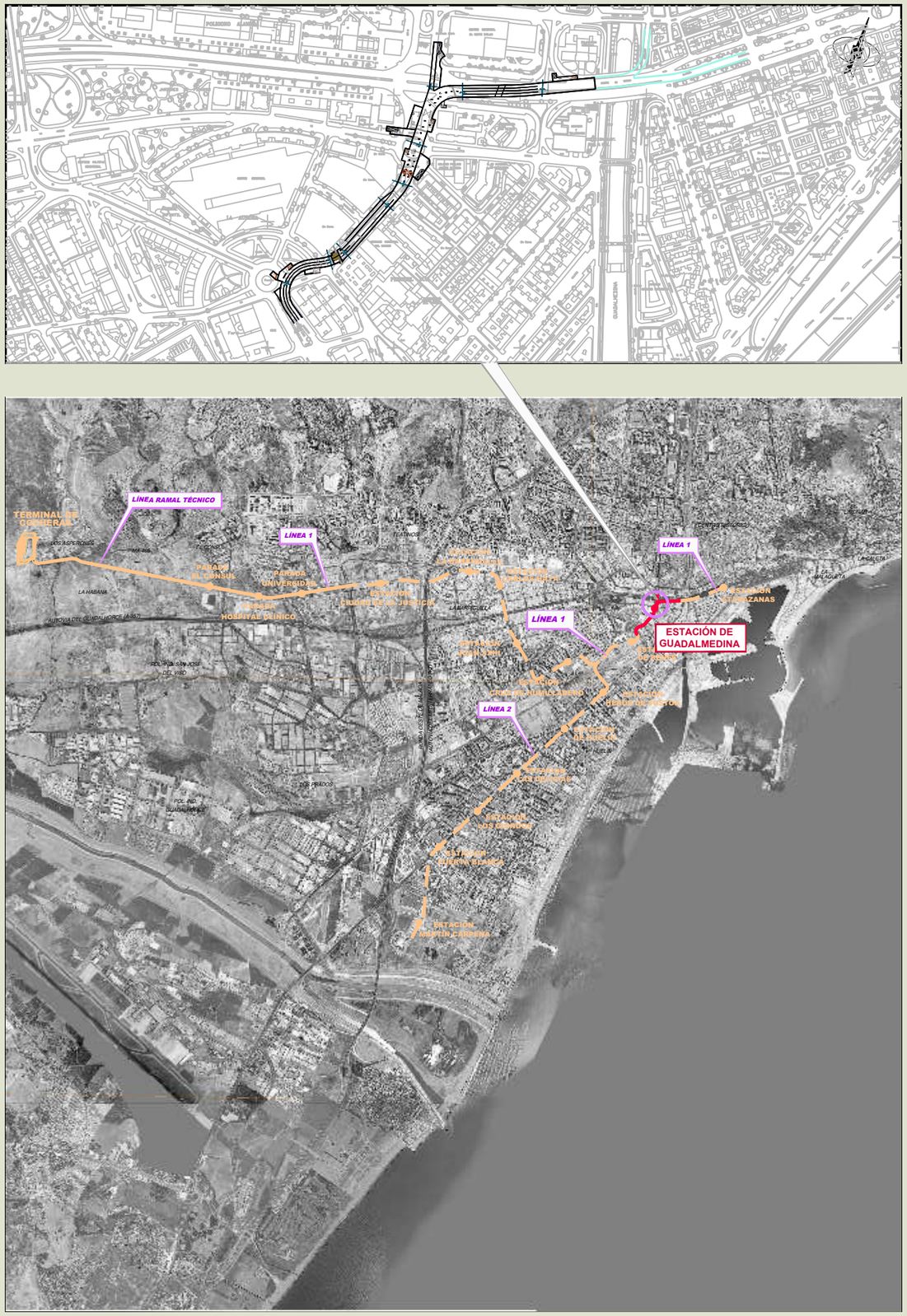


Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE FOMENTO Y VIVIENDA

TIPO DE ESTUDIO :

PROYECTO DE TERMINACIÓN

EXPEDIENTE:

TMM 6116 / PPRO

TITULO:

Proyecto de terminación de la infraestructura y urbanización de las Líneas 1 y 2 del Metro de Málaga. Tramo: Guadalmedina-Renfe.

PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN:

28.546.214,34 Euros

GERENTE DEL PROYECTO:

D. MIGUEL ANGEL GARCÍA CAÑIZARES

Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE FOMENTO Y VIVIENDA

EL AUTOR DEL PROYECTO:

Ofincar Granada 21 S. L.

Da. MARTA BEATRIZ ZARZO VARELA

FECHA DE REDACCIÓN:	**Enero 2016**
FECHA VERSIÓN:	**Enero 2016**

EJEMPLAR:	I		
CAJA:			
TOMO:	IV	**DE:**	XIV

TITULO:

Documento Nº 1. Memoria y Anejos.
Anejo Nº 8

ÍNDICE DE CONTENIDO

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA Y ANEJOS

MEMORIA

ANEJO Nº 1: ANTECEDENTES

ANEJO Nº 2: RESUMEN DEL PROYECTO

ANEJO Nº 3: INVENTARIO

ANEJO Nº 4: CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA

ANEJO Nº 5: GEOLOGÍA

ANEJO Nº 6: EFECTOS SÍSMICOS

ANEJO Nº 7: CLIMATOLOGÍA

ANEJO Nº 8: GEOTECNIA

ANEJO Nº 9: TRAZADO

ANEJO Nº 10: REPLANTEO

ANEJO Nº 11: MOVIMIENTO DE TIERRAS

ANEJO Nº 12: DRENAJE

ANEJO Nº 13: ESTUDIO DE GÁLIBOS

ANEJO Nº 14: TÚNEL DE LÍNEA

ANEJO Nº 15: PLAN DE AUSCULTACIÓN

ANEJO Nº 16: ESTRUCTURAS

ANEJO Nº 17: DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA ESTACIÓN DE GUADALMEDINA

ANEJO Nº 18: INTEGRACIÓN URBANA

ANEJO Nº 19: SITUACIONES PROVISIONALES

ANEJO Nº 20: PLANEAMIENTO URBANO

ANEJO Nº 21: ESTUDIO AMBIENTAL

ANEJO Nº 22: COORDINACIÓN CON OTROS ORGANISMOS Y SERVICIOS

ANEJO Nº 23: SERVICIOS AFECTADOS

ANEJO Nº 24: EXPROPIACIONES

ANEJO Nº 25: PLAN DE OBRA

ANEJO Nº 26: CLASIFICACIÓN DEL CONTRATISTA

ANEJO Nº 27: JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS

ANEJO Nº 28: PRESUPUESTO PARA CONOCIMIENTO DE LA ADMINISTRACIÓN

ANEJO Nº 29: REVISIÓN DE PRECIOS

ANEJO Nº 30: PLAN DE CONTROL DE CALIDAD

ANEJO Nº 31: SEGURIDAD Y SALUD

ANEJO Nº 32: AFECCIÓN AL ACCESO AL PARKING DE AV. DE ANDALUCÍA

Anejo nº 8.
Geotecnia

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN. 1

APÉNDICE I. Anejo nº 8 Geotecnia

APÉNDICE II. Informes realizados por el Asesor geotécnico de AOPJA, D. Carlos Oteo.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la importancia que tiene conocer de antemano las características del subsuelo de forma fehaciente en una infraestructura subterránea como la que nos ocupa, se realiza un estudio geotécnico que engloba los resultados obtenidos de las campañas de campo realizadas así como la interpretación de los mismos para obtener la caracterización geotécnica de los materiales que servirá de base para los cálculos de las estructuras.

Se adjunta como apéndice a este anejo el Estudio Geotécnico realizado en 2008 por AYESA, integrado en el Proyecto de Infraestructura y Urbanización de las Líneas 1 y 2 del Metro de Málaga, Tramo: Guadalmedina – Renfe. A su vez, este estudio recogía la información geotécnica disponible en el momento de la redacción de dicho proyecto, siendo:

- Estudio Informativo de la Red de Metro de Málaga. Julio de 2002.
- Anteproyecto de las líneas 1 y 2 de la Red de Metro de Málaga. Septiembre de 2003.
- Informes geotécnicos de distintas obras próximas a la traza en el tramo de estudio.
- Campaña complementaria de trabajos realizados para el presente proyecto en Enero de 2005 y Abril, Mayo y Junio de 2006.
- Campaña complementaria de trabajos realizados fuera del tramo de estudio en Enero y Abril de 2005, Mayo y Junio de 2006
- Así mismo, se adjunta un apéndice con los informes aportados por el Asesor geotécnico de AOPJA, D. Carlos Oteo.

APÉNDICE I. Anejo nº 8
Geotecnia

Anejo nº 8
Geotecnia

1. Introducción. 1

2. Trabajos de campo. 1

2.1. Información del Estudio Informativo..... 1

2.2. Información del Anteproyecto. 1

2.2.1. Sondeos mecánicos a rotación..... 2

2.2.2. Ensayos de permeabilidad Lefranc 2

2.2.3. Ensayos presiométricos..... 2

2.3. Información adicional de solares y/o edificaciones próximas a la traza del tramo de estudio..... 2

2.3.1. Estudio geotécnico para el Aparcamiento Subterráneo en la Avenida de Andalucía. 3

2.3.2. Estudios geotécnico Parcela R, Sector PAM P.2 (Araucaria 2000. Referencia ARA) 3

2.4. Campaña geotécnica complementaria..... 3

2.4.1. Sondeos mecánicos a rotación..... 3

2.5. Campaña geotécnica complementaria fuera del tramo de estudio 4

3. Trabajos de laboratorio 4

3.1. Ensayos de laboratorio Estudio Informativo..... 4

3.2. Ensayos de laboratorio Anteproyecto..... 4

3.3. Ensayos de laboratorio Informes Adicionales. 5

3.4. Ensayos de laboratorio campaña complementaria. 5

3.5. Ensayos de laboratorio de la campaña complementaria fuera del tramo de estudio 5

4. Caracterización geotécnica de los materiales 5

4.1. Breve reseña de los materiales existentes..... 7

4.2. Datos necesarios para los cálculos de pantallas 8

4.3. Caracterización geotécnica de los materiales. 9

4.3.1. Rellenos antrópicos (Qx). 9

4.3.2. Arenas limosas y limos arenosos (Dr-Am). 9

4.3.3. Arenas y gravas (Dr-G)..... 12

4.3.4. Arcillas limosas y limos arcillosos (Ar-Am) 14

4.4. Resumen de parámetros geotécnicos seleccionados..... 16

5. Perfil geotécnico..... 16

6. Agresividad. 16

7. Cargas unitarias de hundimiento por fuste y punta..... 17

7.1. Carga unitaria de hundimiento por fuste. 17

7.2. Resistencia unitaria por punta 18

Apéndice I. Planta de situación de prospecciones

Apéndice II. Perfil geotécnico del tramo

Apéndice III. Ensayos geotécnicos de campo del Estudio Informativo

Apéndice IV. Ensayos geotécnicos de campo del Anteproyecto

IV.1. Sondeos

IV.2. Ensayos de permeabilidad

IV.3. Presiómetros

Apéndice V. Informes geotécnicos próximos a la traza

V.1. Estudio geotécnico Aparcamiento en Avenidad Andalucía.

V.2. Informe geotécnico Parcela R, Sector PAM P.2 (Araucaria)

Apéndice VI. Ensayos geotécnicos de campo campaña complementaria

VI.1. Sondeos

VI.2. Fotos emplazamiento de sondeos

Apéndice VII. Ensayos geotécnicos fuera del tramo de estudio

VII.1. Sondeos

VII.2. Fotos emplazamiento de sondeos

Apéndice VIII. Ensayos de laboratorio anteproyecto

VIII.1. Ensayos en suelos

VIII.2. Ensayos en aguas freáticas

Apéndice IX. Ensayos de laboratorio campaña complementaria

IX.1. Ensayos en suelos

IX.2. Ensayos en aguas freáticas

Apéndice X. Ensayos de laboratorio de campaña fuera del tramo de estudio

Apéndice XI. Resumen de ensayos de laboratorio y caracterización de grupos litológicos

XI.1. Resumen general de ensayos

XI.2. Unidad Dr-Am

XI.3. Unidad Dr-G

XI.4. Unidad Ar-Am

Apéndice XII. Interpretación en diagramas p'-q' de las características resistentes de Ar-Am

Apéndice XIII. Resumen de ensayos presiométricos e interpretación parámetros deformacionales

Apéndice XIV. Estudio de agresividad del tramo

Apéndice XV. Determinación de cargas unitarias de hundimiento por punta y fuste

1. Introducción.

El presente anejo contiene la información necesaria para la caracterización y el conocimiento de los materiales presentes en el subsuelo del trazado de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga en el tramo comprendido entre Guadalmedina- RENFE, y con ello servir de base a los estudios de análisis y cálculos en los que intervengan las características geotécnicas de estos materiales.

En primer lugar se expone la información geotécnica disponible en el entorno del tramo estudiado del Metro de Málaga y que proviene de las siguientes fuentes:

- Estudio Informativo de la Red de Metro de Málaga. Julio de 2002.
- Anteproyecto de las líneas 1 y 2 de la Red de Metro de Málaga. Septiembre de 2003.
- Informes geotécnicos de distintas obras próximas a la traza en el tramo de estudio.
- Campaña complementaria de trabajos realizados para el presente proyecto en Enero de 2005 y Abril, Mayo y Junio de 2006.
- Campaña complementaria de trabajos realizados fuera del tramo de estudio en Enero y Abril de 2005, Mayo y Junio de 2006.

A continuación se ha interpretado esa información con objeto de disponer de la estratigrafía a lo largo de toda la traza y realizar un perfil geotécnico de detalle así como llevar a cabo una caracterización geotécnica de los materiales existentes en el subsuelo de Málaga que permita diseñar correctamente todas las obras objeto del presente proyecto.

A lo largo de este anejo se hará referencia a los ejes 1 y 2 del proyecto que en realidad se corresponden al eje de la vía Este de la línea 1 y el eje de la vía Oeste de la línea 2, conforme a la descripción general que se da en la memoria.

2. Trabajos de campo.

Dentro de los trabajos de campo realizados para este tramo de las líneas 1 y 2 se ha contado con información existente del Anteproyecto, del Estudio Informativo así como con varios informes geotécnicos de obras próximas a la traza, con esa información se realizó una campaña complementaria encaminada a solventar las lagunas de interpretación existentes en el perfil geotécnico inicial, realizada a lo largo de enero de 2005. Posteriormente se ha optado por ampliar dicha campaña complementaria, con nuevas prospecciones que se incluyen tanto dentro del tramo de estudio como fuera, estos trabajos se realizaron a lo largo de los meses de Abril, Mayo y Junio de 2006.

A continuación se describe la información con la que se ha contado para realizar los trabajos de geotecnia de este tramo.

La situación de cada una de las prospecciones se ha representado en el apéndice I del presente anejo en el plano de Planta de situación de prospecciones.

2.1. Información del Estudio Informativo.

Se cuenta con los cortes geológico-geotécnicos de dos (2) sondeos del Estudio Informativo que se encuentran relativamente próximos a la traza del tramo, estos sondeos fueron realizados por CEMOSA. La situación de estos sondeos, referida al eje 1, será la siguiente:

Sondeos estudio informativo	P.k. eje 1	Separación eje 1 (m)	Prof (m)	Z (m)	Prof n.f. (m)	Z n.f. (m) (mayo 2002)
S-12	0+092	27	12,50	5,82	3,4	+2,42
S-14	0+252	16,50	20,10	5,20	3,6	+1,60

Las coordenadas UTM de estos sondeos, se indican en la siguiente tabla.

Sondeos estudio informativo	P.k. eje 1	Coordenadas UTM		
		X	Y	Z
S-12	0+092	372621,03	4064589,50	5,82
S-14	0+252	372504,03	4064575,86	5,20

En el apéndice III se recogen los perfiles geotécnicos del Estudio Informativo a partir de los cuáles se ha extraído la información pertinente, para definir el perfil geotécnico del tramo.

2.2. Información del Anteproyecto.

De la campaña de reconocimientos geotécnicos realizada para el Anteproyecto se dispone de la siguiente información para el tramo que se proyecta:

- Cuatro (4) sondeos a rotación con recuperación continua de testigo.
- Tres (3) ensayos de permeabilidad tipo Lefranc.
- Dos (2) ensayos presiométricos.

Los sondeos mecánicos del Anteproyecto se han denominado con las letras SA-nº sondeo. Siendo su nomenclatura anterior SR-nº de sondeo, donde " nº de sondeo" es un valor común en ambas nomenclaturas.

En los siguientes apartados se recogen los ensayos y localización de las prospecciones anteriormente comentadas:

2.2.1. Sondeos mecánicos a rotación.

De los treinta y ocho (38) sondeos que se realizaron en fase de Anteproyecto, cuatro (4) de ellos se realizaron en las inmediaciones de los tramos de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga en el tramo que nos ocupa y se ha contado con ellos para la elaboración del perfil geotécnico y la caracterización de las unidades.

En la siguiente tabla se recogen las principales características de estos sondeos:

Sondeos anteproyecto	P.K. Eje 1	Sep (m) eje 1	Prof (m)	Z aprox (m)	Prof N.F. (m)	Z N.F. (m)	Fecha lectura N.F.
SA-10	0+207	32	31,60	5,9	4,6	1,3	Enero 2003
SA-11	0+312	15	30,00	5,4	4,0	1,4	Enero 2003
SA-12	0+544	2	28,20	5,5	4,3	1,2	Enero 2003
SA-13	0+648	76	29,20	5,5	4,7	0,8	Enero 2003

En el apéndice IV.1 se recogen los partes de estos sondeos así como las fotografías disponibles en blanco y negro de las cajas de los testigos de los sondeos y del emplazamiento de cada sondeo.

Estos sondeos fueron georreferenciados por CEMOSA y a continuación se relacionan las coordenadas que se han empleado para localizarlos en la planta de situación de prospecciones:

Sondeos anteproyecto	P.K Eje 1	Coordenadas UTM			MI	SPT	TP	LF	PR	M.A.
		X	Y	Z						
SA-10	0+207	372512,02	4064631,54	5,9	10	10	-	1	-	1
SA-11	0+312	372438,65	4064539,04	5,4	9	9	-	-	2	1
SA-12	0+544	372320,64	4064346,07	5,5	8	8	-	1	-	1
SA-13	0+648	372156,37	4064303,01	5,5	9	9	-	1	-	1

En la planta de situación de prospecciones se representan todos los sondeos del anteproyecto que pertenecen al tramo de estudio, a excepción del SA-13, el cual se encuentra fuera del área topográfica de los planos del apéndice I. A pesar de ello su información geotécnica si ha sido contemplada para realizar el perfil geotécnico propuesto.

En dichos sondeos se llevó a cabo ensayos tipo SPT así como toma de muestras inalteradas, en el perfil geotécnico realizado se ha contemplado el golpeo de resultante de ambas operaciones con el fin de tener una idea aproximada de la consistencia del terreno.

2.2.2. Ensayos de permeabilidad Lefranc

De los treinta y nueve (39) ensayos Lefranc realizados para el Anteproyecto de las Líneas 1 y 2 del Metro de Málaga, tres (3) de ellos se efectuaron en los sondeos del tramo de estudio.

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos así como la litología en la que se realizaron los ensayos de permeabilidad:

Sondeo ant	Litología	Grupo	Prof (m)		K(m/s)	Observaciones
			De	A		
SA-10	Limos con algún nivel arenoso	Dr-Am	10,8	11,8	$8{,}49 \cdot 10^{-6}$	
SA-12	Limos arenosos con grava	Dr-Am	15,7	16,5	$1{,}20 \cdot 10^{-5}$	
SA-13	Arenas y gravas gruesas	Dr-G	13,4	14,3	$7{,}50 \cdot 10^{-6}$	

En el apéndice IV.2 se recogen los partes de estos ensayos.

2.2.3. Ensayos presiométricos

De los diecinueve (19) ensayos presiométricos realizados en el Anteproyecto dos (2) de ellos se efectuaron en el entorno del tramo de proyecto.

Sondeos antproy	Litología	Grupo	Prof (m)	Poisson (asignado)	P.fluencia (kp/cm²)	P. límite (Kp/cm²)	Módulo presiométrico (Kp/cm²)
SA-11	Arenas limosas	Dr-Am	17,6	0,32	3	5	55
SA-11	Margas	Ar-Am	21,6	0,30	15	26	750

En el apéndice IV.3 se recogen los partes de estos ensayos.

2.3. Información adicional de solares y/o edificaciones próximas a la traza del tramo de estudio

Además de las prospecciones realizadas para el Anteproyecto, se ha dispuesto de información adicional procedente de informes y estudios geotécnicos, en su mayoría destinados al estudio de la cimentación de edificaciones diversas. De estos sondeos apenas se cuenta con ensayos de laboratorio que completen la caracterización geotécnica realizada con los datos del Anteproyecto, aunque los sondeos ejecutados han servido para definir con mayor precisión el perfil geotécnico del tramo.

A continuación se ofrece un resumen de esta información adicional al tramo de estudio:

- Estudio geotécnico para el Aparcamiento Subterráneo en la Avenida de Andalucía.
- Estudio geotécnico Parcela R, Sector PAM P.2 (Araucaria).

En el apéndice V se recoge toda la información relativa a estos informes geotécnicos.

2.3.1. Estudio geotécnico para el Aparcamiento Subterráneo en la Avenida de Andalucía.

Este informe se realizó para el proyecto constructivo del aparcamiento subterráneo situado en el solar de El Corte Ingles que da a la Avenida de Andalucía. El informe geotécnico contiene tres sondeos. Estos sondeos se realizaron en Abril de 2001 y se han empleado para la interpretación del perfil geotécnico.

En la tabla siguiente se recoge la situación aproximada de los sondeos y su profundidad, así como el número de ensayos SPT realizados en cada uno de ellos de los que se dispone información. También se ha reflejado en ella la profundidad mínima a la que fue detectado el Nivel Freático en cada uno de los sondeos.

Ref. Ap. Av. Andalucía	P.K. (Eje nº)	Sep (m) (Eje nº)	Prof (m)	Coordenadas UTM (X; Y; Z en m)	SPT	Prof. N.F	Z N.F (m)
S-1/Ap. Av. Andalucía	0+233 (Eje 2)	46 (Eje 2)	21,00	372481; 4064658; 6,0	7	5,9	0,1
S-2/Ap. Av. Andalucía	0+1725 (Eje 1)	47 (Eje 1)	21,00	372548; 4064648; 6,0	9	4,7	1,3
S-3/ Ap. Av. Andalucía	0+099 (Eje 1)	42 (Eje 1)	21,25	372618; 4064644; 6,1	9	6,0	0,1

2.3.2. Estudios geotécnico Parcela R, Sector PAM P.2 (Araucaria 2000. Referencia ARA)

Este estudio se corresponde con el proyecto de construcción del solar en edificación situado a la derecha del tramo común a ambas líneas a la entrada de la Plaza de la Solidaridad, a la altura en la que está previsto que el túnel intercepte la muralla nazarí, que ha sido detectada en las obras de construcción de dicha parcela. El estudio, fue realizado a petición de la empresa METROVACESA DE VIVIENDAS, S.L. por INDYCE en abril de 2000 y consistió en la ejecución de 4 sondeos a rotación con extracción de testigos, ensayos SPT y recuperación de muestras y otros 3 ensayos de penetración dinámica tipo Borros. Además en uno de los sondeos se tomó una muestra de las aguas freáticas y se analizó para estudiar la agresividad de estas a los hormigones, conforme con la EHE. Se dispone del resumen de los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras tomadas, así como el parte de los tres sondeos.

Los sondeos S-1 y S-2, que son los más próximos a la traza proyectada, han sido utilizados para cumplimentar el perfil geotécnico del tramo en estudio; mientras que los datos de los ensayos de laboratorio del sondeo S-3 se han utilizado para determinar la agresividad del suelo a los hormigones, conforme a la EHE.

En la siguiente tabla se incluyen, para los sondeos considerados en este estudio, las coordenadas UTM estimadas, situación de los sondeos respecto al eje mas próximo de la traza (Vía oeste de la línea 2), distancia al centro del eje, número de ensayos y profundidad del nivel freático.

Ref. Ara	P.K. (Eje 2)	Sep (m)	Prof (m)	Coordenadas UTM estimadas (X; Y; Z en m)	SPT	MI o TP	Prof. N.F	Z N.F (m)
S-1/ARA	0+559	18	18,00	372299; 4064361; 5,3	4	5	4,0	1,3
S-2/ARA	0+520	39	21,20	372318; 4064408; 5,6	3	8	4,2	1,4
S-3/ARA	Sin Datos	Sin Datos	21,00	Sin Datos	3	9	4,1	1,4

2.4. Campaña geotécnica complementaria.

Para completar el perfil geotécnico de las Líneas 1 y 2 del Metro de Málaga, se ha realizado una campaña geotécnica complementaria consistente fundamentalmente en la ejecución de sondeos. en todos ellos se tomaron muestras inalteradas y se efectuaron ensayos SPT, además, en algunos de ellos, se realizaron ensayos presiométricos.

La campaña geotécnica complementaria ha tenido como objeto la investigación más detallada de aquellas zonas en las que el Anteproyecto dejaba algún tipo de duda sobre el material existente en el subsuelo. Cabe indicar que al contrario de lo que sucedía en otros tramos, en este no se ha detectado ninguna peculiaridad en el subsuelo con respecto a la campaña geotécnica del anteproyecto.

En los siguientes apartados se recogen la localización y profundidades de los sondeos y ensayos efectuados en esta campaña complementaria para el tramo analizado en este estudio.

2.4.1. Sondeos mecánicos a rotación.

Se han realizado cuatro (4) sondeos a lo largo de la traza del tramo con el objeto de completar el perfil geotécnico, en aquellas zonas ya estudiadas en anteproyecto y definirlo en el nuevo trazado de las líneas 1 y 2, a partir de la estación de Guadalmedina y en la de Renfe.

Los sondeos mecánicos de la campaña complementaria se han denominado con las letras SC-nº sondeo

En la siguiente tabla se recogen las principales características de estos sondeos:

Sond. Comp.	P.K. (Eje nº)	Sep (m)	Prof (m)	UTM estimadas (X; Y en m)	Z (m)	Prof NF (m)	Z NF (m)	Fecha
SC-7	0+078 (Eje 1)	39 (Eje 1)	26,30	372505; 4064545	5,9	3,7	2,2	Enero 2005
SC-8	0+240 (Eje 1)	55 (Eje 1)	24,10	372505; 4064545	5,9	3,7	2,2	Enero 2005
SC-58	0+432 (Eje 2)	8 (Eje 2)	28,45	372369; 4064420	5,1	3,7	1,4	Mayo 2006
SC-59	0+698 (Eje 2)	1 (Eje 2)	25,45	372240; 4064247	5,5	3,75	1,75	Mayo 2006

En el apéndice VI.1 se recogen los partes de estos sondeos así como las fotografías correspondientes a las cajas de los sondeos, mientras que en el VI.2, se adjuntan las fotografías de emplazamiento de los sondeos.

2.5. Campaña geotécnica complementaria fuera del tramo de estudio

Parte de las prospecciones realizadas se han realizado fuera del tramo de estudio, pero la información de estas será aprovechada para definir con mayor detalle el perfil geotécnico. Así como la caracterización de los parámetros geotécnicos.

En los siguientes apartados se recogen la localización y profundidades de los sondeos y ensayos efectuados en esta campaña complementaria fuera del tramo analizado en este estudio.

Los sondeos mecánicos de la campaña complementaria se han denominado con las letras SC-nº sondeo.

En la siguiente tabla se recogen las principales características de estos sondeos:

Sond. Comp.	Prof (m)	UTM estimadas (X; Y en m)	Z (m)	Prof NF (m)	Z NF (m)	Fecha
SC-56	26,45	372484; 4064799	5,5	3,5	2,0	Mayo 2006
SC-60	23,95	372141; 4064145	5,2	3,0	2,2	Mayo 2006
SC-61	26,45	371974; 4064097	5,7	4,25	1,45	Mayo 2006
SC-62	26,95	371920; 4064028	4,6	2,4	2,2	Abril 2006
SC-63	26,95	371830; 4063928	5,0	4,0	1,0	Abril 2006
SC-64	23,50	371692; 4063933	7,2	6,6	0,6	Abril 2006
SC-65	21,95	371604; 4064005	6,8	4,9	1,9	Mayo 2006
SC-66	21,45	371435; 4063934	8,0	6,1	1,9	Junio 2006
SC-67	22,45	371282; 4063840	9,1	7,15	1,95	Abril 2006
SC-68	21,45	371189; 4063747	9,3	7,05	2,25	Mayo 2006
SC-69	20,95	371078; 4063772	10,2	7,9	2,3	Mayo 2006
SC-70	18,95	371039; 4063958	12,6	10,0	2,6	Mayo 2006
SC-71	27,45	371878; 4063712	4,0	3,0	1,0	Mayo 2006

En el apéndice VII.1 se recogen los partes de estos sondeos así como las fotografías correspondientes a las cajas de los sondeos, mientras que en el VII.2, se adjuntan las fotografías de emplazamiento de los sondeos.

3. Trabajos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio disponibles y utilizados en el presente anejo se describen a continuación.

3.1. Ensayos de laboratorio Estudio Informativo

No se cuenta con ensayos de laboratorio de los sondeos del Estudio Informativo.

3.2. Ensayos de laboratorio Anteproyecto

Las diferentes muestras obtenidas en la campaña del Anteproyecto fueron enviadas al laboratorio donde se realizaron los ensayos necesarios para determinar las propiedades geotécnicas del terreno.

La tipología de ensayos realizados fue la siguiente:

- Análisis granulométricos por tamizado, según Norma UNE 103101 (en suelos)
- Determinaciones de los límites de Atterberg, según Normas UNE103103 y 103104.
- Análisis granulométricos por sedimentación, según Norma UNE103102 (en suelos)
- Determinaciones de la no plasticidad, según UNE103104.
- Ensayos de corte directo, consolidado y sin drenar, según Norma UNE 103401.
- Ensayos de compresión simple, sobre muestras de suelo, según UNE 103400.
- Determinación del contenido en sulfatos solubles, según UNE103201 y 103202.
- Análisis cuantitativo de la materia orgánica, según Norma UNE103204.
- Ensayos Lambe, según Norma UNE 103600.
- Determinaciones de densidad según UNE103301.
- Determinaciones de humedad según UNE103300.
- Ensayos de agresividad del agua frente al hormigón.

Estos ensayos se incluyen en los subapéndices del apéndice VIII, en función del tipo de elemento ensayado.

3.3. Ensayos de laboratorio Informes Adicionales.

Dentro de los informes geotécnicos próximos a la traza se cuenta en algunas ocasiones con ensayos de laboratorio que se han tenido en cuenta a la hora de evaluar la agresividad del suelo y las aguas freáticas al hormigón, conforme a lo establecido en la EHE. Si han sido utilizados, se indica el sondeo al que pertenecen y su ubicación dentro del tramo en el apéndice XII, donde se estudia la agresividad del tramo. Los resultados de estos ensayos se incluyen en forma de resumen dentro del apéndice V del correspondiente estudio.

3.4. Ensayos de laboratorio campaña complementaria.

Durante la realización de la campaña complementaria se efectuó una toma de muestras que posteriormente se ensayó en laboratorio con objeto de caracterizar los materiales:

La tipología de ensayos realizados fue la siguiente:

- Análisis granulométricos por tamizado, según Norma UNE 103101 (en suelos)
- Determinaciones de los límites de Atterberg, según Normas UNE103103 y 103104.
- Determinaciones de la no plasticidad, según UNE103104.
- Ensayos de compresión simple, sobre muestras de suelo, según UNE 103400.
- Determinación del contenido en sulfatos solubles, según UNE103201 y 103202.
- Análisis cuantitativo de la materia orgánica, según Norma UNE103204.
- Determinaciones de densidad según UNE103301.
- Determinaciones de humedad según UNE103300.
- Ensayos de agresividad del agua frente al hormigón según EHE.
- Determinación de la acidez Baumman-Gully sobre muestras de suelo según EHE.

Estos ensayos se incluyen en los dos subapéndices del apéndice IX.

3.5. Ensayos de laboratorio de la campaña complementaria fuera del tramo de estudio

Los ensayos derivados de la campaña geotécnica complementaria se han listado a continuación y pueden consultarse sus fichas de laboratorio en el apéndice X.

- Análisis granulométricos por tamizado, según Norma UNE 103101 (en suelos)
- Determinaciones de los límites de Atterberg, según Normas UNE103103 y 103104.
- Determinaciones de la no plasticidad, según UNE103104.
- Ensayos de compresión simple, sobre muestras de suelo, según UNE 103400.
- Determinación del contenido en sulfatos solubles, según UNE103201 y 103202.
- Análisis cuantitativo de la materia orgánica, según Norma UNE103204.
- Determinaciones de densidad según UNE103301.
- Determinaciones de humedad según UNE103300.
- Ensayos de agresividad del agua frente al hormigón según EHE.
- Determinación de la acidez Baumman-Gully sobre muestras de suelo según EHE.

4. Caracterización geotécnica de los materiales

La caracterización geotécnica de los materiales tiene como punto de partida los trabajos de laboratorio derivados de los trabajos de campo. Cuanto mayor sea el número de ensayos usados para caracterizar una unidad geotécnica, mayor es el nivel de representatividad de la unidad.

Por ello la caracterización geotécnica de los diferentes materiales que se ha realizado con los resultados de ensayos in situ y ensayos de laboratorio que no se sitúan en el tramo de estudio si no a lo largo del tramo Guadalmedina – Héroe de Sostoa y Juan XXIII y corresponden a las mismas tipologías de materiales que los reconocidos en el tramo de estudio.

Estos datos, pese a no estar estrictamente en la traza del tramo de estudio, se consideran necesarios y contribuyen a la caracterización geotécnica de los materiales. La dispersión característica en los resultados de los ensayos geotécnicos aconsejan el uso de la mayor cantidad de datos disponibles.

Por otra parte, se debe resaltar que para la determinación de los parámetros geotécnicos de los diferentes materiales se siguieron las recomendaciones de D. José María Rodríguez Ortiz, asesor geotécnico del metro de Málaga. Carece de sentido modificar estos parámetros en el tramo Guadalmedina-Renfe ya que son válidos para todo el tramo Guadalmedina – Héroe de Sosota y Juan XXIII.

Los ensayos de laboratorio ejecutados para caracterizar los materiales de la Edad Miocena-Pliocena se indican a continuación.

