

Contribución a la caracterización geotécnica de las margas españolas¹

CARLOS S. OTEO (*)
JOSÉ LUIS GARCÍA DE LA OLIVA (*)

RESUMEN La presente comunicación pretende aportar una visión de los trabajos de recopilación y análisis de datos geotécnicos de formaciones margosas y argilíticas españolas que se están llevando a cabo en los últimos años. Se incluye una descripción de estos trabajos, un resumen de datos disponibles, en forma de tablas y gráficos, y un análisis de los datos aportados.

CONTRIBUTION TO THE GEOTECHNICAL DESCRIPTIONS OF SPANISH MARLS

ABSTRACT This present work is designed to provide an overall view of the work carried out in recent years with respect to the compilation and analysis of geotechnical data on Spanish marl and argillite formations. A description of this work is included, along with a summary of the data available, in table and graph form, and an analysis of the information obtained.

Palabras clave: Arcillas; Margas; Rocas blandas; Clasificaciones geomecánicas.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este artículo es el análisis del comportamiento geotécnico de las margas y arcillosas margosas españolas, prestando atención a su comportamiento en estado natural así como a los aspectos relacionados con su empleo en rellenos (terraplenes de obras lineales, empleo en núcleos de presas de materiales sueltos zonados,...).

Estos materiales se ven frecuentemente afectados por las obras públicas y sin embargo han sido poco estudiados, siendo habitual la extrapolación de los métodos de reconocimiento y análisis propios de suelos o rocas. Presentan unas características singulares, como pueden ser su alterabilidad, la influencia de las discontinuidades en su comportamiento geotécnico o su carácter evolutivo "in situ" o al emplearse como materiales de relleno, que justifican la realización de estudios destinados a mejorar el conocimiento de los mismos.

El trabajo presenta un escollo intrínseco a la propia naturaleza de los datos de partida manejados. El carácter puntual de los reconocimientos geotécnicos hace que los datos encontrados presenten una gran variabilidad. Esta dispersión de resultados relativiza al menos en cierta medida, la pretendida síntesis de caracterización geotécnica de cada una de las formaciones margosas que se pudieran identificar.

En los puntos siguientes se describen de forma sucinta los trabajos realizados y se resumen las conclusiones que aportan.

2. DEFINICIÓN GEOLÓGICA Y ESTRUCTURA DE LAS MARGAS

Las margas pueden ser definidas como unas rocas sedimen-

tarias formadas, esencialmente, por minerales arcillosos y partículas de tamaño limo-arcilloso con un cierto contenido de carbonatos. Generalmente pueden clasificarse como rocas blandas según la clasificación propuesta por Brown (1981), aunque, en muchas ocasiones se trata de arcillas rígidas con algo de carbonatos.

El carácter de roca implica un cierto grado de consolidación, coherencia y compacidad del sedimento arcilloso originario. Es decir, se trata de materiales no recién depositados, sino que han sufrido sobrecargas (por acumulación de nuevos depósitos) que han propiciado la disminución de la porosidad, expulsión de agua, establecido de enlaces entre las partículas y cementaciones por recubrimiento de las partículas y/o precipitación de materiales.

Puede producirse, además, una reorganización textural con orientación de las partículas. Esta reordenación puede conducir a una pizarrosidad incipiente.

Mineralógicamente, las margas no contienen sólo minerales arcillosos y carbonatos, sino que, además, pueden estar presentes partículas de cuarzo, mica, feldespatos, minerales de hierro y aluminio, sales diversas y materia orgánica. En realidad, gran parte de los suelos calificados como arcillosos corresponden, granulométricamente, a limos arcillosos, y es en la fracción limo (0,06 - 0,002 mm) donde se concentran los minerales no arcillosos.

En España, las margas ocupan una gran extensión, y aparecen como depósitos de relleno de las grandes cuencas sedimentarias configuradas al final de la orogénia alpina (fig. 1).

Se trata, por consiguiente, de sedimentos terciarios, aunque existan también, margas mesozoicas. Por otra parte, y debido a las características del medio sedimentogenético en el que se produjo su formación (cuencas mal drenadas bajo climas semiáridos), las margas españolas contienen con frecuencia yeso y montmorillonita, arcilla de marcado carácter expansivo.

(1) Versión española de la Comunicación presentada al Simposio "Croies et Schistes", Bruselas, Marzo, 1995.

(*) Laboratorio de Geotecnia del CEDEX (MOPTMA).

