

Trabajos de Geología, Univ. de Oviedo, 25 : 69-83 (2005)

Comportamiento geotécnico de los materiales lutíticos del Permotriás en Asturias

L. PANDO, C. LÓPEZ FERNÁNDEZ, M. TORRES ALONSO Y M. GUTIÉRREZ CLAVEROL

Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.

C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo, España. E-mail: claverol@geol.uniovi.es

Resumen: En este trabajo se exponen las principales características geológicas y propiedades geotécnicas de los sedimentos arcillosos permotriásicos en Asturias, determinadas a partir de ensayos de identificación y mecánicos realizados en laboratorio. En general predominan las arcillas y los limos de baja plasticidad, detectándose variaciones significativas en algunas propiedades índice (contenido en sulfatos, materia orgánica, etc.) en función de su localización geográfica. Geotécnicamente, se caracterizan por presentar una reducida capacidad portante y por su tendencia a producir importantes asentamientos de consolidación, existiendo asimismo un riesgo puntual de hinchamiento. Por último, dada la problemática detectada en numerosas infraestructuras, han sido modelizados informáticamente los distintos tipos de talud en estos materiales, habiéndose determinado la geometría óptima para los mismos, así como los sistemas de estabilización complementarios más adecuados.

Palabras clave: Permotriás, arcillas, ensayos geotécnicos, deficiencias geomecánicas, ingeniería civil.

Abstract: In this work we present the major geological and geotechnical properties of Permo-Triassic clays in Asturias, through a review of textural and mechanical laboratory tests. Low plasticity silts and clays are the more abundant types, but depending on their geographical location, they show significant compositional variations (sulfate content, organic matter...), which condition their measured properties. These sediments are inappropriate for shallow foundations due to their limited bear capacity and to their susceptibility to produce important consolidation settlements, existing also a punctual risk of soil expansivity. Finally, different types of slopes in these materials have been analyzed using computer software, in order to explain slope instabilities observed in several roads. We proposed the ideal geometry for those slopes, as well as the more suitable complementary systems of stabilization.

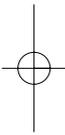
Key words: Permo-Triassic, clays, geotechnical tests, geomechanical deficiencies, civil engineering.

Los materiales atribuidos al Permotriás presentan una notable extensión superficial en la zona central de Asturias (Fig. 1). La mayor parte de la cuenca permotriásica asturiana se extiende al N de la Falla de Llanera, estructura de trazado E-O al sur de la cual se sitúa la "Depresión Mesoterciaria Central". Geográficamente los depósitos afloran desde Avilés hasta Colunga, ocupando áreas importantes de los municipios de Gijón, Sario, Villaviciosa, Siero y Cabranes.

Estos sedimentos, esencialmente los niveles margo-arcillosos superiores, muestran un comportamiento geotécnico singular, con una amplia problemática que incide sobre la superficie de asentamiento de importantes ins-

talaciones industriales y actividades constructivas en general (edificación, vías de comunicación y servicios).

La primera referencia bibliográfica acerca del comportamiento de estos materiales en obras de ingeniería se debe a Torres Alonso (1985), quien realizó una evaluación de sus características a efectos constructivos, tanto de las rocas inalteradas como de los productos arcillosos derivados de su alteración. Posteriormente, se llevaron a cabo varios estudios más en las zonas de Gijón (Gutiérrez Claverol et al., 2002) y Avilés (Torres Alonso y Gutiérrez Claverol, 2005) donde se abordan aspectos parciales de su problemática geotécnica. En los últimos tiempos también se han acometido publicaciones con



