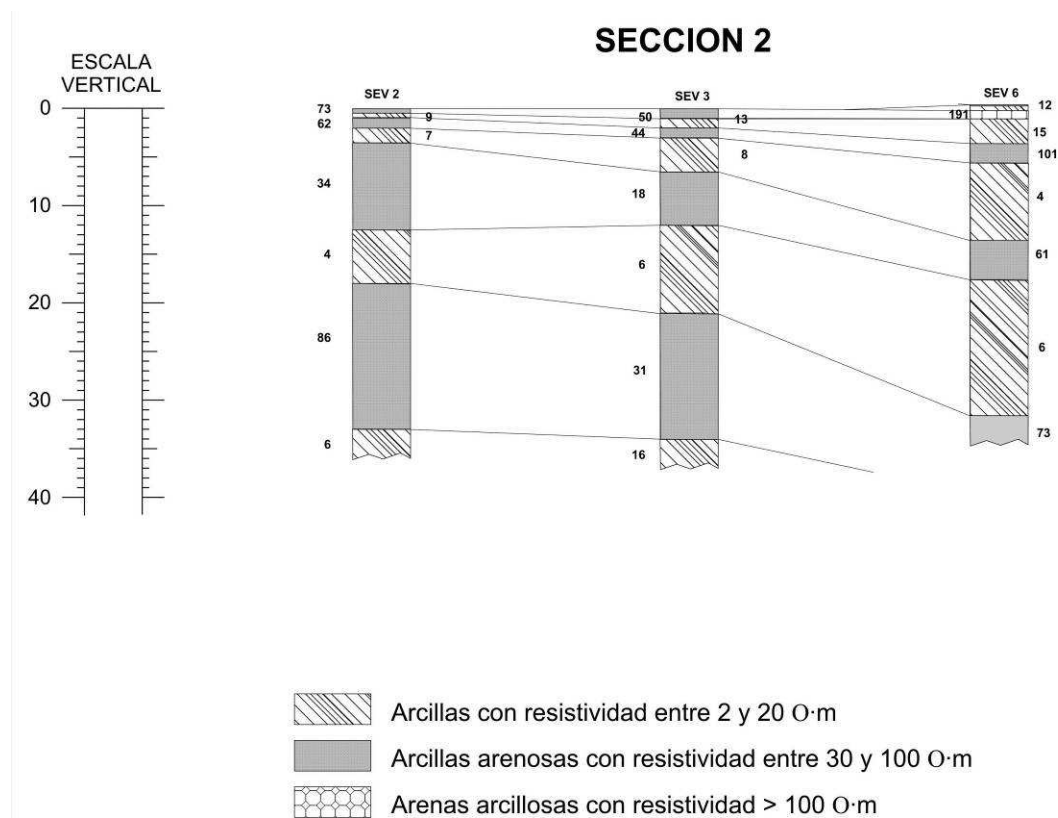


Figura 8: Sección 2. Formada por los SEV 2, 3 y 6

Tabla 6: Distribución de niveles Geoelectricos en Sección 2

SEV		NIVELES GEOELECTRICOS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
SEV-2	Res.(Ohm*m)	73	9	62	7	34	3.6	86	6
	Espesor (m)	0.7 7	1	2	3.6	7.2	18	33	
SEV-3	Res.(Ohm*m)	4.8	13.2	44	8	18	6	31	16
	Espesor (m)	0.8	1.7	3.35	6.7	12.3	21.2	33.8	
SEV-6	Res.(Ohm*m)	12	191	15	101	4	61	6	73
	Espesor (m)	0.7	1.1	4	6	14	18	32	

De forma general analizando todos los resultados encontramos cuatro grandes niveles arcillosos cuyo espesor aumenta hacia el Norte, intercalado con niveles

arcillo arenosos cuyo desarrollo es mayor hacia el Sur. Los valores arenosos solo alcanzan resistividades de hasta 200 Ohm*m hacia la zona Norte la explotación.