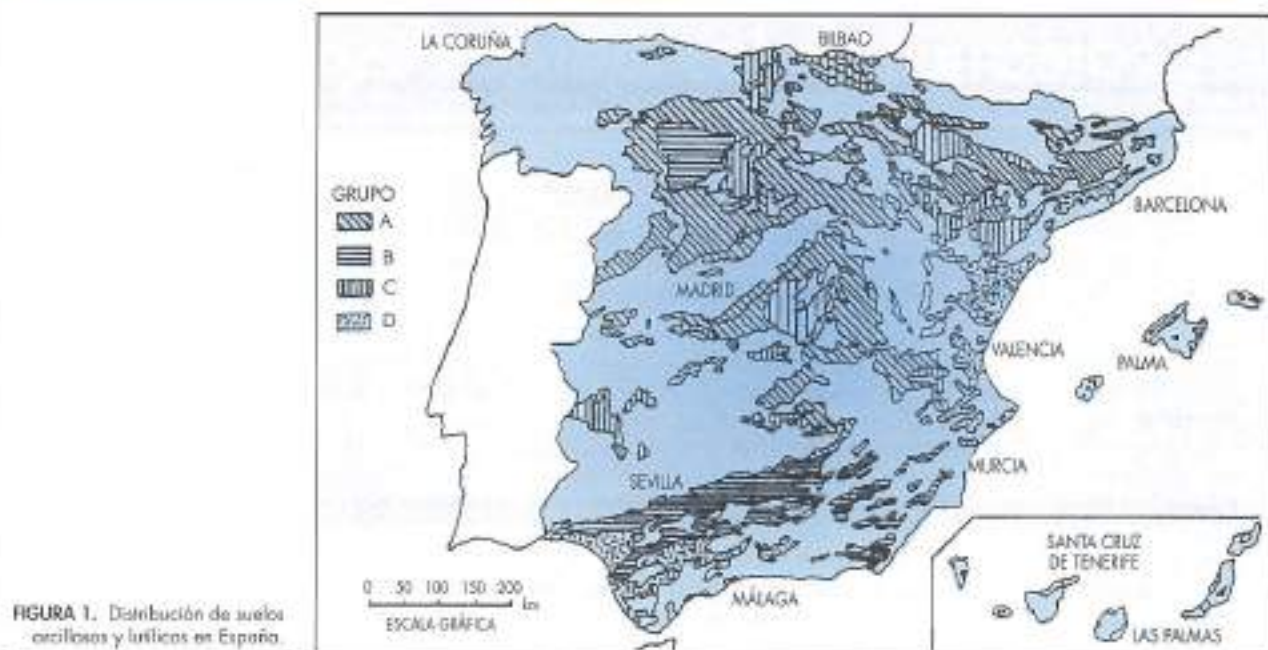


FIGURA 1. Distribución de suelos arcillosos y margosos en España.

Las características señaladas determinan que el comportamiento geotécnico de las margas haya de ser contemplado con la máxima atención.

3. RECOPIACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LAS MARGAS ESPAÑOLAS

Respecto de la labor realizada de recopilación de información, conviene destacar que la mayoría de los trabajos se refieren a obras de ingeniería civil y que en muchos trabajos no se dispone de ensayos de campo. A veces la dispersión de valores es elevada y en otras ocasiones sólo se dispone de algún tipo de ensayo.

En cada emplazamiento se ha tomado información referente a los siguientes aspectos:

- Edad geológica del emplazamiento.
- Resultados de los ensayos de identificación.
- Parámetros indicadores de su estado natural.
- Resultados de los ensayos de resistencia.
- Resultados de los ensayos de deformabilidad.
- Datos de su mineralogía.

En función de los valores obtenidos y de las observaciones "de visu" realizadas en campo, se han definido cuatro grupos tipos de materiales margosos, en los que se han clasificado todas las formaciones margo-arcillosas distinguidas. En la fig. 1 se han diferenciado esos cuatro grupos, de acuerdo a los siguientes criterios:

- Grupo A: Arcillas duras, algo arenosas, con bajo contenido de carbonatos. Se trata, generalmente, de materiales arcillosos miocenos, sedimentos preconsolidados procedentes de la alteración de rocas graníticas. Suelen ir alternados con capas más arenosas, del mismo origen. Su contenido de sulfatos es prácticamente nulo y su expansividad nula a media. Ocasionalmente pueden calificarse como de expansividad alta. Generalmente se da coloración marrón o

beige. Se presentan generalmente en el centro de formaciones tipo "tasco" y Norte de España.

- Grupo B: Arcillas muy rígidas, en contenido apreciable de carbonatos que permite calificarlos de arcillas margosas ($\approx 20 - 30\%$ de CO_2 Ca). Suelen presentarse en coloraciones azules, marrones y verdosas, cuando están sanas, pasando a color marrón claro cuando están alteradas. Generalmente tiene estructura lamosa, con fisuras y slickensides. Estas discontinuidades a veces están rellenas de una fina capa de limo. En la zona sur de España (Valle del Río Guadalquivir) suelen desmoronarse localmente como "Margas azules" ("Blues Marls"). A este grupo también pertenecen algunas formaciones arcillo-margosas del valle del Río Duero.
- Grupo C: Materiales margo-arcillosos tableados y duros y formaciones de margas arcillosas, situadas en el Centro y Nordeste de España, asociadas con depósitos terciarios lacustres. Coloraciones grisáceas y verdosas (materiales miocenos) con zonas blanquecinas por la presencia de yeso. A veces tienen coloraciones irisadas, cuando pertenecen al Keuper.
- Grupo D: Formaciones cementadas o encostradas y margas calcáreas, con mayor contenido de carbonatos ($5 - 25\%$ de CO_2).