Prospección	Profundidad (m)	Muestra	Ensayos de laboratorio										
			Gran	L Att	Noplas.	C.Simple	Sul.	M.O.	Humedad	Den. S.	Den.	Lam.	C.Dir
SC-56	18,50-19,10	MI	•	•	•		•		•	•	•		
SC-56	23,50-24,10	MI	•	•	•	•			•	•	•		
S-10	21,00-21,60	MI	•	•	•	•	•		•	•	•		•
S-10	27,00-27,60	MI	•	•	•	•			•	•	•		
S-10	30,00-30,60	MI	•	•	•	•	•		•	•	•		•
SC-8	20,50-20,80	TP	•	•	•	•			•	•	•		
SC-8	23,50-24,10	MI	•	•	•	•			•	•	•		
S-11	24,90-25,30	MI	•	•	•		•	•	•	•	•		•
S-11	28,00-28,37	MI	•	•	•		•				□		
SC-58	22,50-23,10	MI	•	•	•				•	•	•		
SC-58	26,10-26,40	TP	•	•	•	•			•	•	•		
S-12	21,00-21,60	MI	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•
S-12	24,00-24,60	MI	•	•	•	•	•		•	•	•		•
S-12	27,00-27,60	MI	•	•	•	•			•	•	•	•	
S-13	22,00-22,60	MI	•	•	•	•		•	•	•	•	•	
S-13	25,00-25,60	MI	•	•	•		•	•	•	•	•		
S-13	28,00-28,60	MI	•	•	•	•	•		•	•	•		•
SC-59	19,50-19,80	TP	•	•	•				•	•	•		
SC-59	22,50-23,10	MI	•	•	•				•	•	•		
SC-59	25,00-25,45	MA	•	•	•						□		
SC-60	18,50-19,10	MI	•	•	•				•	•	•		
SC-60	23,50-23,95	MI	•	•	•				•	•	•		
SC-61	18,50-19,10	MI	•	•	•				•		□		
SC-61	23,50-23,95	MI	•	•	•				•	•	•		
SC-62	17,10-17,60	MI	•	•	•				•	•	•		
SC-62	20,00-20,60	MI	•	•	•				•	•	•		
SC-62	23,50-24,10	MI	•	•	•	•			•	•	•		
SC-63	18,50-19,10	MI	•	•	•				•	•	•		
SC-63	23,50-24,00	MI	•	•	•				•	•	•		
SC-65	16,00-16,60	MI	•	•	•				•		□		
SC-65	18,60-18,90	TP	•	•	•	•			•	•	•		
SC-71	21,50-22,10	MI	•	•	•	•			•	•	•		
SC-66	19,00-19,60	MI	•	•	•				•	•	•		
SC-67	16,00-16,60	MI	•	•	•		•		•	•	•		
SC-67	18,70-19,00	TP	•	•	•	•			•	•	•		
SC-67	21,30-21,60	TP	•	•	•				•	•	•		
SC-68	19,00-19,55	MI	•	•	•				•	•	•		
SC-69	15,00-15,45	MI	•	•	•				•	•	•		
SC-69	20,50-20,95	MA	•	•	•						□		
SC-70	13,50-14,10	MI	•	•	•	•			•	•	•		

Prospección	Profundidad (m)	Muestra	Ensayos de laboratorio										
			Gran	L Att	Noplas.	C.Simple	Sul.	M.O.	Humedad	Den. S.	Den.	Lam.	C.Dir
SC-70	15,50-15,95	MA	•	•	•					□	□		
SC-70	18,50-18,95	MA	•	•	•				□	□	□		

Gran.	Análisis granulométrico	Den.	Determinación de la densidad aparente
L.Att.	Determinación de los límites de Atterberg	Den. S.	Determinación de la densidad seca
Noplas	Determinación de la no plasticidad	C.Dir.	Ensayo de corte directo
C.Simple	Ensayo de compresión simple	Lam.	Ensayo Lambe
Sul.	Determi8nación del contenido de sulfatos		
M.O.	Contenido en materia orgánica		
Humedad	Determinación de la humedad		

Todos los ensayos de laboratorio realizados en los suelos de la Edad Miocena-Pliocena, se corresponden con la unidad geotécnica Ar-Am.

Los diferentes ensayos de laboratorio llevados a cabo en la formación Cuaternaria, se muestran en la tabla siguiente. Dentro de la formación Cuaternario se contienen las unidades geotécnicas Qx, Dr-Am y Dr-G, que se describen más adelante.

Prospección	Unidad geotécnica	Profundidad (m)	Muestra	Ensayos de laboratorio							
				Gran	L. Att	C.Simple	Sul.	M.O.	Humedad	Den. S.	Den.
SC-56	Qx	2,50-2,95	MA	•	•		•		□	□	□
S-10	Qx	3,00-3,60	MI	•	•	□	•	•	□	□	□
S-11	Qx	3,00-3,60	MI	•	•	□	□		•	•	•
S-13	Qx	3,00-3,60	MI	•	•	□			•	•	•
SC-56	Dr-Am	12,00-12,60	MI	•	•	□			•	•	•
S-11	Dr-Am	9,00-9,60	MI	•		•	•	•	•	•	•
SC-58	Dr-Am	19,50-20,10	MI	•	•	□			•		
S-12	Dr-Am	3,00-3,60	MI	•					•	•	•
SC-59	Dr-Am	17,00-17,45	MA	•	•		•	•			
SC-60	Dr-Am	15,00-15,60	MI	•			•		•		
SC-62	Dr-Am	13,50-14,10	MI	•		□	•		•		
SC-63	Dr-Am	15,00-15,60	MI	•		□			•		
SC-64	Dr-Am	15,10-15,60	MI	•		□			•		
SC-64	Dr-Am	18,50-19,10	MI	•	•	□			•	•	•
SC-65	Dr-Am	4,10-4,60	MI	•	•	□			•	•	•
SC-65	Dr-Am	6,75-7,20	MA	•							
SC-65	Dr-Am	12,50-13,10	MI	•		□			•		
SC-71	Dr-Am	10,50-11,10	MI	•					•		
SC-71	Dr-Am	16,10-16,60	MI	•					•		
SC-66	Dr-Am	2,50-2,95	MA	•	•						
SC-66	Dr-Am	5,10-5,45	MA	•	•						

Prospección	Unidad geotécnica	Profundidad (m)	Muestra	Ensayos de laboratorio							
				Gran	L. Att	C.Simple	Sul.	M.O.	Humedad	Den. S.	Den.
SC-66	Dr-Am	12,10-12,49	MA	•							
SC-67	Dr-Am	5,00-5,45	MA	•	•						
SC-67	Dr-Am	12,50-13,10	MI	•			•		•		
SC-68	Dr-Am	2,50-2,95	MA	•	•						
SC-68	Dr-Am	5,00-5,45	MA	•	•		•				
SC-69	Dr-Am	2,50-2,95	MA	•	•						
SC-69	Dr-Am	5,00-5,45	MA	•							
SC-70	Dr-Am	2,50-2,95	MA	•	•						
SC-70	Dr-Am	7,50-7,95	MA	•	•						
SC-56	Dr-G	5,00-5,45	MA	•							
SC-56	Dr-G	9,00-9,60	MI	•	•				•		
SC-56	Dr-G	15,50-16,10	MI	•	•		•		•		
S-10	Dr-G	6,00-6,60	MI	•			•	•			
S-10	Dr-G	9,00-9,60	MI	•			•				
S-10	Dr-G	12,00-12,60	MI	•			•				
S-10	Dr-G	14,80-15,40	MI	•	•						
SC-8	Dr-G	12,50-13,00	MI	•	•				•		
SC-8	Dr-G	13,50-14,10	SPT	•	•						
SC-8	Dr-G	16,50-17,10	MI	•	•				•		
SC-8	Dr-G	18,00-18,60	SPT	•	•						
S-11	Dr-G	6,00-6,60	MI	•			•		•	•	•
S-11	Dr-G	12,00-12,40	MI	•	•	•			•	•	•
S-11	Dr-G	15,00-15,60	MI	•			•				
S-11	Dr-G	17,80-18,40	MI	•		•			•	•	•
SC-58	Dr-G	5,00-5,45	MA	•							
SC-58	Dr-G	7,50-7,95	MA	•							
SC-58	Dr-G	9,50-10,10	MI	•					•		
SC-58	Dr-G	16,50-17,10	MI	•	•		•		•		
S-12	Dr-G	6,00-6,60	MI	•			•	•			
S-12	Dr-G	9,00-9,60	MI	•				•			
S-13	Dr-G	6,00-6,60	MI	•			•		•	•	•
S-13	Dr-G	15,00-15,60	MI	•				•			
SC-59	Dr-G	4,50-5,10	MI	•					•		
SC-59	Dr-G	7,50-8,10	MI	•					•		
SC-59	Dr-G	11,00-11,45	MA	•							
SC-59	Dr-G	12,50-13,10	MI	•			•		•		
SC-59	Dr-G	15,50-16,10	MI	•				•	•	•	•
SC-60	Dr-G	9,10-9,60	MI	•					•		
SC-60	Dr-G	12,00-12,45	MA	•							
SC-60	Dr-G	13,50-13,95	MA	•							
SC-61	Dr-G	5,00-5,45	MA	•							
SC-61	Dr-G	9,10-9,60	MI	•					•		
SC-61	Dr-G	12,00-12,60	MA	•							
SC-62	Dr-G	5,00-5,45	MA	•							
SC-62	Dr-G	7,50-7,95	MA	•							

Prospección	Unidad geotécnica	Profundidad (m)	Muestra	Ensayos de laboratorio							
				Gran	L. Att	C.Simple	Sul.	M.O.	Humedad	Den. S.	Den.
SC-62	Dr-G	9,00-9,60	MI	•					•		
SC-63	Dr-G	5,00-5,45	MA	•							
SC-63	Dr-G	9,00-9,60	MI	•					•		
SC-63	Dr-G	13,50-14,10	MI	•					•		
SC-64	Dr-G	9,00-9,60	MI	•					•		
SC-64	Dr-G	12,10-12,45	MA	•							
SC-71	Dr-G	4,50-5,10	MI	•					•		
SC-71	Dr-G	7,50-8,10	MI	•					•		
SC-71	Dr-G	13,45-13,50	MA	•							
SC-66	Dr-G	9,10-9,45	MA	•							
SC-67	Dr-G	7,75-8,20	MA	•							
SC-67	Dr-G	9,00-9,60	MI	•					•		
SC-68	Dr-G	9,00-9,60	MI	•					•		
SC-68	Dr-G	12,00-12,60	MI	•					•		
SC-68	Dr-G	15,00-15,60	MI	•					•		
SC-69	Dr-G	9,00-9,60	MI	•					•		
SC-69	Dr-G	12,00-12,45	MA	•							
SC-70	Dr-G	9,10-9,50	MI	•					•		

Gran.	Análisis granulométrico	Den.	Determinación de la densidad aparente
L.Att.	Determinación de los límites de Atterberg	Den. S.	Determinación de la densidad seca
C.Simple	Ensayo de compresión simple		
Sul.	Determi8nación del contenido de sulfatos		
M.O.	Contenido en materia orgánica		
Humedad	Determinación de la humedad		

4.1. Breve reseña de los materiales existentes

En este apartado se enumeran los diferentes materiales que se han detectado en el subsuelo de Málaga y que se verán afectados por las obras de las Líneas 1 y 2 del Metro de Málaga, en el tramo objeto de este estudio.

- **Mioceno-Plioceno**

  a) Arcillas y limos (Ar-Am)

- **Cuaternario**

  a) Rellenos antrópicos (Qx)
  b) Arenas limosas (Dr-Am)
  c) Arenas y gravas (Dr-G)

4.2. Datos necesarios para los cálculos de pantallas

El modelo de cálculo habitual en la determinación de empujes sobre las pantallas parte de determinar inicialmente las tensiones verticales efectivas del terreno según los estratos para obtener el empuje correspondiente al terreno y añadirles posteriormente las correspondientes al empuje del agua.

Jornadas Técnicas SEMSIG-AETESS Muros Pantallas

La variable K dependerá del tipo de empuje que se desarrolle, si es de naturaleza activa o pasiva.

En general, los empujes desestabilizadores vienen definidos por el empuje activo del terreno, cuya definición es función de las características geotécnicas del terreno así como el empuje hidrostático del agua.

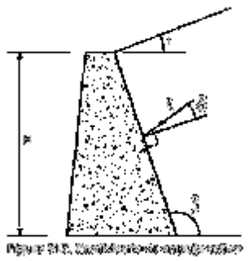
El estado de empuje activo existe cuando el elemento de contención gira o se desplaza hacia el exterior bajo las presiones del relleno o la deformación de su cimentación hasta alcanzar unas condiciones de empuje mínimo.

El empuje activo se determina mediante la siguiente formulación:

$$\sigma'_a = K_A \cdot \sigma'_v - 2c' \cdot \sqrt{K_A}$$

$$\sigma'_{ah} = \sigma'_a \cdot \mathrm{sen}(\beta + \delta)$$

$$K_A = \left[\frac{\mathrm{cosec}\,\beta \cdot \mathrm{sen}(\beta - \phi')}{\sqrt{\mathrm{sen}(\beta+\delta)} + \sqrt{\dfrac{\mathrm{sen}(\delta+\phi')\cdot\mathrm{sen}(\phi'-i)}{\mathrm{sen}(\beta-i)}}} \right]^2$$



Los empujes estabilizadores son los aportados por el empuje pasivo del terreno y por el empuje hidrostático en el intradós así como por las reacciones de aquellos apoyos provisionales, anclajes provisionales y permanentes y forjados.

El estado de empuje pasivo se crea cuando el elemento de contención es comprimido contra el terreno por las cargas transmitidas por una estructura u otro efecto similar hasta alcanzar unas condiciones de máximo empuje.

El empuje pasivo se determina mediante la siguiente formulación:

$$\sigma'_p = K_P \cdot \sigma'_v + 2c' \cdot \sqrt{K_P}$$

$$\sigma'_{ph} = \sigma'_p \cdot \mathrm{sen}(\beta - \delta)$$

$$K_P = \left[\frac{\mathrm{cosec}\,\beta \cdot \mathrm{sen}(\beta + \phi')}{\sqrt{\mathrm{sen}(\beta-\delta)} - \sqrt{\dfrac{\mathrm{sen}(\delta+\phi')\cdot\mathrm{sen}(\phi'+i)}{\mathrm{sen}(\beta-i)}}} \right]^2$$

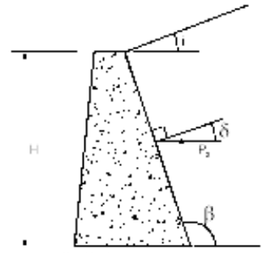
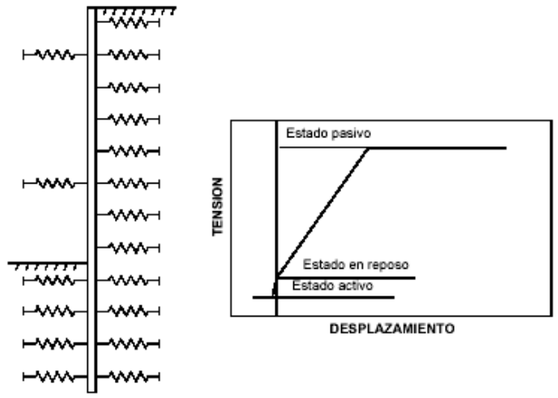


Figura 8.8. Coeficiente de empuje pasivo

El modelo de cálculo empleado en el dimensionamiento de las pantallas modeliza el terreno como una serie de muelles de constante elástica k y parte de la distribución tensional del suelo en reposo. A partir de esa situación inicial va iterando obteniendo el valor de los empujes según la deformada de la pantalla siendo según el caso empujes activos o pasivos hasta que alcanza una situación de equilibrio.



Por tanto los datos de cada uno de los terrenos afectados por la excavación de una pantalla que son necesarios conocer son los siguientes:

- Densidad aparente, densidad saturada y densidad sumergida
- Cohesión efectiva
- Ángulo de rozamiento interno efectivo
- Coeficiente de balasto horizontal

Además de estos datos se determinará la permeabilidad de los materiales investigados y cualquier otro aspecto necesario para el correcto dimensionamiento de las estructuras.

4.3. Caracterización geotécnica de los materiales.

En virtud de los trabajos de investigación de campo y de laboratorio realizados se han diferenciado cuatro tipos de materiales dentro del perfil geotécnico elaborado para el tramo que nos ocupa de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga. Las distintas unidades geotécnicas diferenciadas han sido las siguientes:

- Rellenos antrópicos (Qx)
- Arenas limosas y limos arenosos (Dr-Am y Dr-Am*)
- Arenas y gravas (Dr-G)
- Arcillas y limos del sustrato (Ar-Am)

En este apartado y en el resto de la elaboración del Anejo de Geotecnia se han seguido las recomendaciones de José María Rodríguez Ortiz que ha participado como Asesor Geotécnico en este proyecto.

A lo largo de los subapéndices del apéndice IX del presente anejo se recogen las tablas resumen de ensayos realizados así como la caracterización de las diferentes unidades geotécnicas.

4.3.1. Rellenos antrópicos (Qx).

Corresponden a los primeros metros del subsuelo del trazado del Metro de Málaga y están vinculados a la actividad humana.

Por lo general La potencia oscila entre los 2 y 4 m pero puntualmente puede ser mayor, con un valor máximo de unos 4.6 m en el tramo de estudio.

Estos materiales presentan una gran heterogeneidad por lo que no cabe pensar en determinar unas características a partir de los ensayos de laboratorio realizados en esta unidad geotécnica sin bien se ha contrastado que presentan una compacidad baja según los golpeos de ensayos SPT realizados durante los sondeos.

En general presentan una mala calidad geotécnica y los parámetros geotécnicos representativos para esta unidad se han determinado siguiendo un criterio conservador sancionado por otras obras subterráneas como el Metro de Madrid.

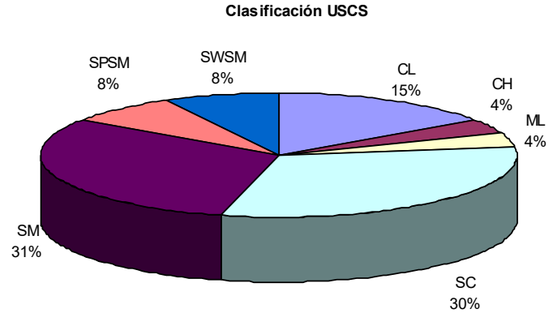
Los parámetros geotécnicos adoptados para esta unidad geotécnica se muestran en la siguiente tabla:

Unidad	Densidad Saturada (ton/m³)	Cohesión efectiva C' (ton/m²)	Ángulo rozamiento interno (º)	Módulo Young (ton/m²)	Coeficiente de balasto (ton/m³)	Permeabilidad (m/s)
Qx	1,95	0	27	800	200	$8 \cdot 10^{-5}$

4.3.2. Arenas limosas y limos arenosos (Dr-Am).

En primer lugar hay que comentar que, a lo largo del tramo, aparecen arenas y limos sueltos con unos golpeos SPT del orden de 10 y características resistentes inferiores a los típicos de esta unidad, por lo que estas muestras se han diferenciado designándolos como Dr-Am*.

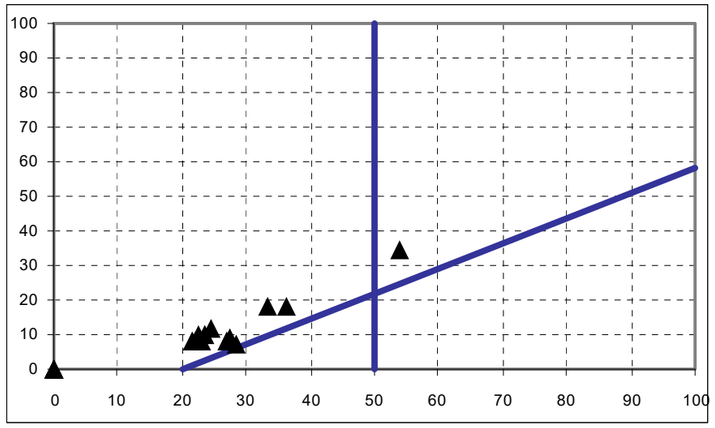
- **Identificación**



De todos los ensayos de identificación realizados se puede apreciar en el gráfico que más de la mitad de las muestras identificadas se clasifican como arenas limosas, arcillosas o limos (SM o SC o ML), aunque en algunos casos (19% de las muestras) también contienen arcillas (CL y CH).

El contenido en finos medio de esta unidad geotécnica es de un 34,8% con una gran dispersión, que oscila entre un valor mínimo de 5,4% y un máximo de 98,4%. Aunque conforme a la clasificación USCS, estos finos son fundamentalmente limos.

Los ensayos relativos a la plasticidad de estas arcillas se muestran en el gráfico siguiente de la carta de plasticidad de Casagrande dónde se aprecia que presentan valores del límite liquido entre no plástico y el 53,9% con un valor medio de 14,2%. Este valor máximo puede considerarse como no representativo de la muestra, ya que como puede observarse en la siguiente tabla, el resto de muestras presentan límites líquidos comprendidos entre el 20 y el 30% que clasifican a las muestras como limos de baja plasticidad.



- **Estado natural (densidad seca y humedad)**

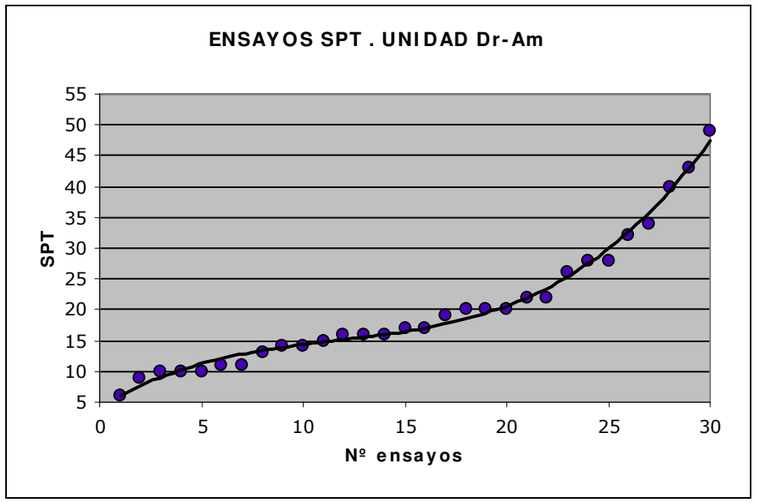
Estos materiales se encuentran siempre bajo el nivel freático por lo que cabe decir que se encuentran saturados.

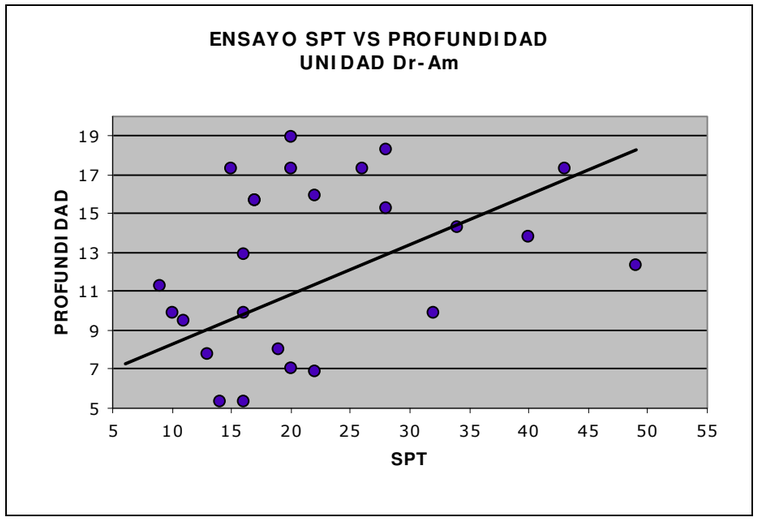
La densidad seca media obtenida a partir de los ensayos realizados en las muestras de estos materiales ha sido de 1,56 ton/m^3 con una humedad media del 21,6% lo que corresponde aproximadamente a una densidad saturada de 1,90 ton/m^3. Mientras que los valores extremos se encuentran entre 1,35 y 2,20 ton/m^3. Por todo ello se ha asignado a la unidad Dr-Am* una densidad saturada de 2,0 ton/m^3, igual a la media obtenida a lo largo de la totalidad de ensayos del las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga, lo cual es un valor conservador, mientras que a la unidad Dr-Am, moderadamente compacta, se le ha asignado una densidad saturada de 2,10, igual al valor medio entre el anterior y la densidad máxima de la unidad. Estos valores han sido consensuados con la experiencia aportada por José María Rodríguez Ortiz, como asesor de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga.

- **Resistencia**

La naturaleza de la mitad de las muestras es granular con lo que los ensayos más representativo para determinar sus características mecánicas son los basados en ensayos de campo del tipo SPT.

En la siguiente tabla se representan los ensayos SPT realizados en estos materiales, excluyendo el resultado de 7 que se ha obtenido para el único ensayo realizado en el material suelto, que puede considerarse como representativo de la unidad Dr-Am*:





Así el valor representativo de la unidad Dr-Am, puede suponerse igual a 20, ya que el estrato está a una profundidad media de unos 12 m.

Según la publicación de José María Rodríguez Ortiz "Curso Aplicado de Cimentaciones" un suelo granular con un golpeo próximo a 20 posee una compacidad media y puede presentar un ángulo de rozamiento de 34º. Mientras que a las arenas flojas con golpeos de 7, se les ha asignado un ángulo de rozamiento interno de 30º.

Por otra parte, teniendo en cuenta que el número de muestras cohesivas está próximo al 50%, se ha contado con una pequeña cohesión efectiva del terreno de 1 ton/m^2, que no se ha tenido en cuenta para las arenas y limos flojos, en los que no es de esperar cohesión.

- **Deformabilidad. Coeficiente de reacción horizontal**

Para determinar las características de deformabilidad (módulo elástico) así como el coeficiente de reacción horizontal se han realizado ensayos presiométricos de tipo Menard y OYO.

El módulo elástico del terreno guarda cierta relación con el módulo presiométrico de Menard.

Si durante el ensayo presiométrico el material se comportase como un sólido perfectamente elástico, el módulo elástico y el módulo presiométrico serían equivalentes; sin embargo, al comienzo del ensayo los materiales se comportan como un material pseudoelástico, por lo que el módulo presiométrico no coincide con el módulo elástico del terreno.

Menard propuso un factor corrector en función del tipo de material, en el que establece la relación entre el módulo presiométrico y el módulo elástico confinado Eoed.

Eoed = Ep/α

Siendo α un parámetro dependiente del tipo de suelo con el que tratemos:

Naturaleza del suelo	α
Arcillas	2/3
Limos	1/2
Arenas	1/3
Gravas	1/4

Finalmente el módulo elástico del terreno está relacionado con el módulo confinado en función del módulo de Poisson mediante la expresión:

$$E = E_{0ed}\frac{1-\nu-2\nu^2}{1-\nu}$$

A los largo del estudio geotécnico del conjunto de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga se han realizado 6 ensayos presiométricos en esta unidad.

Los valores obtenidos en los ensayos presiométricos así como las correlaciones con los parámetros de deformación y de reacción horizontal del terreno se han resumido en el apéndice XIII del presente anejo.

El módulo elástico de la unidades Dr-Am en los ensayos presiométricos de los ensayos realizados para el conjunto de las líneas 1 y 2 del metro de Málaga, da lugar a una dispersión elevada con valores que oscilan entre 742 y 7222 ton/m^2.

Según puede comprobarse, el golpeo del ensayo de penetración dinámica del punto en el que se han realizado el ensayos presiométricos, caen muy por encima del valor característico asignado a esta unidad, lo cual justifica la gran dispersión de valores obtenida en estos resultados. Atendiendo a este criterio, los ensayos en los que el valor del golpeo coincide con el característico asignado a esta unidad dan lugar a un módulo de elasticidad de aproximadamente 5500 t/m², que es el que se ha adoptado finalmente para esta unidad dentro del tramo en estudio.

A partir del módulo presiométrico de Menard y en función de la formulación propuesta por él, se puede determinar el coeficiente de reacción horizontal del terreno según la siguiente expresión:

b) A partir de pruebas presiométricas

Ménard (1964)

$$\frac{1}{k_L} = \frac{1}{E_M}\left[\frac{a\,\alpha}{2} + 0{,}133(9a)^{\alpha}\right]$$

a= 2h/3 ; α = 0,50 suelos cohesivos
α = 0,35 suelos granulares.

Así, teniendo en cuenta los ensayos presiométricos realizados en esta unidad, el módulo de balasto según la formulación de Menard oscilan entre un valor mínimo de 600 y un máximo de 6.000 ton/m^3; por lo que se ha adoptado como valor del módulo de balasto 3.000 ton/m^2.

- **Permeabilidad**

En esta unidad, dentro del tramo de proyecto se han realizado un total de 2 ensayos de tipo Lefranc.

Los valores obtenidos se incluyen en el apéndice IV.2 del presente anejo.

El valor medio de los ensayos Lefranc es de 1,0·10^{-5} m/s habiéndose asignado a la unidad geotécnica un valor representativo de 5·10^{-6} m/s, al considerar la totalidad de ensayos de

permeabilidad realizados en esta unidad a lo largo de las campañas de la línea 1 y 2 del Metro de Málaga.

Como resumen los valores asignados a esta unidad geotécnica han sido los siguientes:

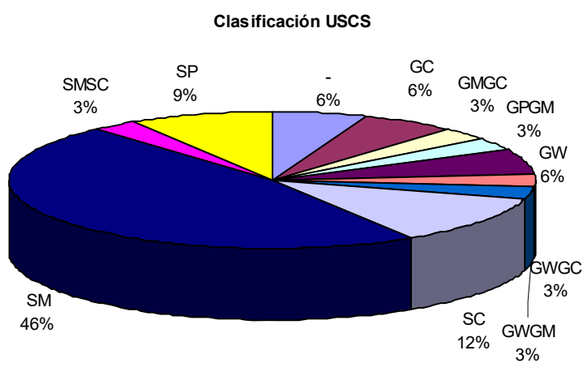
Unidad	Densidad Saturada (ton/ m³)	Cohesión efectiva c' (ton/ m2)	Ángulo rozamiento interno (º)	Módulo Young (ton/ m²)	Coeficiente de balasto (ton/ m³)	Permeabilidad (m/ s)
Dr-Am	2,10	1	34	5500	3000	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$
Dr-Am*	2,00	0	30	1200	500	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$

4.3.3. Arenas y gravas (Dr-G)

Los niveles de arenas y gravas investigados presentan un mayor golpeo de ensayo SPT en profundidad. Por esta razón, en otros tramos se ha estimado oportuno subdividir la unidad geológica de arenas y gravas Dr-G en dos unidades geotécnicas Dr-G(1) y Dr-G(2) a efectos de sus parámetros mecánicos, en función de la profundidad a la que se encuentre esta. Así los parámetros aquí asignados se corresponderán con los de la unidad Dr-G(1) de los tramos en los que se ha realizado esta diferenciación, atendiendo a los resultados obtenidos en los ensayos SPT de la unidad del tramo, manteniéndose para el tramo de estudio la nomenclatura Dr-G.

- **Identificación**

Por regla general en esta unidad cabe hablar mayoritariamente de arenas con algunos finos (12,7% de media) dentro de los ensayos de identificación realizados.



Tanto las gravas como las arenas de esta unidad suelen contener alguna proporción de finos que son indistintamente limos o arcillas de baja plasticidad.

- **Estado natural (densidad seca y humedad)**

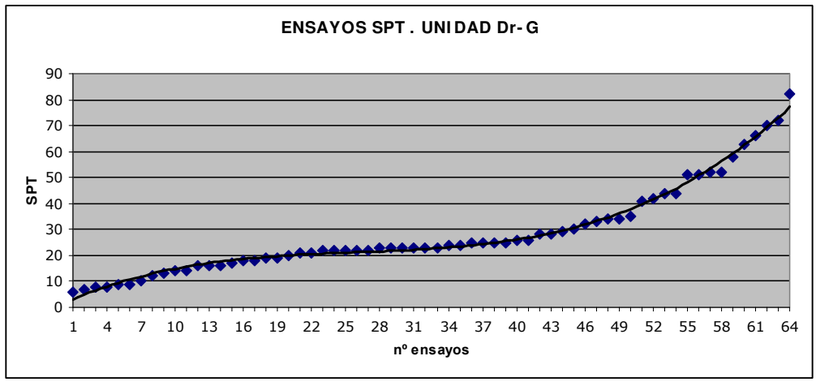
Al tratarse de materiales granulares la toma de muestras inalteradas no se ha podido realizar en la mayor parte de los sondeos ya que se desmoronan antes de su extracción, únicamente se dispone de 5 muestras en las que se ha podido realizar ensayos de densidad seca con un valor medio de 1,9 ton/m^3.

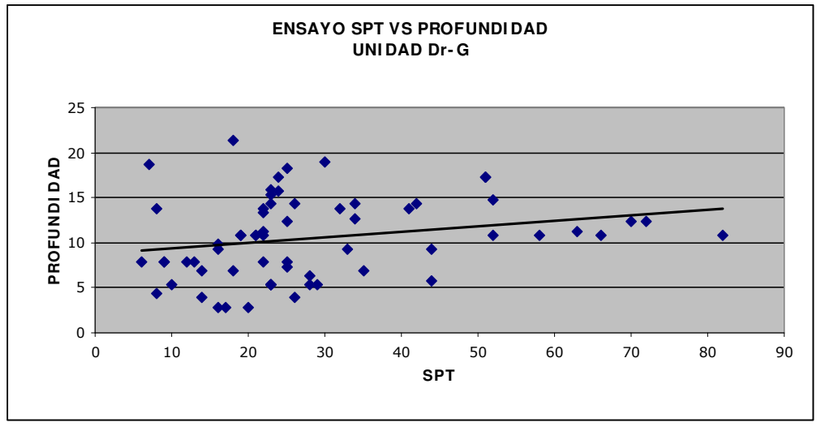
En cuanto a la humedad natural, esta tiene un valor medio del 15,6 %. Al situarse esta unidad geotécnica bajo el nivel freático en la mayoría del trazado la humedad debe corresponder a la de un grado de saturación del 100%. Por lo que se puede asumir una densidad saturada para la unidad de aproximadamente 2,1 ton/m^3.

- **Resistencia**

En esta unidad no se han podido realizar ensayos de resistencia al no haberse podido realizar la toma de muestras inalteradas por lo que la determinación de sus parámetros mecánicos se hará en virtud del ensayo SPT.

En los gráficos siguientes se han plasmado los valores de los ensayos SPT realizados en estas unidades geotécnicas.





El valor asignado del ensayo SPT a la unidad geotécnica a lo largo de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga es 30 golpes, que coincide con el valor medio obtenido en este tramo.

Para este golpeo, siguiendo la misma metodología que en el caso de Dr-Am, se ha asignado un ángulo de rozamiento de 36 grados para las unidades Dr-G.

- **Deformabilidad. Coeficiente de reacción horizontal**

Si se emplean correlaciones basadas en el ensayo SPT para obtener el valor del módulo de elasticidad del terreno obtenemos módulos de elasticidad del orden de 2500 ton/m^2.

Contando con el asesoramiento de José María Rodríguez Ortiz en este aspecto se ha fijado en 4500 ton/m^2 el valor del módulo de Young para la unidad Dr-G.

Igualmente para el parámetro del módulo de balasto horizontal se ha asignado un valor de 2000 ton/m^3 para los terrenos Dr-G.

- **Permeabilidad**

La permeabilidad de esta unidad ha sido ensayada obteniendo un resultado de 7,5·10^{-6} m/s. Por otra parte, a lo largo de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga, se ha investigado mediante 6 ensayos Lefranc así como mediante un ensayos de bombeo realizado en la campaña geotécnica del proyecto de Integración del Ferrocarril en Málaga.

