

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

DIRECCION GENERAL DE MINAS
E INDUSTRIAS DE LA CONSTRUCCION

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

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

E : 1 / 5.000

E : 1 / 25.000

Memoria

MAPA GEOTECNICO PARA ORDENACION TERRITORIAL Y URBANA DE HUELVA E: 1/5.000 Y E: 1/25.000 Memoria

613

00613

**MAPA GEOTECNICO
PARA ORDENACION TERRITORIAL Y URBANA
DE HUELVA escala 1:5.000 y 1:25.000**

00613

**El presente trabajo ha sido realizado por el siguiente
equipo de Ingenieros de Minas de la DIVISION DE GEOTECNIA
DEL IGME:**

Jefe de Proyecto
Jerónimo Abad Fernández

Mapas y Memoria
Francisco J. Ayala Carcedo

Control de Obras
J. María Pernía Llera

INDICE

	pág
1. INTRODUCCION	1
1.1. La cartografía geotécnica en la ordenación urbana	1
1.2. Antecedentes y objetivos del presente mapa	3
1.3. Zona estudiada	3
1.3.1. Delimitación	3
1.3.2. Características físico-geográficas	4
1.4. Método de trabajo	4
2. FACTORES GEOLOGICOS CON INCIDENCIA CONSTRUCTIVA	7
2.1. Climatología y meteorología	7
2.2. Bosquejo geológico	9
2.3. División en áreas y zonas geotécnicas	10
2.4. Caracterización de las zonas y subzonas geotécnicas desde el punto de vista de los factores geológicos con incidencia constructiva (litología, morfología, hidrología superficial y subterránea y riesgos geológicos)	11
2.4.1. Introducción y consideraciones metodológicas	11
2.4.2. Caracterización de las zonas y subzonas geotécnicas	13
2.4.2. 1. Zona I ₁	13
2.4.2. 2. Zona II ¹ ₁ y II ² ₁	15
2.4.2. 3. Zona III ₁	18
2.4.2. 4. Zonas IV ¹ ₁ y IV ² ₁	20
2.4.2. 5. Zona IV ₂	21
2.4.2. 6. Zonas IV ¹ ₃ y IV ² ₃	21
2.4.2. 7. Zonas IV ¹ ₄ y IV ² ₄	22
2.4.2. 8. Zona IV ₅	23
2.4.2. 9. Zonas IV ¹ ₆ , IV ² ₆ y IV ³ ₆	24
2.4.2.10. Zonas IV ¹ ₇ y IV ² ₇	25
2.4.2.11. Zona IV ₈	26
2.5. Riesgo sísmico	26
2.6. Yacimientos y explotaciones de áridos y materiales de préstamo	27
3. CARACTERIZACION GEOMECANICA DE LAS ZONAS GEOTECNICAS	31
3.1. Metodología	31
3.2. Características geomecánicas	33

	pág
3.2. 1. Zona I ₁	33
3.2. 2. Zonas II ¹ ₁ y II ² ₁	37
3.2. 3. Zonas III ₁ y IV ¹ ₁	39
3.2. 4. Zona IV ² ₁	39
3.2. 5. Zona IV ₂	39
3.2. 6. Zonas IV ¹ ₃ y IV ² ₃	40
3.2. 7. Zonas IV ¹ ₄ y IV ² ₄	41
3.2. 8. Zona IV ₅	41
3.2. 9. Zonas IV ¹ ₆ , IV ² ₆ y IV ³ ₆	46
3.2.10. Zonas IV ¹ ₇ y IV ² ₇	46
3.2.11. Zona IV ₈	46
4. CONDICIONES CONSTRUCTIVAS PARA CIMENTACIONES Y OBRAS DE TIERRA DE LAS DIVERSAS ZONAS GEOTECNICAS	47
4.1. Metodología	47
4.1.1. Condiciones de cimentación	47
4.1.2. Obras de tierra	49
4.2. Condiciones constructivas de las diversas zonas geotécnicas	50
4.2. 1. Zona I ₁	50
4.2. 2. Zonas II ¹ ₁ y II ² ₁	52
4.2. 3. Zonas III ₁ y IV ¹ ₁	54
4.2. 4. Zona IV ² ₁	55
4.2. 5. Zona IV ₂	56
4.2. 6. Zonas IV ¹ ₃ y IV ² ₃	56
4.2. 7. Zonas IV ¹ ₄ y IV ² ₄	57
4.2. 8. Zona IV ₅	58
4.2. 9. Zonas IV ¹ ₆ , IV ² ₆ y IV ³ ₆	60
4.2.10. Zonas IV ¹ ₇ y IV ² ₇	61
4.2.11. Zona IV ₈	61
5. INVESTIGACIONES GEOTECNICAS SUPLEMENTARIAS DE ESTE MAPA GEOTECNICO PARA OBRAS PUNTUALES	63
6. DEFINICION DE LOS PRINCIPALES TERMINOS GEOTECNICOS EMPLEADOS	67
7. ENGLISH TRANSLATION FOR THE MAIN GEOTECHNICAL WORDS	71
8. AGRADECIMIENTOS	73
9. BIBLIOGRAFIA	75

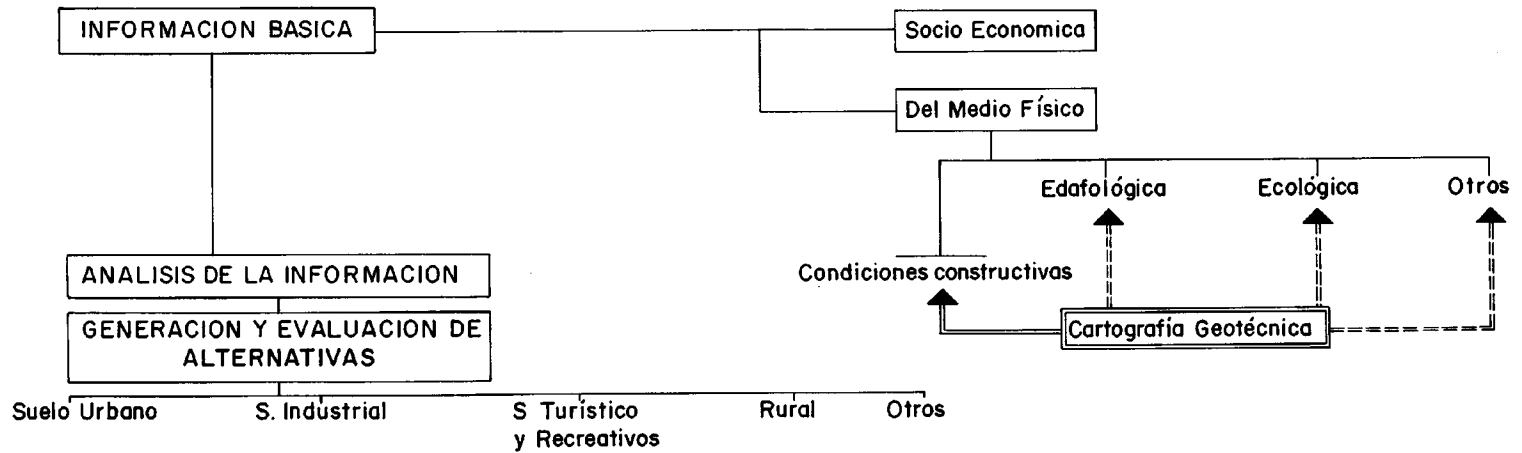
1 INTRODUCCION

1.1. LA CARTOGRAFIA GEOTECNICA EN LA ORDENACION URBANA

La toma de decisiones en materia de Ordenación Urbana, siempre que se pretende que dichas decisiones estén bien fundamentadas, debe ir precedida de una Información Básica Previa. 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 obligadamente a considerar en la elaboración de Planes de Ordenación Urbana. Hay sin embargo otras relaciones entre el Medio Físico y la 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

CARTOGRAFIA GEOTECNICA Y ORDENACION TERRITORIAL Y URBANA

ETAPAS DEL PLANEAMIENTO



- ← Cartografía Resolutiva
- ←==== Apoyo a otros estudios

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 de 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 en 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

Huelva, es un término municipal que ha experimentado en los últimos 20 años un importante crecimiento industrial y urbano. La industria pesada instalada es de las más importantes de España. Por otra parte, el turismo ha experimentado un crecimiento similar en términos municipales limítrofes, como Punta Umbría y Palos (Mazagón). Este crecimiento económico ha generado, junto a un alto volumen de construcción, un cierto déficit de infraestructura. Por otra parte, el carácter problemático de los suelos sobre los que se asienta Huelva es de largo tiempo conocido. Ambos factores, han aconsejado la realización del presente Mapa.

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 E 1/25.000, que ha sido descompuesta en un Mapa Norte y otro Mapa Sur, abarca una extensión aproximada de 252 km² que se extienden según las siguientes coordenadas geográficas:

	latitud	longitud
Vértice NO	37° 20' 04"	6° 59' 30"
Vértice NE	37° 20' 04"	6° 49' 50"
Vértice SE	37° 10' 04"	6° 49' 50"
Vértice SO	37° 10' 04"	6° 59' 30"

Esta zona abarca prácticamente todo el Término de Huelva, y parte de los de San Juan del Puerto, Punta Umbría, Mazagón y Palos de la Frontera.

La zona que según apuntaban diversas opiniones (en el momento de acometer la realización del Mapa, 1978), iba a constituirse como principal área de expansión urbana y que abarca 6,4 km² aproximadamente, ha sido estudiada con mayor detalle a E 1/5.000.

1.3.2. CARACTERISTICAS FISICO-GEOGRAFICAS

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

a) Las áreas donde se concentra la población, que ocupa un espacio relativamente restringido a la E 1/25.000 empleada, son Huelva, San Juan del Puerto, Palos de la Frontera, Moguer y Punta Umbría. Se asientan, bien sobre formaciones cuaternarias (S. Juan del Puerto, Punta Umbría), sobre formaciones terciarias y cuaternarias (Huelva), o sobre formaciones terciarias (Moguer, Palos de la Frontera).

b) Las áreas industriales se asientan bien sobre zonas llanas constituidas por materiales marismales (Polígono del Puerto Interior) o cuaternarios (S. Juan del Puerto), bien sobre zonas con suave ondulación correspondientes al terciario superior (Polígono del Nuevo Puerto). Las instalaciones portuarias se ubican en zonas marismales (Puerto Interior), o en zonas constituidas por depósitos marinos recientes sobre el terciario superior (Nuevo Puerto).

c) Las zonas agrícolas se ubican en tres unidades perfectamente diferenciadas. Por una parte existen las zonas de vegas, ejemplo de las cuales es la del Nicobia. Por otro lado, existe la zona suavemente alomada de campiña que se extiende entre el Odiel y el Tinto, caracterizado por presentar un suelo arcilloso, plástico, de tipo vértico, sobre las arcillas margosas del mioceno terminal que constituyen su sustrato. Se trata de cultivos de tipo extensivo. Por fin, existe la zona de Palos-Moguer, con suelos de arena fina muy limosa, ocasionalmente plásticos, de morfología suavemente alomada. Aquí, coexisten cultivos en régimen intensivo (fresas principalmente) y cultivos extensivos.

Las áreas forestales, se ubican de forma principal sobre los depósitos pardo-rojizos de glacia. Las especies más representadas son las de eucaliptos y pinares (sobre todo en Punta Umbría).

d) Las áreas turísticas, de importancia creciente, se asientan prácticamente a todo lo largo de la costa, dada la extraordinaria continuidad y calidad de las playas, constituidas por una uniforme arena dorada. La gran extensión que alcanza la plataforma continental en toda la bahía de Cádiz-Huelva, da una escasísima pendiente al fondo y una gran uniformidad a todo el conjunto. Los núcleos principales son Punta Umbría y ya fuera del área estudiada Mazagón, Matalascañas e Isla Cristina.

1.4. METODO DE TRABAJO

Se han seguido sucesivamente las siguientes fases:

a) Delimitación de la zona de estudio: se ha decidido tras conversaciones mantenidas con técnicos municipales, provinciales y de otros organismos de la Administración.

b) Documentación previa: se procedió a recopilar la información existente tanto en la zona (Colegio de Arquitectos, Puerto Autónomo, Empresas) como en Instituciones de la Administración.

c) Cartografía Geológica: se realizó en campo y gabinete (foto interpretación). Se ha contado con la realizada por el IGME a E 1/50.000, que ha debido ser completada sobre todo en lo que se refiere a formaciones cuaternarias.

d) Reconocimientos practicados: se han utilizado Sondeos, con STP y toma de muestras inalteradas; Penetraciones dinámicas y estáticas; Pocillos; Sondeos eléctricos verticales y Ensayos de carga con placa.

El conjunto de reconocimientos puede verse en el Anejo nº 1 (Sondeos, Penetraciones Dinámicas y Estáticas), el Anejo nº 2 (Pocillos) y el Anejo nº 3 (Geofísica Eléctrica).

Los sondeos se realizaron con una máquina helicoidal B-50 (ver foto 1) en el caso de materiales competentes capaces de no derrumbarse sobre el pozo, y con una máquina convencional B-90 para materiales blandos, especialmente en IV5.



Foto 1. Máquina de Sondeos Helicoidal

Las penetraciones dinámicas fueron realizadas con un penetrómetro Borro, con pesa de 65 kg, altura de caída de 50 cm y puntaza de $4 \times 4 \text{ cm}^2$.

Las penetraciones estáticas se realizaron con Penetrosonda Cibeles C-60 con cono de 36 mm de diámetro y 12 t de capacidad.

Los sondeos eléctricos verticales se realizaron con los instrumentos y técnicas habituales en estos trabajos.

Los pocillos fueron realizados con una máquina retroexcavadora.

Sondeos mecánicos y penetraciones dinámicas fueron realizados por EBOGA, S.A.; las penetraciones estáticas por SITE, S.A. y la geofísica por IBERGESA.

e) Ensayos de laboratorio: se han realizado sobre muestras seleccionadas del conjunto extraído en los sondeos mecánicos. En las muestras alteradas y standard, se realizaron ensayos de identificación (Granulometría y Límites de Atterberg), en las inalteradas, aparte de ensayos de identificación, se realizaron alguno o algunos de los ensayos siguientes: Compresión simple, Triaxial, Presión de hinchamiento, Edométricos, Vane-Test de laboratorio. Se ha realizado también algún análisis de agua en la zona de marismas para reconocer su agresividad.

f) Síntesis de Resultados y Confección del Mapa.

Reunida la información de las fases anteriores, se ha procedido a realizar el presente trabajo.

2 FACTORES GEOLOGICOS CON INCIDENCIA CONSTRUCTIVA

Salvando la Climatología y Meteorología, que no constituye un factor geológico con incidencia constructiva sino un factor natural con incidencia constructiva (y por cierto notable en la realización de obras), se han considerado las siguientes: Formaciones geológicas, Geomorfología, Hidrología superficial y subterránea y Riesgos geológicos.

2.1. CLIMATOLOGIA Y METEOROLOGIA

A pesar de no ser un factor geológico en sentido estricto, se incluyen los datos correspondientes por ser de utilidad en los procesos constructivos. Los datos utilizados, proceden del Servicio Meteorológico Nacional y de Publicaciones del MOPU.

Respecto a las **temperaturas**, oscilan según puede verse en la figura 1 entre una mínima extrema de $-5,8^{\circ}\text{C}$ (enero) y una máxima extrema de $43,2^{\circ}\text{C}$ (agosto). La media mensual, está comprendida entre $25,2^{\circ}\text{C}$ en agosto y $11,1^{\circ}\text{C}$ en enero. Las medidas de **aislamiento térmico** en edificaciones dispuestas por el Decreto 1490/1975, establecen a Huelva como zona W y prescriben una permeabilidad máxima de carpintería, p de $50\text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$. En cuanto a los valores máximos del coeficiente de transmisión global del edificio K_G en $\text{Kcal}/\text{h}^{\circ}\text{C m}^2$ oscilan entre 0,90 y 2,00 para valores respectivos del factor de forma de $\geq 1,20$ a $\leq 0,20\text{ m}^{-1}$. La **humedad relativa**, oscila entre un máximo medio del 75 por ciento en enero y un mínimo medio del 53 por ciento en julio-agosto.

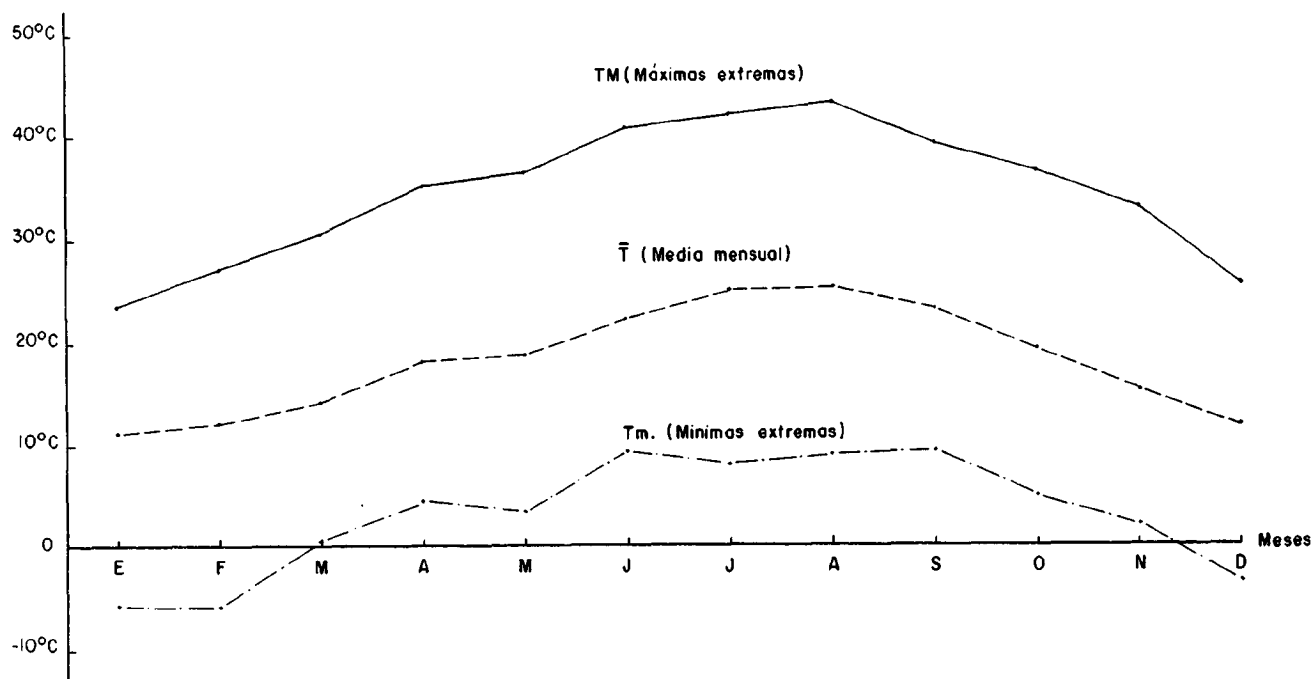


Fig. 1 Temperaturas mensuales

Con relación a los vientos, los dominantes son los del 3^{er} y 4^o Cuadrante (SO y NO, respectivamente), ambos portadores de la humedad del Atlántico, y los procedentes del SE, generalmente cálidos y secos. Respecto a velocidad, los valores máximos en 1961-62 fueron de 13 km/h. La Norma Tecnológica de Edificación, Cargas de Viento, sitúa la zona en categoría y, oscilando los valores totales $q(g = p + s \quad p = 2q/3 \quad s = q/3$, p : presión del lado que viene el viento, s : succión sobre el lado contrario) en kilogramos/metro cuadrado entre 6 y 123 para situación Normal y altura respectivas entre 3 y 60 m y 73 y 135 para situación Expuesta e idéntica oscilación de alturas.

Respecto a las **precipitaciones** (ver fig. 2), la pluviometría media anual en el observatorio de Huelva, es de 502,8 mm (Balance Hídrico del MOPU, Tomo VIII); los valores máximos se registran en el mes de marzo con 77,7 mm y los mínimos en julio con 1,3 mm. La precipitación máxima en 1 h para un período de retorno de 10 años y nivel de probabilidad del 90 por ciento, se sitúa alrededor de 35 mm en Huelva (Instrucción de Carreteras, Drenaje, Norma 5.1-IC). La Norma Tecnológica de Edificación, Drenajes y Avenamientos, sitúa a Huelva en zona B, con valores de precipitación máxima de 1 h y período de retorno de 10 años entre 30-50 mm/h. Los meses de torrencialidad máxima son noviembre, diciembre y enero. La estación seca, de acuerdo con el balance una vez introducida la evapotranspiración, se sitúa de abril a octubre incluidos. Las heladas son muy poco frecuentes y la nieve es prácticamente desconocida. El número de días de lluvia anual es de 60, el de días despejados de 152.

La incidencia de la climatología y meteorología en las obras puede evaluarse a partir de los siguientes coeficientes, que corresponden al trabajo Datos Climáticos para Carreteras del MOPU, 1964, y que debe tenerse en cuenta fueron realizados según el número de días laborables de entonces.

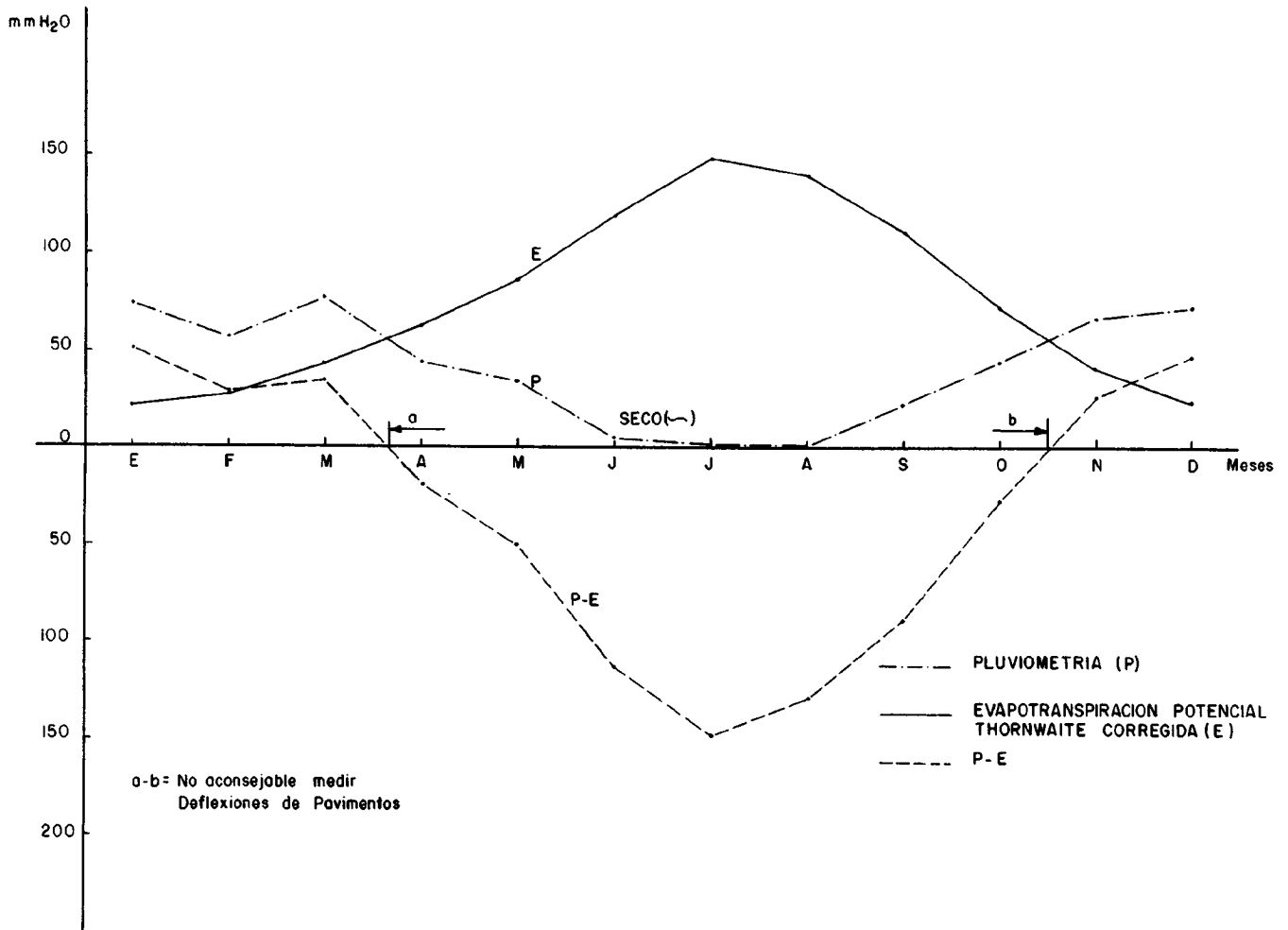


Fig. 2 Pluviometría y evapotranspiración

CLASE DE OBRA

hormigón	explanaciones	áridos	riegos y tratamientos	mezclas bituminosas
0,934	0,884	0,948	0,697	0,831

El número de días útiles anuales de trabajo se obtendrían con las limitaciones expuestas, multiplicando el número de días laborables por los coeficientes anteriores.

De las consideraciones expuestas más arriba, se deduce que el clima de la zona estudiada es árido, templado-cálido con inviernos suaves. Este tipo de clima no origina unos procesos de alteración química intensos de las formaciones geológicas, pero sí una acusada erosión física (insolación fuerte, aguas torrenciales), que dada la presencia de materiales muy erosionables en la zona, reviste importancia suficiente para ser contemplada en cada zona geotécnica a la hora de exponer los riesgos geológicos potenciales.

2.2. BOSQUEJO GEOLOGICO

Las formaciones más antiguas que se encuentran en la zona a profundidades interesantes desde el punto de vista geotécnico, son las arcillas margosas del Mioceno

Superior. Se trata de una formación marina como sucede igualmente con los depósitos de arenas muy finas y limos arenosos y arcillosos que se encuentran sobre dichas arcillas, de edad miocena superior y pliocena. El conjunto de estos depósitos, están caracterizados por una tendencia regresiva del mar y por tanto un crecimiento de las zonas emergidas. A esta etapa, corresponden las formaciones de las Areas I y II.