Los principales criterios seguidos para definir estos cuatro grupos, aparte de su aspecto visual, han sido: a) Contenido en carbonatos y sulfatos. b) Resistencia a compresión simple. c) Plasticidad. En la Tabla 1 se han resumido los valores de estas características, además del contenido de finos.

En la fig. 2 se han situado los puntos de donde mayor información geotécnica se ha extraído, resumiéndose en la Tabla 2 los resultados de diversos ensayos de laboratorio disponibles. Ha de indicarse que los valores incluidos en esta tabla vienen a representar condiciones medias, con un número de determinaciones, en cada caso, variable.

En dicha tabla se refleja límite líquido (LL), índice de plasticidad (PI), límite de retracción (W_r), porcentaje

TIPO DE FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN	CO ₂ (%)	SO ₄ (%)	# Nº 200 (%)	LÍMITE LÍQUIDO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE	RIESGO DE EXPANSIVIDAD
A	Arcillas arenosas (sedimentos arcóicos)	~ 0	< 0,1	20-50	30-50	300-800	Bajo-medio
B	Arcillas margosas ("Margas azules", "lascas arcillosas", etc.)	~ 12	< 2-3	70-95	40-65	600-3.000	Alto
C	Margas arcillosas y margas yesíferas ("Peñuelas", etc.)	< 1	1-40	80-95	40-80	2.000-10.000	Medio-alto
D	Formaciones cementadas y margas calcáreas	5-25	< 1	—	50-80	> 10.000	Medio-alto

TABLA 1. Resumen de propiedades generales de formaciones margosas de España.

de finos (# 200), porcentaje de material inferior a 2 micras ($< 2 \mu$), contenido en sulfatos (SO_4) y carbonatos (Carb. expresado en CO_2 Ca), densidad seca aparente (γ_d), peso específico de partículas (G), densidad óptima (D_{opt}) y humedad

óptima (W_{opt}) del ensayo Proctor de compactación, humedad natural (w) y el índice de poros inicial (e_0). Además se incluyen resultados de ensayos de resistencia al esfuerzo cortante: compresión simple (q_u), cohesión efectiva (c') y ángulo

ST	GRUPO	U	H	V _r	400 %	<2 micras %	SO ₄ %	CARB. %	DBH (t/m ²)	G (t/m ³)	Dens (t/m ³)	W _{opt} %	W %	e ₀	q _u MPa	c' (kg/cm ²)	#	Costal (kg/cm ²)	Resol	St	Em	Col	Cl
1	Celadón	35	17		89	48	2.65	31		2.77	1.8	14						0.1	29	4	3	2	1
2	Espejo	41	25				3.39	13.1		2.28	1.7	21								4	3	1	1
3	Espejo	55	25		85		5	97.3															
4	Alcora	66	21		87	32	1.1	21	13		1.6	21		0.8	1	0.3	26			4			
5	Alcora	52	27		100			56	139				7		1.2					4	3		
6	Espejo	56	28		90		1.6	24	143						0.2	11				4	2	3	
7	Alcora						0.15	37	2.14						34					2			
8	Tortosa	56	27		87		1.27	6			1.6	20								2			
9	Alcora	58	21	9.2	90	61	0	25		2.62	1.5	26								2	4	1	1
10	Alcora	54	25	16	91	45	0.56	25	145	2.77		24	0.71	0.8	0.35	30				3	4	2	
11	Alcora	60	40	3.2					1.66			19		2.1						3	4		1
12	Alcora			16			0.15	25	1.65	2.77		27		0.8	0.3	26				3	4	2	
13	Alcora	37	8	18			12	35	2.5	2.77		9	0.1							4	2		1
14	Alcora	34	15		90	28		30	24			4		9						4	3		1
15	Alcora	31	17				8.8	24	3.47			4		40						4	3		
16	Alcora	38	10		70	12		20	1.43	2.89		19	0.88	0.14						4	3		
17	Alcora					78	07.5	10	13											4	3	2	
18	Tortosa	42	16					2				10	0.31	12.4						4	3	1	2
19	Alcora	71	35	32	87	34	0.07	6.4		2.72	1.5	33								4	2	2	1
20	Alcora	60	27		91			43.3				21											
21	Nágera	44	23	12.7	100	37	2.45	29	1.84	2.75		15		6.3	2.9	38				4	3	1	2
22	Pradegón	52	11		45			10															
23	Pradegón	60	25		30			27															
24	Alcora	70	37		95		5	50															
25	Alcora	31	12		65			15															
26	Alcora	30	13		50			11															
27	Alcora	43	21		100	32	0.45	8.8	1.87	2.78		11		4.5	1.95	39				4	3	2	1
28	Espejo	42	23	14	82		0	65			1.8	37	10					0.4	25	1	4	1	1
29	Cretácica	55	30	16	87		0	32			1.6	20	18					0.4	19	1	4	1	1
30	Alcora	40	16		80	39	0	15	1.87	2.7		18		9.5									

TABLA 2. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio disponibles.