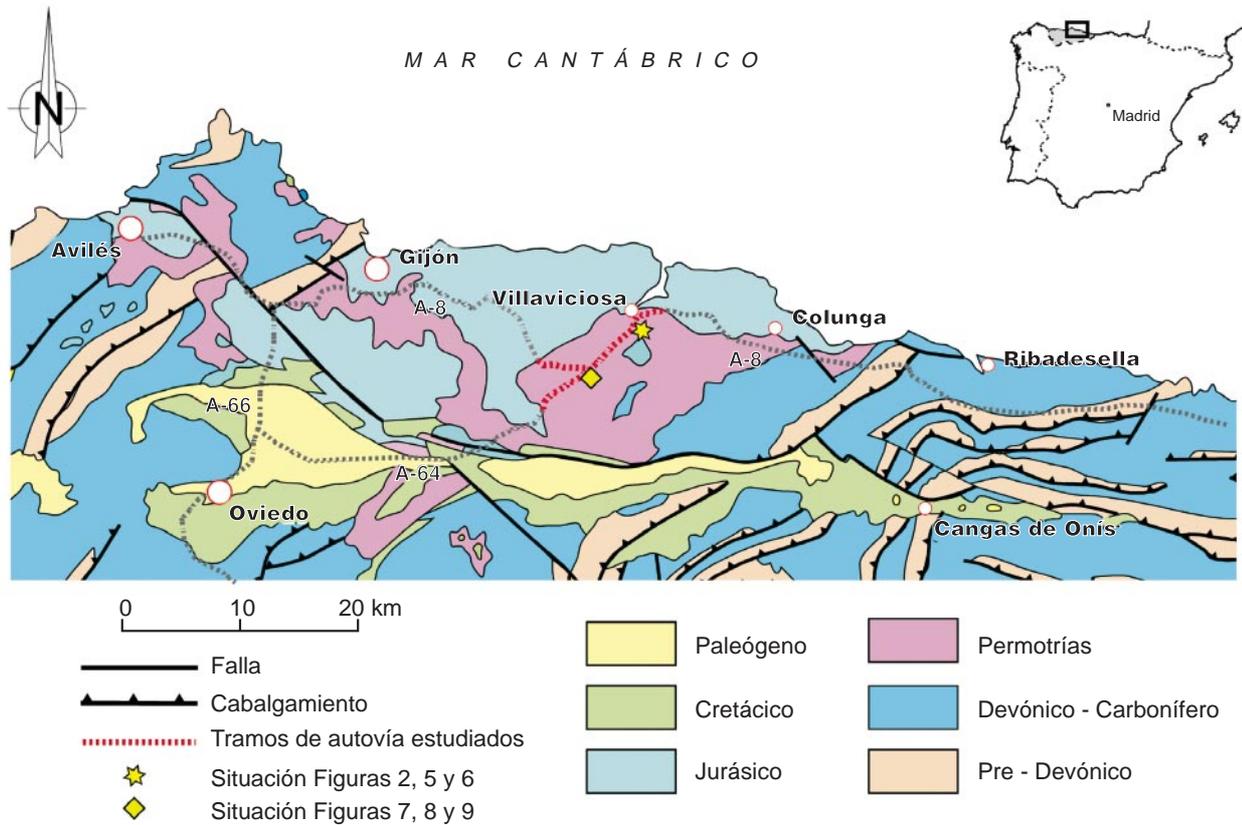
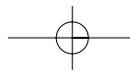


Figura 1. Localización geológica del área estudiada.

una sistemática similar a la aquí planteada en zonas anexas, como los afloramientos de arcillas residuales por descalcificación de carbonatos jurásicos en Gijón (López Fernández et al., 2005).

En el caso que nos ocupa son destacables los siguientes rasgos: deficiencias en términos de estabilidad en laderas y taludes, significativas deformaciones como cimiento natural, reducida capacidad portante, restringido aprovechamiento en la creación de rellenos controlados y presumible agresividad dependiente de la presencia de sulfatos. Todo este conjunto de carencias geotécnicas convierte a esta unidad litoestratigráfica en una de las más conflictivas en obra civil dentro del ámbito de la zona central de Asturias. En los últimos tiempos, la construcción de la Autovía del Cantábrico (A-8), concretamente el tramo que discurre al sur de Villaviciosa, ha proporcionado además de excelentes afloramientos de la sucesión estratigráfica, buenos ejemplos de la comprometida estabilidad de los términos arcillosos en los taludes.

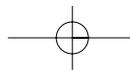
Los objetivos del presente trabajo se pueden resumir, por tanto, en los siguientes: caracterización mineralógica de los depósitos, ensayos de identificación –destinados a la determinación de los parámetros clásicos que

permitan su clasificación– y ensayos dinámicos, con la finalidad de valorar el comportamiento del terreno frente a las modificaciones del estado de equilibrio natural que comporta la ejecución de una obra.