Ya en el Cuaternario, durante el Pleistoceno Inferior, se produce en toda la zona (que se encontraba emergida), un período caracterizado por la intensa erosión y transporte desde las áreas de más relieve hacia el mar. Así se produce la formación del gran glacis de acumulación del Area III, constituido por gravas y arenas pardo-rojizas. No parece que existiese en dicha época una red hidrográfica propiamente dicha. La línea de costa, según los estudios de Fondos Marinos (FOMAR) llevados a cabo por el IGME en 1972, se situaba a unos 30 km mar adentro.

La instalación de la red hidrográfica, es inmediatamente posterior en el tiempo. Probablemente los ríos Odiel y Tinto, que se corresponden con zonas de fractura o fallamiento del sustrato, aunque no exactamente correspondientes con su actual ubicación, fueron caracteres de esta primitiva red hidrográfica. Lo que sí se ha comprobado en el programa FOMAR ya citado, es el hecho de que los ríos de esta primitiva red desembocaban decenas de kilómetros mar adentro de la actual línea de costa. La situación actual es debida al hecho de una subsidencia progresiva y al alzamiento del nivel medio del mar. A favor de esta red hidrográfica primitiva, se depositaron primeramente los niveles de terraza más altos (IV_1^1) que suelen presentar a veces cementación y posteriormente los más bajos (IV_1^2), más delgados.

Relativamente cercana en el tiempo a la deposición de los niveles más bajos de terraza es el cierre de algunos de los ríos por cadenas de dunas costeras que provocó su conversión en lagunas (de las que quedan algunas como por ejemplo la de las Madres). En estas lagunas se depositaron turbas, materiales extremadamente peligrosos desde el punto de vista constructivo (IV_2).

Ya durante épocas muy próximas a la actualidad, se originaron procesos que aún hoy siguen actuando. Nos referimos en primer lugar a los depósitos de carácter eólico (materiales arenosos transportados por el viento), bastante extendido en cadenas dunares paralelas a la costa y generalmente muy cercanas a ésta (IV_3). En segundo lugar tenemos los depósitos marinos de arenas conchíferas en playas y barras. Es muy característica la formación de flechas, por ejemplo la de Punta Umbría (IV_4). Tenemos a continuación los depósitos fluvio-marismales (IV_5), en general formados por elementos muy finos limo-arcillosos que se depositan por procesos de decantación y floculación (al contacto con aguas salobres). Estan muy extendidos: los ríos Odiel y Tinto corren entre áreas marismales en toda la zona estudiada. Por otra parte se hallan emparentados con los acabados de describir, pero de carácter exclusivamente fluvial, los depósitos aluviales actuales, los más importantes de los cuales son los de la Rivera del Nicobia (IV_6). Prácticamente actuales son los depósitos coluviales, fundamentalmente piedemontes de las áreas de mayor relieve (cabezos de Huelva y de la margen izquierda del Tinto).

Todas las formaciones citadas son posteriores a la formación de los plegamientos que dieron origen a las serranías béticas. No han sufrido por tanto ninguna de estas formaciones empujes horizontales de una mínima significación y su estratificación presenta una clara horizontalidad. Ha habido sin embargo movimientos de componente vertical. Concretamente, los ríos Odiel y Tinto se corresponden con áreas de fallamiento del zócalo sobre el que se asientan estos materiales posteriores a la última gran época de formación de montañas (orogenia alpina). El bloque sobre el que se asienta parte de Huelva, correspondiente a los cabezos, es un bloque levantado. El bloque de la zona Moguer-Palos, es un bloque deprimido en donde a cotas similares a las de Huelva capital se hallan niveles de I_1 de arcillas miocenas, y afloran arenas pliocenas.

2.3. DIVISION EN AREAS Y ZONAS GEOTECNICAS

Atendiendo a lo expuesto en el Bosquejo Geológico, se han considerado cuatro grandes Areas:

Area I. Corresponde a las formaciones más antiguas que aparecen, es decir, a las arcillas margosas miocenas. Su morfología es suavemente alomada.

Area II. Corresponde a las arenas y limos arenosos o arcillosos suprayacentes a las arcillas del Area I. Su morfología es también suavemente alomada, a menudo muy acarreada.

Area III. Está constituida por los depósitos de gravas y arenas del gran glacis de acumulación que se denomina a veces facies rojas. Su forma es sensiblemente plana (aunque disecada por numerosos arroyos y ríos) con suve inclinación hacia la costa.

Area IV. Está constituida por los depósitos más recientes, conformados ya tras la instalación de la red hidrográfica. Comprende depósitos de terraza, turberas, arenas marinas de barra y playa, arenas eólicas, depósitos aluviales, depósitos coluviales y rellenos artificiales.

Estas cuatro Areas están subdivididas en un total de 12 Zonas Geotécnicas según el siguiente detalle:

Area I

Zona I₁

Area II

Zonas II₁¹ y II₁²

Area III

Zona III₁

Area IV

Zonas IV₁ (Subzonas IV₁¹ y IV₁²), IV₂, IV₃ (IV₃¹ y IV₃²), IV₄ (IV₄¹ y IV₄²), IV₅, IV₆ (IV₆¹, IV₆², IV₆³), IV₇ (IV₇¹ y IV₇²) y IV₈

2.4. *CARACTERIZACION DE LAS ZONAS Y SUBZONAS GEOTECNICAS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS FACTORES GEOLOGICOS CON INCIDENCIA CONSTRUCTIVA (Litología, Morfología, Hidrología Superficial y Subterránea y Riesgos Geológicos)*

2.4.1. *INTRODUCCION Y CONSIDERACIONES METODOLOGICAS*

Esta caracterización, que está expuesta cartográficamente en el Mapa del mismo nombre tanto puntual como extendidamente, busca dar al usuario una idea de los aspectos siguientes:

Litología. En cada una de las Zonas y Subzonas Geotécnicas se dan:

- a) Descripción de los principales materiales presentes, tanto en cuanto a su naturaleza como a su abundancia relativa y disposición mutua. Clasificación según el Sistema Unificado (USCS).
- b) Grado de homogeneidad o heterogeneidad de la formación, designado respectivamente con los nombres Uniforme y Errático.
- c) Espesor cuando ello es posible, o una idea de él y sus variaciones.

Es importante señalar la limitación que este Mapa presenta debido a su escala. En general, cuanto más precisa es la delimitación litológica, más precisas son el resto de las

caracterizaciones, ya que la litología es el principal factor, dado que de él dependen los demás. De acuerdo con la escala básica (1/25.000) y en concordancia con las recomendaciones de la Comisión Internacional de Cartografía Geotécnica de la Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (Engineering Geological Maps, A Guide to their preparation 1976), las unidades taxonómicas empleadas son los **Complejos Litológicos**, que agrupan varias litologías diferentes. Ello es debido a la absoluta imposibilidad de separar a esta escala litologías con más precisión. Por ello es muy importante se atienda a la homogeneidad o heterogeneidad (erraticidad) de las formaciones, que se indica aquí y en el mapa. Se ha señalado siempre la litología dominante, pero no debería olvidarse que litologías subordinadas puedan en algunos sitios ser principales.

Geomorfología. Se dan:

- a) Pendientes del terreno: se ha elegido como parámetro descriptivo la pendiente P a la que corresponden un porcentaje menor o igual del 75 por ciento de valores menores en el terreno, y un 25 por ciento de valores mayores. Se trata de un dato aproximado dada la escala de trabajo, pero de indudable interés para el planificador ya que incide en la clasificación del terreno para usos intensivos (urbanos, industriales, agrícolas) o extensivos. Un criterio que puede escogerse es por ejemplo el siguiente:
 Uso Intensivo: Pendiente menor o igual del 3 por ciento.
 Uso Extensivo: Pendiente menor o igual del 6 por ciento.
 En áreas costeras o usos turísticos, pueden tomarse valores del 6 por ciento para usos intensivos.
- b) Formas topográficas del terreno.

Hidrología Superficial y Subterránea. Es un aspecto de gran importancia en numerosos tipos de obra. Ligada por una parte a la Climatología y Meteorología (Ver), está por otra en relación con el tipo de terreno, su morfología, vegetación y permeabilidad. Se definirán para cada zona:

- a) Coeficiente de Escorrentía (según Instrucción de Carreteras. Drenaje MOPU).
- b) Idea de la posición del Nivel Freático en forma cualitativa y aproximada basada en los sondeos realizados, mediciones en pozos de la zona u otras estimaciones.
- c) Comportamiento del material o materiales de la zona frente a la infiltración: permeable, semipermeable, impermeable.
- d) Tipo de Drenaje principal: infiltración, infiltración + escorrentía, escorrentía.
- e) Calidad del Drenaje: aceptable o deficiente (tendencia al encharcamiento o niveles freáticos muy altos).
 Se recomienda para una mejor utilización de los datos expuestos en este trabajo en fases de diseño la consulta tanto de la Instrucción de Carreteras como de la Norma Tecnológica de Edificación, Drenajes y Avenamientos. Esta última en especial, por lo que se refiere a drenajes de muros de contención y sótanos.
- f) Agresividad de las aguas subterráneas.

Riesgos Geológicos. Se indicará cuando proceda tanto el tipo de riesgo existente como sus causas, efectos, intensidad y probabilidad de ocurrencia.

El riesgo sísmico, por su incidencia general sobre todas las zonas, será comentado en un apartado especial.

En el Mapa de Factores Geológicos con Incidencia Constructiva, pueden verse varios Cortes Tentativos del terreno que ayudarán a comprender al usuario lo que puede esperarse en profundidad. Su carácter es meramente orientativo aunque son bastante probables dada la geología relativamente simple de la zona. Este carácter probable se refiere especialmente a los complejos litológicos reseñados; los niveles fráticos indicados deben ser mirados con cautela en el sentido de que no puede descartarse la presencia de niveles colgados tanto por encima como por debajo de las cotas reseñadas, así como de oscilación estacionales.

En este Mapa figuran asimismo los resultados puntuales que en cuanto a estos factores se han obtenido con sondeos y pocillos (la campaña de sondeos eléctricos verticales realizados en zonas marismales (IV₅) con objeto de delimitar niveles granulares y limo-arcillosos (fangos), no ha dado resultado por las grandes perturbaciones introducidas por la conductividad del agua salobre o contaminada). A través de esta información puntual se puede matizar dentro de una misma Zona la caracterización extendida que aquí en el Mapa se ofrece. Sin embargo, no debería procederse a interpolaciones simplistas dada la baja densidad de obras que se ha empleado y por tanto la gran separación entre puntos de reconocimiento. **Los datos reseñados pueden ser utilizados con finalidades fundamentalmente orientativas, a nivel de anteproyectos, pero no a nivel de proyectos puntuales salvo obras de escasa importancia o temporales y siempre que el riesgo posible que pudiera derivarse no afectara a personas.**

2.4.2. CARACTERIZACION DE LAS ZONAS Y SUBZONAS GEOTECNICAS

2.4.2.1. Zona I₁

Litología

Arcillas margosas (por ciento CO₃Ca: 0-32,3 por ciento) de color gris, gris-azulado, verdoso o beige. Tienen a veces pequeñas vetas de yeso en las grietas. Mineralógicamente constan en la fracción arcillosa de montmorillonita, clorita, caolinita e interestratificados, pudiendo algunas estar ausentes (Difracción de RX sobre muestra del B⁰ de la Orden. Informe del Laboratorio del Transporte).

Presentan a menudo fractura concoidea y en superficie suelen tener grietas de retracción muy frecuentes en especial en la estación seca (ver foto n^o 2). En estado húmedo se convierten en superficie en un barro plástico. La transición hacia arriba, hacia el contacto con II₁ es algo más limo-arenosa. El contacto con II₁ es marcado por el cambio de color y textura, así como por un cambio de pendiente a veces brusco, dado que los limos superiores admiten taludes muy a menudo verticales. El contacto no es horizontal, y se sitúa en el área urbana de Huelva entre +10 y +20 m.s.n.m. Este contacto va elevándose a medida que se avanza desde el casco antiguo hacia la zona del B⁰ de la Orden-Carretera de Circunvalación, no siendo esta elevación atribuible con claridad a fenómenos de morfología de la cuenca o fenómenos de alzamiento (o subsidencia) diferencias posteriores a la depresión de II₁.

Las características de plasticidad, pueden verse en la figura 3. Se puede constatar un rango en el Límite Líquido entre 30 y 90 por ciento y del Índice de Plasticidad (Límite Líquido-Límite Plástico) entre 12 y 62 por ciento. El porcentaje que pasa por la malla 200 (74 micras) oscila entre aproximadamente el 50 y casi el 100 por ciento lo que indica una heterogeneidad granulométrica nada despreciable. La clasificación Unificada sitúa a la mayor parte como CH y otras como CL.

El espesor de I₁ en la zona, es en general mayor de 150 m, aumentando en dirección a la costa y disminuyendo en dirección N.

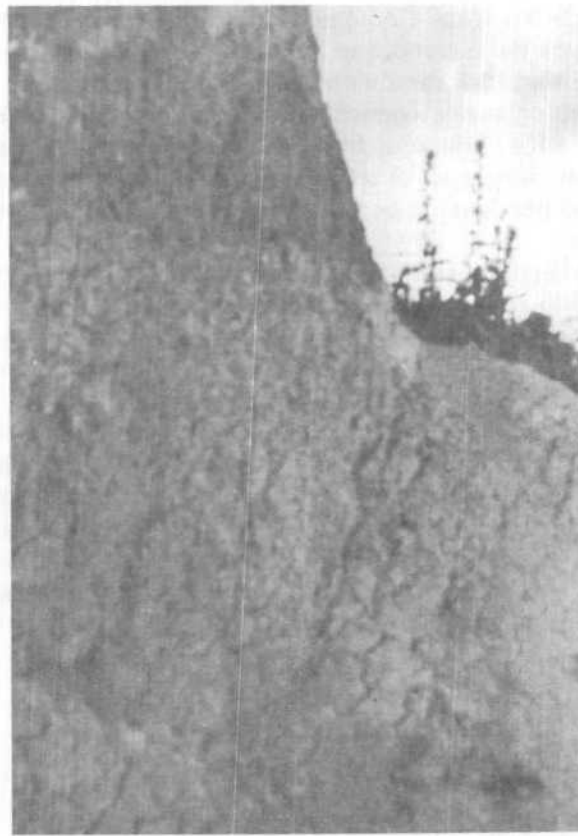


Foto 2. Arcillas margosas I_1 fisuradas por desecación

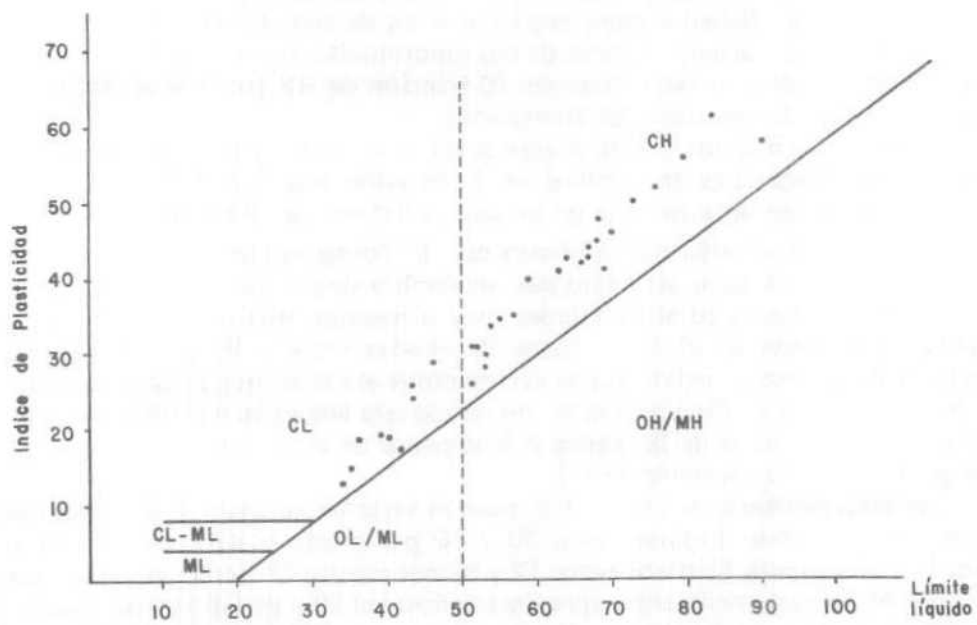


Fig. 3 Plasticidad de las arcillas margosas de I_1

Geomorfología

P (pendiente mayor que el 75 por ciento de las pendientes medias presentes en la zona), se sitúa entre el 3 por ciento y el 6 por ciento.

Las formas topográficas corresponden a:

- a) Cuando están bajo II_1 : zonas de disminución brusca de la pendiente del talud en sus partes más bajas.
- b) Cuando se presentan en superficie: alomamiento muy suave a prácticamente llano.

Hidrología

- a) Superficial: el coeficiente de escorrentía se sitúa entre C: 0,50 - 0,65. Pueden presentarse a menudo áreas de encharcamiento dado el carácter francamente impermeable y la poca pendiente. Por ello mismo, el tipo de drenaje, deficiente, será principalmente por escorrentía, aunque no debe descartarse la importancia de la evapotranspiración en la pérdida de agua.
- b) Hidrología subterránea: no aparecen en general niveles freáticos cercanos a la superficie, aunque no es descartable la presencia de niveles arenosos o incluso de gravas, en general no importantes, saturados de agua. Salvo en estos casos, que puntualmente pueden crear problemas, son previsibles en caso de aparición de niveles freáticos en excavaciones, caudales muy pequeños de agotamiento. Las aguas, pueden ser selenitosas, dada la presencia de cristales de yeso diseminados, por lo cual será conveniente prever esta eventualidad por sus efectos.

Riesgos Geológicos

En zonas de fuerte pendiente, pueden llegar a presentarse por analogía con formaciones similares del Valle del Guadalquivir (aunque no hemos podido observarlo), corrientes tipo flujo de arcilla, de extensión media y profundidad baja, subsuperficial. Su corrección será problemática y requerirá estudios específicos. Su probabilidad, es sin embargo más bien baja.

Su contribución a los deslizamientos que ocurren en II_1^1 se analiza en el estudio de esta zona.

2.4.2.2. Zonas II_1^1 y II_1^2

Se estudian agrupadamente ambas zonas por presentar numerosos aspectos similares; se señalarán los aspectos diferenciales cuando proceda.

Litología

Se trata de unas formaciones depositadas en un ambiente paradeltaico, relativamente similares, durante el Mioceno Superior y el Plioceno, quizá incluso durante el comienzo del Cuaternario. La parte inferior, que constituye los cabezos de Huelva, está constituida por arenas finas y limos, ambos arcillosos, de color marrón-amarillento y textura bastante uniforme. A medida que van acercándose a las arcillas de I_1 , van haciéndose más arcillosos. El contacto entre ambas zonas, es sin embargo bastante neto, tal y como puede apreciarse en la zona de la plaza de toros. Un corte donde puede observarse muy bien esta zona II_1^1 , puede apreciarse en la foto nº 3, que corresponde a las cercanías del cabezo de la Esperanza. Corresponden a materiales tipo SEC, CL, SM y ML. Puede verse su plasticidad en la figura 4. El espesor de esta zona II_1^1 , que es subyacente a la II_1^2 , es de un máximo de unos 40 m. Únicamente aflora en la zona de la ciudad de Huelva, pues la zona correspondiente a la margen opuesta del Tinto, está hundida o flectada respecto a la zona urbana, y allí únicamente aflora II_1^2 .

En cuanto a II_1^2 , es bastante semejante a II_1^1 salvo que es de un carácter más arenoso y presenta colores más blanquecinos. El acarreamiento, fruto del carácter erosio-

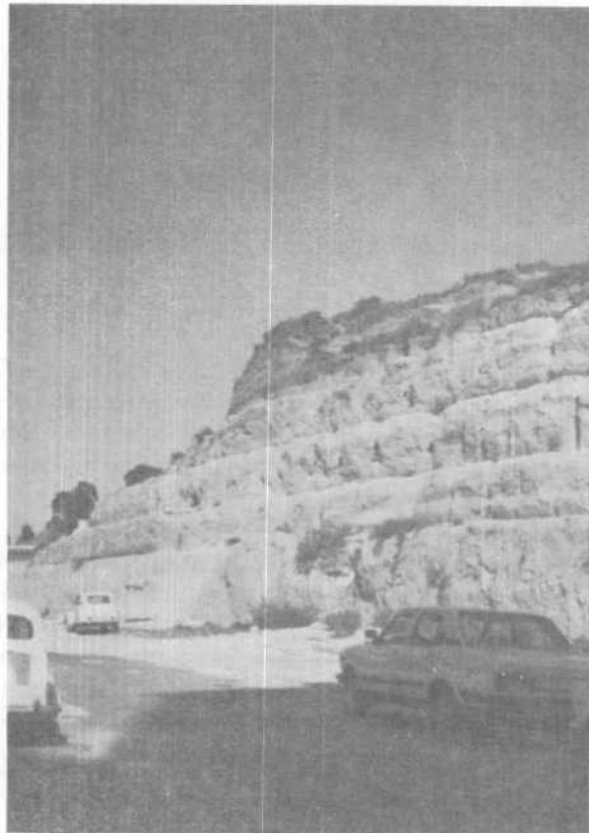


Foto 3. Talud abancalado en II^1_1

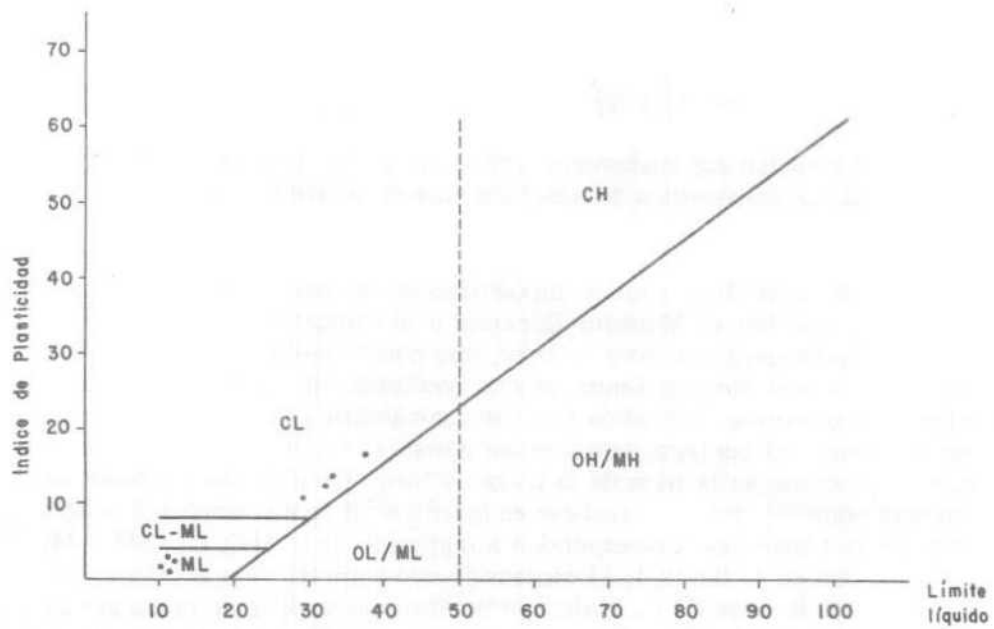


Fig. 4 Plasticidad de los limos y arenas del Area II

nable de ambos tipos de materiales (ver fotos 4 y 5), es más intenso en II_2^2 por su carácter menos plástico, más arenoso. II_2^2 suele llevar unas costras férricas de varios centímetros de espesor, que son un factor positivo geotécnicamente. II_2^2 puede también considerarse más uniforme, homogénea, que II_1^1 , aunque ambas zonas lo son respecto a las formaciones clasificadas como erráticas. Ambas, presentan también un cierto contenido en carbonato cálcico. La estructura densa, sin embargo, impide la presencia de fenómenos como el colapso o hidrocompactación, típico de materiales litológicamente semejantes pero de otro origen, como es el loess. II_2^2 presenta un espesor no mayor de unos 80 m. Abundan en ella más los grupos tipo SM.



Foto 4. Acarcavamiento en II_1^1 (Palos de la Frontera)



Foto 5. Acarcavamiento en II_1^1 (Politécnico)

Geomorfología

Salvando los bordes del Odiel o Tinto y los bordes de cabezos donde las pendientes, caracterizadas con el parámetro P, alcanzan valores frecuentemente mayores del 30 por ciento, incluso subverticales, en el resto de las zonas P está habitualmente comprendido entre el 3 y el 6 por ciento. En el borde SE de la zona estudiada, es incluso menor del 3 por ciento. Los taludes naturales, aunque bastante empinados, están en un claro proceso de degradación por acaravamiento tal y como puede apreciarse en las fotos anteriores. Las costas férricas de II_1^2 , mejoran el comportamiento de los taludes naturales o artificiales en esta zona. El carácter fuertemente erosionable de estos materiales, será comentado explícitamente como Riesgo Geológico.

Hidrología

- a) Superficial: globalmente, estos materiales se consideran semipermeables. Quiere esto decir que coexisten materiales permeables (SM) con otros poco permeables (ML) y otros impermeables (SC, CL). El tipo de drenaje, que pueda considerarse aceptable, se producirá por escorrentía e infiltración. El coeficiente de escorrentía, C, oscilará entre 0,50 - 0,65 para II_1^1 y 0,35 - 0,50 para II_1^2 . Pueden producirse encharcamientos, sobre todo en las zonas más llanas.
- b) Subterránea: prácticamente no se han cortado niveles freáticos en estas zonas. Sin embargo no pueden descartarse niveles colgados a favor de zonas arenosas o limo-arenosas. No provocarán caudales excesivamente altos, pero pueden resultar problemáticos, y acompañarse de inestabilidad de las paredes de la excavación.

Riesgos Geológicos

Ambas zonas, pero sobre todo II_1^2 por su carácter más arenoso, son muy erosionables. El clima favorece la erosión de estos materiales y el arrastre, sobre todo de las partículas más finas. Este hecho es sobradamente conocido de los habitantes de Huelva, que conocen el barrillo amarillento que arrastran las aguas provenientes de los cabezos en las tormentas.

Desde un punto de vista geotécnico, el arrastre de elementos finos aconseja la previsión en las conducciones de aguas pluviales, de decantadores adecuados y su limpieza, y de un diseño adecuado de este tipo de obras de drenaje para evitar problemas de atascos.

