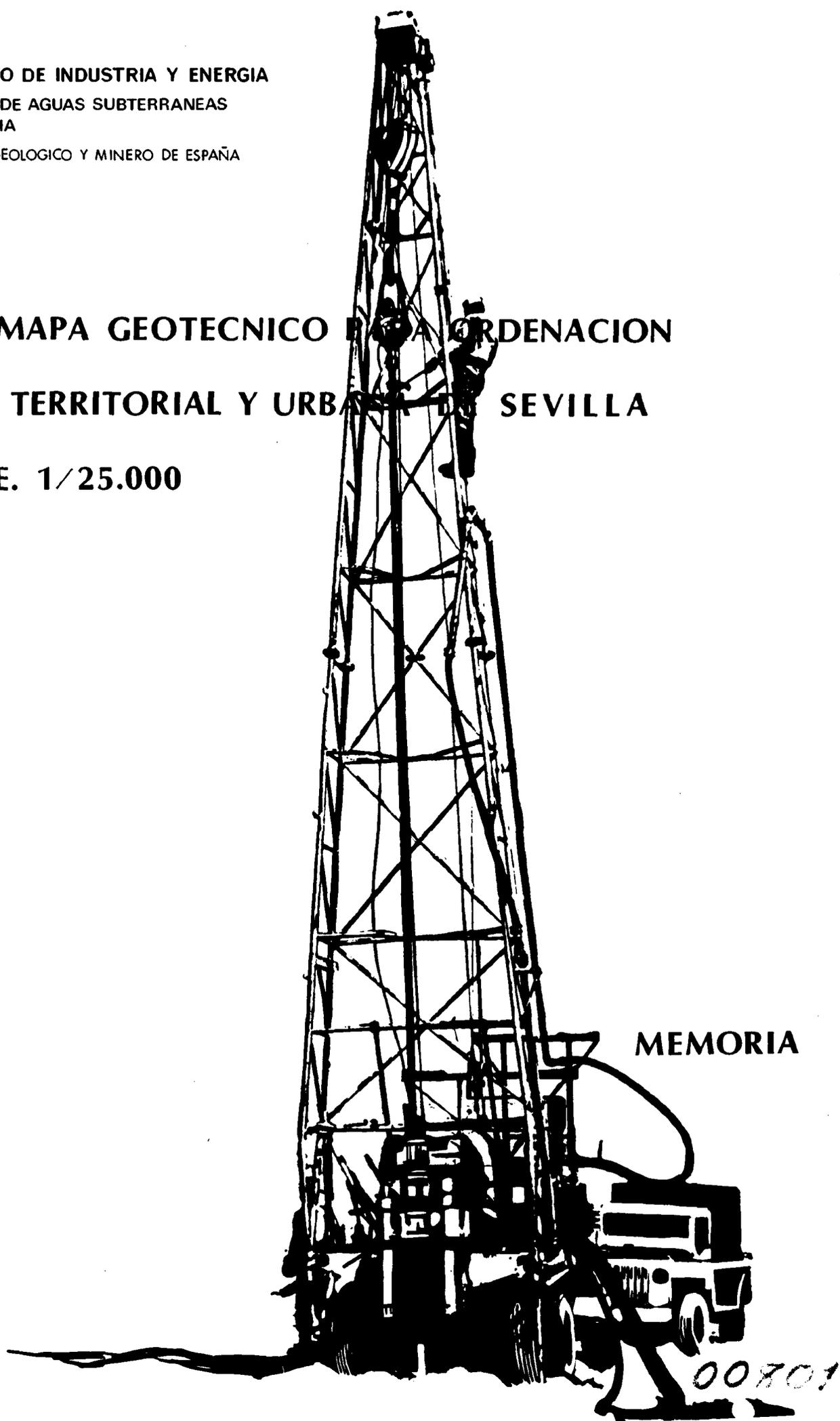


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS
Y GEOTECNIA
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

MAPA GEOTECNICO PARA ORDENACION
TERRITORIAL Y URBANA DE SEVILLA

E. 1/25.000



MEMORIA

00701

**MAPA GEOTECNICO PARA ORDENACION
TERRITORIAL Y URBANA DE SEVILLA**

El presente trabajo ha sido realizado para la División de Geología Aplicada a la Ingeniería del Instituto Geológico de España por INTECSA (Internacional de Ingeniería y Estudios Técnicos, S.A.).

Han intervenido en el trabajo:

IGME

Dirección y Supervisión: José María Pernía Llera, Ingeniero de Minas.

INTECSA

Jefe de Proyecto

Manuel Romana Ruiz Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Mapas y Memoria

Francisco Adell Argilés - Geólogo

Samuel Estefanía Puebla - Geólogo

Ignacio Cerrado Llanes - Topógrafo

Control de obras

Ignacio Cerrado Llanes - Topógrafo

INDICE

	<u>PAG</u>
1. INTRODUCCION	
1.1. La cartografía geotécnica	1
1.2. Antecedentes y objetivos del presente mapa	2
1.3. Zona estudiada	3
1.3.1. Delimitación	3
1.3.2. Características físico geográficas	3
1.4. Método de trabajo	3
1.5. Síntesis de los resultados	6
2. FACTORES CON INCIDENCIA CONTRUCTIVA	
2.1. Factores físico-geográficos con incidencia constructiva	7
2.1.1. Climatología y meteorología	7
2.1.2. Características hidrológicas	11
2.1.3. Evolución del río Guadalquivir	17
2.2. Bosquejo geológico de la zona	20
2.2.1. Estratigrafía	20
2.2.2. Tectónica	22
2.2.3. Paleogeografía	22
2.3. Sismología	23
2.4. Yacimientos y explotaciones de áridos y materiales de préstamos	25
2.5. Zonificación Geotécnica	27
2.5.1. Criterios de División	27
2.5.2. División en áreas y zonas geotécnicas	27

	<u>PAG.</u>
3. ESTUDIO DE LAS ZONAS GEOTECNICAS	
3.1. Metodología	29
3.2. Area I	33
3.3. Area II	37
3.3.1. Zona II ₁	37
3.3.2. Zona II ₂	39
3.3.3. Zona II ₃	43
3.4. Zona III	
3.4.1. Zona III ₁	45
3.4.2. Zona III ₂	47
3.4.3. Zona III ₃	50
3.4.4. Zona III ₄	54
3.4.5. Zona III ₅	55
4. RECOMENDACIONES GEOTECNICAS PARA OBRAS PUNTUALES	59
5. CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LAS MARGAS AZULES DE SEVILLA	63
6. DEFINICION DE LOS PRINCIPALES TERMINOS GEOTECNICOS EMPLEADOS	85

1. INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

La toma de decisiones en materia de Ordenación Urbana, siempre que se pretenda que dichas decisiones estén bien fundamentadas, debe ir precedida de una Información. Entre las materias que esta información debe considerar, están las relativas al medio físico. Este medio condiciona el desarrollo y las actividades cotidianas de la ciudad y su entorno de muchas formas. En este sentido, existe hoy, por ejemplo, una creciente conciencia en torno a protegerle de la contaminación y otras agresiones que contra él se ejercen. La consideración del medio físico desde un punto de vista ecológico, que pueda expresarse por medios cartográficos, es hoy parte obligada a considerar en la elaboración de Planes de Ordenación Urbana. El suelo, aparte de sus usos agrícolas y recreativos, es también el soporte de todas las construcciones y como tal influye en los aspectos económicos (generalmente a medio y largo plazo), que conlleva toda decisión urbanística. El sobrecosto que suponen los terrenos problemáticos sobre las construcciones e infraestructuras en ellos ubicadas, es un sobrecosto que paga la comunidad y que no se traduce en ningún servicio. Es una inversión inútil siempre que exista alguna posibilidad alternativa. Este sobrecosto inútil es sin embargo permanente una vez que se ha decidido la expansión de la ciudad en una zona problemática. En los actuales momentos, en que la racionalidad de las inversiones se cuida al máximo, pensamos que lo expuesto debe ser

considerado por quienes tienen el poder de decisión en actuaciones urbanísticas. La Cartografía Geotécnica trata de suministrar la Información requerida a este respecto.

Por otra parte, la realización racional de proyectos constructivos en lo que tienen que ver con el terreno (sea en cimentaciones o en obras de tierra) requiere un documento que facilite previamente al diseñador una guía sobre las características mecánicas del terreno natural, de su idoneidad para constituir rellenos, de la problemática que pueda encontrar con excavaciones, etc. Quienes han trabajado en esta clase de problemas y conocen, por tanto, la variabilidad de las condiciones del terreno, lo mucho que incide sobre la estabilidad de la mayor parte de las obras y, a la vez, la escasa o nula información previa existente, encontrarán en la Cartografía Geotécnica una valiosa guía que hará más útiles, seguros y económicos sus proyectos.

1.2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL PRESENTE MAPA

Dada la rápida expansión industrial y urbana del país, la planificación de la ejecución de los proyectos insertos dentro del Programa Nacional de Investigación Geotécnica, se orientó de forma escalonada, cubriendo en principio grandes áreas a escalas reducidas, para posteriormente pasar a estudiar zonas pequeñas con mayor detalle.

Con este criterio se inició la elaboración de mapas geotécnicos a escala 1:200.000 que, sobre grandes áreas, eran idóneos para técnicos y organismos encargados de la planificación de extensas zonas. Una vez dominada la metodología de este tipo de documentos y con toda la extensión del territorio nacional cubierta, se atacaron de forma directa otros tipos de estudios encaminados a analizar áreas concretas a escalas que oscilaran de 1:25.000 a 1:5.000.

Por la amplitud de las zonas se decidió como escala básica la 1:25.000, completada con escalas mayores para otras concretas y limitadas.

Este estudio, de gran utilidad en trabajos de planificación regional y local, se orienta hacia dos líneas de actuación. Una de tipo exclusivamente geotécnico, que tiende a analizar las características físicas y mecánicas de suelo y subsuelo de la zona, empleando para ello todos los medios mecánicos de reconocimiento, valorándose como tales, en general y para cada tipo de terreno en particular, otra, que tiende a ligar directamente Geotecnia y Ordenación Urbana y Territorial, materializada en forma de recomendaciones.

Los objetivos que trata de cubrir son:

- Cartografía de las diversas formaciones existentes, especialmente las menos consolidadas tanto en superficie como en profundidad.
- Determinación de las características hidrogeológicas que pueden repercutir en cimentaciones y obras de tierra.
- Identificación de los posibles riesgos naturales vinculados a aspectos geológicos y posibles vías de solución.
- Caracterización mecánica de las diversas formaciones con vistas a determinar su incidencia sobre la estabilidad de las obras, es decir, las condiciones constructivas del terreno para los diversos tipos de obras.

1.3. ZONA ESTUDIADA

1.3.1. DELIMITACION

La zona estudiada, a escala 1:25.000, que ha sido dividida en un Mapa Norte y otro Mapa Sur, abarca una extensión aproximada de 283 Km² limitada por las coordenadas siguientes:

	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
Vértice NO	37°26'49''	6°02'03''
Vértice NE	37°26'49''	5°52'31''
Vértice SE	37°15'57''	5°52'31''
Vértice SO	37°15'57''	6°02'03''

Esta zona comprende prácticamente todo el término de Sevilla y parte de los de Alcalá de Guadaíra, Camas, Dos Hermanas, Gelves, La Rinconada, San Juan de Aznalfarache, Santiponce y Salteras.

1.3.2. CARACTERISTICAS FISICO-GEOGRAFICAS

Atendiendo a una clasificación del terreno estudiado por usos, puede decirse lo siguiente:

- a) Las áreas donde se encuentran la población urbana son: Sevilla, Dos Hermanas, Torreblanca de los Caños, Gelves, Camas y San Juan de Aznalfarache. Se asientan, bien sobre formaciones cuaternarias (Sevilla, Torreblanca de los Caños, Gelves), bien sobre zonas del Terciario llanas (Dos Hermanas) o bien algo alomadas, caso de Camas y San Juan de Aznalfarache.
- b) Las áreas industriales se encuentran sobre zonas cuaternarias llanas al Oeste y al Sur en terrenos terciarios principalmente, como tierras de extensión de regadío (cítricos, olivos, etc.).
- c) Finalmente, las zonas agrícolas se localizan al Norte sobre terrenos cuaternarios y al Sur en terrenos terciarios principalmente, como tierras de extensión de regadío (cítricos, olivos, etc.).

1.4. METODOS DE TRABAJO

Se han seguido sucesivamente las siguientes fases:

- a) Delimitación de la zona de estudio: se ha realizado tras conversaciones mantenidas con técnicos municipales, autonómicos y de otros organismos de la Administración.
- b) Documentación previa: la recopilación de datos no sólo se ciñó al área estudiada sino que abarcó también distintos aspectos regionales de gran utilidad para las características geológicas e hidrogeológicas.

- c) **Cartografía geológica:** se realizó en campo y en gabinete mediante el estudio de fotografías aéreas. Se ha contado con la realizada por el IGME a Escala 1/50.000 (MAGNA) completada, sobre todo en lo que se refiere a formaciones cuaternarias y a problemas de tipo geomorfológico e hidrogeológico, con el mencionado estudio fotogeológico.
- d) **Reconocimientos practicados:** se han realizado sondeos mecánicos con SPT y toma de muestras inalteradas; Penetraciones dinámicas; Pocillos y calicatas y sondeos eléctricos verticales (SEV). El conjunto de reconocimientos puede verse en el Anejo n° 1 (Sondeos y penetraciones) y en el Anejo n° 2 (Pocillos y calicatas).

Los sondeos se realizaron con una sonda ISSA 1200 (Foto 1), siendo necesaria la entubación en la mayoría de los sondeos realizados en el área III.

Las penetraciones dinámicas fueron realizadas con un penetrómetro Borro automático con peso de la maza de 65 Kg, altura de caída 50 cm, y puntaza de 4x4 cm², contando el número de golpes necesario para hincar 20 cm.

Los pocillos y calicatas se realizaron con retroexcavadora.

Los sondeos eléctricos verticales (S.E.V.) se realizaron con los instrumentos y técnicas habituales en estos trabajos.

Los sondeos mecánicos y penetraciones fueron realizados por GEOCISA y la geofísica por GEAMYTSA.



FOTO 1. Máquina empleada en los sondeos

e) Ensayos de laboratorio

La totalidad de muestras obtenidas en los sondeos, pocillos y calicatas se enviaron al laboratorio de Mecánica de Suelos de GEOCISA, realizándose los siguientes análisis:

A) *Sobre las muestras obtenidas en sondeos*

a) Testigos parafinados:

- Límites de Atterberg
- Granulometría por tamizado
- Densidad seca
- Humedad natural

b) En muestras inalteradas

- Límites de Atterberg
- Granulometría por tamizado y sedimentación
- Sulfatos
- Compresión simple
- Corte directo
- Ensayo edométrico
- Peso específico
- Hinchamiento
- Densidad seca
- Humedad natural
- Expansividad
- Triaxiales
- Carbonatos

B) *Sobre muestras obtenidas en calicatas*

- Límites de Atterberg
- Granulometría por tamizado

C) *Sobre muestras obtenidas en pocillos*

- Límites de Atterberg
- Granulometría por tamizado
- Sulfatos
- Carbonatos
- Proctor
- CBR
- Densidad seca
- Humedad natural

1.5. SINTESIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados de estos ensayos se utilizaron con el fin de establecer una división en zonas y áreas geotécnicas, en función de sus características litológicas, hidrogeológicas, geomorfológicas y de riesgos naturales.

Por último se le asignaron a cada una sus características mecánicas y su valoración constructiva.

2. FACTORES CON INCIDENCIA CONSTRUCTIVA

2.1. FACTORES FISICO-GEOGRAFICOS CON INCIDENCIA CONSTRUCTIVA

2.1.1. CLIMATOLOGIA Y METEREOROLOGIA

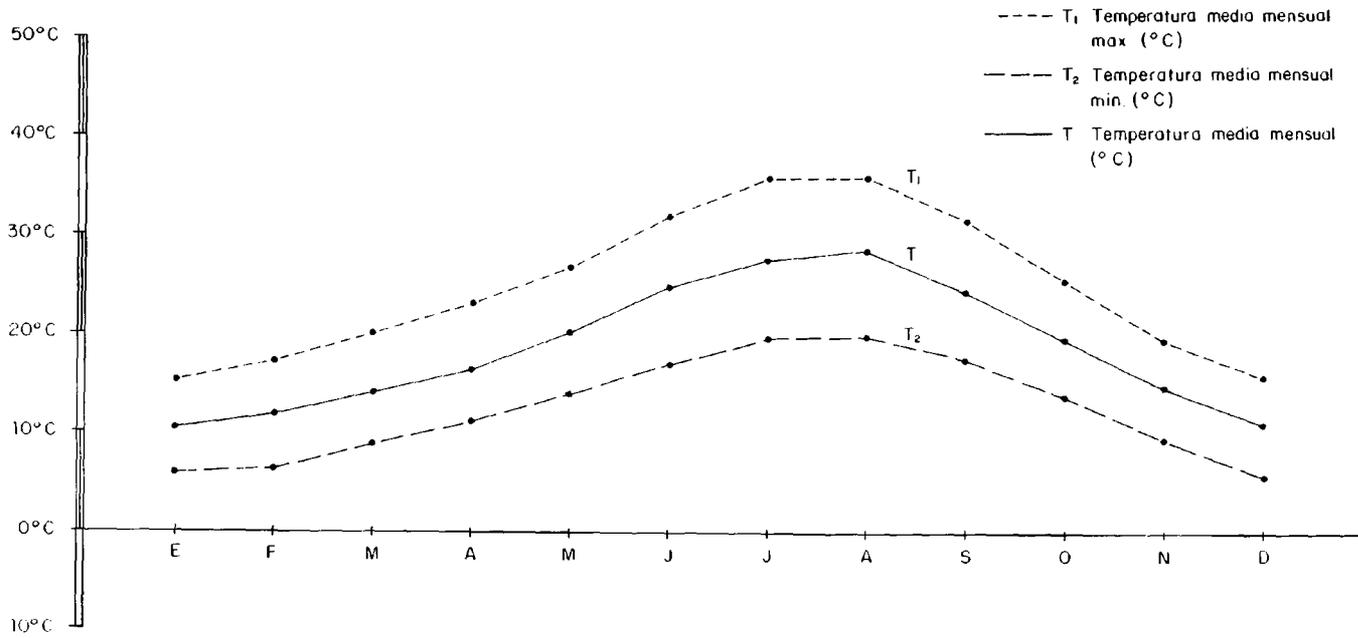
El clima de la zona está caracterizado por los valores que en ella toman una serie de parámetros meteorológicos.

El clima de Sevilla (altitud = 10 m., latitud 37°23'N, longitud 2°18'W) cálido y seco, está determinado por los valores siguientes:

TEMPERATURA

La temperatura media anual es de unos 19° siendo el mes más caluroso Agosto con una temperatura media de 28° C y el más frío Enero, con 11° C.

Las temperaturas extremas absolutas registradas (1932-66) fueron de 47° C (Agosto 1946) de máxima y de -3,2° C (Febrero 1938) de mínima. Todos los años del periodo considerado se han superado los 39° C.



La temperatura máxima media varía según los meses de 15° C en Enero a 36° C en Agosto, mientras la mínima varía de 6° C a 20° C en los mismos meses.

La oscilación máxima de las temperaturas extremas alcanza los 48° C (1945).

PRECIPITACION

La lluvia media anual es de unos 590 mm (1932-66), distribuidos mensualmente de la forma siguiente:

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
68	63	88	58	37	11	1	4	23	67	80	90

Los valores anuales extremos han sido 251 mm (1954) y 904 mm (1936), siendo la máxima lluvia mensual registrada de 339 mm. en Noviembre de 1961.

Las precipitaciones máximas anuales en 24 horas oscilan en las diferentes estaciones del área de estudio entre 25,5 mm. en la estación de Sevilla (C.H.G.) y 148,0 mm. en Gelves (Hacienda Torrequemada), en el mes de Noviembre.

Asimismo se tienen precipitaciones para un periodo de retorno de 50 años en las distintas estaciones.

Estación	Periodo	Precipitación
Gelves (H.T.)	1950-1966	198,9
Sevilla (C.H.G.)	1953-1970	118,8
Sevilla (Miraflores)	1956-1970	137,2
Sevilla (Universidad)	1941-1969	118,8

Las precipitaciones máximas anuales en 12 horas oscilan entre 21,0 mm. de S. Pablo en Marzo y 86,0 mm. de Tablada en Febrero, dando para un periodo de retorno de 50 años: 95,1 mm. en S. Pablo (1951-1970) y 93,0 mm. en Tablada (1941-70).

HUMEDAD RELATIVA

Oscila entre el 50% en el mes de Julio y el 80% en Diciembre, siendo la media anual de 65%.

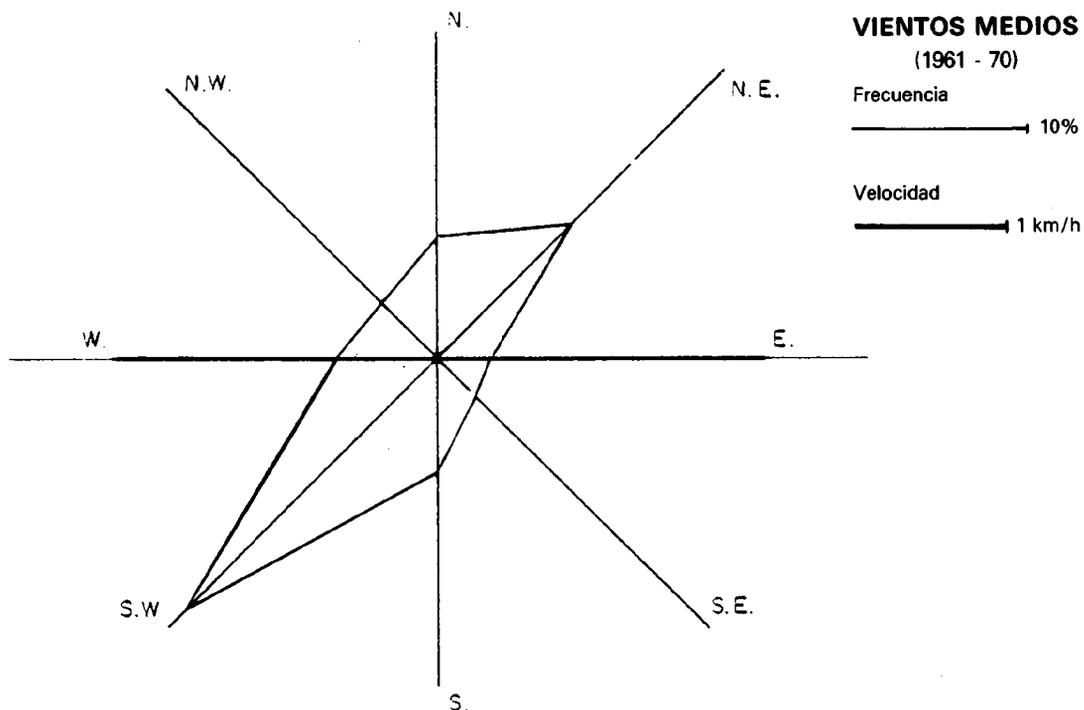
VIENTOS

De los datos mensuales de velocidad y frecuencia del viento según direcciones (periodo 1961-70) se deducen los valores anuales medios siguientes:

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Frecuencia (%)	11,7	16,9	4,6	5,3	11,0	34,4	9,0	7,1
Velocidad (Km/h)	5,1	6,7	5,4	5,3	6,4	7,3	5,9	5,6

Con los que se ha dibujado la rosa de los vientos del gráfico adjunto.

El viento reinante sería el del SW, con una velocidad media de 7 km/h, siendo frecuentes los vientos del NE.



INDICES CLIMATICOS DE LOS VIENTOS.

Dado el interés que pudiera tener el conocer los coeficientes de reducción laboral debidos a causas climáticas se incluirán a continuación algunos de ellos en función de los distintos tipos de obras.

Para ello se ha supuesto cada obra repartida uniformemente a lo largo de los 365 días del año, y éstos a su vez en los 12 meses con arreglo a la tabla siguiente, en la que no se han tenido en cuenta los días festivos.

Enero	0,0849	Julio	0,0849
Febrero	0,0767	Agosto	0,0849
Marzo	0,0767	Agosto	0,0849
Abril	0,0822	Octubre	0,0849
Mayo	0,0849	Noviembre	0,0822
Junio	0,0822	Diciembre	0,0849

Multiplicando el cuadro anterior por los coeficientes de reducción correspondientes a cada mes y sumando los productos de los meses se han obtenido los siguientes coeficientes medios anuales.

*Coefficientes medios anuales
para la obtención del número de días útiles de trabajo
a partir del número de días laborables*

		Clase de Obra		
Hormigones	Explanación	Aridos	Riegos y tratamientos	Mezclas bituminosas
0,939	0,889	0,943	0,666	0,807

2.1.2. CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

REGIMEN Y RED FLUVIAL.

El Guadalquivir a su paso por Sevilla presenta un caudal medio anual de 184 m³/seg para el periodo 1931-32 y 1975-76 y un caudal medio mensual en Marzo de 435 m³/seg. para el mismo periodo considerado.

Afluente por la derecha del Guadalquivir dentro de la zona de estudio está el Ribeira de Huelva y por la izquierda, el Guadaira.

El Guadaira tiene 7,35 m³/seg. de caudal medio anual en Alcalá de Guadaira y 5,66 l/seg/Km² de caudal específico. Alcanza su máximo en el mes de Marzo.

CARACTERISTICAS DE LAS AVENIDAS.

Los caudales máximos del Guadalquivir (1923-24 a 1962-63) en Sevilla y del Guadaira (1948-49 a 1962-63) en Alcalá se recogen en el cuadro adjunto.