A tal fin, se han estudiado muestras, tanto alteradas como inalteradas, obtenidas de sondeos y afloramientos a lo largo de toda la cuenca permotriásica: zona de Avilés, Gozón, Gijón, Villaviciosa, Colunga, etc. El comportamiento de los materiales fue asimismo observado *in situ* en los taludes de la Autovía A-64 y de la nueva Autovía del Cantábrico (A-8).

Descripción geológica

Lo que se ha venido a denominar Permotriás en Asturias constituye un conjunto estratigráfico complejo sobre el que aún existen múltiples incógnitas. Barrois (1882) es el primer autor en mencionar rocas pérmicas en el Principado (área de Villaviciosa, Cabranes y Langreo), siendo Adaro y Junquera (1916) quienes atribuyen al Triásico, por vez primera, ciertos materiales rojizos. Sin embargo, las primeras dataciones fehacientes se deben a Patac (1920) que asigna a las plantas fósiles (*Walchia*, *Cordaites*, *Pecópteris*, *Lepidodendron*, *Ca-*

**Tabla I.** Unidades litoestratigráficas permotriásicas en las inmediaciones de La Collada (Gijón). (Basada en Pieren et al., 1995, con modificaciones).

Edad	Miembros considerados	Formaciones equiparables
LÍAS BASAL	Arcillas marrones y pizarras negras con yeso y anhidrita (<60 m)	<i>Tramo de transición</i> (Suárez Vega, 1974) <i>Fm. Fuentes</i> (Suárez Rodríguez, 1988)
SAXONIENSE	Margas y arcillas superiores (200 m) Limos superiores (40 m) Margas rojas con cavidades (18-24 m) Calizas o Brecha caliza (<26 m) Caliches (30 m) Limos inferiores (<25 m) Conglomerados basales (<87 m)	<i>Fm. Caravia</i> (Martínez García, 1991)
PÉRMICO INF.	Tobas del arroyo Vilorteo (?)	<i>Fm. Cabranes</i> (?) (Martínez García, 1991)

llipteris) encontradas en Puente Vergueres (Siero), una edad pérmica.

En épocas más recientes, aparecen algunos trabajos que confirman la presencia de Pérmico en esta región, entre ellos cabe destacar los de Meléndez (1950), Martínez García (1981, 1983 y 1990), Wagner y Martínez García (1982), Suárez Rodríguez (1988), Manjón et al. (1992) y Pieren *et al.* (1995). Por otro lado, el conocimiento de la cuenca permotriásica experimenta un impulso añadido con las prospecciones efectuadas en relación a la minería de la fluorita (Jullien, 1974; Forster, 1974; Endlicher, 1976; Ferrand, 1978; Ferrand y Thibieroz, 1978).

Repasando la serie permotriásica (Tabla I), hacia la base se dispone la *Fm. Cabranes*, caracterizada por una considerable variación lateral. En Gijón fueron hallados en un sondeo unos pocos metros de tobas volcánicas, por debajo del conglomerado silíceo pérmico y discordantes sobre los materiales carboníferos. Sin embargo en el área de Villabona se han descrito hasta 86,9 m de una sucesión cinerítica con flora fósil, que podría ser un equivalente de la *Fm. Cabranes*, no obstante por debajo de la misma aún aparecen 105 m de conglomerados, areniscas y lutitas de tonos negruzcos y rojizos, discordantes sobre materiales del Carbonífero (Manjón et al., 1992). En las cercanías de Villaviciosa, la *Fm. Cabranes* contiene macroflora de edad Autuniense (Wagner y Martínez García, 1982).

Por su parte, la *Fm. Caravia* posee cierta heterogeneidad litológica (conglomerados, areniscas, margas, limolitas, arcillitas), diferenciándose, en base a sus características geotécnicas, el tramo superior de naturaleza arcillo-margosa del resto. Estos términos superiores están constituidas por una unidad muy monótona de lutitas arenoso-limosas y limolitas arcillosas con un característico color rojizo y más escasamente verdoso, en ocasiones carbonatadas (dolomicríticas), con nódulos de car-

bonato, cristales de yeso y abundantes nivelillos (normalmente de espesor inferior a 10 cm) de yeso fibroso diagenético. Puntualmente se encuentran niveles de margas negruzcas ricas en materia orgánica. En los lugares donde se conserva este miembro sin erosionar, sobrepasa los 200 m de potencia. Estos materiales han sido descritos como “Formación pelítica superior” (Ferrand, 1978).