Debemos señalar también, aunque estrictamente no pertenece al ámbito de este estudio los riesgos de incrementar la erosión (que conlleva la pérdida de suelo agrícola) por labores agrarias no adecuadas, o por la destrucción de la montera de gravas rojizas (III_1). La destrucción del suelo, lleva a la desertización progresiva.

El mecanismo de los desprendimientos naturales que se producen queda descrito con la figura 5.

2.4.2.3. Zona III_1

Se trata de un glacis de depósito, que con espesores entre unos 10 y 25 cm (crecientes hacia el N), y una pendiente hacia el S de hasta unos 5° , se extiende por la margen izquierda del río Tinto. Como puede verse en la foto 6, se trata de gravas finas redondeadas en una matriz arenosa o arcillosa fuertemente consolidada, de color pardo-rojizo (se denomina geológicamente Facies-roja). A veces, esta matriz se hace mayoritaria. Es, pues, una formación no homogénea, errática, con disposición compleja debido a los múltiples paleocauces y a los tipos de facies fluviales que pueden estar presentes. En todo caso, en los afloramientos que hemos observado, las gravas finas parecen ser el material más abundante, a veces cementadas por óxidos férricos rojizos. De hecho, constituyen el árido básico de la zona, y un material adecuado para préstamos y obras de tierra. Los grupos más abundantes son GM, GP, GC y CL o SC.

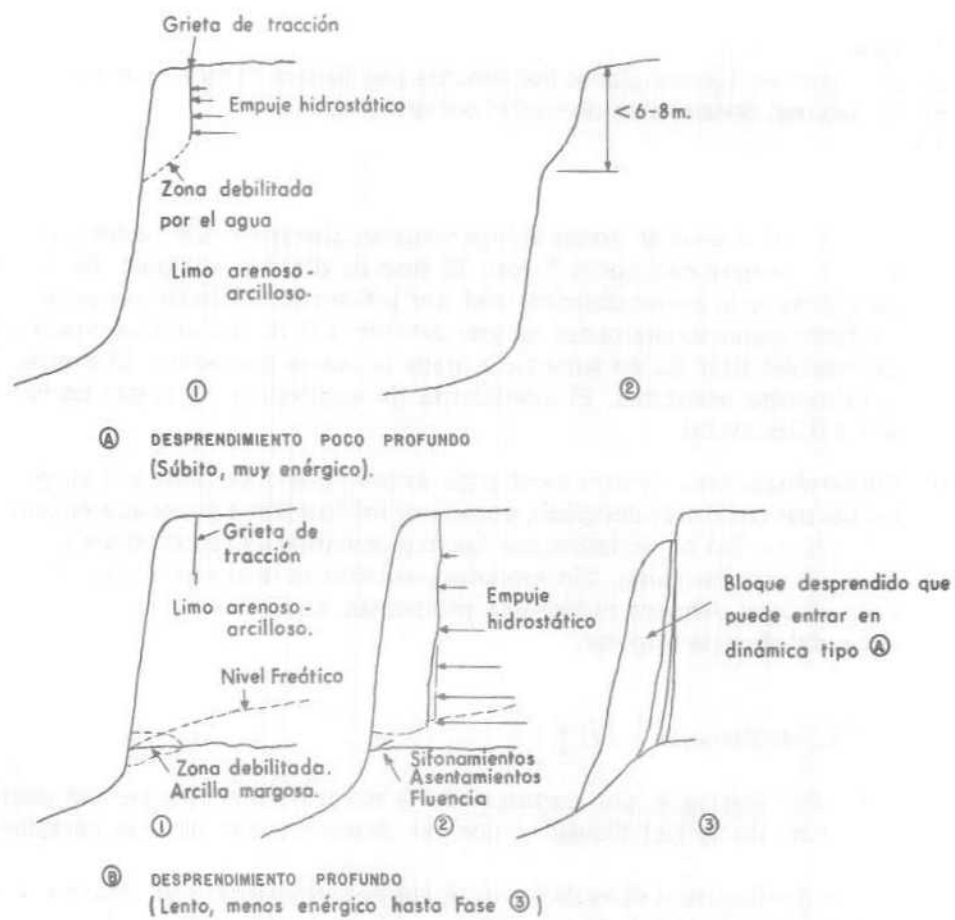


Fig. 5 Desprendimientos en la Zona II₁



Foto 6. Aspecto de III₁

Geomorfología

Se presentan en formas planas ligeramente pendientes hacia el mar, con $P < 3$ por ciento. En los bordes, donde están disecadas por arroyos, pueden presentar P hasta del 30 por ciento.

Hidrología

- a) Superficial: coexisten zonas semipermeables con zonas permeables (gravas limpias o arenosas con pocos finos). El tipo de drenaje principal, dada la escasa pendiente y la permeabilidad, será por infiltración. Pueden no obstante, presentarse zonas encharcadas temporalmente allí donde existan materiales impermeables tipo CL en superficie, dada la escasa pendiente. El drenaje puede considerarse aceptable. El coeficiente de escorrentía C , estará comprendido entre 0,35 y 0,50.
- b) Subterránea: los acuíferos existentes, estarán drenados tanto por surgencias en los bordes disecados del glacis, como por infiltración por zonas arenosas de II_1^2 subyacente. No es probable por tanto que el espesor saturado sea muy grande dado el tipo de clima. Sin embargo, cuando se presente el nivel freático en excavaciones, causará numerosos problemas, tanto por el volumen como por el caudal de agua a agotar.

2.4.2.4. Zonas IV_1^1 y IV_1^2

Se han agrupado por corresponder a terrazas conformadas con posterioridad a la instalación de la red fluvial y por ser depósitos con algunas características similares.

Existen al menos tres niveles de terrazas, cuyas cotas, dadas con carácter orientativo, corresponden en su parte inferior a +10 m, +30 m y +50 m s.n.m. En realidad, las cotas oscilan, y las litologías, en especial en las más bajas, son variables. Como zona IV_1^1 se agrupan las dos terrazas superiores (aprox. +30 y +50 m). Constituyen la zona superior de los cabezos del área urbana de Huelva, con colores rojizos y pardo-rojizos, y frecuentemente poblados de chumberas. Los materiales que las constituyen son gravas con matriz arenoso-arcillosa y frecuentes lentejones de arcilla pardo-rojiza. Puede existir cementación ferruginosa. Los grupos más frecuentes son GM, GC, CL. Se trata de materiales de consistencia habitualmente firme. El espesor observable, no suele sobrepasar los 10 m. Es frecuente la presencia en cortes de paleocauces (foto 7) rellenos de gravas, excavados sobre los limos de II_1^1 .



Foto 7. IV_1^1 sobre II_1^1 ; obsérvese el paleocauce

En cuanto a IV_1^2 , comprende las terrazas más bajas. Estas terrazas son en general más arcillosas y más blandas que las de IV_1^1 . A veces presentan muy poco espesor, como sucede en la Bda. de Fuente Piña y zonas cercanas, donde no sobrepasa los 3-4 m, y es muy arcillosa. Otras veces, es bastante similar a IV_1^1 , como sucede en la terraza de Corrales, tanto en composición como en espesor. Otras como en San Juan del Puerto, es relativamente espesa, pero muy arcillosa. Como grupo, abunda más CL que en IV_1^1 .

Tanto IV_1^1 como IV_1^2 , son formaciones **erráticas**, con disposición lentejona difícil de conocer mediante observaciones superficiales u observaciones profundas poco densas.

Geomorfología

Como indica el propio nombre, terraza, se trata de formaciones prácticamente planas, con $P < 3$ por ciento. A veces se presentan disecadas por arroyos, teniendo allí relieves empinados.

Hidrología

Puede aplicarse todo lo expuesto para III_1 pero teniendo en cuenta que la mayor presencia (sobre todo en IV_1^2) de materiales arcillosos, impedirá el buen drenaje por infiltración, lo que le dará una calidad deficiente. Por otra parte, dada la menor potencia, la menor extensión y el carácter más arcilloso, los problemas de agotamiento en excavaciones bajo el nivel freático serán sensiblemente menores.

2.4.2.5. Zona IV_2

Litología

Está constituida fundamentalmente por turbas puras o interestratificadas con suelo. Son materiales fibrosos totalmente anegados, extraordinariamente compresibles y con resistencia despreciable. Su espesor es muy variable dependiendo del paleocauce que ha fosilizado; frecuentemente baja a cotas por bajo del actual nivel del mar. Son materiales principalmente del grupo Pt, aunque a veces pueden ser arcillas muy orgánicas (OH).

Geomorfología

Son valles planos, con $P < 3$ por ciento. Están cubiertos por abundante vegetación.

Hidrología

- a) Superficial: son materiales con un contenido de agua varias veces superior al de materia sólida. El drenaje es prácticamente inexistente, pero puede producirse tras la estación seca una cierta infiltración. C, según la Instrucción de Carreteras, está entre 0,35 y 0,50.
- b) Subterráneo: al estar totalmente anegadas, cabe esperar los máximos problemas en cualquier excavación que en ellas se practique, que tropezará ya desde la superficie con el nivel freático.

2.4.2.6. Zonas IV_3^1 y IV_3^2

Se han agrupado por tratarse de sedimentos depositados por la acción del viento (eólicos), con características muy similares.

Litología

En ambos casos se trata de arenas finas uniformes, con cierta frecuencia arcillosa. SP y SC. Su color es blanco-amarillento. El espesor es mayor de 7-10 m en IV_3^1 y menor de unos 2 m en IV_3^2 , que es manto eólico en disgregación, sobre II_1^2 .

Forman, sobre todo IV_3^1 , las típicas dunas (ver foto 8), en general suavemente alomadas con P: 3-6 por ciento, incluso menos en el caso de IV_3^2 , que es un manto eólico.

Las zonas de borde en IV_3^1 pueden llegar a valores del 15-30 por ciento. Son materiales muy erosionables.

Hidrología

- a) Superficial: el material es en general francamente permeable por lo que no existen cursos superficiales. El drenaje se efectúa por infiltración. C, según la Instrucción de Carreteras, está comprendido entre 0,35 y 0,50.
- b) Subterránea: el nivel freático ha sido cortado alrededor de los 6 m de profundidad en IV_3^1 . Dada la permeabilidad de estos materiales, es un factor que deberá tenerse en cuenta a la hora de realizar excavaciones bajo estas cotas, pues puede llegar a ser muy importante.

Riesgos Geológicos

La erosionabilidad muy alta de estos materiales, provoca el arrastre en suspensión de las fracciones más finas. Debe tenerse esto presente a la hora de diseñar elementos de drenaje superficial, previendo decantadores adecuados y diseño que no favorezcan la acumulación de detritus.

Actualmente, las dunas están prácticamente fijadas por pinares. Caso de desaparecer la cobertura vegetal, es bastante probable que se produjese el movimiento de los trenes dunares con consecuencias fáciles de prever sobre construcciones, vías de comunicación, etc.

2.4.2.7. Zonas IV_4^1 y IV_4^2

Se han agrupado por tratarse de materiales similares litológica y genéticamente. Básicamente se trata de formas construidas por el mar, que hasta la zona del estuario del Odiel aporta arenas. Así se originan las barras arenosas que pueden ser aflorantes o estar subyacentes a los depósitos marismales, entre los cuales afloran, como sucede en Saltes. Las playas, de un gran valor turístico, son similares litológicamente, aunque su espesor es menor.

Litología

IV_4^1 son arenas uniformes, de finas a medias a menudo muy conchíferas y con pocos finos cuando no totalmente limpias. Pueden alcanzar espesores de más de 25 m. Como puede verse en el corte del Mapa de Factores Geológicos con Incidencia Constructiva, estas barras pueden encontrarse bajo la marisma (IV_5^1), constituyendo entonces una zona muy aceptable de asiento de pilotajes. El grupo más frecuente es SP. Su estratificación es uniforme.

IV_4^2 , son arenas de playa, semejantes a las anteriores, pero lógicamente de poco espesor.

Geomorfología

$P < 3$ por ciento. Son formas casi planas. En planta, son formas alargadas paralelas a la línea de costa, correspondientes a barras o flechas como la de Punta Umbría, o a las playas actuales con sus típicos cortes transversales con una zona plana y otra correspondiente a la acumulación arenosa de los oleajes invernales. Son formas erosionables, en particular por la acción de oleajes.

Hidrología

- a) Superficial: se trata de materiales francamente permeables, en los cuales el drenaje será prácticamente sólo por infiltración, bastante aceptable. El coeficiente de escorrentía según la Instrucción de Carreteras, oscilará entre 0,35 y 0,50.
- b) Subterráneo: en ambas zonas, caracterizadas por su escasa elevación respecto al nivel del mar, el nivel freático será cortado con frecuencia por excavaciones.

Se originarán entonces problemas importantes de agotamiento acompañados por inestabilidad de paredes y sifonamientos.

Riesgos Geológicos

El examen de la cartografía a lo largo del tiempo, indica una variación notable en estas zonas. El mar, continuamente está arrastrando por corrientes de deriva litoral, arenas a lo largo de la playa de Punta Umbria (unos 150.000 m³/año). Llegada al banco del Manto, la arena tendía a ser arrastrada al canal del Odiel, desgastándose dicho banco de forma continuada (pérdida anual del orden de los 400.000 m³/año). El efecto pernicioso sobre el canal del Odiel (que es utilizado por los barcos tanto del Puerto Interior, sito a la altura de la ciudad de Huelva, como del Puerto Exterior), es evidente. Ello ha hecho que se esté construyendo tras los estudios pertinentes (incluyendo ensayos en modelo reducido realizados por el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil de Lisboa) un Dique de Contención de Arenas, que indudablemente mejorará la conservación de la navegabilidad en los Puertos Exterior e Interior, vitales para la industria onubense.

Cabe señalar, que las corrientes litorales, que arrastran arena hasta el estuario, una vez depositada en dicha zona la arena, se convierten en un agente erosivo. Esto quiere decir que las playas y acantilados de la zona de Mazagón están sometidas a un proceso de erosión hacia tierra adentro, que son playas en regresión, y que ello debe tenerse en cuenta a todos los efectos, tanto medio-ambientales como constructivos.

Se han sintetizado estos efectos en la figura 6, toma de "Los Ritmos Naturales de nuestras Playas", E. Copeiro del Villar. Rev. de O.P. Mayo 1978.

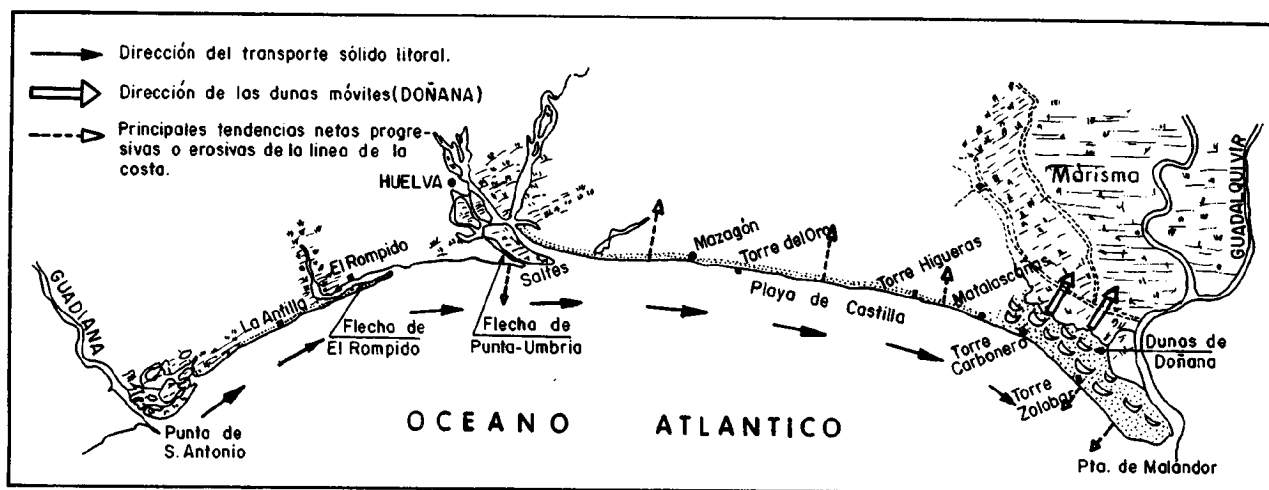


Fig. 6 Transporte litoral y tendencias erosivas en la corta de Huelva

2.4.2.8. Zona IV₅

En profundidad, la zona designada como IV₅, comprende en realidad materiales de varias zonas: IV₄¹ y I₁. El material típico, marismal, de IV₅ son unos fangos negruzcos, blandos, orgánicos. Tienen carácter arcilloso generalmente (CL/CH), aunque a veces presentan carácter de limos arenosos (ML). Presentan a veces interestratificaciones de arena o arena con gravilla. El espesor de los fangos es bastante variable, pero puede llegar hasta unos 30-35 m. Estos fangos, se han depositado frecuentemente sobre estructuras tipo barra (IV₄¹), por lo que es frecuente el que se encuentran bajo ellos a profundidades muy variables dichas arenas conchíferas. Bajo dichas arenas, o sin la presencia de estas, se suelen encontrar las arcillas margosas grises o beige de I₁. En conjunto, los materiales de IV₅ deben ser considerados como no uniformes, erráticos, en cuanto a su estratificación.

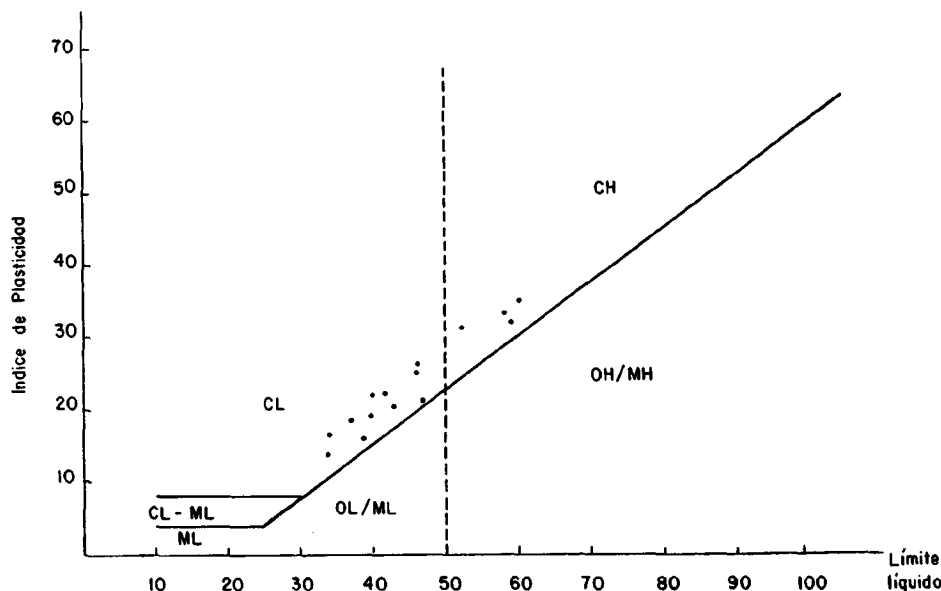


Fig. 7 Plasticidad de los fangos de IV₅

Geomorfología

P < 3 por ciento. Son formas totalmente planas.

Hidrología

- Superficial: los fangos son materiales impermeables. El drenaje es prácticamente nulo. El coeficiente de escorrentía según la Instrucción de Carreteras, es de C: 0,50-0,65. Son zonas con grado variable de encharcamiento durante todo el año, y especialmente sensibles en la época de los oleajes y mareas excepcionales, en especial si coinciden con períodos de avenida de los ríos Odiel y Tinto. Existe una zona de S. Juan del Puerto, que situada sobre marisma, sufre frecuentes inundaciones; ello ha obligado a la construcción de un dique para su protección.
- Subterránea: el nivel freático se encuentra entre 1 y 2 m de profundidad. No son probables caudales importantes de agotamiento en los fangos, más bien todo lo contrario. Se presentarán sin embargo levantamientos del fondo e inestabilidad de las paredes de excavación. Las aguas freáticas son agresivas (sulfatos). No debe descartarse la presencia de gases, de descomposición de la materia orgánica en excavaciones, que pueden ser peligrosos para el trabajo de personas.

2.4.2.9. Zonas IV₆¹, IV₆² y IV₆³

Se han agrupado por ser todos depósitos aluviales, es decir, originados actualmente por los ríos y arroyos de la zona estudiada.

Litología

IV₆¹ corresponde a los depósitos aluviales originados por ríos y arroyos que corren sobre las arcillas margosas de I₁. Son materiales blandos, arcillosos, tipo CL, CH o SC. Su espesor es pequeño, no mayor de 3-4 m.

IV₆² corresponde a depósitos aluviales originados por ríos y arroyos que corren sobre II₁¹ y II₁². Se trata de materiales limo-arenosos o limo-arcillosos blandos. Su espesor es también pequeño, pero puede llegar a ser mayor que el de IV₆¹. SM, SC, ML, CL.

IV₆³ corresponde a los depósitos aluviales de la Rivera del Nicobia, que tiene algo más de entidad que los anteriores. Suelen incluir p.e. gravas finas arcillosas y arcillas. Tienen más espesor que los anteriores, pudiendo llegar a unos 8-10 m. GC, CI, CH.

En conjunto, se trata de materiales con estratificación no uniforme, **errática** y compleja.

Geomorfología

P < 3 por ciento. Son depósitos planos y alargados, siguiendo el curso de ríos y arroyos.

Hidrología

- Superficial: la permeabilidad es en general baja, aunque haya zonas de materiales semipermeables, en especial en IV₆² y IV₆³. Esto unido a la morfología plana, hace que la calidad del drenaje sea francamente deficiente. Son frecuentes los encharcamientos. C oscila entre 0,35 y 0,50.
- Subterránea: el nivel freático está a poca profundidad como puede apreciarse en los Cortes Tentativos del Mapa de Factores Geológicos. Puede originar problemas en excavaciones en IV₆² y IV₆³, tanto por afluencia de agua, como por inestabilidad de paredes. IV₆² es sensible a sifonamientos. Pueden presentarse aguas sulfatadas en IV₆¹ y IV₆³.

Riesgos Geológicos

Existe el riesgo de avenidas en las tres zonas. Su incidencia es muy diversa, según factores propios como son tamaño de la cuenca receptora, permeabilidad y vegetación, y factores externos (presencia o no de poblamientos). Probablemente la zona más problemática es la de la Rivera del Nicobia, en especial cuando haya marea alta.

2.4.2.10. Zonas IV₇¹ y IV₇²

Se han agrupado por corresponder ambos a depósitos coluviales, en este caso concreto depósitos de piedemonte, depositados al pie de escarpes arcillosos (I₁) o arenolimosos (II₁¹ y II₁²), que originan respectivamente a IV₇¹ (I₁ y a veces II₁¹) y IV₇² (II₁¹ y II₁²).

Litología

IV₇¹ tiene una litología mayoritariamente arcillosa, plástica habitualmente; aunque pueden presentarse arenas arcillosas, fruto sobre todo de II₁¹. SC, CH, CL.

IV₇² tiene una litología arenosa o limosa: SM, ML.

Ambos tipos de depósitos, son irregulares, de carácter **errático** en cuanto a su estratificación. Se suelen indentar con depósitos marismales de IV₅, por ser de origen actual y contemporáneo. Su espesor es variable, en general de unos pocos metros, máximo en las desembocaduras de torrenteras o arroyos.

Geomorfología

P oscila entre el 3 y el 6 por ciento. Corresponden a la zona de enlace de los escarpes con las llanuras marismales. En las zonas de torrentera, aparecen los típicos conos de deyección.

Hidrología

- Superficial: los materiales varían de impermeables (IV₇¹) a semipermeables e incluso permeables (IV₇²). El tipo de drenaje, dada la existencia de una cierta pendiente, será mixto por escorrentía e infiltración en IV₇², y por escorrentía en IV₇¹. Puede considerarse aceptable. El coeficiente de escorrentía C, oscila para IV₇¹ entre 0,50 y 0,65 y para IV₇² entre 0,35 y 0,50.
- Subterránea: puede presentarse un nivel freático subsuperficial, que dará pro-

blemas semejantes a los antes comentados para IV_6^2 en la zona IV_7^2 . IV_7^1 no tendrá problemas de entidad.

Riesgos Geológicos

En las zonas de cono de deyección, y ligadas a precipitaciones torrenciales pueden presentarse avenidas y cambios de curso de las torrenteras correspondientes. Son zonas poco aconsejables para ubicar construcciones.

2.4.2.11. Zona IV_8

Son rellenos artificiales realizados sobre marismas, constituidos por desechos industriales, constructivos y domésticos, mezclados de forma indiscernible a menudo. Los más homogéneos son los de vertidos industriales. Pueden ser materiales químicamente reactivos, agresivos respecto a construcciones y quizá tóxicos. Su espesor no suele sobrepasar los 4 m. Deben ser considerados como **erráticos**.

Geomorfología

P < 3 por ciento. Son zonas prácticamente planas.

Hidrología

- Superficial: pueden caracterizarse como semipermeables. El escaso drenaje que haya, será por infiltración. C, varía entre 0,35 y 0,50.
- Subterránea: puede aplicarse lo dicho para las marismas, IV_5 . Las aguas serán con casi total seguridad agresivas para los materiales constructivos.

2.5. RIESGO SISMICO

De acuerdo con la Norma Sismorresistente PDS-1 (1974), toda la zona estudiada se encuentra en Zona 2^a, con **intensidad media** esperable, entre los Grados > VI y < VIII, de la Escala M.S.K. (Macrosísmica Internacional). Dicha Norma, indica para la zona del casco urbano de Huelva, la adopción de un Grado VII.

Los **daños esperables** por la acción sísmica, según el tipo de estructura, son:

- Construcción tipo A (muro de mampostería en seco o barro; adobe, tapial): de Moderados a Destrucción.
- Construcción tipo B (muros de ladrillo, bloques de mortero, mampostería con mortero, sillarejo, sillería, entramados de madera): de Moderados a Graves.
- Construcción tipo C (estructura metálica u hormigón armado): de Ligeros a Moderados.

La **probabilidad** de ocurrencia de un sismo de Grado VII, riesgo sísmico, es 1 para un período de 50 años.