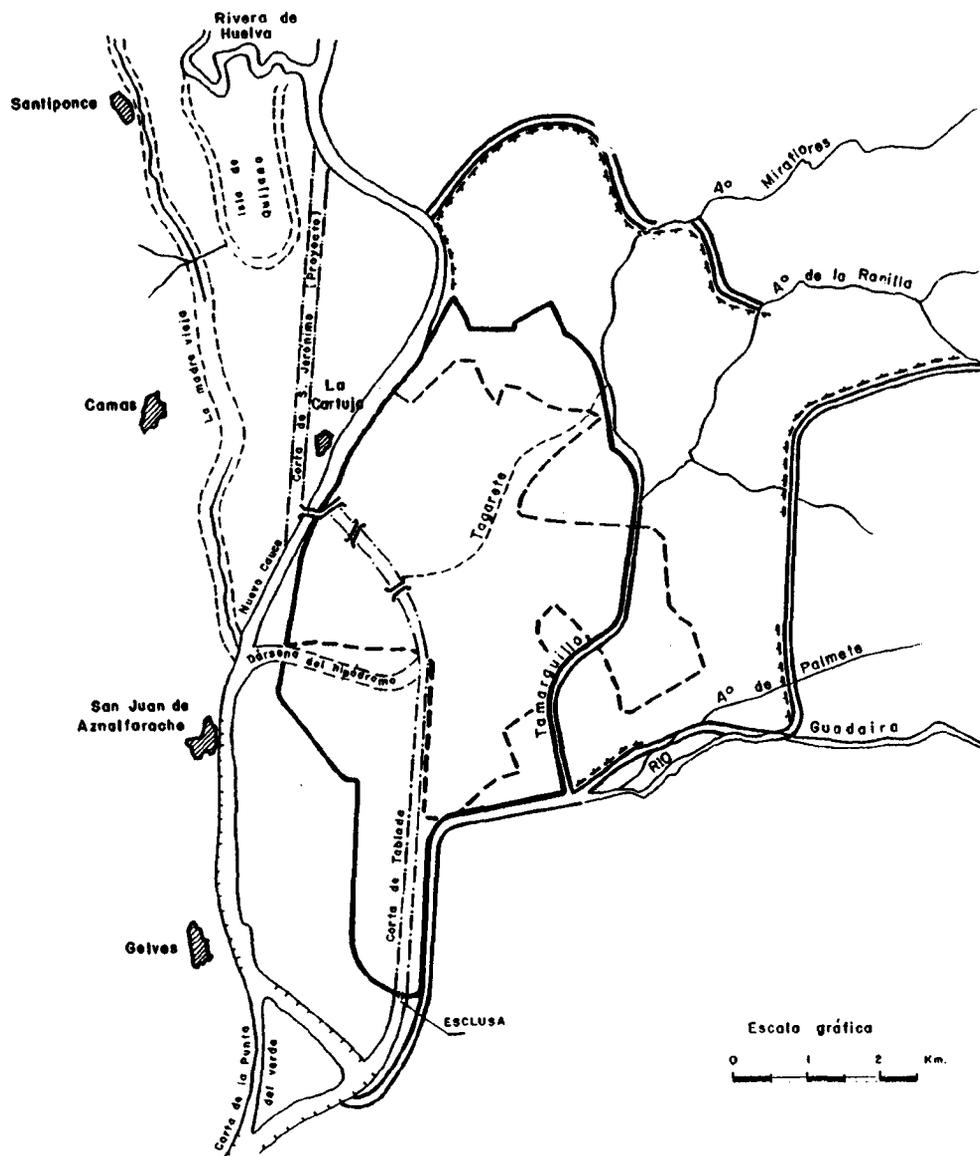
CAUDALES MAXIMOS

AÑO	Guadalquivir en Sevilla (m ³ /seg)		Guadaira en Alcalá (m ³ /seg)	
	Medio diario	Instantáneo	Medio diario	Instantáneo
1949			82	103
1950	4524	4886	285	310
1951	4256	4596	152	254
1952	1482	1601	26	136
1953	451	487	152	254
1954	1023	1105	112	203
1955	2720	2938	232	369
1956	318	343	3	4
1957	296	320	27	65
1958	2731	2949	763	890
1959	3746	4046	333	574
1960	1954	2110	373	606
1961	4246	4605	373	606
1962	4317	5000	605	762
1963	2606	2814	559	704

Hay que hacer notar que se trata de caudales medios diarios, no de caudales instantáneos.

Las avenidas más importantes se producen durante los meses de invierno (Diciembre-Marzo, tanto en el Guadalquivir como en el Guadaira).

MAPA HIDROGRÁFICO DE LA REGIÓN DE SEVILLA



LEYENDA

- Límites actuales de la aglomeración sevillana
- Dique de protección interior
- - - Dique exterior
- ==== Curso de agua desviado
- Corte
- ==== Cauce abandonado
- ==== Espigones de protección

CAUDALES MEDIOS DIARIO MAXIMOS (m³/seg)

MESES	GUADALQUIVIR (1945 - 1963)	GUADAIRA (1948 - 1963)
E	4264	571
F	5755	574
M	5414	373
A	4256	254
M	1754	38
J	290	62
J	133	13
A	197	14
S	435	109
O	206	222
N	2177	254
D	3741	763

FRECUENCIA DE LAS AVENIDAS

Las avenidas ordinarias, (30% de casos), dan caudales de 1000-2000 m³/seg.

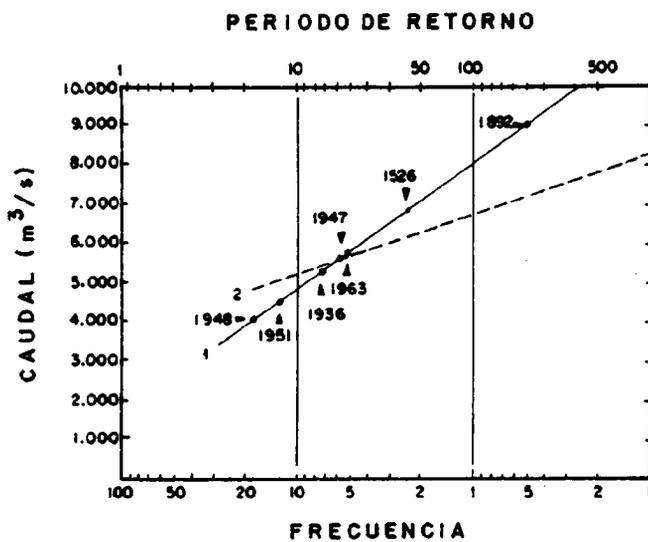
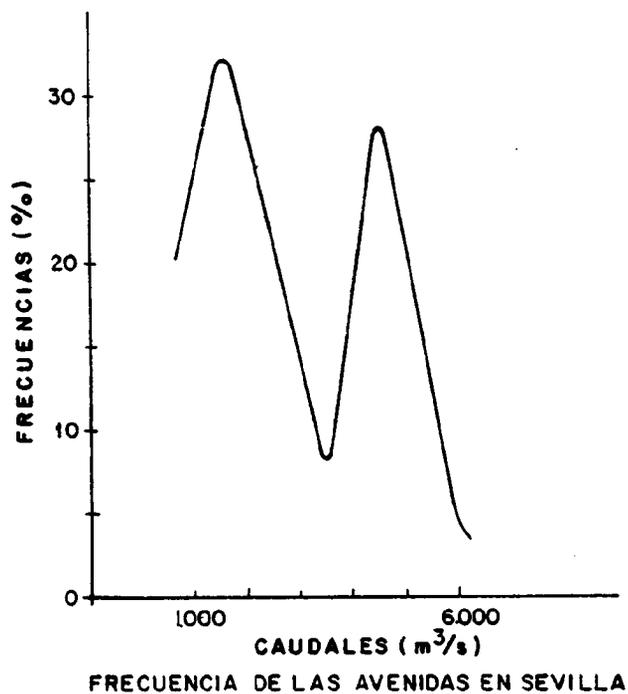
Las extraordinarias (28% de casos) dan caudales entre 4000-5000 m³/seg.

Los caudales de avenida en función de su periodo de retorno serían los siguientes:
tes:

		Periodo de retorno (años)		
		10	100	1000
Caudal máximo (m ³ /sg)	Guadalquivir	4800	8000	11000
	Guadaira	380	1000	1420

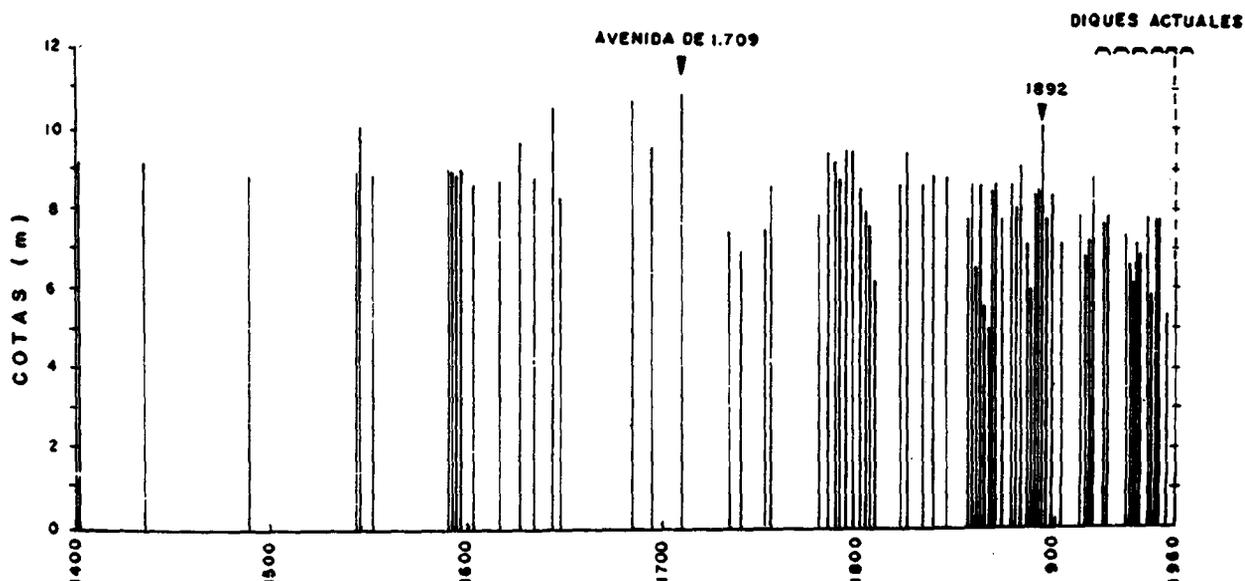
Para evitar el peligro que presentan las fuertes subidas de nivel del río, los diques de protección de la ciudad se han recrecido en diversas ocasiones.

En el gráfico adjunto puede verse la frecuencia de las avenidas más recientes del Guadalquivir en Sevilla y sus períodos de retorno.



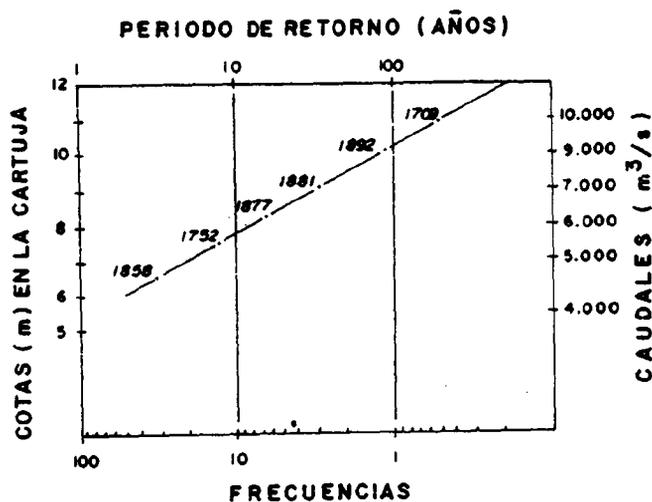
- 1. Frecuencia de las avenidas recientes en Sevilla.
- 2. Curva de probabilidad teniendo en cuenta las presas en construcción.

En los archivos del Puerto de Sevilla se conservan las alturas alcanzadas por el agua en las avenidas más importantes. La curva de frecuencias pone de manifiesto que la avenida decenal supera la cota 7 en la Cartuja, lo cual se traducía, en la época en que no existían los diques, en la inundación de toda la Ribera salvo el casco urbano, amurallado. La avenida centenaria debe elevarse por encima de la cota 10 y la milenaria casi alcanza la 13 (ver gráficos adjuntos).



ALTURAS DE LAS AVENIDAS EXTRAORDINARIAS EN SEVILLA

Cotas referidas al cero geográfico.



FRECUENCIA DE LAS AVENIDAS EXTRAORDINARIAS ATENDIENDO A LA COTA ALCANZADA POR LAS AGUAS

Se estima generalmente que la avenida máxima en Sevilla debe ser de unos 12.000 m³/s y alcanzar la cota 11-12, es decir, la cota que se supone alcanzó la catastrófica de 1.168.

Para evitar el peligro que representan las fuertes subidas de nivel del río, los diques de protección de la ciudad se han ido recreciendo progresivamente en los últimos 20 años. Actualmente su coronación está a la cota 12.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS INUNDACIONES

Para un mismo volumen de avenida en Sevilla, el comportamiento de las aguas difiere según la acción combinada de cierto número de factores que aumentan o disminuyen su gravedad. Toda perturbación o retraso que afecte a la progresión de las aguas aumenta los desbordamientos, extendiéndolos a nuevas zonas. Resaltaremos los factores siguientes:

EL MEDIO MORFOLOGICO

La extensión de las inundaciones depende actualmente del trazado de los antiguos cauces en el interior de los diques de protección (la Alameda de Hércules se transforma, en cada avenida, en un lago que se prolonga por cada una de sus bocacalles) aumentando la gravedad de las avenidas en Sevilla el abandono y la disminución de calado en cauces paralelos, que producían importantes derivaciones.

LA SITUACION ATMOSFERICA

Todas las avenidas han coincidido con temporales o rachas fuertes de viento en el golfo de Cádiz. Si el viento sopla continuamente durante varios días se produce una elevación del nivel mar que puede alcanzar 1 m, reduciendo la capacidad de desagüe del río en los primeros días de avenida.

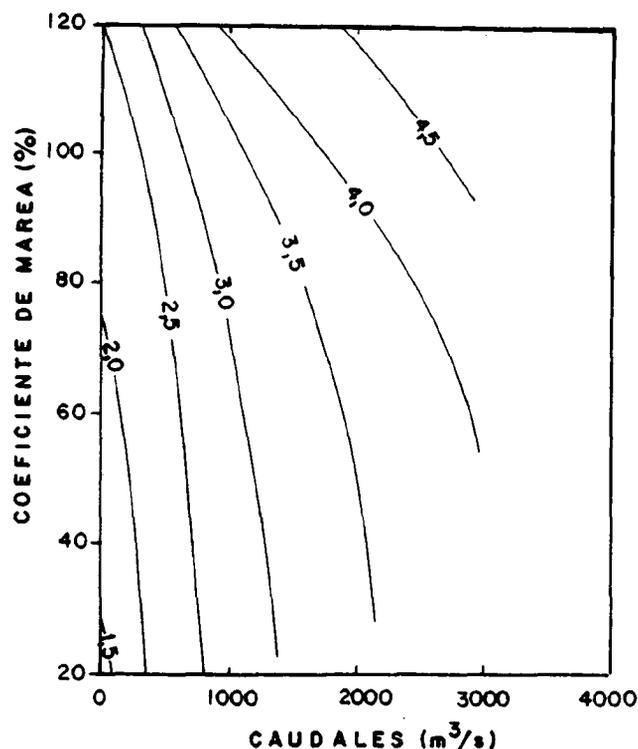
La influencia del viento en las avenidas es siempre muy importante aunque poco estudiado. El viento del Sur parece ser el de acción más intensa.

LA MAREA

Aparentemente se podría creer que la marea es el gran obstáculo que las avenidas deben vencer, siendo en parte responsable de ciertas inundaciones si aquéllas coinciden con las pleamares vivas.

Esto era cierto antiguamente cuando la marea remontaba los diversos brazos del río. Pero actualmente, las masas fluvial y oceánica se propagan por un cauce único, demostrando los registros de los mareógrafos que la influencia de la marea en la inundación es prácticamente nula.

Sin embargo, puede tener una cierta influencia local cuando una inundación marítima de coeficiente elevado coincide con el desbordamiento de los lucios. En este caso la marea contribuye a reducir la capacidad de desagüe del río.



2.1.3. EVOLUCION DEL RIO GUADALQUIVIR

Dentro de la relativa homogeneidad del sub-suelo de Sevilla, pueden citarse como puntos singulares las zonas afectadas por los antiguos cauces del Guadalquivir y los arroyos próximos (Tagarete, Tamarguillo).

La particularidad de estas zonas puede deberse a una de las tres causas siguientes:

Mayor proporción de elementos gruesos; esto acarrea una mayor permeabilidad del terreno y, consiguientemente, la posibilidad de que exista una circulación subálvea.

Las margas azules se encontrarán más profundas, recubiertas por un mayor espesor de materiales cuaternarios y la capa de contacto de las margas azules con la zahorra puede encontrarse más alterada.

Un estudio de las terrazas proporciona una idea general muy valiosa de la evolución del río durante el Cuaternario.

Es posible observar que las terrazas están mucho más desarrolladas en la margen S. y E. De ello puede deducirse que el curso se ha desplazado (y continúa desplazándose) hacia Sierra Morena, es decir, hacia el N y el W. La explicación podría consistir en un levantamiento lento, pero continuo hasta nuestros días, del sistema Bético.

Asimismo puede comprobarse que las terrazas del Guadalquivir presentan una doble dirección de la pendiente: una a lo largo del curso del río y otra en dirección normal al mismo.

Con todo eso, y basándose en las curvas de nivel de la zona de Sevilla, puede establecerse una interpretación esquemática de la evolución del río y otra en dirección normal al mismo.

Por otro lado, el Guadalquivir circula en su tramo bajo con un cauce inestable y divagante. Este comportamiento es debido a las características hidrográficas de la zona, donde se reúnen una serie de factores que favorecen este hecho. Entre otros pueden citarse:

- a) Existencia de numerosos afluentes y colectores secundarios en una distancia muy pequeña. En la zona de Sevilla, aparte de los diversos brazos del Guadalquivir, se encuentran los arroyos de Tagarete y Tamarguillo y el río Guadaira.
- b) La pendiente del río en esta zona es muy débil (la menor de todos los ríos de España).
- c) En la margen izquierda se encuentra el zócalo de Sierra Morena caracterizado por un coeficiente de escorrentía alto (debido a las fuertes pendientes y baja permeabilidad), que ocasiona grandes sobreelevaciones en el nivel del río en épocas de lluvia.
- d) La influencia de la marea, que limita la capacidad de desagüe del río.

Si bien lo único que puede establecerse son conclusiones de tipo cualitativo, parecen claros dos puntos.

- I. Las condiciones hidrológicas propician la existencia de paleocauces.
- II. La evolución del río deducida de sus terrazas apunta la posibilidad de que se encuentren paleocauces dentro del casco urbano.

GRAFICO DE EVOLUCION DEL RIO GUADALQUIVIR

Posterior a la última glaciación

-19-



2.2. BOSQUEJO GEOLOGICO DE LA ZONA

Todo estudio geotécnico debe partir necesariamente de un conocimiento mínimo de la geología de la zona. Solamente en base a este conocimiento puede comprenderse la unidad y relación mutua entre distribución de los materiales y los diversos aspectos que inciden en las características geotécnicas de los diversos terrenos (litología, geomorfología, hidrología, etc.)

Por ello, realizaremos una descripción general que nos servirá para comprender la División Zonal, y que se profundizará al estudiar más adelante todos y cada uno de los aspectos que nos interesen.

2.2.1. ESTRATIGRAFIA

Describiremos aquí los materiales que aparecen en los diversos periodos y su distribución:

a) Terciario

Constituye la casi totalidad del cuadrante II y el borde occidental del cuadrante IV, constituyendo también el sustrato sobre el que descansan los materiales cuaternarios. Solamente existe el Neógeno (Mioceno Superior) de edad Andaluciense.

Tiene dos tramos bien diferenciados:

1. (M₁) Terreno basal constituido por margas grís-azuladas que en superficie tienen un color amarillento debido a la meteorización y a la presencia de sales de hierro. Son generalmente compactas y a veces muy plásticas pasando en su tramo superior a margas arenosa de un modo gradual. El espesor de esta formación es variable y puede alcanzar los 500 metros e, incluso, los 900.
2. (M₂) Tramo detrítico constituido por una alternancia de pequeños bancos (30-50 mm) de margas arenosas marrones verdosas y localmente arenas de playa, con estratificación cruzada. Este tramo es de difícil diferenciación con el supra e infra-yacente debido al recubrimiento cuaternario y a fenómenos de soliflucción que lo enmascaran. Solamente los escarpes localizados entre Gelves y San Juan de Aznalfarache permiten realizar la separación. Su potencia es variable pudiendo alcanzar hasta los 40 mts.
3. (M₃) Sobre la alternancia de margas marrones y arenas y sin una discordancia visible encontramos los limos arenosos de color amarillo claro que pueden considerarse como un paso lateral de las calcarenitas que aparecen en la parte oriental de la zona de estudio. Su potencia máxima observable, aunque resulta difícil de precisar, debido a que las partes altas están erosionadas y coluvionadas, es de 40 mts.

b) PLIOCUATERNARIO

1. (P₁) Depósito considerado como un cambio lateral y vertical de facies de los limos amarillentos descritos anteriormente y constituido por calcarenitas, arenas y arcillas que presentan un notable endurecimiento en superficie, expuestas a la acción atmosféricas, aunque en zonas de fractura fresca son fácilmente desmoronables. Presentan una estratificación variable de masiva a bien estratificada presentando localmente, aunque con frecuencia, estratificación cruzada.
La máxima potencia de los afloramientos es de 60 mts.
2. (P₂) Con una fuerte discordancia erosiva sobre los materiales terciarios se encuentra esta formación, denominada arenas basales constituida por arenas más o menos cementadas y, localmente, niveles de areniscas.
Debido al carácter erosivo del contacto, su potencia es muy variable, pero se han llegado a apreciar hasta 20 mts.
3. (P₃) También como en la anterior formación con una fuerte discordancia erosiva sobre las arenas basales aparece la formación denominada Formación Roja que puede asimilarse como un glacis de acumulación.
En la zona de estudio aparecen pequeños retazos constituidos litológicamente por un gran paquete de gravas, arenas y arcillas más o menos cementadas, una estratificación cruzada localmente y todo él fuertemente erosionado en el que se observan intradiscordancias. Su potencia puede llegar hasta 20 mts. aunque en el área de estudio las pequeñas monteras observables no sobrepasan los 5 mts.

c) CUATERNARIO

Ocupa la mayor parte de los cuadrantes I, III y IV y en él se han distinguido tres niveles bien diferenciados correspondientes a las terrazas del Guadalquivir, así como niveles de costras y conglomerados sobre las calcarenitas del tramo detrítico terciario y depósitos de marismas constituidos por limos muy finos de color oscuro más o menos arenosos. Localmente existen rellenos de limos y arenas de poca potencia.

Se establece una diferencia entre los tres niveles de terrazas encajados cuya diferencia de cota va decreciendo desde los altos hacia los bajos, hasta el punto de confundirse a la entrada de las marismas, zona donde las terrazas encajadas pasan a ser superpuestas.

1) El cuaternario antiguo Q_{T1}

Se encuentra por todas partes, pero su extensión más amplia se observa entre Sevilla y Córdoba, donde forma un nivel muy constante. Este nivel baja hacia el río Guadalquivir, es decir, hacia el norte con una pendiente suave de 1,5% y muchas veces se encuentra erosionado por los arroyos más recientes hasta hacer aparecer las margas tortonienses subyacentes.

Su altura sobre el nivel del río Guadalquivir disminuye del Este hacia el Oeste, así es de 100 m. cerca de Ecija, 70 m. en la zona de Carmona, 40 m. al lado de Sevilla y 10 m. al Sur de Dos Hermanas.

Este cuaternario antiguo está constituido por limos y arcillas con niveles irregulares de cantos rodados y gravas, asociados a costras calcáreas blancas de pequeño espesor (0,1 a 1 m.). Estas costras aumentan de espesor cerca de los afloramientos de las cali-

zas jurásicas de la zona subbética, como se puede ver cerca de Estepa y de Osuna.

Los colores superficiales muy vivos (rojo-naranja), así como las costras calcáreas son los elementos más característicos de las facies del cuaternario antiguo.

El espesor medio de este cuaternario es del orden de 10 m. y no parece sobrepasar 20 m.

2) El cuaternario medio Q_{T2}

Esta terraza, que suele ser llana, poco erosionada y casi horizontal, puede observarse a lo largo de la mayor parte de la red fluvial a una cota sobre el nivel de los ríos comprendida entre 5 y 50 m. bajando según el sentido del río.

Este nivel está caracterizado por una rubefacción típica bastante intensa aunque no tanto como la del antiguo y por una cementación de sus elementos. Sin embargo, no se observan nunca costras calcáreas como en el antiguo.

El corte más corriente corresponde a unos limos superiores que descansan sobre niveles de areniscas, de arenas o de conglomerados.

La potencia media de esta terraza es de 15 m. pero puede variar entre 5 y 25.

3) El cuaternario reciente Q_{T3}

En este tipo de cuaternario no se observan rubefacciones, cementaciones ni costras calcáreas, lo que permite distinguirlo de los anteriores sobre todo si se considera su cota sobre el nivel del río, siempre pequeña, nunca superior a 10 m.

Está normalmente constituido por una capa superior de limos, más o menos arcillosos y por una capa inferior de cantos rodados y gravas, más o menos arenosas.

La potencia de esta terraza es variable, comprendida entre 5 y 30 m. a lo largo de los ríos principales y se supone que esta potencia crece hacia las desembocaduras.

2.2.2. TECTONICA

Existe una herencia de un importante accidente de zócalo producido durante la Orogenia Hercínica que se localiza en el cauce bajo del Guadalquivir desde Sevilla capital y que ha servido para que existiera una subsidencia zonal, una canalización de aportes continentales y, ya en el Cuaternario, una posible captura del río Guadalquivir.

Aparte de este hecho, sólo se puede hablar de tectónica al referirnos a la diferencia notable que existe entre la dirección del buzamiento y cota de la calcarenita al N y S de Dos Hermanas y que podría ser debida a la presencia de fallas de acomodación posteriores a la regresión andalucense y al depósito de las calcarenitas.

Así pues, no puede hablarse de fenómenos de tectónica reciente por manifestación de fracturas del zócalo en las capas plásticas subyacentes, los cuales sólo podrían comprobarse tras un detallado estudio de carácter regional.

2.2.3. PALEOGEOGRAFIA

Durante el Helveciense se produce una gran transgresión marina que invade toda la depresión del Guadalquivir.

Esta transgresión origina en los bordes de la depresión unas facies detrítica de poca profundidad (arenas, areniscas, molasas), mientras que en el centro es facies de tipo pelágico (margas). Durante todo el Tortonense continúa la sedimentación de tipo pelágico y sólo al final y durante el Saheliense comienza una regresión que va a originar facies neríticas de tipo arenoso.

En el interior se individualizan algunas cuencas con motivo de esta regresión general (Granada, etc.). Sobre el alcance de la regresión no existe un criterio uniforme, algunos autores opinan que retrocedió el mar más o menos hasta la altura de las actuales marismas.

2.3. SISMOLOGIA

El área de Sevilla, se encuentra situada en la zona sísmica segunda, comprendida entre las isosistas de grados VI y VII, según la Norma Sismorresistente P.D.S.1 (1974). Le corresponde, pues, el grado de sismicidad media. Será por consiguiente, necesario considerar las acciones sísmicas en los proyectos de obras y servicios.

Las intensidades sísmicas citadas se expresan en grados dentro de la escala macrosísmica internacional (M.S.K.) y se definen mediante los fenómenos, daños o cambios advertidos en las personas, las construcciones y la naturaleza. Así el grado VI se describe en estos términos:

- a) Lo sienten la mayoría de las personas, tanto dentro como fuera de los edificios. Muchas personas salen a la calle aterrorizadas. Algunas personas llegan a perder el equilibrio. Los animales domésticos huyen de los establos. En algunas ocasiones, la vajilla y la cristalería se rompen, los libros caen de sus estantes, los cuadros se mueven y los objetos inestables vuelcan. Los muebles pesados pueden llegar a moverse. Las campanas pequeñas de torres y campanarios pueden sonar.
- b) Se producen daños moderados (clase 2) en algunas construcciones del tipo A. Se producen daños ligeros (clase 1) en algunas construcciones del tipo B y en muchas de tipo A.
- c) En ciertos casos pueden abrirse grietas de hasta 1 cm. de ancho en suelos húmedos. Pueden producirse deslizamientos en las montañas. Se observan cambios en el caudal de los manantiales y en el nivel de agua de los pozos.

