

INVESTIGACION DE PARAMETROS GEOTECNICOS EN RELACION CON LA EXPANSIVIDAD DE LOS SUELOS ARCILLOSOS ESPAÑOLES

J. L. SALINAS RODRIGUEZ (*)

C. OTEO MAZO (**)

RESUMEN. Se analiza el comportamiento de los suelos arcillosos españoles en los ensayos más usuales de caracterización geotécnica, especialmente en los evaluadores de la expansividad, estudiándose las relaciones existentes entre los resultados obtenidos y realizándose una revisión de los criterios más extendidos para establecer el potencial expansivo de un suelo mediante parámetros indirectos.

ABSTRACT. *The behaviour of Spanish expansive clay soils is analyzed with the help of the tests most commonly used in geotechnical characterization, especially for evaluators of expansiveness. The relationship that exists between the results which have been obtained is studied; at the same time the most widely used criteria for the establishment of the expansive potential of a clay soil by means of indirect parameters are reviewed.*

1. INTRODUCCION

La realización por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, en colaboración con el Instituto Geológico y Minero de España, del Mapa Previsor de Riesgos por Expansividad de Arcillas en España a escala 1:1.000.000, conllevó una exhaustiva revisión de criterios evaluadores de la capacidad expansiva de los suelos arcillosos.

Esta revisión no se refirió únicamente a ensayos específicos de expansividad, sino que contempló con frecuencia otros parámetros de identificación geotécnica y de estado del suelo. El propósito fue el de establecer correlaciones de tipo práctico que advirtieran de la expansividad potencial de una formación arcillosa mediante índices fáciles de detectar.

Por todo ello, entre los trabajos abordados en la realización del mencionado Mapa Previsor de Riesgos por Expansividad, figuró una laboriosa recopilación de parámetros geotécnicos de identificación y estado de los suelos arcillosos españoles. Los suelos fueron seleccionados, en su mayor parte, por haber sido realizado con ellos algún tipo de ensayo específico de expansividad. Esto permitió no solamente valorar el alcance de las correlaciones con la expansividad potencial del suelo,

sino también evaluar las características geotécnicas elementales de los suelos arcillosos españoles.

El presente trabajo recoge algunas de estas propiedades, así como un análisis de las correlaciones con ellas efectuadas. Los resultados que ahora se presentan completan los contenidos en la Memoria del Mapa Previsor de Riesgos por Expansividad (1986) y los divulgados en el curso del IGME sobre Riesgos Geológicos (1987).

2. METODOLOGIA

Para la realización del trabajo de recopilación de ensayos se dispuso, fundamentalmente, de datos procedentes del archivo del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX. A estos datos se añadieron los aportados por una encuesta remitida a diversos organismos oficiales y privados. El total de muestras referenciadas superó las 2.000, con unos 1.400 ensayos específicos de expansividad.

Los parámetros geotécnicos contrastados fueron los siguientes:

- Índices de consistencia.
- Humedad natural.
- Densidad aparente seca y húmeda.
- Índice de poros.
- Granulometría de las fracciones más finas.
- Mineralogía.
- Hinchamiento Lambe.
- Presión de hinchamiento.
- Hinchamiento libre.

EXCELENCIA DE LA INGENIERIA CIVIL

(*) licenciado en Ciencias Geológicas. Jefe de Servicio del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX (MOPU).

(**) Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos. Director del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX (MOPU).

Como es lógico, en general sólo se dispuso, para cada muestra, de algunos de estos parámetros. Sin embargo, el número de ellos fue en conjunto suficientemente elevado como para poder tener una visión estadística global del comportamiento de los suelos en los diferentes ensayos.

Las muestras se agruparon por zonas de procedencia. Se pretendía con ello partir de una cierta homogeneidad en las mismas, dada la imposibilidad, en una gran parte de los casos, de conseguir adscribir las unidades geológicas concretas.

Se comenzó elaborando histogramas en los que se recogía el comportamiento estadístico de los suelos en los diversos parámetros geotécnicos investigados.

La segunda parte del estudio consistió en confrontar algunos de estos parámetros para comprobar hasta qué punto podían estar relacionados. El objetivo último de estos análisis comparativos fue constatar cuáles podían ser los parámetros más adecuados para establecer correlaciones con la potencialidad expansiva del suelo.

Finalmente, se contrastaron los criterios de prevención de expansividad más usuales recogidos en la literatura geotécnica, en general referidos a más de un parámetro. Esta revisión dio lugar a una propuesta de correlación diferente a la establecida por otros autores.

3. CARACTERIZACION GEOTECNICA DE LOS SUELOS ESPAÑOLES

Los suelos arcillosos españoles presentan unas características geotécnicas propias. Esta singularidad es función de una historia geológica y de unas condiciones climáticas recientes peculiares, diferenciadas de las de otros países en que se han llevado a cabo con rigor estudios estadísticos comparativos sobre las relaciones existentes entre los parámetros geotécnicos de los sue-

los. Estas circunstancias determinan el que las extrapolaciones para España, referidas al comportamiento de los mismos, puedan no resultar adecuadas, puesto que en muchas ocasiones se refieren a materiales, antiguos o de reciente formación, de diferente naturaleza.

Los suelos arcillosos de una gran parte de España se caracterizan, en cuanto a su composición mineralógica, por la presencia muy generalizada de esmectitas en los mismos. Esta particularidad se debe, por un lado, al predominio territorial de formaciones continentales arcillosas de edad neógena (Mioceno y Plioceno), y a la abundante representación de los sustratos triásicos de facies Keuper, ambos con arcillas montmorilloníticas (fig. 1); por otro lado, las condiciones medioambientales del pasado geológico reciente, con predominio de climas de sensible aridez y temperaturas elevadas, bajo entornos poco drenantes y sustratos, como se ha reseñado, ricos en montmorillonita y otras arcillas esmecticas, han propiciado el desarrollo de suelos de neoformación ricos igualmente en esmectitas (los vertisuelos o «tierras de bujeo» del Sur peninsular e islas Canarias, en este último caso procedentes de la alteración de materiales volcánicos, serían la manifestación más significativa de este tipo de suelos).

Hay que significar que este tipo de formaciones únicamente faltan en las regiones ocupadas por núcleos paleozoicos (Galicia, franja astur-leonesa, Sistema Central, ejes pirenaico e ibérico y parte de las béticas), que además coinciden en general con áreas de características climatológicas y geomorfológicas no generadoras de suelos montmorilloníticos.

La importante extensión que alcanzan en España los suelos arcillosos de naturaleza montmorillonítica adquiere todavía un significado mayor si se tiene en cuenta la distribución territorial de los mismos. Al me-

GRUPOS MINERALÓGICOS	PROPORCION				
	PREDOMINANTE	ABUNDANTE	MODERADA	ESCASA	INDICIOS O NULA
KANDITAS			---	---	---
MICAS	---	---	---	---	
ESMECTITAS	---	---	---	---	---
CLORITAS		---	---	---	---
OTROS			---	---	---

--- ARCILLAS MIOCENAS
 --- ARCILLAS DEL KEUPER

FIGURA 1. Composición mineralógica de las arcillas más representativas de los suelos españoles.

nos una parte del entorno de los grandes núcleos de población (Madrid, Barcelona, Zaragoza, Sevilla, etc.) se ubican sobre suelos con arcillas de aquella composición. Esta circunstancia tiene una gran importancia práctica, puesto que los suelos montmorilloníticos constituyen las formaciones con mayor potencialidad expansiva.

Las figuras 2 a 8 recogen el comportamiento global de los suelos arcillosos españoles respecto a los ensayos más usuales de caracterización geotécnica. Las tres últimas presentan la respuesta estadística en ensayos de valoración típica de la expansividad. (Puede consultarse el significado de estos valores en la Memoria del Mapa de Previsión de Riesgos por Expansividad.)

No es propósito de este trabajo extraer conclusiones concretas sobre las características de los suelos arcillosos españoles, establecidas a partir de los ensayos contrastados. No obstante, sí se quiere remarcar la elevada plasticidad media de los mismos, junto a unas densidades y humedades naturales en conjunto bajas. Por otro lado, hay que significar asimismo que una gran parte de los suelos que se vienen conceptualizando como arcillosos

corresponden en realidad en su fracción predominante a limos.

4. CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS DE LOS SUELOS DE MADRID

Dentro del conjunto de los suelos arcillosos españoles, los de la población de Madrid presentan características que los hace muy adecuados para un estudio estadístico detallado, y ello por dos motivos:

- La presión constructora ha propiciado una gran disponibilidad de datos de comportamiento y de estudios valorativos de los mismos (p.e. Escario, 1985).
- Los suelos pueden considerarse representativos de los que integran una gran parte de la España peninsular.

En el entorno de la ciudad de Madrid pueden diferenciarse tres tipos de formaciones arcillosas, todas ellas de edad miocena:

- Arcillas limoarenosas, conocidas localmente como «toscos». La fracción arcillosa, de naturaleza mayo-

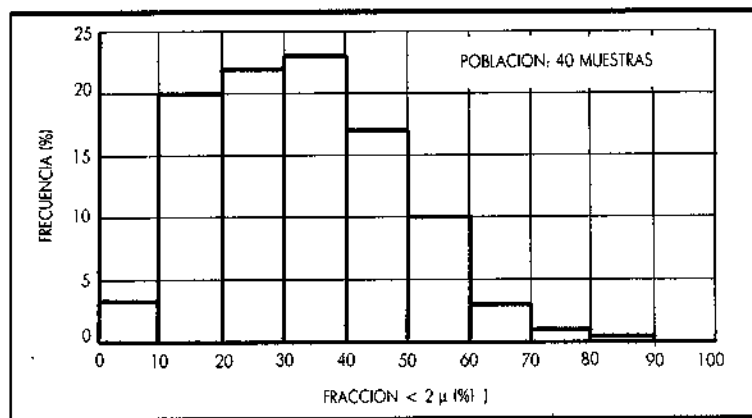


FIGURA 2. Distribución del porcentaje de partículas inferiores a 2 μ en suelos españoles conceptualizados como arcillosos.

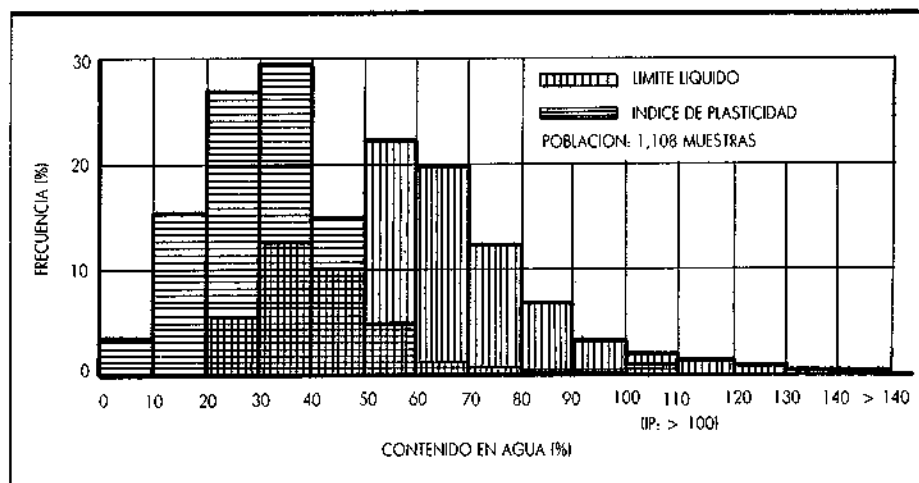


FIGURA 3. Distribución de límites de Atterberg en suelos arcillosos españoles.