Los sismos se traducen en la aparición de solicitaciones verticales y horizontales. Las más importantes son las segundas (las primeras a menudo no se consideran para estructuras corrientes). La **Acción Sísmica Horizontal**, F, en cada uno de los puntos en que se haya descompuesto el sistema, es:

- F = s · Q
- Q = Peso correspondiente al punto
- s = Coeficiente sísmico
- s = a · η · β · δ
- q = Factor de distribución
- c = Factor de respuesta
- δ = Factor de cimentación

Por lo que respecta a este último, se ha dicho factor δ , para las diferentes zonas en que está dividida la zona estudiada:

TABLA

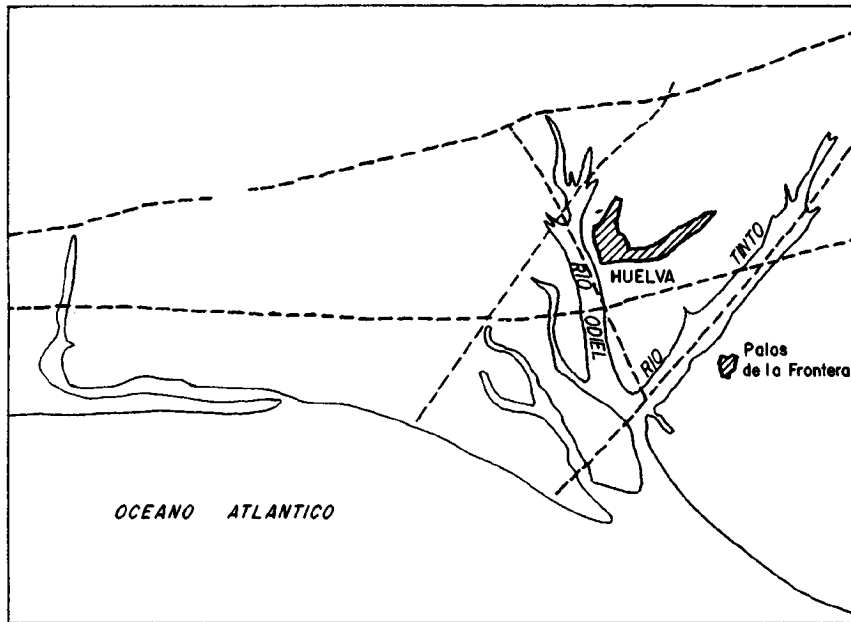
Tipo de Cimentación	Zona Geotécnica		
	A	B	C
<i>Pilotes:</i>			
- por fuste	2,0	1,0	0,7
- por punta	1,8	0,9	0,6
<i>Zapatas:</i>			
- aisladas	1,6	1,1	0,8
- corridas	1,5	1,0	0,7
<i>Losas</i>	1,4	0,7	0,5
A	IV ₂ , IV ₅ , IV ₆ , IV ₇ , IV ₈		
B	IV ₁ ² , IV ₃ , IV ₄		
C	I ₁ , II ₁ , III ₁ , IV ₁ ¹		

Las Zonas Geotécnicas donde más dañina puede ser la influencia de un seísmo, son en primer lugar las comprendidas en el cuadro anterior bajo la letra A. En las comprendidas bajo la letra B, que a veces son arenas desprovistas a menudo de finos, no es sin embargo probable que para cimentaciones a profundidad mayor de 1,50 m existan problemas dados los valores del SPT encontrados. En las comprendidas con la letra C, el riesgo para las construcciones, será mínimo. En especial en las zonas A y B, recomendamos para construcciones de alguna importancia la realización de un estudio cuidadoso de las acciones sísmicas, pues sobre todo en cimentaciones superficiales, dada la probabilidad de ocurrencia del seísmo de Grado VII que es del 100 por cien en 50 años, cabe pensar que todo edificio sufrirá al menos un seísmo de esta intensidad en su período de servicio.

Es necesario por último recalcar la incidencia dentro de la zona estudiada del **factor tectónico** (fallas, fracturas). Tanto las marismas del Tinto como las del Odiel, van sobre zonas falladas. Se trata de fallas que se produjeron en el basamento paleozoico en la Orogenia Hercínica, y que han sido reactivadas durante la Orogenia Alpina y los movimientos de subsidencia y alzamiento del Terciario Tardío y el Pleistoceno. El bloque donde se asienta parte de la ciudad de Huelva (cabezos), es un bloque levantado con relación tanto al bloque de Cartaya como al de Palos. Estas fallas (probablemente sistemas de fallas paralelas), pueden reactivarse y producirse bien leves hundimientos o levantamientos, bien desplazamientos diferenciales a ambos lados de la(s) falla(s). El efecto que esto tendría sobre edificaciones ubicadas en la zona que asentarán sobre alguna falla del sustrato o sobre obras lineales (puentes, conducciones de todo tipo), es fácil de prever, y es un aspecto más que debería ser tenido en cuenta en un adecuado diseño antisísmico. Puede verse, con carácter orientativo, el Esquema Estructural adjunto. (Fig. 8)

2.6. YACIMIENTOS Y EXPLOTACIONES DE ARIDOS Y MATERIALES DE PRESTAMO

En el Mapa adjunto pueden verse los yacimientos no explotados y las explotaciones activas existentes de estos materiales en la fecha de realización de las Hojas Ayamonte-Huelva y Puebla de Guzmán-Sevilla del Mapa Nacional de Rocas Industriales (1974).



Escala 1:250.000

----- Falla de zócalo detectada por Geofísica

Fig. 8 Esquema estructural

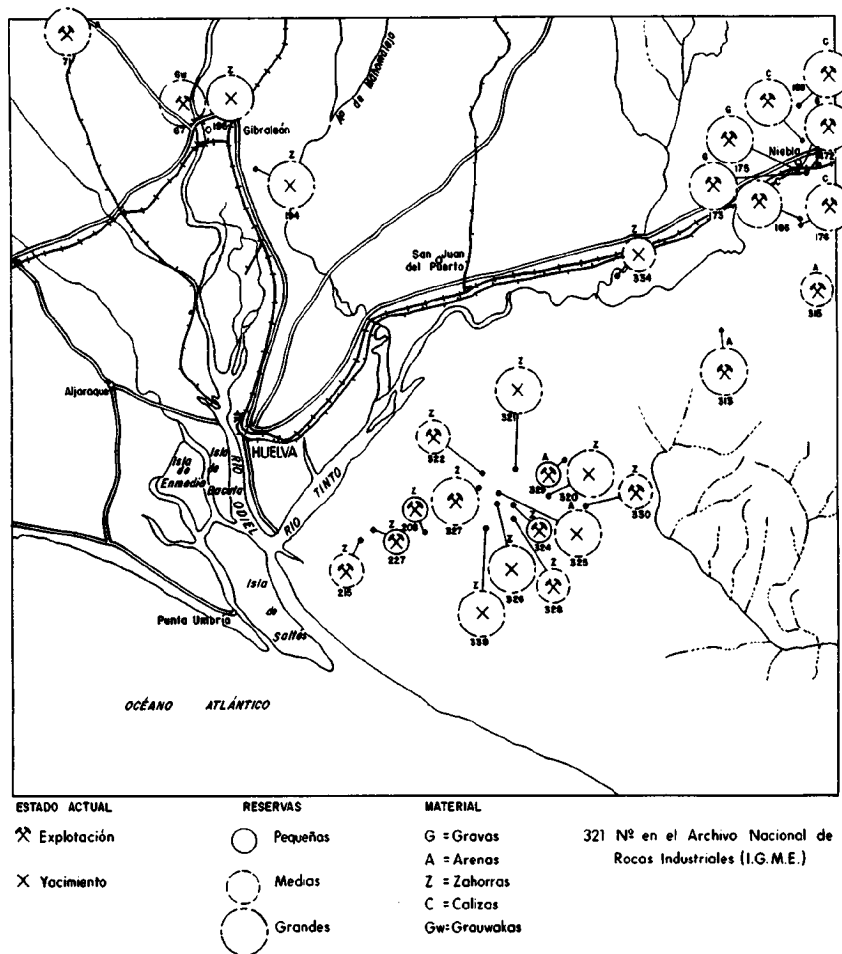


Fig. 9 Mapa de yacimientos y explotaciones de áridos y préstamos

a) **Aridos naturales.** Se trata de gravas y arenas provenientes de dos tipos de yacimientos: a-1) Facies roja constituida por el gran Glacis de acumulación (III₁). Existen varias explotaciones en los T.M. de Palos de la Frontera, Moguer y Lucena del Puerto. Normalmente buscan las capas de grava arenosa limpia, que suelen ser menores de 1 m de espesor. Esto da una gran movilidad a los frentes de explotación. Estas gravas arenosas son clasificadas o vendidas como zahorras. Hay unas reservas prácticamente ilimitadas. a-2) Terrazas del Odiel. En Gibrleón presentan una apariencia apta para estos usos. Se trata de yacimientos no explotados.

Estos materiales se usan clasificados en hormigones, y sin clasificar, para material de préstamo. El equivalente de arena está comprendido entre 35 y 91.

b) **Aridos artificiales o de trituración.** Hay dos grandes grupos: b-1) Grauwacas. Las explotaciones que se ven en el Mapa adjunto se hallan en Gibrleón; existen también explotaciones en Ayamonte. Se trata de grauwacas de grano fino del período Carbonífero. El principal inconveniente que puede presentarse en relación con su aprovechamiento es la interstratificación con pizarras, que lo inhabilita para usos en firmes de carretera y capas de rodadura. b-2) Calizas. Existen explotaciones en Niebla en las calizas basales miocenas, a menudo margosas y en bancos de escasa potencia. Ensayos realizados en estos materiales han dado los siguientes resultados:

Ensayo	o/o
Desgaste Los Angeles (Granulometría A)	22,1
Adhesividad al betún	98,8
Químico	
SiO ₂	0,96 - 1,21
Al ₂ O ₃	0,06 - 0,07
CaO	32,21 - 34,52
MgO	19,26 - 16,81
SO ₃	No

Estas calizas se emplean principalmente para firmes de carreteras y ferrocarriles.

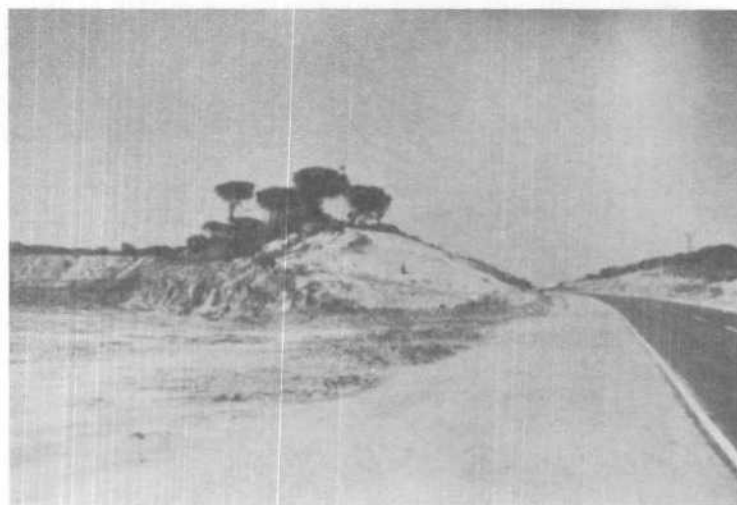


Foto 8. Dunas fijadas por vegetación (Carretera a Mazagón)

3 CARACTERIZACION GEOMECANICA DE LAS ZONAS GEOTECNICAS

3.1. METODOLOGIA

Entendemos por Características Geomecánicas aquellas que describen el comportamiento **Esfuerzo-Deformación** de los materiales presentes en una zona geotécnica, o están muy directamente relacionadas con éste.

Se han considerado: SPT (número de golpes para penetrar 30 cm con cuchara Standard); p (penetración dinámica en centímetros/golpe con puntaza de $4 \times 4 \text{ cm}^2$); R_p (resistencia en punta en penetración estática); q_u (resistencia a compresión simple); c_u (cohesión determinada con el vane-test de laboratorio sobre muestra inalterada); $c' - \phi$ (corte directo lento); densidad y humedad máxima Proctor Normal; CBR correspondiente al 100 por ciento de la densidad anterior y CBR in situ (deducido según la densidad in situ). En el Mapa aparece la **representación simbólica puntual** de todas las obras realizadas.

El problema que se presenta a la hora de llevar a cabo esta caracterización, está relacionado directamente con la falta de homogeneidad del terreno. Como ya se comentó en la Metodología utilizada para los Factores Geológicos con Incidencia Constructiva, la mayor parte de las Zonas Geotécnicas caen dentro de la categoría Complejos Litológicos, que comprenden varios Tipos Litológicos y aún más Tipos Ingenieriles, siendo estos últimos los exponentes del máximo grado de homogeneidad y los que realmente interesan como criterio de división a la hora de una obra puntual y concreta. A las escalas a que se ha trabajado (1/25.000 y 1/5.000), y aunque la densidad de obras realizada hubiera sido

imposible (y precisamente en las formaciones con características mecánicas peores), la división en unidades de la clase Tipo Litológico; y en el supuesto de que tal cosa se hubiera realizado, sería irrepresentable a estas escalas.

Debemos ser pues conscientes de las **limitaciones impuestas por las escalas de trabajo**. Sin embargo, el que no puedan representarse los Tipos Ingenieriles, que gozan de la máxima homogeneidad en cuanto a características litológicas, hidráulicas y mecánicas, no impide el que se constate su existencia y se señalen grosso modo sus características. Esto si ha podido realizarse merced a las observaciones de campo y las obras realizadas. Lógicamente, debe concederse a los **valores numéricos** así obtenidos, un **carácter fundamentalmente orientativo**, tanto más cercano a criterios de carácter semicuantitvo cuanto mayor sea la homogeneidad de la zona geotécnica y el número de obras de prospección realizadas. En general, ambos caracteres van paralelos, como puede comprobarse por el hecho de que la zona más prospectada sea I_1 , que es la más homogénea. La extensión superficial de las diversas zonas ha sido también un condicionante muy importante a la hora de asignarles número de obras.

Puede decirse que del total de Zonas Geotécnicas, hay tres que por su extensión superficial son las más importantes: arcillas margosas de I_1 ; limos arcilloso-arenosos de II_1 y fangos de IV_5 . A estas zonas se les han dedicado las observaciones más intensas. Junto con otra formación caracterizada por un alto grado de homogeneidad (arenas de duna IV_3), han sido las más reconocidas, y aquellas en las cuales se presentan datos numéricos, en general en forma gráfica (Histogramas, Gráficos SPT - Profundidad, etc.).

El resto de las zonas se han clasificado de acuerdo con la Normativa existente. Se han utilizado en concreto orientaciones procedentes de: Norma MV-101.1962 (Ministerio de la Vivienda); Recomendaciones de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones; Code of Practice for Foundations (British Standards Institution); Terzaghi - Peck 1967 y Classification of Rocks and Soil for Engineering Geological Mapping. Part I - Rock and Soil Materials. Allí donde existen varios Tipos Ingenieriles se han agrupado en Granulares y Cohesivos. Únicamente ha sido posible el acotar el campo de variación de forma aproximada.

Para obras de tierra, se ha utilizado el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales del MOP para Obras de Carreteras y Puentes, en particular para la calificación del suelo.

En el caso de las zonas citadas más arriba por el mayor número de reconocimientos realizados en ellas, se ha definido el campo de variación y el usuario, a la vista de los gráficos adjuntos, puede seleccionar valores para obras puntuales poco importantes o anteproyectos, en base a las frecuencias acumuladas. Puede considerarse que los valores que descartan un 90 por ciento de valores más favorables son bastante seguros, y pueden llegar a ser aceptables lo que descartan un 75 por ciento. Se recomienda de todas formas que los valores seleccionados por el usuario del Mapa, sean tales que habida cuenta del coeficiente de seguridad a emplear respecto a rotura del suelo, el valor seleccionado garantice la no rotura de éste (p.e. en el caso de cimentaciones, que suele emplearse un $FS = 3$ respecto a rotura, que sea menor de tres veces el valor mínimo de la resistencia).

Queda un último problema por tratar. En el Mapa pueden verse valores geomecánicos puntuales correspondientes a diversos tipos de reconocimientos. **¿Puede extrapolarse o interpolarse** entre valores para una determinada zona y un determinado punto? La respuesta en principio, es restrictiva. Desde luego, no para el caso de Zonas Geotécnicas descritas como erráticas en el Mapa de Factores Geológicos. Para el caso de zonas homogéneas, en principio tampoco. Hubiera sido necesaria una densidad de reconocimientos que en principio puede estimarse orientativamente en 1 ha. La densidad es de 100 veces menor. En el caso antedicho, irrepresentable a estas escalas de trabajo, se había podido definir a través del variograma el radio de influencia y aplicar la Geoestadística. Repetimos que este no es el caso. Resulta preferible emplear en anteproyectos u obras de no mucha entidad los datos procedentes de las distribuciones de frecuencias según lo antes enunciado.

3.2. CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

3.2.1. Zona I₁

En cuanto a parámetros relacionados con la resistencia y medidas *in situ*, tenemos lo siguiente:

Respecto al SPT, y tal como puede verse en el adjunto Gráfico SPT - Profundidad, (Fig. 10 y 11) el SPT oscila de la forma siguiente:

- a - 2,25 m : de 14 a > 80
- a - 3,75 m : de 22 a > 80
- a - 5,25 m : de 20 a > 80
- a - 8,30 m : de 24 a > 80

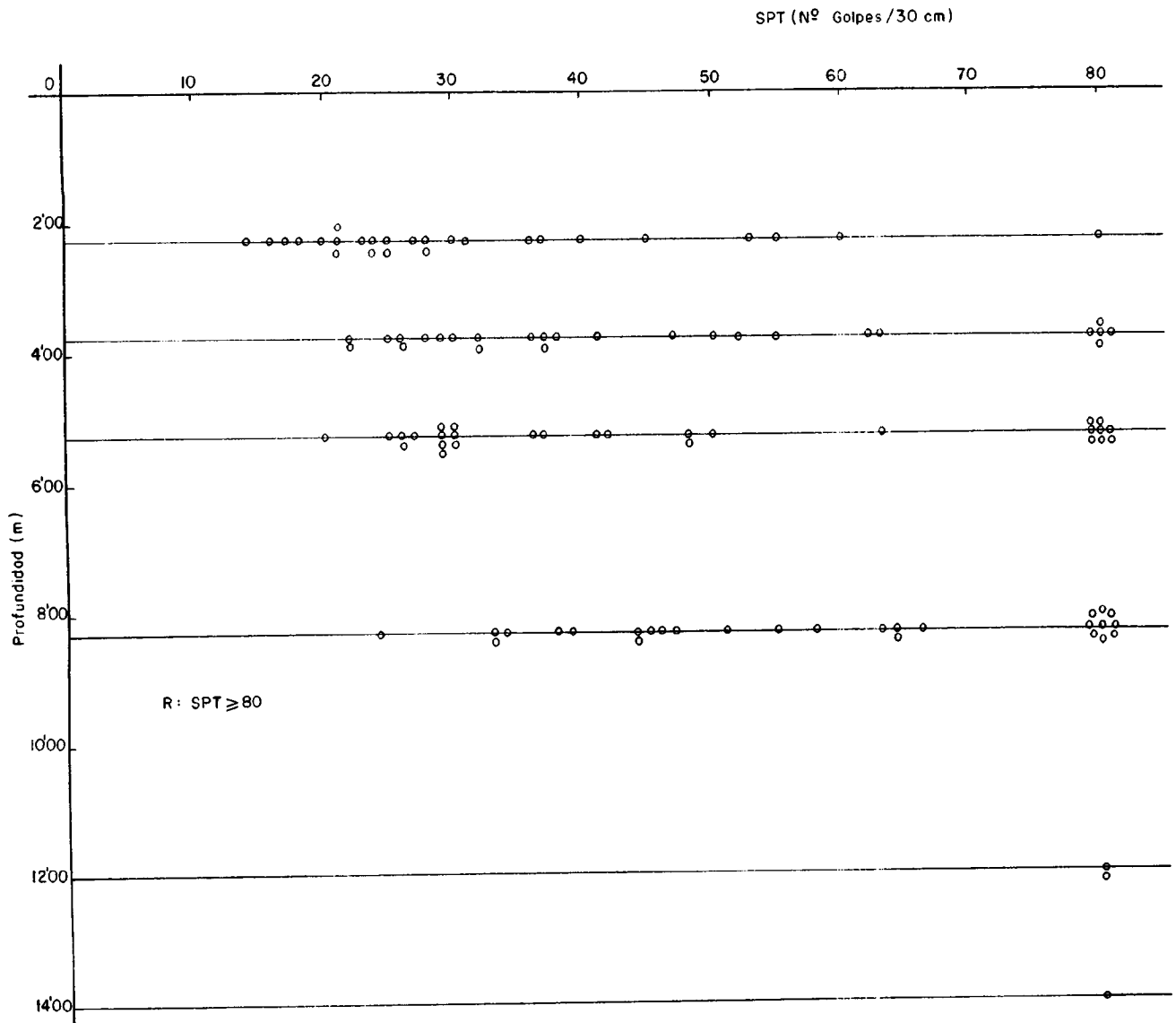


Fig. 10 SPT - Profundidad I₁

MAPA URBANO DE HUELVA (MARGAS)

DISTRIBUCION

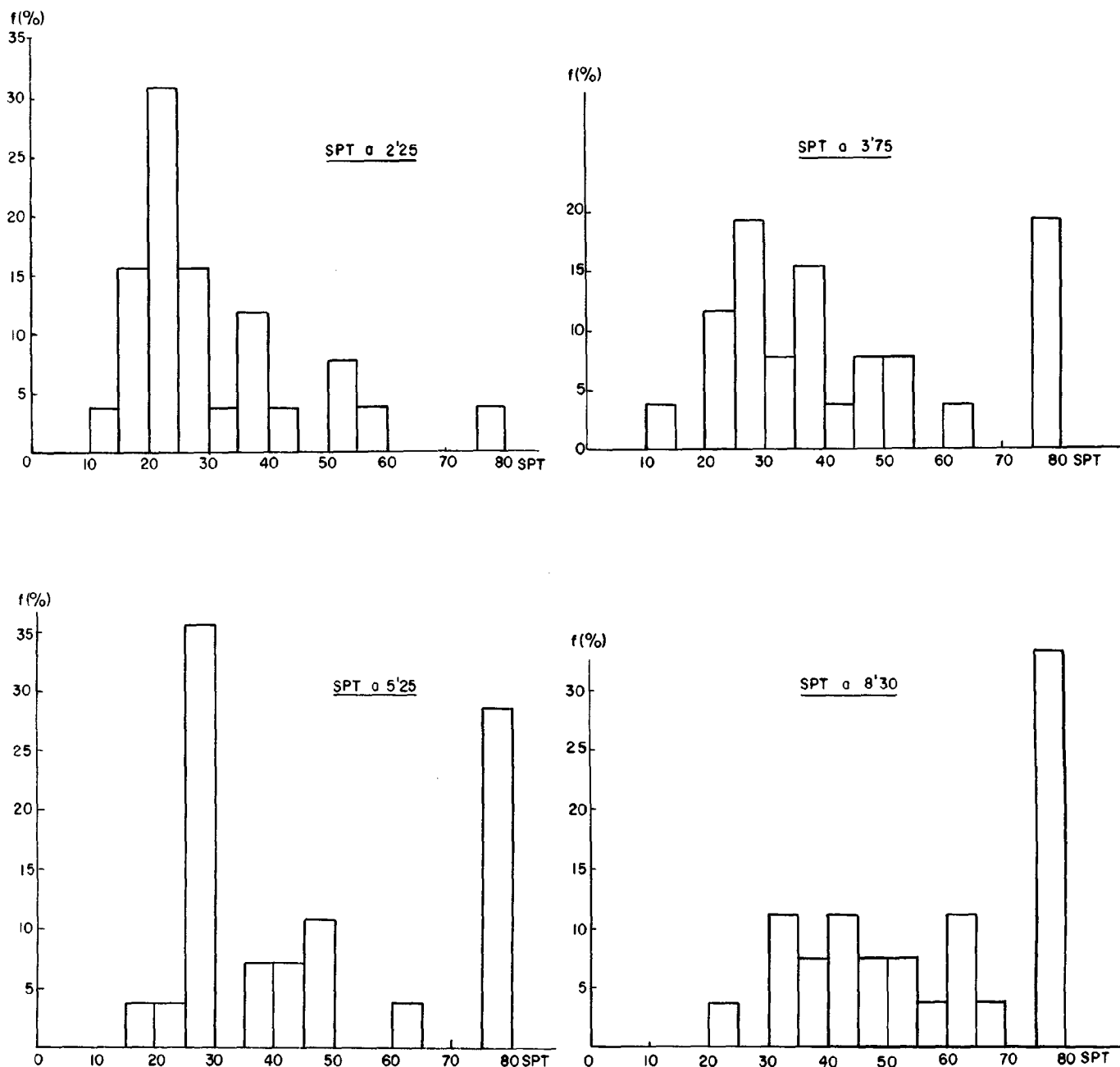


Fig. 11 Distribución SPT de frecuencias a varias profundidades I_1

Puede observarse un aumento ligero de su valor numérico con la profundidad.