El valor de la permeabilidad de estas unidades es sumamente importante de cara al estudio hidrogeológico de afección a la circulación del acuífero cuaternario de la ciudad de Málaga así como al estudio de las medidas necesarias para su reposición.

Los ensayos Lefranc realizados sobre estos materiales han arrojado una gran variedad de resultados, desde valores propios de materiales pseudo-impermeables hasta ensayos en los que se perdía el agua que se necesita para realizar el ensayo, como es el caso del ensayo realizado dentro del tramo (el cual se encuentra en el apéndice IV.2 del presente Anejo). El valor medio de los ensayos Lefranc sin tener en cuenta aquellos ensayos en los que se perdía el agua es de 4,8·10^{-4} m/s.

El ensayo de bombeo realizado para el proyecto de Integración del Ferrocarril de Málaga ha arrojado un valor de 1,3·10^{-3} m/s, es decir:

- En el Anejo de Climatología, hidrología e hidrogeología se han utilizado estos valores dentro del modelo hidrogeológico realizado encaminado a estimar los caudales circulantes por el subsuelo de Málaga.
- Esta unidad geotécnica es la que constituye la zona más permeable del acuífero cuaternario y por lo tanto tiene mucha incidencia en cuanto al dimensionamiento de las obras de drenaje de agua freática transversales al túnel.
- El rango de permeabilidades de la unidad Dr-G varía entre 1·10^{-3} y 5·10^{-4} m/s.

Se han recomendado diferentes coeficientes de permeabilidad siempre dentro de estos márgenes en función del contenido de finos de la unidad de arenas y gravas, 2·10^{-3} m/s para las zonas con escaso contenido de finos, 1·10^{-3} para zonas con un contenido de finos medio y 1·10^{-4} m/s para las zonas con un gran contenido de finos. En el tramo que nos ocupa, se recomienda por tanto utilizar el valor intermedio de los indicados.

Las zonas concretas así como los diferentes coeficientes de permeabilidad asignados se exponen en el Anejo de Drenaje.

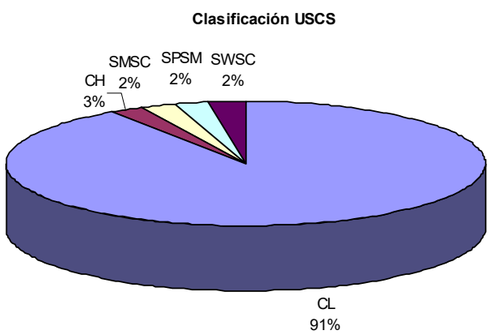
Los parámetros geotécnicos adoptados para esta unidad geotécnica se muestran en la siguiente tabla:

Unidad	Densidad Saturada (ton/m³)	Cohesión efectiva C' (ton/m²)	Ángulo rozamiento interno (º)	Módulo Young (ton/m²)	Coeficiente de balasto (ton/m³)	Permeabilidad (m/s)
Dr-G	2,1	0	34	4500	2000	1·10^{-3}

4.3.4. Arcillas limosas y limos arcillosos (Ar-Am)

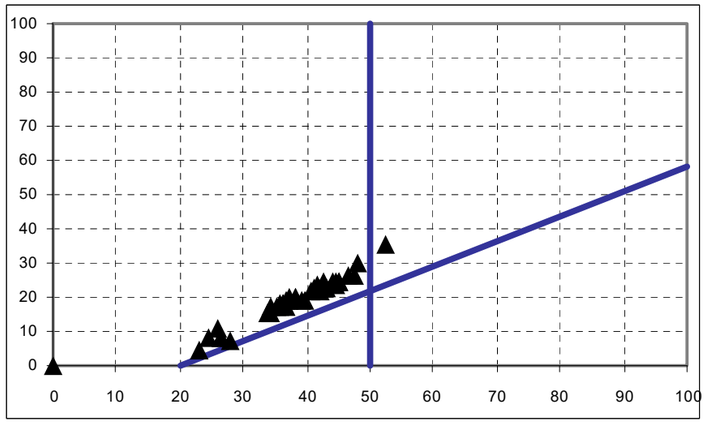
- **Identificación**

Las arcillas pliocenas constituyen el sustrato competente del subsuelo a lo largo de la totalidad del recorrido del tramo. Dentro de los trabajos de laboratorio de estos tramos de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga se han identificado un total de 42 muestras de las arcillas del sustrato plioceno de Málaga.



En un elevado porcentaje se puede hablar de arcillas de baja plasticidad con un elevado contenido en finos próximo al 100% según los ensayos de granulometría, aunque en algunas de las muestras se ha detectado alguna arena y limos.

Los ensayos relativos a la plasticidad de estas arcillas se muestran en el gráfico siguiente de la carta de plasticidad de Casagrande dónde se aprecia que presentan valores del límite liquido entre no plástico y el 35,7% con un valor medio de 19,3%.



- **Estado natural (densidad seca y humedad)**

Se cuenta con un total de 35 ensayos de densidad seca de esta unidad que presentan como valor medio 1,72 ton/m^3 con una desviación estándar de 0,09 por lo que se puede fijar el valor de la densidad seca representativa de esta unidad en 1,73 ton/m^3.

Se dispone igualmente de 37 ensayos de humedad natural que presentan un valor medio de 21,8% con una desviación estándar de 2,7% por lo que cabe hablar de una humedad natural representativa de 22%.

Con estos datos y aceptando un peso específico de las partículas de 2,7 ton/m^3 se establece el grado de saturación de las arcillas y limos del sustrato es de prácticamente el 100%.

Se establece como densidad saturada a emplear en los cálculos 2,10 ton/m^3.

- **Resistencia**

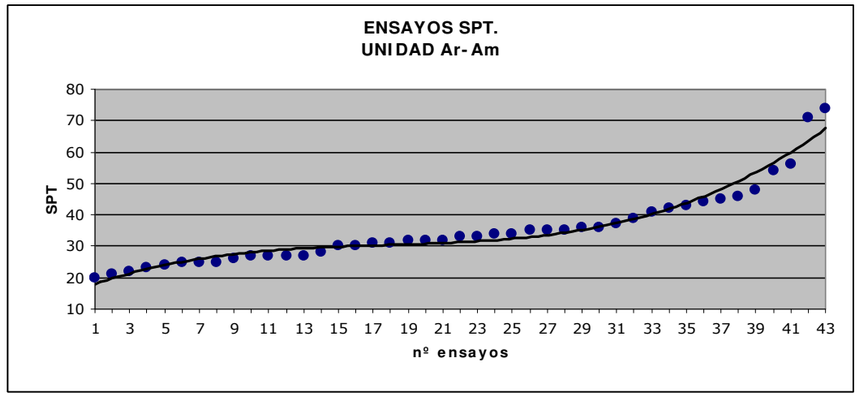
En lo largo de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga se dispone de ensayos de laboratorio de tipo mecánico de los siguientes tipos:

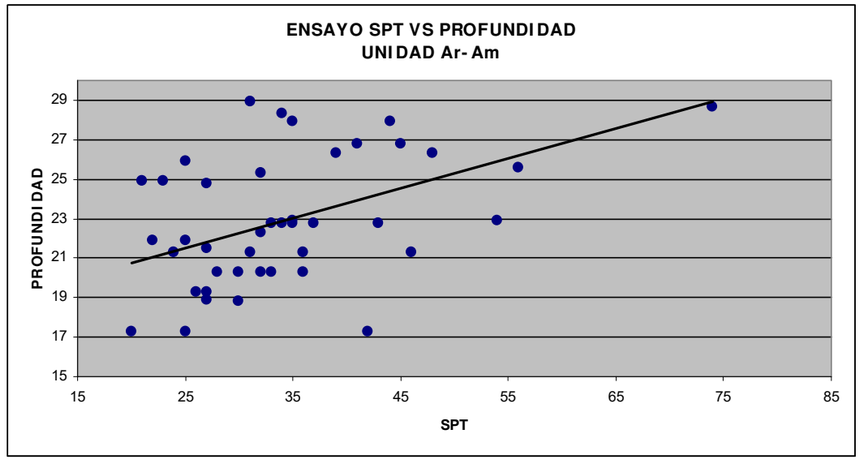
- Ensayos de corte directo de tipo CU y CD.
- Ensayos triaxiales de tipo CU con medida de presiones intersticiales
- Ensayos de compresión simple.

Con el objeto de determinar las características resistentes de las arcillas Ar-Am se ha realizado un estudio de los ensayos triaxiales de tipo CU con medida de presiones intersticiales en diagramas de tipo p'-q'.

Dicho estudio se incluye en el apéndice XII del presente anejo y ha obtenido como conclusión asignar para las arcillas Ar-Am del sustrato una cohesión efectiva de 3 ton/m^2 y un ángulo de rozamiento de 29 grados.

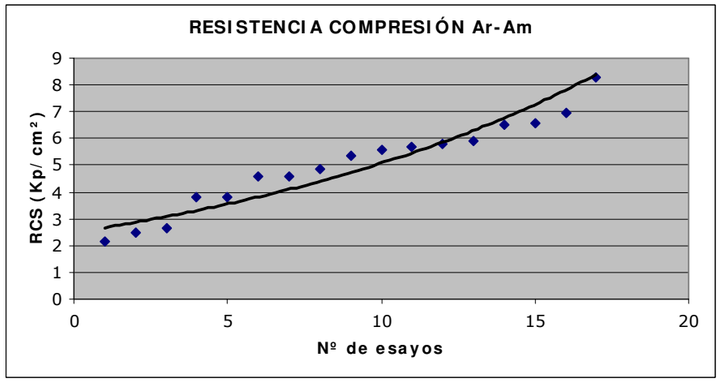
Asimismo se ha han recopilado el valor de los 43 ensayos SPT del entorno del tramo realizados en el sustrato con el objeto de disponer de un valor representativo. En los siguientes gráficos se muestran los resultados obtenidos:





El valor asignado del ensayo SPT a la unidad geotécnica Ar-Am es de 25 golpes. Algo inferior al valor medio de los ensayos del tramo, que es de 35, por lo que quedará del lado de la seguridad.

Se dispone de 17 ensayos de compresión simple realizados sobre las arcillas Ar-Am cuyos resultados se muestran en la siguiente gráfica:



El valor medio obtenido en la muestra de ensayos de compresión simple es de 5,03 kp/cm^2. Sin embargo, por unificar con los resultados obtenidos en otros tramos, como puede ser el resto de la línea 2, se ha adoptado un valor para la resistencia a compresión simple en esta unidad de 4,2 kp/cm^2.

- **Expansividad**

En cuanto a su posible expansividad, a partir de las muestras disponibles de este estrato, se realizaron ensayos de determinación indirecta (ensayos Lambe), obteniéndose los siguientes resultados:

ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIVIDAD						
Parámetro		**Nº Ensayos**	**Valor medio**	**Valor máximo**	**Valor mínimo**	**Desv Estándar**
Lambe	Índice	2	0,43	0,43	0,43	0
	CPV	2	4,5	4,5	4,5	0
	Clasificación	2	Crítico	Crítico	Crítico	-

De estos ensayos se observa que el potencial expansivo de esta formación es variable, aunque en las estimaciones directas realizados en otros tramos (ensayo de presión de hinchamiento), el resultado muestra una arcilla poco expansiva (valor máximo 0,3), aunque los ensayos Lambe realizados reflejan cierto potencial expansivo, probablemente debido a que las muestras sobre las que se han realizado estos ensayos, no permitían una determinación directa.

- **Deformabilidad. Coeficiente de reacción horizontal**

Dentro del tramo se ha realizado 1 ensayo presiométrico para esta unidad, y en el entorno de las líneas 1 y 2 del Metro se han realizado un total de 18 ensayos presiométricos para la misma unidad, a partir de los que se han estimado las características de deformabilidad de las arcillas de la unidad de Ar-Am.

Tal y como se indica en el apéndice XIII, la correlación empleada para determinar el módulo de elasticidad ha proporcionado una muestra de valores que oscilan entre un valor mínimo de 1500 y un máximo de 12000 ton/m^2 con un valor medio del orden de 5500 ton/m^2.

A la vista de estos resultados se ha establecido un módulo de deformación para la unidad de arcillas Ar-Am de 6500 ton/m^2.

En cuanto al coeficiente de reacción horizontal las correlaciones basadas en la formulación de Menard han proporcionado una muestra de valores con un valor mínimo que oscila entre 910 y 8580 ton/m^3, por lo que se ha establecido un coeficiente de reacción horizontal para la unidad de arcillas Ar-Am de 5000 ton/m^3.

- **Permeabilidad**

En el entorno del tramo en estudio, no se ha realizado ningún ensayos de permeabilidad. Sin embargo si se han realizado en el entorno de las obras previstas para el conjunto de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga, proporcionado todos ellos valores del coeficiente de permeabilidad muy bajos, del orden de $1{\cdot}10^{-8}$ e inferiores por lo que cabe decir, como se esperaba, que las arcillas del sustrato son prácticamente impermeables.

Los parámetros geotécnicos adoptados para esta unidad geotécnica se muestran en la siguiente tabla:

Unidad	Densidad Saturada (ton/m^3)	Cohesión efectiva c' (ton/m^2)	Ángulo rozamiento interno (º)	Módulo Young (ton/m^2)	Coeficiente de balasto (ton/m^3)	Permeabilidad (m/s)
Ar-Am	2,10	3	29	6500	5000	$1{,}0{\cdot}10^{-8}$

4.4. Resumen de parámetros geotécnicos seleccionados

En la siguiente tabla se resumen los parámetros geotécnicos seleccionados para emplear en el cálculo de los esfuerzos y deformaciones de las pantallas del túnel de línea así como de las estaciones del tramo de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga objeto de este estudio.

Unidad	Densidad Saturada (ton/m³)	Cohesión efectiva C' (ton/m²)	Ángulo rozamiento interno (º)	Módulo Young (ton/m²)	Coeficiente de balasto (ton/m³)	Permeabilidad (m/s)
Qx	1,95	0	27	800	200	$8{\cdot}10^{-5}$
Dr-Am	2,10	1	34	5500	3000	$5{,}0{\cdot}10^{-6}$
Dr-Am*	2,00	0,5	30	1200	500	$5{,}0{\cdot}10^{-6}$
Dr-G	2,1	0	34	4500	2000	$1{\cdot}10^{-3}$
Ar-Am	2,10	3	29	6500	5000	$1{,}0{\cdot}10^{-8}$

5. Perfil geotécnico

Con toda la información geotécnica disponible se ha elaborado un perfil geotécnico longitudinal a lo largo de toda la alineación de trazado por donde discurre el presente tramo de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga, para los ejes de vía este y oeste, respectivamente.

En el perfil geotécnico se han representado las distintas prospecciones realizadas así como las existentes del anteproyecto y las de los informes próximos a la traza, que han sido utilizadas para definirlo.

Se ha seguido un código de colores y de símbolos para las distintas prospecciones identificando así la fuente de información.

- Informes geotécnicos solares próximos. Color marrón y símbolo hexagonal
- Campaña de prospecciones del Anteproyecto. Color azul y símbolo circular
- Campaña de prospecciones Complementaria. Color rojo y símbolo triangular

Así mismo, se ha incluido una breve nomenclatura en función de la campaña a la que pertenecen las prospecciones.

- Prospecciones del estudio informativo. S-nº de sondeo
- Prospecciones del Anteproyecto. SA-nº de sondeo
- Prospecciones de estudios geotécnicos próximos a la traza. S-nº de sondeo/ARA ó S-nº de sondeo/Av. ANDALUCÍA, en función del estudio geotécnico al que pertenecen las prospecciones.

- Prospecciones de la campaña complementaria. SC-nº de sondeo.

Se ha representado también el valor de los golpeos en la toma de muestra inalterada así como en los ensayos SPT y el contenido de finos siempre que se disponía de esa información.

El perfil geotécnico se adjunta en el apéndice II del presente anejo.

6. Agresividad.

La instrucción EHE en su artículo 8.2.3. especifica la clase resistente del hormigón en cuanto a su exposición ambiental en relación con otros procesos de degradación distintos a la erosión. Así, se ha analizado la zona de estudio para ver su agresividad según la tabla 8.2.3.b de la citada instrucción:

Tipo de medio	Parámetros	Tipo de exposición		
		Qa	Qb	Qc
Agua	Valor Del Ph	6,5 – 5,5	5,5 – 4,5	<4,5
	CO_2 agresivo (Mg CO_2/L)	15 - 40	40 -100	>100
	Ión Amonio (Mg NH_4^+/L)	15 – 30	30 - 60	>60
	Ión Magnesio (Mg Mg_2^+/L)	300 – 1000	1000 - 3000	>3000
	Ión Sulfato (Mg SO_4^{2-}/L)	200 – 600	600 – 3000	>3000
	Residuo Seco (Mg/L)	75 – 150	50 – 75	< 75
Suelo	Grado de Acidez Baumann-Gully	>20	(No se da)	(No se da)
	Ión Sulfato (mg SO_4^{2-}/Kg de Suelo Seco)	2000 – 3000	3000 – 12000	>12000

En la mayoría de los sondeos se han llevado a cabo ensayos con objeto de definir el ataque químico a lo largo de toda la obra. Se han realizado ensayos tanto en las muestras de suelo como en muestras de agua freática.

En el apéndice XIV se han resumido los ensayos realizados en relación al tramo de estudio, de modo que se pueda disponer de una tramificación con respecto al ataque químico específico. Conforme a dicho estudio, el ataque químico, tanto de los suelos, como de las aguas freáticas, resulta débil (Q_a) en todos las muestras ensayadas en el entorno del tramo. Por ello, la agresividad química del suelo a los hormigones estructurales de la obra se ha definido como débil (Qa) en todo el tramo proyectado.

7. Cargas unitarias de hundimiento por fuste y punta

En el caso de la estación de Guadalmedina de las líneas 1 y 2 se han concebido los elementos estructurales de apoyo intermedio de losas superiores y forjados sobre elementos del tipo pilas-pilote. Incluso en algunos casos se ha recurrido a elementos del tipo pantalla como estructuras de cimentación.

El objeto de este apartado es determinar las resistencias unitarias últimas por fuste y por punta de los materiales existentes en el subsuelo del tramo en estudio.

Para la elaboración de este apartado se han seguido las recomendaciones y formulaciones de las siguientes publicaciones:

- *Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera* editada por la Dirección Técnica del Ministerio de Fomento en el capítulo 5 Cimentaciones Profundas.
- *Curso Aplicado de Cimentaciones* también en el capítulo 5 Cimentaciones por pilotaje-I – Aspectos Geotécnicos por José María Rodríguez Ortiz.

El diámetro del pilote a adoptar será de 1,80 metros.

Para el caso de las pantallas como elementos de cimentación se recomienda a efectos de valorar la sección de la punta contar con un factor reductor f del área para una sección de B (Ancho de pantalla) x L (longitud de pantalla) de:

$$f = 0{,}6 + 0{,}4\frac{B}{L}$$

Si se observa el perfil geotécnico del tramo, así como la posición en alzado de la estación los pilotes o pantallas desarrollarán su resistencia por fuste en las siguientes unidades geotécnicas:

- Arenas limosas y limos arenosos (Dr-Am)
- Arenas y gravas superiores (Dr-G)
- Arcillas y limos del sustrato (Ar-Am)

Las resistencias por fuste de los rellenos antrópicos se ha considerado nula y la de los fangos se asimila a la de la unidad Dr-G dentro de la que aparecen.

Los pilotes o pantallas se empotrarán en el sustrato plioceno de las arcillas y limos Ar-Am por lo que cabe determinar también la resistencia unitaria por punta de esta litología.

7.1. Carga unitaria de hundimiento por fuste.

Para la determinación de las resistencias unitarias por fuste de las distintas unidades se han seguido las formulaciones expuestas en la Guía de Cimentación de Obras de Carretera basadas en el SPT y en los ensayos presiométricos.

La resistencia por fuste en suelos granulares determinada a partir de los ensayos SPT sigue la siguiente formulación:

$q_f = 2 \cdot N_{60} < 90$ KPa

En la tabla siguiente, se muestran los valores de cada uno de los parámetros que intervienen en la expresión anterior, para cada una de las unidades geotécnicas implicadas.

Unidad Geotécnica	N60	qf(Kpa)	qf(ton/ m^2)
Arenas limosas .Dr-Am	20	40	4
Arenas y gravas . Dr-G	19	38	3,8
Pliocuaternario. PQ	20	40	4

La resistencia por fuste en suelos arcillosos la determina en función de ensayos presiométricos y se relaciona con la resistencia por punta.

El método basado en ensayos presiométricos sigue la siguiente formulación:

$q_p = K \cdot (p_l - K_o \cdot p_o)$

Dónde

q_p = Carga unitaria de hundimiento por punta.
K = Coeficiente de proporcionalidad que depende de la geometría del cimiento y del tipo de terreno. Puede tomarse igual a 3,2 en suelos granulares e igual a 1,5 en suelos cohesivos.
p_l = Presión límite del ensayo presiométrico (o dilatométrico).
p_o= Presión vertical efectiva al nivel de la cimentación en el entorno del apoyo (antes de cargar)
K_o = Coeficiente de empuje al reposo. Valor usual K_o = 0,5
q_f= (1/40). q_p
q_f< 90 Kpa en suelos granulares
q_f< 70 Kpa en suelos cohesivos

Para el caso de los presiómetros y con objeto de disponer de una mayor muestra de valores se han utilizado los ensayos presiométricos realizados en la unidad Ar-Am tanto en la línea 1 como en la línea 2.

La expresión que relaciona la carga de hundimiento por fuste con la carga unitaria de hundimiento por punta para el método presiométrico se expresa a continuación:

$q_f = q_p/40$

A continuación se exponen los valores medios de la carga unitaria de hundimiento por punta y de la carga unitaria de hundimiento por fuste, para cada una de las unidades geotécnicas implicadas.

Unidad geotécnica	Qp (ton/m^2)	Qf (ton/m^2)
(Dr-Am)	329,3568	8,23392
(Ar-Am)	471,3975	11,7849375
(Dr-G)	128,816	3,2204

Los valores obtenidos según método y otro difieren siendo para los suelos granulares mayores si se emplea el SPT que el presiómetro.

En cuanto al límite superior de la resistencia por fuste en suelos cohesivos la Guía de Cimentación de Obras de Carretera es más conservadora situando el límite superior de resistencia unitaria de hundimiento por fuste en 7 ton/m^2 mientras que otras publicaciones que cifran ese máximo a adoptar hasta en 10 ton/m^2.

El método basado en el ensayo presiométrico para el caso de las arcillas del sustrato ha proporcionado valores mayores que 7 ton/m^2 en casi todos los ensayos.

Por esta razón se ha decidido adoptar como resistencia unitaria por fuste de las arcillas del sustrato 8 ton/m^2.

Se han adoptado finalmente los siguientes valores para las distintas unidades geotécnicas del tramo de las líneas 1 y 2 del Metro de Málaga.

En la tabla siguiente se muestran los valores de la resistencia unitaria al fuste, así mismo en el apéndice XV, del presente anejo, se muestra el proceso para la obtención de estos valores.

Unidad geotécnica	Descripción del terreno	Resistencia unitaria última por fuste (ton/ m²)
Dr-Am	Arenas limosas	4
Dr-G	Arenas y gravas	7
Ar-Am	Arcillas, limos y Pizarras	8

7.2. Resistencia unitaria por punta

Como ya se ha citado anteriormente los elementos de cimentación situarán su punta en las arcillas y limos del sustrato Ar-Am.

Para llevar a cabo la determinación de la resistencia unitaria por punta de este tipo de terreno se ha seguido la publicación de Jose María Rodríguez Ortiz.

Para el caso de arcillas duras (q_u> 3 Kp/cm^2) que es nuestro caso el cálculo de la carga de hundimiento suele realizarse en tensiones efectivas y el término correspondiente a la carga unitaria por punta sigue la siguiente formulación:

$\theta_\pi = \sigma'_o \cdot N_q + c' \cdot N_{cp}$

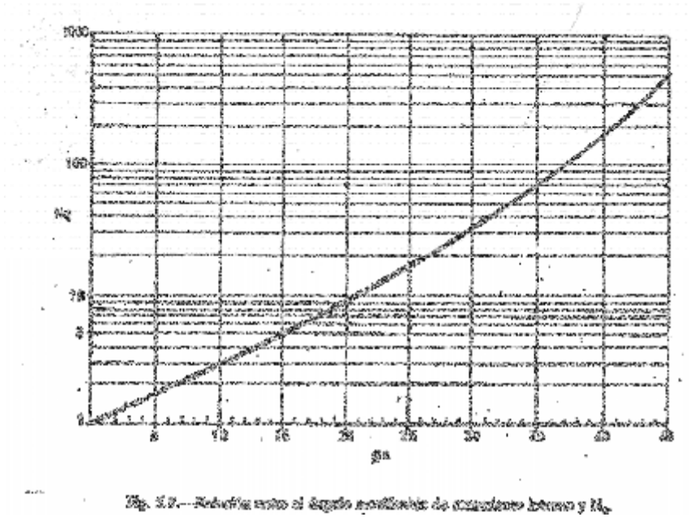
siendo

σ'_o = tensión vertical efectiva a nivel de la punta

c' = cohesión efectiva del terreno

N_q , N_{cp} = Factores de capacidad de carga de cimentaciones profundas que dependen del ángulo de rozamiento según las siguientes tablas y gráficos.

- **Valor del factor N_q**



Para el ángulo de rozamiento de las arcillas Ar-Am y tal como figura en el apartado 4.3.5 del presente anejo se ha estimado un valor de 29º. A este ángulo de rozamiento le corresponde según el gráfico de N_q=30.

Valor del factor N_{cp}

Ángulo rozamiento (º)	N_{cp}
0	9
5	12
10	16
15	22
20	30
25	40

Al ángulo de rozamiento de Ar-Am le corresponde un valor de N_{cp} = 40

Queda por tanto hacer una aclaración en cuanto al valor de la tensión efectiva a considerar en la punta de las cimentaciones. Se ha considerado que la excavación que se produce en las estaciones reduce el valor de la tensión total a nivel de la punta del terreno y que la presión de agua dado que las soleras están drenadas toma un valor nulo a nivel de la excavación. Con estas premisas y asumiendo que la densidad saturada del terreno es prácticamente 2 ton/m^3, la ley de tensiones efectivas tomando como origen el nivel de la excavación responde a la ley σ'_v = 2.z –z= = z, es decir la tensión efectiva toma el mismo valor que la distancia entre el fondo de excavación y la posición de la punta de las arcillas.

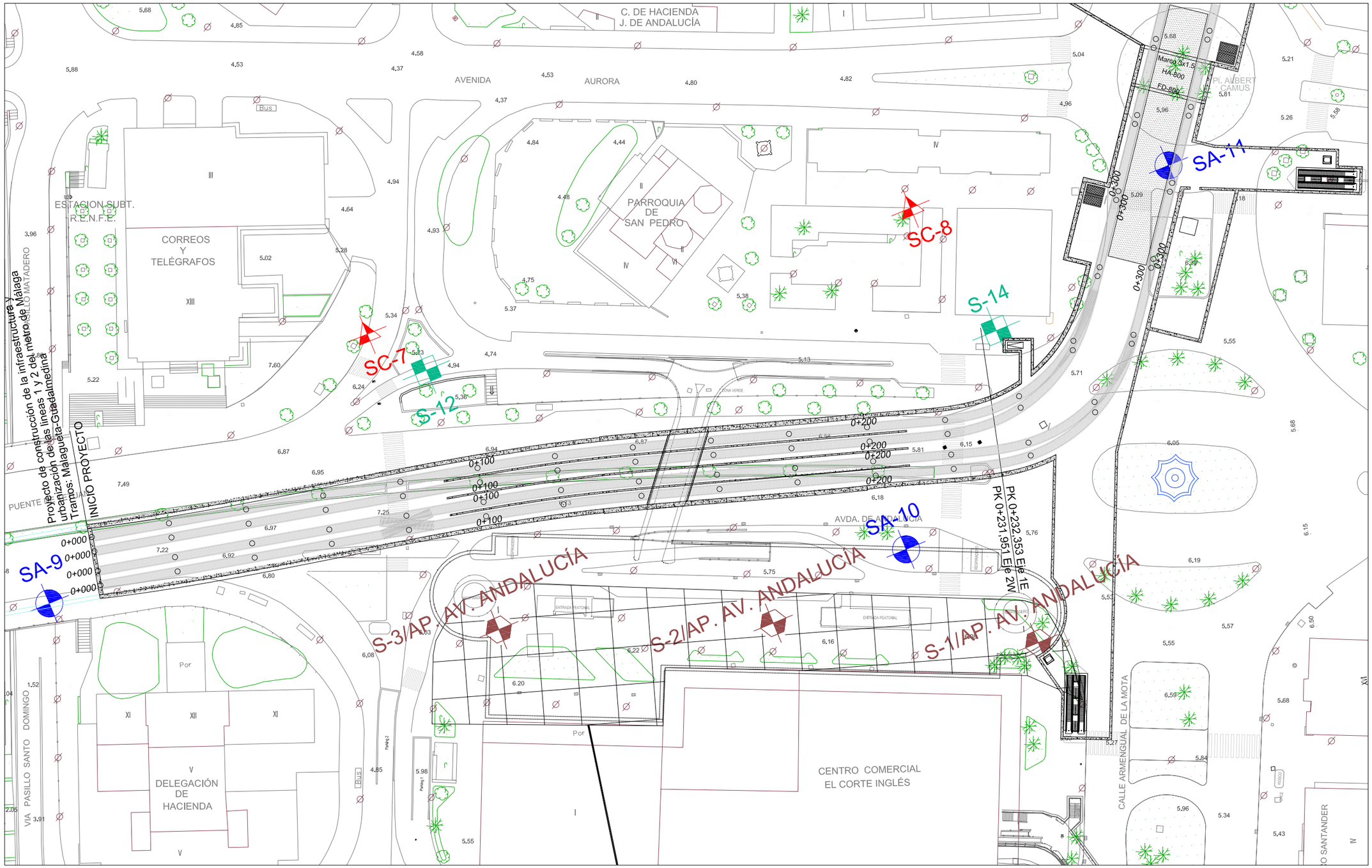
De este modo la resistencia unitaria por punta es dependiente de la profundidad considerada y responde a la expresión:

θ_π = H .30 + 3 . 40= 120 + 30H ton/m^2

En el apéndice XV, se muestra el procedimiento para la obtención de la resistencia unitaria en punta.

Apéndices

Apéndice I
Planta de situación de prospecciones Líneas 1 y 2. Tramos Guadalmedina – RENFE

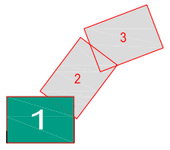


SONDEO ESTUDIO INFORMATIVO.

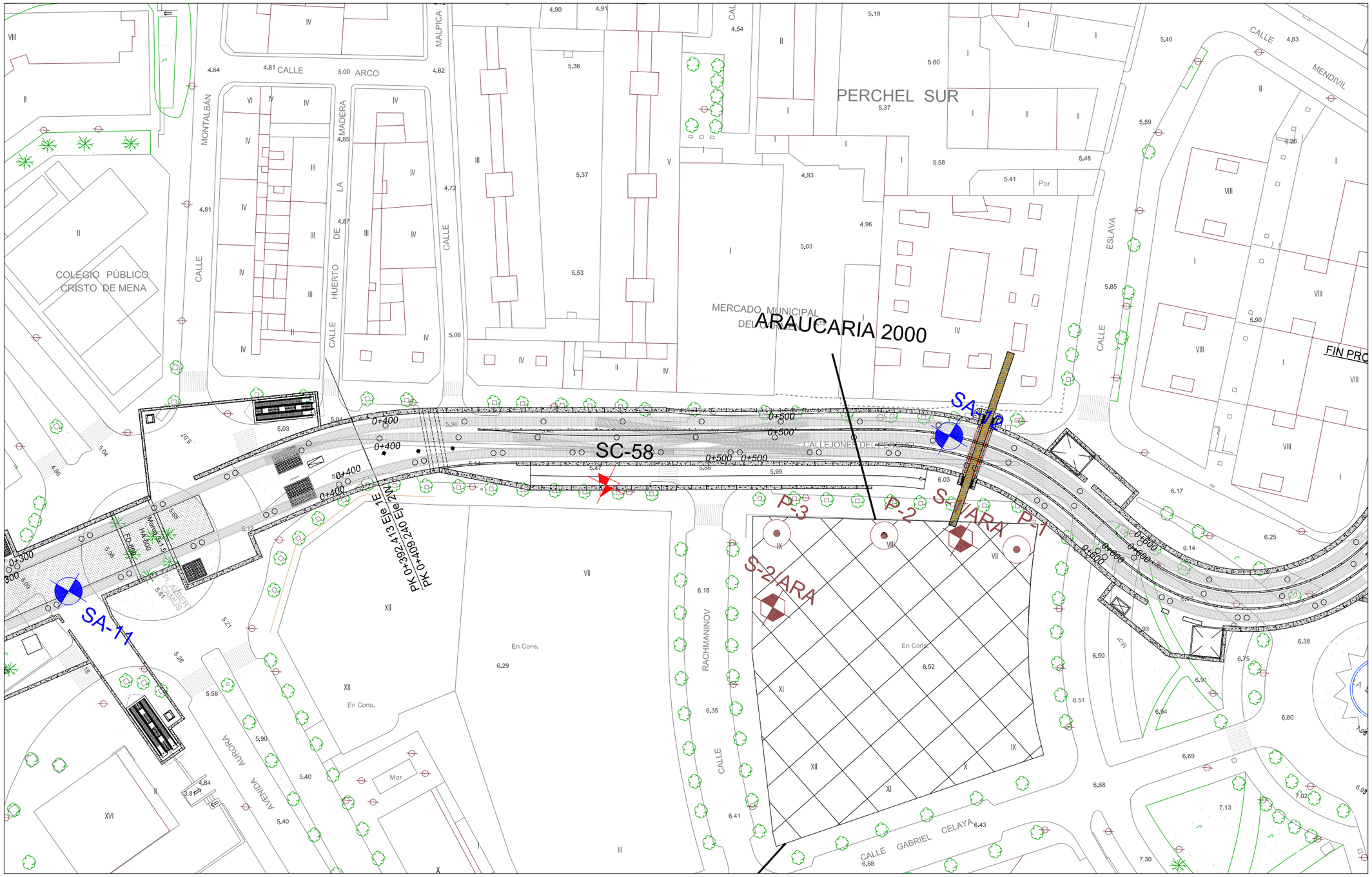
SONDEO ANTEPROYECTO.

SONDEO INFORME GEOTÉCNICO PRÓXIMO A TRAZA.

SONDEO CAMPAÑA COMPLEMENTARIA.



Ferrocarriles de la Junta de Andalucía CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES	INGENIERÍA: ayesa	INGENIEROS AUTORES DEL PROYECTO: D. GINÉS APARICIO SOTO D. JOSÉ LUIS MANZANARES ABASOLO	TÍTULO: PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y URBANIZACIÓN DE LAS LÍNEAS 1 Y 2 DEL METRO DE MÁLAGA. TRAMO: GUADALMEDINA -RENFE	ESCALA: 1:500 (0 5 10 15m) ORIGINAL UNE A1 GRÁFICA	SUSTITUYE A: SUSTITUIDO POR:	FECHA: JUNIO - 2008 EXPEDIENTE: TMM - 6106 / PPR0	TÍTULO DE PLANO: **PLANTA** **SITUACIÓN PROSPECCIONES** NOMBRE DEL FICHERO: A.08.1_PLANTAS_F01.dwg	Nº DE PLANO: **A.08.1** HOJA 1 DE 3

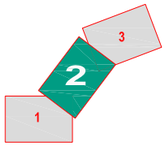


SONDEO ESTUDIO INFORMATIVO.