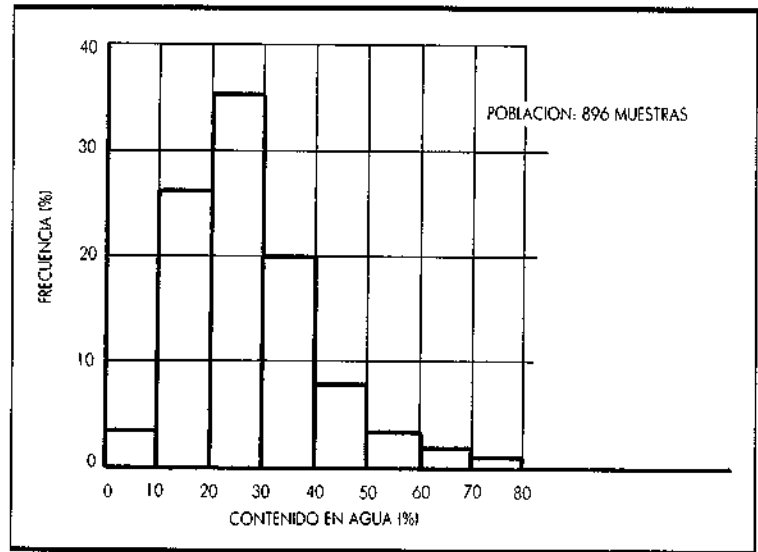


FIGURA 4. Distribución de humedades naturales en suelos arcillosos españoles.

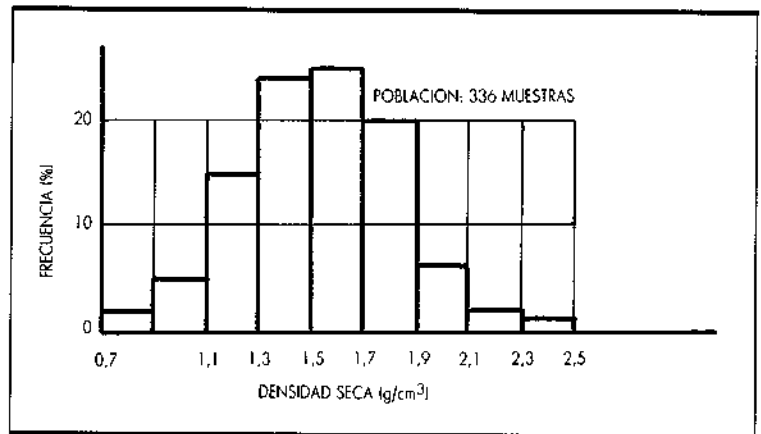


FIGURA 5. Distribución de densidades secas en suelos arcillosos españoles.

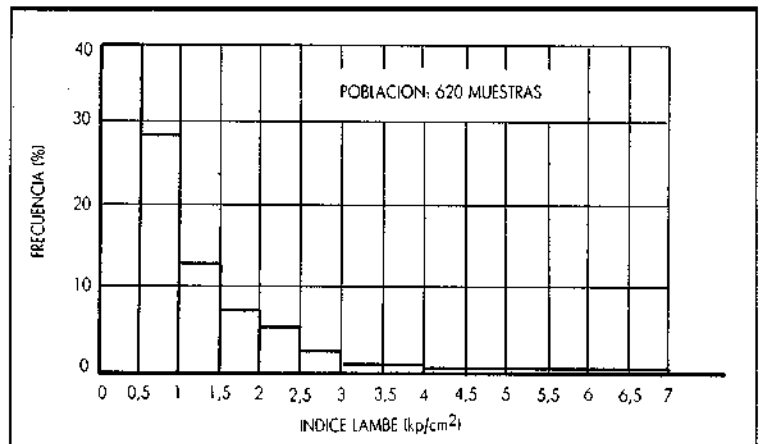


FIGURA 6. Distribución de índices de expansividad Lambe en suelos arcillosos españoles.

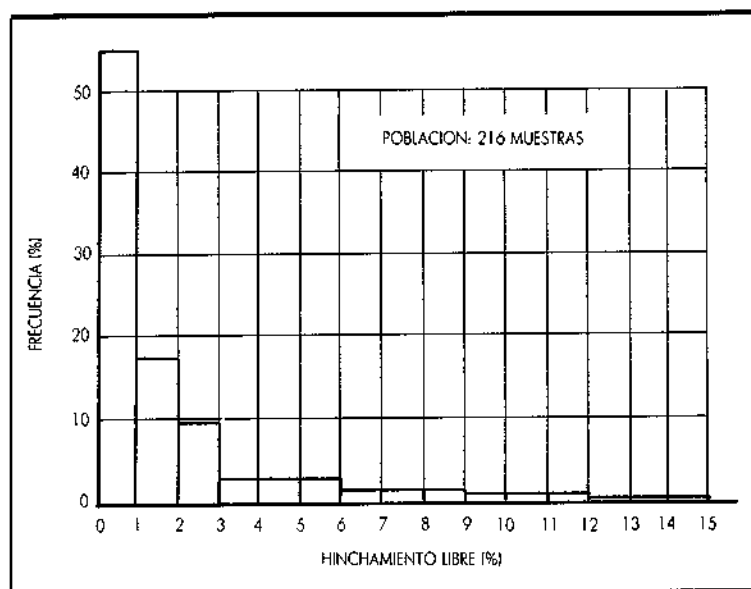


FIGURA 7. Distribución de valores de hinchamiento libre en suelos arcillosos españoles.

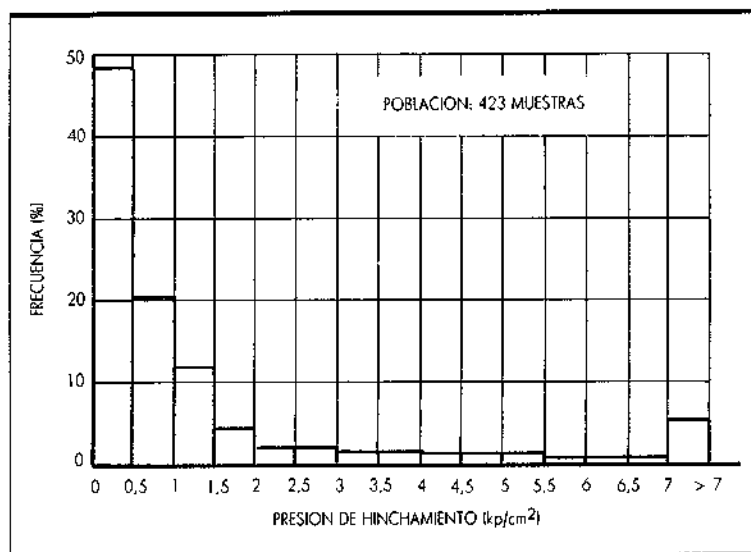


FIGURA 8. Distribución de presiones de hinchamiento en suelos arcillosos españoles.

ritariamente illítica, oscila entre porcentajes tan amplios como el 10 y el 50 %.

- Lutitas (arcillas consolidadas) limosas, denominadas «peñuelas», con fracción arcillosa illítico-montmorillonítica, y a veces con contenidos elevados de carbonatos.
- Lutitas yesíferas, similares a las anteriores, pero con presencia de sulfatos.

La valoración estadística de las características geotécnicas de estos materiales se recoge en las figuras 9 a 12.

Se ha intentado establecer, complementariamente, la incidencia de una posible desecación de los suelos

naturales por efecto de su proximidad a la superficie del terreno. Para ellos se han diferenciado los resultados obtenidos con muestras procedentes de zonas superficiales (< 3 m de profundidad), de las procedentes de zonas más profundas (> 3 m de profundidad). Las figuras 13 y 14 presentan en gráficos de frecuencias acumuladas los valores correspondientes a los ensayos de densidad húmeda y humedad. Se ha podido confirmar, así, que la «proximidad» a la superficie de las muestras influye en los resultados obtenidos en esos ensayos. Sin embargo, hay que añadir que no se pudo establecer esta relación con los ensayos cuantificadores de la capacidad expansiva del suelo.