Respecto a la Penetración Dinámica P_d , puede verse el gráfico adjunto (Fig. 12) donde puede apreciarse la disminución de la penetración con la profundidad (aumento de la resistencia), oscilando así:

- a - 1,50 m : de 0,60 a 1,80 cm/golpe
- a - 3,00 m : de 0,35 a 1,30 cm/golpe
- a - 6,00 m : de 0,28 a 0,55 cm/golpe
- a - 10,00 m : de 0,25 a 0,35 cm/golpe

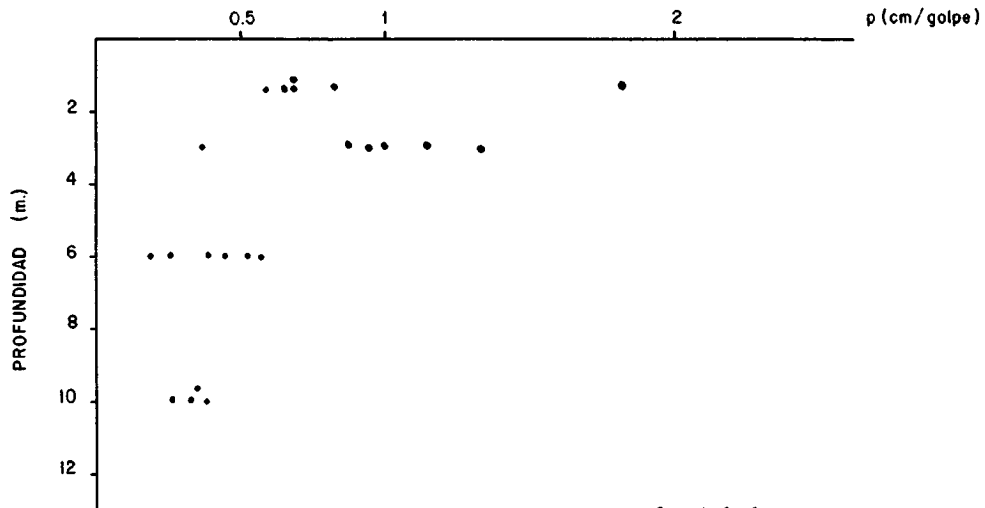


Fig. 12 Penetración dinámica - Profundidad I_1

Respecto a ensayos de laboratorio sobre muestras inalteradas, puede observarse en el gráfico adjunto (Fig. 13) el ligero aumento de la resistencia a compresión simple q_u con la profundidad, que oscila así:

- a - 1,70 m : de 1 a 4,20 kg/cm^2
- a - 3,20 m : de 1,30 a 5,20 kg/cm^2
- a - 5,00 m : de 1,60 a 4,50 kg/cm^2

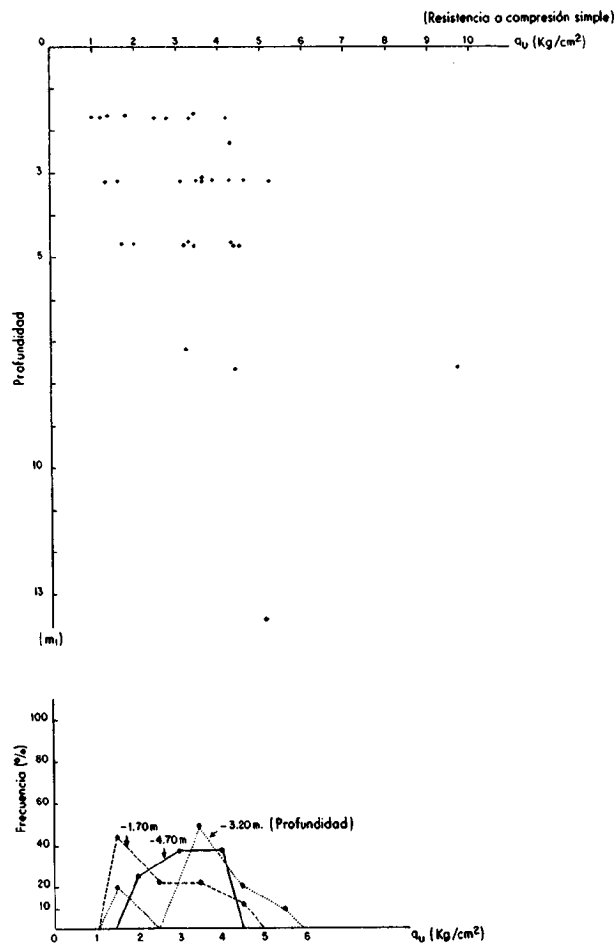


Fig. 13 q_u - Profundidad I_1

Puede verse también la distribución de frecuencias para dichas profundidades.
 La resistencia a largo plazo, puede observarse en la Fig. 14. Se aprecia que c' oscila entre 0,40 y 0 kg/cm² y ϕ' entre 19° y 32,6°.

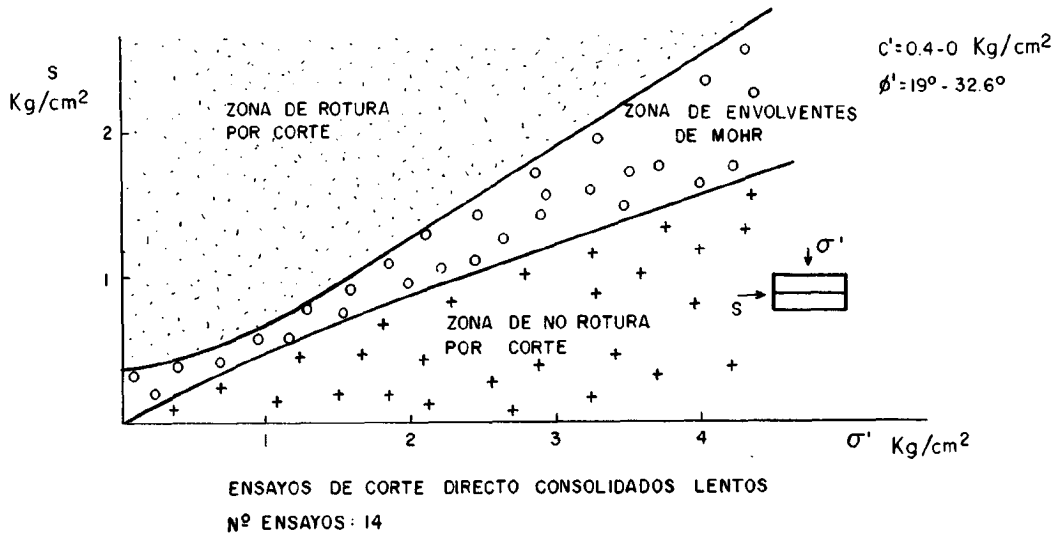


Fig. 14 Estabilidad a largo plazo ($c'-\phi'$). I₁

En cuanto a la **deformabilidad**, el módulo

$$m_v \left(\frac{\Delta e / 1 + e_0}{\Delta \sigma} \right)$$

oscila para presiones verticales, entre 0 y 1,50 kg/cm² entre 0,012 y 0,026 cm²/kg y para presiones entre 1,50 y 6 kg/cm² entre 0,06 y 0,011 cm²/kg. (Medias 0,019 y 0,009 respectivamente; desviaciones standar 0,0047 y 0,001 cm²/kg).

Un aspecto de suma importancia en estos materiales, es la **presión de hinchamiento**. Nosotros hemos registrado valores en general menores de 1,50 kg/cm², y lo más a menudo inferiores a 0,50 kg/cm² o inexistentes. Sin embargo lo ocurrido en el Colegio del Barrio de la Orden, donde el Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo llegó a medir los máximos valores registrados en España (12 kg/cm²), debe constituir una llamada de atención a la hora de estimar la expansividad de estas arcillas.

Respecto a parámetros con utilidad en obras de **tierra**, puede verse el gráfico adjunto (Fig. 15) donde se indica la distribución de frecuencias para CBR correspondiente al 100 por ciento del ensayo Proctor Normal y de la densidad seca máxima y humedad óptima de dicho ensayo. La mayor parte de los suelos ensayados corresponden a suelos tolerables, desbordando el CBR ampliamente lo exigido (mayor de 3) y siendo el factor crítico la plasticidad. Relacionada con ésta está la expansividad potencial de este tipo de suelos, que aconseja considerarlos como inadecuados-tolerables.

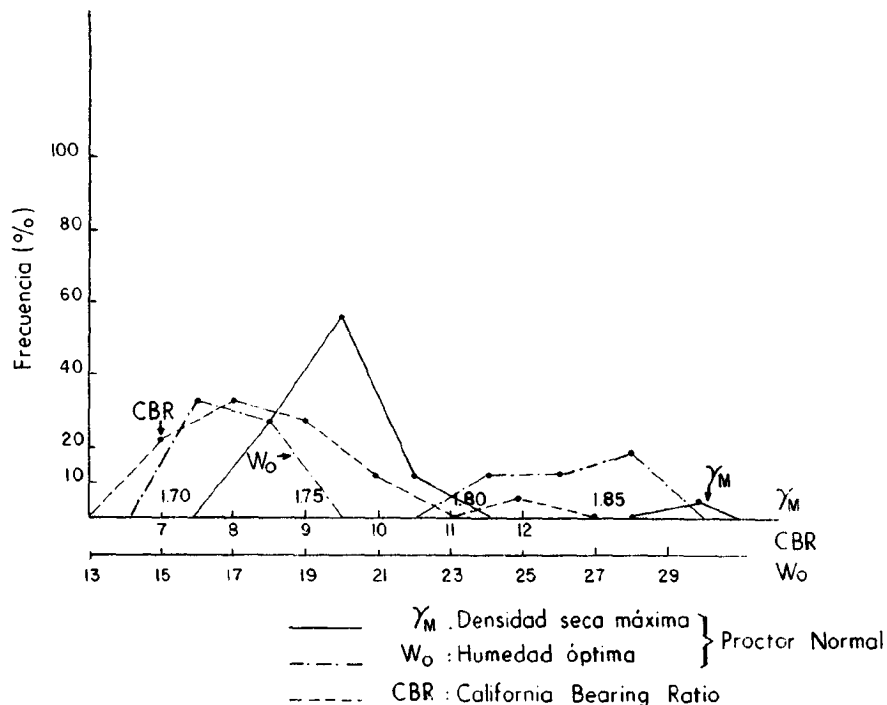


Fig. 15 Características de compactación. I_1

3.2.2. Zonas II_1^1 y II_1^2

Hemos agrupado en principio ambas zonas por presentar unas características similares. Allí donde existe comportamiento distinto se indicará explícitamente. Como norma, II_1^1 , más arcillosa, es menos resistente que II_1^2 , más arenosa.

En cuanto a parámetros relacionados con la resistencia y medidas *in situ*, puede observarse lo siguiente:

El comportamiento del SPT con la profundidad puede verse en el gráfico adjunto. Oscila así:

- A - 2,25 m oscila entre 18 y > 80 golpes/30 cm
- A - 3,75 m oscila entre 17 y > 80 golpes/30 cm
- A - 5,25 m oscila entre 23 y > 80 golpes/30 cm
- A - 8,30 m oscila entre 13 y > 80 golpes/30 cm
- A - 11,30 m oscila entre 50 y 52 golpes/30 cm (2 ensayos)
- A - 14,00 m presenta un valor de 54 golpes

Puede observarse un ligero incremento con la profundidad. Utilizando el criterio de Terzaghi - Peck para materiales granulares, en los cuales a veces puede incluirse, se trata de materiales de medianamente densos a muy densos.

Respecto a la Penetración Dinámica p (cm/golpe) realizada con aparato Borro, puede observarse lo siguiente en el gráfico adjunto (Fig. 17).

- A - 1,50 m p oscila entre 0,60 y 1,90 cm/golpe
- A - 3,00 m p oscila entre 0,40 y 1,30 cm/golpe
- A - 6,00 m p oscila entre 0,20 y 0,60 cm/golpe
- A - 10,00 m p oscila entre 0,25 y 0,35 cm/golpe

En cuanto a la **deformabilidad** el módulo m_v oscila entre 0,015 y 0,041 cm^2/kg para presiones de 0 a 1,5 kg/cm^2 y de 0,005 a 0,015 cm^2/kg para presiones de 1,5 a 6 kg/cm^2 . (Medias de 0,023 y 0,009 respectivamente, desviaciones Standard de 0,01 y 0,003).

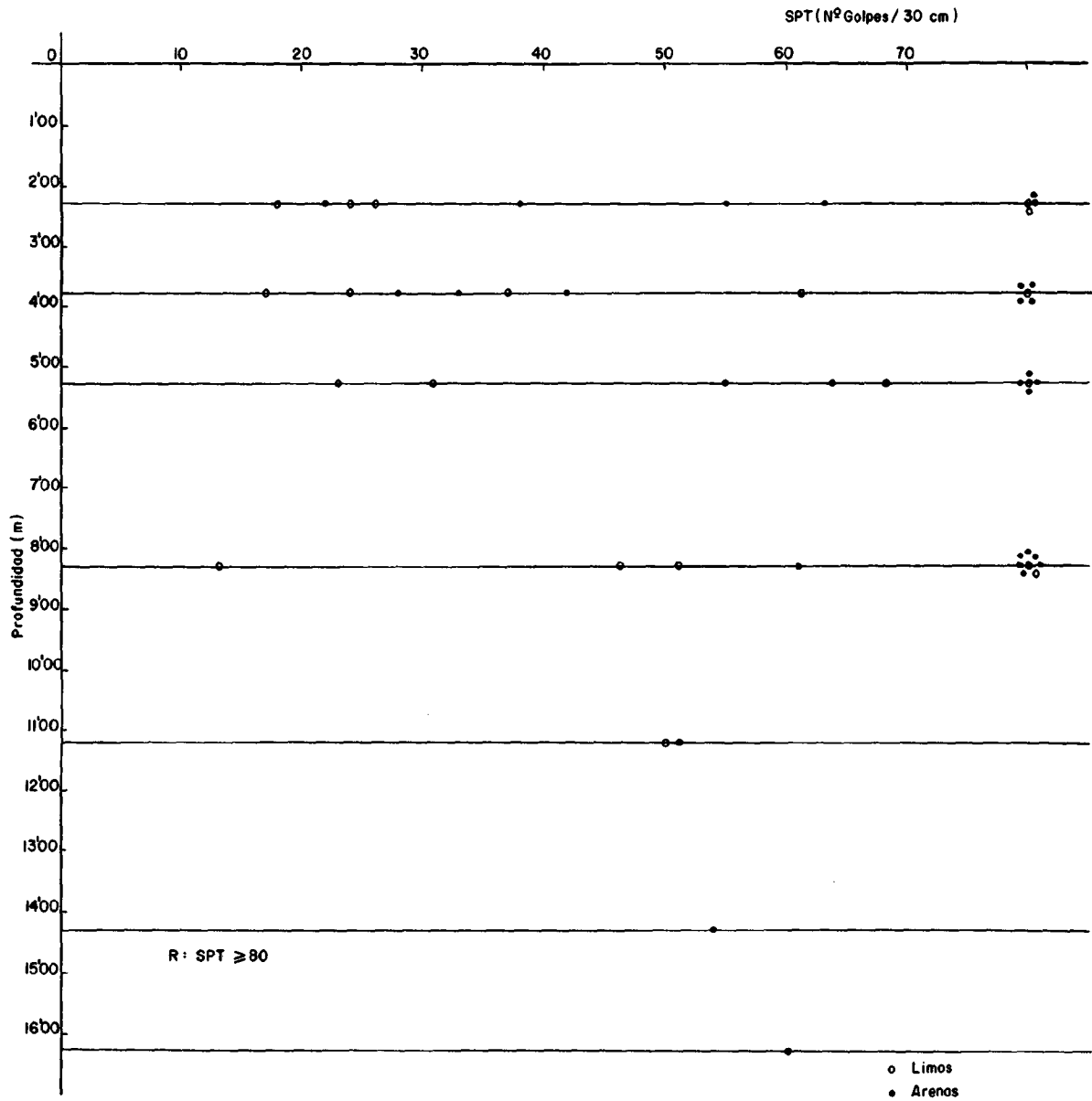


Fig. 16 SPT - Profundidad. II₁

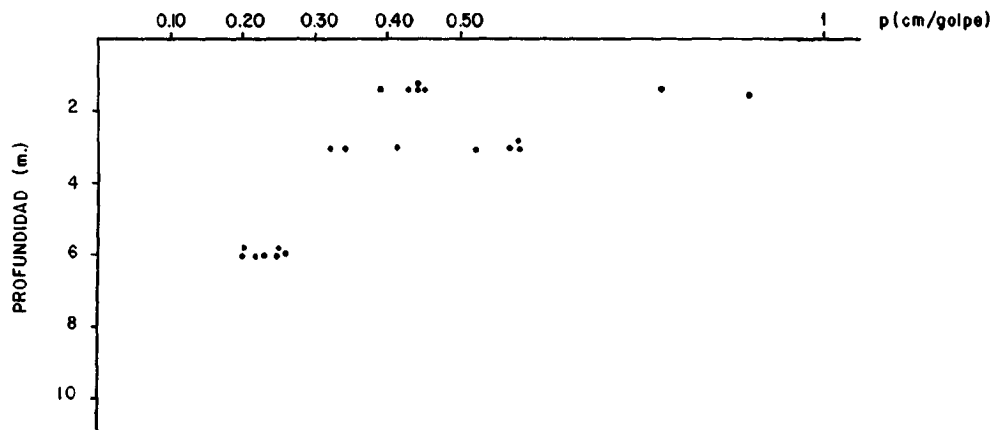


Fig. 17 Penetración dinámica - Profundidad. II₁

Algunas muestras situadas en cotas bajas, cercanas a la arcilla margosa de I_1 y pertenecientes a II_1^1 , han presentado una ligera expansividad.

Con relación a parámetros útiles para obras de tierra, podemos decir que el CBR correspondiente al 100 por ciento Proctor Normal oscila entre 11 y 17 para II_1^2 con valor medio de 12,57 y desviación Standard de 3,15; II_1^1 oscila entre 8 y 12, con valor medio de 9 y desviación Standard de 1,52. Los CBR in situ, oscilan respectivamente entre 5 y 14 con valores medios de 7,71 y desviación Standard de 2,76 y entre 1 y 6 con valores medios de 4,16 y desviación Standard de 1,57. En cuanto a las densidades secas máximas, oscilan para II_1^2 entre 1,76 y 1,91 kg/l (media de 1,85 kg/l y desviación Standard de 0,05 kg/l) y 1,73 y 1,87 kg/l (media de 1,81 kg/l y desviación Standard de 0,06 kg/l); las humedades óptimas entre 9,45 y 16,74 por ciento (media de 73,26 por ciento y desviación Standard de 2,87 por ciento) y 14,90 y 18,20 por ciento (media de 16,62 por ciento y desviación Standard de 1,40 por ciento). Son en general suelos adecuados o tolerables.

3.2.3. Zonas III_1 y IV_1^1

No se han efectuado en ellas prácticamente ningún reconocimiento, salvo dos o tres sondeos en III_1 y algún pocillo también en III_1 . Ambas zonas son muy semejantes. Se trata de interstratificaciones de niveles de grava con niveles más arenosos, a veces ambos algo cementados en especial en III_1 . Son niveles granulares densos y muy densos. Los niveles arcillosos son muy firmes o duros.

Los sondeos ponen de relieve la existencia de valores de SPT cercanos o iguales al rechazo (80), salvo una zona un poco más blanda donde desciende algo, incluso por bajo de 20. Son SPT en zonas de arena arcillosa.

Cabe esperar valores de la resistencia a compresión simple q_u en general mayores de 2 kg/cm².

En cuanto a parámetros con uso en obras de tierra, el único pocillo realizado arroja valores del CBR al 100 por ciento Proctor Normal de 14, 4 in situ, y de 1,87 kg/l y 15,2 por ciento para densidad seca y humedad óptima. Se trata de una arena arcillosa, un suelo adecuado. Los niveles granulares serán a menudo seleccionados, siendo de hecho utilizados para préstamos.

3.2.4. Zona IV_1^2

En las terrazas más bajas aquí agrupadas, se han realizado pocas labores de reconocimiento. La observación de cortes en el terreno, pone de manifiesto materiales algo menos resistentes que los anteriores. En San Juan del Puerto y Corrales, estas terrazas tienen más espesor y mejor resistencia que en el área urbana de Huelva. En el sondeo realizado en San Juan, se han obtenido valores superiores a 40 para el SPT. En el área urbana son sin embargo peores y a veces su resistencia a compresión simple escasa superará el 1 kg/cm². Se trata de arcillas firmes y muy firmes, incluso duras. Los niveles granulares son buenos pero debe estar atento a su espesor.

La penetración dinámica, pone de relieve valores de p inferiores a 2,50 cm/golpe, normalmente cercanos a 1 - 1,50 para profundidades entre 1,50 y 3 m.

En cuanto a parámetros para obras de tierra, para las arcillas se obtienen valores del CBR al 100 por ciento Proctor Normal de 9 y 6 in situ, y de humedad y densidad óptima en torno a 17 por ciento y 1,75 kg/l. Son sin embargo valores poco representativos. Se trata de suelos adecuados, incluso seleccionados en los niveles granulares.

3.2.5. Zona IV_2

La turba anegada es un material sobradamente conocido y justamente temido por los ingenieros. Se trata de un material con resistencia al esfuerzo cortante próxima a 0 y compresibilidad altísima. Ambas características lo colocan al margen de cualquier tipo de uso en obras de tierra o cimentaciones y eximen para el propósito aquí perseguido de la

realización de ensayos con vistas a conocer sus características mecánicas.

3.2.6. Zonas IV_3^1 y IV_3^2

Son mecánicamente semejantes. IV_3^2 como ya se ha dicho carece de importancia por su pequeño espesor, y en su lugar deberá pensarse en el terreno subyacente.

En cuanto a IV_3^1 , sus características son las siguientes. (Fig. 18).

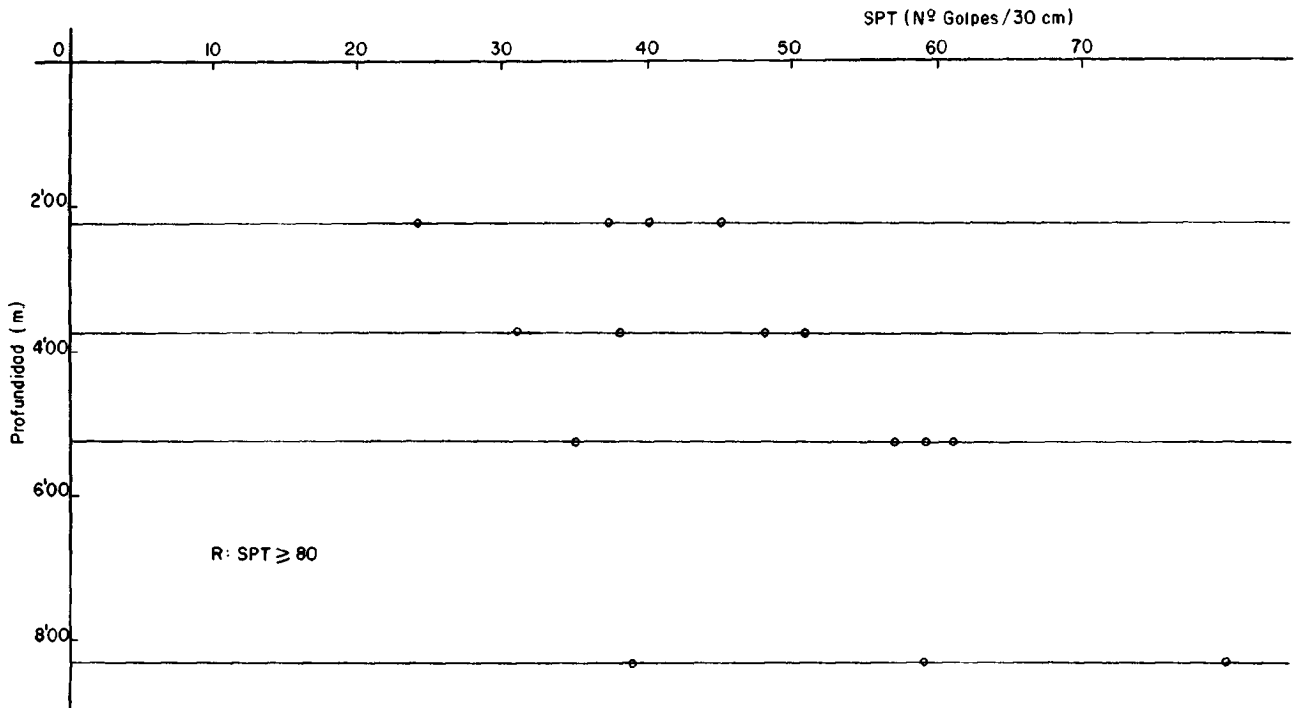


Fig. 18 SPT - Profundidad. IV_3

El SPT oscila de esta forma:

- A - 2,25 m : entre 24 y 42 golpes/30 cm
- A - 3,75 m : entre 31 y 51 golpes/30 cm
- A - 5,25 m : entre 35 y 61 golpes/30 cm
- A - 8,30 m : entre 39 y 80

Respecto a la penetración dinámica p (cm/golpe) (Fig. 19), realizada con Borro, tenemos:

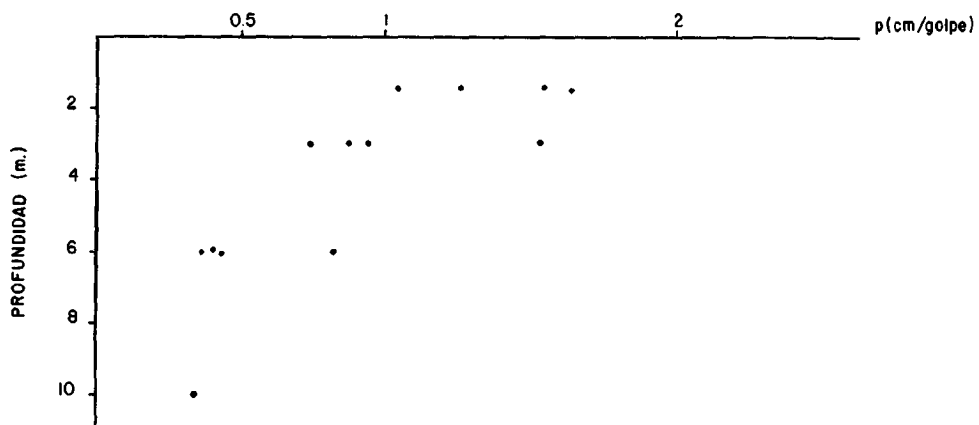


Fig. 19 Penetración dinámica - Profundidad. IV_3

- A - 1,50 m : entre 1,05 y 1,66 cm/golpe
- A - 3,00 m : entre 0,74 y 1,53 cm/golpe
- A - 6,00 m : entre 0,35 y 0,80 cm/golpe
- A - 10,00 m : 0,34 (único valor registrado)

Con relación a la penetración estática (2 realizadas), tenemos para la Resistencia en Punta R_p (kg/cm²):

- A - 1,50 m : entre 20 y 30 kg/cm²
- A - 3,00 m : entre 40 y 45 kg/cm²
- A - 6,00 m : entre 60 y 65 kg/cm²
- A - 10,00 m : entre 145 y 185 kg/cm²

Vemos por el conjunto de parámetros relacionados con la resistencia obtenida a través de ensayos in situ que existe un aumento de la resistencia con la profundidad.