El grado VII:

- a) La mayoría de las personas se aterroriza y corre por la calle. Muchas tienen dificultades para mantenerse en pie. Las vibraciones son sentidas por personas que conducen automóviles. Suenan las campanas grandes.
- b) Muchas construcciones del tipo A sufren daños graves (clase 3) y algunas incluso destrucción (clase 4). Muchas construcciones del tipo B sufren daños ligeros (clase 1).
- c) En algunos casos se producen deslizamientos en las carreteras que discurren sobre laderas con pendientes acusadas; se producen daños en las juntas de las canalizaciones y aparecen fisuras en muros de piedra. Se aprecia oleaje en las lagunas y el agua se enturbia por remoción del fango. Cambia el nivel del agua de los pozos y el caudal de los manantiales. En algunos casos vuelven a manar manantiales que estaban secos y se secan otros que manaban. En ciertos casos se producen derrames en taludes de arena o de grava.

En fin, los daños que pueden ocasionarse en los distintos tipos de construcciones son de clase 2-4 para las de tipo A, de clase 2-3 para las de tipo B y de clase 1-2 para las de tipo C, correspondiendo estas denominaciones a los siguientes conceptos:

Tipo de construcción A: con muros de mampostería en seco o con barro, de adobes, de tapial.

Tipo de construcción B: con muros de fábrica de ladrillo, de bloques de mortero, de mampostería con mortero, de sillarejo, de sillería, entramados de madera.

Tipo de construcción C: con estructura metálica o de hormigón armado.

Daños de clase 1. Ligeros: fisuras en los revestimientos, caída de pequeños trozos de revestimiento.

Daños de clase 2. Moderados: fisuras en los muros, caída de grandes trozos de revestimiento, caída de tejas, caída de pretilas, grietas en las chimeneas e incluso derrumbamientos parciales de las mismas.

Daños de clase 3. Graves: grietas en los muros, caída de chimeneas de fábrica.

Daños de clase 4. Destrucción: brechas en los muros resistentes, derrumbamiento parcial, pérdida del enlace entre distintas partes de la construcción, destrucción de tabiques y muros de cerramiento.

En cuanto al estudio de riesgo sísmico, se utilizan los estudios realizados sobre terremotos históricos en Sevilla, atribuyendo a cada uno de ellos un grado de intensidad.

En primer lugar se determina el periodo de retorno para cada intensidad dividiendo el número de años por el de seismos registrados.

Una vez conocidos los periodos de retorno T_S para cada intensidad I , la probabilidad de que en un periodo de t años ocurra un terremoto de intensidad I sería:

$$P = 1 - (1 - 1/T_S)^t$$

El resultado para Sevilla se incluye en la tabla adjunta, habiéndose tomado los valores de 50, 200 y 500 años como aplicables en principio a una vivienda ordinaria, una estructura muy importante y una presa.

I	T_S	50	200	500
VIII	225	19,96	58,96	89,22
VII	150	28,43	73,76	96,47
VI	27	84,84	99,94	99,99
V	10	99,48	100,0	100,0
IV	6	99,98	100,0	100,0

Los efectos de un seismo sobre una construcción se traducen en acciones que pueden estudiarse determinando separadamente sus componentes horizontal y vertical. En general, se puede prescindir de los efectos debidos a las fuerzas sísmicas verticales, que solo se consideran en determinados casos.

La componente horizontal F se calcula mediante la fórmula: $F = S \cdot Q$, donde:

Q = Peso correspondiente al punto considerado

S = Coeficiente sísmico, cuyo valor viene dado por: $S = \alpha \cdot \beta \cdot \eta \cdot \delta$.

α = factor de intensidad

β = factor de distribución

η = factor de respuesta

δ = factor de cimentación

Los valores de η y β pueden consultarse en la Norma Sismorresistente P.D.S.1 (1974), epígrafes 4.10, 4.12 y 4.11 respectivamente y los valores del factor de cimentación δ , para las diferentes zonas en que se ha dividido el área en estudio, corresponden a los datos en la siguiente tabla.

ZONA GEOTECNICA

Tipo de cimentacion	A	B	C	D	E
Pilotes por fuste	2.0	1.0	0.7	—	—
Pilotes por punta	1.8	0.9	0.6	—	—
Zapatas aisladas	1.6	1.1	0.8	0.5	0.5
Zapatas corridas	1.5	1.0	0.7	0.4	0.3
Losas	1.4	0.7	0.5	0.3	0.2

Los tipos de terreno considerados (A, B, C, D y E) corresponden a los siguientes:

A: fangos $c < 500$

B: gravas y arenas sueltas $500 < c < 1000$

C: gravas y arenas consolidadas. Rocas blandas $1000 < c < 2000$

D: rocas compactas $2000 < c < 4000$

E: rocas muy compactas $c > 4000$

Siendo la c la velocidad de propagación de las ondas elásticas de compresión en metros/segundos.

2.4. YACIMIENTOS Y EXPLOTACIONES DE ÁRIDOS Y MATERIALES DE PRESTAMOS.

En los Mapas de Situación de explanaciones y yacimientos de Rocas Industriales pueden verse los yacimientos no explotados y las explotaciones activas existentes de estos materiales en la fecha de realización de las Hojas Puebla de Guzmán-Sevilla y Ayamonte-Huelva del Mapa Nacional de Rocas Industriales (1974). Se han contabilizado 14 yacimientos activos y 8 inactivos. Los materiales que se explotan son: gravas, arenas y arcillas.

Estos materiales, arenas y gravas se emplean como áridos y las arcillas en productos cerámicos.

Las características de estos materiales son las siguientes:

ARIDOS NATURALES

Se considera como áridos naturales aquellos que no precisan el empleo de explosivos para su extracción, aunque sí, en ocasiones, un proceso de lavado, e, incluso, de trituración para su lavado.

- a) Arenas. Localizadas preferentemente en los alrededores de Dos Hermanas y correspondientes a los niveles pliocenos y conocidas localmente con el nombre de "albero".

Como propiedades físicas de estos drenes calcáreos figura su gran permeabilidad y su buena capacidad de compactación. El tamaño de grano varía uniformemente y el equivalente de arena es del 60%. Las actuales explotaciones se utilizan como árido en el ramo de la construcción bien sea para la preparación de morteros o como material de préstamos para la preparación de morteros o como material de préstamos para vías públicas, explanaciones, etc.

Localmente el campo de utilización del albero se amplía a la industria de aglomerantes, llegando a veces, cuando el contenido en carbonato cálcico es del 80%, a su utilización como materia prima en la fabricación de cemento.

- b) Gravas. Explotadas, casi exclusivamente, de los depósitos cuaternarios constituidos por una capa superior de limos más o menos arcillosos, situada sobre otra de cantos rodados y gravas cuarcíticas, generalmente con arenas.

Se hallan localizadas preferentemente al Sur y Sureste del núcleo urbano de Sevilla, y son objeto de intensas explotaciones, en general mecanizadas, extrayéndose mediante excavadoras de cuchara o dragalinas en zonas inundadas.

Se trata de gravas con matriz limo-arcillosa. El porcentaje de finos (material que pasa por el tamiz N° 200 suele estar entre el 15 y el 40 por ciento), por lo cual es conveniente su preparación mecánica antes de utilizarlas para hormigones.

Otro frente de explotación corresponde a los depósitos pliocenos de cantos y arenas cuarcíticas, con granulometría predominantemente gruesa (material que no pasa por el tamiz N° 4 alrededor del cincuenta por ciento), aunque con variaciones laterales notables.

PRODUCTOS CERAMICOS

Incluimos en este apartado todas aquellas explotaciones que benefician arcillas, con destino a la fabricación de ladrillos.

Corresponden a arcillas de tonos ocre-amarillentos o verduzcos de edad miocena y a arcillas amarillentas o grisáceas pertenecientes a niveles de Cuaternario antiguo y están localizadas preferentemente al oeste de Sevilla en la línea que va desde Santiponce hasta el Sur de San Juan de Aznalfarache.

Existen numerosos análisis químicos sobre estos dos tipos de arcillas observándose solamente pequeñas diferencias en el contenido en SiO_2 y Fe_2O_3 .

En ninguno de ellos se ha registrado presencia de SO_3 .

N°	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	PPC
104	44,94	10,47	5,11	0,31	14,88	2,12	2,58	1,29	18,30
106	46,91	6,38	4,45	0,29	16,68	2,38	2,17	0,93	19,81

Se ha realizado también una clasificación U.S.C.S. de estas arcillas. A continuación se detallan los resultados.

Nº de muestras	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Clasificación U.S.C.S.
104	37	16	21	A-6
108	50	17	33	A-7-6

La extracción de estos materiales arcillosos no es complicada y por ello la mayoría de las explotaciones poseen el mismo grado de mecanización diferenciándose, casi exclusivamente, en el número de palas mecánicas empleadas y en el de trabajadores. Se fabrica el ladrillo macizo y, en menor proporción, ladrillo hueco por procedimiento normal. Los hornos de cocción son muy simples, de tipo de bóveda con planta cuadrada y cuatro aberturas laterales por donde se realiza la carga.

2.5. ZONIFICACION GEOTECNICA

Geotécnicamente la zona de estudio se divide en tres áreas (I-II-III), (coincidentes a efectos de una mayor claridad con las áreas geológicas), diferentes claramente en su litología y en sus características geotécnicas.

2.5.1. CRITERIOS DE DIVISION

La superficie estudiada se ha dividido en áreas, y estas en zonas, atendiendo fundamentalmente a su litología.

2.5.2. DIVISION EN AREAS Y ZONAS GEOTECNICAS.

Se han diferenciado treas áreas geotécnicas

AREA I

Se agrupan en ella limos y margas correspondientes al Mioceno Superior de edad andalucense. Su extensión es reducida.

AREA II

Se incluyen en ellas todas las formaciones del Pliocuaternario y su litología es de arenas, areniscas y arcillas. La población de Dos Hermanas se encuentra situada en este área.

AREA III

Engloba los materiales del Cuaternario. En este área está la ciudad de Sevilla y es la más extensa de la superficie estudiada.

AREA I

ZONA I (M_1 , M_2 , M_3)

No hay diferenciaciones zonales. Su litología es margosa. Está localizada al W. de los dos mapas.

ZONA II₁ (P₁)

Calcarenitas, arenas y arcillas. Es la zona más extensa del área II. El 90% de su extensión se encuentra en el Mapa II y una lengua se extiende desde el vértice inferior derecho hasta Torreblanca de los Caños.

ZONA II₂ (P₂)

Areniscas y arenas, la superficie más extensa se encuentra al N. de Dos Hermanas, el resto son pequeñas manchas. Están todas situadas en el Mapa II.

ZONA II₃ (P₃)

Conglomerados, areniscas y arcillas. Formado por pequeñas manchas aisladas y de poca superficie dentro de la zona II₂.

AREA III

ZONA III₁ (Q_{T1})

Cuaternario formado por cantos rodados, arenas y arcillas. Se trata de una zona localizada en la orilla izquierda del río Guadaira.

ZONA III₂ (Q_{T2})

Su litología está compuesta por gravas, arenas y arcillas. Forma una amplia zona al W. del mapa I y dos zonas en el Mapa II.

ZONA III₃ (Q_{T3})

Es la de superficie más extensa del área III y la de mayor importancia, por ella discurre el Guadalquivir.

ZONA III₄ (Q_{T4})

Pequeña zona en el vértice inferior izquierdo del Mapa II, arenas y limos componen su litología.

ZONA III₅ (Q_{T5})

Formada por limos, arenas y arcillas. Está localizada en el cauce de los ríos "Arroyo de Miraflores", "Río Guadaira" y "Arroyo de las Culebras".

3. ESTUDIO DE LAS ZONAS GEOTECNICAS

3.1. METODOLOGIA

Hasta este momento, después de conocer el ámbito geográfico del estudio y los elementos que integran el plan de trabajos para realizarlo, se han analizado una serie de factores que afectan a todo el conjunto: climatología, sismología, rasgos geomorfológicos e hidrológicos, aspectos geológicos globales, explotación de materiales para la construcción y riesgos geológicos.

Tal como se ha expresado en el apartado precedente, se ha procedido luego a la diferenciación, en el territorio, de determinadas zonas geotécnicas, para iniciar ahora su estudio detallado. Se analizarán, en primer término, sus características litológicas y tectónicas, indicando los diferentes materiales que las integran y su clasificación bajo el punto de vista ingenieril. Seguidamente se contemplará el aspecto geomorfológico, tanto en sí mismo como en sus implicaciones frente a la construcción, y el hidrológico: hidrología superficial y subterránea, permeabilidad y condiciones de drenaje, etc. Estos factores son determinantes de la aparición, real o posible, de riesgos geológicos naturales.

Para definir las propiedades constructivas de cada Zona, resta por considerar aún las características geomecánicas de sus materiales. Dichas características se han investigado puntualmente mediante las obras realizadas: sondeos, penetraciones dinámicas,

calicatas y pocillos, obteniendo de ellos los siguientes parámetros: N (número de golpes para penetrar 30 cm en el ensayo SPT), P (penetración dinámica en centímetros/golpe con puntaza de 4x4 cm²), qu (resistencia a compresión simple), c y O (corte directo lento), e_v, C_c y P_o (índice de poros, índice de compresión y presión de preconsolidación), densidad y humedad máxima, Proctor Normal, índice CBR correspondiente al cien por cien de la densidad anterior.

Pese a que estas características se han investigado puntualmente, se han reflejado en el mapa de forma extensiva. El problema de pasar de valores puntuales a una valoración extendida es realmente complejo, complejidad que se agrava cuando en determinadas zonas aparecen varios tipos litológicos y aún más, diferentes tipos ingenieriles, siendo estos últimos precisamente los que realmente interesan en una obra puntual y concreta. Por consiguiente, la recomendación que aquí se da es la de que se contemplen los valores numéricos que definen las diversas propiedades mecánicas estudiadas con un carácter semicuantitativo cuanto mayor sea la homogeneidad de la zona geotécnica o, dicho de otro modo, cuanto menor sea la dispersión de los valores que aquí se incluyen y, por otro lado, cuanto mayor sea la densidad de la obra realizada.

Todo esto es fruto de las limitaciones que las escalas de trabajo empleadas imponen, por lo que puede concluirse diciendo que su campo de aplicación se centra en Proyectos y Anteproyectos. Los valores incluidos poseen la siguiente validez:

- a) En Anteproyectos son válidos para todo tipo de ellos en zonas urbanas (Residencial, Servicios y Equipamientos, Infraestructuras, sea cual sea su densidad) para Anteproyectos de zonas industriales (ligera y pesada); para Anteproyectos de zonas turísticas y recreativas y Anteproyectos de estructuras de tierra (excavaciones terraplenes, explanaciones, etc.).
- b) En Proyectos, son válidos para los de zonas de edificación urbana de estructura ligera; zonas de industria ligera (salvo con maquinaria vibrante) y estructuras de tierra de importancia no excesiva.
- c) Es conveniente, en todos los casos, y necesario, en los no cubiertos, la realización de las campañas suplementarias de investigación geotécnica.

Para cada zona, se consideran los siguientes aspectos:

a) Condiciones de cimentación

En este apartado preferente se engloban los conceptos siguientes:

- Presiones admisibles: son aquellas presiones de cimentación correspondientes a cargas verticales y centrales que garantizan la aparición de asientos absolutos medios inferiores de 2,50 cm en suelos granulares (gravas, arenas, limos arenosos) y 5 cm en suelos cohesivos (arcillas, limos arcillosos). Se han determinado para zapata cuadrada de 1,50x1,50 m. Estos asientos son los que para edificaciones u obras ordinarias no suelen originar problemas derivados de distorsiones angulares excesivas. Las presiones admisibles se presentan por medio de intervalos de variación. La obtención del valor de la presión admisible con carácter puntual o en una malla suficientemente cerrada, para el caso de una construcción puntual, por ejemplo de 100 m x 100 m, es una empresa imposible a las escalas de trabajo utilizadas y para la densidad de la investigación

realizada. Esta imposibilidad, incluso de representación gráfica, puede subsanarse sólo en parte para las zonas más prospectadas, mediante el uso de distribuciones estadísticas de frecuencia.

El método seguido para la obtención de los intervalos de presiones admisibles, siempre que no se indique lo contrario, se ha basado en los ensayos de campo y en los de laboratorio. Entre los primeros figura el valor de N obtenido en el SPT, para el caso de materiales granulares, se utiliza el ábaco de Terzaghi (1967) (SPT-Ancho de cimentación) y para suelos cohesivos, en ausencia de ensayos de laboratorio, la fórmula aproximada $\sigma_{ad} = N/10 \text{ Kg/cm}^2$.

Los ensayos de laboratorio utilizados han sido la resistencia a compresión simple y los edométricos.

En las recomendaciones geotécnicas que se dan para cada zona se incluye una media de los resultados de los ensayos de Laboratorio realizados en cada una.

Además, a la hora de formular dichas recomendaciones se han tenido en cuenta los resultados de las investigaciones realizadas para estudios anteriores así como a las experiencias de edificación en la zona a las que se ha tenido acceso.

Problemas de cimentación: se indican el conjunto de problemas que pueden encontrarse al efectuarse cualquier tipo de cimentación. Su previo conocimiento ayudará al planteamiento de la campaña de Investigación Geotécnica Suplementaria y al diseño y construcción de la cimentación.

Dada la profundidad de los sondeos realizados existen pocos datos sobre el sustrato de margas azules característico de la zona de Sevilla. Teniendo en cuenta la importancia que para obras que necesiten una cimentación profunda o para obras subterráneas presenta dicho horizonte, se incluye un apartado en el que se describen exhaustivamente las características geomecánicas de este material procedentes de la campaña de investigaciones realizada en 1972, con ocasión del Proyecto para el Metropolitano de Sevilla.

b) Obras de tierra

Se estudian los siguientes conceptos: facilidad de excavación, estabilidad de taludes, empujes sobre contenciones, aptitud para préstamos, aptitud para explanada, carreteras y obras subterráneas.

- Facilidad de excavación: los terrenos se han clasificado de acuerdo con la Norma Tecnológica de Edificación: Acondicionamiento del Terreno. Desmontes. Vaciados (NTE-ADV (1976)), en los siguientes grupos: 1) Duro. Atacable con máquinas y/o escarificador, pero no con pico, como terrenos de tránsito, rocas descompuestas, tierras muy compactas. 2) Medio. Atacable con el pico, pero no con la pala, como arcillas semi-compactas, con o sin gravas o gravillas. 3) Blando. Atacable con la pala, como tierras sueltas, tierra vegetal, arenas.

Cuando en la excavación se encuentran mezclados los terrenos se establece el porcentaje de cada uno de los tres tipos.

- Estabilidad de taludes: los taludes naturales se han observado en el terreno y se señalan los factores que pueden degradar la estabilidad. El análisis de estabilidad de taludes artificiales puede hacerse por alguno de los múltiples métodos que existen. En una primera aproximación, que deberá analizarse con mayor detalle, bajo el término estable se engloban los terrenos que admiten taludes 1,5/1 (H/V) para alturas de unos 6 m. sin mayor problema e inestables los que no lo admiten.

c) Empujes sobre contenciones

Hacen referencia a contenciones del terreno natural, no de rellenos realizados con los materiales de cada Zona.

d) Aptitud para préstamos

Se ha utilizado básicamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de la Dirección General de Carreteras (PG-3/75). El término No Apto designa suelos inadecuados; Marginal, designa suelos que unas veces son inadecuados y otras tolerables e incluso adecuados; el término Apto designa suelos tolerables, adecuados, e incluso seleccionados.

e) Aptitud para explanada de carreteras

Se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y Firmes Rígidos. Se entiende por suelo No Apto aquel que no puede constituir en desmonte ni en terraplén explanadas tipo E-1 (suelo tolerable al menos estabilizado en sus 15 cm. superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición, en especial terrenos tolerables que no es conveniente sean directamente explanada. Aptos son terrenos frecuentemente adecuados y los seleccionados.

f) Obras subterráneas

Se utiliza el término "muy difícil" para suelos muy blandos bajo el nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "difícil" designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo el nivel freático; "medio" a suelos firmes, casi rocas blandas, que sólo a veces presentan problemas de nivel freático, con cierta capacidad de autoaporte y sin empujes fuertes.

g) Restricciones geológicas a la construcción

En general, no existen en toda la zona estudiada restricciones de tipo geológico aunque sí de tipo geotécnico o hidrológico, debido a la existencia de suelos blandos y de zonas inundables.

3.2. AREA I

LOCALIZACION Y EXTENSION

Se encuentra situada en el borde W. de los Mapas formando una estrecha franja de unos 5 Km², de Camas a Gelves.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Este área está constituida por arcillas que se diferencian por su plasticidad y por su contenido de arena, así tendremos arcillas con bastante arena fina (20-35%) e indicios de gravas (0-10%), dura, de plasticidad media, y arcilla con indicios de arena (0-10%), dura y de plasticidad elevada. (Ver carta de Casagrande adjunta).

CARACTERISTICAS GEOMORFOLÓGICAS

Es un área con elevaciones importantes en cuanto se pasa Camas hasta Gelves, llegando a la cota 100, con taludes de hasta 20 m. normalmente estables.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

El suelo es semiimpermeable, el drenaje general es deficiente mientras que en superficie es bueno debido a las fuertes pendientes del área hacia el E. No se encontraron niveles freáticos.

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

Clasificación H.R.B.	A.6	A.7.6.
Clasificación USCS	CL	CL
Límite líquido	31	49
Índice de plasticidad	11	27
Densidad seca	1,74	1,70
Humedad natural	16,2	21,1
SPT (N)	50	50
Compresión simple	3,9	5,1
C.B.R. 100%	3,2	3,8

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

— **Condiciones de cimentación: Cimentación superficial**

Esta zona se considera apta para cimentaciones superficiales pudiéndose esperar unas tensiones admisibles de 2,5 a 4 Kg/cm² como lo demuestran los ensayos S.P.T. y los de compresión simple.

— **Condiciones para obras de tierra**

- Facilidad de excavación: Media
- Estabilidad de taludes: Estables, con riesgos de erosiones por escorrentía superficial.

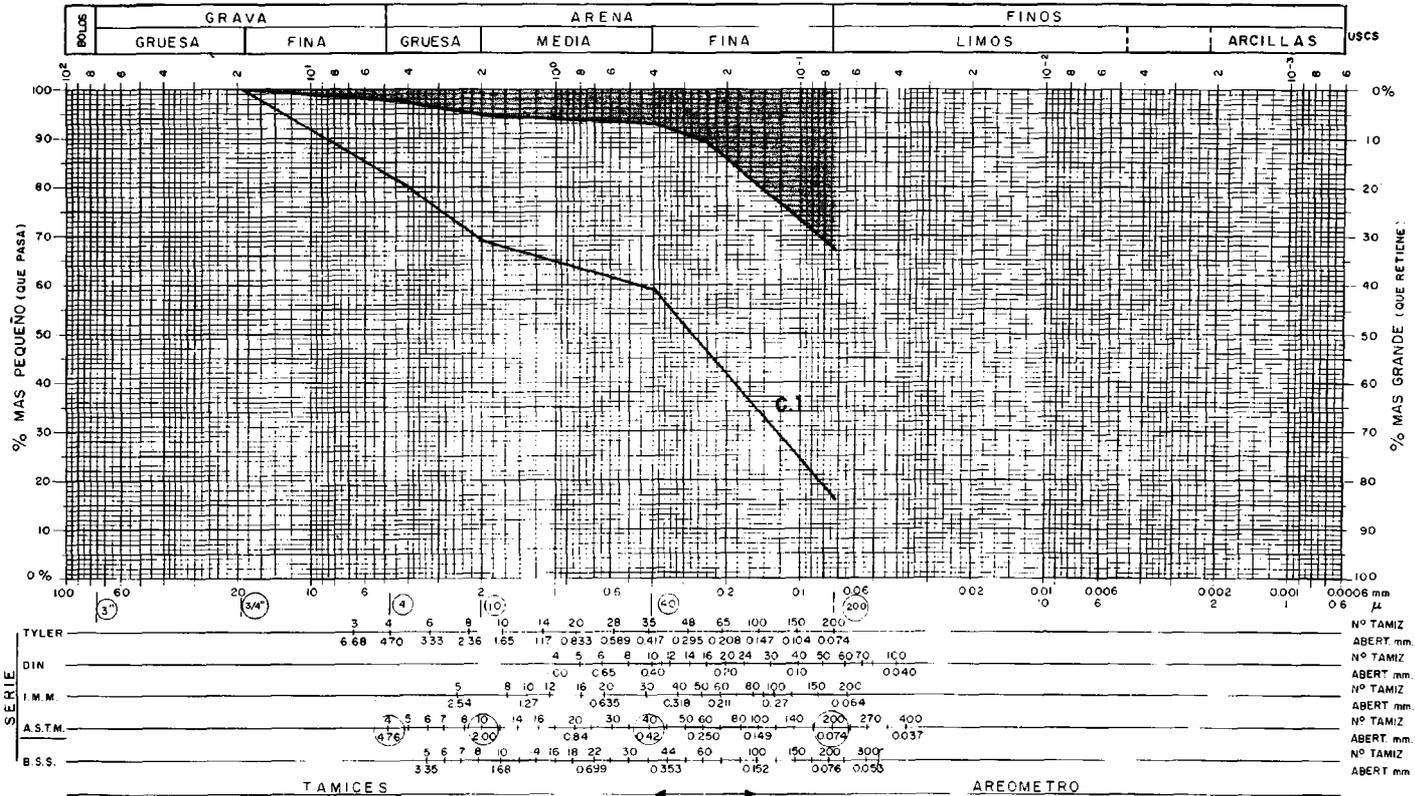
- Empujes sobre contenciones: Tipo Medio-Alto. Es probable que los muros pantallas, etc. sufran empujes producidos por el aumento de la humedad del suelo, por ello sería conveniente proyectar drenajes al efectuar la obra.
- Aptitud para préstamos: Marginal
- Aptitud para explanadas de carretera: No apto
- Obras subterráneas: Es un terreno difícil, siendo necesaria la entibación.