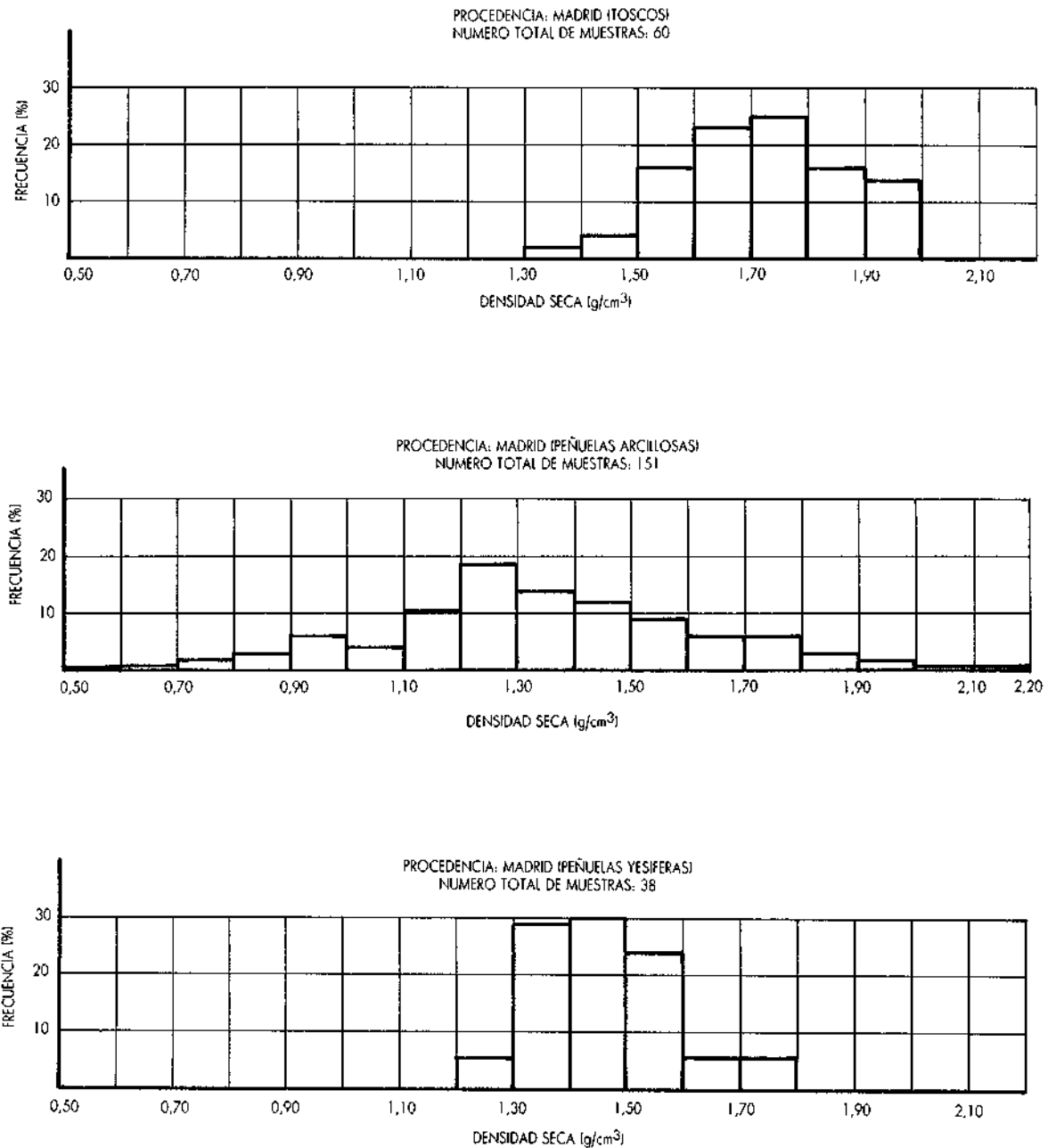


FIGURA 9. Distribución de densidades secas en los suelos arcillosos de Madrid.

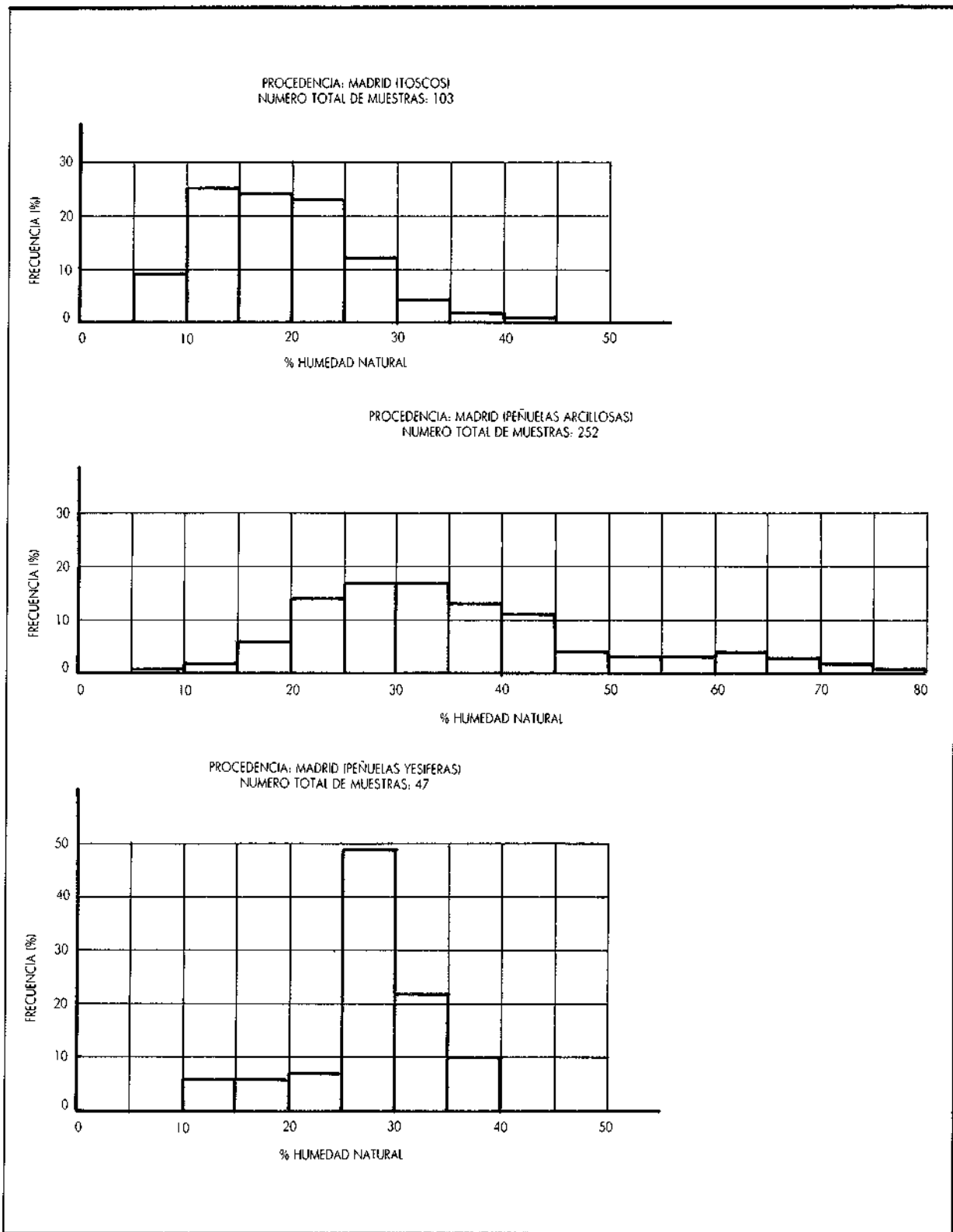


FIGURA 10. Distribución de humedades naturales en los suelos arcillosos de Madrid.

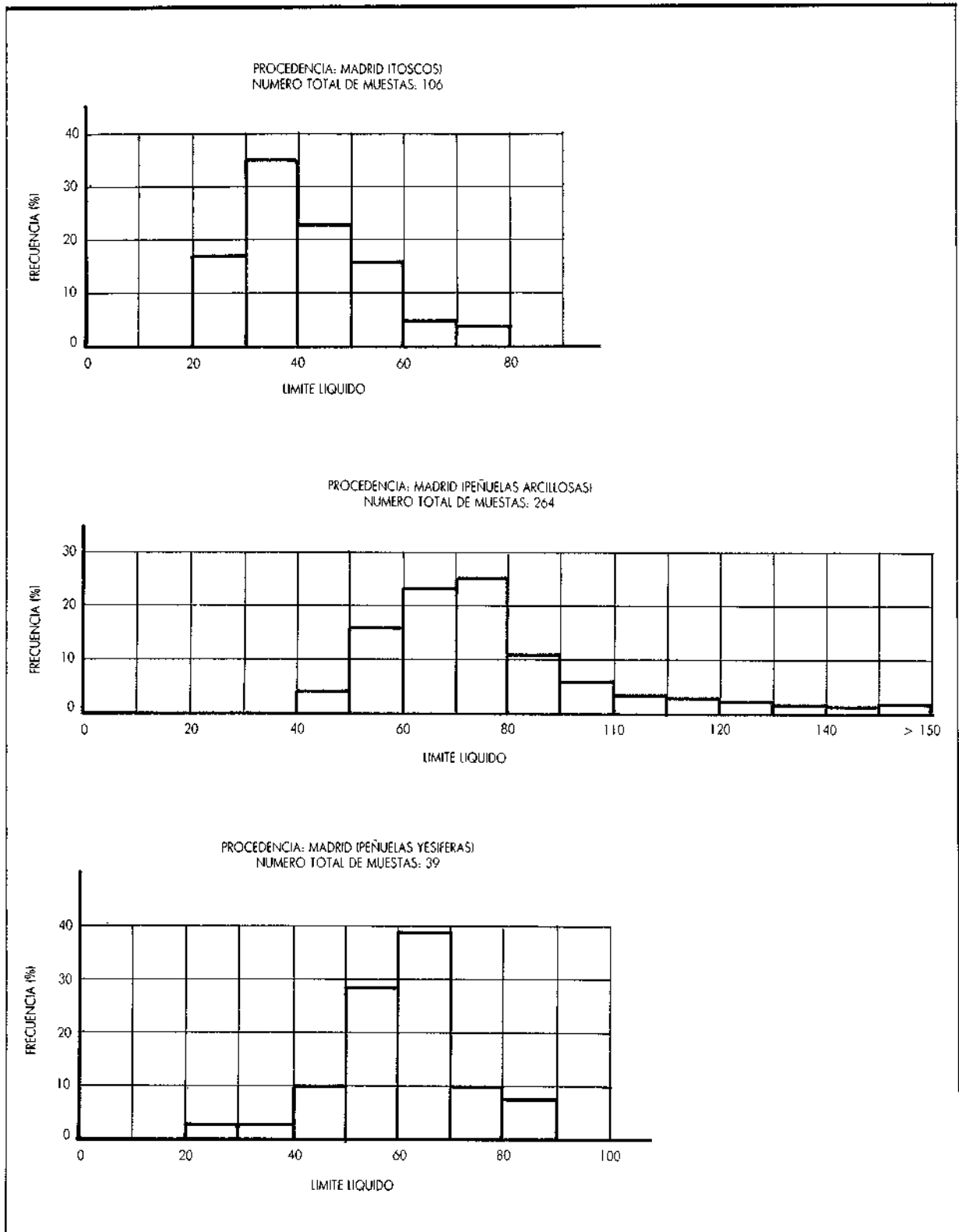
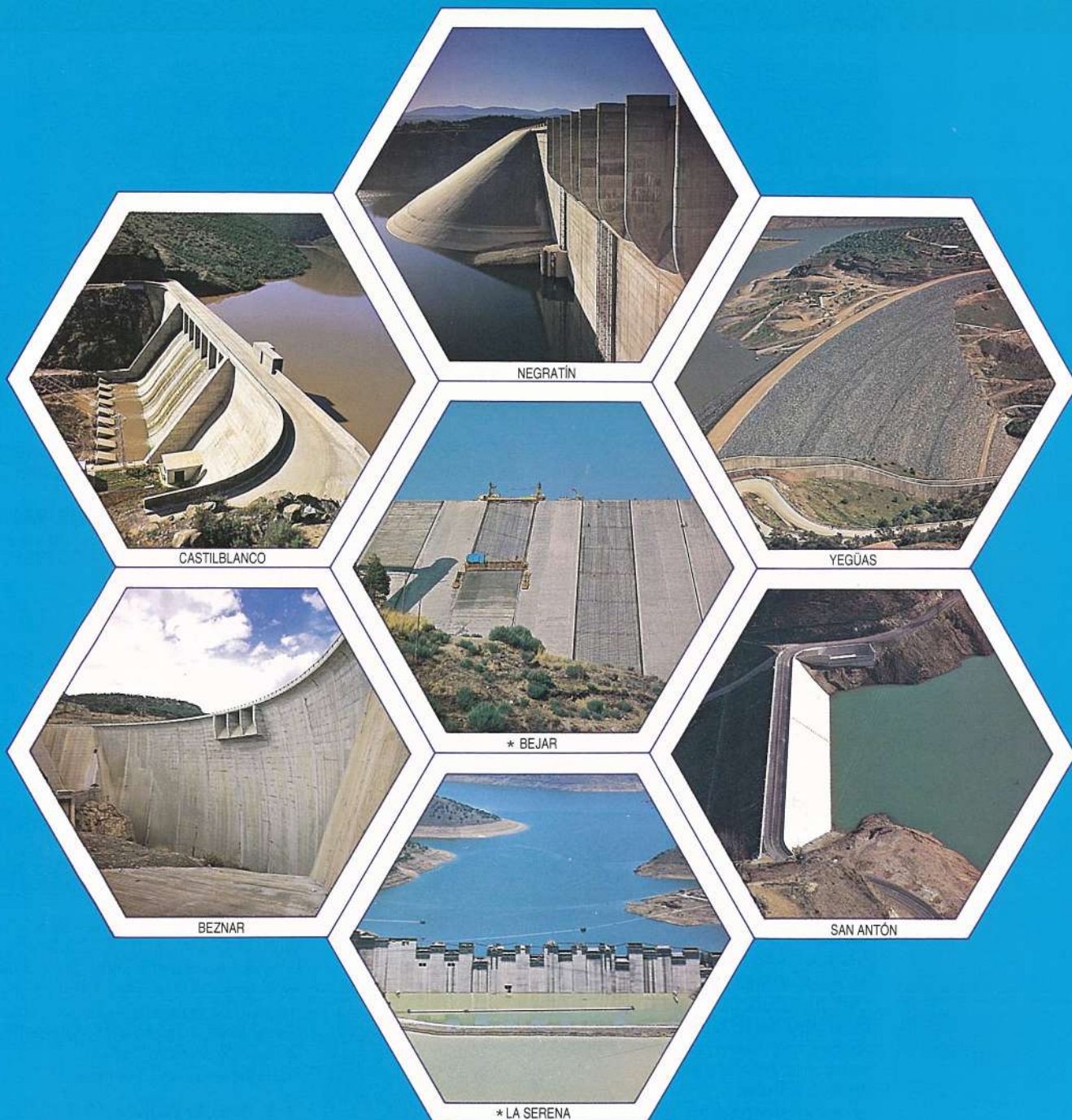