La deformabilidad en este tipo de suelo (arenas uniformes), no suele considerarse como parámetro aislado relacionándose directamente con los antes mencionados, ya que es extremadamente difícil por no decir imposible la obtención de muestras inalteradas.

En cuanto a parámetros para obras de tierra, cabe decir que para densidades secas mayores de 1,85, se han obtenido valores del CBR entre 13 y 19. El CBR in situ, para el terreno por encima de los 1,50 m de profundidad puede considerarse próximo a 0 por su carácter suelto. Por su aptitud para préstamos, pueden considerarse suelos adecuados y seleccionados.

3.2.7. Zonas IV_4^1 y IV_4^2

Suelen hallarse recubiertas por IV_5 , y de hecho los valores de parámetros relacionados con la resistencia que se verán en los gráficos de IV_5 deben atribuirse a antiguas barras de arena subyacentes, cuando son altos.

La única obra de reconocimiento realizada sobre estos materiales aflorantes, ha puesto de relieve la existencia de valores del SPT superiores a 43, llegando hasta 71, con valores medios próximos a 55-60.

Se trata por tanto de arenas densas y muy densas.

Respecto a parámetros con uso en obras de tierra puede aplicarse respecto a su aptitud lo dicho para IV_3 .

Es necesario tener en cuenta la abundancia de conchas de gruesos tamaños muy dispares que pueden ser objeto de ataque químico o de procesos tipo colapso, aunque no parece muy probable que ésto llegue a tener importancia por la alta densidad de estas arenas.

3.2.8. Zonas IV_5

El material característico son los fangos arcillosos oscuros. Este material, bastante homogéneo, se encuentra interestratificado con niveles arenosos fundamentalmente correspondientes a barras marinas antiguas, e incluso con niveles de gravas. Esto debe tenerse presente a la hora de observar los gráficos que describen los parámetros mecánicos hallados en los reconocimientos practicados en esta zona. Los valores bajos de resistencia se corresponden con los fangos; los altos con arenas y gravas.

Respecto a parámetros relacionados con la **resistencia** y medidos **in situ**, se ha observado lo siguiente:

La variación del SPT con la profundidad, puede verse en el gráfico adjunto (Fig. 20). Existen en él dos agrupamientos bastante bien delimitados. Uno, que corresponde a valores menores de 10, con valores más frecuentes en torno a 3-4, corresponde a los fangos. El otro, con valores del SPT entre 20 y > 80, corresponde a arenas y gravas de barras.

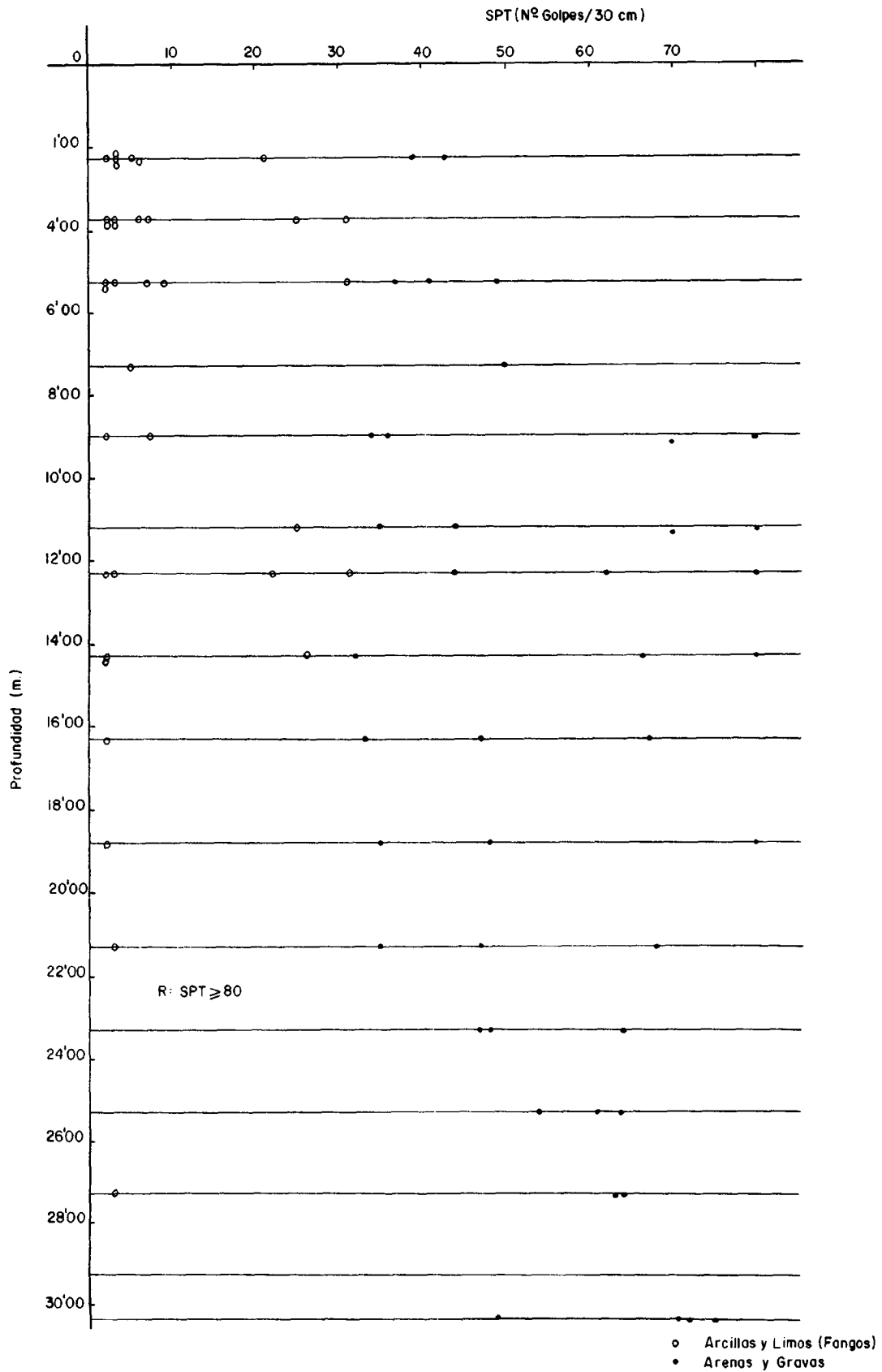


Fig. 20 SPT - Profundidad. IV₅

En cuanto a los valores de la penetración dinámica Borro p (cm/golpe), tenemos también (ver Fig. 21) dos grupos aunque algo menos nítidos que para el SPT. Por un lado tenemos los fangos propiamente dichos con valores entre 3,5 y 20 cm/golpe; por otro, los valores menores de 3,5 cm/golpe, corresponden a arenas y gravas, situándose sus valores más característicos bajo 1 cm/golpe.

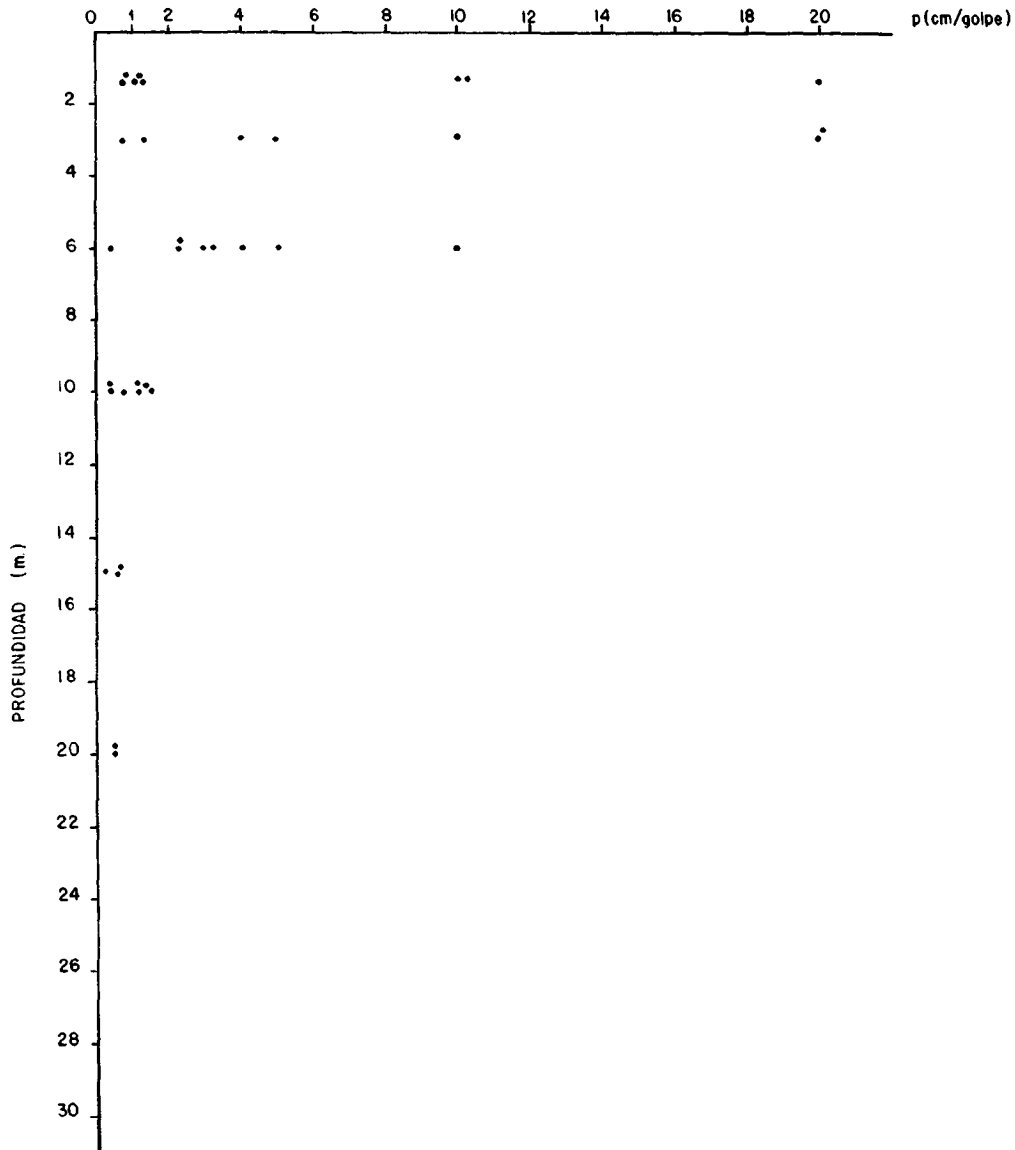


Fig. 21 Penetración dinámica - Profundidad. IV₅

En cuanto a los valores que en el gráfico adjunto (Fig. 22) pueden verse para la Resistencia en Punta R_p (kg/cm^2) en la penetración estática, cabe hacer un comentario semejante al realizado para los parámetros antes citados. En este caso, los fangos se sitúan normalmente en valores menores de $5 \text{ kg}/\text{cm}^2$, frecuentemente en torno a $2-3 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Las arenas y gravas se sitúan en valores entre 20 y $120 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

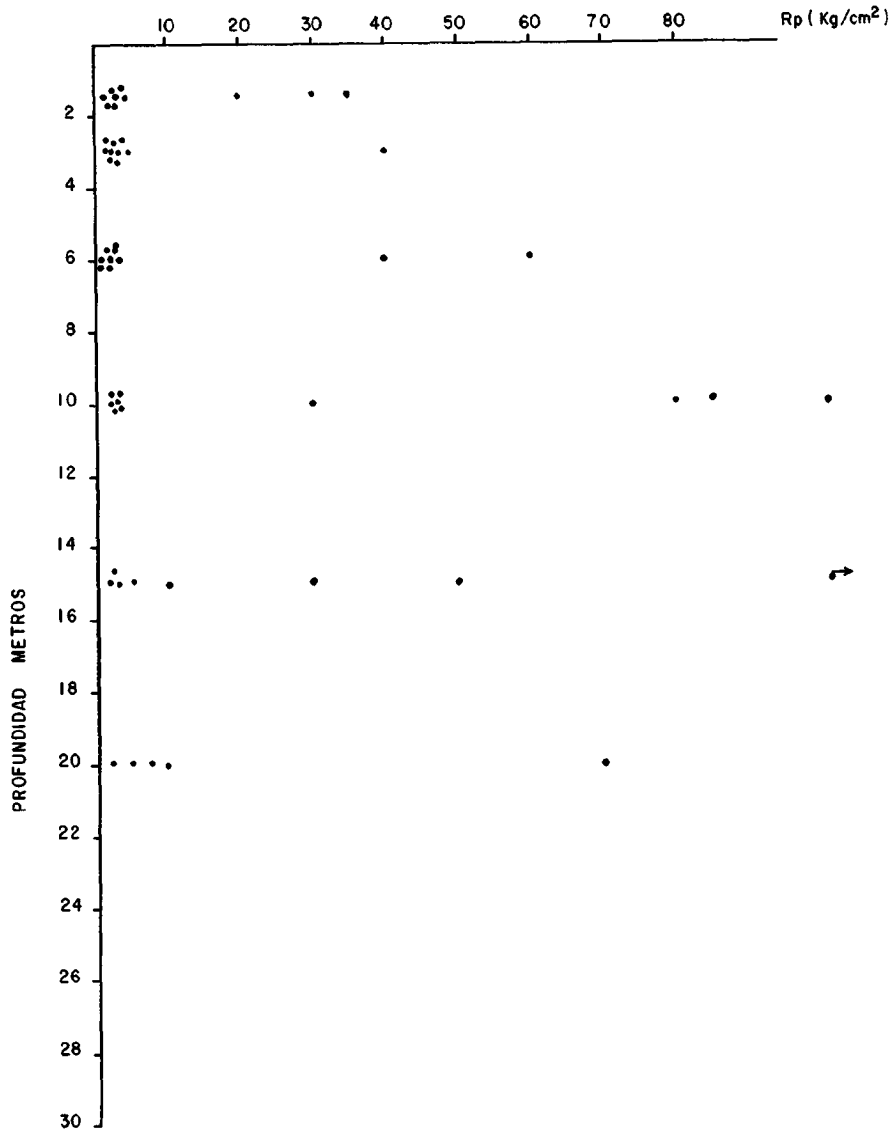


Fig. 22 Resistencia en punta estática - Profundidad. IV₅

En laboratorio se han realizado medidas cuidadosas con vane-test de laboratorio eléctrico sobre muestras inalteradas de fango extraídas con pistón (ver Fig. 23). Se observan valores de c_u (kg/cm²) entre 0,075 y 0,22 kg/cm². No se ha podido constatar un aumento claro de dicho valor con la profundidad. La susceptibilidad (c_u inalterada/ c_u remoldeada), oscila entre 1,2 y 5. La consistencia oscila entre plástica blanda (IC: 0,25 - 0,50) y semilíquida (IC: 0 - 0,25; IC = LL-W/IP), más frecuentemente semilíquida. Las densidades secas suelen ser menores de 1,50 kg/l. Respecto a resistencia a largo plazo, en un Informe Geotécnico sobre el Muelle de Torre Arenilla realizado por Intecsa para el Puerto Autónomo se cita un valor obtenido para el fango de $c' = 0$ $\phi' = 20^\circ$

En cuanto a valores para la **compresibilidad** de estos fangos, se han obtenido en el Informe citado valores de C_c entre 0,22 y 0,84 y valores medios del coeficiente de consolidación $c_v = 10^{-4}$ cm/s. Un informe Geotécnico realizado por Geocisa para el Dique de Contención de Arenas, también facilitado por el Puerto Autónomo, cita valores obtenidos entre 0,19 y 0,71 para el mismo material. Se trata por tanto de materiales muy compresibles. Su propia consolidación provocará la aparición de rozamientos negativos sobre los pilotes, tras la hinca.

(Vane-test en muestras de pistón)

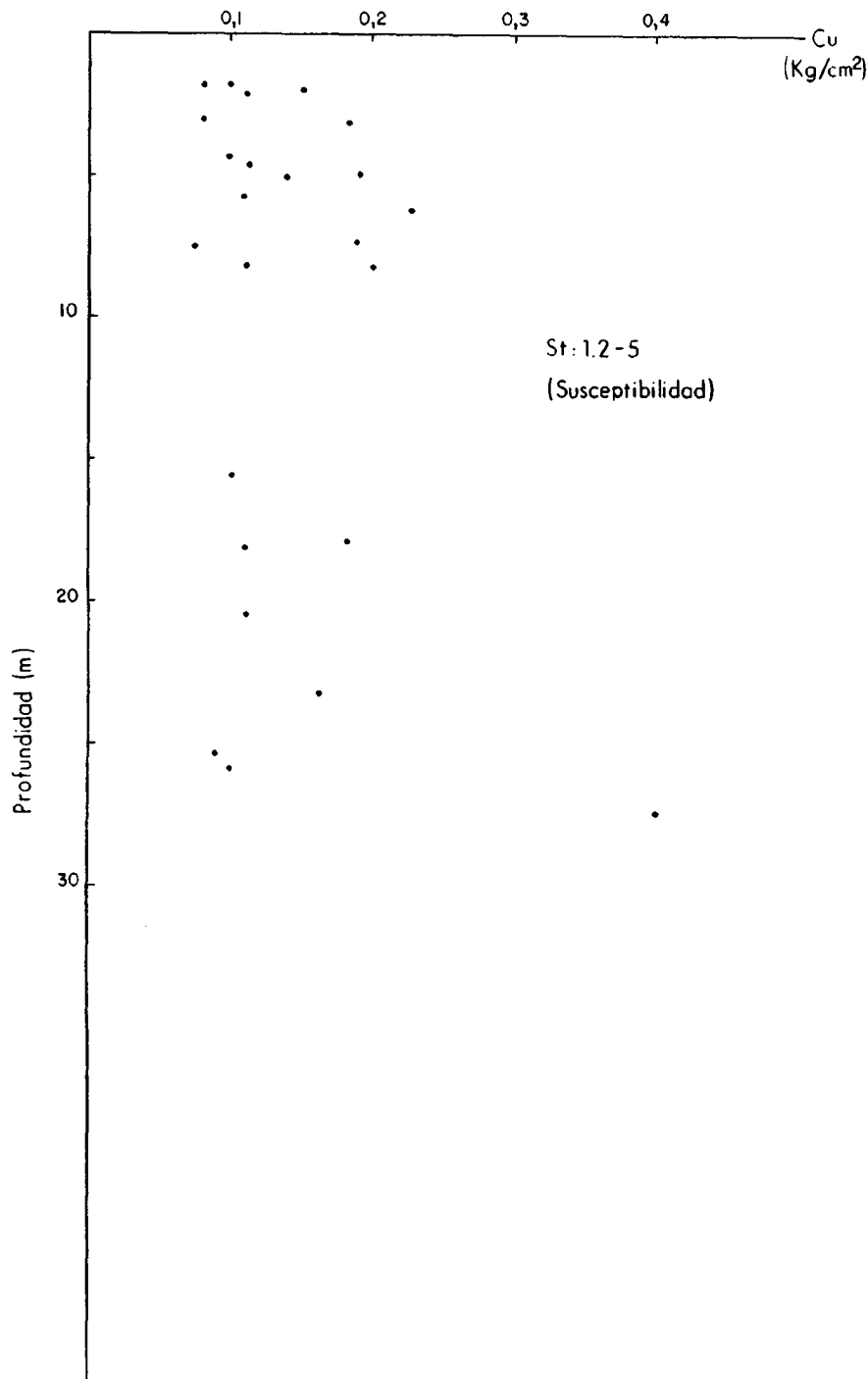


Fig. 23 C_u - Profundidad. IV₅

En cuanto a parámetros con utilidad en obras de tierra, diremos que el CBR para el 100 por ciento Proctor Normal oscila entre 7 y 14 con valores medios de 10,1 y desviaciones Standard de 2,85, y valores para el CBR in situ entre 1 y 8 con valores medios de 4,3 y desviación standard de 1,98. Las densidades secas máximas Proctor Normal oscilan entre 1,75 y 1,89 kg/l con valor medio de 1,78 kg/l y desviación Standard de 0,05 kg/l y las humedades óptimas entre 13,16 por ciento y 27,2 por ciento con valor

medio de 19,2 por ciento y desviación Standard de 4,93 por ciento. El límite líquido, oscilante entre aproximadamente 30 y 62 por ciento, así como el frecuentemente alto porcentaje de Materia Orgánica, a menudo superior al 1 - 2 por ciento, y el paso por el tamiz 0,080 UNE, superior al 50 por ciento las suele colocar bien en el grupo de los suelos inadecuados para terraplenes, bien a veces en el de tolerables.

3.2.9. Zonas IV_6^1 , IV_6^2 y IV_6^3

Genéticamente son similares y su origen común les da un carácter fuertemente errático. Litológicamente son la primera arcillosa, la segunda arenoso-limosa y la tercera arcillosa y granular (Rivera del Nicobia). Mecánicamente son todas zonas donde pueden presentarse blandones entre materiales más resistentes (que se han detectado en alguna de las obras. Ver Mapa de Características Geomecánicas). Junto a valores aceptables, como pueden ser p.e. valores del SPT de 18, se presentan valores iguales a 0. Es poco significativo, en especial por el bajo número de reconocimientos practicados, el dar valores que pueden por otra parte verse en el Mapa. Lo realmente significativo es el brusco contraste de resistencias que se encuentra.

En cuanto a parámetros de uso en obras de tierra, por lo que respecta a CBR_{100} , W_{op} y γ_{op} , es conveniente consultar los correspondientes a las áreas madre, concretamente I_1 para IV_6^1 y II_1 para IV_6^2 . IV_6^3 es bastante parecido a IV_1^2 , más concretamente a los materiales tipo terraza de San Juan del Puerto, aunque debe vigilarse la materia orgánica, alta en la parte más superficial.

3.2.10. Zonas IV_7^1 y IV_7^2

Son materiales a los que puede aplicarse de forma íntegra todo lo dicho respecto a IV_6^1 y IV_6^2 respectivamente, tanto en sentido litológico como mecánico.

3.2.11. Zona IV_8

Como todos los materiales de relleno, debe ser contemplada cautelosamente desde el punto de vista mecánico. Tanto el origen dispar de los rellenos como la falta de control y compactación en su colocación, hacen que sea prácticamente inútil el caracterizarlos mecánicamente, pues siempre se presentarán zonas blandas o materiales altamente compresibles donde menos se espere. Lo significativo, más que las características mecánicas, es esto: su alta variabilidad y la probabilidad de encontrar zonas excepcionalmente compresibles. Esto, puede atenuarse en el caso de vertido industriales homogéneos y controlados.

4 CONDICIONES CONSTRUCTIVAS PARA CIMENTACIONES Y OBRAS DE TIERRA DE LAS DIVERSAS ZONAS GEOTECNICAS

(Ver Mapa de Características Geomecánicas y Condiciones Constructivas).

4.1. METODOLOGIA

4.1.1. CONDICIONES DE CIMENTACION

En cuanto a las **Condiciones de Cimentación**, se han englobado en ellas:

Presiones admisibles: son aquellas presiones de cimentación correspondientes a cargas verticales y centrales que garantizan la producción de asentamientos absolutos medios inferiores a 2,50 cm en suelos granulares (gravas, arenas, limos arenosos) y 5 cm en suelos cohesivos (arcillas, limos arcillosos). Se han determinado para zapata de 1,50 m x 1,50 m. Estos asentamientos son aquellos que para edificaciones u obras ordinarias no suelen originar problemas derivados de distorsiones angulares excesivas (agrietamientos, etc.).

Las presiones admisibles se han determinado en cuanto a su **intervalo de variación**. La distribución estadística de frecuencias, puede obtenerse para las zonas más prospectadas de los gráficos que se acompañan en el apartado anterior, al menos en lo que se refiere a presiones de rotura. La obtención del valor de la presión admisible en cada uno de los puntos (o en una malla suficientemente cerrada para propósitos de construcción puntual,

p.e. de 100 m x 100 m), es tal como se ha señalado una empresa imposible a las escalas de trabajo utilizadas y a la densidad de investigación realizada. Esta imposibilidad (incluso en representación gráfica), puede ser subsanada sólo en parte para las zonas más prospectadas (I₁, II₁ y IV₅) que son las que ocupan las 3/4 partes del Mapa, mediante el uso de las distribuciones estadísticas de frecuencias (ver apartado anterior).

Los intervalos señalados poseen validez en el caso de zonas erráticas (compuestas por depósitos granulares y cohesivos) y para los **estratos granulares** únicamente en la medida en que el espesor de estos bajo la cota de cimentación sea igual o superior a 2 veces el ancho del cimentación. El nivel freático se ha supuesto a una profundidad bajo cimentación de 2 x 1,50 m.

Es necesario distinguir dos casos para exponer el método seguido para la obtención de los intervalos de presiones admisibles. **En primer lugar** el caso de las Zonas Geotécnicas donde existe un número mínimamente significativo de ensayos in situ y laboratorio. Se han utilizado:

a) **Ensayos de campo:** en primer lugar los datos derivados del Standard Penetration Test, SPT (nº golpes/30 cm). Para el caso de materiales granulares, se ha utilizado el ábaco de Terzaghi-Peck (1967) SPT-Ancho de cimentación. Para suelos cohesivos en ausencia de ensayos de laboratorio, la fórmula aproximada $\sigma_{ad} = N/10$ (kg/cm²) N = SPT.