FIGURA 2. Situación de los trabajos considerados.

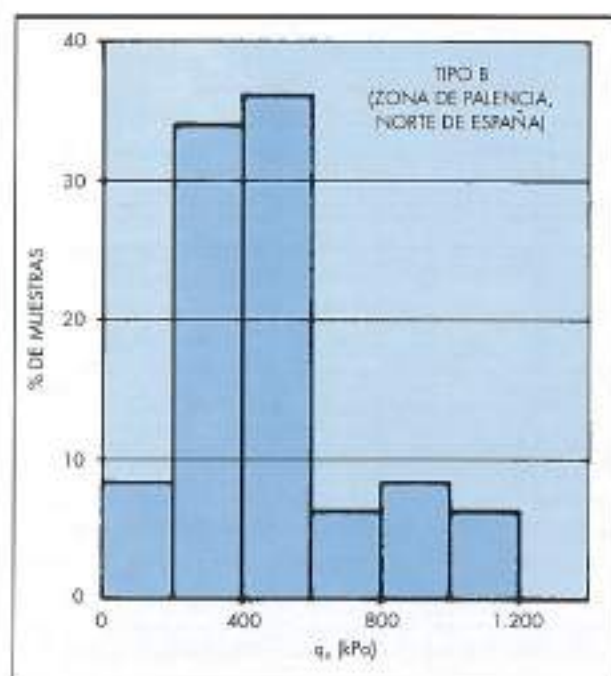


FIGURA 3. Resistencia a compresión simple, q_s , de las margas arcillosas del grupo B del norte de España.

de rozamiento efectivo (ϕ'), para material inalterado y remolado. Por último se incluyen datos de mineralogía: Porcentaje de illita (Ill), esmectita (E_{sm}), caolinita (Caol) y clorita (Clor). Los valores que se indican dan una idea cualitativa del porcentaje en que cada fracción mineralógica está presente en el conjunto del material. El número 4 indica un porcentaje predominante, el 3 una presenta alta, el 2 un porcentaje medio y el 1 expresa un porcentaje escaso.

ZONA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (kPa)		
	500	1.000	1.500
SEVILLA [Uriel & Olea, 1976]			
CERCA DE SEVILLA [Uriel, 1976]	3.000		
CORDOBA [Ayala, 1978]			
SEVILLA, PROYECTO METRO [1972]			
VARIOS ESTUDIOS DE FECC. (RENFE, 1972)			

FIGURA 4. Resistencia a compresión simple de las "margas azules" del Grupo B. Rango de variación (Olea y Olea, 1993).

4. CONCLUSIONES

Del análisis de la información disponible se pueden extraer las conclusiones principales siguientes:

- En España, las margas, ocupan una gran extensión, y aparecen como depósitos de relleno de las grandes cuencas sedimentarias configuradas al final de la orogenia alpina. Se trata de sedimentos terciarios, aunque existan también, margas mesozoicas.
- Son generalmente materiales muy degradables. Si bien recién excavadas presentan características de un material rocoso, pueden perderlas rápidamente al exponerlas a la atmósfera. Las pérdidas de la humedad natural conllevan