FIGURA 11. Distribución de humedades correspondientes al límite líquido en los suelos arcillosos de Madrid.



OCISA

OBRAS Y CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES, S.A.

* AGRUPACION

CONSTRUCCION Y SERVICIOS

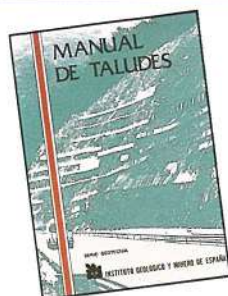
Oficinas Centrales: Princesa, n.º 3 - 28008 Madrid - Télex 42211 - OBYC-E - Tel. (91) 542 40 00 - Fax (91) 248 83 92



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

PUBLICACIONES DE INGENIERIA GEOTECNICA Y AMBIENTAL

GEOTECNIA APLICADA A LAS OBRAS PUBLICAS



■ **REGISTRO DE DATOS EN SONDEOS DE RECONOCIMIENTO (1985).**

Varios autores. 144 páginas.

Precio: 1.000 ptas.

■ **MANUAL DE TALUDES (1987).**

F.J. Ayala y J. Andreu Edit. 443 páginas.

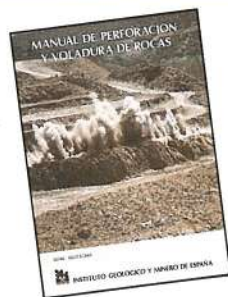
Precio: 2.000 ptas.

■ **INTRODUCCION A LOS USOS INDUSTRIALES Y URBANOS DEL ESPACIO SUBTERRANEO Y SU TECNOLOGIA (1985).**

Varios autores. 345 páginas.

Precio: 2.000 ptas.

GEOTECNIA MINERA



■ **MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURAS (1987).**

Varios autores. 442 páginas.

Precio: 2.000 ptas.

■ **MANUAL PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESCOMBRETERAS Y PRESAS DE RESIDUOS MINEROS (1986).**

Autores: Francisco Javier Ayala Carcedo y José María Rodríguez Ortiz. 182 páginas.

Precio: 2.000 ptas.

■ **GEOTECNOLOGIA DEL AVANCE MECANIZADO DE GALERIAS, TUNELES Y POZOS (1987).**

Varios autores. 302 páginas.

Precio: 2.000 ptas.

■ **FACTORES GEOMECANICOS QUE INFLUYEN EN LA SECCION DE EQUIPOS DE ARRANQUE EN MINAS Y OBRAS A CIELO ABIERTO (1987).**

Varios autores. 137 páginas.

Precio: 1.000 ptas.

■ **MANUAL PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE PISTAS MINERAS (1986).**

Varios autores. 91 páginas.

Precio: 1.000 ptas.

INGENIERIA AMBIENTAL



■ **CRITERIOS GEOAMBIENTALES PARA LA RESTAURACION DE CANTERAS, GRAVERAS Y EXPLOTACIONES A CIELO ABIERTO EN LA COMUNIDAD DE MADRID (1987).**

86 páginas, 2 mapas.

Precio: 1.600 ptas.

■ **LEGISLACION AMBIENTAL APLICABLE A LA MINERIA (1988).**

■ **MANUAL PARA LA RESTAURACION DEL MEDIO NATURAL AFECTADO POR EXPLOTACIONES MINERAS.**

CARTOGRAFIA APLICADA A LA ORDENACION DEL TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE



■ **MAPAS GEOTECTONICOS Y DE RIESGOS GEOLOGICOS DE CIUDADES, E. 1:25.000.**

Publicados los siguientes: Alcoy (1983), Almería (1979), Cádiz (1986), Gijón (1986), Granada (1980), Huelva (1979), Málaga (1980), Palma de Mallorca (e Inca) (1980), Pamplona (1987), Sagunto (1985), Sevilla (1985), Zaragoza (1987).

Precio por ejemplar: 1.600 ptas.

■ **EL IMPACTO ECONOMICO Y SOCIAL DE LOS RIESGOS GEOLOGICOS EN ESPAÑA (1987).**

Varios autores. 91 páginas, 24 mapas.

Precio: 1.600 ptas.

■ **MAPA PREVISOR DE RIESGOS POR ARCILLAS EXPANSIVAS DE ESPAÑA (ITGE/CEDEX).**

E. 1:1.000.000. Autores: Ayala, F.J., Ferrer, M., Oteo, C. y Salinas, J.L.

Precio: 1.600 ptas.

■ **MAPA DEL KARST DE ESPAÑA Y SINTESIS METODOLOGICA (1986).**

E. 1:1.000.000. Spanish-English Legend. Varios autores.

Precio: 1.600 ptas.

Estos precios no incluyen el 6% de IVA.

PEDIDOS: ITGE, Sección de Publicaciones. c/ Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid

Teléfono: (91) 441 65 00. Fax: 442 62 16

ADQUISICION: En la misma dirección (Publicaciones).

OTRAS PUBLICACIONES: Hay catálogo gratuito disponible.

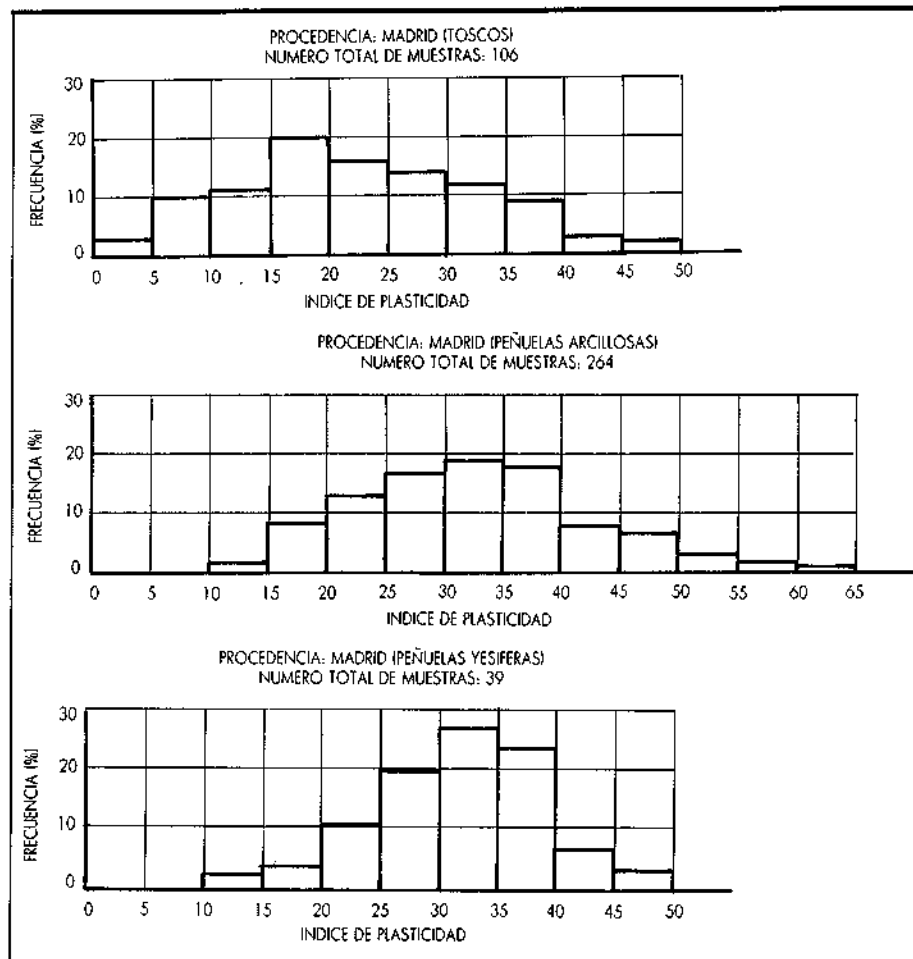


FIGURA 12. Distribución de humedades correspondientes al índice de plasticidad en los suelos de Madrid.