En segundo lugar, tanto para suelos granulares como cohesivos, la fórmula aproximada, empírica:

$$\sigma_{ad} = 4 - p \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$p = \text{penetración Borro (cm/golpe)}$

En tercer lugar, la fórmula en función de la Resistencia en Punta R_p (kg/cm²) a la penetración estática en medios coherentes (zapata cuadrada, Sanglerat Terzaghi):

$$\sigma_{ad} = k \cdot R_p \quad k : 0,25 - 0,12$$

Por último, se ha comparado con los ensayos de carga con placa de 30 cm de diámetro, en especial de cara a la evaluación de presiones de rotura mínimas del suelo.

b) **Ensayos de laboratorio:** fundamentalmente para suelos cohesivos. Se ha utilizado la resistencia a compresión simple y ensayos de vane-test para presiones de rotura a corto plazo. La presión admisible, se ha determinado con factor de seguridad 3 respecto a rotura, y asientos garantizados por la fórmula:

$$S = \sum m_{vj} \cdot H_i \Delta \sigma$$

S = Asiento en centímetros
 m_v = Módulo de compresibilidad volumétrico, centímetros cuadrados/kilogramo
 H_i = Espesor de cada uno de los estratos dentro de la zona comprimida en centímetros
 $\Delta \sigma$ = Presión inducida en el punto medio de cada uno de los estratos, kilogramo/centímetro cuadrado

En segundo lugar se hallan Zonas Geotécnicas que bien por su escasa entidad superficial o por dificultades intrínsecas debidas al tipo de material, no han sido prospectadas o lo han sido muy escasamente. (Están indicadas con un asterisco en el Mapa, Condiciones de Cimentación). En este caso, y en base a las observaciones de campo, se ha clasificado el suelo por su consistencia o densidad relativa y de ahí, en base a la Normativa citada en Características Geomecánicas, se han deducido las presiones admisibles. Se trata de datos en general menos fiables que los de las otras zonas, pero razonablemente adecuados para las finalidades perseguidas en el presente Mapa.

Es de gran utilidad para el planificador urbanístico, el arquitecto y el ingeniero, conocer lo que significa concretamente la presión admisible. Como una aproximación puede indicarse lo siguiente. Para que pueda utilizarse **cimentación superficial por zapatas aisladas o combinadas**, se necesitan:

- Para edificios de 3 alturas: aprox. $\sigma_{ad} = 0,5 \text{ kg/cm}^2$
- Para edificios de 6 alturas: aprox. $\sigma_{ad} = 1 \text{ kg/cm}^2$
- Para edificios de 10 alturas: aprox. $\sigma_{ad} = 1,5 \text{ kg/cm}^2$

Para cimentación superficial por losas, se necesitan aproximadamente la mitad de presión admisible, pero deberán comprobarse cuidadosamente los asientos, en especial para presiones admisibles menores de 1 kg/cm^2 .

Caso de no poderse utilizar losa, o de resultar menos económica, deberá irse a **cimentación profunda** por pilotajes, a cimientos flotantes, etc.

Problemática de Cimentación: una de las mayores utilidades que puede ofrecer el presente Mapa, es la indicación de los principales problemas con que puede encontrarse toda cimentación concreta. El conocimiento previo de esto ayudará, tanto en el planteamiento de la campaña de Investigación Geotécnica Suplementaria (ver), como en el diseño y construcción de la cimentación. Esta problemática, está indicada para cada Zona Geotécnica.

4.1.2. OBRAS DE TIERRA

Se comprenden en este apartado los siguientes conceptos: Facilidad de Excavación; Estabilidad de Taludes; Empujes sobre Contenciones; Aptitud para Préstamos; Aptitud para Explanada de Carreteras; Obras Subterráneas. Se comentará el método seguido para la clasificación de las diversas Zonas respecto a este tipo de obras.

En cuanto a la **Facilidad de Excavación**, los terrenos se han clasificado de acuerdo con la Norma Tecnológica de Edificación, Vaciados, en: a) Duros: atacable con máquinas y/o escarificador, pero no con pico, como terrenos de tránsito, rocas descompuestas, tierras muy compactadas. b) Medio: atacable con pico pero no con pala. c) Blando: atacable con pala. Se ha introducido la clase muy blanda para fangos y rellenos flojos.

En cuanto a la **Estabilidad de Taludes Naturales** se ha procedido por observación en el terreno. Se señalan los factores que pueden degradar la estabilidad. El análisis de **Taludes artificiales**, puede hacerse teniendo en cuenta las características geomecánicas por alguno de los múltiples métodos existentes. En nuestra opinión, dado el carácter meramente probabilístico de los parámetros que se elijan, no tiene mucho sentido la utilización de métodos complicados. En una primera aproximación, que deberá ser analizada con más detalle, bajo el término estable se engloban aquellos terrenos que admiten taludes 1,5/1 (H/V) para alturas de hasta unos 6 m sin mayor problema, e inestables los que no lo admiten.

Respecto a los **Empujes sobre Contenciones**, se refieren a contención del terreno natural, no de rellenos realizados con los materiales de cada zona. Está muy ligado a la Estabilidad de los Taludes. Para el caso de utilización del terreno como relleno de trasdós, se recomienda la consulta del Terzaghi-Peck (1967), utilizando en una primera aproximación que a menudo será la definitivamente válida, el método semiempírico propuesto por dichos autores.

Respecto a la **Aptitud para Préstamos**, se ha utilizado básicamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de la Dirección General de Carreteras. 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.

En cuanto a la **Aptitud para Explanada de Carreteras** se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y 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, suele referirse a terrenos tolerables, que no es conveniente sean directamente explanadas. Aptos son terrenos frecuentemente adecuados, y por supuesto seleccionados.

Con relación a las **Obras Subterráneas**, se utiliza el término Muy Difícil para suelos muy blandos bajo nivel freático o suelos potencialmente expansivos; el término difícil designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo nivel freático; terreno medio designa suelos firmes, casi rocas blandas, que sólo a veces presentan problemas de nivel freático, y que tienen cierta capacidad de autoaporte o al menos no presentan empujes altos.

4.2. *CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DE LAS DIVERSAS ZONAS GEOTECNICAS*

4.2.1. *Zona I₁*

CONDICIONES DE CIMENTACION

De acuerdo con la Metodología expuesta, las presiones admisibles σ_{ad} para zapata de 1,50 m x 1,50 m, serán a las diversas profundidades:

A - 1,50 m	σ_{ad} : 1-4,8 kg/cm ²
A - 3,50 m	σ_{ad} : 1,25-5 kg/cm ²
A - 8,00 m	σ_{ad} : 1,50- > 6 kg/cm ²

Es decir, en general admite cimentaciones superficiales. No resulta conveniente el empleo de σ_{ad} por debajo de 1 kg/cm², e incluso es aconsejable el empleo de las σ_{ad} máximas que se pueda (de acuerdo con estudios practicados al efecto para cada obra puntual), dado el peligro existente de **expansividad** muy intensa. Este peligro no es altamente probable, pero la dificultad de localizar las zonas expansivas (incluso a pesar de que se realiza un estudio geotécnico) debe poner sobre aviso. En el gráfico adjunto, pueden verse algunas formas de afrontar el problema de la expansividad cuando se presente.

Las aguas freáticas pueden ser agresivas por sulfatos, e igualmente los suelos. La bajísima permeabilidad del conjunto minimiza sin embargo el riesgo.

Dada la sensibilidad de estos materiales a la alteración, se recomienda proceder al hormigonado de cimientos inmediatamente después de excavar; caso contrario, debería procederse a cubrir los fondos de excavación con una capa de hormigón de limpieza para evitar el reblandecimiento.

OBRAS DE TIERRA

Facilidad de excavación: Medio-Duro (a partir de los 3-5 m de profundidad, Duro).

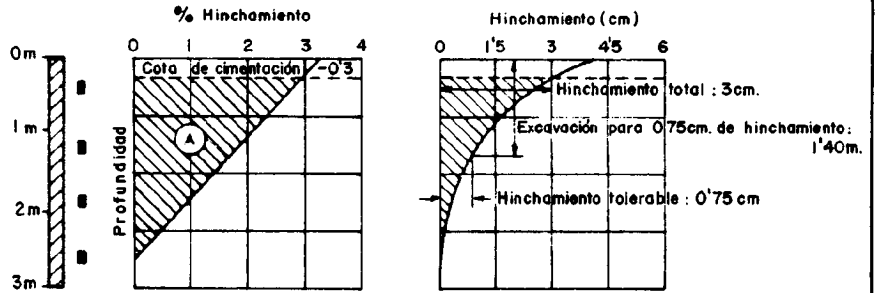
Estabilidad de taludes: los taludes naturales son muy tendidos (10°-15°), clara expresión de la degradación progresiva a que se ven sometidos los taludes empinados. Los taludes **artificiales** provisionales (que hayan de resistir menos de 3 años p.e.) pueden aguantar con cortes verticales alturas de 5-10 m, con pequeños desprendimientos y degradación progresiva; a partir de ese plazo la degradación se acelera por fisuración ligada a las estaciones climáticas secas, que va penetrando hacia dentro del talud y comenzando a causar desprendimientos más numerosos e incluso deslizamientos. Por ello, los taludes permanentes deben ser sumamente tendidos, y en la medida de lo posible protegidos del efecto de la alteración tal y como sucede en las trincheras del F.C. (Foto 9).

Empujes sobre contenciones: irán aumentando a lo largo del tiempo, a menos que se proteja muy bien la superficie superior de la zona deslizante y se de un **drenaje**

EN GENERAL EXISTEN PROBLEMAS DE EXPANSIVIDAD CUANDO EL HINCHAMIENTO ABSOLUTO ES:

$$\geq 1" (2'54 \text{ cm.})$$

SI ES $\geq 2" (5'08 \text{ cm.})$ SUELE SER NECESARIO ADOPTAR LA SOLUCION 7 (A)



■ ARCILLA EXPANSIVA ■ MUESTRA INALTERADA (Hinchamiento por saturación bajo carga igual a recubrimiento + carga inducida por la edificación)

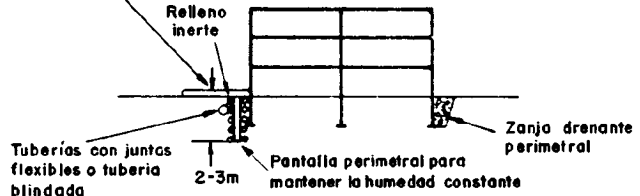
CALCULO: Hinchamiento total = Area (A) $\rightarrow \frac{1}{2} (2'46 - 0'3) \times 0'028 = 3 \text{ cm.}$

1. CALCULO APROXIMADO DEL HINCHAMIENTO ABSOLUTO (Metodo del U.S. Army Corps of Engineers. EM 110-345-147)

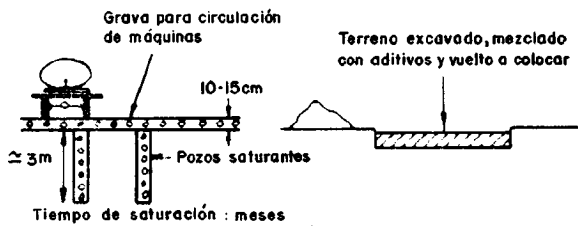


2. PRECAUCIONES ANTE JARDINES Y ARBOLES

Aceras amplias, con buen sistema de evacuación de aguas, lejos del edificio



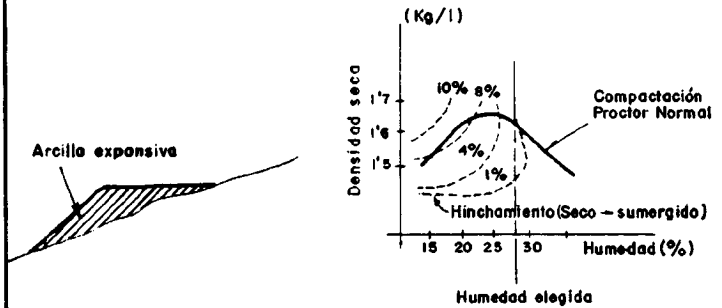
3. PRECAUCIONES ANTE AGUAS DE LLUVIA Y ROTURA DE CONDUCCIONES DE FLUIDOS



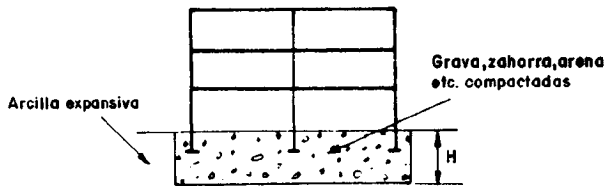
(A) (B)

EN GENERAL CAROS

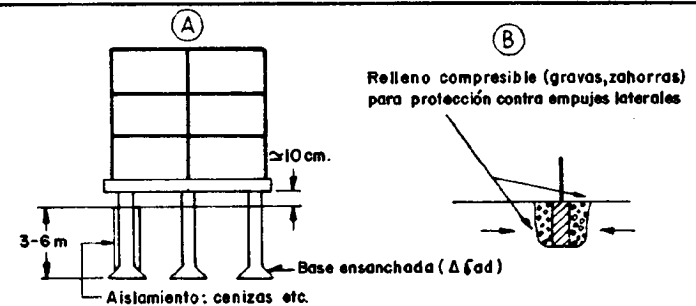
4. (A) SATURACION E HINCHAMIENTO PREVIO
(B) ESTABILIZACION CON CAL, CEMENTO O PRODUCTOS QUIMICOS



5. COMPACTACION CONTROLADA CON LIGERO EXCESO DE HUMEDAD



6. SUSTITUCION DEL TERRENO POR UN MATERIAL NO EXPANSIVO (CALCULO DE H SEGUN FIGURA 1)



7. (A) PILOTES CORTOS PERFORADOS DE BASE ENSANCHADA A COTAS SIN CAMBIOS DE HUMEDAD/ B PROTECCION DE HINCHAMIENTOS LATERALES.

Fig. 24 Soluciones constructivas para los problemas causados por arcillas expansivas.

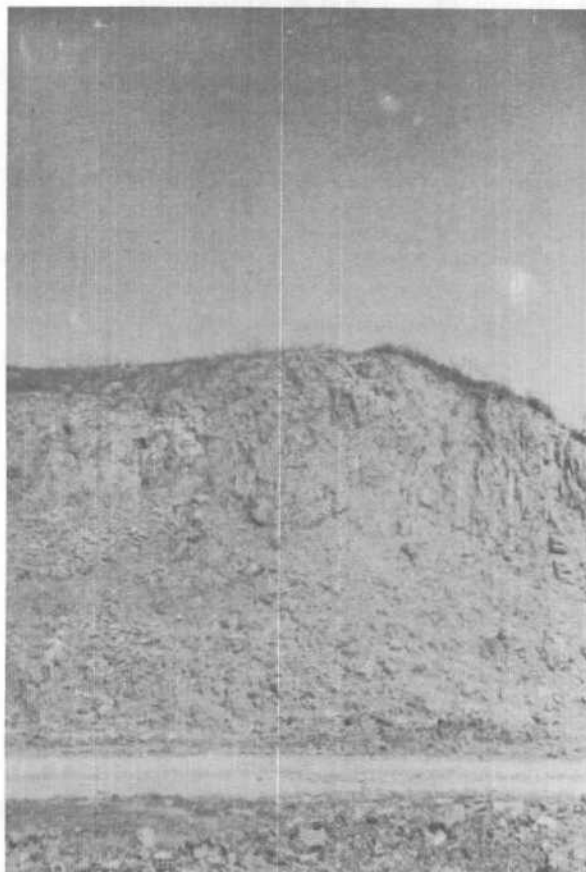


Foto 9. Talud en degradación en I_1

superficial adecuado. El fenómeno se agrava ante la posible expansividad (piénsese p.e. en el efecto de presiones de hinchamiento, que pueden ser normales para este tipo de suelo cuando es expansivo, del orden de $7,5 \text{ t/m}^2$).

Aptitud para préstamos: forman suelos de inadecuados a tolerables. Por tanto, deben ser contemplados en el mejor de los casos como materiales marginales.

Aptitud para explanada de carreteras: por sí solos no pueden constituir explanada E-1. Si se consigue estabilizar sus 15 cm superiores, sí. Debe tenerse un gran cuidado con la posible **expansividad** que puede agrietar o deformar los firmes. Bajo firmes rígidos, pueden producirse fenómenos de pumping.

Obras subterráneas: en el caso de túneles a poca profundidad, es probable que lo más adecuado sea abrir trinchera, realizar la contención y volver a rellenar. Para túneles profundos, la facilidad o dificultad dependerá de la presencia o ausencia de zonas expansivas. En ausencia de éstas, es probable que presente unas condiciones medias; en presencia de expansividad, la problemática puede llegar a ser muy difícil por los enormes empujes sobre la fortificación.

4.2.2. Zonas II_1^1 y II_1^2

CONDICIONES DE CIMENTACION

Como ya se indicó II_1^1 , tiene características mecánicas algo peores que II_1^2 . Las presiones admisibles σ_{ad} a las diversas profundidades son:

Zona II₁¹

- A - 1,50 m: 1,10-7 kg/cm²
- A - 3,50 m: 1,10-7 kg/cm²
- A - 8,00 m: 1,10-7 kg/cm²

Zona II₁²

- A - 1,50 m: 1,50-9 kg/cm²
- A - 3,50 m: 1,50-9 kg/cm²
- A - 8,00 m: 1,50-9 kg/cm²

En ambos casos las cimentaciones serán de tipo superficial. Cabe esperar (aunque los niveles freáticos suelen estar profundos y ello minimiza el problema), en especial en II₁² problemas de **sifonamiento** en excavaciones bajo el nivel freático. En las cotas más bajas de II₁¹, cercanas a las arcillas margosas de I₁, pueden llegarse a presentar problemas de expansividad, aunque no son muy probables. Las excavaciones para cimentación, salvo presencia del nivel freático, se mantendrán estables en cortes verticales, al menos durante los primeros 5 m, y con un ligero abancalamiento, conveniente para prevenir los desprendimientos, pueden llegarse a alcanzar profundidades considerables sin necesidad de sostenimiento alguno. Deben atenderse posibles subpresiones.

OBRAS DE TIERRA

Facilidad de excavación: de Medio en superficie a Duro en profundidad.

Taludes: los taludes **naturales**, tal y como puede observarse en múltiples sitios, son estables (salvo lo que se comenta a continuación), para cortes prácticamente verticales de entre 10 y 25 m. Únicamente y tal como se describió en Riesgos Geológicos (ver apdo. 2), presentan problemas de **desprendimientos** de profundidad variable. El problema suele presentarse a largo plazo. Por ello, en taludes permanentes debe adoptarse una de las dos medidas siguientes: a) Abancalamiento con pendientes tipo 1/1. b) Separación prudencial del tráfico o de las construcciones del borde del talud (un mínimo equivalente a 1-1,5 veces su altura). El efecto catastrófico de estos desprendimientos puede verse a la luz de lo ocurrido en la Calle Aragón, con varias víctimas. Respecto a taludes **artificiales**, sirva lo dicho más arriba en una primera aproximación. Debe tenerse bien presente la forma de producirse los desprendimientos. Dado el carácter muy erosionable de los taludes, la provisión de un drenaje que arroje fuera del talud las aguas pluviales e impida la degradación del mismo, sobre todo por infiltración a través de las grietas de tracción, es obligada.

Empujes sobre contenciones: los empujes del terreno natural serán bajos siempre que se provea una adecuada protección en la parte superior del terreno para evitar la infiltración de aguas, en especial por las grietas de tracción. En caso contrario serán medios. También en el caso de II₁¹, más arcilloso, pueden ser medios; debe estarse atento a la presencia de algún problema de expansividad.

Aptitud para préstamos: II₁¹ puede considerarse de Marginal a Apto; II₁², Apto.

Aptitud para explanadas de carreteras: la aptitud para explanadas tipo E-1, puede considerarse de Marginal a Apto para II₁¹, y Apto para II₁².

Obras Subterráneas: pueden considerarse como terrenos medios, en especial II₁¹, que por su mayor fracción arcillosa, tendrá mejor comportamiento. Debe tenerse precaución bajo el nivel freático (profundo como ya se ha dicho) por la posibilidad de **sifonamientos**, en especial en II₁². Para túneles superficiales, será más ventajosa su excavación en trinchera.

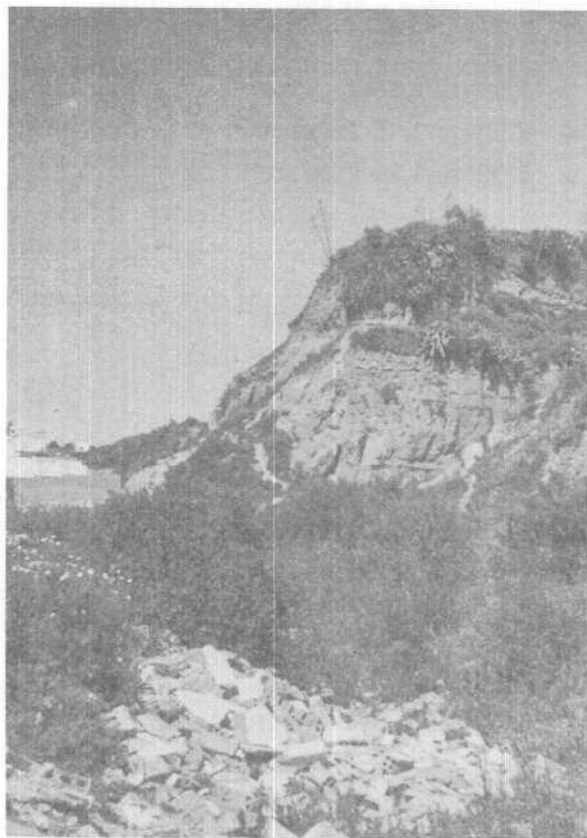


Foto 10. Desprendimiento de lienzos en II₁

4.2.3. Zonas III₁ y IV₁

CONDICIONES DE CIMENTACION

Ambas zonas, salvando la diferencia de espesor (aproximadamente el doble en III₁), presentan características constructivas similares.

Para los **niveles granulares**, y siempre que su espesor bajo cota de cimiento sea al menos el doble del ancho (dimensión mínima) de la cimentación, se puede usar:

$$\sigma_{ad}: 2-6 \text{ kg/cm}^2$$

Para los **niveles cohesivos**:

$$\sigma_{ad}: 2,40 - 4,80 \text{ kg/cm}^2$$

El tipo de cimiento será **superficial**. Se trata de unas Zonas con condiciones de cimentación francamente buenas. La única problemática que puede darse es en el caso de tener que cimentar a cotas relativamente profundas, donde exista la posibilidad de cortar el nivel freático (ver Hidrología Subterránea). En tal caso, a través de niveles granulares saturados, pueden irrumpir en la excavación caudales importantes de agua. Ello es poco probable sin embargo por estar bajos los niveles freáticos.

OBRAS DE TIERRA

Facilidad de excavación: de Medio a Duro.

Estabilidad de taludes: en cuanto a los taludes **naturales**, dado la presencia de una

pequeña proporción de finos, resultan en general estables, salvo pequeños desprendimientos. Los taludes **artificiales**, para las pendientes normales tipo 1,5/1 (H/V) y alturas no superiores a 10 m serán en general estables, pudiéndose ir incluso a taludes más empinados siempre que se observe presencia de finos o algún grado de cementación en ellos.

Empujes sobre contenciones: para alturas no superiores a 10 m, y siempre que se de un adecuado drenaje, serán bajos.

Aptitud para préstamos: se trata de las zonas más aptas para préstamos. De hecho, los niveles granulares (ver Yacimientos y Explotaciones de Materiales empleados en construcción) son objeto de aprovechamiento como zahorras con esta finalidad. Sin ser objeto de selección, sino de mezcla in situ, y cuidando la separación de los cantos más gruesos (en general poco abundantes) y el porcentaje de arcilla, constituirán suelos tolerables o adecuados, si se procede a la selección de los granulares, serán suelos a menudo tipo seleccionados.

Aptitud para explanadas de carretera: pueden considerarse globalmente como aptos para constituir explanadas tipo E-1, siempre que se proceda a mezclas adecuadas.

Obras subterráneas: siendo duras las arcillas, conteniendo los niveles granulares una cierta proporción de finos y no estando bajo el nivel freático, no parece que existan problemas de cara a túneles relativamente superficiales. Los túneles profundos, bajo nivel freático pueden presentar problemas importantes de agotamientos de agua subterránea, y es probable que haya de recurrirse a inyecciones u otros procedimientos especiales. No debe despreciarse la posibilidad de niveles colgados de agua subterránea en suelos granulares sobre suelos cohesivos. Por todo ello, se ha clasificado como terreno medio.

4.2.4. Zona IV₁²

CONDICIONES DE CIMENTACION

El carácter sensiblemente más arcilloso que en IV₁² y el nivel freático algo más alto, así como el menor grado de consolidación de sus materiales finos, hacen que estas condiciones sean un poco peores que las comentadas para las otras terrazas.

La presión admisible, σ_{ad} , será para los **niveles granulares:**

$$\sigma_{ad}: 2 - 6 \text{ kg/cm}^2$$

y para los **niveles cohesivos y finos:**

$$\sigma_{ad}: 1 - 4,80 \text{ kg/cm}^2$$

Admitirá en general cimentaciones **superficiales**, aunque quizá sea necesario acudir a losas para edificios altos. Los problemas derivados del corte del nivel freático por excavaciones, serán similares a los descritos para las zonas anteriores, pero atenuados por el carácter más arcilloso, en especial para la terraza de San Juan del Puerto.

OBRAS DE TIERRA

Son similares a las comentadas para las zonas anteriores salvo:

Facilidad de excavación: Medio.

Empujes sobre contenciones: Bajos, salvo en San Juan del Puerto, muy arcillosa, que serán medios-altos.

Aptitud para préstamos: de Marginal a Apto; Marginal en especial en San Juan del Puerto.

Aptitud para explanada de carreteras: Marginal en San Juan del Puerto; Apto en el

resto de estas terrazas, previa mezcla de los materiales para corregir exceso de arcillas.

4.2.5. Zona IV₂

CONDICIONES DE CIMENTACION

La altísima compresibilidad y la baja resistencia al corte, hacen que la presión admisible en estos suelos sea extremadamente pequeña y que cualquier tipo de construcción deba ir pilotada con pilotes resistentes por punta. Las excavaciones practicadas en este material, con nivel freático en superficie, tendrán graves problemas de levantamiento del fondo, inestabilidad de paredes, agotamientos de agua y subpresiones sobre cimientos.

OBRAS DE TIERRA

Para todos los tipos de obra analizados, excepto su facilidad de excavación los problemas de inestabilidad, condiciones de ejecución o aptitud se darán en su máximo grado.