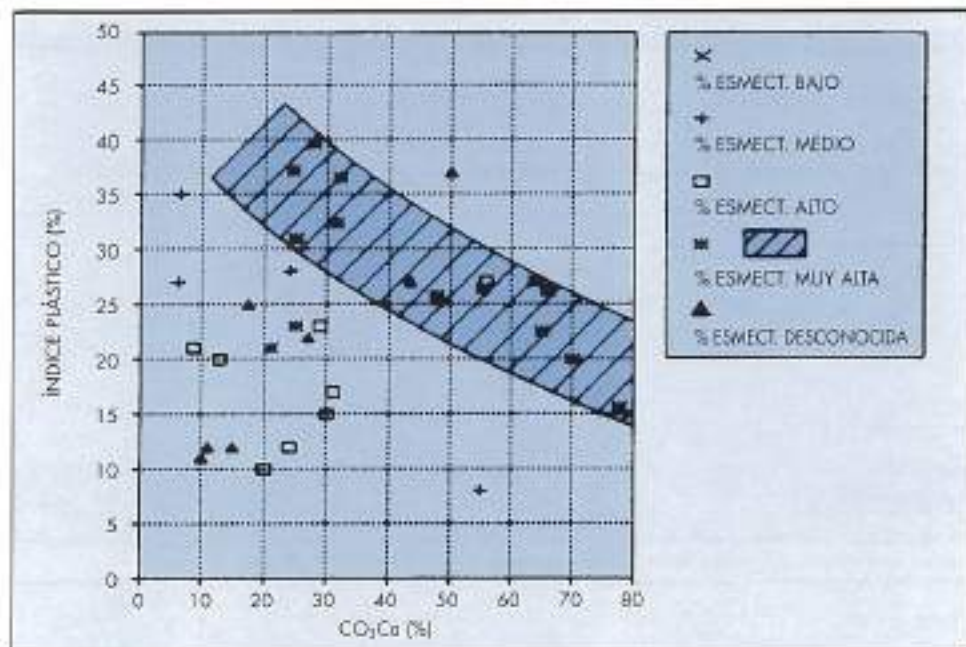


FIGURA 5. Correlación entre el índice de plasticidad y el contenido de carbonatos.

la aparición de grietas, las cuales, a su vez propician la penetración de agua, que acelera su degradación. Además, estos materiales pueden estar fuertemente consolidados, y la decompresión ya es, en sí misma, una componente desestabilizadora frente a la erosión ambiental, al abrirse las fisuras por esa decompresión. El carácter evolutivo de las margas las hace, pues, muy sensibles a la meteorización (sobre todo en los grupos A, B y C).

- Los análisis granulométricos correspondientes a margas poco alteradas presentan una elevada proporción de partículas de tamaño limo, incrementándose apreciablemente la fracción arcillosa en los materiales más alterados. El incremento en el contenido de arcilla con la alteración puede indicar que gran parte de las partículas de limo existentes en las margas poco alteradas, son agregados de partículas arcillosas. Este hecho se comprueba comparando los resultados de los análisis granulométricos por sedimentación con los análisis mineralógicos. Se observa que en casos en los que en los primeros se encuentran contenidos de arcilla inferiores al 10%, estos suben a valores muy superiores, hasta del 70-80%, en los análisis mineralógicos.
- Este carácter estructurado de las margas con un grado de alteración medio-bajo, es de gran importancia en su comportamiento geotécnico, tanto en su estado natural, como cuando se emplean para la formación de rellenos, especialmente en el caso de las obras hidráulicas.
- Es frecuente la presencia de yeso (Grupos B y C), que hace que estos materiales sean más sensibles al agua. El yeso es un material que se disuelve con facilidad en agua, acelerando el proceso de degradación de la roca; asimismo, la reacción de los sulfatos con el calcio y los carbonatos, forma ettringita y thaumasita, que son materiales muy expansivos.
- Los métodos de ensayo, de laboratorio e "in situ", para la caracterización geotécnica de estos materiales presentan resultados muy variables dependiendo de la técnica utili-

zada. Generalmente, la toma de muestras provoca cambios considerables en su estructura inicial favoreciendo la degradación. Esto es especialmente marcado en el caso de la determinación de parámetros de deformabilidad en base a ensayos de laboratorio sobre muestras "inalteradas".

- Los materiales arcillosos, procedentes de la alteración de margas, presentan generalmente, una cierta estructuración función entre otros factores de su grado de alteración, que puede dar lugar, al emplearlos en estado remoldeado para la formación de rellenos (núcleos de presas de materiales sueltos, terraplenes viarios, etc.), a comportamientos desfavorables, riesgo de colapso, incremento de la permeabilidad y comportamiento similar al de los materiales limosos (por agregación de partículas), con el consiguiente riesgo de arrastre y tubificación.
- El frecuente contenido de minerales montmorilloníticos de la fracción arcillosa podría justificar la elevada plasticidad que pueden tener estos materiales a pesar de presentar, en algún caso, contenidos de carbonatos elevados (fig. 5).
- Al saturar las muestras de material remoldeado y compactado, en el edómetro, se produce en ocasiones un colapso del material, y en otros casos, la saturación provoca su expansión bajo tensión vertical constante. Ello suele deberse a la formación de estructuras de agregados durante la compactación. En algún caso, al saturar la pastilla, se observa en una fase inicial, una deformación de colapso, que posteriormente se reduce o incluso cambia de signo, por un proceso de expansión, una vez comprimidos los agregados y que llegue el agua al interior de los agregados (fig. 6).
- En materiales margosos, de distintas procedencias y formaciones geológicas, cuando se ensayan en edómetros con humedad natural y se saturan bajo presión se aprecia una tendencia a incrementarse el colapso y disminuir