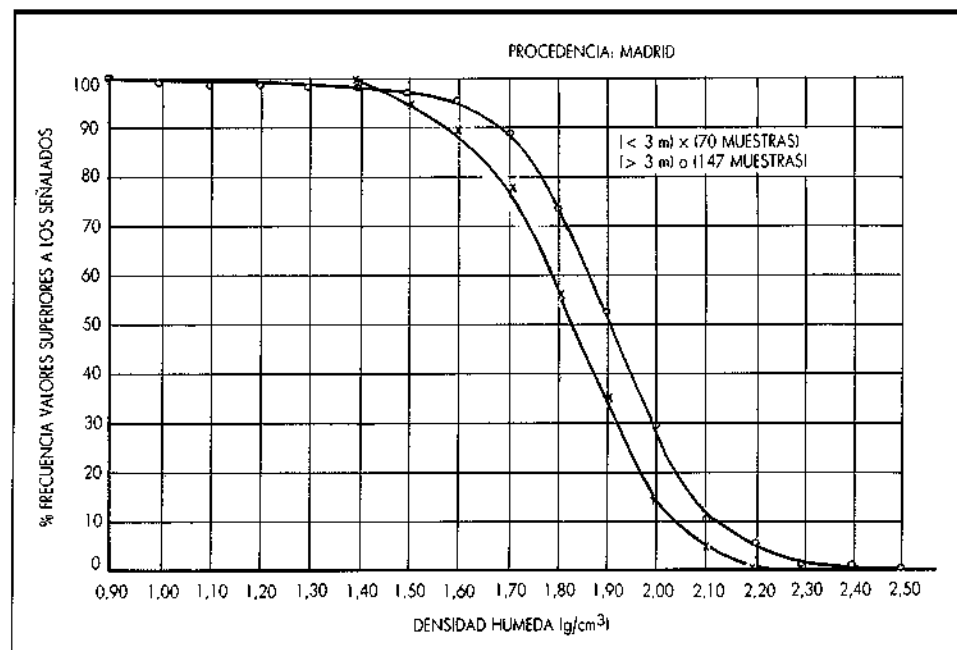


FIGURA 13. Influencia de la profundidad de las muestras en su densidad húmeda.

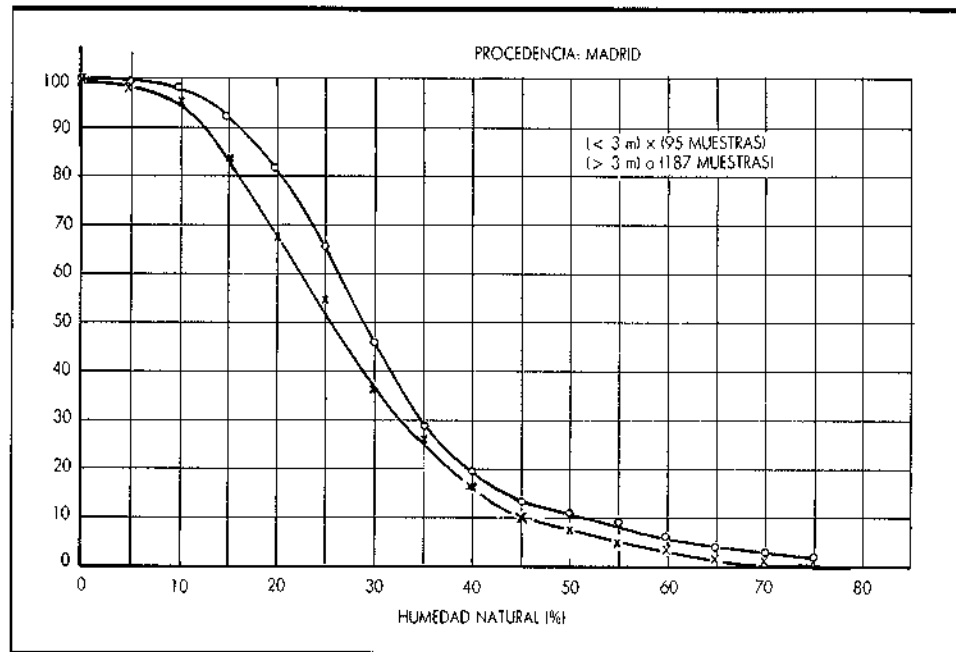


FIGURA 14. Influencia de la profundidad de las muestras en su humedad natural.

Las figuras 15, 16 y 17 presentan el comportamiento de los suelos naturales de Madrid frente a los ensayos evaluadores de la expansividad. Los resultados correspondientes a las peñuelas pueden ser comparados con los obtenidos con suelos de parecida naturaleza procedentes de Andalucía («margas azules») (figs. 18, 19 y 20). Hay que advertir, sin embargo, que normalmente existen unos criterios de selección de los suelos que se someten a ensayo, por lo que los resultados estadísticos podrían ser algo diferentes de los obtenidos a partir de muestreos indiscriminados.

5. CORRELACION ENTRE PARAMETROS GEOTECNICOS

Se realizaron numerosas correlaciones entre propiedades geotécnicas de los suelos, tratando de establecer hasta qué punto algunos parámetros se reflejaban en otros. Los análisis comparativos realizados fueron los siguientes:

- Humedad natural con densidad, límites de Atterberg, presión de hinchamiento e hinchamiento libre.
- Contenido de carbonatos con límite líquido e índice Lambe.

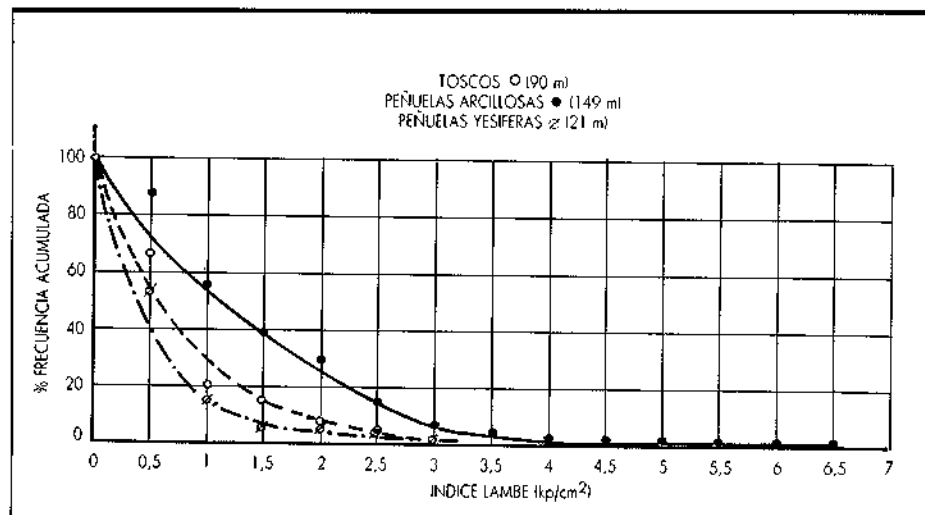


FIGURA 15. Comportamiento de los suelos arcillosos de Madrid en el ensayo de expansividad de Lambe (m: n.º de muestras).

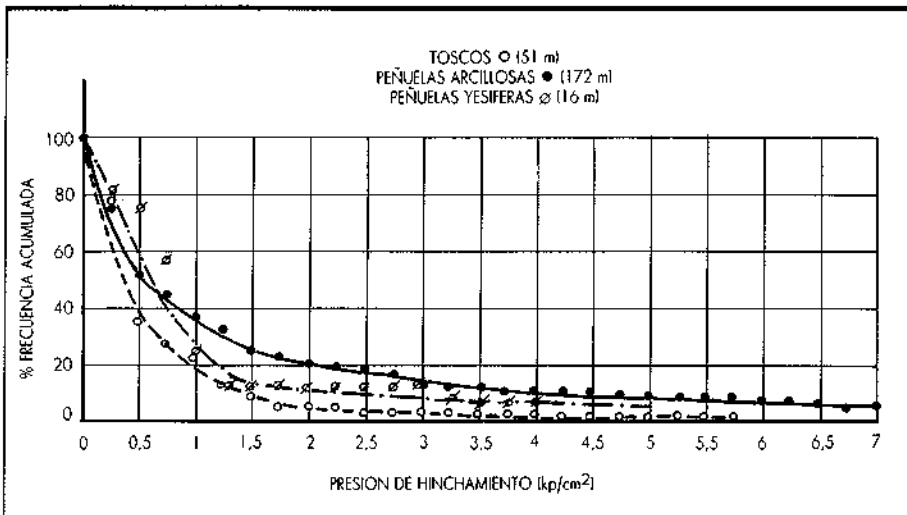


FIGURA 16. Comportamiento de los suelos arcillosos de Madrid en el ensayo de presión de hinchamiento (m: n.º de muestras).

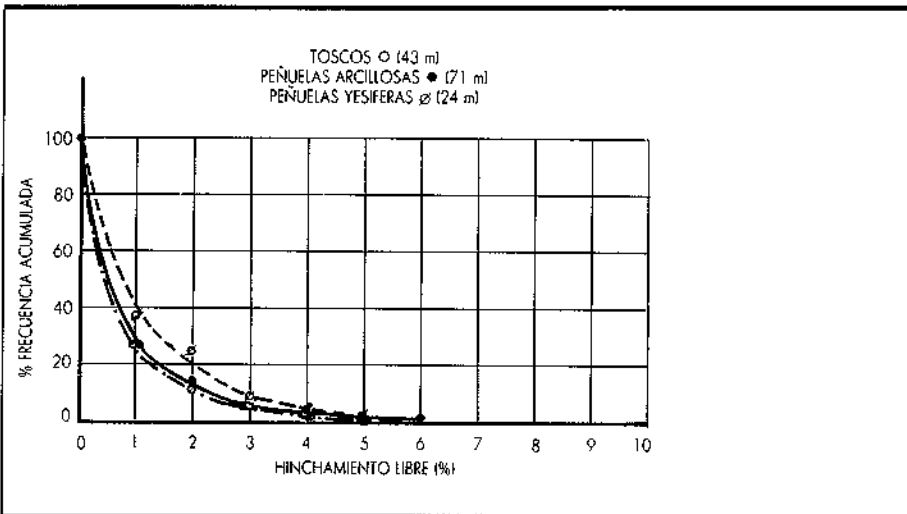


FIGURA 17. Comportamiento de los suelos arcillosos de Madrid en el ensayo de hinchamiento libre (m: n.º de muestras).

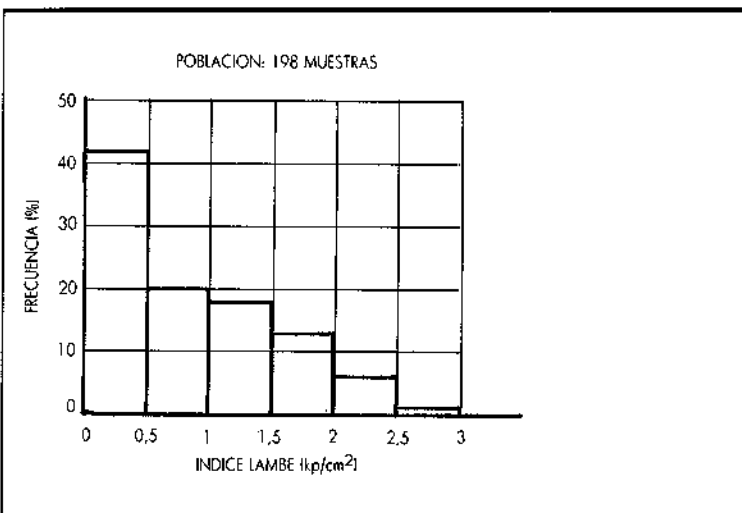


FIGURA 18. Comportamiento de los suelos arcillosos de Andalucía en el ensayo de expansividad de Lambe.