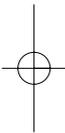
Por último, el *Tramo de transición* comprende un conjunto lutítico con importantes niveles de sulfatos que han sido objeto de actividades extractivas mediante minería subterránea (Manjón y Gutiérrez Claverol, 1991). El espesor de este tramo es muy variable, desde su ausencia hasta potencias que alcanzan 20 e incluso 60 metros. Ha sido datado (Martínez García et al., 1998) mediante microflora –esporas y granos de polen– y acritarcos, como de edad Retiense (Triásico Superior). A techo del mismo se pasa directamente a las calizas y dolomías típicas de la Formación Gijón (Jurásico).

No obstante, debe citarse respecto al miembro inferior de la *Fm. Gijón* que, aunque habitualmente considerado como perteneciente al Lías, Barrón *et al.* (2002) han obtenido mediante palinomorfos para el mismo miembro y en la región oriental, una edad Retiense.

En lo referente a la disposición estructural de los depósitos permotriásicos, la tendencia general es subhorizontal o ligeramente buzante (5-15°).

Depósitos arcillosos

En el presente estudio, la atención se centra en los tramos superiores de la serie permotriásica, conformados por depósitos arcillosos dominantes ligados en ocasiones a niveles de margas y areniscas, y con características tonalidades rojizas, localmente verdosas y grisáceas. Hacia el contacto con los carbonatos de la *Fm. Gijón*



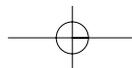


Figura 2. Niveles intercalados de yeso hacia el techo de la serie permotriásica al sur de Villaviciosa.

aparecen en la zona de Villaviciosa frecuentes intercalaciones centimétricas de yesos blanquecinos con distribución irregular y reducida continuidad lateral (Fig. 2).

Para que la investigación se pudiese acometer de forma ordenada, se ha optado por zonificar geográficamente el área de afloramiento de estos depósitos, estableciendo tres sectores: Avilés, Gijón y Villaviciosa. Esto ha permitido realizar comparaciones y valoraciones según las distintas zonas de interés.

Estudio mineralógico

Se ha entrado a considerar la composición de estos sedimentos a través del análisis mineralógico mediante difracción de rayos X sobre varias muestras desde las perspectivas cualitativa y cuantitativa, ello ha puesto de manifiesto el notorio interés que la fracción correspondiente a los minerales arcillosos tiene en las zonas tratadas.

La Tabla II recoge marcadas diferencias entre las muestras pertenecientes al sector de Gijón frente a las tomadas en Avilés (sedimentos más antiguos). El contenido en cuarzo y feldespatos es similar en ambos casos, sin embargo en la zona gijonesa el porcentaje de minerales carbonatados es elevado y casi nulo en Avilés. Debe re-

cordarse que los sedimentos gijoneses pertenecen a la parte superior de la serie estratigráfica próximos a los carbonatos de la Fm. Gijón.

En lo referente a los minerales arcillosos, destaca sobremanera el contenido sensiblemente superior en el área de Avilés, tanto porcentual como cualitativamente, ya que se diferencian un mayor número de especies minerales. La proporción de illita es semejante en ambos sectores, pero en Avilés abundan la caolinita, clorita y montmorillonita, de escasa presencia en el sector gijonés. En cuanto a los interestratificados, mientras que en Gijón dominan los de montmorillonita-caolinita, en Avilés proliferan los de illita-vermiculita.

Es importante señalar que se han determinado en la zona de Gijón (Gutiérrez Claverol et al., 1998) contenidos puntuales elevados de arcillas especiales, tanto de sepiolita (muy escasa en Asturias) como otras del grupo de las esmectitas, estas últimas con valores locales por encima del 40%.