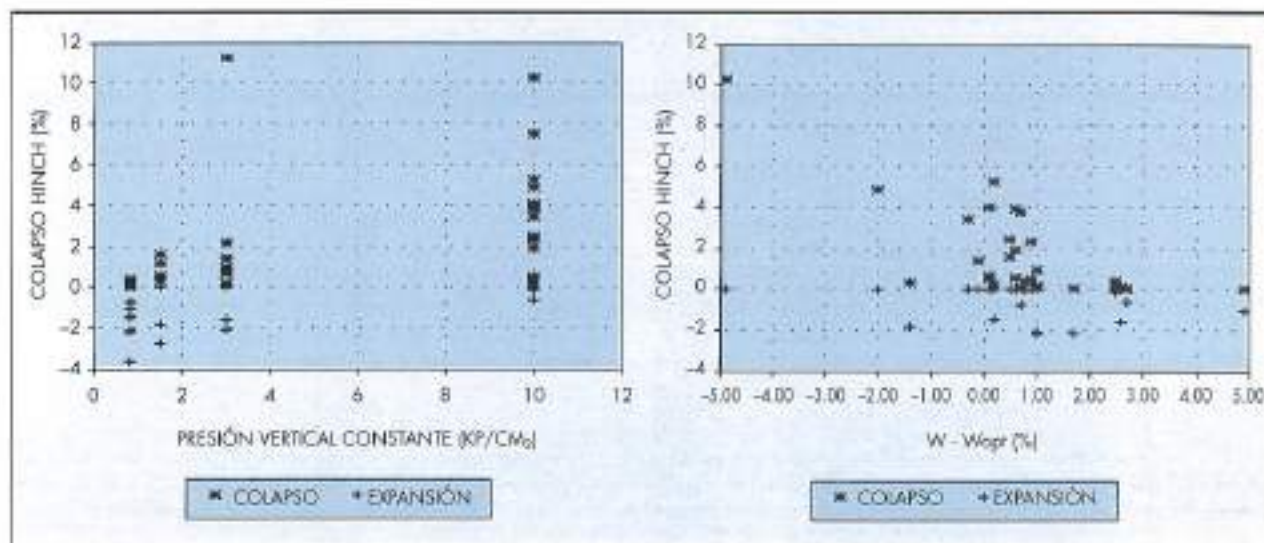


FIGURA 6. Correlaciones entre el colapso en el cedómetro y la presión vertical durante el ensayo y la relación $W - W_{opt}$.

la expansión, al aumentar la presión a la que se saturó la pastilla (fig. 6).

- Es destacable que las pastillas compactadas con humedades naturales superiores en más de un 1% a la óptima del ensayo Proctor normal, han presentado, en gran parte de los ensayos disponibles, deformaciones de colapso muy re-

ducidas o nulas. Eso podría tener su justificación en el hecho de que el amasado del material con humedades superiores a la óptima Proctor provoca una mayor disgregación de su estructura (fig. 6).

- Con estos resultados se justifica la conveniencia, para el empleo de estos materiales en núcleos de presas, de

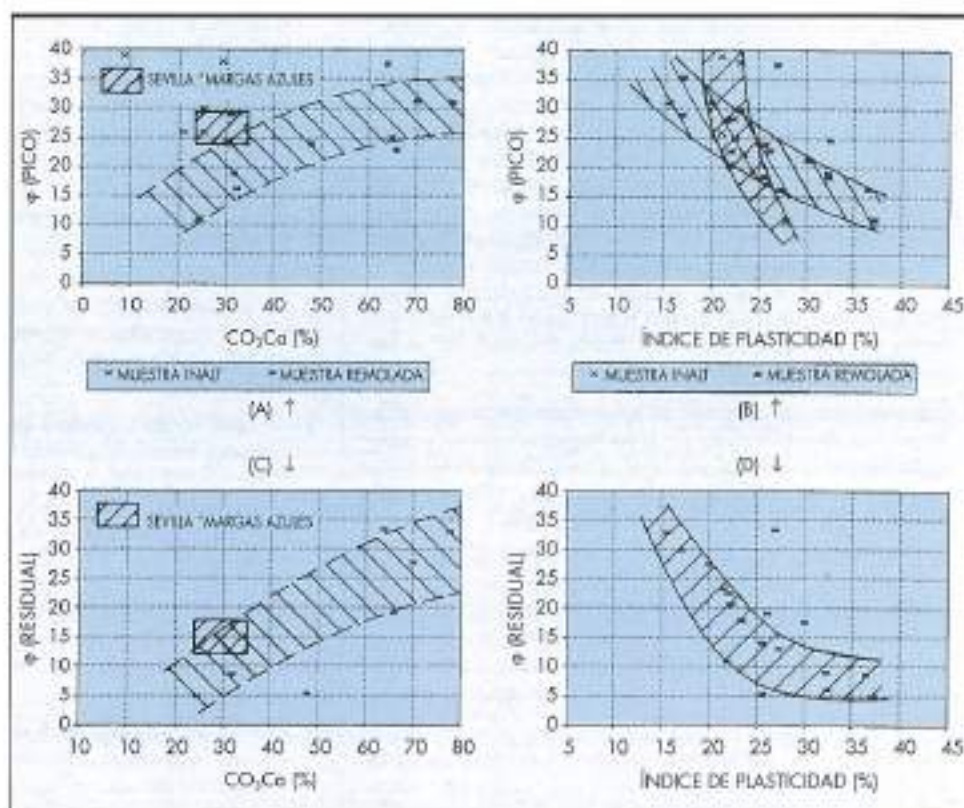
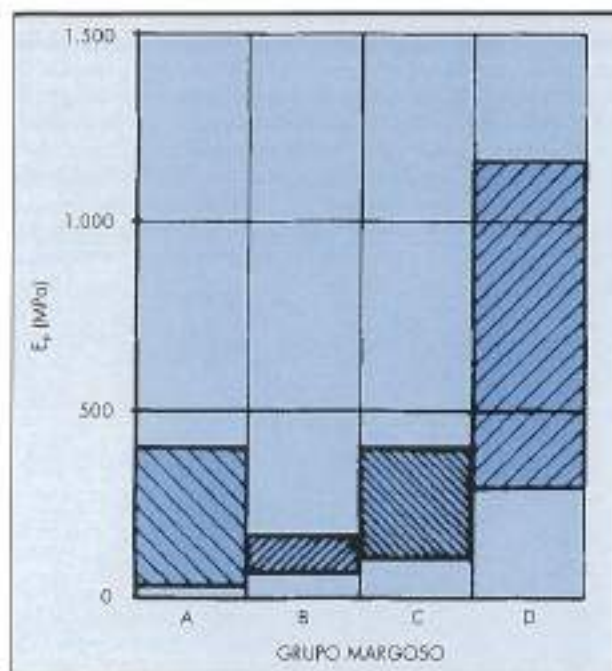