4.2.6. Zonas IV₃¹ y IV₃²

CONDICIONES DE CIMENTACION

Siempre que se trate de dunas que no están eólicamente vivas, dichas condiciones son excelentes. IV₃² no va a ser considerada pues por su débil espesor, las cimentaciones irán sobre el terreno subyacentes. En cuanto a IV₃¹, tendremos para las diversas profundidades, los siguientes valores de la presión admisible σ_{ad} :

- A - 1,50 m: 2,3-5,3 kg/cm²
- A - 3,50 m: 3-6 kg/cm²
- A - 8,00 m: 4-7 kg/cm²

El tipo de cimentación será **superficial**, incluso para construcciones pesadas. Bajo nivel freático (aproximadamente 6 m de profundidad), las excavaciones presentarán numerosos problemas, pues a pesar de existir numerosas zonas arcillosas, existen zonas casi desprovistas de finos que se sifonarán. Este fenómeno del sifonamiento, creará numerosas dificultades. Deberían en la medida de lo posible, evitarse este tipo de excavaciones; caso de ser necesarias, será prácticamente obligada la ejecución previa de pantallas y las inyecciones en solera u otros procedimientos que impidan la afluencia de las aguas a la excavación.

OBRAS DE TIERRA

Facilidad de excavación: Blando-Medio.

Estabilidad de taludes: los taludes, tanto naturales como artificiales, serán en una primera aproximación estables, para ángulos menores del de rozamiento interno, que oscilarán entre los 34° y 40°, es decir, que admiten taludes normales tipo 1,5/1 (H/V). La presencia de una cierta proporción de finos arcillosos, mejora las características de estabilidad. Esto, no es sin embargo válido para taludes que corten el nivel freático cuya estabilidad puede ser muy precaria dada la sensibilidad de los materiales para la erosión interna. Los taludes son muy erosionables por la acción de aguas pluviales corrientes que puede traducirse en inestabilidad.

Empujes sobre contenciones: serán de tipo medio. Debe cuidarse muy bien el drenaje para evitar sobreempujes hidrostáticos.

Aptitud para préstamos: pueden considerarse suelos aptos. Esto es muy ventajoso por su fácil excavabilidad.

Aptitud para explanadas de carreteras: son aptos para constituir explanadas tipo E-1 e incluso más favorables. Debe compactarse adecuadamente, obteniéndose CBR (ver Características Geomecánicas) mayores de 10.

Obras subterráneas: por empujes, nivel freático, falta de cohesión adecuada, y problemas de sifonamiento, debe considerarse terreno difícil. Los túneles superficiales con toda probabilidad serán más económicos y rápidos ejecutados por excavación en trinchera incluso con pantallas de contención previas y filtros con el debido sistema de agotamiento.

4.2.7. Zonas IV_4^1 y IV_4^2

CONDICIONES DE CIMENTACION

De acuerdo con el sondeo realizado y las observaciones practicadas, se tendrá una presión admisible de:

$$\sigma_{ad}: 1 - 5,40 \text{ kg/cm}^2$$

Admitirá en general cimentación superficial muy aceptablemente. En las zonas sometidas a la erosión del oleaje o a acciones de deposición, este extremo deberá preverse adecuadamente, bien para situar la cimentación a niveles más profundos, bien para recrecer. Esto es especialmente importante para IV_4^2 . Debe tenerse presente que las aguas freáticas serán a menudo agresivas en zonas cercanas al Odiel (selenitosas, sustancias químicas).

El mayor problema será la situación de cimientos bajo el nivel freático, que está situado entre 1-2 m de profundidad. Aparecerán problemas muy importantes de agotamientos; inestabilidad de paredes; gradientes hidráulicos críticos, etc. Será necesario recurrir a pantallas, filtros e inyecciones en solera, etc. Deberán preverse las acciones de la subpresión sobre zapatas, losas, etc.

OBRAS DE TIERRA

Facilidad de excavación: Blando-Medio.

Estabilidad de taludes: los taludes **artificiales** siempre que se encuentren sobre el nivel freático, serán estables para pendientes menores del ángulo de rozamiento interno, es decir, con pendientes 1,5/1 - 2/1 (H/V) aproximadamente; bajo el nivel freático pueden sufrir degradaciones importantes, en especial por degradación progresiva del pie por concentración de las líneas de corriente del agua subterránea, ebullición con gradientes hidráulicos críticos, etc. Será conveniente la posición de filtros en solera u otros procedimientos.

Empujes sobre contenciones: serán de Medios (sobre nivel freático) a Altos (bajo nivel freático). La ejecución de contenciones deberá hacerse bien por moldeo in situ (pantallas), bien por depresión del nivel freático, excavación y relleno del trasdós. Deberán preverse subpresiones sobre el cimiento.

Aptitud para préstamos: puede considerarse Apto (adecuado - seleccionado), con la adecuada compactación, que será con máquinas vibrantes o neumáticos.

Aptitud para explanadas: es muy apto para constituir explanadas tipo E-1, e incluso tipo E-2. Puede presentar problemas muy acusados de drenaje.

Obras subterráneas; debe ser considerado terreno francamente difícil por su falta de cohesión y estar bajo nivel freático. La realización de túneles superficiales debe prever-

se con pantallas u otro tipo de contención, y agotarse adecuadamente. La horadación de túneles subterráneamente es impracticable sin métodos especiales (inyección, congelación, etc.)

4.2.8. Zona IV₅

CONDICIONES DE CIMENTACION

Como ya se indicó, bajo la superficie de la Zona IV₅ coexisten dos tipos de materiales: los propios de marisma, que son unos fangos arcillosos orgánicos y barras antiguas arenosas (tipo IV₄) enterradas, que a veces llegan a aflorar y son entonces cartografiadas como tales.

Los valores de la presión admisible, σ_{ad} , serán:

Suelos fangosos:

$$A - 1,50 \text{ m: } \sigma_{ad}: 0,1-0,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$A - 3,50 \text{ m: } \sigma_{ad}: 0,1-0,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$A - 8,00 \text{ m: } \sigma_{ad}: 0,1-0,3 \text{ kg/cm}^2$$

Suelos granulares (barras marinas)

$$\sigma_{ad}: 1 - 5,40 \text{ kg/cm}^2$$

Para usar valores en las cimentaciones superficiales sobre barras, debe comprobarse cuidadosamente que el espesor de barra es mayor de 2 veces el ancho del cemento.

Se constata que salvo para estructuras muy ligeras (máximo 2 alturas), las cimentaciones sobre fangos deberán ser profundas, **pilotadas**. (En las fotos adjuntas puede verse una máquina de Rodio, S.A. para pilotes excavados, foto 11). La producción de asientos elevados, da lugar a grietas en edificios bajos al ser afectados por el asiento de edificios colindantes sobre placa (ver foto 12). Siempre que se recrezca (p.e. para evitar acciones de mareas excepcionales, etc.), debe preverse la presencia de **rozamientos negativos** en el fuste del pilote que deberán ser evaluados para el coeficiente de seguridad. No debe despreciarse tampoco la **sensibilidad** (1,2-5), que provocará en una primera etapa posterior al hincado una caída sensible de los valores de la adherencia. La **adherencia** sobre el fuste del pilote será del orden de $0,45 c_u$ (Skempton, 1959), es decir, entre $0,033$ y $0,1 \text{ kg/cm}^2$. Sin embargo, el levantamiento del suelo que se producirá en el caso de pilotes hincados, y en especial en los grupos de pilotes escasamente separados, provocará la aparición de rozamientos negativos con lo que es dudoso que se pueda contar con la adherencia fango-fuste en pilotes hincados. En los pilotes perforados, en principio sí. De todas formas, con valores medios de c_u ($0,05 \text{ kg/cm}^2$) y para pilotes aislados de 20 m y $0,50 \text{ m}$ de diámetro, se obtienen resistencias por fuste de 15 t , que con una resistencia en punta de unos $0,5 \text{ kg/cm}^2$ (σ_{ad} en punta = $R_p/6$ R_p = Resistencia en punta del penetrómetro estático. G. Sanglerat 1965) sería de unas 16 t . Pensando en grupos de 3 pilotes encepados por apoyo, se podría llegar a unas 40 t/apoyo . En base a esto, parece admisible a priori para edificaciones no muy altas, que podría ser posible el uso de pilotes perforados flotantes. Sin embargo, dada la presencia de capas resistentes, bien intercaladas entre los depósitos fangosos (barras), bien de las arcillas margosas de I_1 que subyacen a fangos y barras, en mi opinión es preferible profundizar un poco más y situar los pilotes sobre estos estratos lo que incrementará grandemente la capacidad portante por pilote y reducirá por tanto su número y costo. Es conveniente, ver la posibilidad de implantar **cimientos flotantes**, compensando el peso del edificio con el peso de las tierras extraídas.

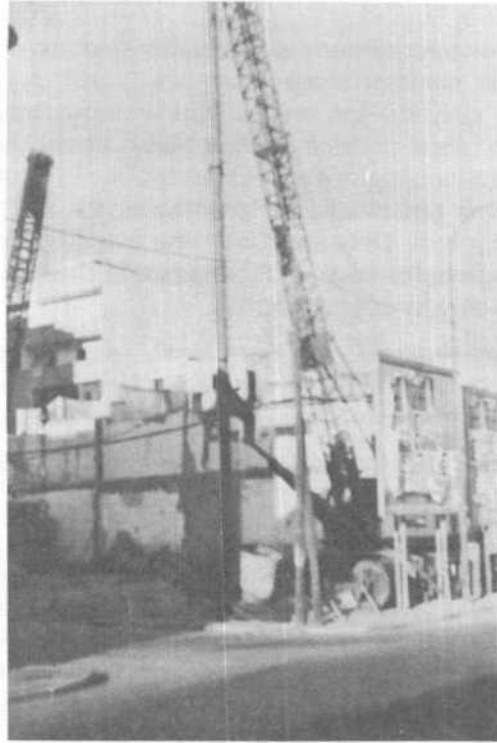


Foto 11. Máquina de ejecución de pilotes excavados en IV₅ (RODIO, S.A.)



Foto 12: Casa baja cimentada en IV₅, agrietada por la influencia de una edificación más alta

En las excavaciones, se presentarán **levantamientos de fondo** y fuertes **empujes**, casi de tipo hidrostático ($K_{AH} \approx 1$; coeficiente de empuje activo horizontal).

Las aguas subterráneas son francamente agresivas (sulfatos, sustancias químicas). Deberá también hacerse frente en las soleras a las subpresiones.

OBRAS DE TIERRA (Fangos)

Facilidad de excavación: muy Blando.

Estabilidad de taludes: no existen taludes naturales en esta zona, caracterizada por

una topografía planas. Los taludes que sea necesario ejecutar para obras, tendrán múltiples problemas dadas las características mecánicas, muy bajas. Según Terzaghi-Peck (1967), la altura máxima que admiten estos suelos arcillosos muy blandos en corte vertical, es menor de 1,50 m. Esto da idea de que será necesario utilizar entibaciones para zanjas y por supuesto para excavaciones de cimentación. El problema se complica por la existencia, dada la bajísima resistencia, de **levantamientos de fondo** para profundidades moderadas, entre unos 3 y 9 m. Debe prestarse una atención especial a este problema en las soleras de recintos excavados contenidos artificialmente, pues esto puede provocar problemas económicos importantes y accidentes.

Empujes sobre contenciones: son muy altos. Terzaghi-Peck (1967), citan valores de casi 1,6 t/m².ml para el coeficiente de empuje horizontal $K_H(K_A \cdot \gamma)$ en este tipo de terrenos dentro de su método semiempírico para muros pequeños.

Aptitud para préstamos: no serán en general aptos (suelos inadecuados), aunque a veces pueden ser suelos tolerables.

Aptitud para explanada de carreteras: tampoco son aptos para constituir explanadas tipo E-1. Las carreteras ubicadas en esta zona tendrán el problema del gran asentamiento que pueden sufrir en cuanto la altura de terraplén sobrepase de 0,5-1 m. Para alturas poco superiores a estas, se romperá el terraplén y el suelo situado bajo él. No resulta conveniente excavar estos terrenos antes de terraplenar, ya que aproximadamente los 1-1,50 m superiores suelen estar algo preconsolidados por desecación, y pueden actuar como capa de reparto, con un efecto bastante beneficioso.

Obras subterráneas: por bajísima resistencia mecánica, nivel freático superficial y agresivo, altísimos empujes, resulta un terreno muy difícil.

Debe estarse prevenido de la posibilidad de aparición en excavaciones profundas, de gases peligrosos para los trabajadores, fruto de la descomposición de materia orgánica. Probablemente la única forma de ejecución sea la excavación en trinchera previa depresión del nivel freático.

4.2.9. Zonas IV_6^1 , IV_6^2 y IV_6^3

CONDICIONES DE CIMENTACION

Lo significativo de estas Zonas, es la coexistencia de niveles resistentes con niveles francamente blandos, así como lo errático de la disposición de ambos tipos de material.

Puede contarse con los siguientes valores de la presión admisible, σ_{ad} :

Zonas IV_6^1 y IV_6^2

$$\sigma_{ad} < 1 \text{ kg/cm}^2$$

Zona IV_6^3

Niveles finos: $\sigma_{ad} < 1,20 \text{ kg/cm}^2$

Niveles granulares: σ_{ad} : 2-6 kg/cm^2

Estos últimos valores podrán aplicarse cuando efectivamente se compruebe un espesor bajo cimiento del nivel granular, mayor de 2 veces el ancho del cimiento.

A la vista de las anteriores presiones admisibles puede concluirse que el tipo de cimentación será para estructuras ligeras a medias (menos de 6 alturas) de tipo **superficial y profundo** para estructuras más pesadas. Las cimentaciones profundas deberán buscar su asentamiento en las zonas subyacentes, más resistentes.

Debe estarse muy atento a la aparición de **asientos diferenciales** importantes ante

el hecho de que una parte de la estructura apoye sobre material granular y otra sobre arcillas o limos blandos.

La relativa superficialidad del nivel freático causará numerosos problemas en excavaciones para cimentación, sobre todo en IV_6^2 , independientemente de las subpresiones a que de lugar, y de los agotamientos que sea preciso realizar, que en el caso de IV_6^3 pueden ser a veces de importancia.

OBRAS DE TIERRA

Facilidad de excavación: Blando en IV_6^1 , IV_6^2 y niveles finos de IV_6^3 ; Blando-Medio en niveles granulares de IV_6^3 .

Estabilidad de taludes: por la morfología plana, no son observables más que los taludes naturales correspondientes al escarpe de los lechos de río o arroyo, que son muy pequeños y están sometidos frecuentemente a la acción erosiva fluvial en avenidas, no siendo por tanto muy representativos. Los taludes **artificiales**, serán como norma general inestables por la presencia de niveles blandos y de un nivel freático alto. Esto es especialmente cierto en IV_6^2 donde era imposible excavar sin inestabilidad a la profundidad de 1,50 m de los pocillos.

Empujes sobre contenciones: serán altos por lo blando de algunos de los materiales, y sobre todo por lo alto del nivel freático que introducirá un elevado sobreempuje hidrostático.

Aptitud para préstamos: es similar a la de las áreas madres, pero algo peor por la presencia frecuente de materia orgánica y una heterogeneidad mucho mayor. El elevado contenido de humedad supone también un handicap notable. En consecuencia:

IV_6^1 : No Apto.

IV_6^2 y IV_6^3 : Marginales

Aptitud para explanadas de carretera: ninguno de estos terrenos es apto directamente para constituir explanadas tipo E-1. IV_6^2 y IV_6^3 pueden considerarse marginales, es decir, que con mezclas adecuadas pueden llegar a constituir este tipo de explanadas. No resulta conveniente excavar mucho este tipo de terrenos para constituir explanadas, por la posibilidad de tropezar con el nivel freático o con la zona del agua capilar suprayacente, que causará problemas adicionales de compactación por su elevada humedad.

Obras subterráneas: por blandura, nivel freático alto y altos empujes, debe ser considerado terreno difícil. Probablemente la única forma practicable sea la ejecución en trinchera previa depresión de los niveles freáticos.

4.2.10. Zonas IV_7^1 y IV_7^2

Les es de aplicación íntegra todo lo dicho para IV_6^1 y IV_6^2 respectivamente. Debe pensarse que el nivel freático puede estar en ligera carga, lo que aumentará los problemas de agotamiento, subpresiones e inestabilidad de excavaciones y taludes.

4.2.11. Zona IV_8

Dado lo expuesto en Características Geomecánicas, se concluye lo siguiente:

Respecto a presiones admisibles, variarán en el intervalo $0-1 \text{ kg/cm}^2$ sin que se pueda decir nada respecto a su probabilidad, sino únicamente señalar la posibilidad real de zonas de resistencia próxima a 0 y compresibilidad altísima (cierto tipo de desechos domésticos o industriales como plásticos). En principio debe pensarse en cimentar bajo el

relleno, pero habida cuenta de que bajo los rellenos está IV_5 , debe por tanto pensarse en **cimentación profunda**. Sólo tras una campaña muy intensa de investigaciones geotécnicas pueden adoptarse cimentaciones superficiales. Las construcciones muy ligeras, menores de 2 alturas, quizá puedan ser soportadas por el relleno en zonas donde se sepa a ciencia cierta su naturaleza p.e. en residuos de excavación. Las rupturas serán en general catastróficas y a veces pueden revestir la forma de ligeros hundimientos.

OBRAS DE TIERRA

Facilidad de excavación: Blanda o Muy Blanda.

Estabilidad de taludes: inestables.

Empujes sobre contenciones: muy variables, de Medios a Altos.

Aptitud para préstamos: de No Aptos a Marginales (ciertos desechos de excavación o industriales controlados).

Aptitud para explanadas de carreteras: de No Apto a Marginales (ciertos desechos de excavación o industriales controlados).

Obras subterráneas: aunque no proceda mucho hablar de este tipo de obras por su débil espesor, caso de realizarse algún pozo, pueden preverse condiciones difíciles por inestabilidades, gases tóxicos, etc.

5 INVESTIGACIONES GEOTECNICAS SUPLEMENTARIAS DE ESTE MAPA GEOTECNICO PARA OBRAS PUNTUALES

En estos Mapas de Características y Condiciones Constructivas, Condiciones de Cimentación, puede observarse la presencia de una columna donde se indican tanto los **objetivos** que deben tener dichas Investigaciones como la **intensidad**.

Como se ha dicho repetidamente a lo largo de esta Memoria, los valores numéricos presentados tienen un carácter esencialmente orientativo. Por tanto, su campo de aplicación fundamental es el de los **anteproyectos**; para proyectos, servirá bien para los de escasa o normal entidad, bien para estructuras no permanentes. Los valores numéricos a aplicar, que no sean los mínimos indicados, deben seleccionarse de acuerdo con criterios estadísticos (frecuencias correspondientes al 10 por ciento 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 puede suplir ni a 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 por una parte un conocimiento previo de la variabilidad estratigráfica dentro de cada zona, que pueda permitir el conocimiento de zonas más débiles o problemáticas; por otra parte el conocimiento previo de la problemática de cada zona (la solución concreta a esta problemática deberá ser dada en cada caso por el experto); por fin, el de unos parámetros mecánicos que pueden en los casos antes citados prever las condiciones de cimentación y obras de tierra.

Para obras de una mínima importancia, en especial en las zonas problemáticas, será sin embargo conveniente por económico y seguro, la realización de una Investigación Geotécnica Suplementaria.

Previamente a la exposición de los tipos e intensidad de dicha campaña en cada Zona expondremos los criterios seguidos. Cada Zona aparece caracterizada por:

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 en una profundidad de unas dos veces el ancho de la cimentación prevista, no existen niveles blandos que puedan afectarlo. El método preferente de investigación debe ser el sondeo o el pozo ya que las penetraciones serán detenidas 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 potencialmente expansivas. 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 de presión de hinchamiento, hinchamiento bajo cargas según el método antes indicado del U.S. Corps of Engineers, o doble edómetro, darían valores del hinchamiento esperable. En el caso de II₁, sólo los 10-20 m inferiores requerirán este tipo de campaña; el resto como II₂.

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
GEOTECNICA

CAMPAÑA DE INVESTIGACION GEOTECNICA
SUPLEMENTARIA

IV ₈	IG _A ^{1,4,5}
IV ₇	IG _A ^{1,5}
IV ₆	IG _A ^{1,5}
IV ₅	IG _A ^{4,5}
IV ₄	IG _{B-M} ^{2,5}
IV ₃	IG _B ^{2,5}
IV ₂	IG _M ^{4,5}
IV ₁	IG _{B-M} ^{1,5}
III ₁	IG _B ^{1,5}
II ₁ ²	IG _B ^{2,5}
II ₁ ¹	IG _B ^{3,5}
I ₁	IG _{B-M} ³

6 DEFINICION DE LOS PRINCIPALES TERMINOS GEOTECNICOS EMPLEADOS

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

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

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

Arena: agregado de partículas generalmente compuestas por cuarzo, carente o con débil 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^o 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.

Cimentación superficial: aquella cuya carga es aplicada al suelo por presión sobre la base casi sin intervención de los frotamientos laterales, no esbelta.

Desprendimiento: caída simultánea de una porción de terreno que se desprende masivamente de un flanco abrupto.

ENSAYO DE

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 corte 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.

Errática: zona caracterizada por su falta de homogeneidad tanto en planta como en profundidad, constituida por una disposición compleja de niveles de naturaleza y características distintas.

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 movimientos diferenciales.

Fango: suelo, a menudo con un cierto contenido de 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 Geografía que estudia las formas superficiales de la Tierra, clasificándolas, estudiando su génesis y evolución.

Granular: suelo compuesto de arenas o gravas predominantemente.

Grava: suelo que quedando retenido más de un 50 por ciento en el tamiz 200 ASTM, tiene más de un 50 por ciento de dicha fracción superior al tamiz nº 4.

Levantamiento del fondo de una excavación: es el 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 del 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 suelo 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.

7 ENGLISH TRANSLATION FOR THE MAIN GEOTECHNICAL WORDS

- *Agotamiento: Dewatering*
- *Agresividad: Agression (water or soils)*
- *Arcilla: Clay*
- *Arena: Sand*
- *Asentamiento: Settlement*
- *Cimentación flotante: Floating foundation*
- *Cimentación profunda: Deep froundation*
- *Cimentación superficial: Shallow foundation*
- *Desprendimiento: Slip*
- *Compresión simple: Unconfined compression*
- *Corte Directo: Direct shear*
- *Ensayo Edométrico: Oedometric test*
- *Errática: Erratic*
- *Expansividad: Expansivity*
- *Explanada: Explanation*
- *Falla: Fault*
- *Fango: Mud*
- *Fino: Fine*
- *Formación: Formation*
- *Geomorfología: Geomorphology*

- Granular: Granular
- Grava: Gravel
- Levantamiento del fondo de una excavación: Uplift of the bottom of a excavation
- Limo: Slime, mud
- Litológico: Lithological
- Losa de Cimentación: Slab
- Nivel Freático: Groundwater level
- Penetración Dinámica: Dynamic Penetration
- Penetración Estática: Static Penetration
- Pilote: Pile
- Plasticidad: Plasticity
- Presión Admisible: Allowable Pressure
- Rozamiento Negativo: Negative friction
- Sensibilidad: Sensibility. Quickness
- Sifonamiento: Siphonage
- Sondeo Eléctrico Vertical: Vertical Electric Hole
- Subpresión: Uplift
- Tectónico: Tectonics
- Turba: Peat
- Zapata: Footing

Pilote: cimentación esbelta, cuya forma puede ser aproximada a la de una 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 y uniforme tal que es menor o igual de 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 (conducciones, 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 el 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, Wenner, etc.) con objeto de averiguar los materiales existentes bajo un punto determinado.

SPT (Standard Penetration Test): ensayo sin situ de penetración dinámica con recogida de muestra por cuchara 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 microscópico 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.

8 AGRADECIMIENTOS

El Instituto Geológico y Minero de España, desea agradecer las facilidades dadas para la realización de este Mapa por las siguientes Personas, Organismos y Empresas.

D. Rafael Abando Dupere. Jefe de la Delegación Rodio, S.A., en Huelva.

D. José María Fernández. Ingeniero Jefe de Vías y Obras de la Excmo. Diputación Provincial de Huelva.

D. Carlos González y Díez de la Cortina. Geólogo.

Sr. Manzano. Ingeniero de Caminos del Excmo. Ayuntamiento de Huelva.

D. Ignacio Mora. Arquitecto Jefe del Instituto Nacional para la Calidad de la Edificación (INCE).

D. Enrique Pérez y D. Joaquín Barba. Ingenieros de Caminos del Puerto Autónomo de Huelva.

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (Huelva).

BIBLIOGRAFIA

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

Dinámica Geomorfológica del Estuario de los ríos Tinto y Odiel (Huelva). Aplicación a la Ordenación del Territorio. Figueroa, M.E. y Clemente, L. Jornadas de Cuaternario 1979.

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

Informe Geotécnico del Muelle de Torre Arenilla para mercancías diversas. INTECSA 1976. Cedido por el Puerto Autónomo de Huelva.

Informe Geotécnico para los puentes del Dique de Contención de Arenas. GEOCISA 1974. Cedido por el Puerto Autónomo de Huelva.

Informes Geotécnicos sobre los daños producidos en el Colegio del Barrio de la Orden. Cedidos por la Delegación del Ministerio de Educación y Ciencia de Huelva.

Informes Geotécnicos varios, principalmente realizados por Rodio, S.A.. Cedidos por el Colegio de Arquitectos.

Instituto Geológico y Minero de España

- Hojas del MAGNA números 999, 1000, 1016 y 1017. E 1/50.000
- Hoja Ayamonte-Huelva del Mapa Geotécnico Nacional
- Hojas Ayamonte-Huelva y Puebla de Guzmán-Sevilla del Mapa Nacional de Rocas Industriales

Los ritmos naturales de nuestras playas. Copeiro del Villar, E. Rev. Obras Públicas. Mayo 1978.

Mapa Geotécnico de Huelva. Informe no publicado para el Colegio de Arquitectos de Andalucía Occidental. González y Díez de la Cortina. Huelva 1977.

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 (M^o de la Vivienda)
 - Acondicionamiento del Terreno, Desmontes, Explanaciones, 1977.
 - Acondicionamiento del Terreno, Desmontes, Vaciados, 1976.
 - Acondicionamiento del Terreno, Saneamientos, Drenajes y Arenamientos, 1977.
 - Acondicionamiento, Desmontes, Zanjas y Pozos, 1977.
 - Cimentaciones, Estudios Geotécnicos, 1975.
 - Estructuras, Cargas de Viento, 1973.
 - Estructuras, Cargas Gravitatorias, 1976.

El Mapa de Zonas Sísmicas Generalizadas de la Península 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; Winterkorn-Fang.