Aspecto de la erosionabilidad del material

CURVA GRANULOMETRICA

Nº **I** PROYECTO: **MAPA GEOTECNICO DE SEVILLA**

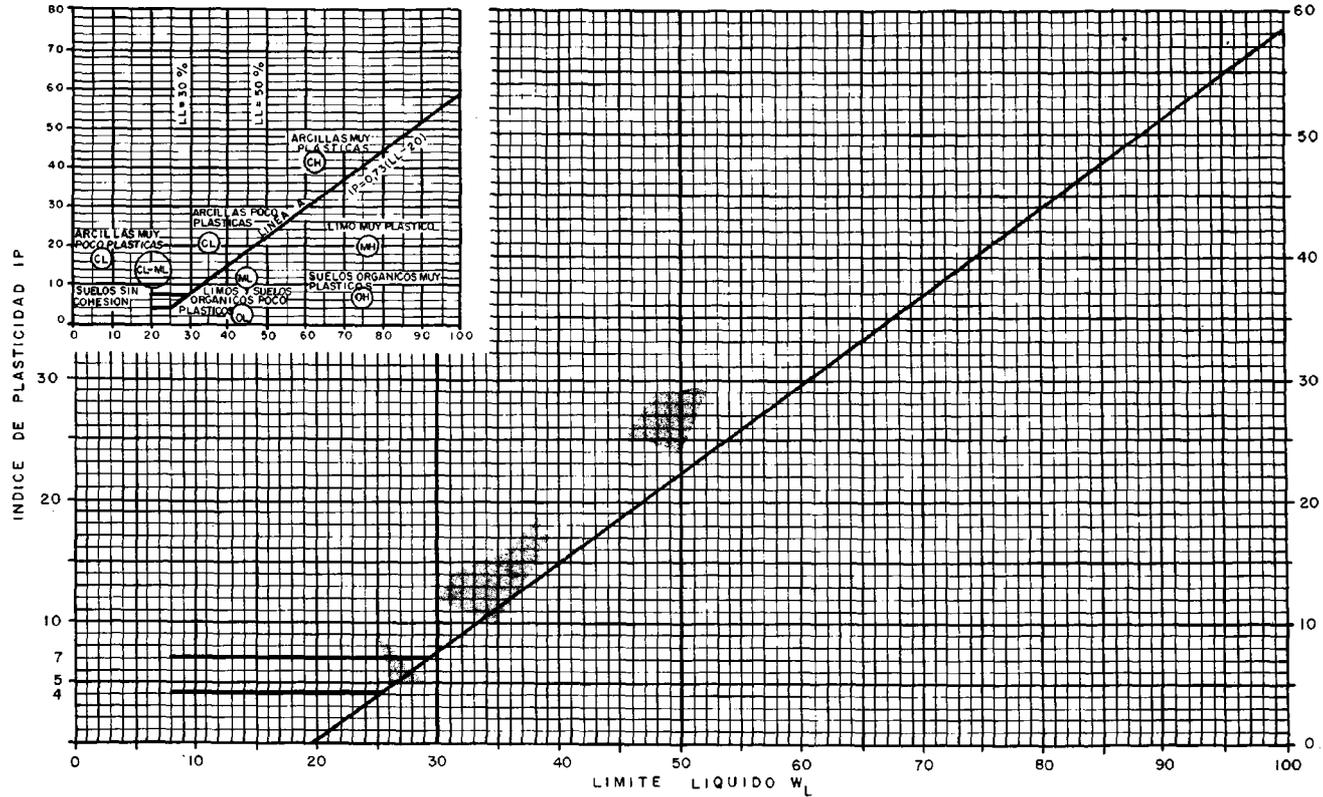


INTECSA

Internacional de Ingeniería y Estudios Técnicos S. A. Madrid-2
DIVISION DE GEOTECNOLOGIA

CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE

Nº I PROYECTO:
MAPA GEOTECNICO DE SEVILLA



3.3. AREA II

3.3.1. ZONA II,

LOCALIZACION Y EXTENSION

Esta zona ocupa la mitad oriental del Mapa II y una lengua al SW del Mapa I en la carretera de Sevilla a Alcalá de Guadaíra a la altura de Torreblanca de los Caños.

Tiene una extensión aproximada de 60 Km².

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

Los materiales que configuran la zona son arenas finas con una matriz limosa, no plástica y arcillosa de plasticidad baja, color amarillento y con alguna grava (10-20%)

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Zona ondulada con altitudes entre las cotas +25 y +70. Sin pendientes fuertes (Máximo de 10%).

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

Solamente se ha encontrado nivel freático en el SM. 27 a la cota +42,50. El terreno es semipermeable, con drenaje aceptable por infiltración y favorable por escorrentía superficial.

CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS

Clasificación H.R.B.	A.2.4
Clasificación USCS	SM
Límite líquido	24-NP
Densidad seca	1,8
Índice de plasticidad	7-NP
Densidad seca	1,8
Humedad natural	18,4
SPT (N)	50 rechazo
Proctor Normal 100%	35
Compresión simple	4 Kg/cm ³

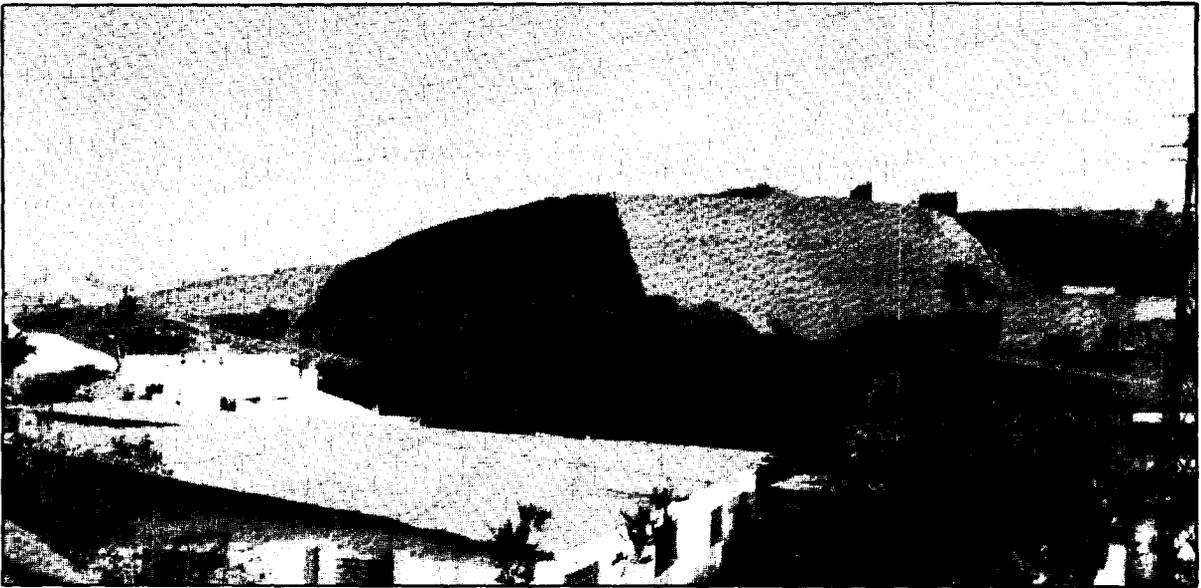
CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

— Condiciones de cimentación:

Esta zona se considera favorable para las cimentaciones directas como puede verse en el resultado de los ensayos S.P.T. y en las compresiones simples por lo que son de esperar valores de la tensión admisible superiores a los 4 Kg/cm².

- **Condiciones para obras de tierra**
 - **Facilidad de excavación:** El terreno de esta zona se clasifica como medio.
 - **Estabilidad de taludes:** los taludes son estables, tanto los naturales como los artificiales, aunque algo erosionables, por escorrentía superficial.
 - **Empujes sobre contenciones:** Siempre bajos.
 - **Aptitud para préstamos:** Este material es apto para préstamos.
 - **Aptitud para explanadas de carretera:** Es un material apto para carreteras y especialmente utilizable como sub base.
 - **Obras subterráneas:** Díficil, necesitaría entibación pesada.

- **Restricciones geológicas a la construcción**
 - No existen restricciones geológicas.



Corte en los materiales de la zona

3.3.2. ZONA II,

LOCALIZACION Y EXTENSION

La extensión aproximada de la zona es de 18 Km², todos ellos en la mitad oriental del Mapa II, el 80% de la zona está situada entre el W. de Bellavista y el N. de Dos Hermanas, solo el 10% se encuentra al W. de Dos Hermanas.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Predomina una arcilla arenosa, de color amarillento con alguna grava (0máximo 40 m/m). En alguna zona la presencia de CO₃C_a es abundante, 30%, y está cementada. Muy poco plástica, su LL no pasa de 30 y como se puede ver en la Carta de Casagrande, también podríamos clasificarla como una arena limo arcillosa.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Se trata de una zona ondulada que está entre las cotas +50-30, sin grandes desniveles y con pendientes suaves.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

No se detectaron niveles freáticos por encima de los 10 m. por lo que éste no afectará previsiblemente a ningún tipo de obra corriente.

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

Clasificación H.R.B.	A.4
Clasificación USCS	CL
Densidad seca	1,9%
Humedad natural	17,3%
Límite líquido	20
Índice de plasticidad	8
S.P.T. (N)	20 rechazo
SPT (N) Media	rechazo

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

— Condiciones de cimentación:

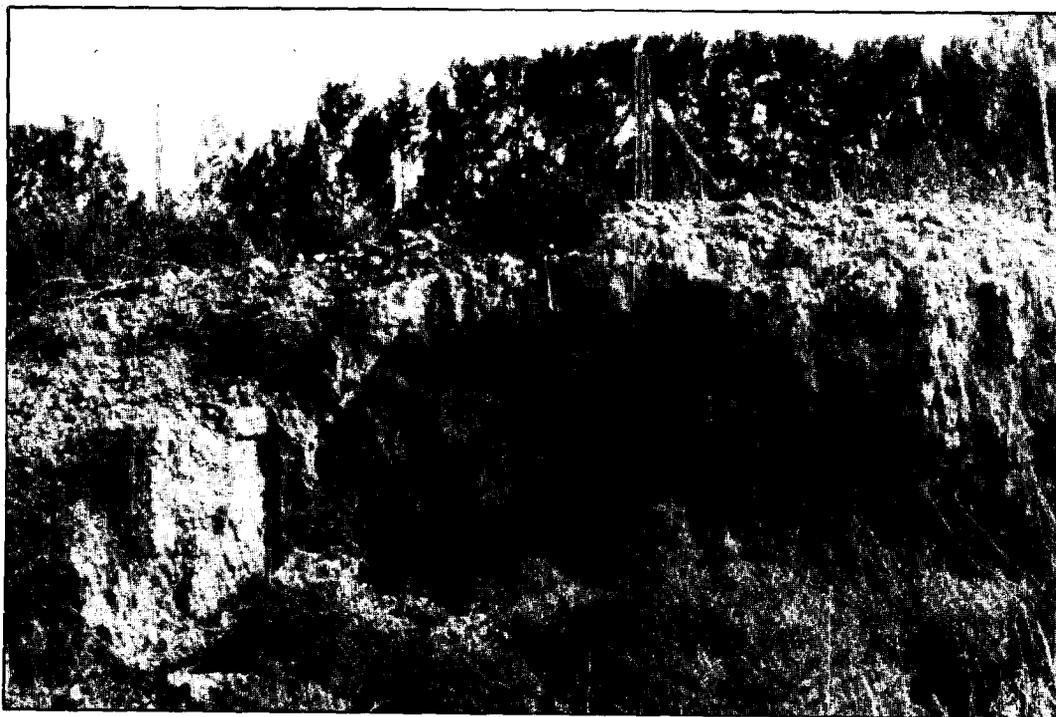
En esta zona existe una mayor dispersión de los valores de la tensión admisible si bien se la considera también como favorable, comprendidos entre 1,5 y 4 Kg/cm².

— Condiciones para obra de Tierra

- Facilidad de excavación: Medio, las zonas cementadas se pueden excavar con pico.
- Estabilidad de taludes: Estables, sin problemas en las zonas cementadas y con riesgos de erosión por efecto de escorrentía superficial en las zonas no cementadas.
- Empujes sobre contenciones: Bajos
- Aptitud para préstamos: Apto.
- Aptitud para explanadas de carreteras: Apto.
- Obras subterráneas: Difícil, sería necesaria una entibación pesada.

— Restricciones geológicas a la construcción

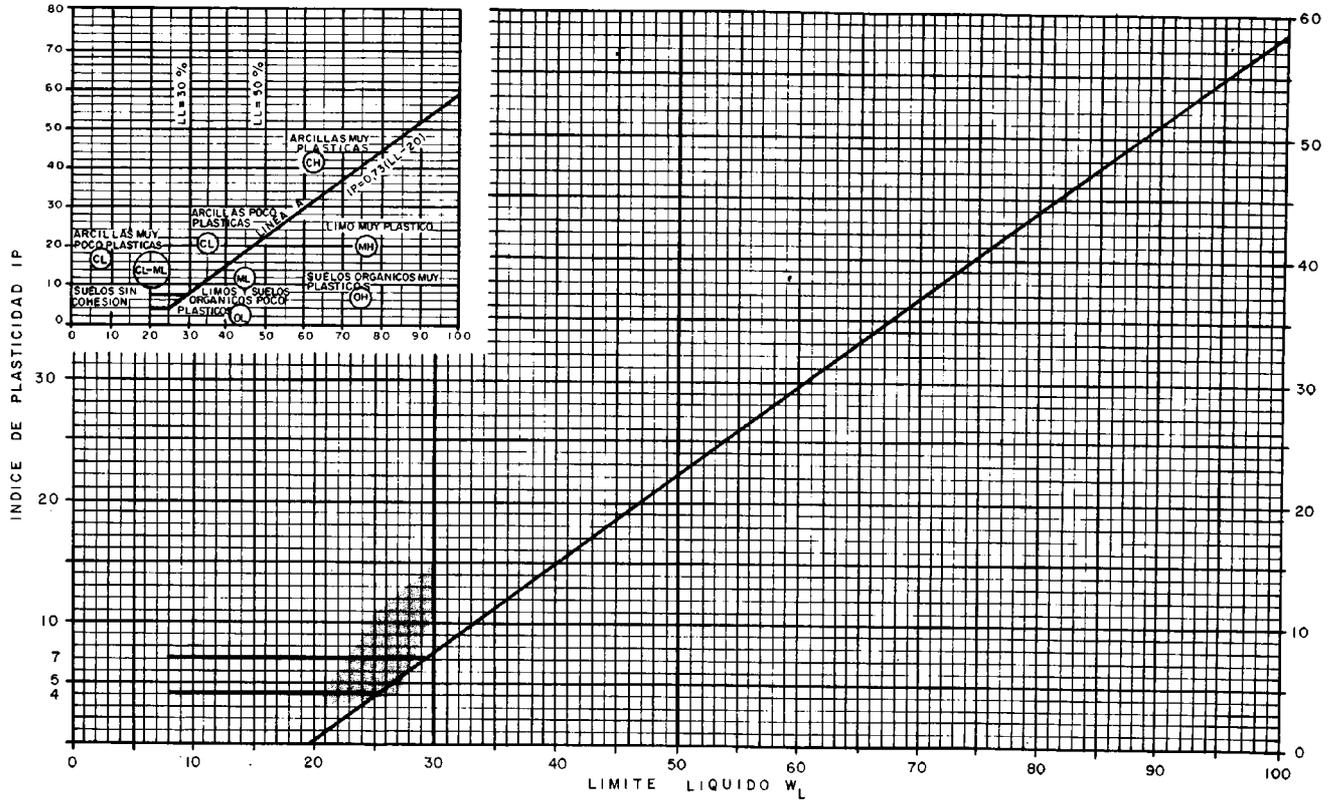
- No hay riesgos geológicos.



Corte típico

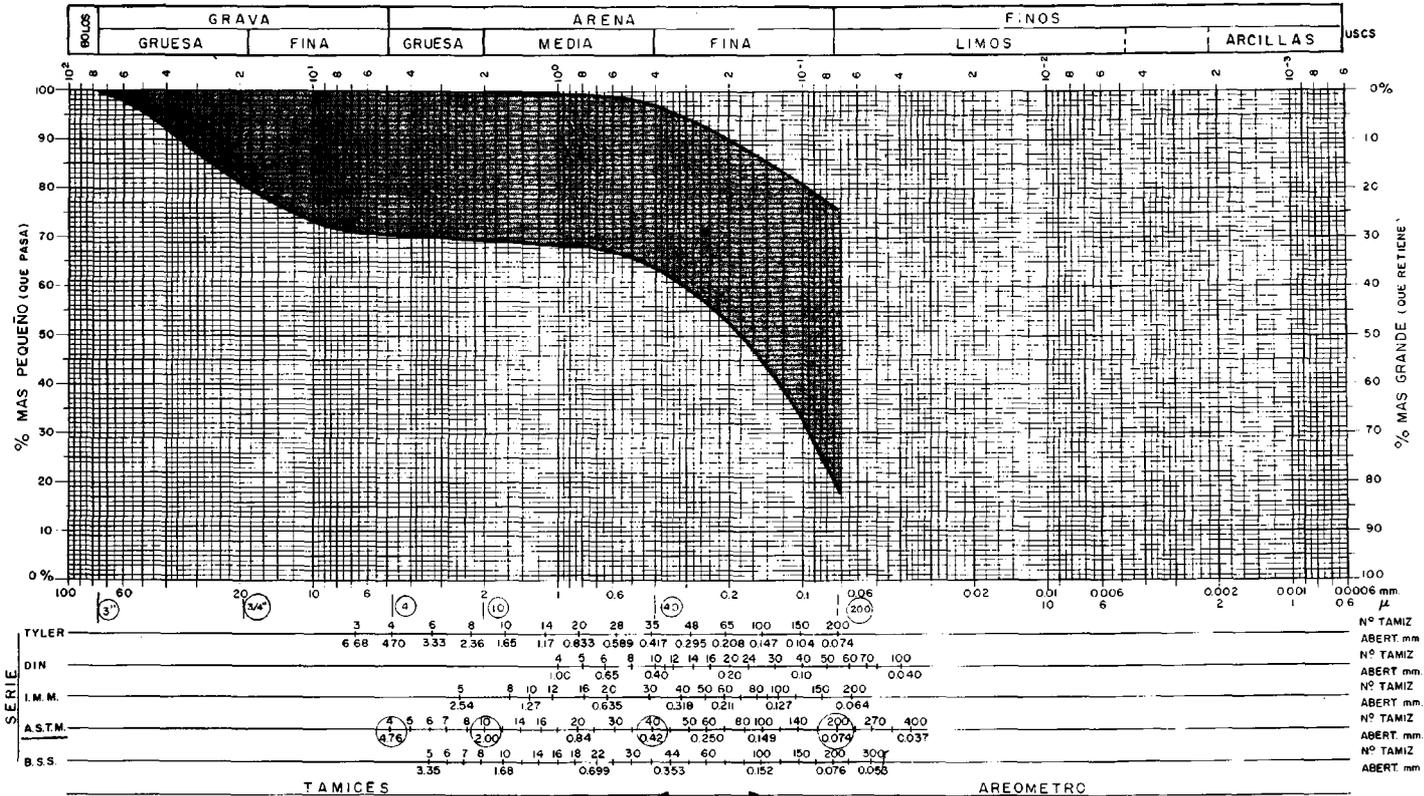
CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE

Nº **II₂** PROYECTO:
MAPA GEOTECNICO DE SEVILLA



CURVA GRANULOMETRICA

Nº **II₂** PROYECTO: **MAPA GEOTECNICO DE SEVILLA**



3.3.3. ZONA II₃

LOCALIZACION Y EXTENSION

Son pequeños retazos aislados, todos ellos dentro de la zona II₂.
La extensión aproximada es de 3 Km².

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Existen dos capas en esta zona, una de recubrimiento, de un espesor no superior a 1m. consiste en un limo con algo de arena (10-20%) e indicios (0-10%) de gravas. La otra es una arena con algo (10-20%) de arcilla y bastantes gravas (20-35%). El color es marrón amarillento.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLÓGICAS

Zona muy ondulada situada por encima de la cota 80.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

No se han detectado niveles freáticos.

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

Clasificación H.R.B.	A.6	A.2.4.
Clasificación USCS	ML	SM
Límite líquido	35	NP
Índice de plasticidad	10	NP
SPT (N)	R	R
Porcentaje tamiz 200	80	16
Compresión simple	4 Kg/cm ² .	

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

— Condiciones de cimentación

Aunque por su pequeña extensión esta zona tiene poco interés no ofrece problema alguno de cimentación pudiéndose adoptar valores de la tensión admisible superiores a los 4 Kg/cm².

— Condiciones para obras de tierra

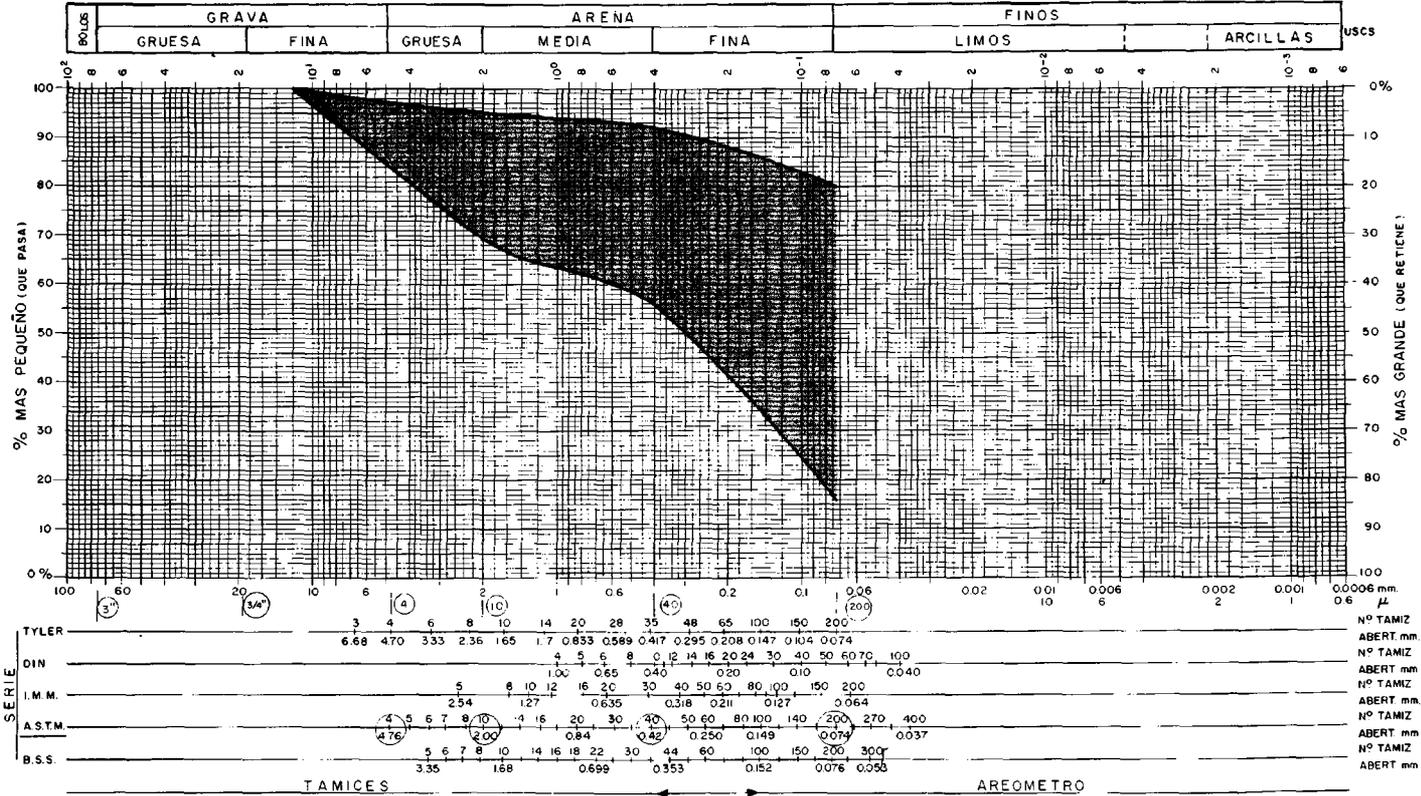
- Facilidad de excavación: Se clasifica como duro-medio, dependiendo de la cimentación
- Estabilidad de taludes: Estables.
- Empujes sobre contenciones: Bajos
- Aptitud para préstamos: Apto, será conveniente limpiar la 1ª capa de 1 m.
- Aptitud para explanadas de carretera: Apto con las consideraciones del punto anterior.
- Obras subterráneas: Medio.

— Restricciones geológicas a la construcción

- No existen riesgos geológicos.

CURVA GRANULOMETRICA

Nº **II₃** PROYECTO: **MAPA GEOTECNICO DE SEVILLA**



3.4. AREA III

3.4.1. ZONA III₁

LOCALIZACION Y EXTENSION

Margen izquierda del río Guadaira, al borde de un escarpe sobre el río se extiende longitudinalmente entre el cortijo del Acebuchas y el Canal Bajo del Guadalquivir. Su extensión es de 1,0 Km² aproximadamente.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Toda la zona está compuesta por un gran paquete de gravas con bastante arena (20-35%) e indicios de limo (10%).

CARACTERISTICAS GEOMORFOLÓGICAS

La zona está por encima de los 25 m. de altitud y es ligeramente ondulada.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

No se observaron niveles freáticos.

CARACTERISTICAS GEOMECAICAS

Clasificación H.R.B.	A.1.a
Clasificación USCS	GM-GW
Límites	NP
Densidad seca	1.6
Humedad natural	18.8
SPT (N)	R
Compresión Simple	4 Kg/cm ²
Proctor normal 100%	38

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

— Condiciones de cimentación

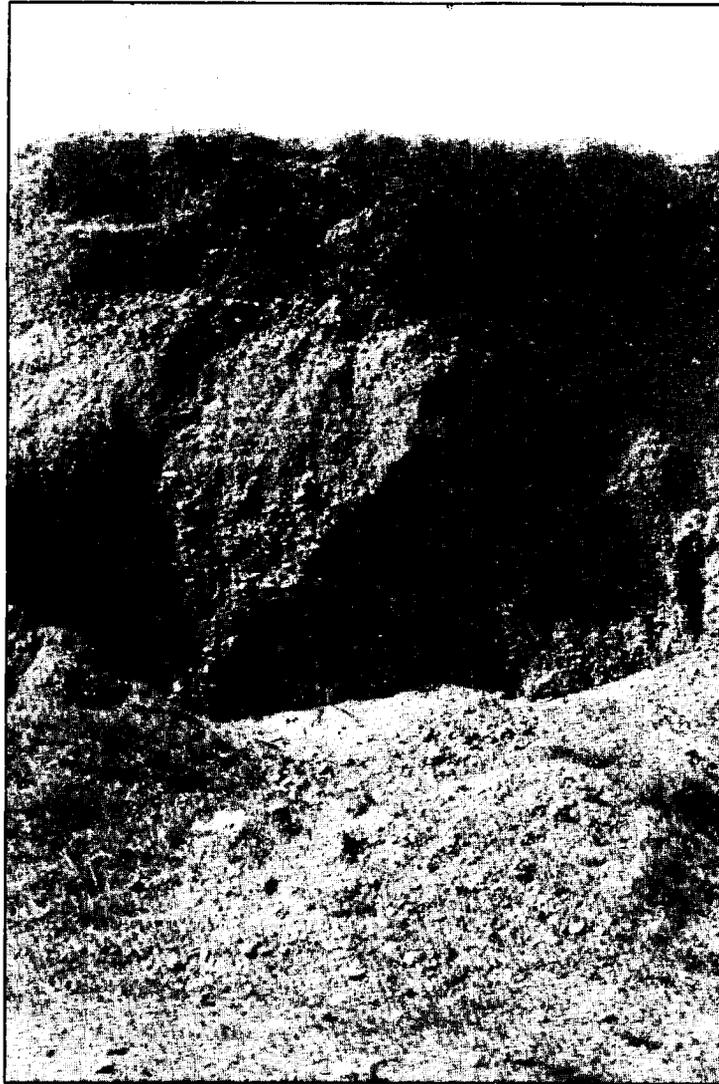
De los ensayos realizados se desprende que se trata de una zona con condiciones de cimentación favorable con valores de la tensión admisible superiores a los 4 Kg/cm².