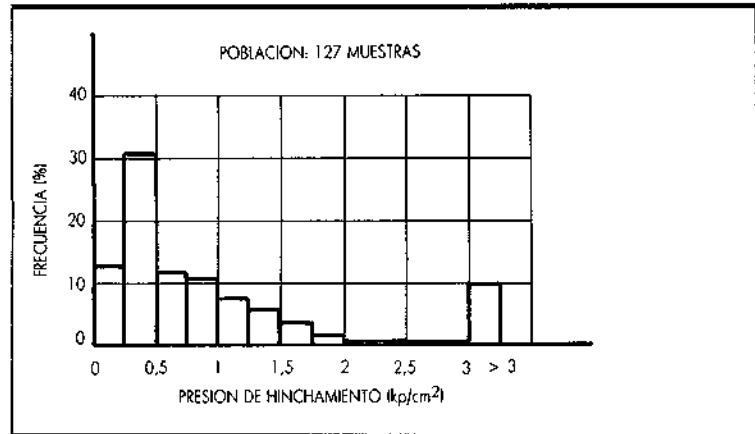


FIGURA 19. Comportamiento de los suelos arcillosos de Andalucía en el ensayo de presión de hinchamiento.

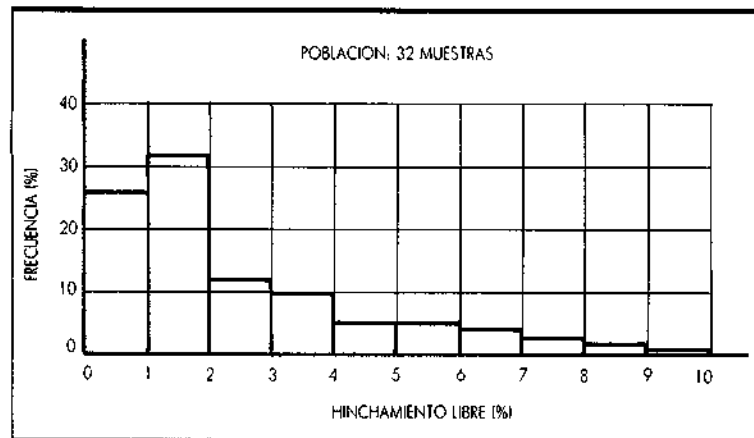


FIGURA 20. Comportamiento de los suelos arcillosos de Andalucía en el ensayo de hinchamiento libre.

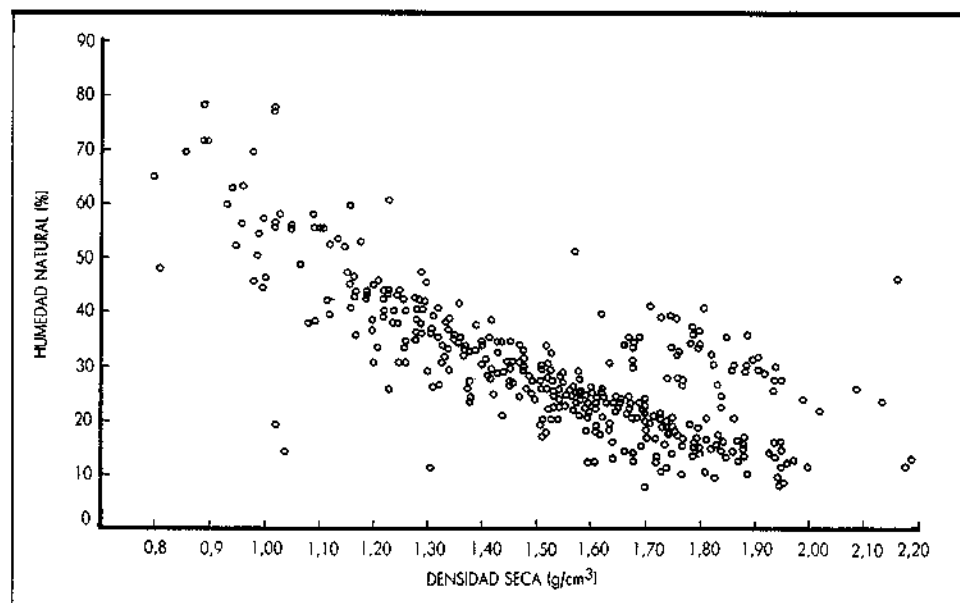


FIGURA 21. Distribución de valores correspondientes a humedad natural y densidad seca en suelos españoles.

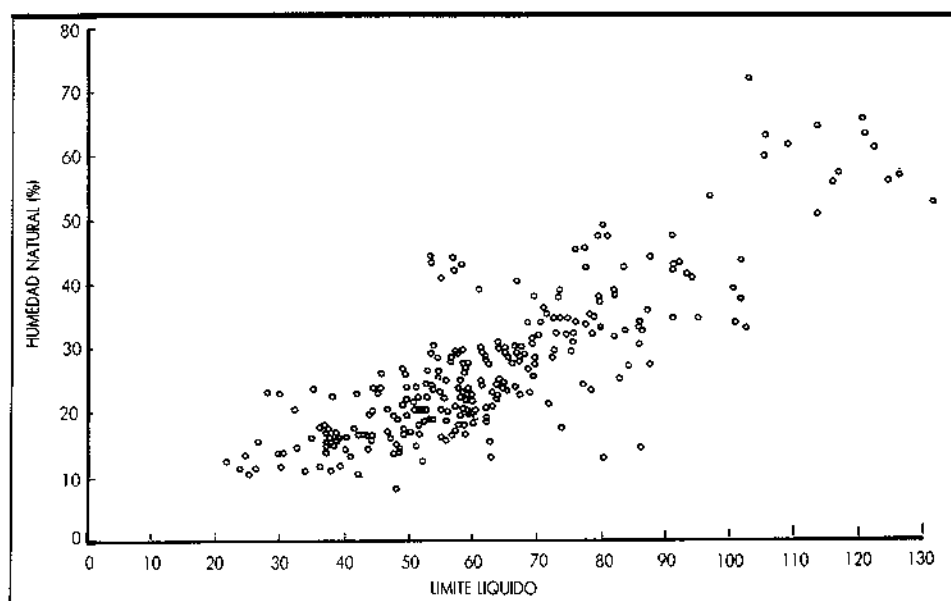


FIGURA 22. Distribución de valores correspondientes a humedad natural y límite líquido en suelos españoles.

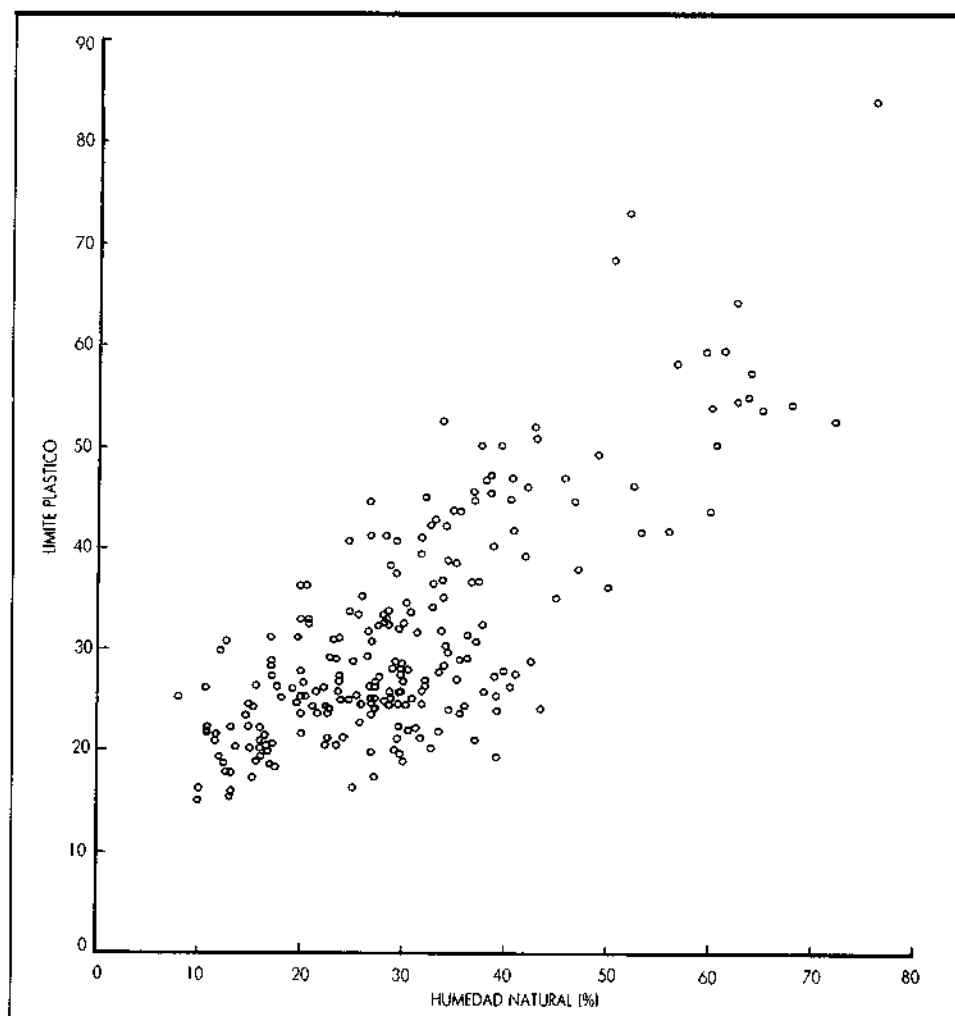


FIGURA 23. Distribución de valores correspondientes a límite plástico y humedad natural en suelos españoles.