SONDEO ANTEPROYECTO.

SONDEO INFORME GEOTÉCNICO PRÓXIMO A TRAZA.

SONDEO CAMPAÑA COMPLEMENTARIA.



Ferrocarriles de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES

INGENIERÍA: ayesa

INGENIEROS AUTORES DEL PROYECTO: D. GINÉS APARICIO SOTO — D. JOSÉ LUIS MANZANARES ABASOLO

TÍTULO: PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y URBANIZACIÓN DE LAS LÍNEAS 1 Y 2 DEL METRO DE MÁLAGA. TRAMO: GUADALMEDINA -RENFE

ESCALA: 1:500 (0 5 10 15m) — ORIGINAL UNE A1 | GRÁFICA

SUSTITUYE A: | SUSTITUIDO POR:

FECHA: JUNIO - 2008

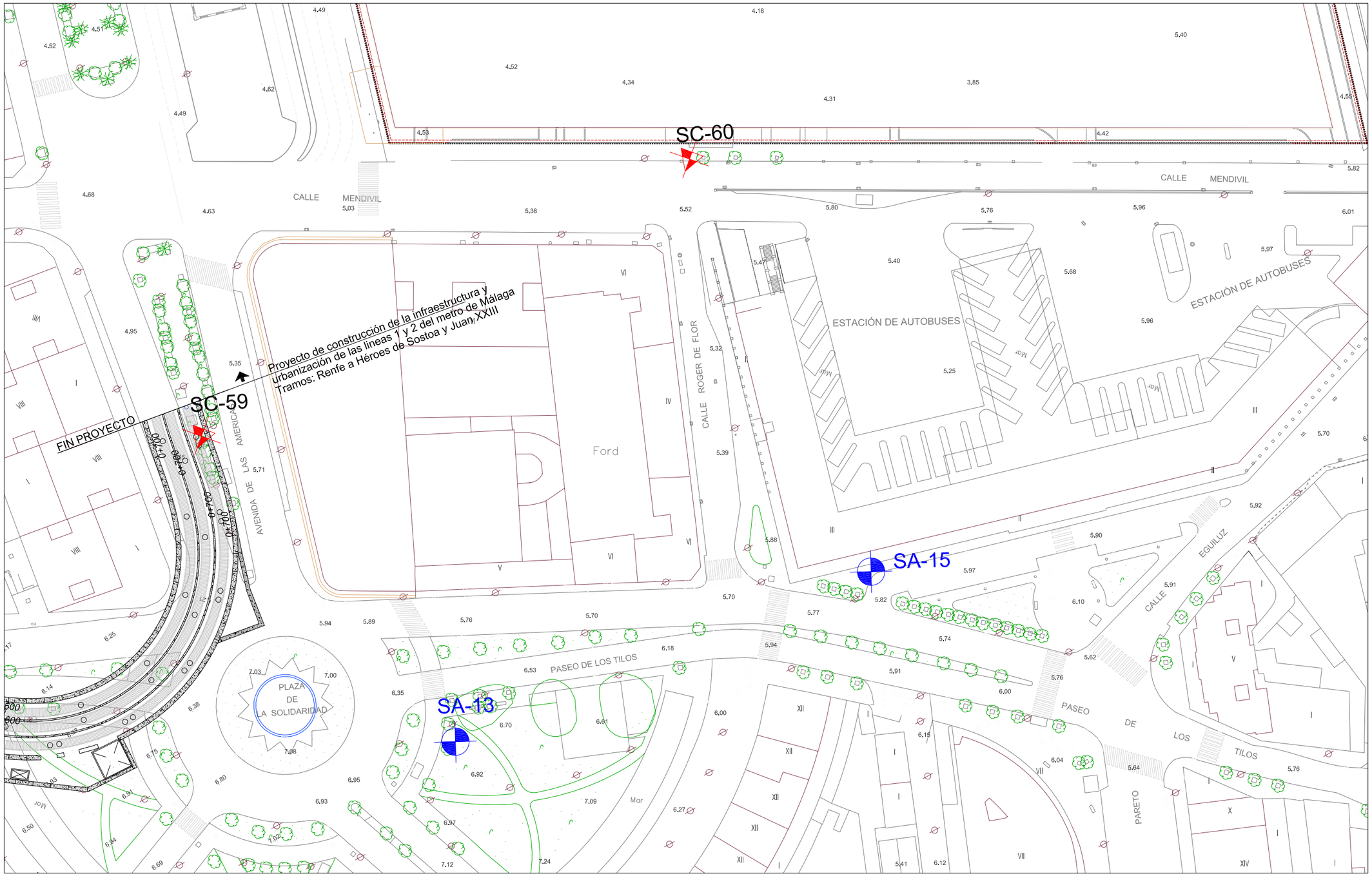
EXPEDIENTE: TMM - 6106 / PPR0

TÍTULO DE PLANO: **PLANTA SITUACIÓN PROSPECCIONES**

NOMBRE DEL FICHERO: A.08.1_PLANTAS_F02.dwg

Nº DE PLANO: A.08.1

HOJA 2 DE 3

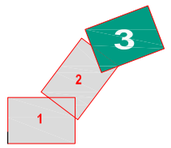


SONDEO ESTUDIO INFORMATIVO.

SONDEO ANTEPROYECTO.

SONDEO INFORME GEOTÉCNICO PRÓXIMO A TRAZA.

SONDEO CAMPAÑA COMPLEMENTARIA.



Ferrocarriles de la Junta de Andalucía CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES	INGENIERÍA: ayesa	INGENIEROS AUTORES DEL PROYECTO: D. GINÉS APARICIO SOTO D. JOSÉ LUIS MANZANARES ABASOLO	TÍTULO: PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y URBANIZACIÓN DE LAS LÍNEAS 1 Y 2 DEL METRO DE MÁLAGA. TRAMO: GUADALMEDINA -RENFE	ESCALA: 1:500 (0 5 10 15m) ORIGINAL UNE A1 GRÁFICA	SUSTITUYE A: SUSTITUIDO POR:	FECHA: JUNIO - 2008 EXPEDIENTE: TMM - 6106 / PPR0	TÍTULO DE PLANO: **PLANTA SITUACIÓN PROSPECCIONES** NOMBRE DEL FICHERO: A.08.1_PLANTAS_F03.dwg	Nº DE PLANO: A.08.1 HOJA 3 DE 3

Apéndice II
Perfil geotécnico Líneas 1 y 2. Tramos Guadalmedina – RENFE

LEYENDA

CUATERNARIO

- Qx RELLENO ANTRÓPICO.
- Dr·G ARENAS Y ARENAS CON GRAVAS.
- Dr-Am ARENAS LIMOSAS Y LIMOS ARENOSOS.
- Dr·Am* ARENAS LIMOSAS Y LIMOS ARENOSOS. SPT ≃ 10

MIO-PLIOCENO

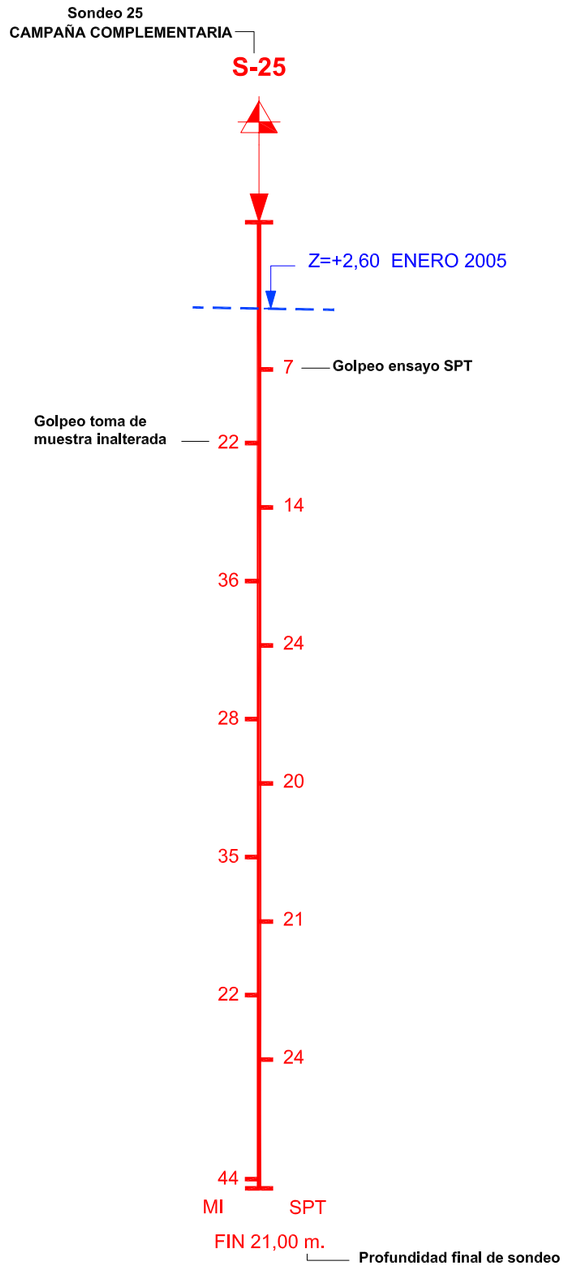
- Ar·Am ARCILLAS Y LIMOS.

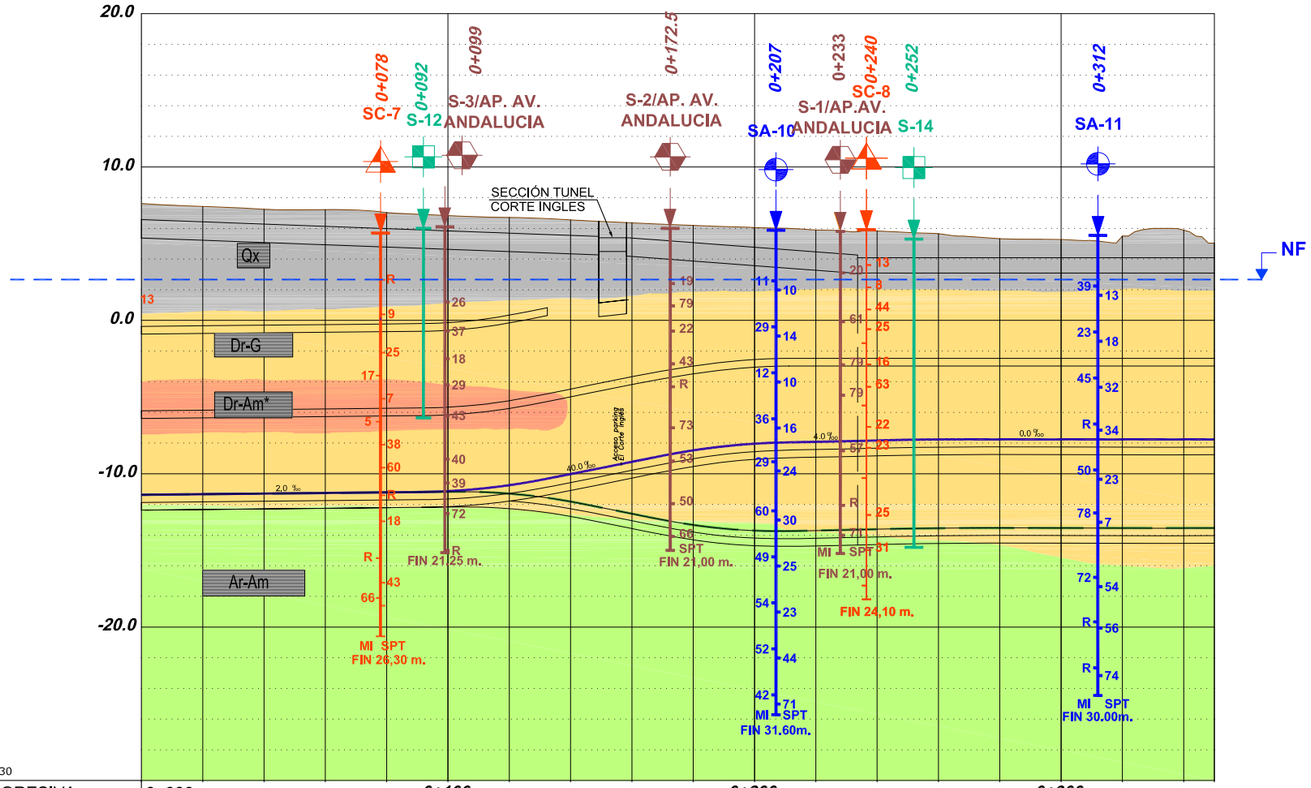
SÍMBOLOS CONVENCIONALES

- CONTACTO.
- NF — NIVEL DE AGUA EN SONDEOS. CAMPAÑA COMPLEMENTARIA ENERO2005
- NIVEL DE AGUA.

PROSPECCIONES REALIZADAS

- SONDEO ESTUDIO INFORMATIVO.
- SONDEO ANTEPROYECTO.
- SONDEO INFORME GEOTÉCNICO PRÓXIMO A TRAZA.
- SONDEO CAMPAÑA COMPLEMENTARIA.





P.C.=-30

PROGRESIVA	0+000					0+100						0+200						0+300			
RASANTE	-11,375	-11,335	-11,295	-11,255	-11,215	-11,137	-10,751	-10,024	-9,224	-8,477	-8,043	-7,916	-7,837	-7,778	-7,760	-7,760	-7,760	-7,760	-7,760	-7,760
TERRENO	7,625	7,427	7,244	7,221	7,028	6,833	6,722	6,550	6,364	6,191	6,060	5,892	5,827	5,657	5,331	5,272	5,500	5,889	5,030	
COTA ROJA	19,000	18,762	18,539	18,476	18,243	17,970	17,472	16,574	15,588	14,668	14,103	13,808	13,664	13,435	13,091	13,032	13,260	13,649	12,790	

Ferrocarriles de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES

INGENIERÍA: ayesa

INGENIEROS AUTORES DEL PROYECTO: D. GINÉS APARICIO SOTO — D. JOSÉ LUIS MANZANARES ABASOLO

TÍTULO: PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y URBANIZACIÓN DE LAS LÍNEAS 1 Y 2 DEL METRO DE MÁLAGA. TRAMO: GUADALMEDINA -RENFE

ESCALA: E. H 1:1.000 (0 10 20 40m.) E.V 1:200 (0 2 4 8m.) ORIGINAL UNE A1 GRÁFICA

SUSTITUYE A:

SUSTITUIDO POR:

FECHA: JUNIO - 2008

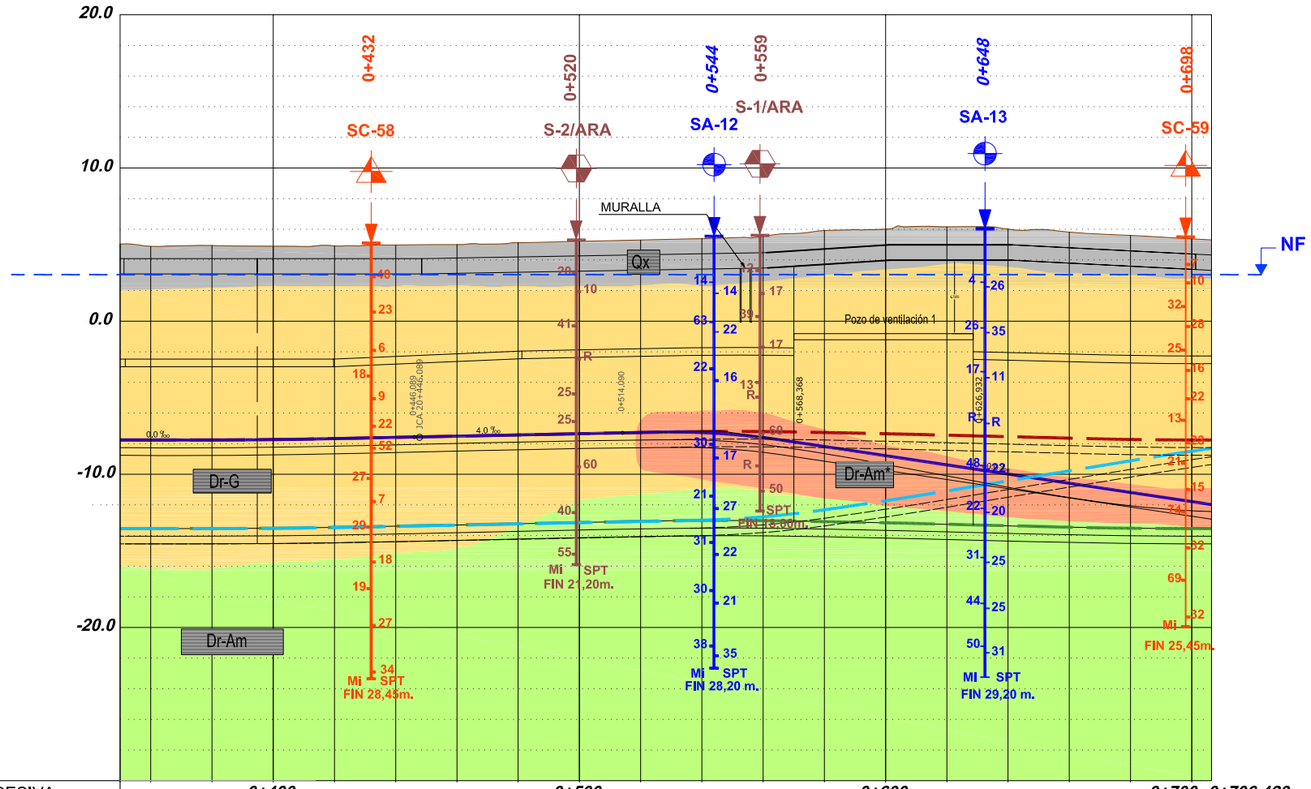
EXPEDIENTE: TMM - 6106 / PPR0

TÍTULO DE PLANO: ANEJO GEOTECNIA PERFIL LONGITUDINAL EJE 1.E

NOMBRE DEL FICHERO: A.08.2_PERFILES_1.01.dwg

Nº DE PLANO: A.08.2

HOJA 2 DE 5



P.C.=-30

PROGRESIVA	0+400								0+500								0+600						0+700	0+706.423
RASANTE	-7,760	-7,760	-7,760	-7,735	-7,670	-7,590	-7,510	-7,430	-7,350	-7,270	-7,276	-7,601	-8,184	-8,784	-9,384	-9,984	-10,584	-11,184	-11,784					
TERRENO	5,030	4,880	4,934	4,888	4,910	4,977	5,000	5,121	5,207	5,298	5,389	5,536	5,921	6,011	6,152	6,015	5,812	5,595	5,374					
COTA ROJA	12,790	12,640	12,694	12,623	12,581	12,567	12,510	12,551	12,557	12,569	12,665	13,137	14,104	14,794	15,536	15,999	16,396	16,779	17,158					

Ferrocarriles de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES

INGENIERÍA: ayesa

INGENIEROS AUTORES DEL PROYECTO: D. GINÉS APARICIO SOTO — D. JOSÉ LUIS MANZANARES ABASOLO

TÍTULO: PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y URBANIZACIÓN DE LAS LÍNEAS 1 Y 2 DEL METRO DE MÁLAGA. TRAMO: GUADALMEDINA -RENFE

ESCALA: E. H 1:1.000 — E.V 1:200 — ORIGINAL UNE A1 — GRÁFICA — 0 10 20 40m. — 0 2 4 8m.

SUSTITUYE A: — SUSTITUIDO POR:

FECHA: JUNIO - 2008

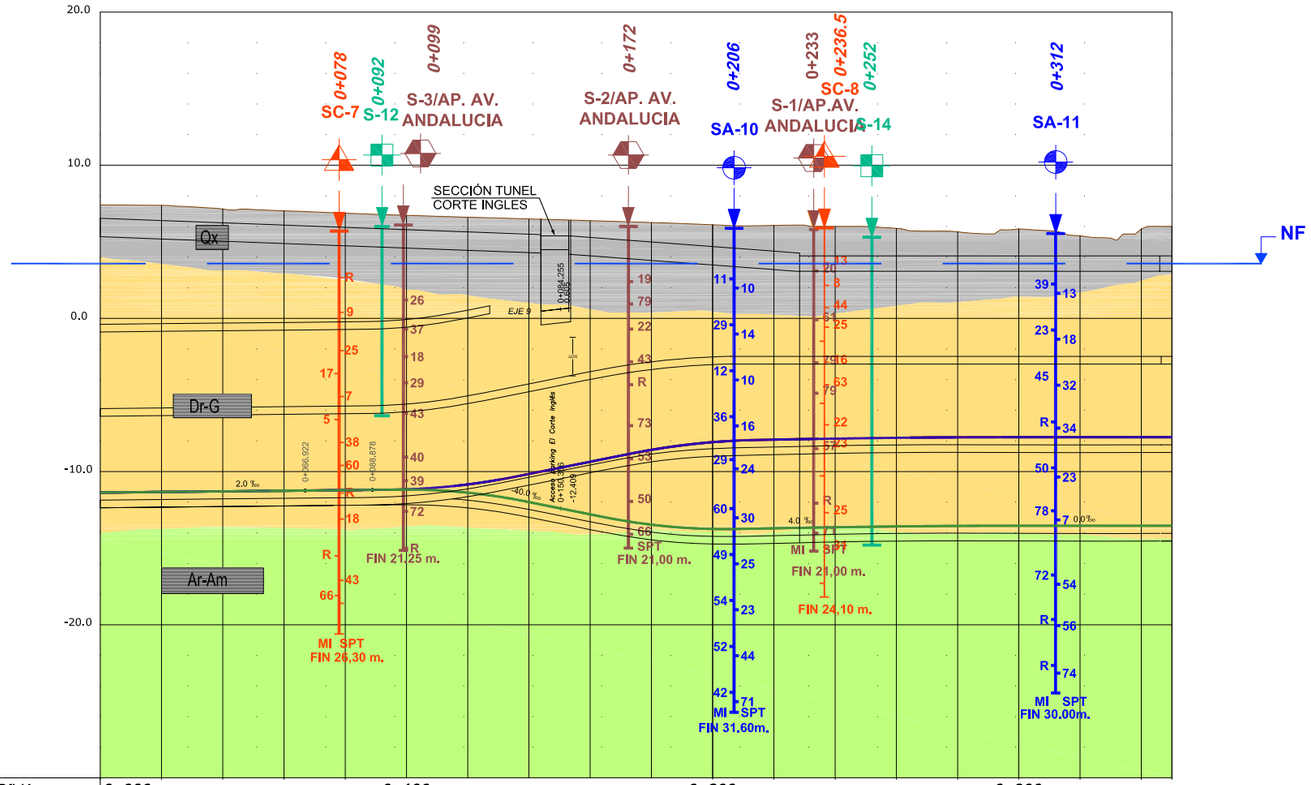
EXPEDIENTE: TMM - 6106 / PPR0

TÍTULO DE PLANO: ANEJO GEOTECNIA PERFIL LONGITUDINAL EJE 1.E

NOMBRE DEL FICHERO: A.08.2_PERFILES_1.02.dwg

Nº DE PLANO: A.08.2

HOJA 3 DE 5



P.C.=-30

PROGRESIVA	0+000					0+100					0+200					0+300			
RASANTE	-11.375	-11.335	-11.295	-11.255	-11.215	-11.161	-11.379	-11.993	-12.795	-13.469	-13.753	-13.706	-13.626	-13.563	-13.540	-13.540	-13.540	-13.540	-13.540
TERRENO	7.411	7.385	7.144	7.018	6.867	6.742	6.617	6.492	6.370	6.248	6.110	6.075	6.000	5.874	5.654	5.844	5.390	5.844	6.000
COTA ROJA	18.786	18.720	18.439	18.273	18.082	17.903	17.996	18.485	19.165	19.717	19.864	19.781	19.626	19.437	19.194	19.384	18.930	19.384	19.540

Ferrocarriles de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES

INGENIERÍA: ayesa

INGENIEROS AUTORES DEL PROYECTO: D. GINÉS APARICIO SOTO — D. JOSÉ LUIS MANZANARES ABASOLO

TÍTULO: PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y URBANIZACIÓN DE LAS LÍNEAS 1 Y 2 DEL METRO DE MÁLAGA. TRAMO: GUADALMEDINA -RENFE

ESCALA: E. H 1:1.000 (0 10 20 40m.) E.V 1:200 (0 2 4 8m.) ORIGINAL UNE A1 GRÁFICA

SUSTITUYE A: SUSTITUIDO POR:

FECHA: JUNIO - 2008

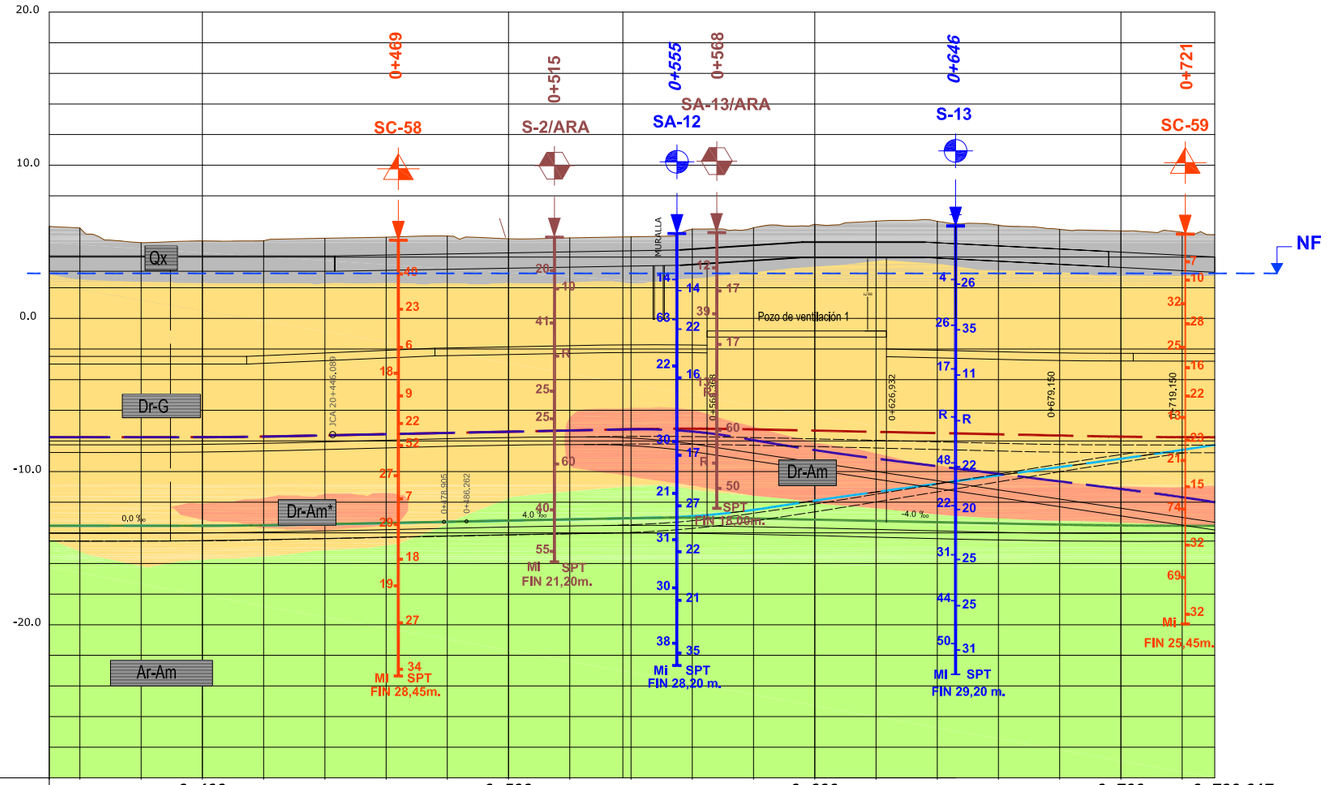
EXPEDIENTE: TMM - 6106 / PPR0

TÍTULO DE PLANO: TUNEL DE LINEA SECCIONES LONGITUDINALES EJE 2.W

NOMBRE DEL FICHERO: A.08.2_PERFILES_2.01.dwg

Nº DE PLANO: 3.4.4

HOJA 4 DE 2



PROGRESIVA	0+400										0+500										0+600										0+700	0+730.617
RASANTE	-13.540	-13.540	-13.540	-13.538	-13.507	-13.438	-13.358	-13.278	-13.198	-13.118	-13.039	-13.012	-13.063	-13.143	-13.223	-13.303	-13.383	-13.463	-13.522	-13.540												
TERRENO	6.000	5.903	4.931	5.054	5.068	5.233	5.301	5.371	5.200	5.254	5.327	5.830	5.919	6.150	6.351	6.332	6.084	5.813	5.714	5.620												
COTA ROJA	19.540	19.443	18.471	18.593	18.576	18.671	18.658	18.648	18.397	18.372	18.366	18.841	18.982	19.294	19.574	19.636	19.467	19.277	19.236	19.160												

Ferrocarriles de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES

INGENIERÍA: ayesa

INGENIEROS AUTORES DEL PROYECTO:
D. GINÉS APARICIO SOTO — D. JOSÉ LUIS MANZANARES ABASOLO

TÍTULO:
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y URBANIZACIÓN DE LAS LÍNEAS 1 Y 2 DEL METRO DE MÁLAGA. TRAMO: GUADALMEDINA -RENFE

ESCALA:
E. H 1:1.000 — 0 10 20 40m.
E.V 1:200 — 0 2 4 8m.
ORIGINAL UNE A1 | GRÁFICA

SUSTITUYE A:
SUSTITUIDO POR:

FECHA: JUNIO - 2008
EXPEDIENTE: TMM - 6106 / PPR0

TÍTULO DE PLANO:
TUNEL DE LINEA
SECCIONES
LONGITUDINALES EJE 2.W

NOMBRE DEL FICHERO: A.08.2_PERFILES_2.02.dwg

Nº DE PLANO: 3.4.4

HOJA 5 DE 2

Apéndice III
Ensayos geotécnicos de campo del Estudio Informativo

LEYENDA

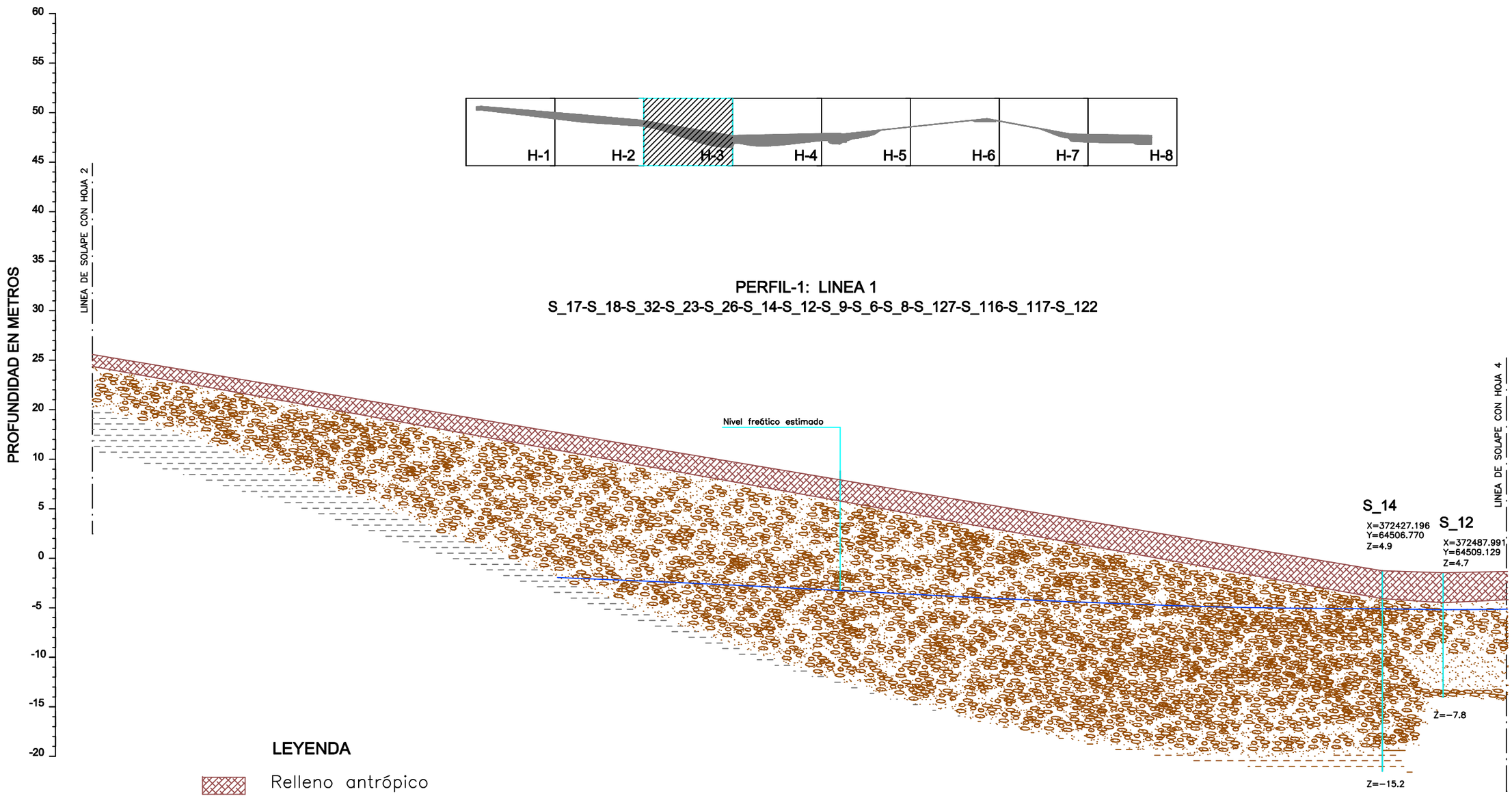
- *Relleno antrópico*
- *Arenas limosas con restos de bioclastos. Color marrón*
- *Arenas con gravas y bolos. Color marrón*
- *Limos con lentes arenosas y arcillosas. Color marrón*
- *Arcillas con lentes limosas y niveles arenosos y conglomeráticos. Presenta restos de bioclastos. Color marrón.*
- *Arcillas con lentes limosas y niveles arenosos y conglomeráticos. Presenta restos de bioclastos. Color gris.*
- *Arcillas y limos orgánicos. Color gris (Fangos)*
- *Travertinos. Color marrón claro.*
- *Filitas y/o pizarras. Color gris.*
- *Calizas. Color blanco*
- *Nivel freático*

NOTA:

La situación en planta de los perfiles se refleja en el plano nº2 (Situación de Sondeos y Perfiles)

PLATAFORMA TRANSPORTE PUBLICO COSTA DEL SOL OCCIDENTAL (T-MA0002/PE10) Y METRO DE MALAGA (T-MA0003)