En muchos de los SEV se alcanzan profundidades de unos 35 m por debajo de la cual encontramos un nuevo término arcilloso que sería susceptible de estudios complementarios por medio de Sondeos mecánicos en la zona donde se encuentra el SEV-2.

Si integrásemos toda la información de las secciones en un programa comercial para el cálculo de las reservas podríamos calcular el volumen de material susceptible de explotación. En este caso se muestra el resultado para el tercer nivel de arcillas, por ser el de mayor espesor suficientes datos. La figura 9 muestra la distribución de la potencia de dicho estrato; y en la figura 10 se observa la topografía del muro de dicho nivel.

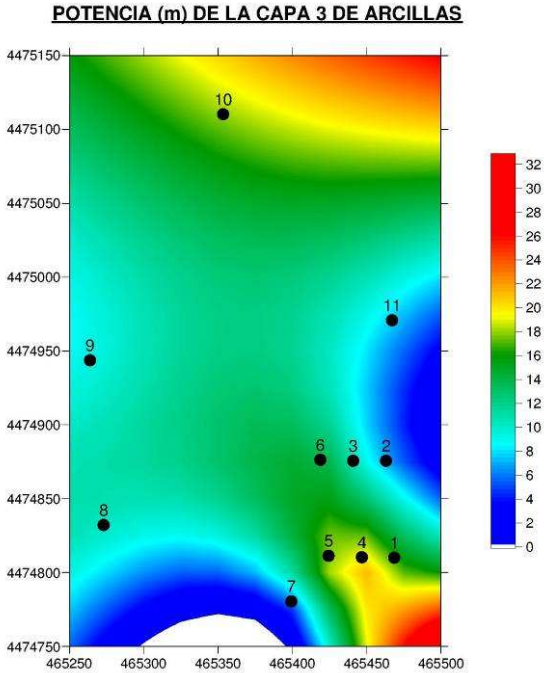


Figura 9: Distribución espacial de la potencia del 3^{er} nivel de arcillas.

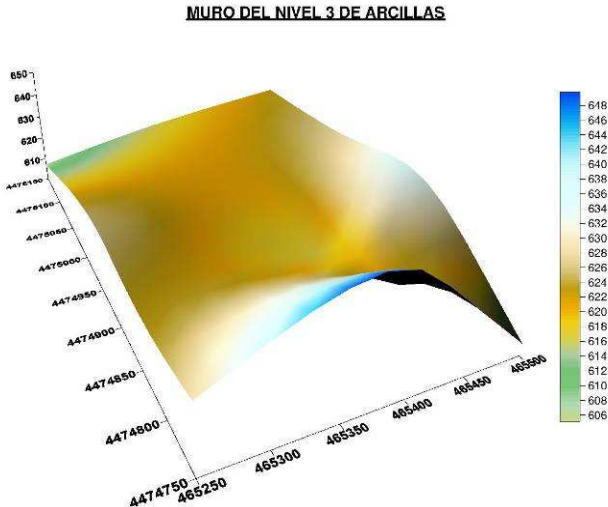


Figura 10: Modelización del muro del 3^{er} nivel de arcillas.

En las figuras se observa el aumento de potencia hacia el norte (colores rojos) así como su buzamiento hacia el noroeste. También se reconoce una anomalía en el extremo inferior derecho; donde el muro sufre un hundimiento brusco y aumenta el espesor.

Posiblemente se trate de una anomalía en la interpolación del programa que, por no disponer de un dato en dicho vértice, provoca resultados erráticos.

Además de la cubicación del recurso debemos valorar la calidad del material mediante los ensayos de laboratorio y comprobar in situ que los valores obtenidos en la campaña geoelectrica coinciden con los datos obtenidos en el levantamiento de las columnas y los valores geotécnicos obtenidos.

4.2 Caracterización geotécnica

Dadas las características del terreno y el uso previsto del mismo, cualquier actuación sobre el mismo debería tener en cuenta que U.G.1 debe eliminarse.