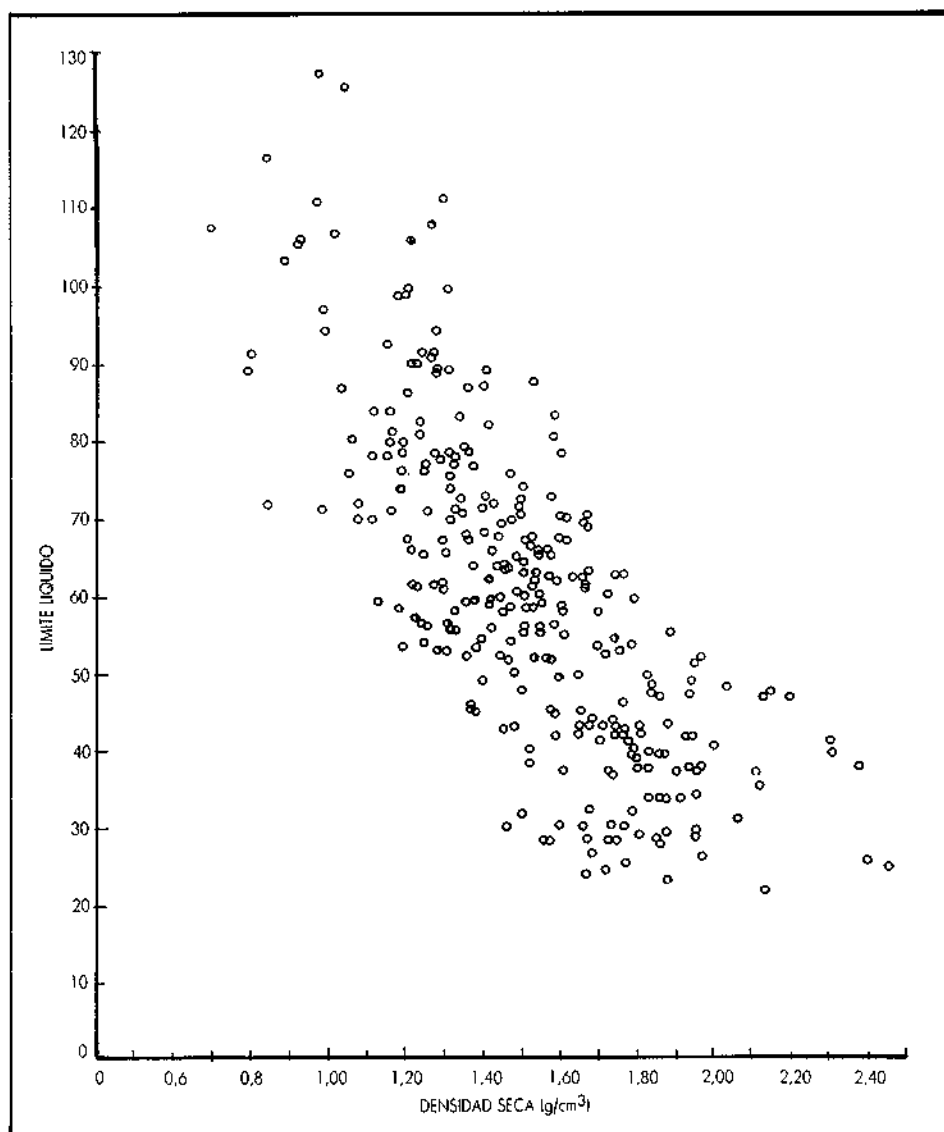


FIGURA 24. Distribución de valores correspondientes a límite líquido y densidad seca en suelos españoles.

- Porcentaje en fracciones fina y arcillosa con hinchamiento libre.
- Densidades, seca y húmeda, con límites de Atterberg, índice Lambe y presión de hinchamiento.
- Límites de Atterberg con índice Lambe.

Los resultados obtenidos con estos laboriosos intentos de correlación fueron, en su mayor parte, negativos. Las elevadas dispersiones producidas pueden deberse, no obstante (al menos en muchos casos), al hecho de partir de valores obtenidos, necesariamente, con muestras muy dispares en cuanto a naturaleza y estado. Las figuras 21 a 24 recogen algunas de las correlaciones más esperanzadoras obtenidas. Las referidas a parámetros de expansividad se analizan en el epígrafe siguiente.

6. REVISIÓN DE PARAMETROS GEOTECNICOS RELACIONABLES CON LA EXPANSIVIDAD DEL SUELO

La posibilidad de establecer la capacidad expansiva de un suelo arcilloso a partir de parámetros geotécnicos indirectos se ha revelado muy útil para prever la presencia de arcillas expansivas. Sin embargo, la complejidad de factores que intervienen en el hinchamiento de un suelo determina que sea difícil establecer relaciones suficientemente fiables a partir de parámetros geotécnicos indirectos.

Así, uno de los criterios que con mayor frecuencia recoge la literatura geotécnica, se basa en los límites de Atterberg. No obstante, como puede verse en la figura 25, el rango de plasticidades en que se distribuyen

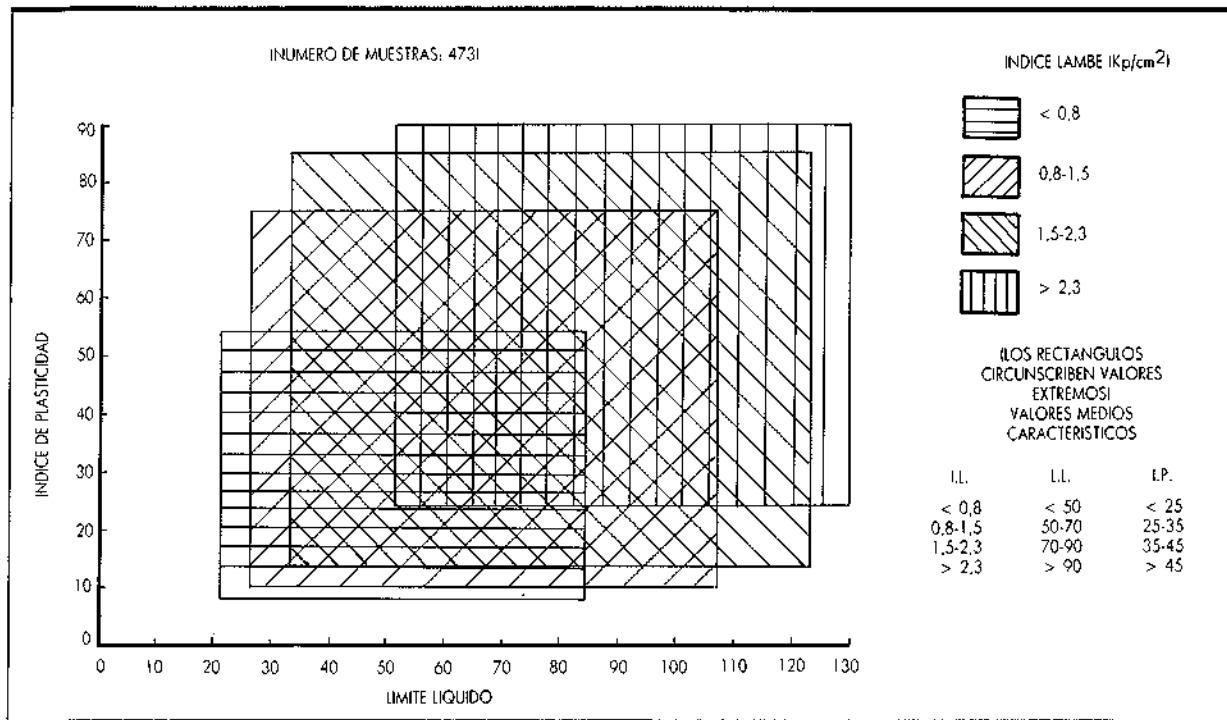


FIGURA 25. Rango de plasticidades en suelos españoles para índices Lambe característicos.

los valores correspondientes a un ensayo definitorio de expansividad, en este caso correspondiente al Lambe, excluye cualquier relación concluyente por sí misma. Esta dispersión se observa, igualmente, si la expansividad del suelo se relaciona con los valores obtenidos con otros ensayos de identificación o estado.

A pesar de estas limitaciones, diversos autores han venido proponiendo criterios para predecir el potencial expansivo de un suelo arcilloso a partir de parámetros geotécnicos indirectos.

Ya Skempton (1953) desarrolló un criterio basado en la «actividad» de la arcilla (I.P./% < 2 μ). Los valores propuestos (un coeficiente mínimo de 1,25 para presuponer expansividad) han sido revisados en años posteriores, cuando la experiencia mostró que se trataba de valores optimistas [Rodríguez Ortiz (1975), estableció el límite de potencialidad expansiva en una «actividad» de 0,5, considerando que valores superiores a 1,0 conducían a una expansividad muy alta]. Sin embargo, la revisión realizada ahora por nosotros, con un amplio número de muestras, ha puesto de manifiesto que la actividad de la arcilla no es un criterio fiable para establecer por sí sola la capacidad expansiva del suelo.

Entendiéndolo también así, Seed y col. (1962) establecieron un nuevo criterio en el que concedían igual importancia al contenido en arcilla del suelo que a su actividad, y aplicaron las correlaciones obtenidas a suelos compactados con densidades y humedades óptimas

en el Proctor normal. Fuera de este ámbito (que no ha sido contrastado por nosotros), los resultados no son positivos.

Vijayvergiya ha propuesto dos criterios. En el primero de ellos, desarrollado junto a Sullivan (1973), se relacionan densidad seca y límite líquido, que definirían el hinchamiento libre presumible del suelo. En el segundo, con Ghazzaly (1973), introduce la humedad natural del suelo en relación con la correspondiente al límite líquido, y relacionando ese valor con el del límite líquido encuentran una correspondencia con la expansividad de las muestras, establecida como presión o porcentaje de hinchamiento. Cuéllar (1978) modificó este último criterio en el sentido de utilizar el contenido de humedad correspondiente al límite plástico.

La revisión con suelos españoles de estos criterios no refleja la distribución del grado de expansividad propuesto por los diversos autores. Esta falta de concordancia posiblemente sea debida a la naturaleza desigual de los suelos con que se realizaron las correlaciones. De hecho, Oteo (1986) encontró una mejor correlación para suelos españoles con la distribución que recoge la figura 26.

Recogiendo las experiencias precedentes, Salinas y Oteo (1986) llegaron a un criterio de expansividad potencial de un suelo natural, con una confianza razonable, en función del límite líquido y la humedad natural (se tantearon también índices de poros y densidades,

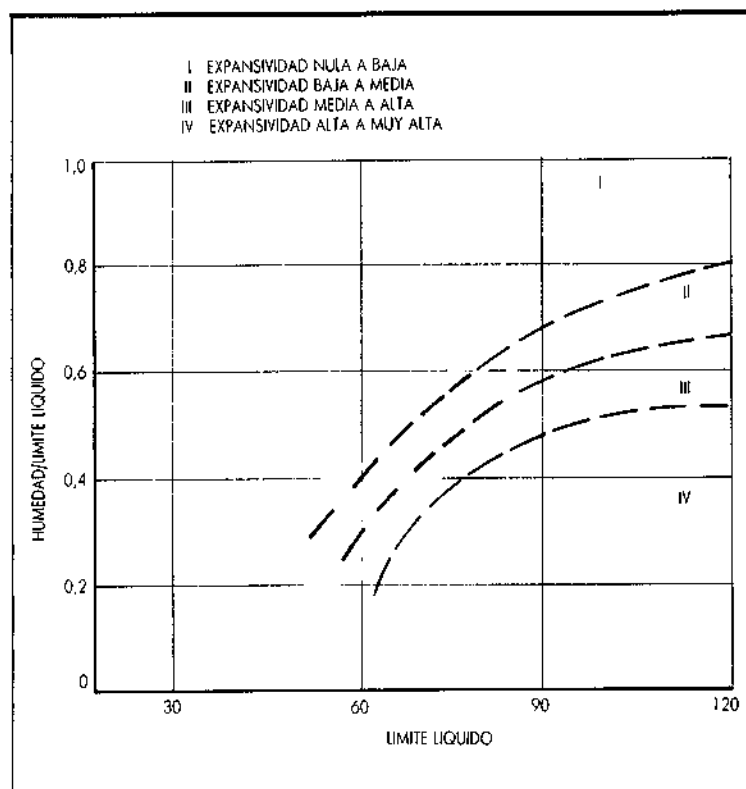


FIGURA 26. Criterio recomendado por C. Oteo (1986) en base a datos de expansividad españoles.

con resultados menos satisfactorios). La figura 27 presenta la correlación obtenida para la presión de hinchamiento y la figura 28 para el hinchamiento libre (con mayor dispersión).