TITULO DEL PLANO: PERFILES GEOLOGICOS LEYENDA GENERAL	FECHA: MAYO 2002
	ESCALA: S/E
CONSULTOR: cemosa Ingeniería y Control	AUTOR DEL PROYECTO:
	PLANO Nº:
	HOJA Nº: 1 de 1



LEYENDA

- Relleno antrópico
- Arenas limosas
- Arenas con gravas
- Arcillas marrones
- Arcillas grises
- Limos
- Filitas y/o pizarras
- Calizas

PLATAFORMA TRANSPORTE PUBLICO COSTA DEL SOL OCCIDENTAL (T-MA0002/PE10) Y METRO DE MALAGA (T-MA0003)

TITULO DEL PLANO: PERFIL GEOLOGICO PERFIL-1: LINEAS 1 Y 4	FECHA: MAYO 2002
	ESCALA: H=1/4000 V=1/400
CONSULTOR: cemosa Ingeniería y Control	AUTOR DEL PROYECTO:
	PLANO Nº: 01
	HOJA Nº: 3 de 8

Apéndice IV
Ensayos geotécnicos de campo del Anteproyecto

Apéndice IV.1
Sondeos

SONDEO	P.K.	LÍNEA	PROFUNDIDAD (m)	COORDENADAS U.T.M.			MUESTRAS					
				X	Y	Z	MI	SPT	TP	LF	PR	M.A.
SR-1	0+005	L-1	22,40	374034,73	4064917,93	6,5	3	3	1	1	-	1
SR-2	0+064	L-1	18,20	373934,25	4065007,24	6,0	3	3	4	-	1	1
SR-3	0+254	L-1	26,70	373738,09	4064932,28	5,5	2	2	6	1	-	1
SR-4	0+540	L-1	20,00	373486,46	4064846,84	4,5	4	5	2	1	1	1
SR-5	0+658	L-1	27,00	373368,44	4064805,38	4,5	3	5	2	1	-	1
SR-6	0+118	L-1	22,00	373897,92	4064826,59	2,0	1	3	1	1	-	1
SR-7	0+885	L-1	30,70	373146,76	4064730,42	3,5	6	10	-	1	-	1
SR-8	1+228	L-1	29,20	372815,03	4064636,33	7,0	7	9	-	3	1	1
SR-9	1+330	L-1	27,40	372732,10	4064628,35	6,5	9	9	-	1	-	1
SR-10	1+547	L-1	31,60	372512,02	4064631,54	6,0	10	10	-	1	-	1
SR-11	1+640	L-1	28,97	372438,65	4064539,04	5,0	9	9	-	-	2	1
SR-12	1+912	L-1	28,20	372320,64	4064346,07	5,0	8	8	-	1	-	1
SR-13	2+035/0+042	L-1 / L-2	29,20	372156,37	4064303,01	5,5	9	9	-	1	-	1
SR-14	0+275	L-2	28,50	372342,97	4064084,52	4,5	8	9	-	1	2	1
SR-15	2+182	L-1	28,40	372067,58	4064232,16	5,5	7	9	-	2	-	1
SR-16	2+331	L-1	33,50	371900,12	4064226,70	6,0	10	10	-	1	-	1
SR-17	2+582	L-1	28,20	371652,57	4064172,10	7,5	9	9	-	1	2	1
SR-18	2+780	L-1	30,85	371463,27	4064104,75	8,5	10	10	-	1	-	1
SR-19	2+875	L-1	29,50	371364,98	4064117,49	9,0	7	8	1	2	-	1
SR-20	3+324	L-1	29,60	370966,35	4064062,88	15,5	9	9	-	1	2	1
SR-21	3+415	L-1	31,40	370911,74	4064164,81	17,0	9	9	-	1	-	1
SR-22	3+778	L-1	28,20	370746,10	4064488,81	25,5	9	9	-	2	-	1
SR-23	3+974	L-1	25,16	370711,52	4064687,22	29,5	8	8	-	1	-	1
SR-24	4+176	L-1	27,50	370720,62	4064892,90	34,5	8	8	-	-	2	1
SR-25	4+491	L-1	25,30	370382,06	4064914,74	40,5	7	7	1	1	-	1
SR-26	4+653	L-1	25,20	370194,58	4064991,14	44,5	8	8	-	1	-	1
SR-27	4+906	L-1	29,12	369960,97	4064806,70	39,5	9	9	-	1	-	1
SR-28	5+061	L-1	34,16	369827,34	4064792,74	43,0	11	11	-	1	-	1
SR-29	5+850	L-1	28,20	369095,66	4064734,90	42,0	9	9	-	1	-	1
SR-30	0+386	L-2	31,20	372266,41	4063990,42	3,5	9	10	-	1	-	-
SR-31	0+574	L-2	29,80	372149,99	4063840,51	3,5	10	9	-	1	3	1
SR-32	0+858	L-2	30,20	371909,22	4063662,43	3,5	8	10	-	1	-	1
SR-33	1+442	L-2	30,00	371508,77	4063261,99	4,5	7	7	-	1	3	1
SR-34	1+895	L-2	28,70	371201,16	4062947,09	4,5	8	8	-	1	-	1
SR-35	2+190	L-2	33,16	370955,43	4062772,35	4,5	11	11	-	1	-	1
SR-36	2+668	L-2	32,20	370584,10	4062439,25	4,0	10	10	-	-	-	1
SR-37	3+161	L-2	28,70	370269,21	4062126,17	6,0	9	9	-	1	-	1
SR-38	3+548	L-2	31,20	369934,29	4061842,22	7,5	9	10	-	1	-	1

Cuadro 3.1.I.- Características de los sondeos mecánicos realizados.

NIVEL FREÁTICO	
Sondeo	Profundidad (m)
SR-1	7,30
SR-2	5,50
SR-3	5,40
SR-4	5,00
SR-5	2,30
SR-6	1,50
SR-7	3,40
SR-8	6,05
SR-9	6,00
SR-10	5,00
SR-11	3,90
SR-12	4,80
SR-13	5,00
SR-14	3,00
SR-15	4,00
SR-16	5,14
SR-17	9,80
SR-18	7,00
SR-19	7,50
SR-20	10,50
SR-21	11,50
SR-22	10,50
SR-23	21,00
SR-24	6,80
SR-25	7,70
SR-26	15,00
SR-27	19,80
SR-28	6,50
SR-29	11,05
SR-30	3,00
SR-31	0,80
SR-32	3,82
SR-33	3,70
SR-34	4,00
SR-35	3,60
SR-36	4,00
SR-37	4,00
SR-38	4,10

Y dichos niveles fueron medidos de nuevo en fechas posteriores, con estos resultados:

SONDEO	Nivel Freático (m.)	Fecha medida	Nivel Freático (m.)	Fecha medida	Nivel Freático (m.)	Fecha medida
SR-1	6,89	15/01/03	7,03	29/01/03	6,78	26/02/03
SR-2	6,37	15/01/03	6,48	29/01/03	6,28	26/02/03
SR-3	5,35	15/01/03	5,46	29/01/03	5,24	26/02/03
SR-4	4,21	15/01/03	4,25	29/01/03	4,12	26/02/03
SR-5	3,65	15/01/03	3,70	29/01/03	3,63	26/02/03
SR-6	1,41	15/01/03	1,65	29/01/03	1,48	27/02/03
SR-7	2,81	15/01/03	2,92	29/01/03	2,79	26/02/03
SR-8	6,03	15/01/03	6,00	29/01/03	5,98	26/02/03
SR-9	6,28	15/01/03	6,27	29/01/03	6,25	26/02/03
SR-10	4,64	15/01/03	4,68	29/01/03	4,66	26/02/03
SR-11	3,98	15/01/03	3,99	29/01/03	4	26/02/03
SR-12	4,31	15/01/03	4,30	29/01/03	4,33	26/02/03
SR-13	4,68	15/01/03	4,70	29/01/03	4,7	26/02/03
SR-14	2,69	14/01/03	2,75	29/01/03	2,82	26/02/03
SR-15	4,02	15/01/03	4,03	29/01/03	4,05	26/02/03
SR-16	4,52	15/01/03	4,53	29/01/03	4,53	26/02/03
SR-17	5,32	15/01/03	5,36	29/01/03	5,35	26/02/03
SR-18	6,22	15/01/03	Bloqueado.	29/01/03	Bloqueado	26/02/03
SR-19	7,38	15/01/03	7,83	29/01/03	7,35	26/02/03
SR-20	5,15	15/01/03	4,98	29/01/03	5,02	26/02/03
SR-21	11,33	15/01/03	11,22	29/01/03	11,22	26/02/03
SR-22	10,38	14/01/03	10,39	29/01/03	10,3	26/02/03
SR-23	6,86	14/01/03	Bloqueado.	29/01/03	3,78	26/02/03
SR-24	6,13	14/01/03	6,25	30/01/03	6,24	26/02/03
SR-25	Bloqueado.		6,16	30/01/03	6,05	26/02/03
SR-26	4,46	14/01/03	4,79	30/01/03	0,69	26/02/03
SR-27	4,52	15/01/03	4,46	29/01/03	3,78	26/02/03
SR-28	6,28	14/01/03	6,28	29/01/03	6,34	26/02/03
SR-29	11,17	14/01/03	11,17	30/01/03	11,24	26/02/03
SR-30	2,58	14/01/03	Bloqueado.	30/01/03	Bloqueado	27/02/03
SR-31	2,38	14/01/03	Bloqueado.	30/01/03	2,06	27/02/03
SR-32	2,3	14/01/03	2,34	30/01/03	2,25	27/02/03
SR-33	Bloqueado.		Bloqueado.	30/01/03	Bloqueado	27/02/03
SR-34	3,53	14/01/03	3,58	30/01/03	3,34	27/02/03
SR-35	4,86	14/01/03	3,94	30/01/03	3,71	27/02/03
SR-36	2,39	14/01/03	2,48	30/01/03	2,25	27/02/03
SR-37	3,6	14/01/03	3,80	30/01/03	2,42	27/02/03
SR-38	4,27	14/01/03	4,42	29/01/03	4,14	27/02/03

3.3.3. Ensayos Presiométricos

Los resultados de los ensayos presiométricos realizados se presentan en el anejo nº 4.

cemosa Ingeniería y Control

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: GIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 31,60 m
Fecha: 02/12/2002 — 04/12/2002 (hasta 31,60 m)

Sondeo Nº: 10 — Hoja 1 de 4

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)
0,0		101	Aglomerado asfáltico.		0,10		
		101	Relleno antrópico. Arenas arcillosas, limos, algunos bolos y restos cerámicos.		4,30		
5,0	5,0	101	Arenas finas a medias con indicios de gravas y algunos niveles de arenas limosas. Color gris oscuro.		1,20		
		101	Arenas y gravas de color gris oscuro.		1,70		
		101	Limos arenosos de color gris oscuro.		0,60		
8,0		101	Arenas limosas con indicios de gravas. Color marrón grisáceo.		2,10		

Ensayos de campo

Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados
M.I.	3 - 3,5	4 - 5 - 6 - 5
S.P.T.	3,8 - 4,2	3 - 4 - 6 - 10
M.I.	6 - 6,5	8 - 12 - 17 - 16
S.P.T.	6,8 - 7,2	8 - 8 - 6 - 7
M.I.	9 - 9,5	5 - 6 - 6 - 5
S.P.T.	9,6 - 10,2	3 - 4 - 6 - 6

Ensayos de laboratorio

Tipo	% Pasa #4	% Pasa #40	% Pasa #200	Plasticidad L.L.	Plasticidad L.P.	Plasticidad I.P.	Humedad (%)	Dens.Seca (T/m³)	Clasificaciones USCS	Clasificaciones HRB	Clasificaciones IG	Res. al corte C(kp/cm²)	Res. al corte φ(º)	RCS Kp/cm²	RCS ε(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)
M.I.	100	51,5	36	34,8	22,7	12,1	21,9%	1,78	SC	A-6	0,6							0,1%	1,6%
M.I.	100	98	3,5				26,6%	1,66	SP	A-1-b	0							0,0%	0,1%
M.I.	100	27,2	5,8				20,4%	1,7	SP-SM	A-1-b	0							0,0%	

M.I.: Muestra inalterada — S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar — T.P.: Testigo parafinado — E.S.: Esclerómetro Schmidt — T.T.: Tilt Test — D.M.: Dureza martillo — P.R.: Presiómetro
M.A.: Muestra alterada — V.T.: Vane test (kp/cm2) — P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2) — M.F.: Muestra PLT — F.R.: Fin de revestimiento — L.G.: Ensayo Lugeon — L.F.: Ensayo

cemosa Ingeniería y Control

Sondeo Nº: 10 Hoja 2 de 4

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: GIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 31,60 m
Fecha: 02/12/2002 04/12/2002 (hasta 31,60 m)

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)
10,0		101	Arenas limosas con indicios de gravas. Color marrón grisáceo.		0,25		
		101	Limos algo arcillosos con algún nivel arenoso. Color marrón oscuro.		0,85		
11,0							
		101	Graves gruesas y bolos con niveles de arenas limosas. Color marrón.		2,50		
12,0							
13,0							
		88	Arenas arcillosas con niveles de gravas. Color marrón.		5,70		
14,0							
15,0							
16,0							
17,0							
18,0							
19,0							
		88	Arcillas con algo de limos de color marrón.		0,70		

Ensayos de campo

Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados
M.I.	12 - 12,6	4 - 24 - 12 - 12
S.P.T.	12,6 - 13,2	3 - 6 - 10 - 13
M.I.	14,8 - 15,4	7 - 12 - 17 - 19
S.P.T.	15,4 - 16	10 - 12 - 12 - 18
M.I.	18 - 18,6	31 - 31 - 29 - 33
S.P.T.	18,6 - 19,2	19 - 12 - 16 - 17

Ensayos de laboratorio

Intervalo Prof. (m)	% Pasa #4	% Pasa #40	% Pasa #200	Plasticidad L.L.	Plasticidad L.P.	Plasticidad I.P.	Humedad (%)	Dnad.Seca (T/m³)	Clasificaciones USCS	Clasificaciones HRB	Clasificaciones IG	Res. al corte C(kg/cm²)	Res. al corte φ(º)	RCS Kp/cm²	RCS ε(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)
12 - 12,6	100	41,6	14,7				11,8%	2,01	SM	A-1-b	0							0,0%	
14,8 - 15,4	100	99	16,2	26,1	19,4	6,7	14,5%	1,97	SM-SC	A-2-4	0							0,0%	

M.I.: Muestra inalterada
M.A.: Muestra alterada
S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar
V.T.: Vane test (kp/cm2)
T.P.: Testigo parafinado
P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2)
E.S.: Esclerómetro Schmidt
M.F.: Muestra PLT
T.T.: Tilt Test
F.R.: Fin de revestimiento
D.M.: Dureza marfilo
L.G.: Ensayo Lugeon
P.R.: Presiómetro
L.P.: Ensayo

cemosa
Ingeniería y Control

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: GIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 31,60 m
Fecha: 02/12/2002 — 04/12/2002 (hasta 31,60 m)

Sondeo Nº: 10 — Hoja 3 de 4

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)
20,0		66	Arcillas con algo de limos de color marrón.		0,60		
		66	Arcillas con bastantes limos de color gris.		9,40		
21,0							
22,0							
23,0							
24,0							
25,0							
26,0							
27,0							
28,0							
29,0							

Ensayos de campo

Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados
M.I.	21 - 21,6	11 - 19 - 30 - 37
S.P.T.	21,6 - 22,2	6 - 10 - 15 - 20
M.I.	24 - 24,6	12 - 21 - 33 - 47
S.P.T.	24,6 - 25,2	6 - 10 - 13 - 20
M.I.	27 - 27,6	16 - 22 - 30 - 41
S.P.T.	27,6 - 28,2	12 - 18 - 26 - 29

Ensayos de laboratorio

Tipo	% Pasa #4	% Pasa #40	% Pasa #200	Plasticidad L.L.	Plasticidad L.P.	Plasticidad I.P.	Humedad (%)	Dded.Seca (T/m³)	Clasificaciones USCS	Clasificaciones HRB	Clasificaciones IG	Res. al corte C(kp/cm²)	Res. al corte φ(º)	RCS Kp/cm²	RCS ε(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)
M.I.	100	99,6	90,7	34,2	18,3	15,9	19,1%	1,8	CL	A-6	14	0,9	35,8	8,55	10,2%			0,0%	
M.I.	100	99,6	87,8	26,7	18,4	8,3	17,8%	1,85	CL	A-4	3,5			4,59	13,2%				

M.I.: Muestra inalterada — S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar — T.P.: Testigo parafinado — E.S.: Esclerómetro Schmidt — T.T.: Tilt Test — D.M.: Dureza martillo — P.R.: Presiómetro
M.A.: Muestra alterada — V.T.: Vane test (kp/cm2) — P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2) — M.F.: Muestra PLT — F.R.: Fin de revestimiento — L.G.: Ensayo Lugeon — L.F.: Ensayo

cemosa Ingeniería y Control

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: CIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 31,60 m
Fecha: 02/12/2002 — 04/12/2002 (hasta 31,60 m)

Sondeo Nº: 10 — Hoja 4 de 4

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)	Ensayos de campo: Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados	Ensayos de laboratorio: % Pasa #4	% Pasa #40	% Pasa #200	Plasticidad L.L.	Plasticidad L.P.	Plasticidad I.P.	Humedad (%)	Dnad Seca (T/m³)	Clasificaciones USCS	Clasificaciones HRB	Clasificaciones IG	Res. al corte C(kp/cm²)	Res. al corte δ(º)	RCS Kp/cm²	RCS ε(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)
30,0		86	Arcillas con bastantes limos de color gris.		1,60			M.I.	30 - 30,6	12 - 17 - 25 - 39	100	99,6	78,9	26,5	18,6	7,9	19,2%	1,76	CL	A-4	3,9	1,49	29,4	5,8	12,0%			0,0%	
								S.P.T.	30,6 - 31,1	18 - 29 - 42 - 50																			
31,0																													
32,0																													
33,0																													
34,0																													
35,0																													
36,0																													
37,0																													
38,0																													
39,0																													

M.I.: Muestra inalterada — S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar — T.P.: Testigo parafinado — E.S.: Esclerómetro Schmidt — T.T.: Tilt Test — D.M.: Dureza martillo — P.R.: Presiómetro
M.A.: Muestra alterada — V.T.: Vane test (kp/cm2) — P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2) — M.P.: Muestra PLT — F.R.: Fin de revestimiento — L.G.: Ensayo Lugeon — L.F.: Ensayo

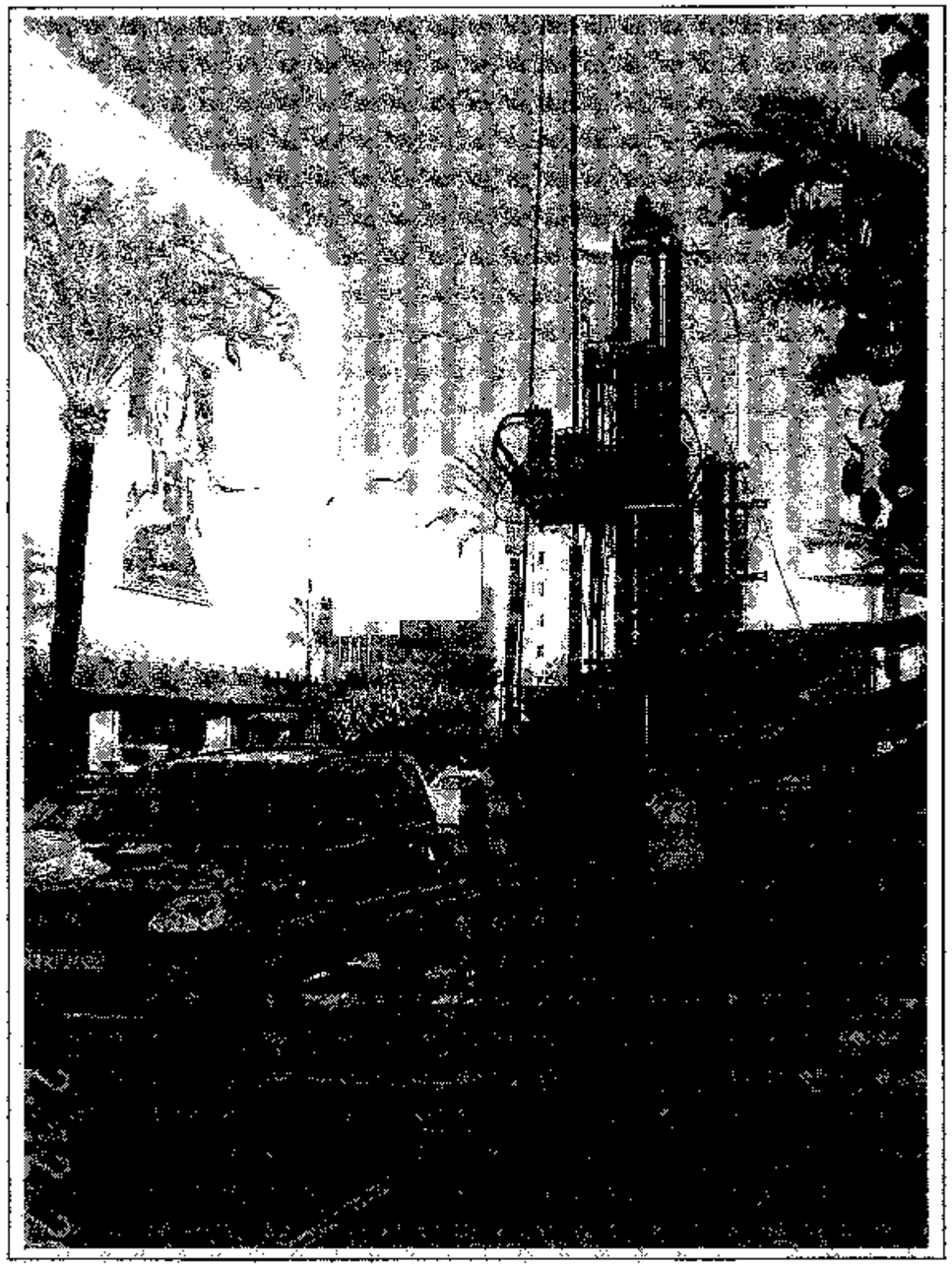
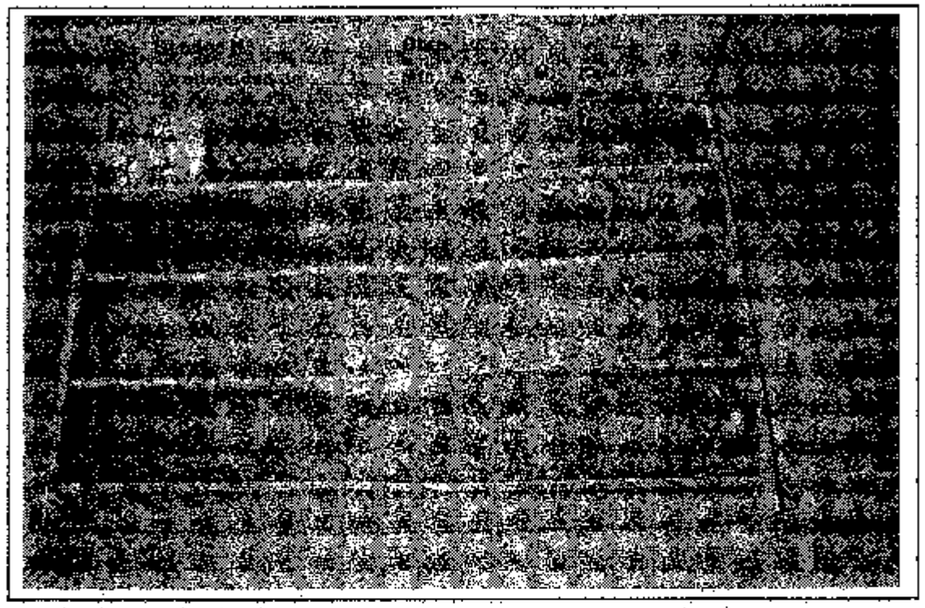


FOTO Nº 1: SONDEO SR-10



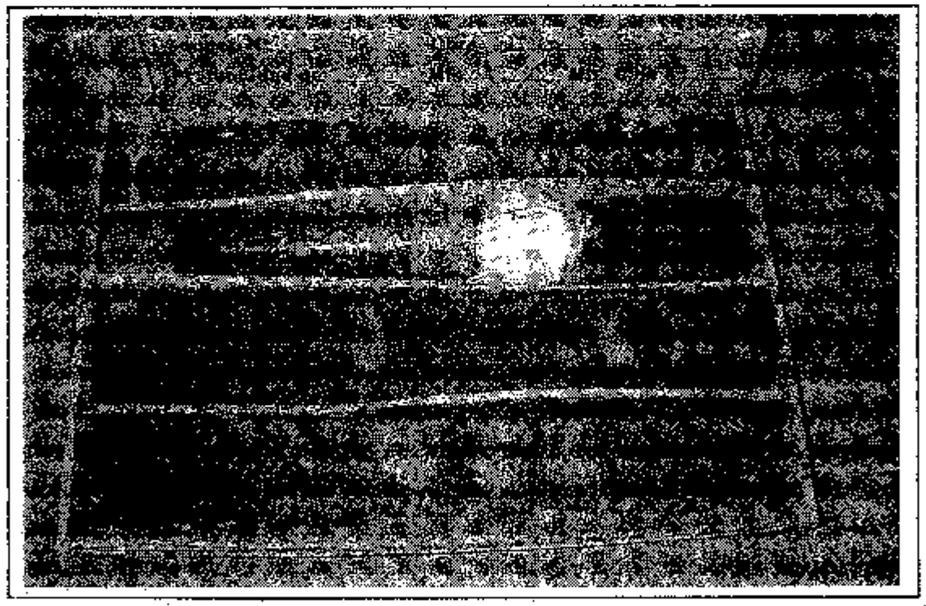
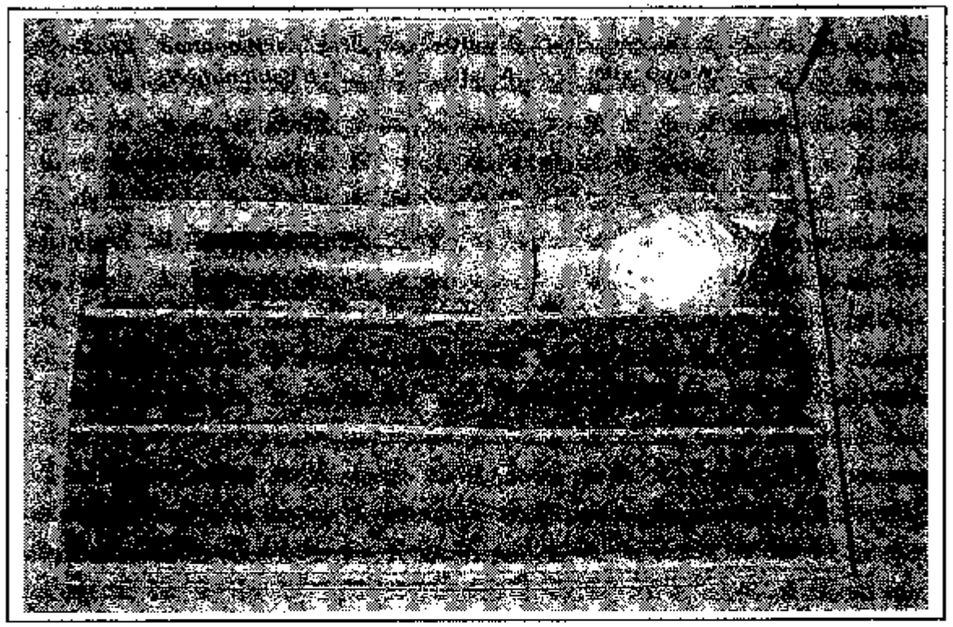


FOTO N° 2: SONDEO SR-10 DE 0,00 A 2,40 m.
FOTO N° 3: SONDEO SR-10 DE 2,40 A 5,60 m.



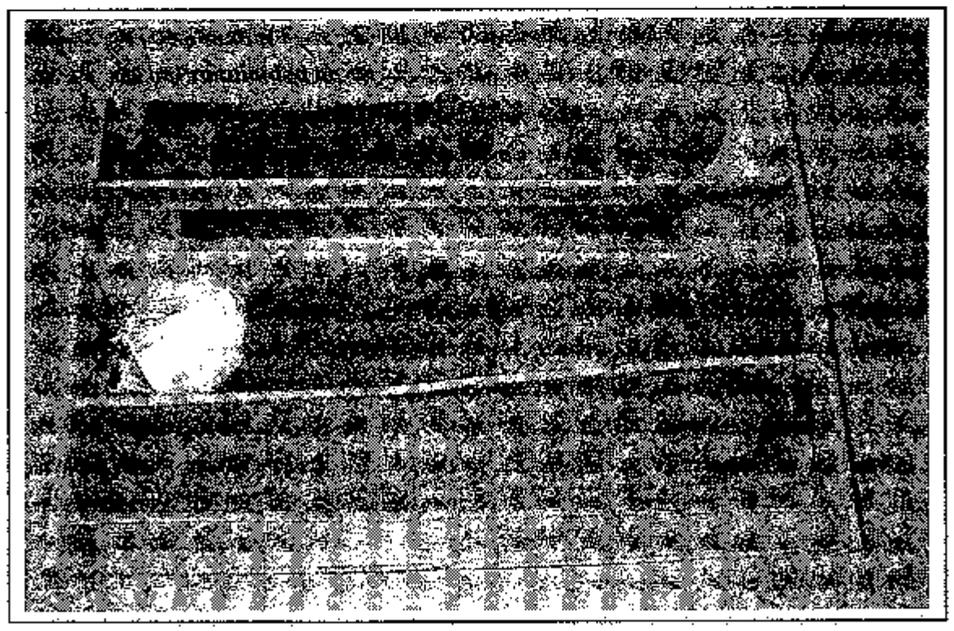
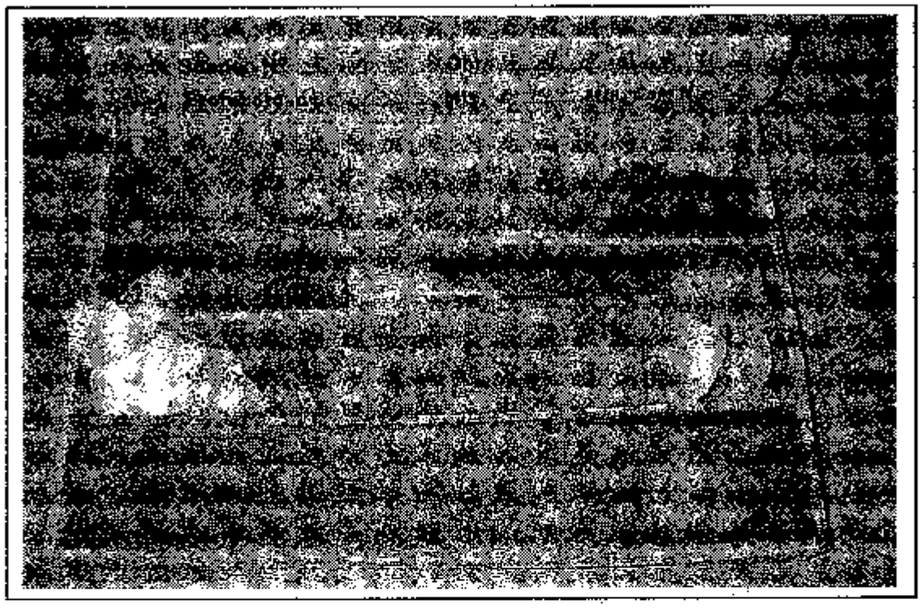


FOTO N° 4: SONDEO SR-10 DE 5,60 A 8,50 m.
FOTO N° 5: SONDEO SR-10 DE 8,50 A 11,20 m.



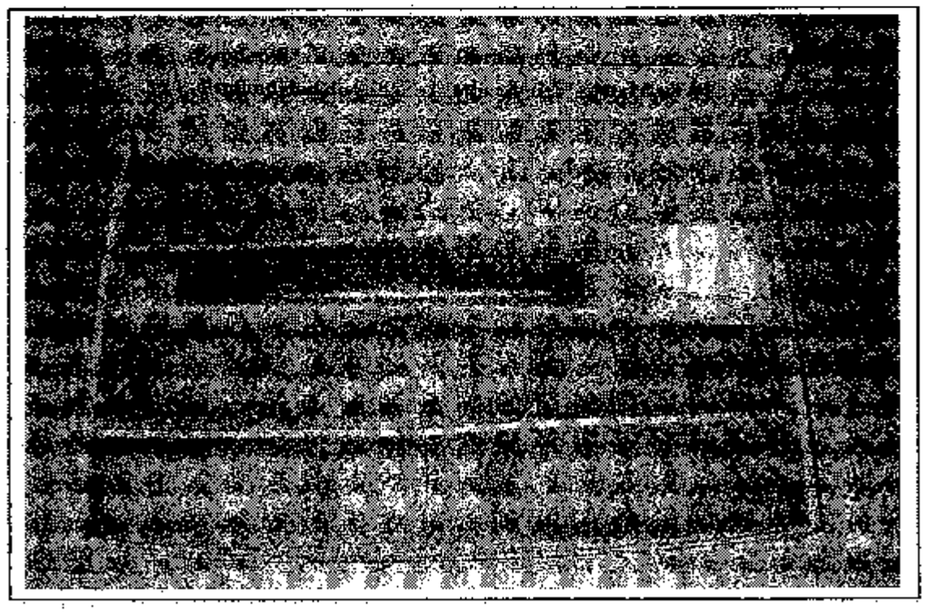
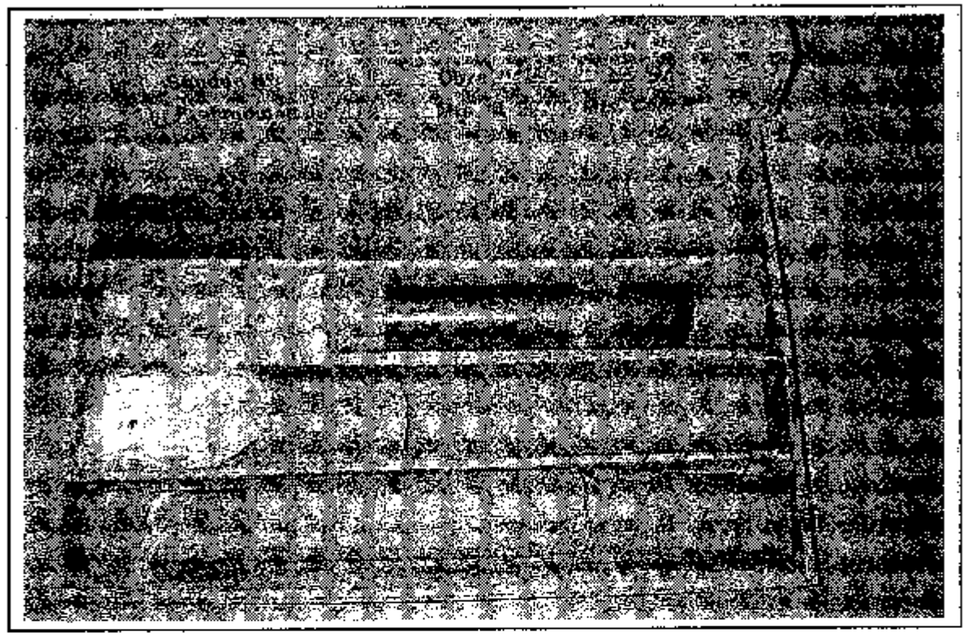


FOTO N° 6: SONDEO SR-10 DE 11,20 A 14,20 m.
FOTO N° 7: SONDEO SR-10 DE 14,20 A 17,20 m.