FIGURA 7. Correlaciones entre el ángulo de rozamiento y el contenido de carbonatos y el índice plástico.

FIGURA 8. Módulo presiométrico, E_p , rango de variación.

garantizar su disgregación en los procesos de excavación, acopios intermedios y puesta en obra, y compactar con humedades superiores a la óptima proctor.

- La marga en su estado inalterado, puede presentar unos parámetros resistentes muy diversos.

A fin de poner de manifiesto las variaciones de resistencia a compresión simple, q_0 , que pueden obtener, se han representado las distribuciones de resistencias obtenidas en dos formaciones clasificadas en el Grupo B: a) De la zona de Palencia (Norte de España, Valle del Río Ruero), con una resistencia media del orden de los 500 kPa o algo superior, con un contenido de carbonatos del 5-8% de CO_2 (fig. 3). b) De las "margas azules" (Sur de España, Valle del Río Guadalquivir), con una resistencia media del orden de 800-1.500 kPa y un contenido de carbonatos del 10-15% de CO_2 (fig. 4). En esta fig. 4 se aprecia no sólo el amplio rango de variación de una formación, sino la diferencia de resultados en muestras tomadas directamente (Sevilla City, Uriel and Oteo, 1976) y en sondeos (Sevilla City, Metro Predesign, 1972). Ello se debe a la alteración que introduce la toma de muestras, ya que destruye el efecto de cementación debido a los carbonatos, feldspatos, etc.

- Se observa una cierta tendencia a incrementarse el ángulo de rozamiento interno de estos materiales, al aumentar su contenido de carbonatos (fig. 7) y una tendencia marcada a descender éste al aumentar su plasticidad (fig. 7). Este incremento en el valor de ϕ al aumentar el contenido de carbonatos puede ser debido, en parte, a la presencia de nódulos carbonatados, que pueden falsear los resultados de los ensayos.
- No se observan diferencias claras entre los ensayos realizados con agua desaireada y con agua local en diversos

emplazamientos, destinados a analizar la posible influencia de los iones contenidos en el agua local, en la resistencia al corte.

- En cuanto a la deformabilidad cabe indicar que su estimación a través de ensayos de laboratorio puede ser equivocada. Por ejemplo en materiales del tipo A ("Toscos" de Madrid) se ha obtenido valores del módulo de deformación entre 25 y 230 MPa, según se utilicen edómetros saturados convencionales (valor inferior) o ensayos triaxiales drenados (valor superior). En ensayos de placa de carga se han llegado a obtener valores de hasta 400 MPa, del mismo orden de magnitud que en ensayos presiométricos. Fenómeno similar se ha detectado en las "margas azules" de Sevilla, seguramente originado por la alteración introducida por la toma de muestras, tallado, etc., en estas estructuras preconsolidadas y fisuradas.

En la fig. 8 se ha representado el rango de variación del módulo presiométrico en los diferentes grupos de margas españolas. Dicho módulo aumenta de los grupos B a D, al hacerlo la resistencia a compresión simple. En el grupo A, en que en los ensayos efectuados había capas de arcillas menos cementadas, las resistencias a compresión simple eran bajas (alteración de la cementación en la toma de muestras), pero los ensayos presiométricos se vieron influidos por la presencia de capas cementadas con apreciable contenido de arena.