La U.G.2 no es apropiada para el apoyo de ninguna cimentación que transmita más de 2 kp/cm^2 al terreno, para cargas inferiores debería realizarse un estudio más detallado.

La unidad U.G.3 como posee características resistentes más elevadas, pero su pequeña potencia no la hacen apropiada.

La unidad U.G.4 es de características geotécnicas similares a la U.G.2. Si fuera necesario realizar una estructura que transmitiera elevada carga debería realizarse pilotes apoyados en la U.G.5 o realizar pilotes flotantes en la U.G.4.

La U.G.5 dada la geología de la zona, podrían ser formaciones de yesos muy competentes, pero dada su profundidad en la zona de estudio solo sería aplicable en el hipotético caso que se necesitara realizar cimentaciones mediante pilotes, y si así fuera sería necesario un estudio más detallado para asegurar sus características mecánicas y geológicas

4.3 Conclusiones generales

A la vista de los resultados geofísicos geotécnicos y los ensayos de laboratorio la evaluación del método de estudio parece adecuada. Sistemáticamente el estudio de parámetros dinámicos y estáticos parece la forma más adecuada para obtener la información que da respuesta a la normativa existente en la CAM (ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid) para la apertura o justificación de los recursos mineros existentes en una zona.

Existen algunas situaciones para las que recomendamos estudios complementarios, entre las que diferenciamos:

- Cuando se necesite una caracterización detallada del tipo de arcillas a prospectar recomendamos la realización de Análisis granulométrico por Laser, Calculo de porcentaje de sílice, análisis mineralógico y Análisis químico (DRX)
- Para materiales del tipo U.G.2, y ante la aparición de estructuras livianas ($< 2 \text{ kp/cm}^2$) debería estudiarse las posible deformaciones que podrían producirse mediante un ensayos edométrico
- Para completar el estudio a profundidades mayores de las afectadas por los penetrómetros y las calicatas, solo cuando los resultados de los SEV lo indiquen, deberían realizarse sondeos mecánicos en las zonas determinadas en los estudios geoeléctricos.

5. BIBLIOGRAFÍA

Fatoba, J.O.; Alo, J.O. y Fakeye, A.A. (2010). Geoelectric Imaging for Foundation Failure Investigation at Olabisi Onabanjo University (O.O.U.) Minicampus, Ago Iwoye, Southwestern Nigeria. *Journal of Applied Sciences Research*, 6(12). <http://aensonline.com/jasr/jasr/2010/2192-2198.pdf>. pp. 2192-2198.

IGME. (1972). Magna 50 (2ª Serie): Hoja 5–6/45 Madrid. Instituto Geológico y Minero de España; *Colección Mapa Geotécnico General 1:200.000*. 34 p. + 1 mapa.

Koefoed, O. (1979). Geosounding Principles, 1: Resistivity Soundig Measurements. *Elsevier Scientific Publishing Company*. Amsterdam, Holanda. xiv + 276 + 11 p.

Kosinski, W.K. y Kelly, W.E. (1981). Geoelectric soundings for predicting aquifer properties. *Ground Water*. v. 19, no. 2, pp. 163-171.

Lab. Prospección UPM. (2008). Informes privados. Madrid, España.

Lab. Prospección UPM. (2009). Informes privados. Madrid, España.

Okolie, E.C. (2011). Geoelectric investigation of the effect of heavy clay deposits on aquifer potential in Okpara waterside Delta State, Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research*, vol. 3, nº 2. <http://www.academicjournals.org/jgmr>. pp. 39-45.

Portero García, J.M. y Pérez González, A. (1984). Hoja 560 – Alcalá de Henares. Instituto Tecnológico y Geológico de España; *Colección MAGNA 50 (2ª serie)*. 52 p. + 1 mapa.

VV.AA. (2002) LEY 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid. *Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, nº 154*. Madrid, España. pp. 6-27.