7. CONCLUSIONES

Los suelos arcillosos españoles se caracterizan, en su conjunto, por unas densidades secas en promedio bajas, junto a una plasticidad y capacidad expansiva elevadas, que reflejan la naturaleza frecuentemente esméctica de las arcillas.

Los suelos de la Comunidad de Madrid pueden considerarse representativos de gran parte de los litotipos arcillosos españoles, tanto en composición como en características geotécnicas, por lo que el estudio de los mismos aporta datos extrapolables al conjunto de suelos españoles.

Existe una relación en los suelos naturales consolidados entre los valores correspondientes a la humedad natural de la muestra y su densidad, seca o húmeda. La relación se pone asimismo de manifiesto al comparar la humedad natural con la correspondiente a los límites líquido y plástico. Se observa, también, al comparar los valores de los índices de consistencia con la densidad del suelo.

Las correlaciones entre parámetros geotécnicos no mejoran al introducir factores como «arcillosidad» o «ac-

tividad» de la arcilla en relación a las que se obtienen utilizando otros parámetros.

La evaluación del potencial expansivo de un suelo mediante parámetros geotécnicos indirectos sólo puede tener un valor orientativo.

Para suelos españoles, el criterio más satisfactorio resulta de relacionar la capacidad de hinchamiento de un suelo con su humedad natural y la correspondiente al límite líquido.

8. REFERENCIAS

- AYALA, F. J.; FERRER, M.; OTEO, C., y SALINAS, J. L. (1986). Mapa Previsor de Riesgos por Expansividad de Arcillas en España a escala 1:1.000.000. *Serie Geología Ambiental*, IGME y CEDEX, 64 p. y 1 mapa. Madrid.
- CUELLAR, V. (1978). Análisis crítico de los métodos existentes para el empleo de arcillas expansivas en obras de carreteras y recomendaciones sobre las técnicas más idóneas para su uso habitual en España. *Lab. de Transporte y Mecánica del Suelo*, 303 p. (No publicado.) Madrid.
- ESCARIO, V. (1985). Síntesis Geotécnica de los Suelos de Madrid y su alfoz. *Dir. Gral. de Infraestructura del Transporte*, 80 p. y 2 mapas. Madrid.
- OTEO, C. (1986). «La expansividad de arcillas en España». Curso sobre suelos metaestables. Fundación Agustín de Bethencourt. ETS Ing. C. C. y P. Madrid.
- OTEO, C.; SALINAS, J. L., y FERRER, M. (1987). Metodología del Mapa Previsor de Riesgos por Expansividad de Arcillas

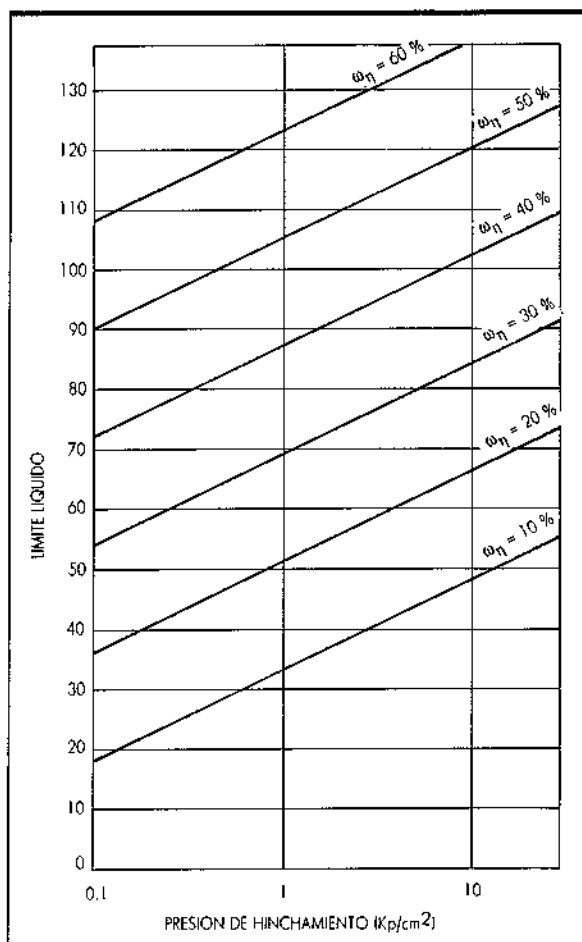


FIGURA 27. Correlación orientativa entre límite líquido y presión de hinchamiento, en función de la humedad natural, para suelos españoles (confianza: 90 % de resultados en el intervalo ± 5 % de las humedades representadas).

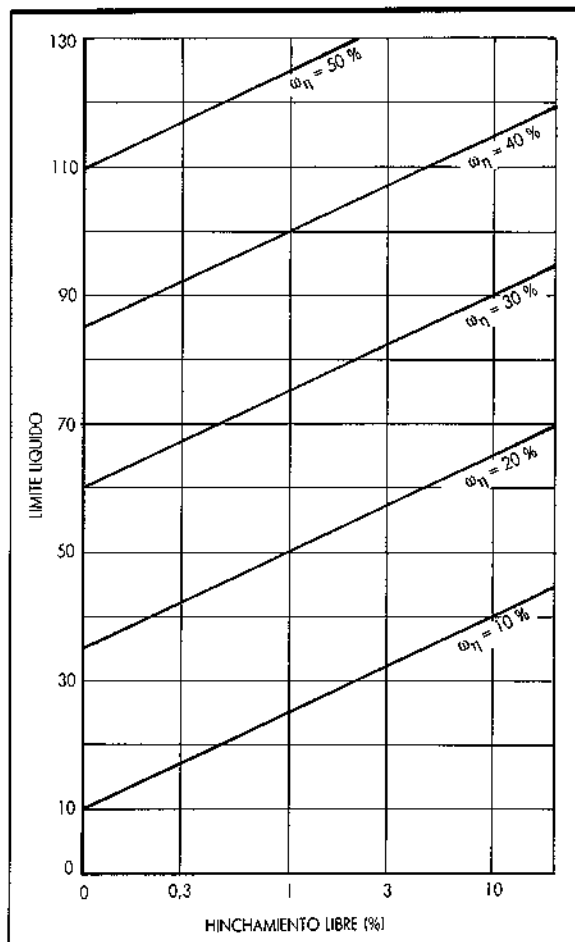


FIGURA 28. Correlación entre t. l. e H. L., en función de la humedad natural, para suelos españoles. (El gráfico tiene únicamente valor orientativo.)

en España a escala 1:1.000.000 CEDEX, *Ingeniería Civil*, n.º 61, pp. 37-54. Madrid.

RODRIGUEZ ORTIZ, J. M. (1975). Las arcillas expansivas, su estudio y tratamiento. *Bol. de Inf. del Lab. del Transporte y Mecánica del Suelo* n.º 108, pp. 3-30. Madrid.

SALINAS, J. L. (1988). Riesgos ligados a arcillas expansivas. *Curso de Riesgos Geológicos*, IGME, pp. 295-304. Madrid.

SEED, J.; WOODWARD, R. J., y LUNDGREEN, R. (1962).

Prediction of swelling potential for compacte clays. *ASCE, Proc.*, vol. 88, pp. 53-87. New York.

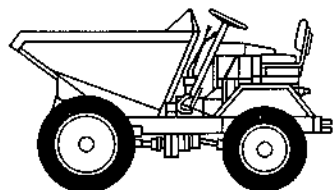
SKEMPTON, A. W. (1953). The colloidal activity of clays. *Proc. Third Int. Conf. S.M. and F.E.*, vol. I, pp. 57-61, Zurich.

VIJAYVERGINA, V. N., y GHAZZALY, O. I. (1973). Prediction of swelling potential for natural clays. *Proc. Third. Int. Conf. on Exp. Soils*, vol. I, pp. 227-236. Haifa.

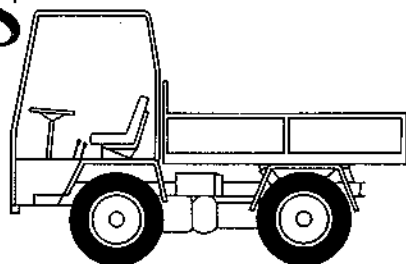


Un aliado
muy rentable.

Motobasculantes

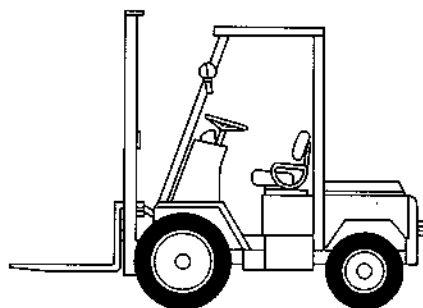


14 Modelos de 1000 a 3000 Kgs.
Diferentes sistemas de descarga.
Tracción a 2 y 4 ruedas.



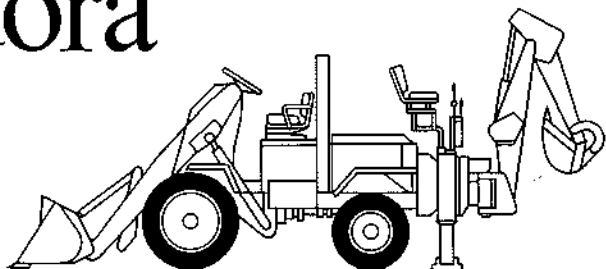
Carretillas Elevadoras

De 1000 a 2500 Kgs.



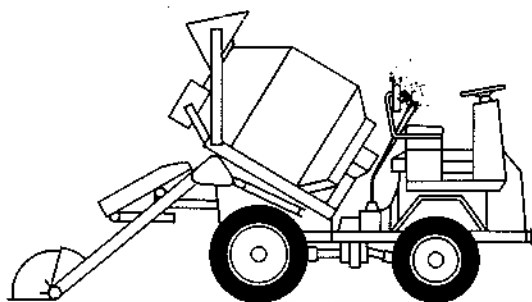
Pala Cargadora

Modelo standard: 400 litros.
Versiones con pinzas para troncos,
retro excavadora, etc.



Auto - hormigonera

Capacidad de amasada: 750 litros.



APART. P.O.B. 194
TEL. (93) 874 73 11
TELEX 53102 AUDU E
MANRESA (Barcelona) ESPAÑA