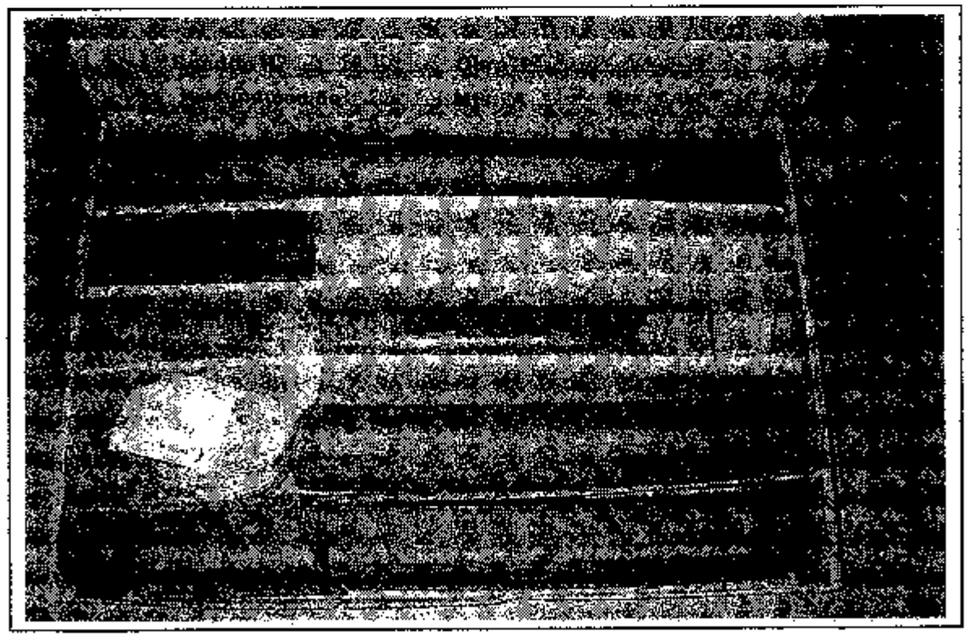
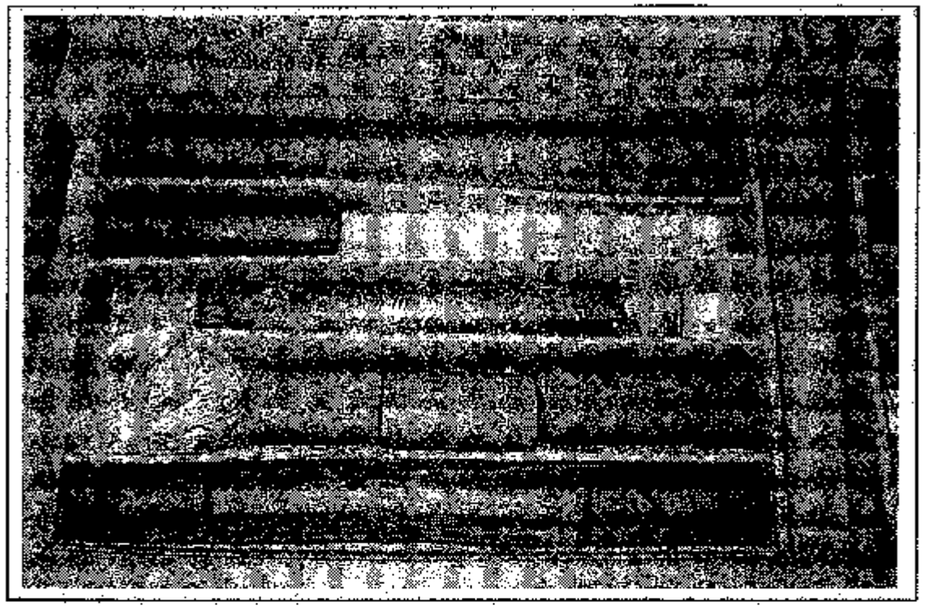


FOTO N° 8: SONDEO SR-10 DE 17,20 A 20,20 m.
FOTO N° 9: SONDEO SR-10 DE 20,20 A 23,20 m.



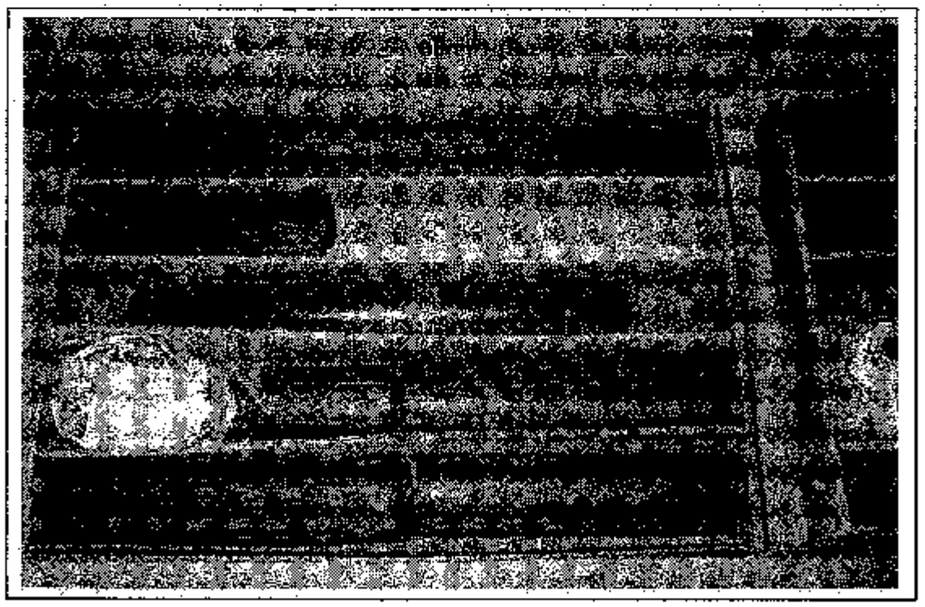


FOTO N° 10: SONDEO SR-10 DE 23,20 A 26,20 m.
FOTO N° 11: SONDEO SR-10 DE 26,20 A 29,20 m.

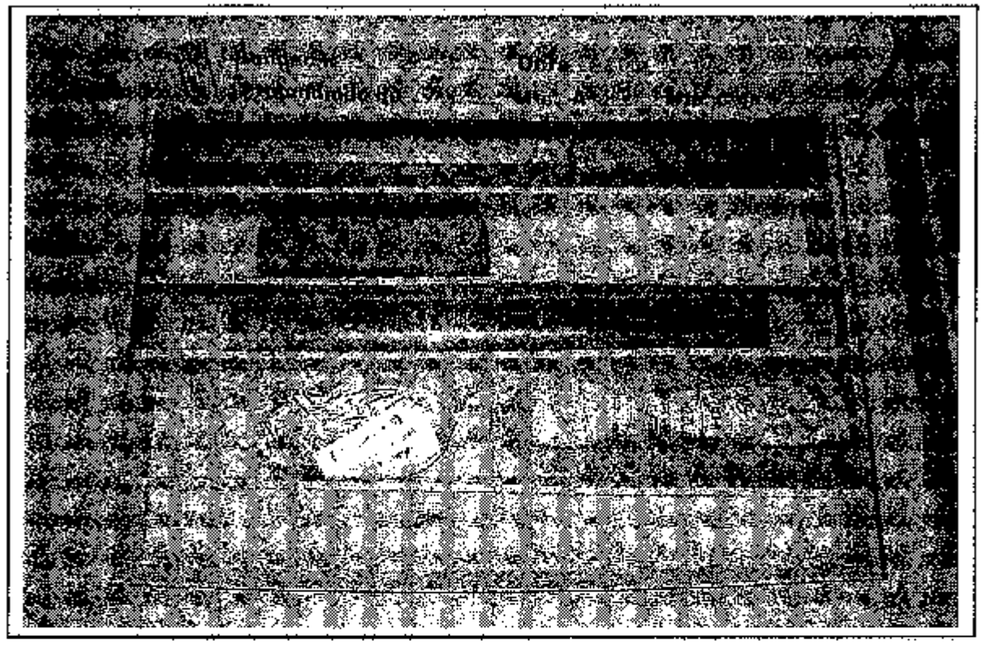


FOTO N° 12: SONDEO SR-10 DE 29,20 A 31,60 m.

cemosa Ingeniería y Control

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: GIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 30,00 m
Fecha: 20/12/2002 — 24/12/2002 (hasta 30,00 m)

Sondeo Nº: 11 — Hoja 1 de 3

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)
0,0		101	Aglomerado asfáltico.		0,15		
		101	Hormigón.		0,45		
		101	Relleno antrópico: arenas con bastantes cantos angulosos e indicios de cascotes cerámicos y bolos. Color marrón.		2,85		
1,0							
2,0							
3,0							
		101	Arenas medias a gruesas con bastantes gravas e indicios de lentes y vetas arcillosas. Color grisáceo.		5,55		
4,0	3,9						
5,0							
6,0							
7,0							
8,0							
9,0		101	Arenas limosas. Color marrón grisáceo.		1,00		

Ensayos de campo

Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados
M.I.	3 - 3,6	12 - 25 - 14 - 9
S.P.T.	3,6 - 4,2	4 - 5 - 8 - 9
M.I.	6 - 6,6	7 - 9 - 14 - 16
S.P.T.	6,6 - 7,2	6 - 8 - 10 - 14
M.I.	9 - 9,6	12 - 20 - 25 - 32
S.P.T.	9,6 - 10,2	56 - 17 - 15 - 16

Ensayos de laboratorio

Resultados	% Pasa #4	% Pasa #40	% Pasa #200	Plasticidad L.L.	Plasticidad L.P.	Plasticidad I.P.	Humedad (%)	Dead.Seca (T/m³)	Clasificaciones USCS	Clasificaciones HRB	Clasificaciones IG	Res. al corte C(kp/cm²)	Res. al corte φ(º)	RCS Kp/cm²	RCS ε(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)
12 - 25 - 14 - 9	100	18,3	4,8				5,4%	1,66	SW	A-1-b	0								
4 - 5 - 8 - 9																			
7 - 9 - 14 - 16	100	41,9	7,1				17,7%	1,6				0,09	37,1					0,0%	
6 - 8 - 10 - 14																			
12 - 20 - 25 - 32	100	79,1	9,6				23,1%	1,6	SP-SM	A-3	0			0,25	3,2%			0,0%	0,1%
56 - 17 - 15 - 16																			

M.I.: Muestra inalterada — S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar — T.P.: Testigo parafinado — E.S.: Esclerómetro Schmidt — T.T.: Tilt Test — D.M.: Dureza martillo — P.R.: Presiómetro
M.A.: Muestra alterada — V.T.: Vane test (kp/cm2) — P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2) — M.F.: Muestra PLT — F.R.: Fin de revestimiento — L.G.: Ensayo Lugeon — L.P.: Ensayo

cemosa Ingeniería y Control

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: GIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 30,00 m
Fecha: 20/12/2002 — 24/12/2002 (hasta 30,00 m)

Sondeo Nº: 11 — Hoja 2 de 3

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)
10,0		101	Arenas limosas. Color marrón grisáceo.		1,50		
11,0							
		101	Arenas limo-arcillosas con bastantes gravas, cantos angulosos de naturaleza metamórfica e indicios de bolos. Color marrón.		8,50		
12,0							
13,0							
14,0							
15,0							
16,0							
17,0							
18,0							
19,0							

Ensayos de campo

Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados
M.I.	12 - 12,4	24 - 35 - 50 -
S.P.T.	12,4 - 13	20 - 19 - 15 - 18
M.I.	15 - 15,6	22 - 26 - 24 - 19
S.P.T.	15,6 - 16,2	14 - 11 - 12 - 13
M.I.	17,8 - 18,4	18 - 32 - 48 - 45
S.P.T.	18,4 - 19	4 - 3 - 4 - 6

Ensayos de laboratorio

Intervalo Prof. (m)	% Pasa #4	% Pasa #40	% Pasa #200	Plasticidad L.L.	Plasticidad L.P.	Plasticidad I.P.	Humedad (%)	Ddad.Seca (T/m³)	Clasificaciones USCS	Clasificaciones HRB	Clasificaciones IG	Res. al corte C(kg/cm²)	Res. al corte φ(º)	RCS Kp/cm²	RCS ε(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)
12 - 12,4	100	36,3	25,1	31,8	15,6	16,2	10,5%	2,1	SC	A-2-6	0			0,62	2,5%			0,0%	
15 - 15,6	100	23,6	11,4				14,9%	1,94										0,0%	0,0%
17,8 - 18,4	100	33,1	16,1				13,5%	2,02	SM	A-1-b	0			0,24	4,9%			0,0%	

M.I.: Muestra inalterada — S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar — T.P.: Testigo parafinado — E.S.: Esclerómetro Schmidt — T.T.: Tilt Test — D.M.: Dureza martillo — P.R.: Presiómetro
M.A.: Muestra alterada — V.T.: Vane test (kp/cm2) — P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2) — M.F.: Muestra PLT — F.R.: Fin de revestimiento — L.G.: Ensayo Lugeon — L.F.: Ensayo

cemosa Ingeniería y Control

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: GIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 30,00 m
Fecha: 20/12/2002 24/12/2002 (hasta 30,00 m)

Sondeo Nº: 11 Hoja 3 de 3

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)
20,0		86	Gravas gruesas y bolos en matriz arenolimosa. Color marrón.		1,20		
21,0		86	Arcillas limosas con indicios de signos de oxidación. Color marrón.		0,60		
		86	Arcillas con indicios de limos. Color gris.		8,20		
22,0							
23,0							
24,0							
25,0							
26,0							
27,0							
28,0							
29,0							

Ensayos de campo

Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados
M.I.	22 - 22,6	16 - 29 - 43 - 52
S.P.T.	22,6 - 23,2	16 - 24 - 30 - 41
M.I.	24,9 - 25,3	32 - 50 - 50 -
S.P.T.	25,3 - 25,9	20 - 25 - 31 - 42
M.I.	28 - 28,37	26 - 48 - 50 -
S.P.T.	28,37 - 28,97	18 - 32 - 42 - 53

Ensayos de laboratorio

Intervalo Prof. (m)	% Pase #4	% Pase #40	% Pase #200	Plasticidad L.L.	Plasticidad L.P.	Plasticidad I.P.	Humedad (%)	Dead.Seca (T/m³)	Clasificaciones USCS	Clasificaciones HRB	Clasificaciones IG	Ros. al corte C(kg/cm²)	Ros. al corte φ(º)	RCS Kp/cm²	RCS E(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)
22 - 22,6																			
22,6 - 23,2																			
24,9 - 25,3	100	99,8	95,9	39,7	20,3	19,4	23,0%	1,69	CL	A-6	16,7	0,11	36,6					0,0%	1,9%
25,3 - 25,9																			
28 - 28,37	100	99	89,3	36,9	17,8	19,1	22,4%	1,54	CL	A-6	16,8							0,0%	
28,37 - 28,97																			

M.I.: Muestra inalterada
M.A.: Muestra alterada
S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar
V.T.: Vane test (kp/cm2)
T.P.: Testigo parafinado
P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2)
E.S.: Esclerómetro Schmidt
M.P.: Muestra PLT
T.T.: Tilt Test
F.R.: Fin de revestimiento
D.M.: Dureza martillo
L.G.: Ensayo Lugeon
P.R.: Presiómetro
L.F.: Ensayo

cemosa

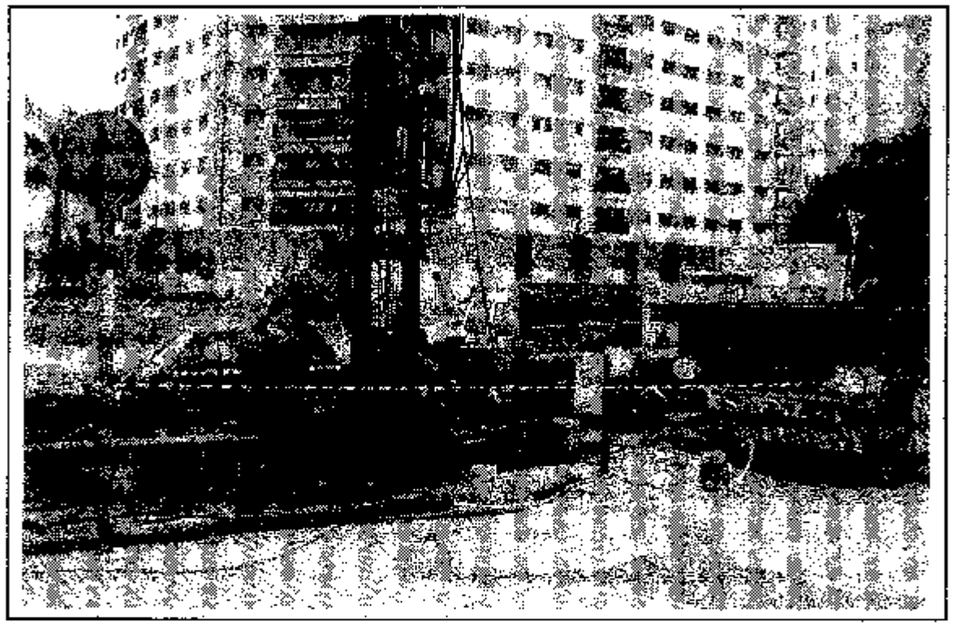
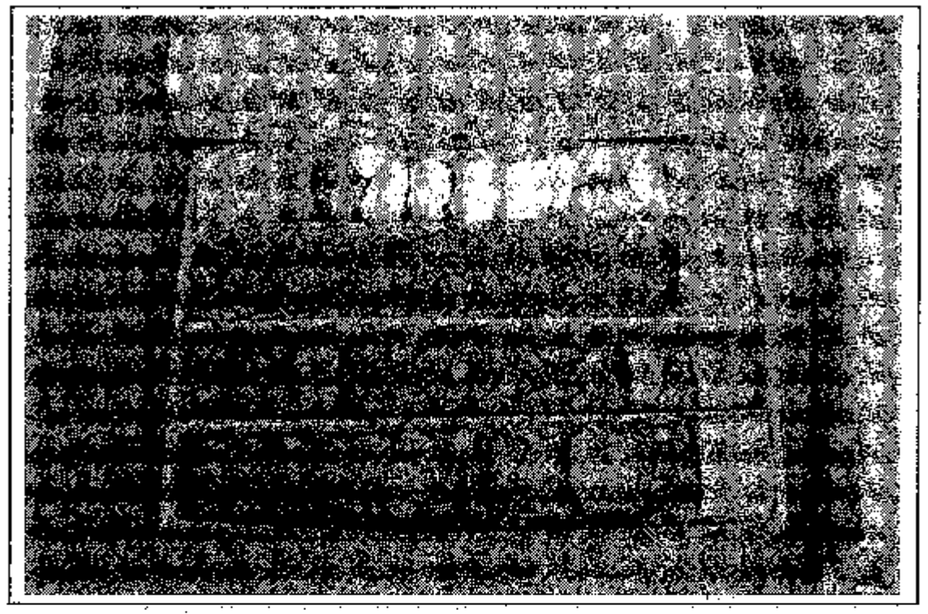


FOTO N° 1: SONDEO SR-11



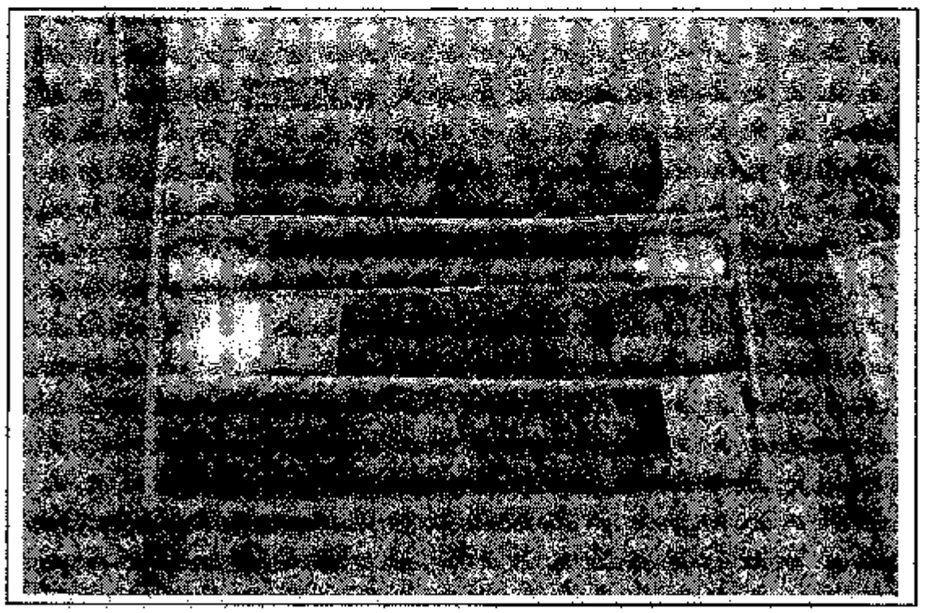
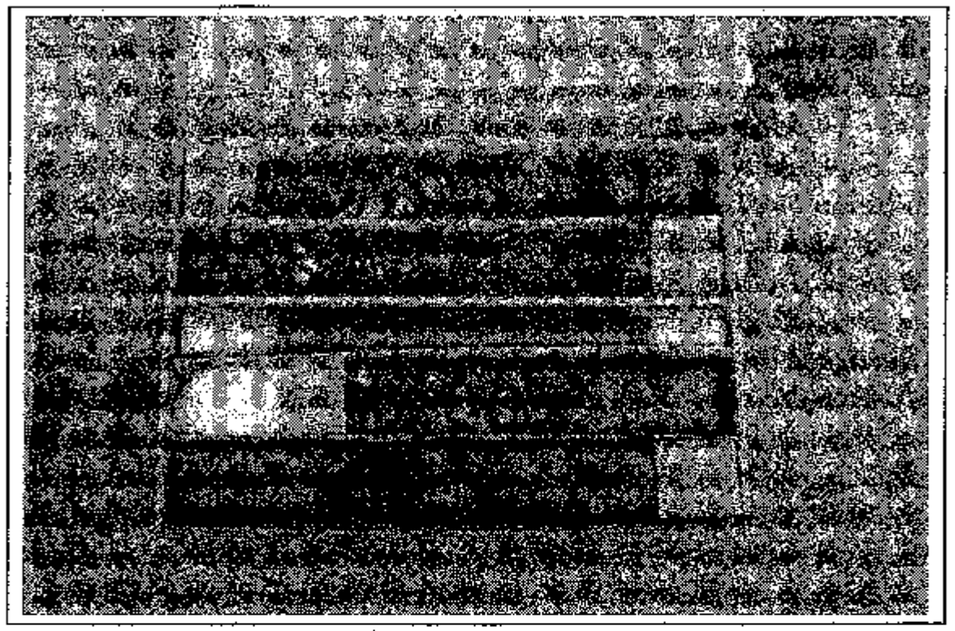


FOTO Nº 2: SONDEO SR-11 DE 0,00 A 2,40 m.
FOTO Nº 3: SONDEO SR-11 DE 2,40 A 4,60 m.

cemosa



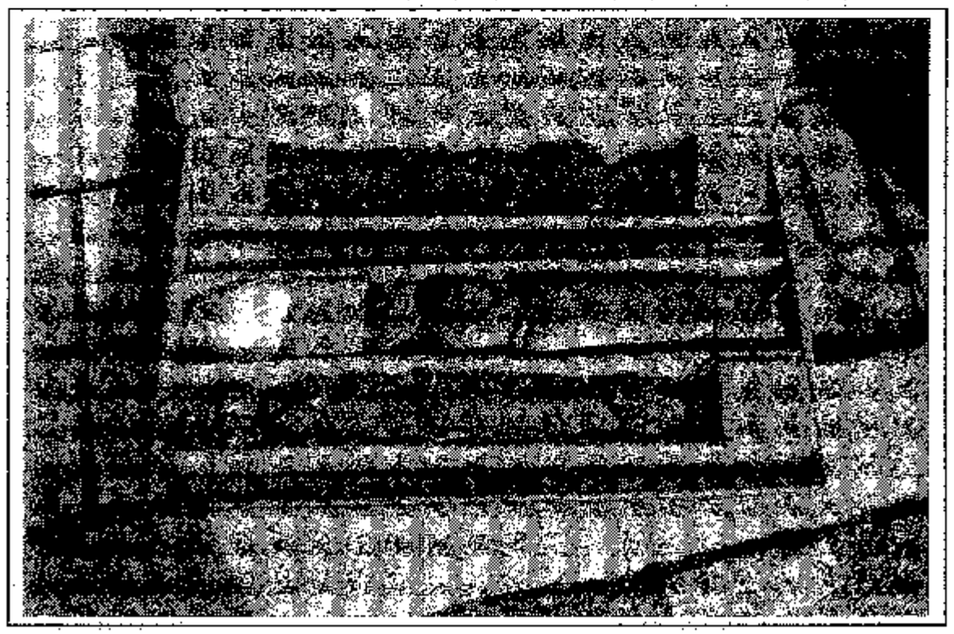
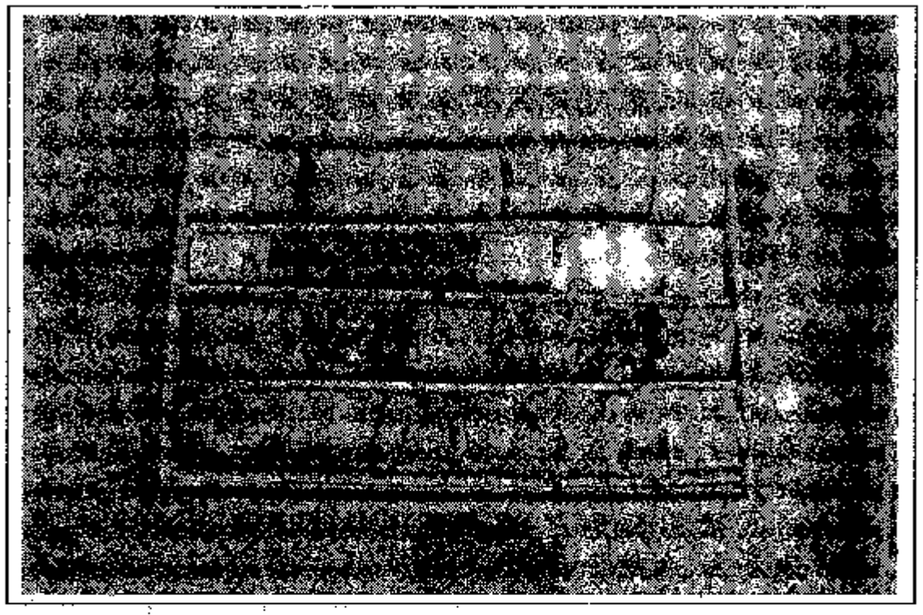


FOTO Nº 4: SONDEO SR-11 DE 4,60 A 8,20 m.
FOTO Nº 5: SONDEO SR-11 DE 8,20 A 11,50 m.



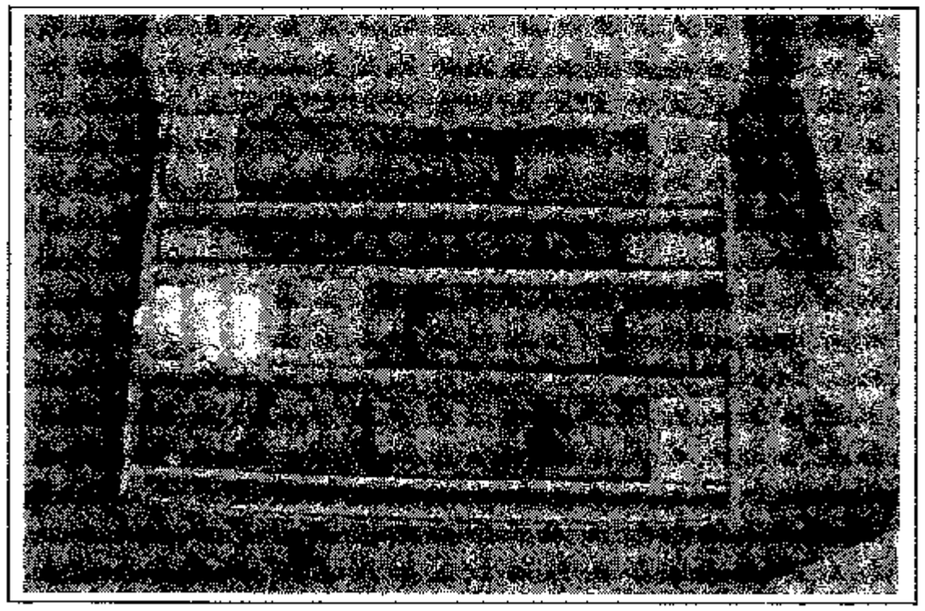
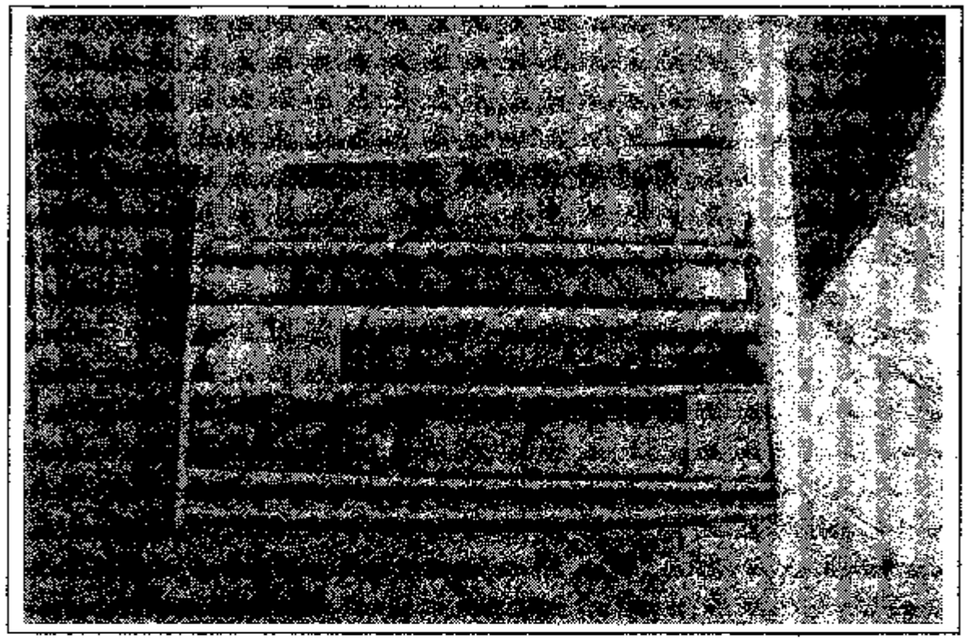


FOTO Nº 6: SONDEO SR-11 DE 11,50 A 14,20 m.
FOTO Nº 7: SONDEO SR-11 DE 14,20 A 17,20 m.

comesa



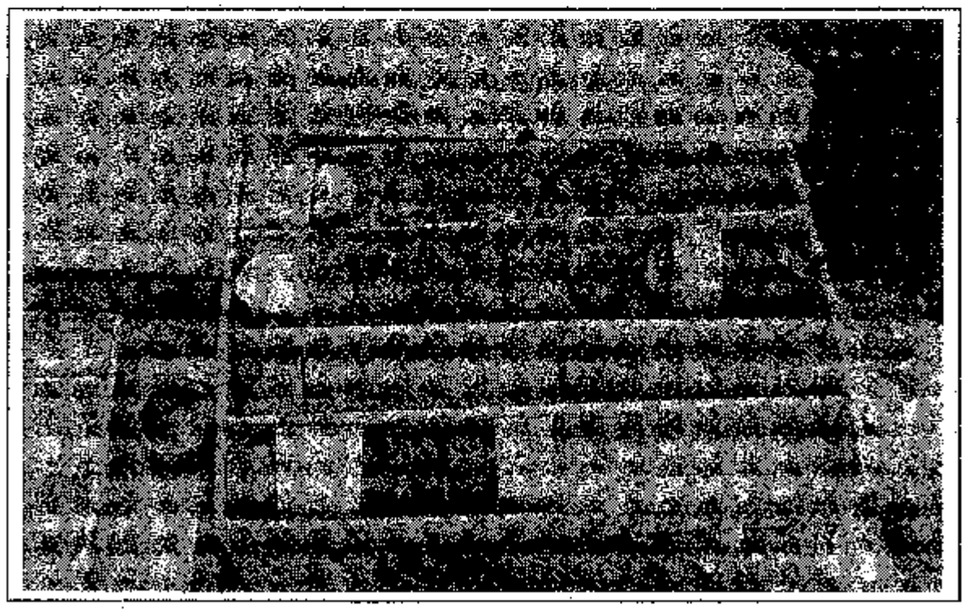
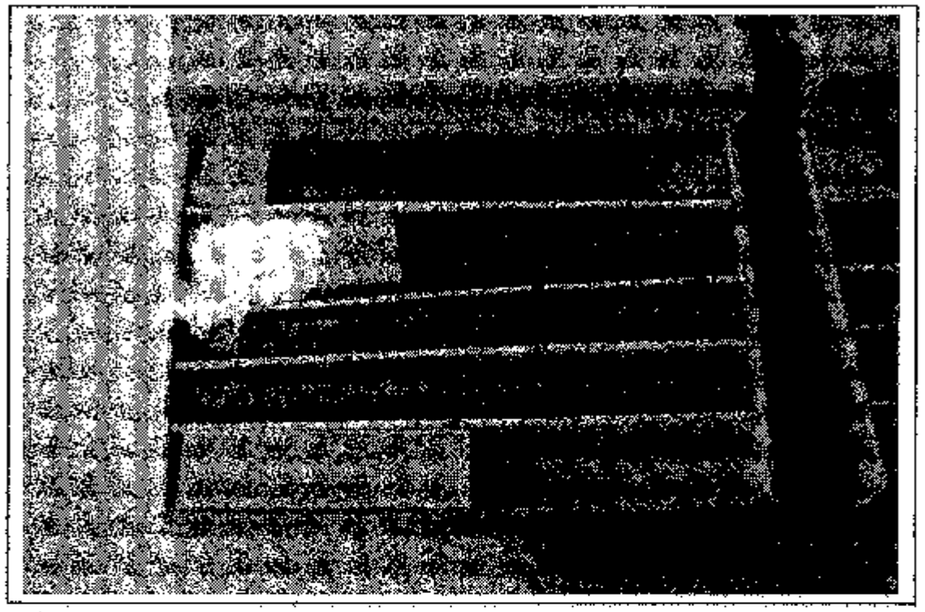


FOTO Nº 8: SONDEO SR-11 DE 17,20 A 20,00 m.
FOTO Nº 9: SONDEO SR-11 DE 20,00 A 22,00 m.