— Condiciones para obras de tierras

- Facilidad de excavación: Medio, no existen dificultades para excavar con pico.
- Estabilidad de taludes: Los taludes son estables, algo erosionables cuando existe escorrentía superficial fuerte.
- Empujes sobre contenciones: Bajos.
- Aptitud para préstamos: Apto
- Aptitud para explanadas de carreteras: Apto
- Obras subterráneas: Dificil

— **Restricciones geológicas a la construcción**

No existen riesgos geológicos.



Detalle en los materiales de la zona

3.4.2. ZONA III,

LOCALIZACION Y EXTENSION

Es una zona amplia y de distinta localización en los dos mapas. En el Mapa I la zona está situada al E. del mismo y en el Mapa II, además de ser mucho menor su extensión, está localizada en el centro del mapa y al W. del mismo. La extensión total de la zona es de unos 48 Km² de los cuales aproximadamente 40 están en el Mapa I y 8 en el Mapa II.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Existen dos tipos de suelos, arcilla con bastante arena (20-35%), e indicios de gravas (0-10%) de color marrón oscuro y arena con bastante arcilla y gravas (20-35%) de color gris.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLÓGICAS

Topográficamente la zona está situada entre las cotas 10 y 37, el terreno es ondulado sin accidentes fuertes.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

En el Mapa I el nivel freático está a 1,30 m de media, en el Mapa II a 16,90 m. Se realizaron análisis de agua.

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

Clasificación H.R.B.	A.7.6.	A-1-b
Clasificación USCS	CL	SC
Índice de grupo	16	0
Límite líquido	48	29
Índice de plasticidad	28	11
Densidad seca	1,84	1,92
Humedad natural	14,9	11,7
S.P.T. (N)	36	R
qu	2,7	11,1 Kg/cm ²
qu (media)	5,6 Kg/cm ²	
c	1	3 Kg/cm ²
c (media)	2,25 Kg/cm ²	
Co	0,635	
Cc	0,11	
CO ₃ Ca	28,8	
C.B.R.	3,1	35

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

— Condiciones de Cimentación

En esta zona debe tomarse la precaución de eliminar el recubrimiento y de evitar mediante los oportunos reconocimientos las posibles zonas expansivas situadas al Norte. Hechas estas salvedades, los valores de la tensión admisible pueden tomarse entre 1,5 y 4 Kg/cm² debiéndose tomar precauciones con el nivel freático.

— Condiciones para obras de tierras

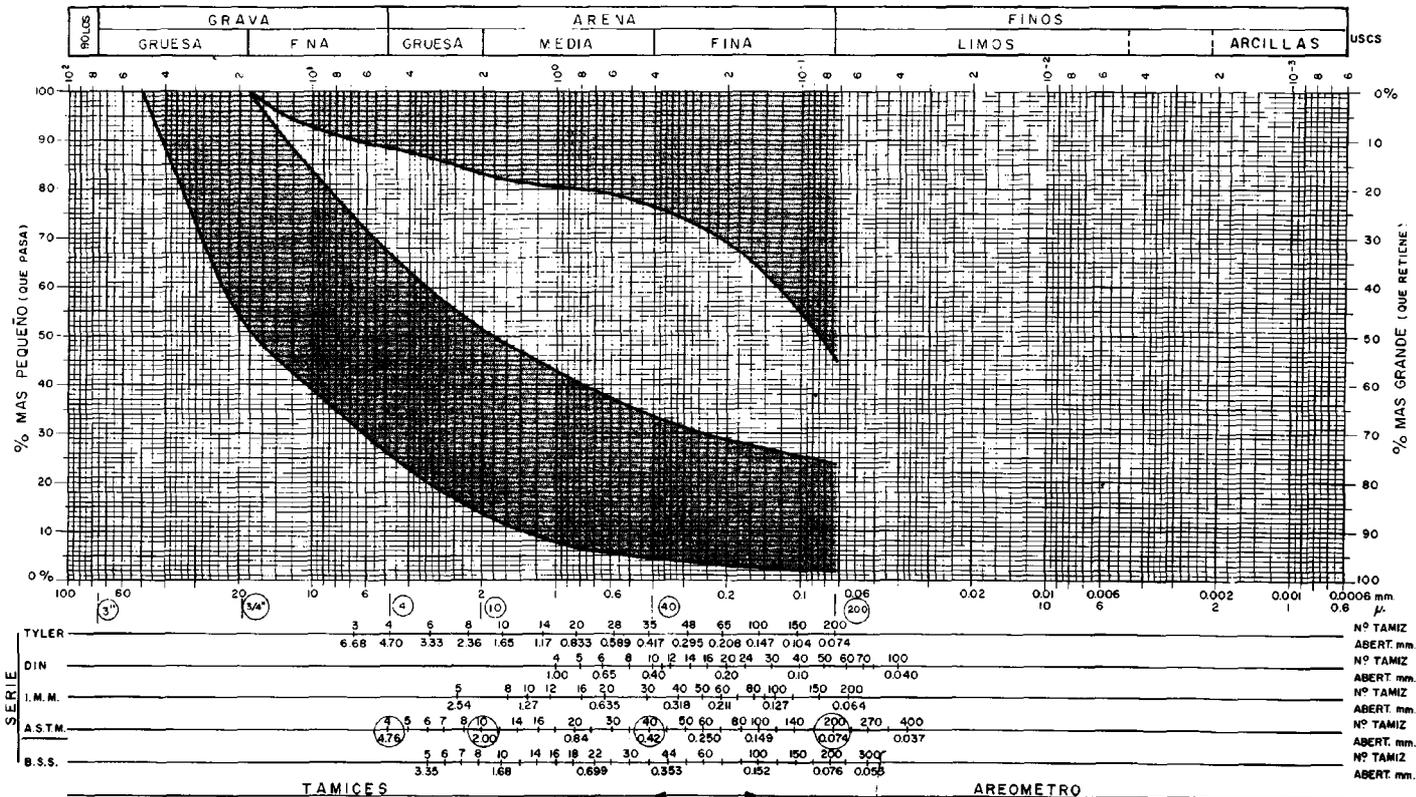
- Facilidad de excavación: La zona se clasifica como media-blanda
- Estabilidad de taludes: Estables
- Empujes sobre contenciones: Bajos
- Aptitud para préstamos: Aptos
- Obras subterráneas: Difícil

— Restricciones geológicas a la construcción

Existen en la zona algunos niveles de materiales expansivos. Se trata, además, de una zona potencialmente inundable en sus cotas más bajas.

CURVA GRANULOMETRICA

Nº **III₂** PROYECTO: **MAPA GEOTECNICO DE SEVILLA**



3.4.3. ZONA III,

LOCALIZACION Y EXTENSION

Esta zona es la más amplia y ocupa el 60% del Mapa I y el 28% del Mapa II, está localizada al occidente de ambos mapas y ocupa una extensión de 140 Km² aproximadamente.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Qt³, cuaternario reciente, se distinguen tres tipos de suelos claramente identificables, Arcilla-Limos, Arenas-Gravas y Margas. Las características de cada una de ellas son: Arcillas con algo de arena (10-20%) e indicios de gravas (0-10%) de color gris y duras (1-2,5 Kg/cm²). Limo arenoso (35-50%) gris, firme-duro (0-5-1 Kg/cm²). Arena fina, algo de limo (10-20%), e indicios de arena gruesa (0-10%), gris medianamente densa (40-120 Kg/cm²). Gravas, algo de arena y limo (10-20), gris claro. Margas: Arcilla alta plasticidad, indicios de arena fina (0-10%), gris medianamente densa (40-120 Kg/cm²). Gravas, algo de arena y limo (10-20), gris claro. Margas: Arcilla alta plasticidad, indicios de arena fina (0-10%), gris azulada, dura (4 Kg/cm²). (Ver carta de Casagrande).

CARACTERISTICAS GEOMORFOLÓGICAS

La zona es prácticamente llana y no sobrepasa la cota 20.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

El terreno varía de permeable a semipermeable con drenaje aceptable por infiltración. Existen riesgos de inundación, el nivel freático según la zona, oscila entre la + 3,00 a la 17 en cotas absolutas.

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

Clasificación H.R.B.	A.6	A.4
Clasificación USCS	CL	ML
Índice de grupo	11	0
Límite Líquido	37	NP
Índice de Plasticidad	17	NP
Densidad seca	1.6	1.6
Humedad natural	24.0	19,9
SPT (N)	15	14
qu	2,5	09,9

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

— Condiciones de cimentación

Como puede verse en los gráficos S.P.T. los correspondientes a la parte E de la zona indican que se trata de un material apto para cimentaciones superficiales pudiéndose tomar tensiones admisibles de hasta 4 Kg/cm². En la zona W, por el contrario, a medida que nos acercamos al Guadalquivir, los golpes decrecen y el nivel freático se encuen-

tra alto, existiendo, además, áreas expansivas. Esta zona presenta, por lo tanto, restricciones importantes para la edificación ordinaria.

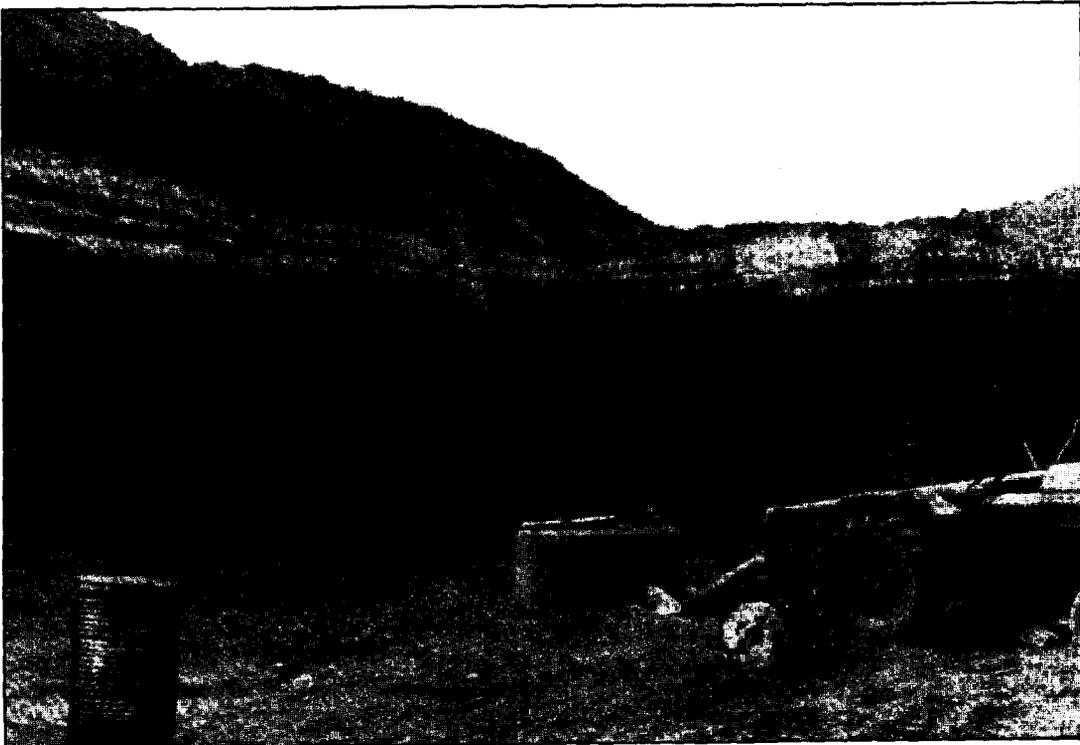
— **Condiciones para obras de tierra**

- Facilidad de excavación: Blando
- Estabilidad de taludes: Inestables
- Empujes sobre contenciones: Medio alto
- Aptitud para préstamos: Marginal
- Aptitud para explanadas de carreteras: No aptos.
- Obras subterráneas: Muy difícil

— **Restricciones geológicas a la construcción**

Existen, como se ha dicho, áreas expansivas, problema que se agrava con las variaciones estacionales del nivel freático.

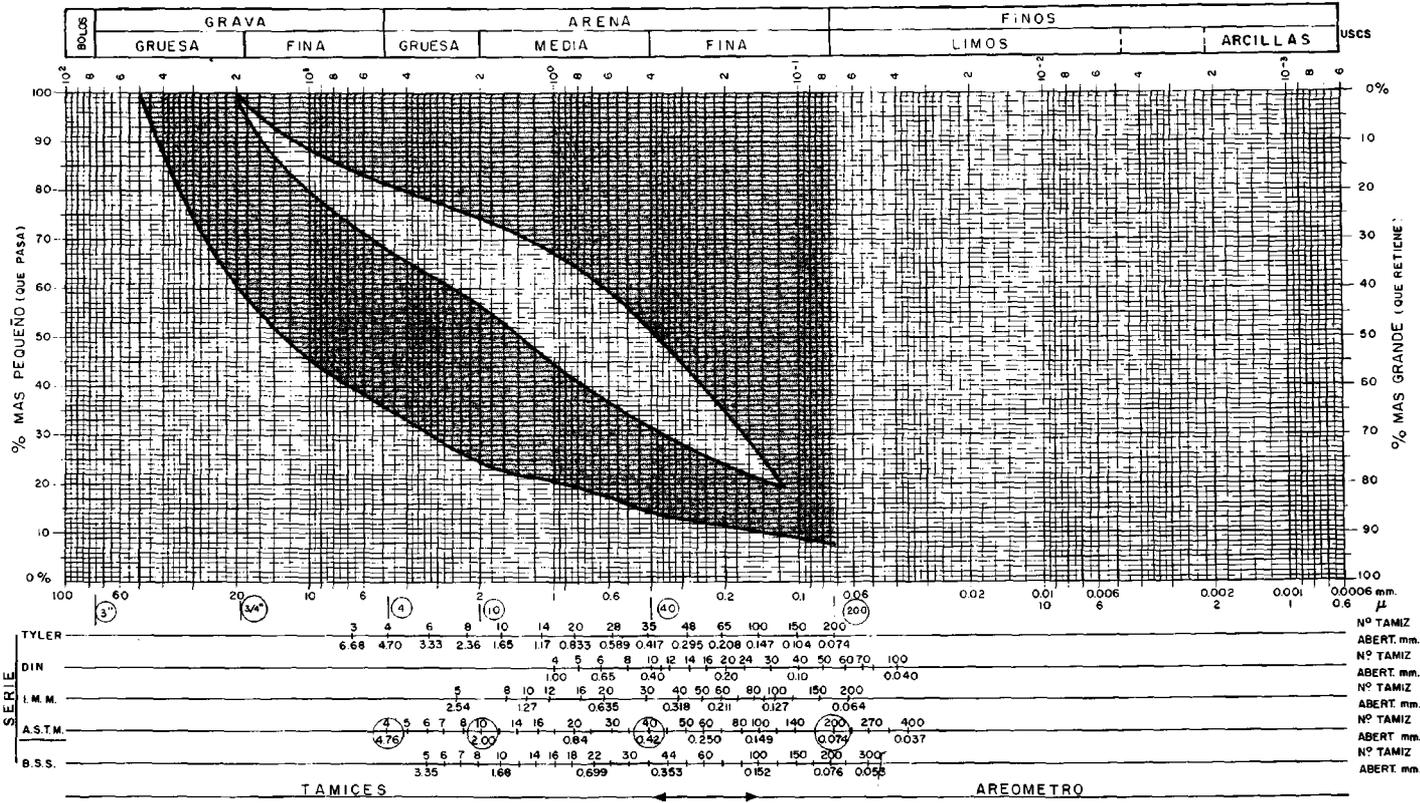
Se trata, además, de una zona potencialmente inundable.



Explotación de material granular

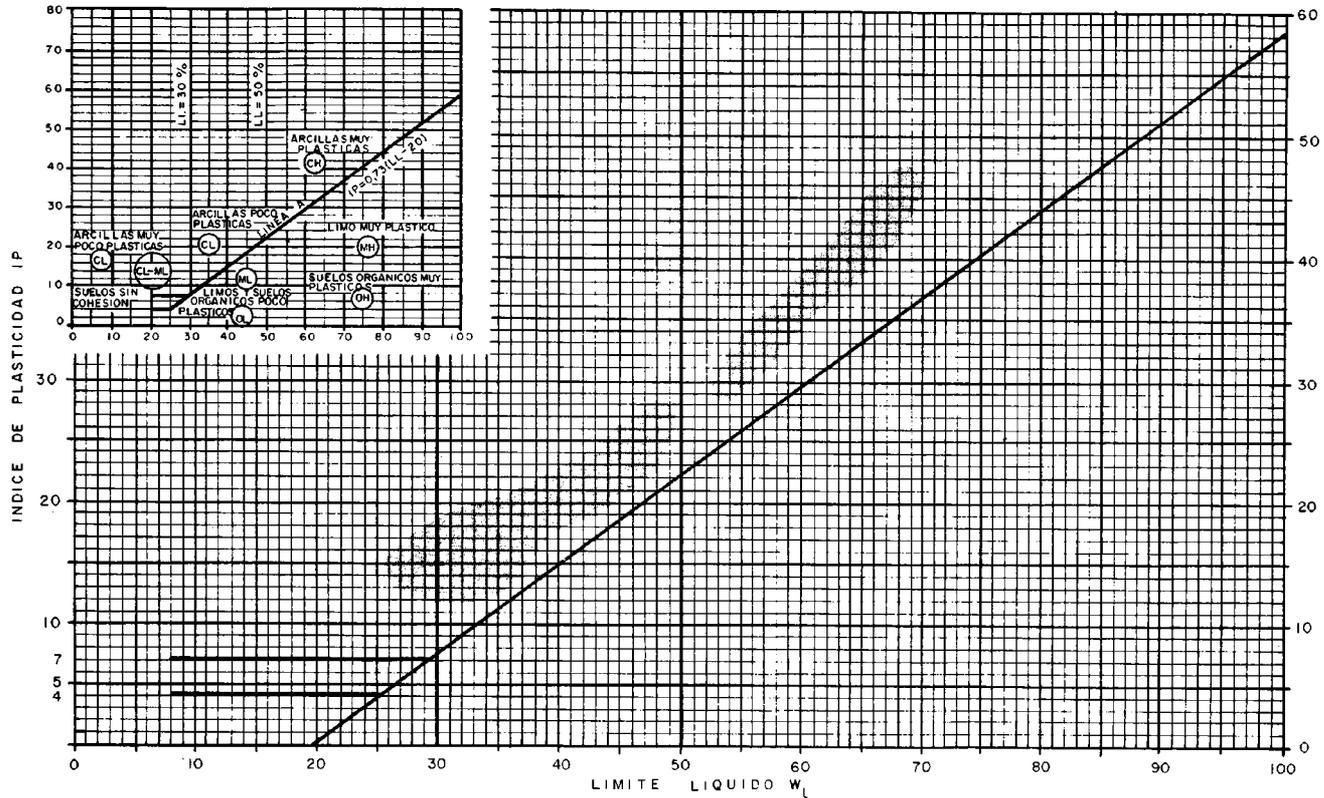
CURVA GRANULOMETRICA

Nº **III₃** PROYECTO: **MAPA GEOTECNICO DE SEVILLA**



CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE

Nº **III₃** PROYECTO:
MAPA GEOTECNICO DE SEVILLA



3.4.4. ZONA III₄

LOCALIZACION Y EXTENSION

La zona se sitúa al SW. del mapa II siendo su extensión de unos 2,5 Km² aproximadamente.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Qa₂, arenas y limos siendo las características del suelo de esta zona su uniformidad, se trata de una arena fina con bastante limo (20-35%) de color gris y medianamente densa.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLÓGICAS

La zona es llana y su altitud media es de unos 10 m.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

Es un suelo semipermeable, con drenaje aceptable por escorrentía e infiltración, el nivel freático se encuentra a la + 7,00.

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

Clasificación H.R.B.	A.2.4.
Clasificación USCS	SM
Índice de grupo	0
Límite líquido	NP
Índice de Plasticidad	NP
Densidad seca	1,58
Humedad natural	24,7
SPT (N)	14
C	0
O	36°
Co	0.606
Ct	0.03

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

— **Condiciones de cimentación**

La cimentación será superficial con tensiones admisibles comprendidas entre 0,5 y 2,5 Kg/cm². Deberá prestarse atención a la posible aparición de asientos diferenciales.

— **Condiciones para obras de tierra**

- Facilidad de excavación: Blando.
- Estabilidad de taludes: Inestables
- Empujes sobre contenciones: Medio
- Aptitud para préstamos: Marginal
- Aptitud para explanadas de carreteras: Marginal
- Obras subterráneas: Muy difícil

— **Restricciones geológicas a la construcción**

- Inundable.

3.4.5. ZONA III,

LOCALIZACION Y EXTENSION

Existen tres zonas. Se localizan al norte del Mapa I de E. a W. ocupando los cauces del arroyo Miraflores. El río Guadaira al S. y el Arroyo de las Culebras al N. y muy próximo a Dos Hermanas en el centro del Mapa II. La extensión aproximada de la zona es de 7 Km².

CARACTERISTICAS LITOLOGICAS

Qa, limos, arenas y arcillas. Existe una arcilla con indicios de arena fina (0-10%), grís, firme y arena fina con bastante limo (20-35%), grís muy denso.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Por ser zonas de cauces de ríos y arroyos, las diferencias de altitud son apreciables pasando de la cota +3 a la +45 en el caso de la zona del Arroyo de las Culebras.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

Es un suelo permeable con buen drenaje por infiltración. Los niveles freáticos son distintos si se toman en el arroyo Miraflores o si se toman en el arroyo de las Culebras, debido a la topografía. En el arroyo Miraflores la cota absoluta del nivel freático es +18,70, en el Arroyo de las Culebras es +42,3 m.

CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS

Clasificación H.R.B.	A.7.6	A.4
Clasificación USCS	CL	SM
Límite líquido	45	NP
Índice de plasticidad	24	NP
Índice de grupo	15	O
Densidad seca	1,6	
Humedad natural	25,0	28,0
SPT (N)	20	50
Comprensión simple	2,66	
C	0	
ϕ	32°	
Co	0,87	
Cc	0,07	
Pp	3,9	

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

— Condiciones de cimentación

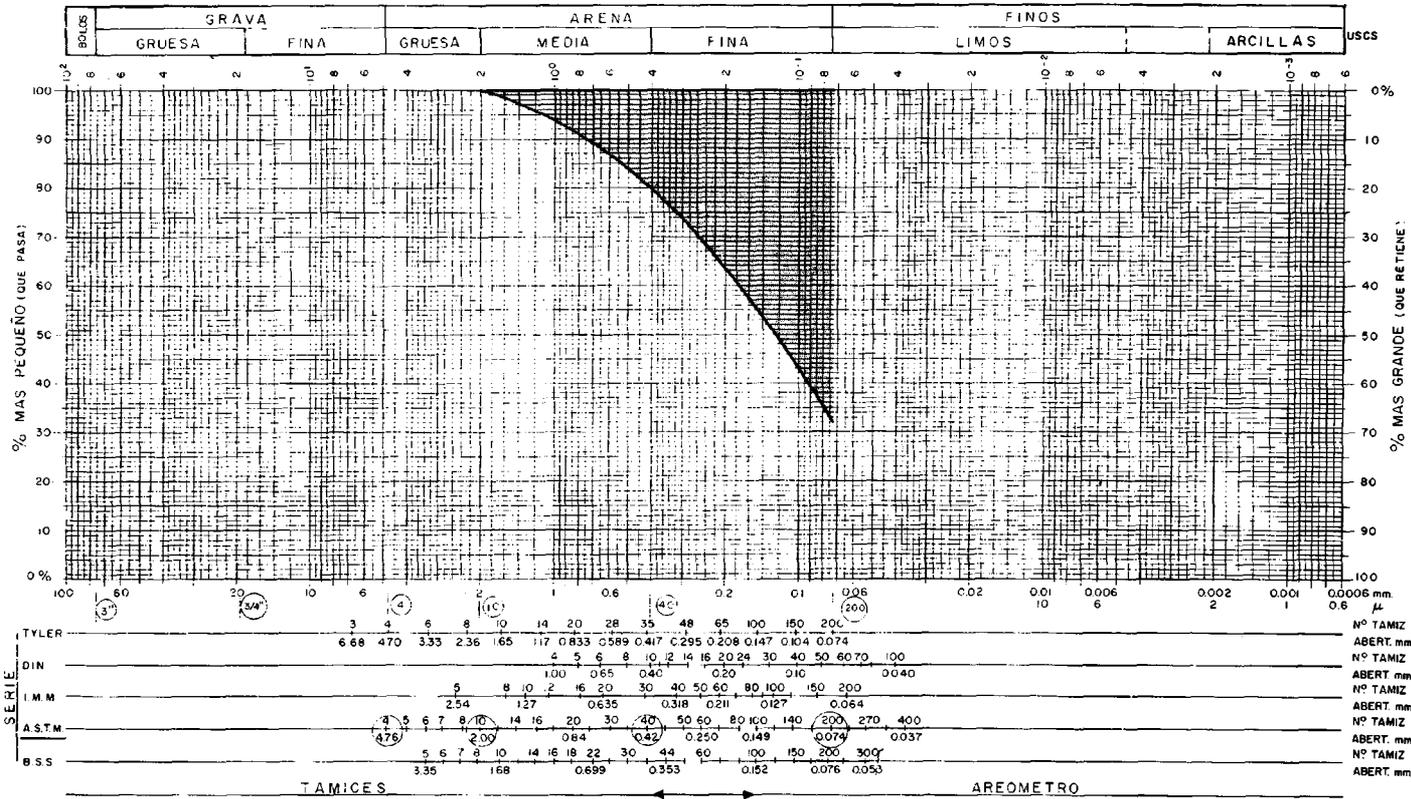
La cimentación puede ser superficial, hay asientos diferenciales y hay que tener en cuenta la posible expansividad de la arcilla. Las tensiones admisibles pueden estimarse comprendidas entre 2 y 3,5 Kg/cm².