Propiedades geotécnicas

Al objeto de permitir una correcta caracterización e interpretación del comportamiento de estos materiales lutíticos en términos geomecánicos, se ha procedido a estudiar y analizar los datos procedentes de más de un centenar de ensayos geotécnicos recopilados en los sectores mencionados, con especial profusión de muestras en Avilés y Gijón. En España los laboratorios homologados para la realización de este tipo de ensayos siguen las normas UNE editadas por AENOR, que es el organismo encargado de transferir las normas europeas EN.

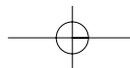
Ensayos de identificación

En los ensayos analizados (Tabla III) y con independencia de la zona muestreada se observa que la densidad aparente presenta una evidente uniformidad, situándose el valor medio obtenido en $2,57 \text{ g/cm}^3$. En lo referente a la determinación de la humedad natural (W), los valores más altos se han localizado en Avilés, con un promedio levemente superior a Gijón y algo más respecto a Villaviciosa.

Los valores obtenidos acerca del contenido en materia orgánica revelan altas concentraciones, tanto en Gijón como Avilés. Se intuye que una parte importante de los valores, estimables como anómalos, provienen de muestras contaminadas dando lugar a una distribución con una marcada dispersión ($C_v > 2$).

El porcentaje en carbonatos de las muestras ensayadas es notablemente superior en la zona gijonesa, con un valor medio de casi el 20%. La situación de estos depósitos de inmediato subyacentes a la serie estratigráfica carbonata-



**Tabla II.** Composición mineralógica de las arcillas permotriásicas en los sectores de Avilés y Gijón.

	Muestra en polvo								Agregado orientado				
	Q	Ca	D	F	P	Mi	I	C	I	C	Cl	M	Int
Gijón	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■		■	■		■ ■	-		■ ■	M-C -
	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■	■				■ ■		-	■ ■	M-C ■
	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■					■ ■	■		■	M-V ■ ■ ■, M-C ■
	■	■ ■ ■ ■		■					■ ■	■	■		
	■	■ ■ ■ ■							■ ■				M-C ■ ■ ■
Avilés	■ ■ ■ ■			■					■ ■ ■ ■	■		■ ■	I-V ■ ■ ■ ■
	■ ■ ■ ■			■					■	-		■ ■	I-V ■
	■ ■ ■ ■	■		■		■		■	■ ■	■ ■	■ ■ ■ ■		
	■ ■ ■ ■			■		■ ■		■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■ ■ ■	I-V ■ ■ ■ ■
	■ ■ ■ ■			■		■		■	■ ■	■	■	■ ■	
	■ ■ ■ ■	■ ■		■		■		■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■	■ ■	M-V ■ ■ ■, M-C ■ ■ ■

Leyenda: Q = cuarzo; Ca = calcita; D = dolomita; F = feldespatos; P = plagioclasas; Mi = mica; I = illita; C = caolinita; Cl = clorita; M = montmorillonita; V = vermiculita; Int = interstratificados; (■ ■ ■ ■) Muy abundante; (■ ■ ■) Abundante; (■ ■) Poco abundante; (-) Indicios.

Tabla III. Datos obtenidos en los ensayos de identificación sobre las arcillas del Permotriás.

Parámetro	Sector	Nº muestras	Mínimo	Máximo	\bar{X}	S	C _v
ρ (g/cm ³)	Avilés	6	2,42	2,66	2,55	0,08	0,03
	Gijón	5	2,50	2,67	2,59	0,08	0,03
W (%)	Avilés	59	11,7	54,9	24,05	8,32	0,35
	Gijón	13	7,75	35,4	21,6	9,52	0,44
	Villaviciosa	3	16	18,74	17,4	-	-
M.O. (%)	Avilés	29	0	7,5	3,19	8,32	2,61
	Gijón	7	0	4,95	2,12	1,82	0,86
CO ₃ ²⁻ (%)	Avilés	20	0	29	3,47	8,75	2,52
	Gijón	8	4,2	30,92	19,97	9,63	0,48
	Villaviciosa	1	5,6	5,6	5,6	0	0
SO ₄ ²⁻ (%)	Avilés	24	0	0	0	0	-
	Gijón	8	0	0,1	0,01	0,04	4,00
	Villaviciosa	3	0,2	4,8	2,4	-	-
W _L	Avilés	62	21	66	38,21	9,37	0,25
	Gijón	50	23	72	43,12	11,86	0,28
	Villaviciosa	6	25,71	33	30,5	-	-
W _P	Avilés	62	13	36	23,13	5,49	0,24
	Gijón	50	19	44	26,98	5,18	0,19
	Villaviciosa	6	14	24,1	19,11	-	-
IP	Avilés	62	2	34	15,08	6,61	0,44
	Gijón	50	1	43	16,14	9,21	0,57
	Villaviciosa	6	8,9	15	11,39	-	-