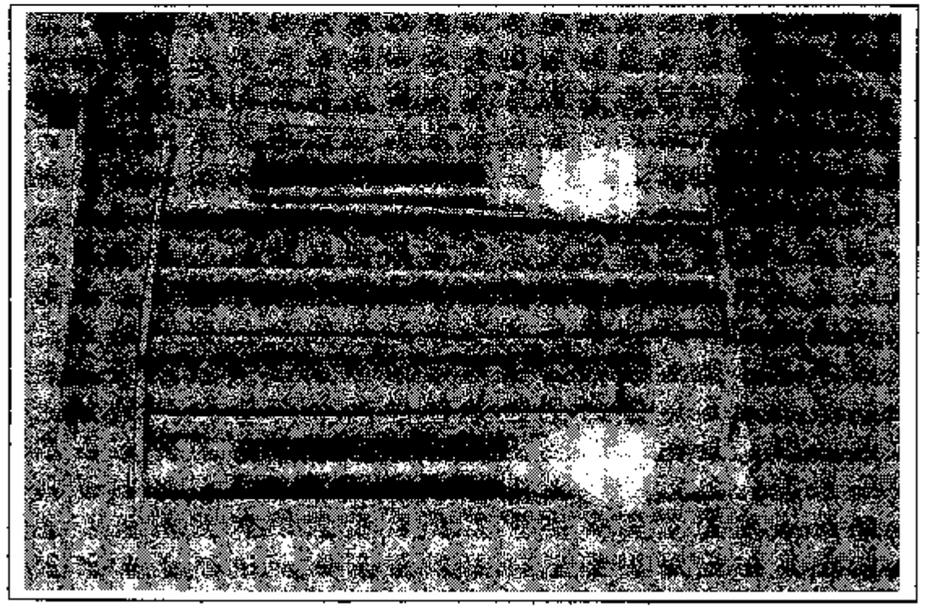


FOTO Nº 10: SONDEO SR-11 DE 22,00 A 24,90 m.
FOTO Nº 11: SONDEO SR-11 DE 24,90 A 28,97 m.

cemosa

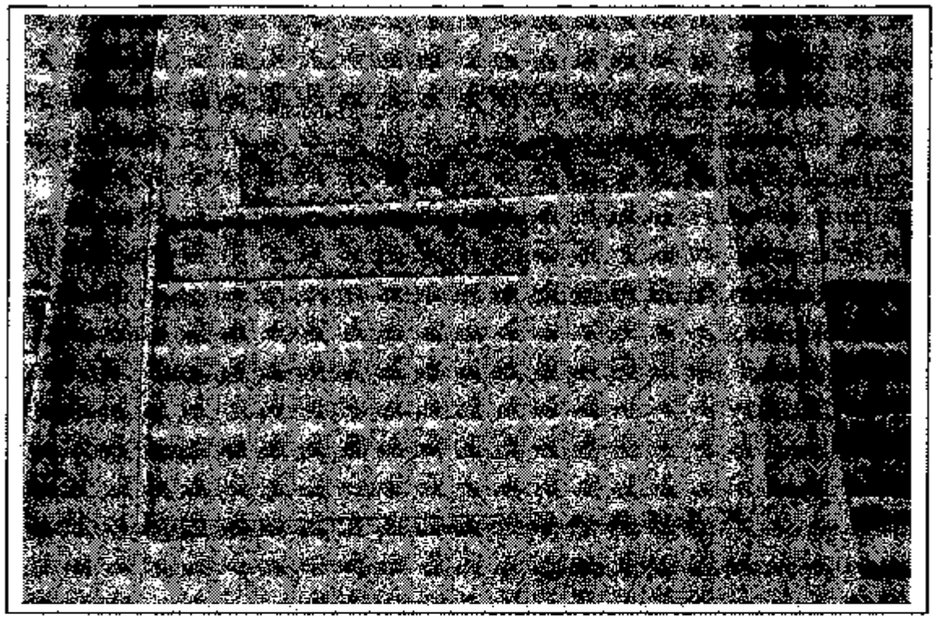


FOTO Nº 12: SONDEO SR-11 DE 28,97 A 30,00 m.

cemosa Ingeniería y Control

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: GIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 28,20 m
Fecha: 17/12/2002 — 19/12/2002 (hasta 28,20 m)

Sondeo Nº: 12 — Hoja 1 de 3

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:
MI (27-27,6) LAMBE= CRÍTICO.

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)
0,0		101	Aglomerado de hormigón.		0,20		
		101	Relleno antrópico: arenas y cantos.		1,80		
1,0							
2,0		101	Limos con algunas arenas y restos de bioclastos. Color marrón.		1,80		
3,0							
		101	Arenas limosas con algunas gravas medias. Color marrón.		3,00		
4,0							
5,0	4,8						
6,0							
		101	Arenas con gravas e indicios de bolos. Color gris.		3,00		
7,0							
8,0							
9,0							
		101	Arenas limosas con algo de gravas e indicios de bolos. Color gris.		0,40		

Ensayos de campo			Ensayos de laboratorio																			
			% Pasa			Plasticidad					Clasificaciones			Rea. al corte		RCS						
Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados	#4	#40	#200	L.L.	L.P.	I.P.	Humedad (%)	Dded Seca (T/m³)	USCS	HRB	IG	C(kp/cm²)	φ(º)	Kp/cm²	E(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)
M.I.	3 - 3,6	12 - 7 - 7 - 7	100	63,9	52,1				20,7%	1,07	ML	A-4	0								
S.P.T.	3,6 - 4,2	2 - 6 - 8 - 10																			
M.I.	6 - 6,6	22 - 37 - 26 - 25	100	17,6	6,2				10,6%	1,85	SW-SM	A-1-a	0							0,0%	0,0%
S.P.T.	6,6 - 7,2	8 - 10 - 12 - 8																			
M.I.	9 - 9,6	10 - 14 - 8 - 6	100	33,8	4,9				16,0%	1,79	SP	A-1-b	0							0,0%	0,3%
S.P.T.	9,6 - 10,2	2 - 7 - 9 - 7																			

M.I.: Muestra inalterada — S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar — T.P.: Testigo parafinado — E.S.: Esclerómetro Schmidt — T.T.: Tilt Test — D.M.: Dureza martillo — P.R.: Presiómetro
M.A.: Muestra alterada — V.T.: Vane test (kp/cm2) — P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2) — M.F.: Muestra PLT — F.R.: Fin de revestimiento — L.G.: Ensayo Lugeon — L.F.: Ensayo

cemosa
Ingeniería y Control

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: GIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 28,20 m
Fecha: 17/12/2002 — 19/12/2002 (hasta 28,20 m)

Sondeo Nº: 12 — Hoja 2 de 3

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:
MI (27-27,6) LAMBE= CRÍTICO.

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)
10,0		101	Arenas limosas con algo de gravas e indicios de bolos. Color gris.		1,45		
11,0							
		101	Arenas con niveles de limos arenosos con indicios de gravas. Color marrón.		1,35		
12,0							
		101	Limos arenosos algo arcillosos con gravas medias y bolos hacia base. Color Marrón.		4,16		
13,0							
14,0							
15,0							
16,0							
17,0		101	Limos arcillosos con niveles de arcillas y algo de lentas grises. Color marrón.		1,05		
18,0		101	Arcillas con indicios de limos y de restos de bioclastos. Color gris oscuro.		2,00		
19,0							

Ensayos de campo

Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados
M.I.	14,5 - 15,1	14 - 16 - 14 - 17
S.P.T.	15,4 - 15,7	5 - 6 - 9 - 7
M.I.	18 - 18,6	6 - 7 - 14 - 11
S.P.T.	18,6 - 19,2	10 - 12 - 16 - 21

Ensayos de laboratorio

% Pasa #4	% Pasa #40	% Pasa #200	Plasticidad L.L.	Plasticidad L.P.	Plasticidad I.P.	Humedad (%)	Dded.Seca (T/m³)	Clasificaciones USCS	Clasificaciones HRB	Clasificaciones IG	Res. al corte C(kp/cm²)	Res. al corte φ(º)	RCS Kp/cm²	RCS ε(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)

M.I.: Muestra inalterada
M.A.: Muestra alterada
S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar
V.T.: Vane test (kp/cm2)
T.P.: Testigo parafinado
P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2)
E.S.: Esclerómetro Schmidt
M.F.: Muestra PLT
T.T.: Tilt Test
F.R.: Fin de revestimiento
D.M.: Dureza martillo
L.G.: Ensayo Lugeon
P.R.: Presiómetro
L.F.: Ensayo

cemosa
Ingeniería y Control

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: GIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 28,20 m
Fecha: 17/12/2002 — 19/12/2002 (hasta 28,20 m)

Sondeo Nº: 12 — Hoja 3 de 3

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:
MI (27-27,6) LAMBE= CRÍTICO.

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)	Ensayos de campo: Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados	Ensayos de laboratorio: % Pasa #4	% Pasa #40	% Pasa #200	Plasticidad L.L.	Plasticidad L.P.	Plasticidad I.P.	Humedad (%)	Dead.Seca (T/m³)	Clasificaciones USCS	Clasificaciones HRB	Clasificaciones IG	Rec. al corte C(kp/cm²)	Rec. al corte φ(º)	RCS Kp/cm²	RCS ε(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)
20,0		101	Arcillas con indicios de limos y de restos de bioclastos. Color gris oscuro.		3,85																								
21,0								M.I.	21 - 21,6	6 - 14 - 17 - 21	100	100	98,1	38,1	18	20,1	23,2%	1,6	CL	A-6	29	0,92	14,4	2,14	16,0%			0,0%	0,0%
								S.P.T.	21,6 - 22,2	6 - 10 - 12 - 16																			
22,0																													
23,0																													
24,0		86	Arcillas con indicios de limos. Color gris oscuro.		4,35			M.I.	24 - 24,6	8 - 13 - 17 - 27	100	99,6	96,3	43	20,7	22,3	25,6%	1,6	CL	A-7-6	29	1,16	7,8	2,48	15,2%			0,0%	0,4%
								S.P.T.	24,6 - 25,2	7 - 9 - 12 - 18																			
25,0																													
26,0																													
27,0								M.I.	27 - 27,6	12 - 16 - 22 - 31	100	99,8	96,4	42,8	19,9	22,9	24,9%	1,66	CL	A-7-6	20			2,85	16,1%			0,0%	
								S.P.T.	27,6 - 28,2	11 - 16 - 19 - 23																			
28,0																													
29,0																													

M.I.: Muestra inalterada — S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar — T.P.: Testigo parafinado — E.S.: Esclerómetro Schmidt — T.T.: Tilt Test — D.M.: Dureza martillo — P.R.: Presiómetro
M.A.: Muestra alterada — V.T.: Vane test (kp/cm2) — P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2) — M.F.: Muestra PLT — F.R.: Fin de revestimiento — L.G.: Ensayo Lugeon — L.E.: Ensayo

cemosa

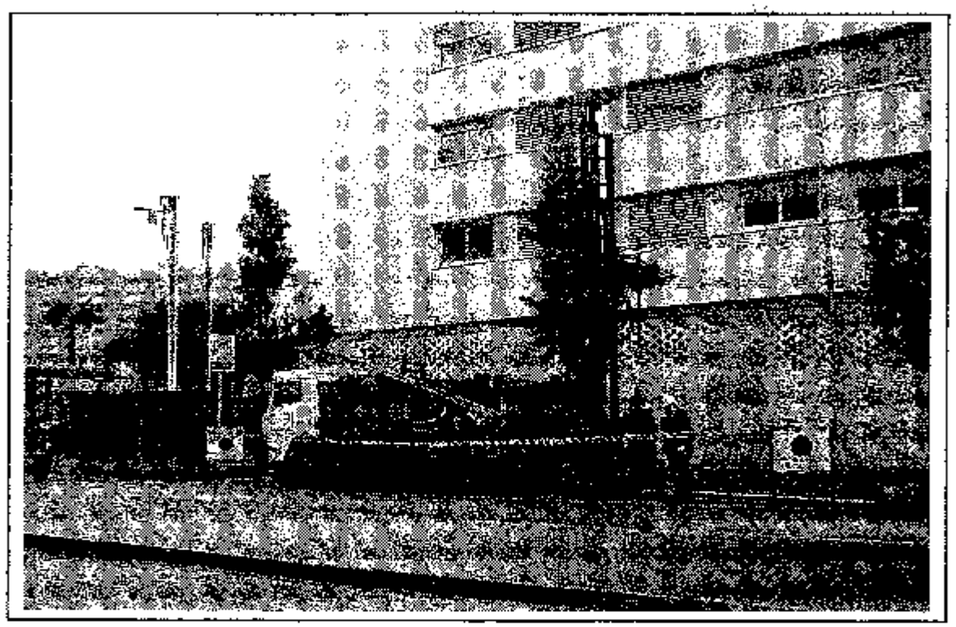
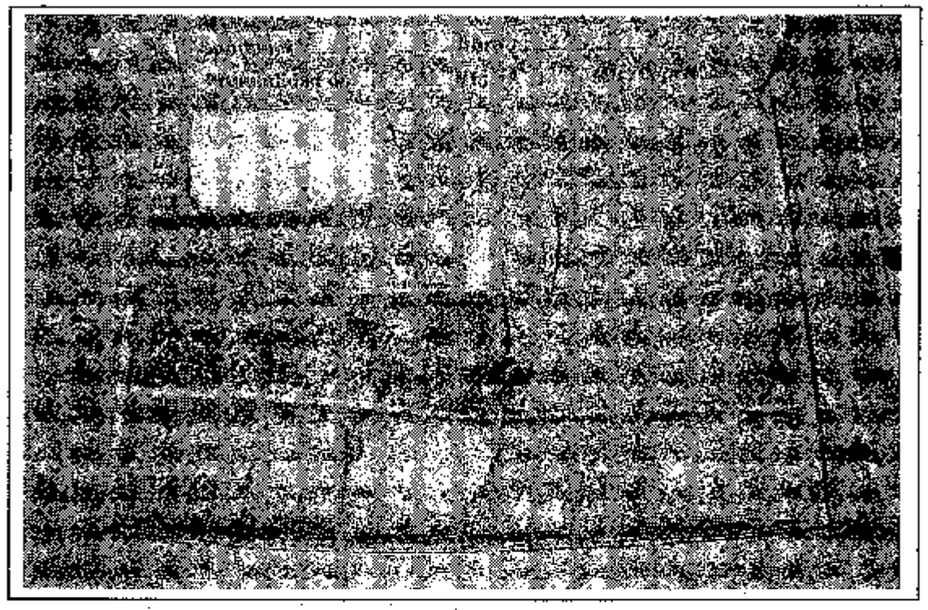


FOTO N° 1: SONDEO SR-12



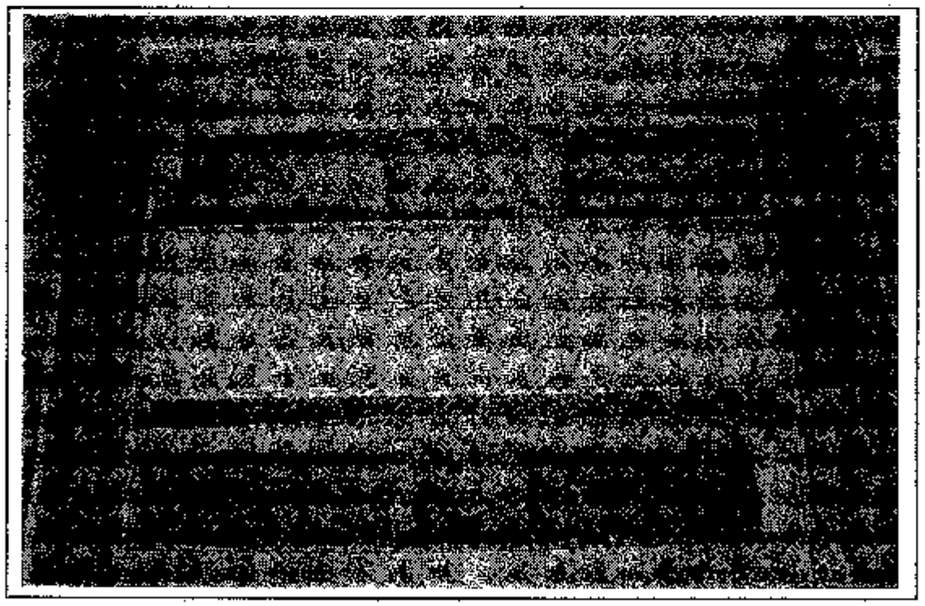
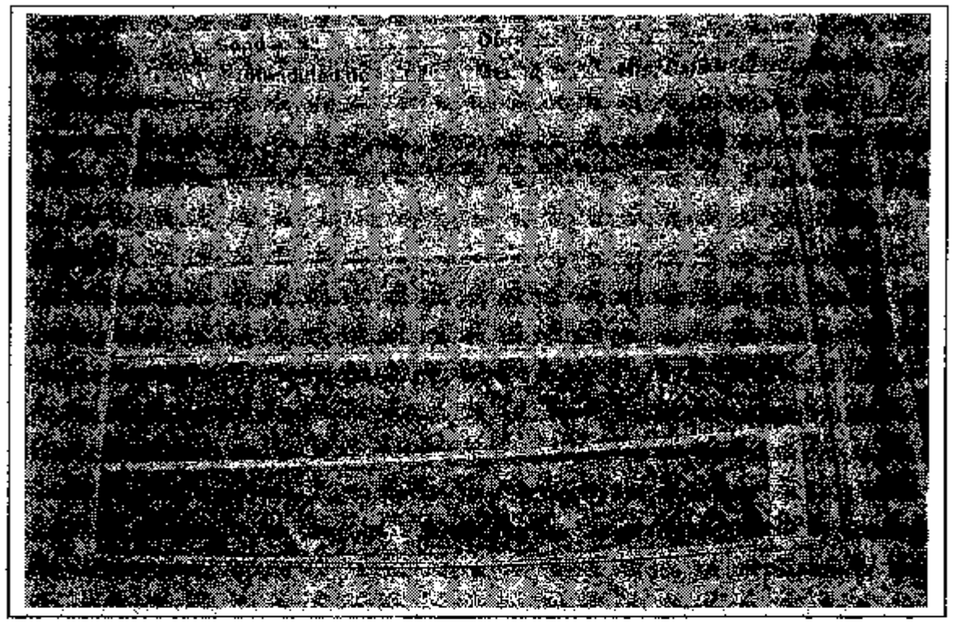


FOTO Nº 2: SONDEO SR-12 DE 0,00 A 2,40 m.
FOTO Nº 3: SONDEO SR-12 DE 2,40 A 5,40 m.



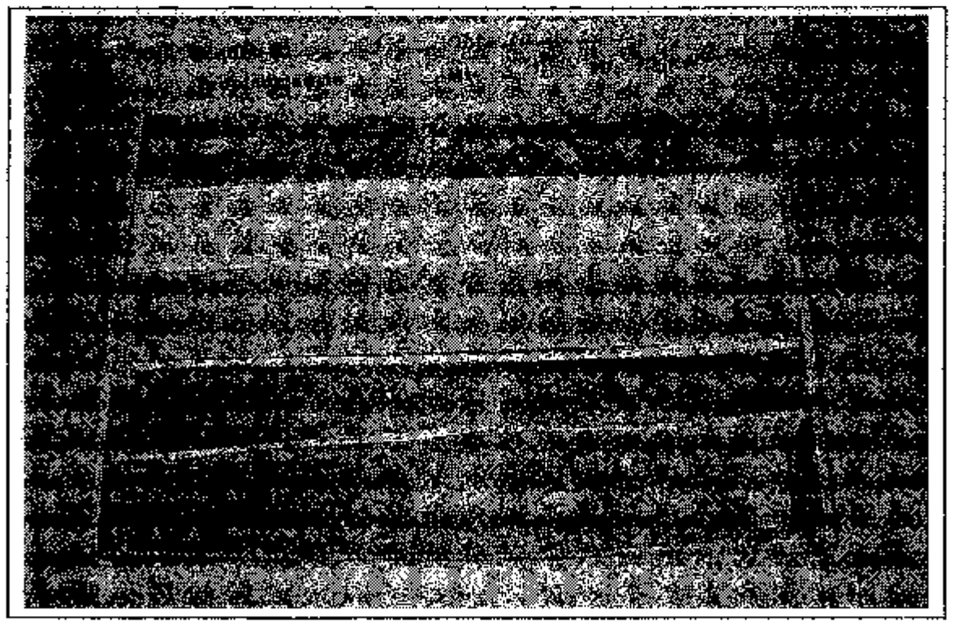
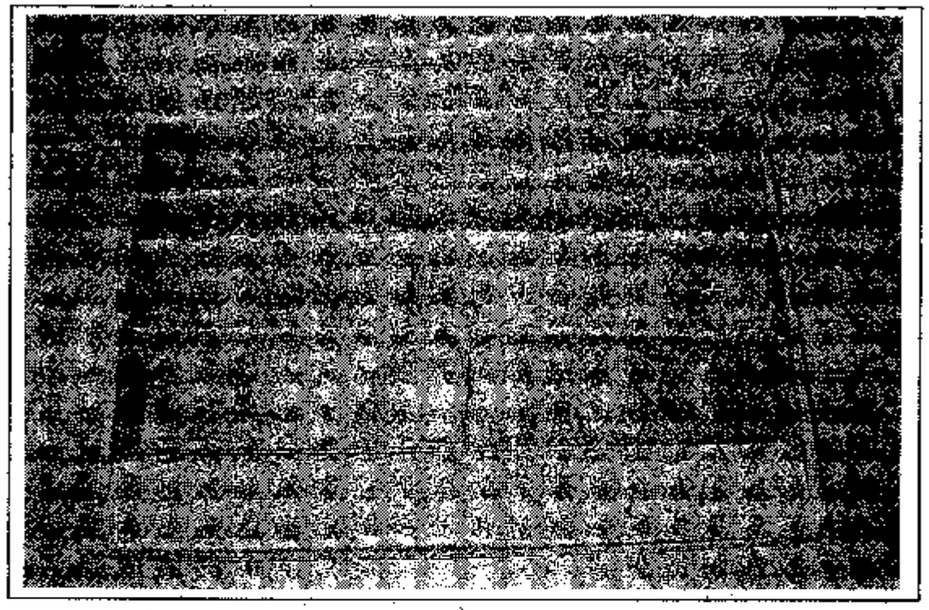


FOTO Nº 4: SONDEO SR-12 DE 5,40 A 8,40 m.
FOTO Nº 5: SONDEO SR-12 DE 8,40 A 11,40 m.



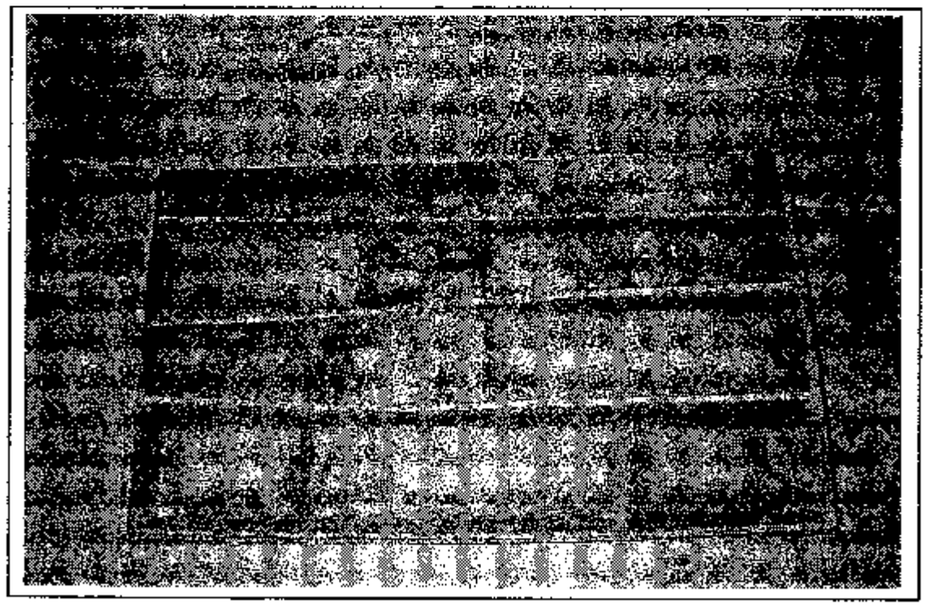
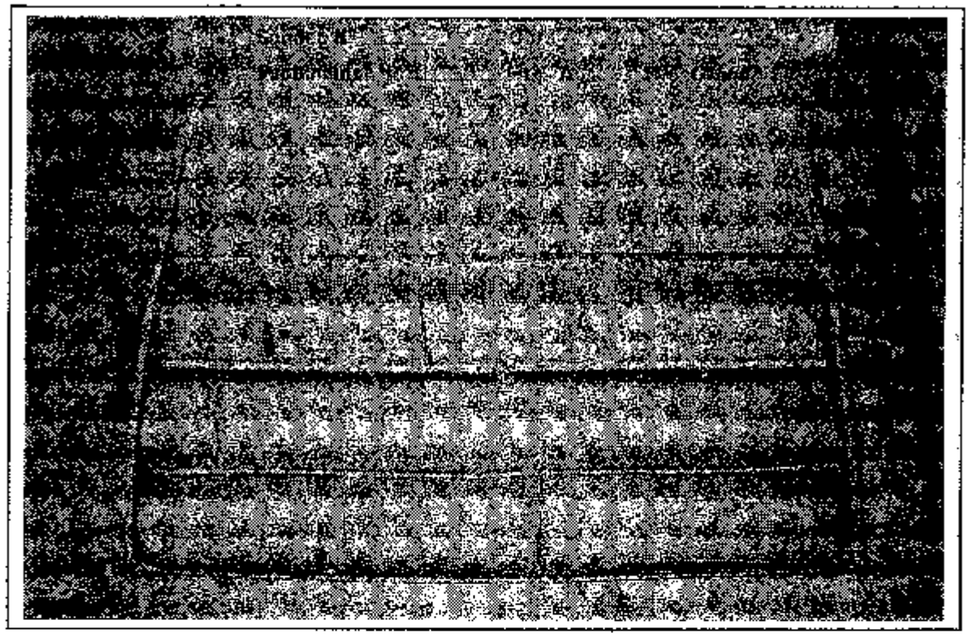


FOTO Nº 6: SONDEO SR-12 DE 11,40 A 15,10 m.
FOTO Nº 7: SONDEO SR-12 DE 15,10 A 18,00 m.

cemosa



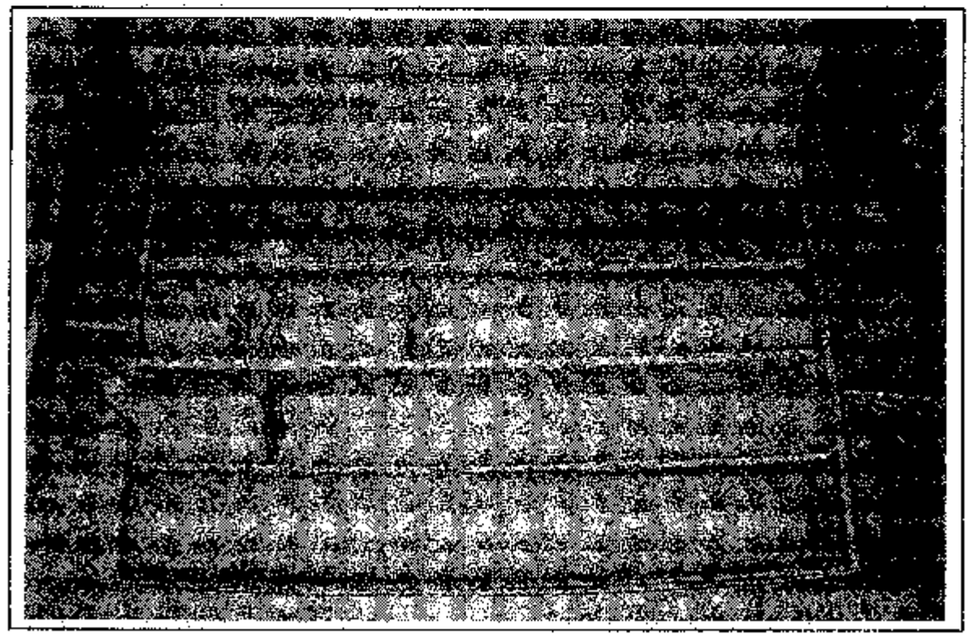
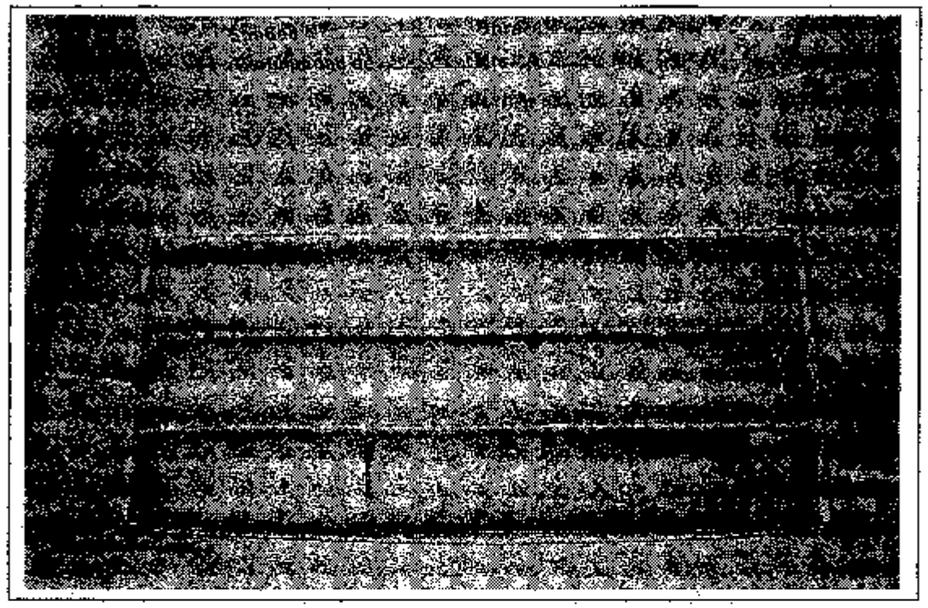


FOTO Nº 8: SONDEO SR-12 DE 18,00 A 21,00 m.
FOTO Nº 9: SONDEO SR-12 DE 21,00 A 24,00 m.

cemosa



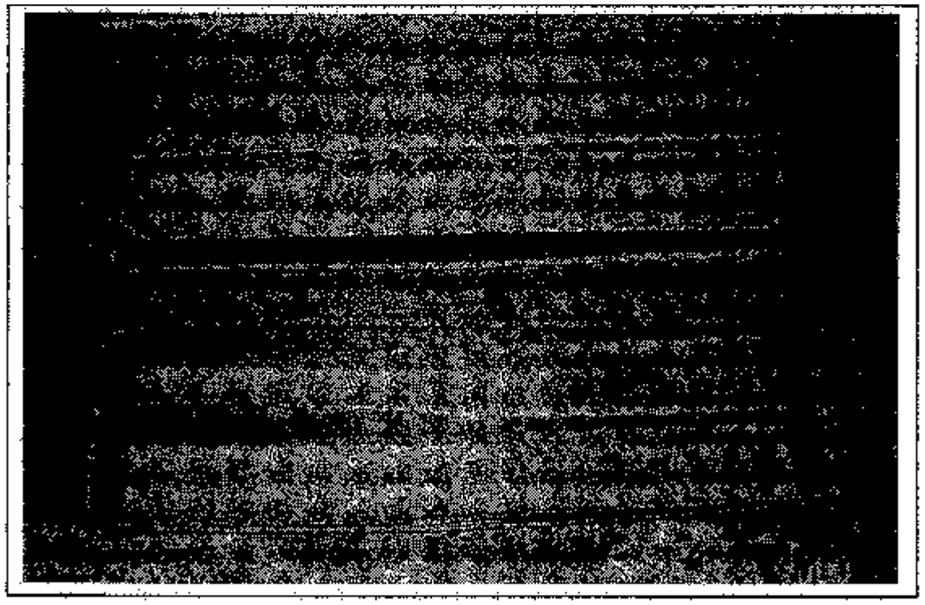


FOTO Nº 10: SONDEO SR-12 DE 24,00 A 27,00 m.
FOTO Nº 11: SONDEO SR-12 DE 27,00 A 28,20 m.

cemosa Ingeniería y Geotecnia

Sondeo Nº: 13 — Hoja 1 de 3

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: GIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 29,20 m
Fecha: 02/01/2003 — 03/01/2002 (hasta 29,20 m)

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:
M1 (22-22,6) LAMBE= CRÍTICO.

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)
0,0		101	Aglomerado asfáltico.		0,30		
		101	Relleno antrópico: arenas arcillosas, cantos angulosos y restos cerámicos. Color marrón-grisáceo.		3,00		
1,0							
2,0							
3,0							
		101	Arenas finas a medias con gravas finas. Color marrón.		2,55		
4,0							
5,0	5,0						
6,0		101	Arenas y gravas finas con alguna grava gruesa. Color gris oscuro.		3,35		
7,0							
8,0							
9,0							
		101	Arenas limosas con indicios de gravas finas. Color marrón-grisáceo.		0,80		

Ensayos de campo

Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados
M.I.	3 - 3,6	1 - 2 - 2 - 4
S.P.T.	3,6 - 4,2	7 - 12 - 14 - 12
M.I.	6 - 6,6	3 - 8 - 18 - 23
S.P.T.	6,6 - 7,2	10 - 14 - 21 - 25
M.I.	8,6 - 9,2	3 - 5 - 12 - 23
S.P.T.	9,2 - 9,8	5 - 4 - 7 - 11

Ensayos de laboratorio

Tipo	% Pasa #4	% Pasa #40	% Pasa #200	Plasticidad L.L.	Plasticidad L.P.	Plasticidad I.P.	Humedad (%)	Dded.Seca (T/m³)	Clasificaciones USCS	Clasificaciones HRB	Clasificaciones IG	Res. al corte C(kp/cm²)	Res. al corte φ(º)	RCS Kp/cm²	RCS ε(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)
M.I.	100	72	46,7	28,7	17,3	11,4	19,6%	2	SC	A-6	2,1								
M.I.	100	13,9	1,8				14,9%	1,94	SW	A-1-b	0								

M.I.: Muestra inalterada — S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar — T.P.: Testigo parafinado — E.S.: Esclerómetro Schmidt — T.T.: Tilt Test — D.M.: Dureza martillo — P.R.: Presiómetro
M.A.: Muestra alterada — V.T.: Vane test (kp/cm2) — P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2) — M.P.: Muestra PLT — F.R.: Fin de revestimiento — L.G.: Ensayo Lugeon — L.F.: Ensayo

cemosa Ingeniería y Control

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: GIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 29,20 m
Fecha: 02/01/2003 03/01/2002 (hasta 29,20 m)

Sondeo Nº: 13 Hoja 2 de 3

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:
M1 (22-22,6) LAMBE- CRÍTICO.