- En cuanto a la estabilidad de taludes de desmonte en las formaciones margosas, está condicionada por la

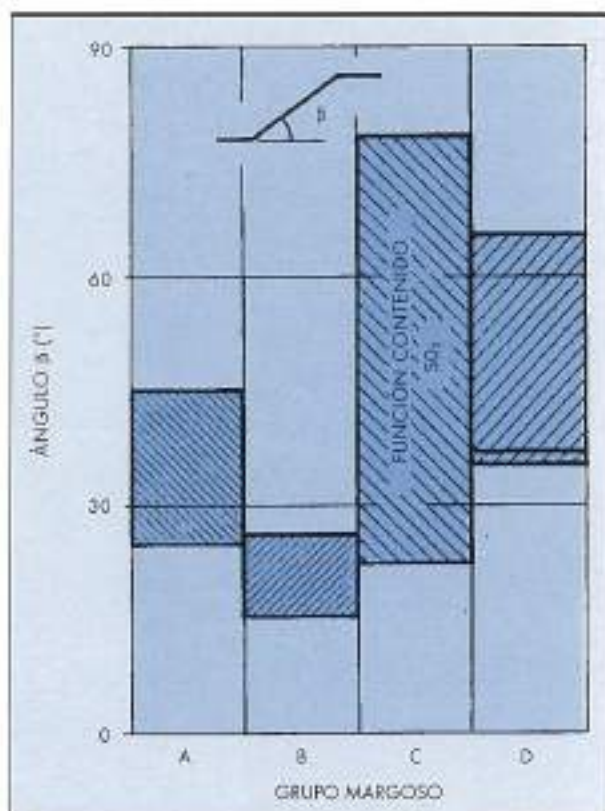


FIGURA 9. Rango de variación de taludes estables.

presencia de fisuras, discontinuidades y "slickensidas" presentes en la masa margosa. En la fig. 9 se indica el orden de magnitud de los taludes estables en estas funciones. En el Grupo D es necesario, a veces, un análisis tipo material rocoso.

De cara al futuro se considera de gran importancia, siguiendo la línea marcada por Terzaghi, de considerar con la mayor atención los comportamientos reales "in situ", realizar un seguimiento detallado del comportamiento de las obras que afectan a estos materiales. Este seguimiento per-

mitirá ampliar el conocimiento de la evolución de estos materiales al verse integrados en una obra, por efecto de los procesos a los que se ven sometidos, tales como procesos de decompresión, modificación de sus estructura por los procesos de excavación, humectación, compactación, o en general, modificación de sus condiciones de equilibrio natural. Asimismo se considera de gran interés el acudir a la realización de ensayos "in situ" frente a los ensayos de laboratorio, al fin de evitar al máximo los efectos de la decompresión, rotura de enlaces, etc., que provoca en el terreno la extracción de las muestras.

GARANTIA **Dragados**



Presa Rivera de Gata. Cáceres



Acondicionamiento Río Genil. Granada



Dique y Regeneración Playa Zurriola.
San Sebastián



Dragados

P.^a Alameda de Osuna 50 28042 Madrid
Tfno. 583 30 00 Fax 742 77 53

STYRELF

SOLUCIONES ANTIFISURAS



AUTOPISTA A-7

VALENCIA-CASTELLON

1993

- Una solución innovadora sobre losas de hormigón "première" mundial.

- Para tráfico pesado y altas temperaturas:

Mezcla bicomponente optimizada arena-STYRELF^{*} + pavimento antirroderas STYRELF^{**}

STYRELF, el único procedimiento químico de polimerización de betunes, puesto en obra en España.

STYRELF, el proceso que permite seleccionar y adaptar el tipo y el grado de modificación a cualquier betún para definir una solución fiable e innovadora.

STYRELF, la nueva generación de betunes elastómeros polimerizados que da más vida útil a las carreteras.

STYRELF, más de 19 años de experiencia mundial en tecnología de asfaltos modificados.

STYRELF, líder mundial en betunes modificados para las carreteras con más de 3.500.000 toneladas aplicadas en el mundo.

styrelf® Ibérica

Avenida de América, 32 - 2º - 28028 MADRID (ESPAÑA)
Telefs.: (91) 337 67 03/62 89 • Fax: (91) 337 64 67

Patentes nº 465 476 - 485 814 - 481 722 - 517 713 - 523 133 - 551 997 - 551 998
® Producto comercializado en España por PROAS del Grupo CEPSA, bajo licencia ELF.

* Ensayo de resistencia al remonte de fisuras: eficacia superior a 1,5.

** STYRELF especial para resistir al reblandecimiento de la mezcla arena-STYRELF.