— Condiciones para obras de tierra

- **Facilidad de excavación: Medio-Blando**
- **Estabilidad de taludes: Estables, algo erosionables con escorrentía superficial fuerte.**
- **Empujes sobre contenciones: Medio-Bajo**
- **Aptitudes para explanadas de carreteras: Marginal**
- **Obras subterráneas: Difícil**

CURVA GRANULOMETRICA

Nº **III 5** PROYECTO: **MAPA GEOTECNICO DE SEVILLA**

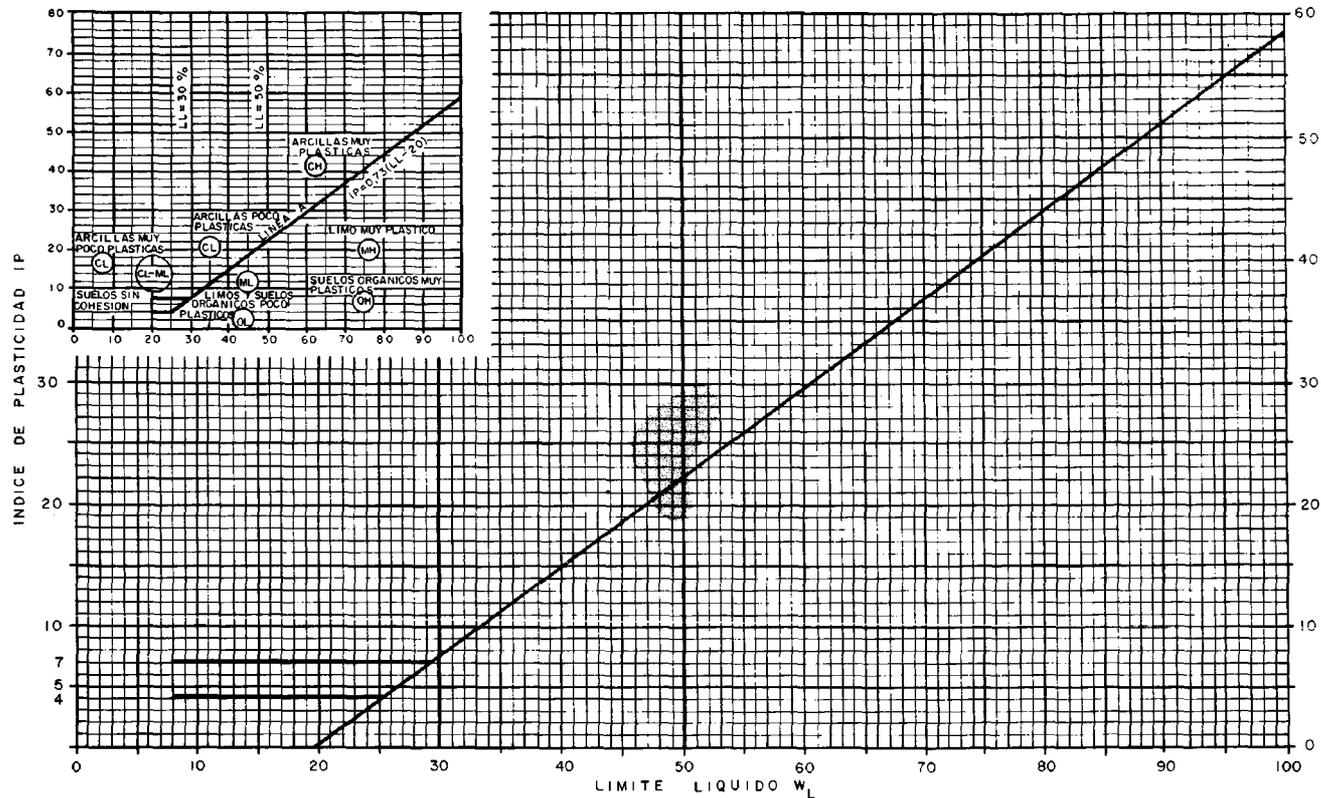


INTECSA

Internacional de Ingeniería y Estudios Técnicos S. A. Madrid-2
DIVISION DE GEOTECNOLOGIA

CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE

Nº **III** PROYECTO: **MAPA GEOTECNICO DE SEVILLA**



4. RECOMENDACIONES GEOTECNICAS PARA OBRAS PUNTUALES

En los diferentes mapas de este estudio, puede observarse la presencia de una columna donde se indican tanto los objetivos que debe tener dicha investigación como la intensidad.

Como se ha dicho repetidamente a lo largo de la Memoria, los valores numéricos a aplicar, que no sean los mínimos indicados, deben seleccionarse de acuerdo con criterios estadísticos (frecuencias correspondientes al 10 o al 25 por ciento en parámetros resistentes, siempre que no superen a tres veces los valores mínimos, lo cual es una garantía respecto a rotura). Sin embargo la aplicación de estos criterios simplistas, no pueden suplir ni la observación de las condiciones geotécnicas de una obra ni a la realización de una campaña de investigación geotécnica para obras de una mínima importancia. Lo que sí resultará de la aplicación de estos Mapas, es un conocimiento previo de la variabilidad estratigráfica dentro de cada Zona, que pueda permitir el conocimiento de áreas más débiles o problemáticas.

Para obras de una mínima importancia, en especial en áreas problemáticas, será conveniente la realización de una Investigación Geotécnica Suplementaria.

Previamente a la exposición de los tipos e intensidad de dicha campaña en cada Zona se expondrán los criterios seguidos para su caracterización y representación cartográfica.

a) Número Superior

Indica los objetivos principales perseguidos por la campaña

1. Se aplica para zonas con estratigrafía errática. En dichas zonas coexisten materiales granulares, a menudo resistentes, con materiales finos (limos y arcillas) generalmente más blandos. El objetivo de la campaña es garantizar que a una profundidad de una o dos veces el ancho de la cimentación prevista, no existan niveles blandos que puedan afectarla. El método preferente de investigación debe ser el sondeo o el pozo ya que las penetraciones serán obtenidas por los niveles granulares, en especial si contienen gravas.
2. Para zonas con estratigrafía relativamente homogénea. La profundidad de investigación será similar. El método puede ser tanto sondeo o pozo como penetraciones, las penetraciones pueden pararse en un valor prefijado como rechazo.
3. Es idéntico al anterior pero en zonas con presencia de yesos. Por ello deberá existir necesariamente algún sondeo o pozo. En éste, deberán extraerse dentro de los 4-5 m. superiores, varias muestras inalteradas que, sometidas a ensayos, servirán para detectar y cuantificar los sulfatos. Asimismo, se estudiará con detalle el nivel freático, allí donde aparezca, y el drenaje superficial.
4. En las zonas que en principio no admiten cimentación superficial, el objetivo debe ser buscar niveles profundos más resistentes para cimentar sobre ellos. Pueden utilizarse penetraciones, en especial estáticas, como método principal, pero necesariamente debe ponerse algún sondeo mecánico.
5. No constituye en rigor un tipo de campaña, sino un importante matiz de alguna de las campañas anteriores. Se trata de la localización del nivel freático. Puede observarse mejor con sondeos, en especial si la pared no se sostiene. Es conveniente corregirlo según la época del año, por las oscilaciones que tienen aparejadas las desiguales precipitaciones estacionales.

b) La letra inferior designa la intensidad de la campaña

A título orientativo, para cimentaciones, pueden utilizarse en una primera aproximación los siguientes valores para el número de puntos a reconocer (n):

A (Alta)	1/cada 50-200 m ²
M (Media)	1/cada 100-400 m ²
B (Baja)	1/cada 200-800 m ²

La densidad máxima se tomará para edificaciones pesadas. En todo caso n no será menor de 2.

En definitiva, para las diversas Zonas Geotécnicas se tendrán las siguientes campañas:

Zona Geotécnica	Campaña de Investigación Geotécnica Suplementaria
III ₅	IG 1,2,4 M
III ₄	IG 1,4,5 A
III ₃	IG 1,4,5 A
III ₂	IG 1M5 M
III ₁	IG 1 B
II ₃	IG 2 B
II ₂	IG 1,2 B
II ₁	IG 2 B
I	IG 2 B

5. CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LAS MARGAS AZULES DE SEVILLA.

MARGAS AZULES

Indudablemente constituyen el terreno más interesante y característico de Sevilla, por lo que sus características más importantes se analizarán con especial detalle.

SUPERFICIE DE CONTACTO

La superficie de contacto de las margas azules con las zahorras dista mucho de ser horizontal o tener una configuración similar a la existente en superficie.

La topografía de las superficies de las margas es mucho más accidentada que la del terreno natural. Aparecen pendientes de hasta el 7%, marcándose de modo claro el posible paleocauce del Guadalquivir.

La configuración de la topografía de dicha superficie se ha deducido a partir de los sondeos realizados.

COMPOSICION MINERALOGICA

Aparte del interés puramente informativo que pueda tener el conocimiento de la composición mineralógica de las margas, existe una razón práctica evidente: si los resultados de la identificación mineralógica con testigos procedentes de varios sondeos coinciden, cabe deducir de ello que se trata de un material muy uniforme, pudiendo extrapolarse perfectamente los resultados de los ensayos a cualquier punto de la ciudad.

Por esta razón se remitieron al Instituto de Edafología y Biología Vegetal del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, cuatro muestras procedentes de los sondeos:

- E-10 (Estación Gran Plaza) de 19,70 m a 20,00 m
- E-15 (Estación Cádiz) de 17,50 m a 17,80 m
- E-19 (Estación Plaza Nueva) de 29,75 a 30,05 m
- E-23 (Estación Alameda de Hércules) de 31,70 m a 32,00 m

con las cuales debía realizarse una identificación de la fracción de arcilla mediante difracción de Rayos X.

Las conclusiones del correspondiente informe se resumen en los siguientes párrafos:

“Las cuatro muestras dan diagramas de difracción idénticos”.

“La composición mineralógica de la fracción de arcilla de las cuatro muestras estudiadas es:

Montmorillonita	Mucho
Mica	Mucho
Caolinita	Mucho
Calcita	Poco

Independientemente de estos ensayos, en el laboratorio que realizaba los test geotécnicos propiamente dichos, se efectuó una determinación de la proporción de carbonatos existentes en diversas muestras. Los resultados fueron bastante concordantes, como se deduce de la lista adjunta (% expresados en CO₂):

- 12,7 (T-6); 13,1 (T-6); 12,2 (T-23)
- 11,5 (T-23); 13,5 (E-15); 12,2 (E-21)
- 11,3 (E-24).

Parece, pues, que la proporción de carbonatos expresada en % de CO₂ debe ser como media de 12-12,5%, equivalente a 27,2-28,4% expresada en CO₃Ca.

Según el criterio de S. Uriel, la proporción de CO₃ Ca que separa las margas de las arcillas, debería establecerse en el 30%.

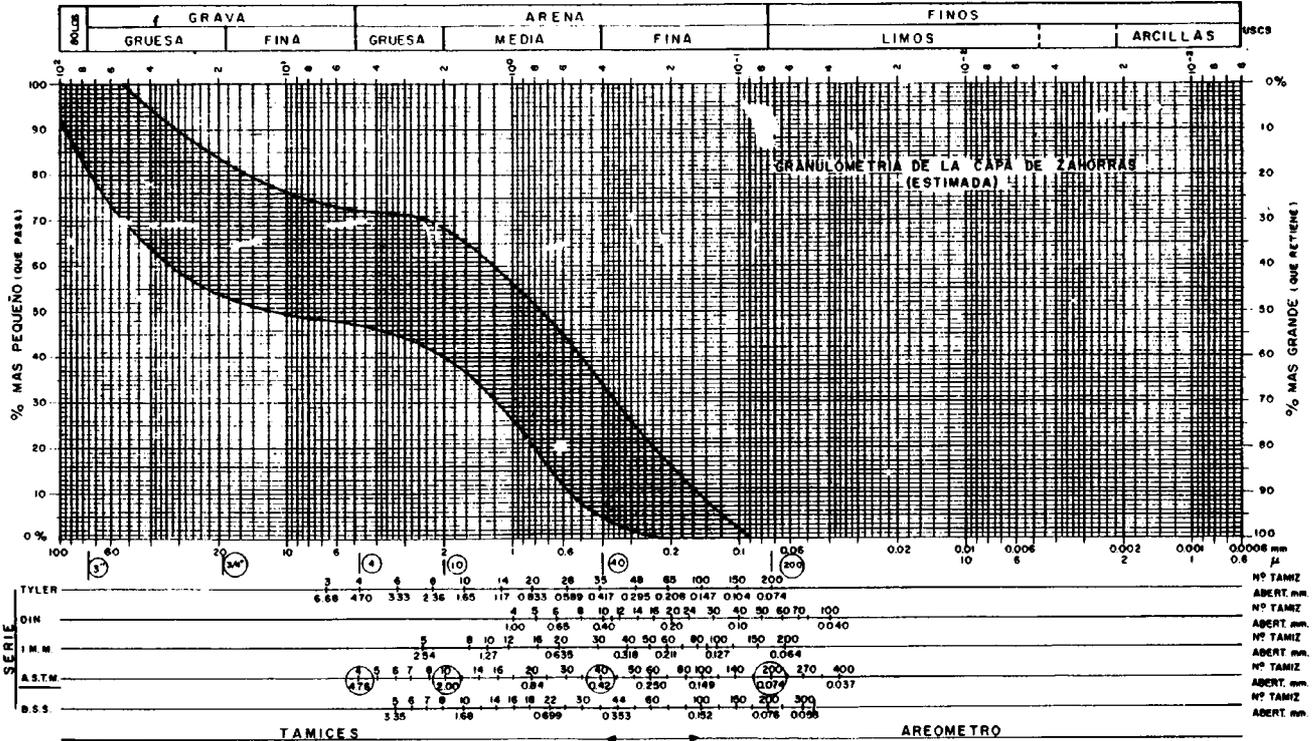
De acuerdo con ello, las denominadas margas azules de Sevilla no serían tales sino arcillas muy margosas y fuertemente preconsolidadas. Esto, por lo menos en lo que se refiere a las zonas más superficiales (los primeros 10-15 m) ya que pudiera suceder que a cotas más bajas el porcentaje de carbonatos fuese más alto.

GRANULOMETRIA

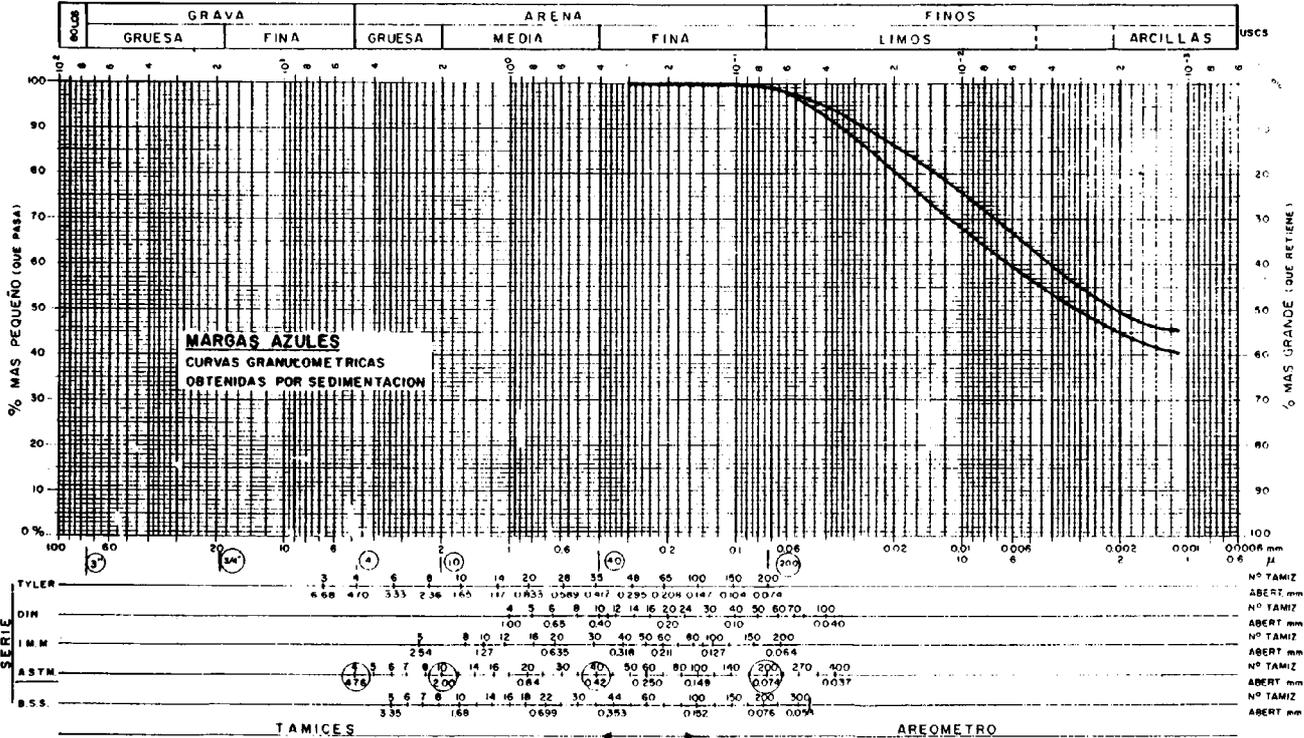
La información que proporcionan los ensayos granulométricos por tamizado (tamiz más pequeño utilizado, el 200) es prácticamente nula. La proporción que pasa por el citado tamiz es superior al 99,0% en la mayoría de los casos.

Por esta razón se recurrió a ensayos granulométricos por sedimentación. Conocida la uniformidad del material, solo se realizaron dos, cuyos resultados pueden considerarse suficientemente representativos. Sus resultados figuran en el gráfico adjunto.

CURVA GRANULOMETRICA



CURVA GRANULOMETRICA



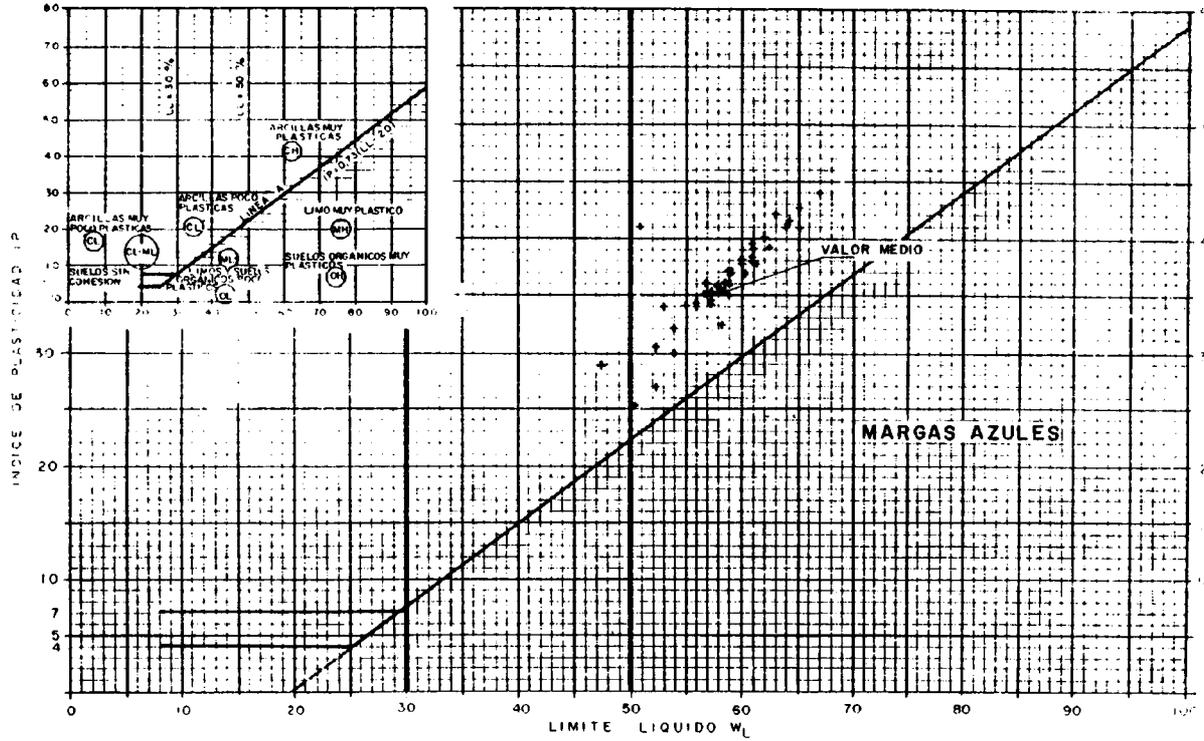
INTECSA

Instituto de Ingeniería y Estudios Técnicos S.A. Madrid 7

Dep. de GEOTECNIA E HIDROLOGIA

CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE

Nº 14.002	PROYECTO METRO DE SEVILLA ESTUDIO GEOTECNICO
-----------	--



Las curvas granulométricas son casi idénticas, representando la fracción inferior a 2 micras un 45-50% del material.

PLASTICIDAD

Los valores de límite líquido e índice plástico se agrupan en un espacio muy pequeño. Si bien el límite líquido oscila entre 47,6 y 67 y el índice plástico entre 25,2 y 44, el 75% de valores se agrupan en el intervalo definido por:

55 L.L. 63
33 I.P. 40

siendo la media del conjunto de muestras:

LL = 58,3; I.P. = 35,5

En resumen, y tal como cabía esperar, la plasticidad es prácticamente constante en las muestras ensayadas.

DENSIDAD SECA Y HUMEDAD

Lo dicho respecto a la plasticidad puede trasponerse sin más a la densidad seca.

Los valores extremos son 1,46 t/m³ y 1,65 t/m³, estando agrupados la mayor parte de los valores entre 1,52 t/m³ y 1,60 t/m³,

La humedad se mantiene siempre por encima del límite plástico (índice de fluidez 0) pero sin sobrepasar el 35%. El valor medio es de 26,3% y los extremos superior e inferior 32,4 y 21,3% respectivamente.

CLASIFICACIONES E ÍNDICE DE GRUPO

La uniformidad del material conduce inevitablemente a que todas las muestras den un resultado similar en las dos clasificaciones habitualmente usadas: CH (Clasificación de Casagrande), A-7-6/Clasificación H.R.B.).

El índice de grupo es 20 en la práctica totalidad de las muestras ensayadas.

ENSAYOS DE COMPRESION SIMPLE

En los primeros ensayos efectuados se obtuvieron resistencias anormalmente más bajas de las esperadas. Al averiguar la causa de este hecho se llegó a la conclusión de que era debido a que en el laboratorio se había tomado como criterio para definir la rotura de la probeta el momento en el que se alcanzaba una deformación del 10%.

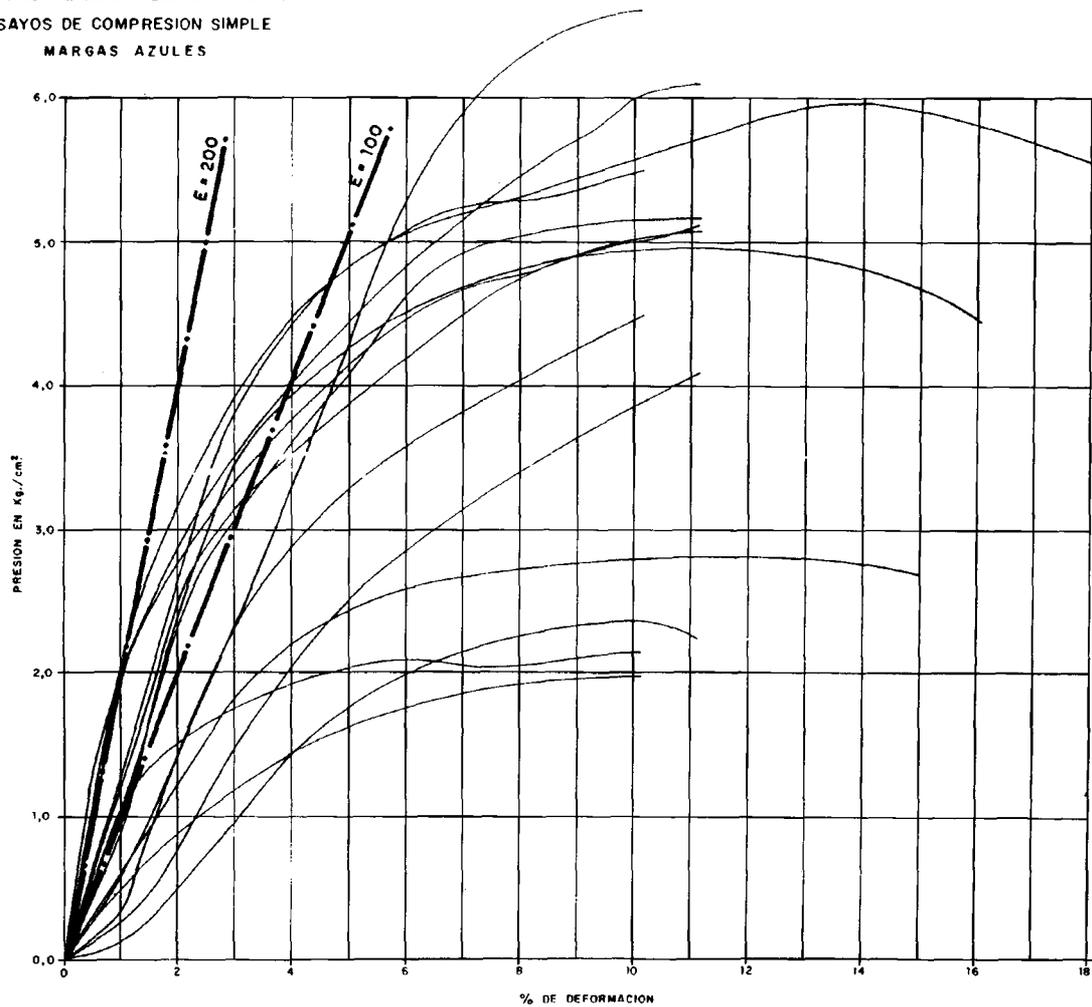
Dibujadas y superpuestas las curvas tensión-deformación en los ensayos de compresión simple con muestra inalterada, se puede apreciar claramente que en muchos casos se está aún lejos de la rotura ya que las curvas son claramente crecientes todavía.

Subsanada esta deficiencia en las sucesivas series de ensayos, los resultados obtenidos se ajustaban ya plenamente a lo previsible.

Tomando los valores de los ensayos en los que se ha llegado a la rotura o la curva indicada, que estaba muy cerca de ella, resulta la serie de valores siguientes (en kg/cm²):

4,88; 6,02; 5,40; 5,16; 4,54; 4,76; 6,00; 4,99; 5,04; 6,41; 4,89; 4,82; 6,61; 6,37; 5,67; 4,65.

CURVAS TENSION - DEFORMACION
ENSAYOS DE COMPRESION SIMPLE
MARGAS AZULES



El valor medio del conjunto es 5,38 Kg/cm², aunque el valor real tal vez sea algo mayor, ya que, como se ha dicho, algunos de estos valores son más bajos de lo debido, por no haberse alcanzado aún la rotura. Probablemente una media totalmente representativa sea del orden de 5,7 ó 5,8 Kg/cm².

Sin embargo, a efectos de cálculo parece más razonable tomar un valor más bajo. Por ejemplo, puede tomarse como representativo el valor que deja una tercera parte de las muestras con valores más pequeños y las dos terceras partes alcanzan resistencias superiores a la citada. La resistencia a compresión simple que cumple la citada condición es 5,0 Kg/cm², que será la que se considere en aquellos puntos del cálculo que exijan manejar esta magnitud.

El problema de fijar un módulo de elasticidad del material es aún más dificultoso. Los criterios para fijar un determinado valor de módulo de deformación pueden resumirse en los siguientes:

- a) Módulo tangente en el origen.
- b) Módulo tangente en algún punto definido por la tensión o la deformación.
- c) Módulo secante en el punto en que se produce la rotura.
- d) Módulo secante en algún punto intermedio definido por su tensión o deformación.