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)	Ensayos de campo: Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados	Ensayos de laboratorio: % Pasa #4	% Pasa #40	% Pasa #200	Plasticidad L.L.	Plasticidad L.P.	Plasticidad I.P.	Humedad (%)	Dnidad Seca (T/m³)	Clasificaciones USCS	Clasificaciones HRB	Clasificaciones IG	Res. al corte C(kp/cm²)	Res. al corte φ(º)	RCS Kp/cm²	RCS ε(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)
10,0		101	Arenas limosas con indicios de gravas finas. Color marrón-grisáceo.		1,90																								
11,0																													
12,0		101	Arenas y gravas gruesas. Color marrón grisáceo.		3,05			M.I.	12 - 12,43	9 - 30 - 50 -																			
								S.P.T.	12,43 - 12,5	50 - - -																			
13,0																													
14,0																													
15,0		101	Arenas limosas con alguna grava gruesa. Color marrón.		3,05			M.I.	15 - 15,6	13 - 25 - 13 - 16	100	43,2	8,1				10,6%	2,12	SP-SM	A-1-b	0							0,0%	0,2%
								S.P.T.	15,6 - 16,2	7 - 9 - 13 - 15																			
16,0																													
17,0																													
18,0		101	Limos arcillosos con lentes de arcillas grises. Color marrón.		1,80			M.I.	18 - 18,6	4 - 9 - 13 - 14																			
								S.P.T.	18,6 - 19,2	4 - 6 - 14 - 20																			
19,0																													
		86	Arcillas con algo de limos de color gris oscuro.		0,20																								

M.I.: Muestra inalterada
M.A.: Muestra alterada
S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar
V.T.: Vane test (kp/cm2)
T.P.: Testigo parafinado
P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2)
E.S.: Esclerómetro Schmidt
M.F.: Muestra PLT
T.T.: Tilt Test
F.R.: Fin de revestimiento
D.M.: Dureza martillo
L.G.: Ensayo Lugeon
P.R.: Presiómetro
L.F.: Ensayo

cemosa Ingeniería y Control

Hoja de resultados de testificación del sondeo

Cliente: GIASA
Trabajo: METRO LIGERO DE MÁLAGA
Profundidad: 29,20 m
Fecha: 02/01/2003 — 03/01/2002 (hasta 29,20 m)

Sondeo Nº: 13 — Hoja 3 de 3

PK:
X;Y;Z:
Inclinación (º):

Empresa: CEMOSA
Sondista: Jose Manuel Jimenez
Máquina: TP-50

Observaciones sondeo:
MI (22-22,6) LAMBE= CRÍTICO.

Profundidad (m)	Nivel Freático	Tipo perforación	Naturaleza del terreno	Corte litológico	Espesor estrato	Recuper. (%)	RQD (%)
20,0		86	Arcillas con algo de limos de color gris oscuro.		9,20		
21,0							
22,0							
23,0							
24,0							
25,0							
26,0							
27,0							
28,0							
29,0							

Ensayos de campo

Tipo	Intervalo Prof. (m)	Resultados
M.I.	22 - 22,6	6 - 12 - 19 - 38
S.P.T.	22,6 - 23,2	6 - 11 - 14 - 20
M.I.	25 - 25,6	10 - 18 - 26 - 37
S.P.T.	25,6 - 26,2	6 - 10 - 15 - 23
M.I.	28 - 28,6	16 - 20 - 30 - 41
S.P.T.	28,6 - 29,2	9 - 13 - 18 - 29

Ensayos de laboratorio

Tipo	% Pasa #4	% Pasa #40	% Pasa #200	Plasticidad LL.	Plasticidad L.P.	Plasticidad I.P.	Humedad (%)	Dnsdad.Seca (T/m³)	Clasificaciones USCS	Clasificaciones HRB	Clasificaciones IG	Res. al corte C(kp/cm²)	Res. al corte Φ(º)	RCS Kp/cm²	RCS ε(%)	Expansividad	Carbonatos (%)	Sulfatos (%)	M.O.(%)
M.I.	100	99,6	97,1	36,3	16,3	20	22,1%	1,74	CL	A-6	20			6,5	0,0%				
M.I.	100	100	97,8	45,2	20,3	24,9	21,7%	2,03	CL	A-7-6	20							0,0%	0,0%
M.I.	100	99,5	72,2	27,9	20,8	7,1	19,2%	1,91	CL	A-4	3,5	0,69	26,3	4,67	11,1%			0,0%	1,3%

M.I.: Muestra inalterada — M.A.: Muestra alterada — S.P.T.: Ensayo penetrómetro estándar — V.T.: Vane test (kp/cm2) — T.P.: Testigo parafinado — P.B.: Penetrómetro de bolsillo (kp/cm2) — E.S.: Esclerómetro Schmidt — M.F.: Muestra PLT — T.T.: Tilt Test — F.R.: Fin de revestimiento — D.M.: Dureza martillo — L.G.: Ensayo Lugeon — P.R.: Presiómetro — L.F.: Ensayo

cemosa

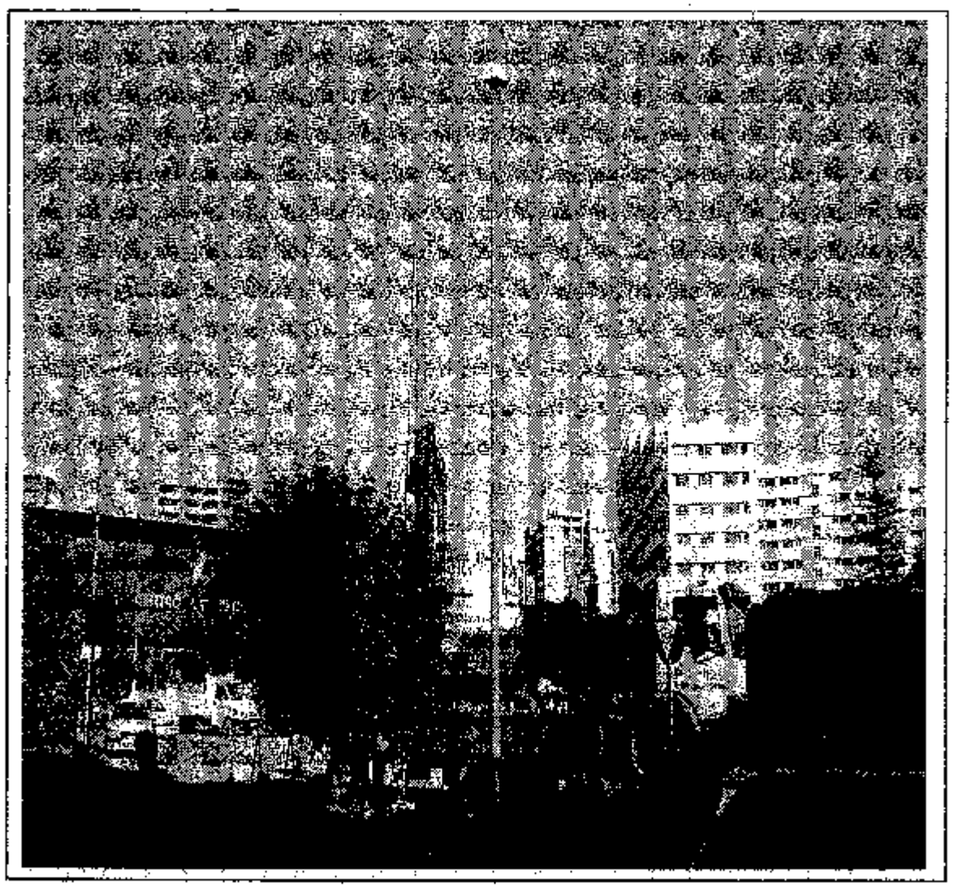
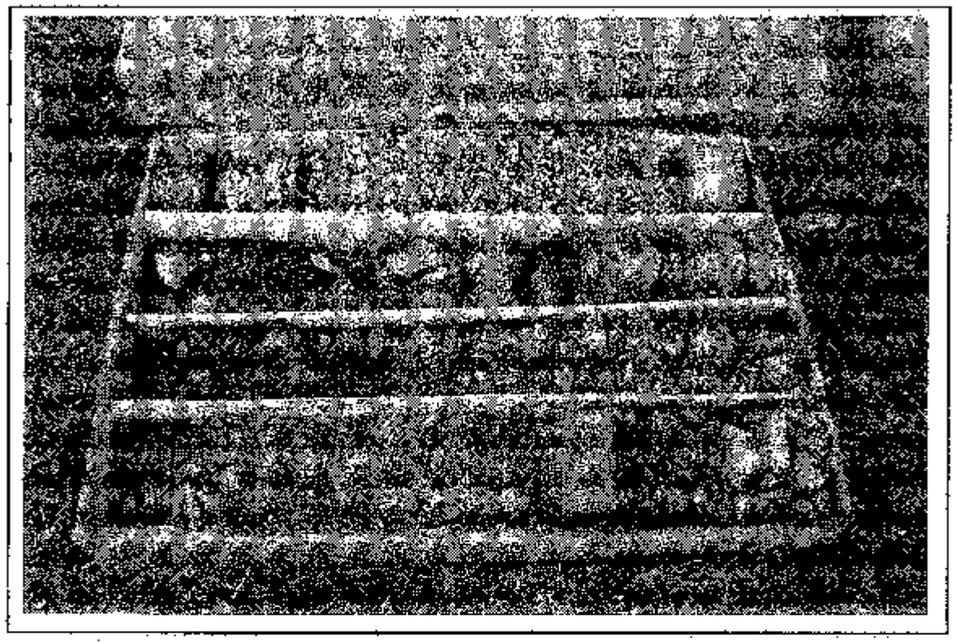


FOTO Nº 1: SONDEO SR-13



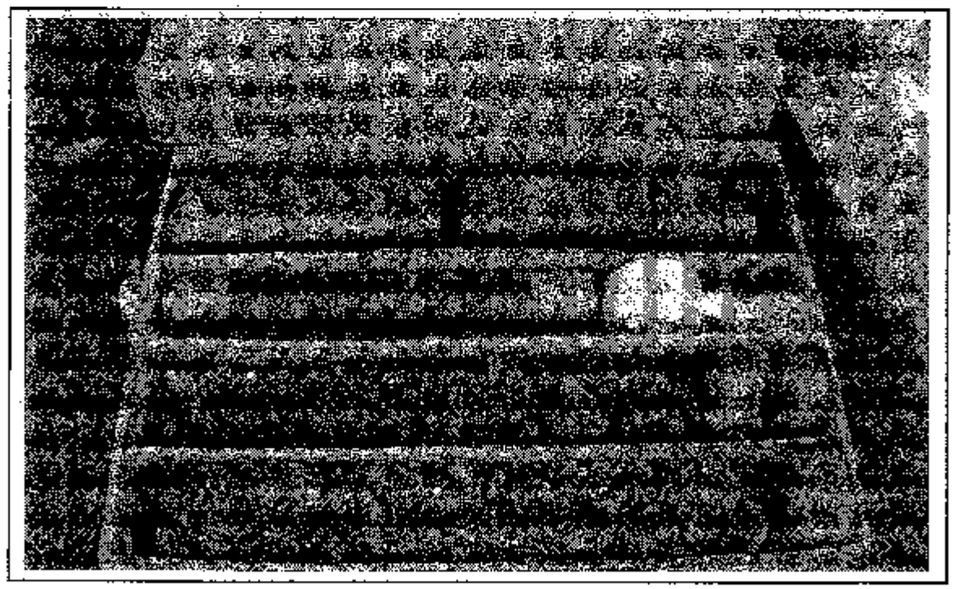
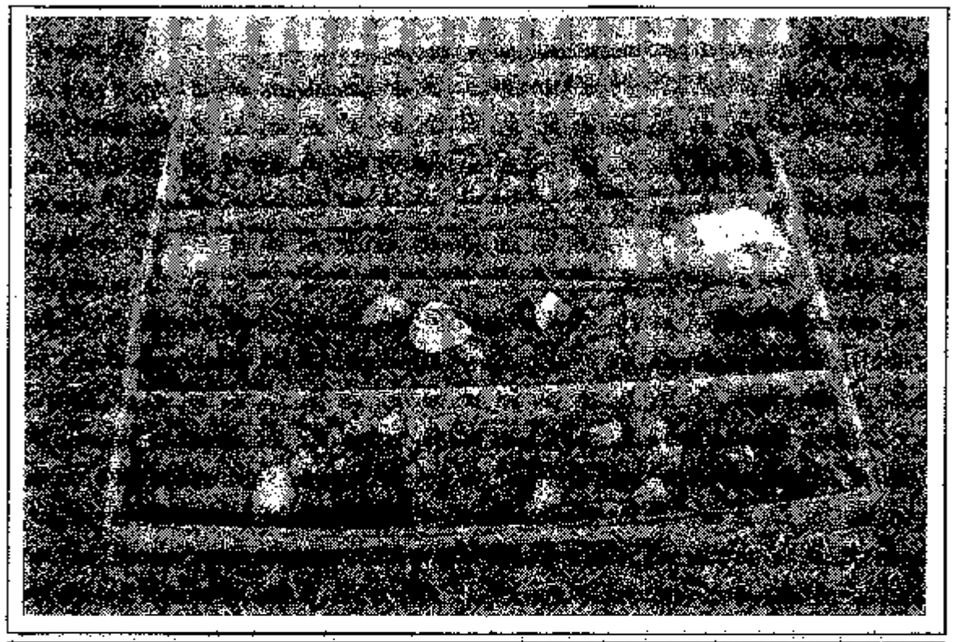


FOTO Nº 2: SONDEO SR-13 DE 0,00 A 2,40 m.
FOTO Nº 3: SONDEO SR-13 DE 2,40 A 5,40 m.

cemosa



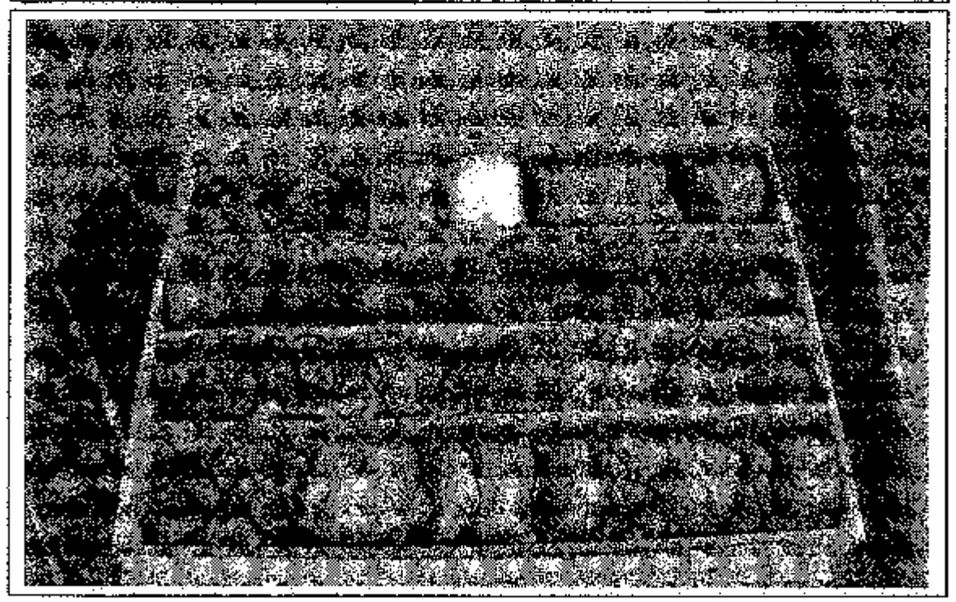
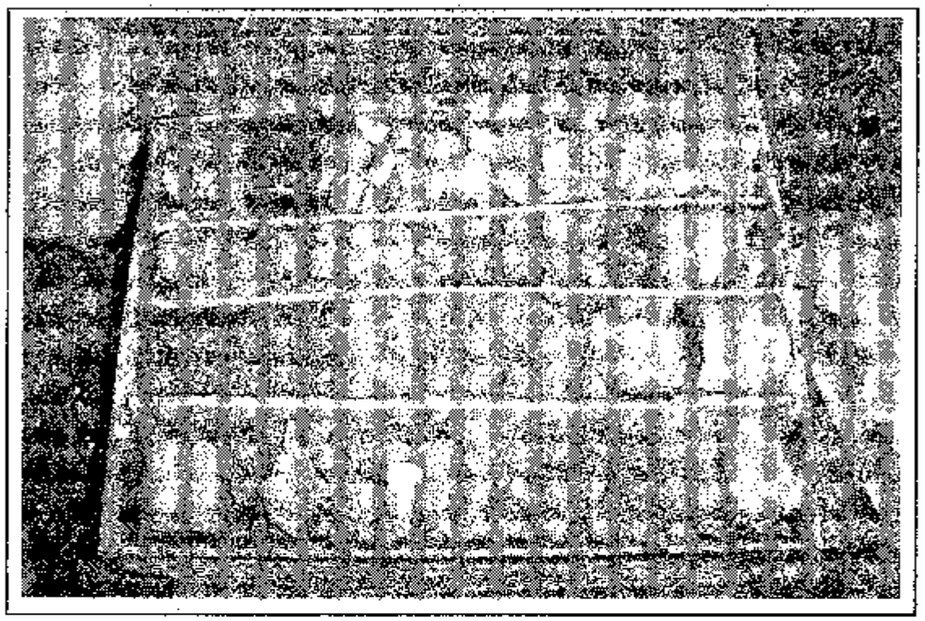


FOTO Nº 4: SONDEO SR-13 DE 5,40 A 8,40 m.
FOTO Nº 5: SONDEO SR-13 DE 8,40 A 11,90 m.



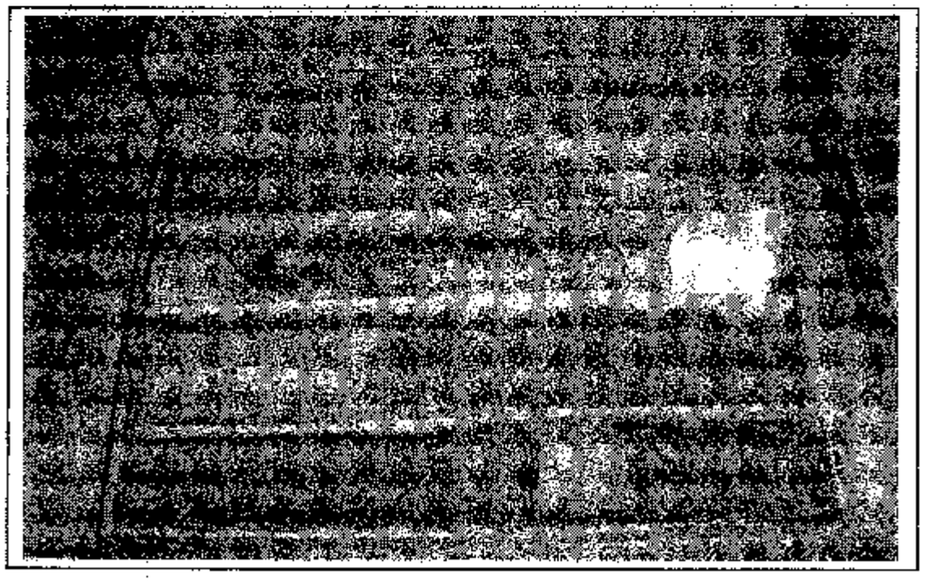
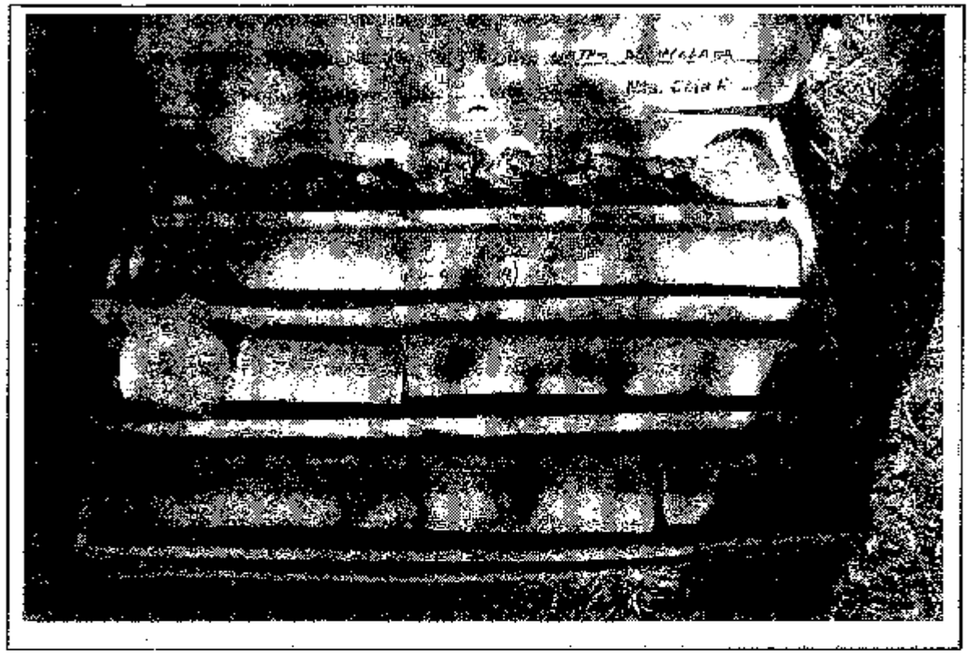


FOTO Nº 6: SONDEO SR-13 DE 11,90 A 14,70 m.
FOTO Nº 7: SONDEO SR-13 DE 14,70 A 17,40 m.

cemosa



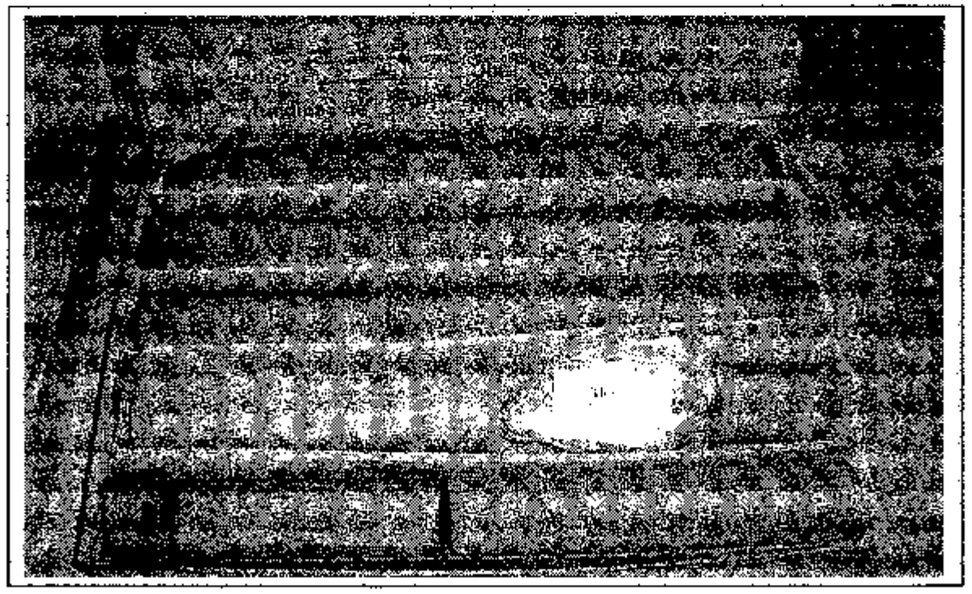
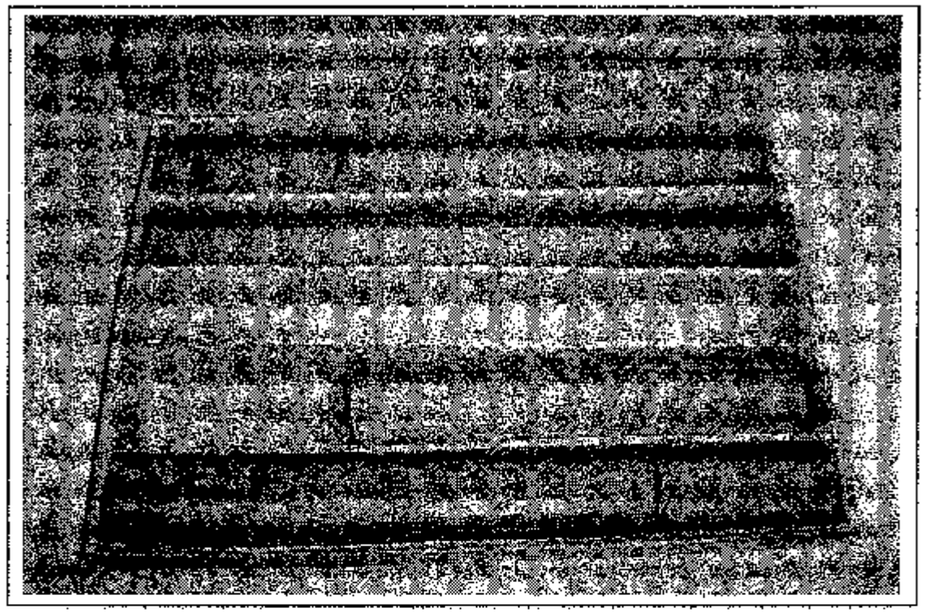


FOTO Nº 8: SONDEO SR-13 DE 17,40 A 20,20 m.
FOTO Nº 9: SONDEO SR-13 DE 20,20 A 23,80 m.



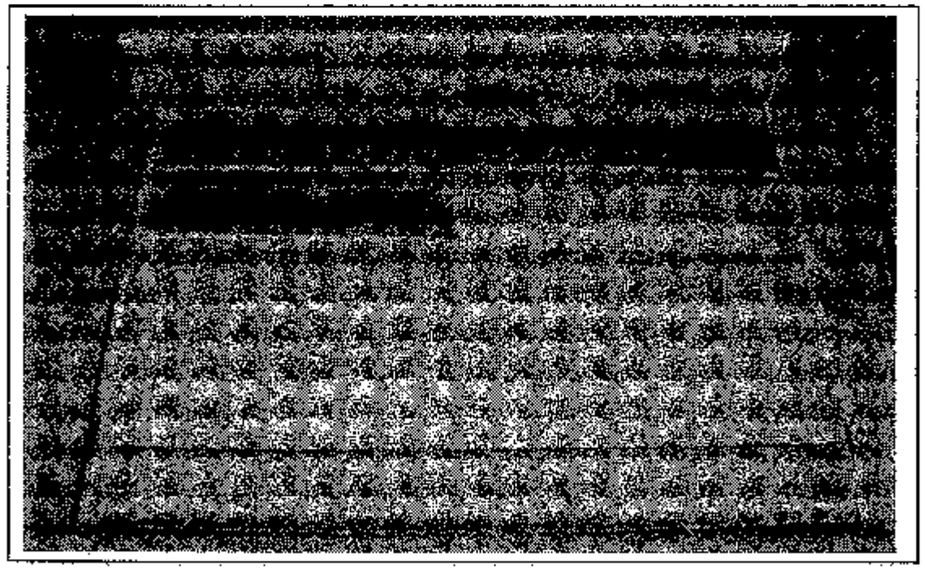
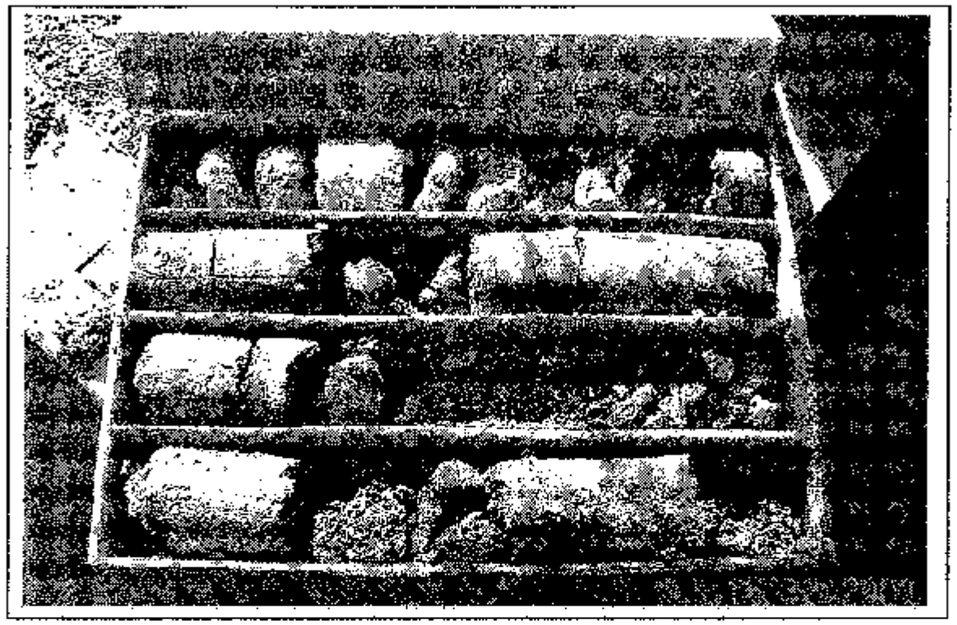


FOTO Nº 10: SONDEO SR-13 DE 23,80 A 27,20 m.
FOTO Nº 11: SONDEO SR-13 DE 27,20 A 29,20 m.

comsa



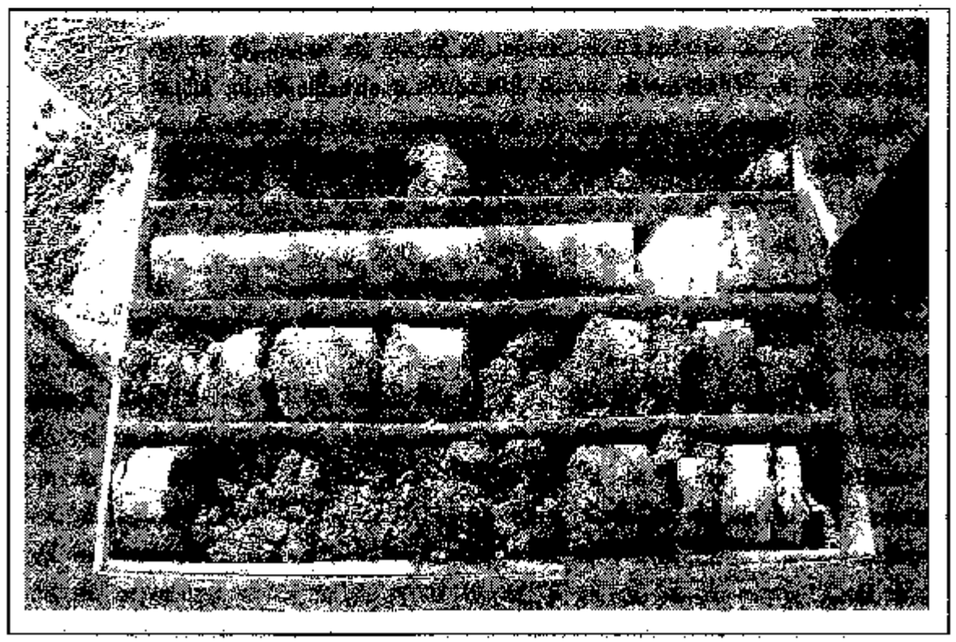


FOTO Nº 1: SONDEO SR-14 DE 0,00 A 2,40 m.
FOTO Nº 2: SONDEO SR-14 DE 2,40 A 5,40 m.

Apéndice IV.2
Ensayos de permeabilidad

ESTUDIO INFORMATIVO DE LA RED DEL METRO DE MÁLAGA.

ENCARGO XIX/02/02

Ensayo Lefranc (carga variable)

Sondeo: SR-10 Fecha: 02/12/02

Diámetro interior de la entubación o del sondeo (mm): 101
Profundidad del nivel freático (m): 4,80
Altura de agua sobre el terreno cuando se inicia la recuperación (m): 1,30

Profundidad del tramo ensayado
Superior: 10,80 Longitud (m): 1,00
Inferior: 11,80 Prof.media (m): 11,3

Resultados:

t (min.): 30,0 Lefranc K (m/s): 8,4935E-06
H1 (m.): 6,10
Hf (m.): 0,11

Tiempo (min.)	Descenso del nivel (cm)	Altura del nivel (m):
0,0	0,0	6,10
1,0	390,0	2,20
2,0	420,0	1,90
3,0	490,0	1,20
4,0	540,0	0,70
5,0	568,0	0,42
6,0	580,0	0,30
7,0	585,0	0,25
8,0	587,0	0,23
9,0	589,0	0,21
10,0	591,0	0,19
11,0	591,0	0,19
12,0	595,0	0,15
13,0	595,0	0,15
14,0	595,0	0,15
15,0	596,0	0,14
20,0	598,0	0,12
25,0	599,0	0,11
30,0	599,0	0,11

ESTUDIO INFORMATIVO DE LA RED DEL METRO DE MÁLAGA.

ENCARGO XIX/02/02

Ensayo Lefranc (carga variable)

Sondeo: SR-12 Fecha: 17/12/02

Diámetro interior de la entubación o del sondeo (mm): 101
Profundidad del nivel freático (m): 4,10
Altura de agua sobre el terreno cuando se inicia la recuperación (m): 0,87

Profundidad del tramo ensayado
Superior: 15,70 Longitud (m): 0,80
Inferior: 16,50 Prof.media (m): 16,1

Resultados:

t (min.): 20,0 Lefranc K (m/s): 1,1978E-05
H1 (m.): 4,97
Hf (m.): 0,19

Tiempo (min.)	Descenso del nivel (cm)	Altura del nivel (m):
0,0	0,0	4,97
1,0	70,0	4,27
2,0	120,0	3,77
3,0	170,0	3,27
4,0	204,0	2,93
5,0	234,0	2,63
6,0	276,0	2,21
7,0	291,0	2,06
8,0	315,0	1,82
9,0	334,0	1,63
10,0	358,0	1,39
11,0	378,0	1,19
12,0	396,0	1,01
13,0	409,0	0,88
14,0	421,0	0,76
15,0	438,0	0,59
20,0	478,0	0,19

ESTUDIO INFORMATIVO DE LA RED DEL METRO DE MÁLAGA.

ENCARGO XIX/02/02

Ensayo Lefranc (carga variable)

Sondeo: **SR-13** Fecha: 02/01/03

Diámetro interior de la entubación o del sondeo (mm): 101
Profundidad del nivel freático (m): 5,00
Altura de agua sobre el terreno cuando se inicia la recuperación (m): 0,20

Profundidad del tramo ensayado
Superior: 13,40 Longitud (m): 0,90
Inferior: 14,30 Prof.media (m): 13,85

Resultados:

t (min.): 30,0 **Lefranc** **K (m/s):** **7,5031E-06**
H1 (m.): 5,20
Hf (m.): 0,19

Tiempo (min.)	Descenso del nivel (cm)	Altura del nivel (m):
0,0	0,0	5,20
1,0	3,0	5,17
2,0	5,0	5,15
3,0	7,3	5,13
4,0	9,2	5,11
5,0	11,0	5,09
6,0	13,0	5,07
7,0	15,0	5,05
8,0	16,5	5,04
9,0	18,0	5,02
10,0	19,5	5,01
11,0	20,7	4,99
12,0	23,0	4,97
13,0	23,8	4,96
14,0	24,9	4,95
15,0	26,5	4,94
20,0	37,5	4,83
25,0	38,0	4,82
30,0	44,0	4,76