De los cuatro criterios indicados, nos inclinamos por el más comúnmente empleado, el d) Para ello tomaremos el módulo secante en el punto en que la tensión alcanza la mitad de la resistencia a compresión simple.

De acuerdo con este criterio, y según puede deducirse del gráfico en que se han superpuesto todas las curvas tensión-deformación, el módulo de elasticidad deducido con ese criterio es, muy aproximadamente, 100 Kg/cm². Este valor será el que se emplee en los cálculos.

En algún problema muy concreto, en el cual las tensiones en el terreno se mantengan a niveles muy bajos puede tomarse un módulo tangente en el origen. A estos efectos proponemos como valor en los casos citados el de 200 Kg/cm², cuyo reflejo gráfico puede verse en la figura antes indicada.

Siguiendo con todo ello, surge el tema de la relación entre módulo de elasticidad y resistencia a compresión. Una simple operación aritmética nos muestra que dicho valor es 20 (valor medio), con límite superior de 40. Sin embargo, es necesario precisar dos puntos a este respecto:

- La citada relación depende mucho de la definición que se haga del módulo de elasticidad.
- Los ensayos de compresión sobre muestra inalterada, realizados en laboratorio, dan valores del módulo de elasticidad probablemente inferiores a los que se obtendrían en el terreno.

De acuerdo con esta última observación, cifras de 100 Kg/cm² y 200 Kg/cm², serán conservadoras, siendo conveniente la ejecución de ensayos "in situ" durante la obra que corroboren o rectifiquen los valores obtenidos en el anejo de criterios geotécnicos de proyecto.

Por otro lado, en 25 de las probetas ensayadas a compresión, se ha repetido el ensayo con la misma muestra remoldeada y compactada a una humedad y densidad similares a las originales. La susceptibilidad de las muestras se ha mantenido en 20 casos (el

80%) entre 1 y 2, en cuatro ha superado el valor 2 y en una ocasión ha resultado inferior a la unidad. El valor medio es 1,60 m.

También en este punto es preciso hacer una aclaración: la susceptibilidad se define normalmente como relación entre la resistencia a compresión simple inalterada y remoldeada. Sin embargo, ya se ha dicho que en algunas muestras no se alcanzó la rotura, por lo que en sentido estricto no podría conocerse cual es su susceptibilidad.

Para salvar este obstáculo y poder manejar mayor número de valores, se ha considerado que la relación de tensiones en rotura coincide con la existente para una deformación del 10%. Esta pequeña imprecisión tal vez modifique algo el valor medio, pero no las conclusiones generales del análisis.

Estas pueden resumirse del siguiente modo: se trata de una arcilla poco susceptible, que pierde una tercera parte aproximadamente de su resistencia a compresión simple al reamasarla.

ENSAYOS TRIAXIALES

Se han realizado un total de 22 ensayos triaxiales con consolidación previa, rotura sin drenaje y medida de las presiones intersticiales (ensayo C.U.) y 2 sin consolidación previa ni drenaje (ensayo U.U.).

Veamos por separado los resultados de ambos tipos de ensayos.

A) Ensayos C.U.

Los valores de cohesión, en tensiones efectivas, deducidas de la representación de los círculos de Mohr, varía entre 0,11 Kg/cm² y 0,63 Kg/cm². El valor medio es de 0,306 Kg/cm² y el que deja una tercera parte de los resultados por debajo es 0,20 Kg/cm².

El ángulo de rozamiento interno está comprendido entre 18,5° y 33,0°, siendo el valor medio 25,5° y 23,5° el que deja solamente un tercio de valores por debajo. El 80% de los resultados obtenidos está acotado entre 22° y 29°, lo que indica una dispersión bastante pequeña.

Por todo ello, a efecto de cálculo pueden tomarse los siguientes valores de los parámetros en tensiones efectivas:

$$C' = 0,20 \text{ Kg/cm}^2 \\ \phi = 25^\circ$$

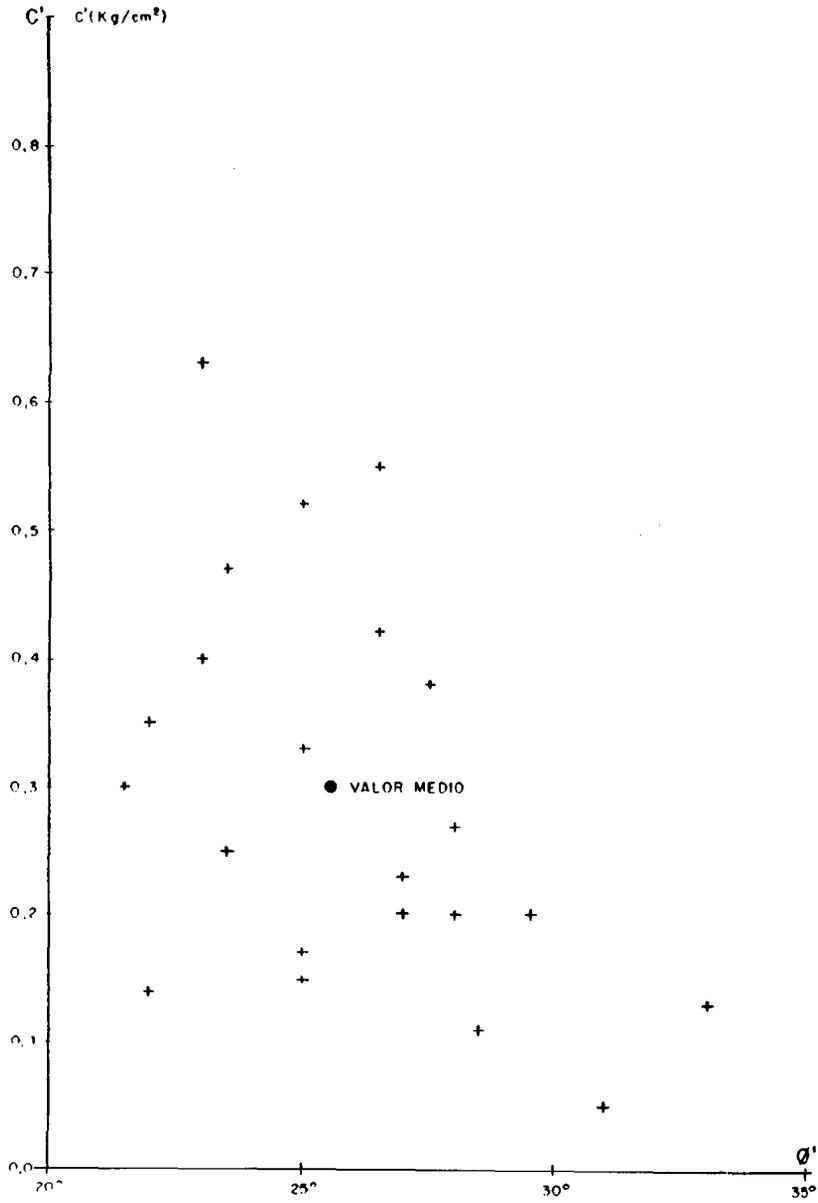
Para completar la terna sobre la relación existente entre tensión y deformación, iniciada con los ensayos de compresión simple, se han confeccionado tres gráficos en los que en abscisas figuran deformaciones y en ordenadas se representa el desviador. Cada gráfico corresponde a una tensión de confinamiento a_3 , distinta (90 kg/cm² y 6,5 Kg/cm²), superponiendo las curvas obtenidas en los diferentes ensayos.

Manteniendo las mismas observaciones realizadas en el caso anterior respecto al criterio con que se define el módulo de elasticidad, pueden establecerse, sin embargo, las siguientes conclusiones:

- El módulo de elasticidad disminuye con a_3 .
- Los valores medios del citado módulo son:
E = 125 Kg/cm² ($a_3 = 9 \text{ Kg/cm}^2$)
E = 100 Kg/cm² ($a_3 = 7,5 \text{ Kg/cm}^2$)
E = 50 Kg/cm² ($a_3 = 6 \text{ Kg/cm}^2$)
- Los módulos de deformación tangentes en el origen son muy superiores (el doble o más) a los citados.

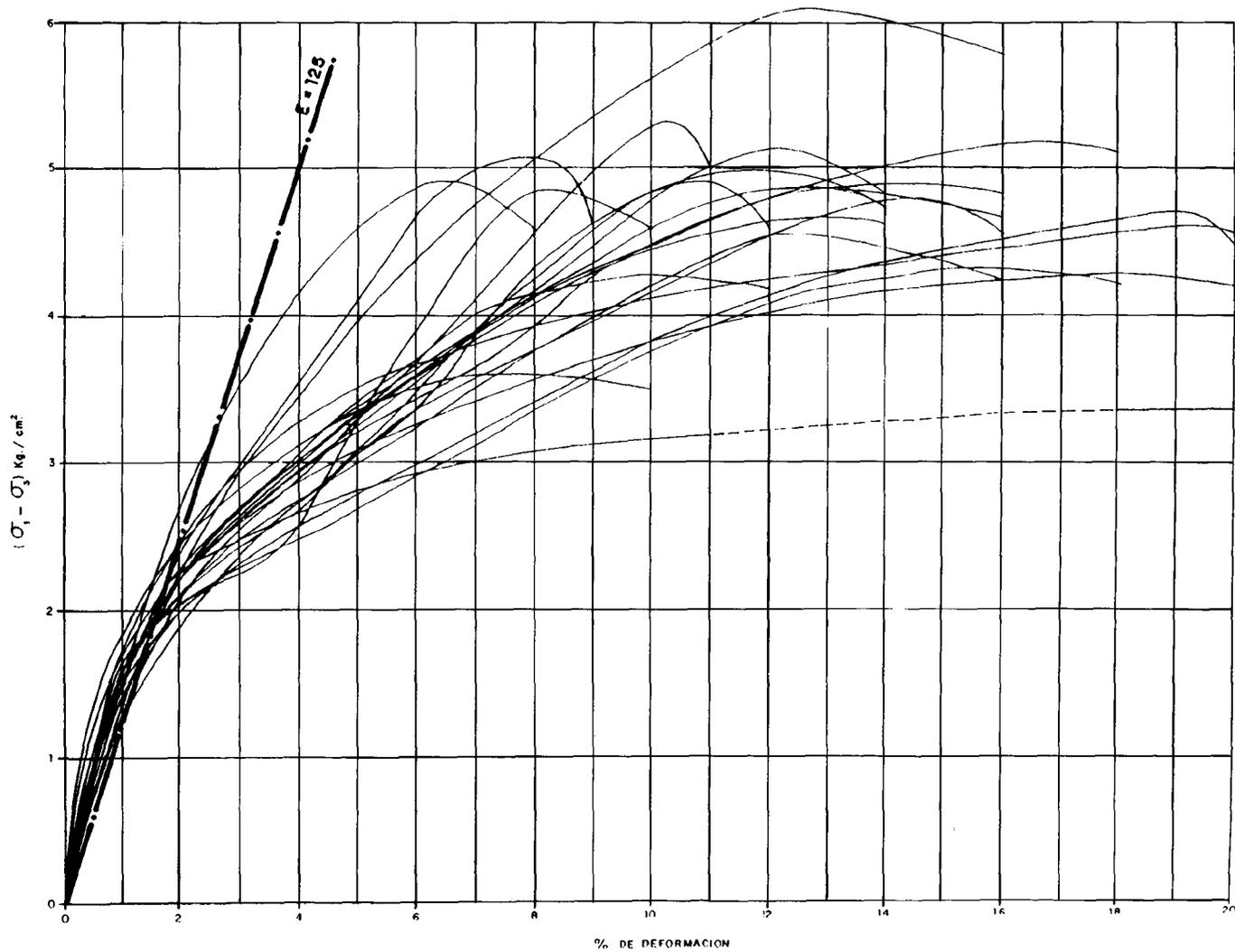
MARGAS AZULES

RESUMEN DE RESULTADOS DE TRIAXIALES C.U.



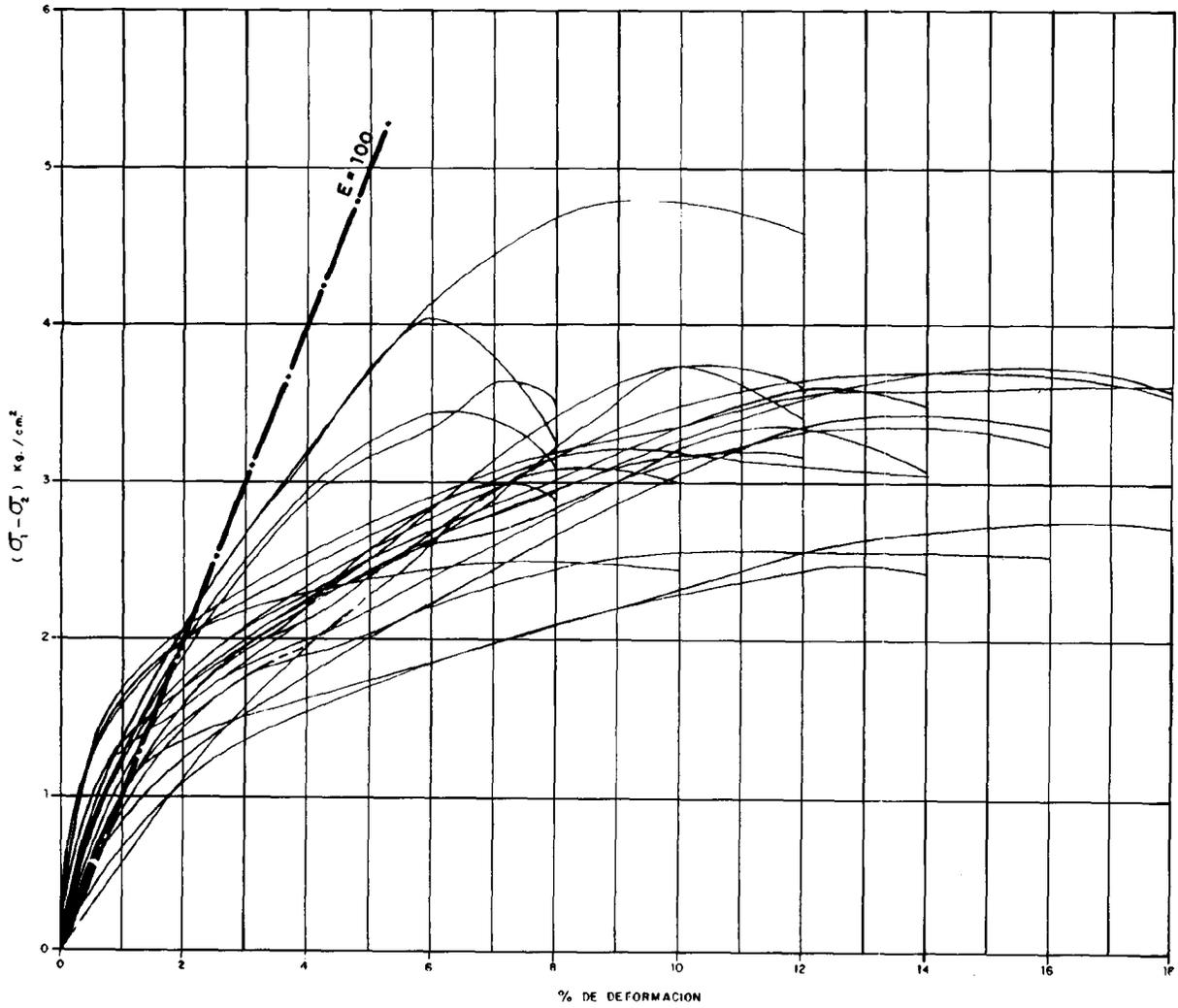
CURVAS TENSION-DEFORMACION
ENSAYOS TRIAXIALES

PROBETA N°1 - $\sigma_3 = 9,0 \text{ Kg/cm}^2$



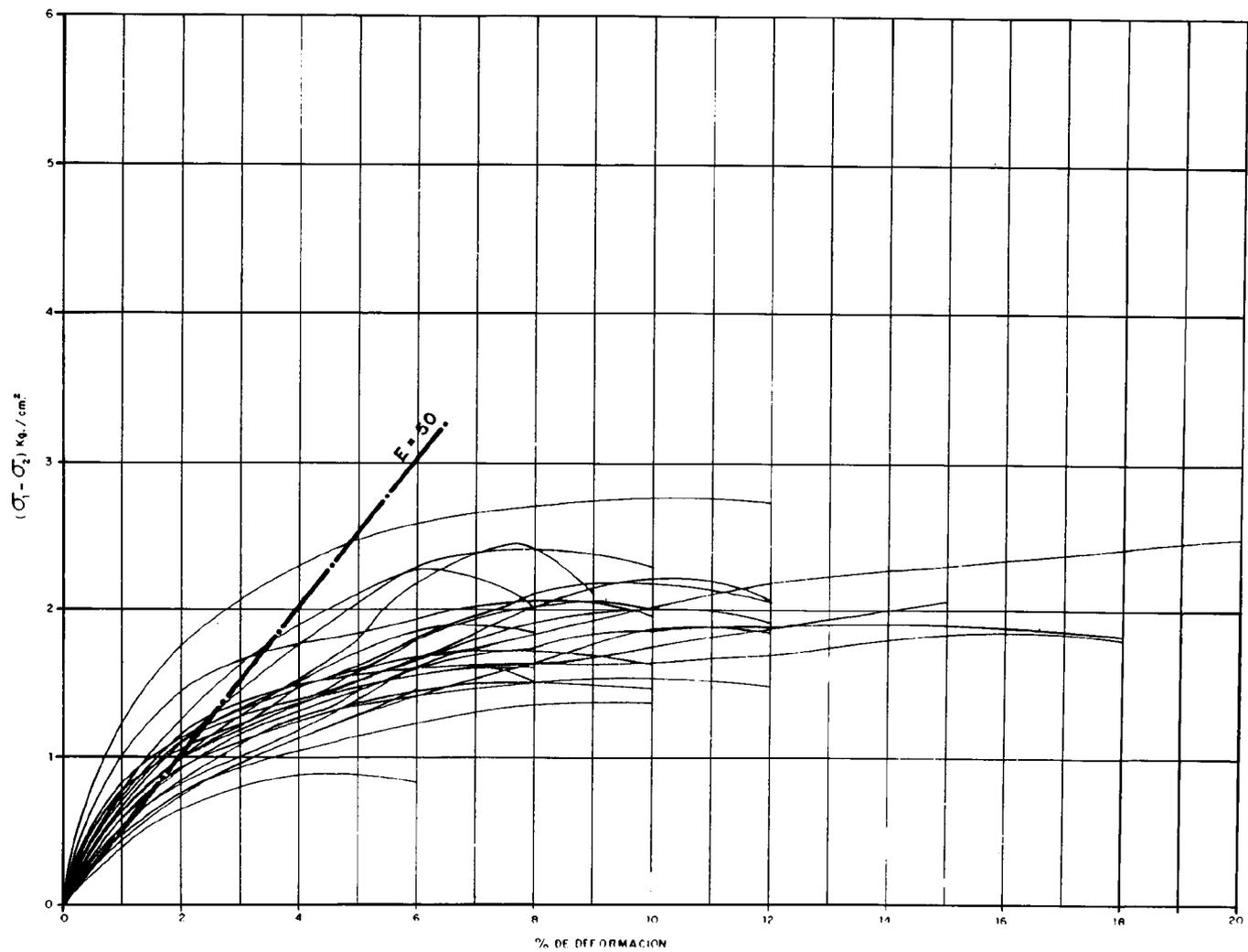
CURVAS TENSION-DEFORMACION
ENSAYOS TRIAXIALES

PPOBETA N° 2 - $\sigma_3 = 7,5 \text{ Kg/cm}^2$
Con la muestra (B) - $\sigma_3 = 8 \text{ Kg/cm}^2$



CURVAS TENSION-DEFORMACION
ENSAYOS TRIAXIALES

PROBETA N° 3 — $\sigma_3 = 6,5 \text{ Kg/cm}^2$



B) Ensayos U.U.

Un ensayo triaxial de este tipo debe proporcionar una cohesión igual a la mitad de la resistencia a compresión simple y ángulo de rozamiento nulo.

Jiménez Salas apunta dos excepciones a esta regla: las arcillas fisuradas y los suelos de grano grueso con fuerte dilatancia positiva. En el primer caso, la razón reside en el aire que albergan las fisuras como consecuencia de la descompresión que supone la toma de muestras y el incremento de la presión efectiva durante el ensayo al comprimirse el aire bajo la presión exterior aplicada.

En el caso de las margas azules de Sevilla los resultados de los ensayos U.U. han sido:

$$C_u = 1,68 \text{ Kg/cm}^2; \phi_u = 17^\circ$$

$$C_u = 1,72 \text{ Kg/cm}^2; \phi_u = 13^\circ$$

$$C_u = 1,60 \text{ Kg/cm}^2; \phi_u = 16^\circ$$

Tres ensayos son muy pocos, pero la concordancia de los valores es casi perfecta. Este hecho plantea la siguiente cuestión: ¿existe fisuración en las margas azules?. El tema es de gran trascendencia y en un apartado posterior se analizará con más detalle, dejándose por el momento planteada la cuestión.

ENSAYOS EDMETRICOS

Los ensayos edométricos con muestras de margas azules tienen menor interés. El único dato con una posible aplicación al proyecto era la presión de preconsolidación y las posibles correlaciones y deducciones que pudiesen hacerse a partir de la misma.

Sin embargo, no se ha obtenido ningún resultado que pueda calificarse de fiable. La presión de preconsolidación, obtenida con el método de Casagrande, da valores muy alejados entre sí. Ello puede indicar tanto alteraciones de la muestra (al tomarla, al tallarla para introducirla en el edómetro, etc) como un proceso de sobreconsolidación por desecación durante su manejo. En el primer caso pueden haberse obtenido valores inferiores a los reales, mientras que en el segundo sucedería lo contrario.

De todas formas en los cuadros-resumen de características se han indicado los valores más interesantes deducibles del ensayo edométrico.

OTROS ENSAYOS

Aparte de los ensayos de determinación de carbonatos, cuyos resultados ya se analizaron anteriormente, se han efectuado algunos otros con el fin de completar en lo posible la información sobre las margas azules.

Los ensayos Lambe dan como resultado un índice de hinchamiento comprendido entre 1,14 Kg/cm² y 1,25 Kg/cm² lo que corresponde a una calificación cualitativa del terreno como "no crítico".

El límite de retracción resultó igual a 16,3% (tanto por ciento de humedad por debajo de la cual no continúa reduciéndose el volumen al desecar la muestra) en el único ensayo de este tipo realizado.

Un ensayo de permeabilidad realizado en laboratorio ha proporcionado un valor del coeficiente de permeabilidad de $3,33 \times 10^{-9}$ cm/seg. Este valor es muy bajo, correspondiendo a un terreno muy poco permeable. Si recordamos lo dicho sobre la gran permeabilidad previsible en las zahorras llegamos a la conclusión de que, en comparación con

las capas más superficiales, las margas azules son prácticamente impermeables. Por tanto, si se construyen recintos que estén cerrados lateralmente y que la parte baja de las paredes esté dentro de las margas, existe una probabilidad bastante grande de que la excavación se realice en seco, debiendo de bombearse únicamente el agua que haya podido quedar encerrada en el interior.

Los valores de los tres ensayos de penetración realizados (53 golpes, 73 y rechazo) no proporcionan ninguna información complementaria.

CORRELACIONES DE RESULTADOS

Durante la exposición de los apartados anteriores se han analizado ya algunas de las relaciones entre características geotécnicas de las margas azules. Veamos ahora alguna otra no estudiada todavía.

INFLUENCIA DE LA PROFUNDIDAD

La correlación entre algunas de las características más sencillas (densidad, humedad, plasticidad, resistencia a compresión) suele dar indicaciones interesantes en materiales normalmente consolidados. Así es posible deducir contactos entre capas de aspecto similar y características distintas, evolución de las propiedades del terreno y posibles extrapolaciones de los datos que se poseen, etc.

En el caso de las margas azules estas finalidades presentan un matiz especial: se trata de verificar la uniformidad del material con la profundidad.

Como valores representativos en esta comprobación se han tomado la densidad, la humedad, el límite líquido, el índice de plasticidad y el índice de fluidez (aunque sea una magnitud dependiente de otras ya incluidas en la comprobación).

La única diferencia con el sistema habitual de presentar los resultados reside en la consideración de la profundidad. En un terreno sobreconsolidado no es representativo el peso de tierras actuante en este momento sobre él. Por ello, es lógico pensar que sus propiedades tengan muy poco que ver con dicho peso y con la profundidad respecto a la superficie del terreno (ligada al peso de tierras de una manera muy directa).

Así pues, en eje de ordenadas se han representado las cotas absolutas a que se encontraba la muestra ensayada. Los resultados son los que se observan en el gráfico adjunto.

En parte supone una reiteración hablar de la constancia de los valores que se han obtenido. Sin embargo, ya se dijo que existía un cierto campo de variación, aunque pequeño. Los valores aparecen distribuidos en profundidad de un modo aleatorio entre los límites extremos del intervalo, sin que se observe una tendencia definida.

El único que presenta oscilaciones algo mayores es el índice de fluidez, aunque se trata de un valor escasamente empleado para definir un terreno. Sus oscilaciones bruscas son debidas a la gran influencia que puede llegar a tener en él una pequeña variación en la humedad (pudiendo haberse desecado la muestra durante su manipulación). Pese a ello, en general, también mantiene cierta constancia.

La conclusión de ello parece ser la misma a que se ha llegado repetidas veces a lo largo de este anejo: las margas azules constituyen un terreno uniforme tanto en superficie como en profundidad (al menos en el casco urbano de Sevilla y sus alrededores y a las profundidades accesibles en el campo de las obras civiles).

ANGULO DE ROZAMIENTO INTERNO Y PLASTICIDAD

En las capas superficiales ya se vió que podía establecerse una cierta relación entre ángulo de rozamiento interno en presiones efectivas (O') e índice de plasticidad (I_p).

En las margas azules esta relación ya no aparece tan clara, cosa, por otra parte, bastante lógica: el índice de plasticidad se mantiene bastante constante en una gama de valores en la que como se vió, debe de influir poco, teniendo mayor peso sobre el ángulo de rozamiento interno otros factores secundarios. La correlación, por tanto, resulta muy difícil de establecer.

ANALISIS DE LA FISURACION

Ya se apuntó anteriormente la importancia que este tema podía tener en el proyecto. El estudio del mismo debe ser dividido en dos partes independientes entre sí:

- Argumentos en pro y contra la existencia de fisuración.
- Consecuencias prácticas de la fisuración.

EXISTENCIA DE FISURACION

La similitud existente entre las margas azules de Sevilla y la denominada "arcilla de Londres" ("London clay") hizo que las propiedades de ésta se tomaran como base de partida para los estudios iniciales.

La arcilla azul de Londres es de formación terciaria y presenta una fuerte sobreconsolidación.

Las similitudes con las margas azules de Sevilla no paran en esto. En el presente cuadro se recogen algunos de los valores geotécnicos más importantes de cada una de ellas:

	Londres	Sevilla
Densidad seca	1,60 t/m ³	1,56 t/m ³
Humedad natural	26%	26,3%
Límite líquido	76	58
Límite plástico	26	23
Índice de plasticidad	50	35
Resistencia a compresión	3-6 Kg/cm ²	5-6 Kg/cm ²

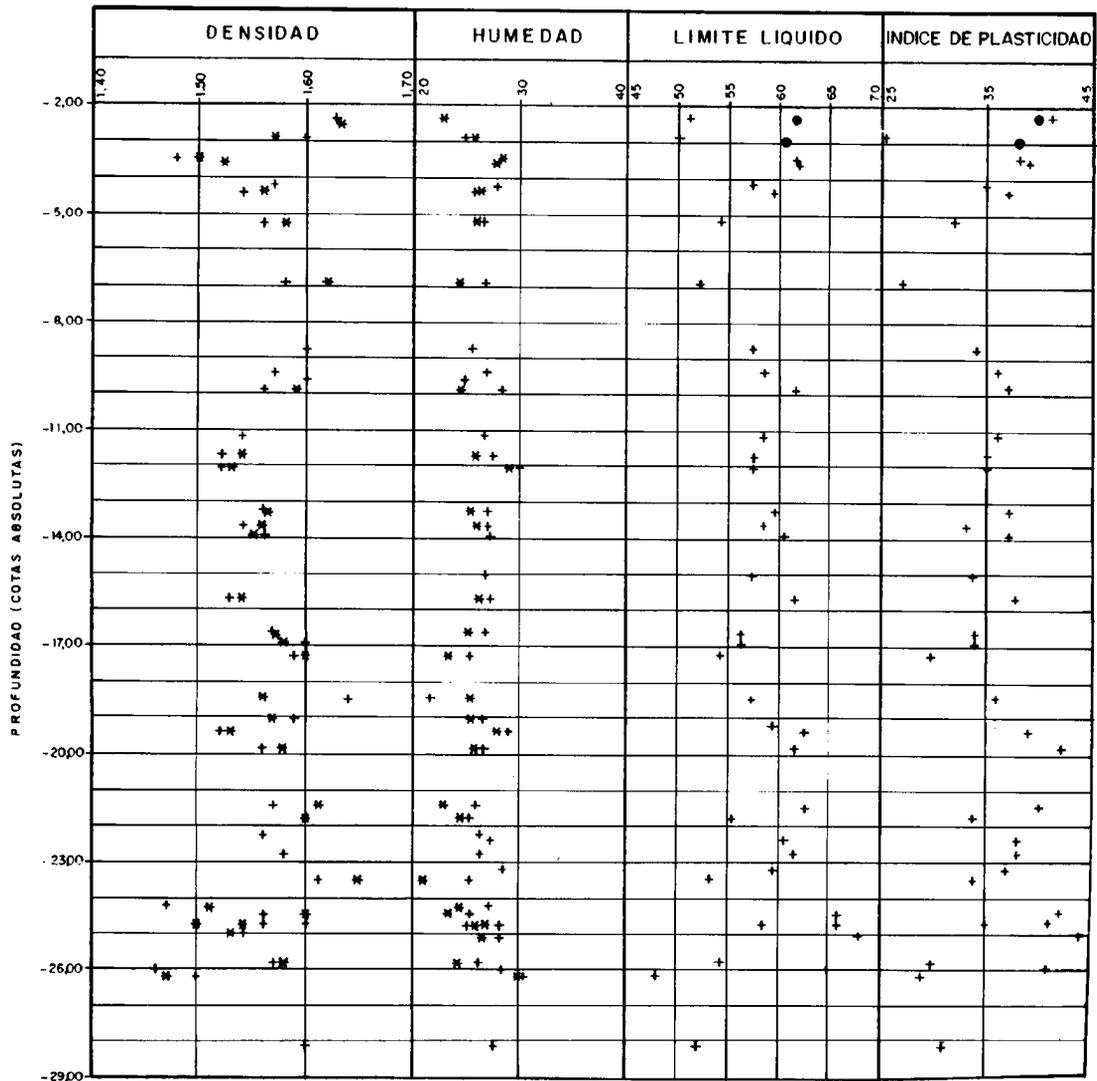
La arcilla de Londres parece algo más plástica que la marga azul, pero las características de ambas presentan una clara semejanza.

La diferencia más importante estriba posiblemente en la propia estructura de la formación: mientras en Londres este material constituye un estrato de pequeño espesor (unas decenas de metros a lo sumo) en Sevilla parece tener varios centenares de metros de espesor.

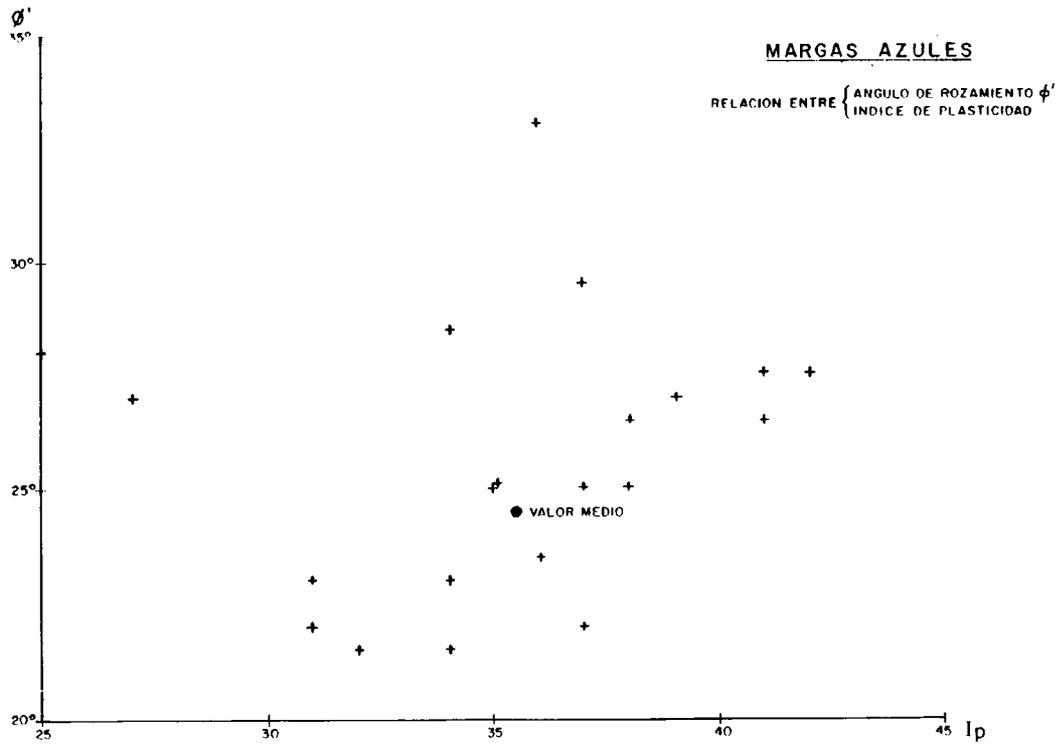
Las numerosas obras realizadas en el subsuelo de Londres han permitido estudiar con detalle esta arcilla. Una de las observaciones más interesantes realizadas es que su masa presenta numerosas fisuras claramente identificables. Esto hace pensar que en Sevilla puede ocurrir un hecho similar.

Otro argumento en la misma dirección lo constituyen las referencias verbales sobre el aspecto de los bloques de marga azul extraídas en la construcción de un canal cerca de la ciudad. Al parecer estaban limitados claramente por fisuras que presentaban un

MARGAS AZULES



- ALTERADA
- + INALTERADA
- * RAMOLDEADA



color distinto al resto del material. Asimismo está el hecho que los triaxiales sin consolidación ni drenaje den un ángulo de rozamiento apreciable y muy parecido en todos, lo que elimina en parte la hipótesis de que se deba a alteraciones sin relación alguna con fisuras.

En contra puede argüirse que los testigos de los sondeos realizados no presentan ningún detalle que pueda indicar fisuras. Tan solo aparecen, normalmente al eje de taladro (horizontalmente, por tanto), unas delgadas capas de material de tipo limoso, con un color similar y sin indicios de que haya circulado agua por allí.

Asimismo, en una observación realizada en una excavación del centro de la ciudad, fué posible constatar que no había fisuras.

Como puede apreciarse, los argumentos en uno u otro sentido son poco sólidos, siendo una cuestión ésta de la fisuración de las margas que, tal vez, solo se resuelva al abrir las excavaciones para construir el metro.

CONSECUENCIAS DE LA FISURACION

Son de dos tipos, fundamentalmente:

- Mayor permeabilidad a través de las fisuras, que facilite la entrada de agua en las excavaciones.
- Disminución de la resistencia del estrato margoso.

Esta segunda faceta es la más interesante desde un punto de vista geotécnico y la veremos con mayor detalle.

En su "State of the Art" sobre taludes naturales en el VII Congreso Internacional de Mecánica del Suelo celebrado en Mejiro en 1969, Skempton propuso la aplicación de tres coeficientes de corrección para deducir, a partir de los ensayos de laboratorio o "in situ" de pequeñas dimensiones, la resistencia real con que se iba a comportar el terreno en la realidad. Los factores se refieren a la cohesión en ensayos rápidos sin drenaje (compresión simple o triaxial C.U.). La base principal de los citados coeficientes lo constituyen experiencias con arcilla de Londres, aunque el autor los propone para todas las arcillas fisuradas. El significado de cada uno de ellos es el siguiente:

- El primero de ellos pretende tener en cuenta la anisotropía del terreno, dándose su valor en función del ángulo formado por el plano de rotura en el laboratorio y los planos más débiles del terreno natural. Su valor mínimo se reduce en arcillas muy sobreconsolidadas.
- El segundo de ellos tiene en cuenta el tamaño de la muestra ensayada, tomando como referencia la cohesión obtenida en una probeta de 1,5" x 3". Skempton da una tabla con los resultados deducidos por diversos investigadores. Aunque tan solo Agarwal da una serie amplia de valores, ya se ve que hay grandes diferencias entre los coeficientes obtenido por cada uno. Lo único que resulta absolutamente claro es la tendencia a disminuir la cohesión cuando se ensayan muestras mayores.
- El tercero muestra la evolución de la cohesión con el tiempo que tarda en producirse la rotura. En una arcilla del tipo de Londres parece influir poco, ya que el factor es muy próximo a la unidad.

En el caso de Sevilla, veamos cual puede ser el valor de cada una en las margas azules:

- Para el primero tomamos el valor mínimo (0,75).
- Para el segundo parecen demasiado pesimistas los valores de Argawal. Las muestras ensayadas están comprendidas entre 1,5" x 3" y 4" x 8", por lo cual podemos tomar que la cohesión en el terreno será el 90% de la obtenida en el Laboratorio.
- Para el tercer coeficiente tomamos 0,95.

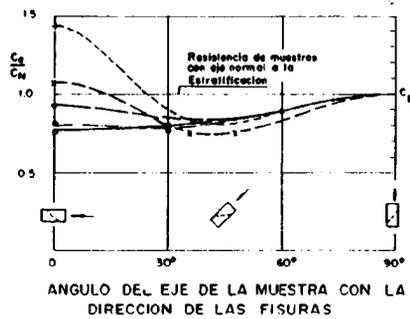
La cohesión de cálculo sería pues:

$$C = K_1 \times K_2 \times K_3 \times C_U = 0,75 \times 0,90 \times 0,95 \times 2,5 = 1,6 \text{ Kg/cm}^2$$

Es decir, aproximadamente los 2/3 del valor deducido de los ensayos de compresión.

FACTORES DE CORRECCION (SEGUN SKEMPTON)

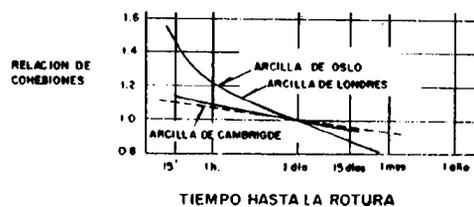
I EFECTO DE LA ORIENTACION DE LAS FISURAS



II - INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

TIPO DE ENSAYO	TAMAÑO (en pulgadas)	VALOR RELATIVO DE LA COHESION				
		Agarwal (1967)	Varios Autores	Bishop (1967)	Hooper (1966)	Wittaker (1967)
Triaxial	0.5 x 1	1,9		1,5		
"	1.5 x 3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
"	4 x 8	0,66	0,82			
"	6 x 12	0,64				
"	12 x 24	0,66				
Placa de carga	12 x 27				0,82	
Carga de pilotes	48 x 72					0,74

III - INFLUENCIA DEL TIEMPO



En contra puede argüirse que los testigos de los sondeos no presentan ningún detalle que pueda indicar fisuras. Tan solo aparecen, normalmente al eje de taladro (horizontalmente, por tanto), unas delgadas capas de material de tipo limoso, con un color similar y sin indicios de que haya circulado agua por allí.

Asimismo, en una observación realizada en una excavación del centro de la ciudad, fué posible constatar que no había fisuras.

Como puede apreciarse, los argumentos en uno u otro sentido son poco sólidos, siendo una cuestión ésta de la fisuración de las margas que, tal vez, solo se resuelva al abrir las excavaciones para construir el metro

CONSECUENCIAS DE LA FISURACION

Son de dos tipos, fundamentalmente:

- Mayor permeabilidad a través de las fisuras, que facilite la entrada de agua en las excavaciones.
- Disminución de la resistencia del estrato margoso.

Esta segunda faceta es la más interesante desde un punto de vista geotécnico y la veremos con mayor detalle.

En su "State of the Art" sobre taludes naturales en el VII Congreso Internacional de Mecánica del Suelo celebrado en Mejiro en 1969, Skempton propuso la aplicación de tres coeficientes de corrección para deducir, a partir de los ensayos de laboratorio o "in situ" de pequeñas dimensiones, la resistencia real con que se iba a comportar el terreno en la realidad. Los factores se refieren a la cohesión en ensayos rápidos sin drenaje (compresión simple o triaxial C.U.). La base principal de los citados coeficientes lo constituyen experiencias con arcilla de Londres, aunque el autor los propone para todas las arcillas fisuradas. El significado de cada uno de ellos es el siguiente:

El primero de ellos pretende tener en cuenta la anisotropía del terreno, dándose su valor en función del ángulo formado por el plano de rotura en el laboratorio y los planos más débiles del terreno natural. Su valor mínimo se reduce en arcillas muy sobreconsolidadas.

El segundo de ellos tiene en cuenta el tamaño de la muestra ensayada, tomando como referencia la cohesión obtenida en una probeta de 1,5" x 3". Skempton da una tabla con los resultados deducidos por diversos investigadores. Aunque tan solo Agarwal da una serie amplia de valores, ya se ve que hay grandes diferencias entre los coeficientes obtenidos por cada uno. Lo único que resulta absolutamente claro es la tendencia a disminuir la cohesión cuando se ensayan muestras mayores.

El tercero muestra la evolución de la cohesión con el tiempo que tarda en producirse la rotura. En una arcilla del tipo de Londres parece influir poco, ya que el factor es muy próximo a la unidad.

En el caso de Sevilla, veamos cual puede ser el valor de cada una de las margas azules:

Para el primero tomamos el valor mínimo (0,75).

Para el segundo parecen demasiado pesimistas los valores de Agarwal. Las muestras ensayadas están comprendidas entre 1,5" x 3" y 4" x 8", por lo cual podemos tomar que la cohesión en el terreno será el 90% de la obtenida en el Laboratorio.

Para el tercer coeficiente tomamos 0,95.

La cohesión de cálculo sería pues:

$$C = K_1 \times K_2 \times K_3 \times C_u = 0,75 \times 0,90 \times 0,95 \times 2,5 = 1,6 \text{ Kg/cm}^2$$

Es decir, aproximadamente los 2/3 del valor deducido de los ensayos de compresión.

La importancia que esto puede tener en el proyecto y construcción de un túnel en margas es grande ya que existe numerosos aspectos geotécnicos en que intervienen este valor: platificación, deformaciones del terreno, asentos, pretensado del revestimiento contra el terreno, estabilidad del frente, etc.

NIVEL FREÁTICO

En la descripción de los sondeos se han hecho las indicaciones respecto al nivel de agua observado en el taladro durante la perforación.

Antes de iniciar su análisis es necesario precisar la diferencia existente entre techo del acuífero (punto en el que se encuentra el agua) y nivel piezométrico (punto en el que se estabiliza el nivel de agua una vez alcanzado el techo del acuífero). Aunque las definiciones dadas sean un poco simplistas, bastan para las consideraciones que siguen.

En general, durante la perforación de las capas superiores, el nivel de agua en el sondeo se mantenía anormalmente alto, debido a la escasa permeabilidad de estos materiales, que impedía evacuar el agua necesaria para realizar el taladro.

Una vez alcanzadas las zahorras, el nivel descendía por encontrarse el fondo del sondeo en un material permeable. Al llegar a las margas azules, nuevamente queda sin evacuar el agua de perforación (en el fondo están las margas impermeables y lateralmente está entubado) y, por ello, vuelve a subir el nivel.

La conclusión de todo ello es que la capa de zahorras constituye un acuífero semiconfinado (por encima tiene un material semipermeable). El nivel freático coincide, pues, con el límite superior del estrato, aunque haya puntos en que tal vez esté más alto por existir encima una zona arenosa. El nivel piezométrico, en la mayor parte de las medidas, está algo más alto, lo que indica que es un acuífero débilmente confinado.

Respecto a los coeficientes de permeabilidad de cada uno de los materiales poco puede decirse.

La capa superior tiene unas características tan variables que el coeficiente oscilará entre límites muy amplios (sobre 10^{-4} cm/seg).

En las zahorras, el coeficiente debe ser muy elevado (de acuerdo con la granulometría supuesta, 6×10^{-2} cm/seg). Con este valor, las excavaciones en esta capa serán muy dificultosas en razón a los grandes volúmenes de agua que sería necesario evacuar.

Las margas azules, salvo que estén muy fisuradas, serán prácticamente impermeables (recuérdese el valor $K = 3,3 \times 10^{-9}$ cm/sg obtenido en el ensayo de laboratorio).

Parece, pues, recomendable que se adopten disposiciones constructivas para aislar la zona a excavar de la capa de zahorras.

6. DEFINICION DE LOS PRINCIPALES TERMINOS GEOTECNICOS EMPLEADOS

Agotamiento: procedimiento para extraer el agua del terreno, previa, simultánea o posteriormente a la excavación de este.

Agresividad: propiedad de las aguas subterráneas de atacar al hormigón y/o al acero, produciendo la degradación progresiva de éstos.

Arcilla: agregado de partículas microscópicas y semimicroscópicas compuesto principalmente por caolinita, illita, mortmorollonita u otros materiales arcillosos, que presenta plasticidad, húmedo y duro cuando está seco, debido a la cohesión. En el gráfico de plasticidad se sitúan sobre la línea A.

Arena: agregado de partículas generalmente compuesta por cuarzo, carente o con debil cohesión, en el que pasa por el tamiz 200 ASTM menos del 50% por ciento y del peso retenido, más del 50 por ciento es menor del tamiz N° 4 ASTM.

Asentamiento: descenso de una estructura provocado por la compresión y deformación del suelo situado debajo de la misma. Por su magnitud se suele expresar en centímetros.

Cimentación flotante o compensada: es una cimentación para edificios en la cual el peso del edificio es aproximadamente igual al peso total (incluyendo el agua) del suelo removido de la excavación.

Cimentación profunda: aquella cuya carga es aplicada al suelo por presión sobre la base y frotamiento en el fuste, siendo su forma esbelta.

Compresión simple: el que consiste en romper una muestra de suelo en una prensa sin confinamiento horizontal alguno, para medir su resistencia.

Corte directo: aquel en que la muestra es sometida a cortes según un plano horizontal para medir su resistencia.

Edométrico: aquel que permite establecer la deformación vertical en función de las presiones verticales sucesivamente aplicadas en condiciones de total confinamiento horizontal de la muestra.

Expansividad: propiedad de expandirse hacia las superficies libres horizontales o verticales de los suelos expansivos con el aumento de humedad.

Explanada: superficie adecuadamente preparada sobre la que se coloca el firme de las carreteras.

Falla: ruptura de una porción de la corteza terrestre en dos bloques dislocados por movimiento diferenciales.

Fango: suelo, a menudo con un cierto contenido en materia orgánica, caracterizado por estar bajo el nivel freático y presentar baja densidad, alto contenido de humedad y baja resistencia.

Fino: suelo en el que más del 50% por ciento en peso pasa por el tamiz 200 ASTM (74 micras). Puede ser limoso o arcilloso.

Formación: serie de depósitos cuyas facies son características del medio en que se depositan (marinas, continentales, etc).

Geomorfología: rama de la geología que estudia las formas superficiales de la Tierra, clasificándolas, estudiando su génesis y evolución.

Granular: suelo compuesto de arenas o gravas predominantemente.

Levantamiento del fondo de una excavación: es un fenómeno de levantamiento del fondo que se produce en suelos blandos como consecuencia de la rotura por corte de éstos.

Limo: suelo intermedio entre la arena y la arcilla, con más de 50 por ciento de paso por el tamiz 200 ASTM (74 micras), que queda bajo la línea A en el gráfico de plasticidad.

Litológico: que trata de los diversos tipos de suelos y roca.

Losa de cimentación: losa que se dispone bajo la estructura como elemento de transmisión de las cargas al suelo cuando éste no puede soportar zapatas o el área ocupada por éstas es mayor del 50 por ciento de la planta del edificio o estructura.

Nivel freático: cota superior alcanzada por el agua en los intersticios del terreno, que se halla a la presión atmosférica en los acuíferos libres o a mayor presión en los confinados.

PENETRACION

Dinámica: la realizada por golpeo de un martinete sobre el varillaje.

Estática: la realizada por presión, generalmente hidráulica, en la cabeza del varillaje.

Pilote: cimentación esbelta, cuya forma puede ser aproximada a la de columna, que hincada o moldeada en el propio terreno, trasmite las cargas a éste por la punta o por el fuste o ambos. A los pilotes por fuste se les suele designar como pilotes flotantes.

Plasticidad: propiedad de los suelos arcillosos de modelarse en pequeños cilindros.

Presión admisible: es aquella presión vertical tal que es menor o igual a la tercera parte de aquella que ocuparía el suelo y no produce un asentamiento mayor del tolerable por la estructura sin formación de grietas, rupturas estructurales o problemas de servicio (condiciones, etc).

Rozamiento negativo: acción que ejercen hacia abajo sobre pilotes los suelos blandos al consolidarse bajo el efecto de su propio peso o del de sobrecargas colocadas encima.

Sensibilidad o susceptibilidad: pérdida de resistencia que sufren algunos suelos arcillosos al remodelarse.

Sifonamiento: designa dos fenómenos: la producción de un túnel por arrastre de las partículas por el agua, que es ensanchado progresivamente por la corriente subterránea (erosión interna retrógrada), y el levantamiento súbito del fondo de una excavación o de la superficie del suelo aguas abajo de un dique por la acción de una corriente de agua ascendente causado por los agotamientos, excavaciones, o por drenaje subterráneo (diques).

Sondeo Eléctrico Vertical: introducción en el terreno de una corriente eléctrica continua o alterna por dos electrodos de corriente, que es medida en dos electrodos de medida tras atravesar el suelo y según una disposición electródica variable (Schlumberger, Werner, etc.) con objeto de averiguar los materiales existentes bajo un punto determinado.

SPT (Standard Penetration Test): ensayo in situ de penetración dinámica con recogida de muestra por cucharada de 2 pulgadas de diámetro, que consiste en contar el número de golpes que es necesario dar con un peso de 65 Kg desde una altura de 75 cm. para hincarla 30 cm. Habitualmente se cuentan 3 series de 15 cm. despreciándose la primera y sumándose la segunda y tercera.

Subpresión: presión ejercida hacia arriba contra una cimentación por el agua subterránea que llena los intersticios de suelo o roca cuando está en carga.

Tectónica: parte de la Geología que trata de los procesos que producen la deformación y ruptura de los materiales terrestres.

Turba: agregado fibroso de fragmentos macro y microscópicos de materia orgánica descompuesta, caracterizados por estar anegados, tener varias veces su peso sólido en agua, alta compresibilidad y escasa resistencia al corte.

Zapata: tipo de cimentación superficial que reparte la carga transmitida por la superestructura al suelo gracias a su mayor área y que puede situarse bajo uno o varios pilares (aislada y combinada o corrida respectivamente). Suele tener forma rectangular o cuadrada.

BIBLIOGRAFIA

Clasification of Rock and Soils for Engineering Geological Mapping. Part I: Rock and Materials. Bull. of the Intern. Assoc. of Engineering Geology. N. 19. Krefeld, 1979.

Engineering Geological Maps. A guide to their preparation. The Unesco Press 1976.

Instituto Geológico y Minero de España 1964 y 1002

- *Hojas de MAGNA números 964 y 1002 E 1/150.000*
- *Hoja Ayamontè-Huelva y Puebla de Guzmán-Sevilla del Mapa Geotéc-nico nacional*
- *Hojas Ayamonte-Huelva y puebla de Guzmán-Sevilla del Mapa Nacio-nal de Rocas Industriales.*

Normativa

- *Code of Practice for Foundations.* British Standards Institution.
- *Datos climáticos para Carreteras.* Dirección General de Carreteras. M.O.P. 1964.
- *Instrucción de Carreteras: Drenaje, Firmes Flexibles, Firmes Rígidos.* Dirección General de Carreteras. M.O.P.
- *Norma Sismoresistente. PDS-1 (1974) Presidencia del Gobierno.*

Normas Tecnológicas de Edificación (Mº de la Vivienda)

- *Acondicionamiento del Terreno, Desmontes, Explanaciones, 1977.*
- *Acondicionamiento del Terreno, Desmontes, Vaciados, 1976*
- *Acondicionamiento del Terreno, Saneamientos, Drenajes y Arenamien-tos, 1977.*
- *Acondicionamiento, Desmontes, Zanjas y Pozos, 1977*
- *Cimentaciones, Estudios Geotécnicos, 1975*
- *Estructuras, Cargas de Viento, 1973*
- *Estructuras, Caras Gravitatorias, 1976*

Mapa de Zonas Sísmicas Generalizadas de la Peninsula Ibérica. Munuera, J.M. Instituto Geográfico y Catastral. Madrid, 1969.

Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes. PG-3 Dirección General de Carreteras, M.O.P. 1974.

Textos Generales de Geotecnia: Graux; Jiménez-Salas; Lambe-Whitmann; Leonards; Scowers; Terzaghi-Peck; Winterorn-Fang.

- *Asociación Española de Ingeniería Sísmica: Contribución a una posible revisión de la Norma Sismorresistente Española Sevilla 27-28 Mayo 1982.*
M.O.P. Metro de Sevilla: Infraestructura de la línea nº 1 La Plata - Pla-za de Montano INTECSA - EYSER 1972.
- *DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES. Informe Geotécnico para la Fe-ria Iberoamericana de Muestras de Sevilla. INTECSA 1983.*
- *Jean-Rene Vanney: L'Hydrologie du Bas Guadalquivir CSIC 1970.*