Leyenda: ρ = densidad aparente; W = humedad natural; M.O. = materia orgánica; W_L = Límite Líquido; W_P = Límite Plástico; IP = Índice de Plasticidad; \bar{X} = media aritmética; S = desviación estándar; C_v = coeficiente de variación de Pearson

da jurásica explicaría esta circunstancia. Por su parte, en Avilés la oscilación de valores es amplia, y por ello el promedio obtenido (3,47%) es poco representativo.

El contenido en sulfatos se revela nulo en la mayor parte de las muestras, en especial en Avilés (negativo en to-

dos los ensayos), detectándose en Gijón un porcentaje mínimo y de carácter puntual. No obstante en Villaviciosa, si bien se dispuso de pocos ensayos, se ha encontrado un contenido medio destacable (> 2%) vinculado con total seguridad a los niveles yesíferos reseñados.

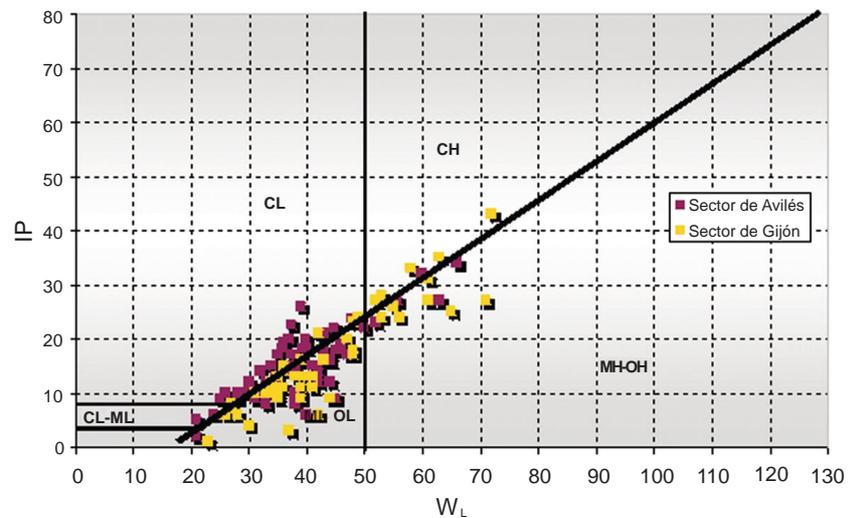
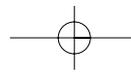


Figura 3. Carta de plasticidad de Casagrande de los materiales arcillosos del Permotrías.

En la valoración de los límites de Atterberg se ha dispuesto de un conjunto de datos extenso, con más de un centenar de ensayos procedentes en su mayor parte de Gijón y Avilés. No se han encontrado valores de límite líquido (W_L) especialmente elevados ni en Avilés ni en Gijón con máximos por debajo de 75, constatándose unos promedios respectivos de 38,21 y 43,12 que sitúan a estas arcillas como materiales de baja plasticidad. No existen tampoco fluctuaciones marcadas de los valores, de modo que el ajuste de las distribuciones para los límites resulta en definitiva aceptable ($C_V < 0,3$).

Si se observa la carta de plasticidad obtenida representando estos datos (Fig. 3), se confirma la prominente concentración de valores en los cuadrantes de baja plasticidad. Esta tendencia es común en los sectores de Avilés y Gijón, correspondiendo por tanto al dominio de las arcillas y limos de tipologías CL y ML según la clasificación S.U.C.S.

Un análisis en mayor profundidad permite no obstante establecer alguna disparidad entre las arcillas pertenecientes a ambas zonas. Como se puede apreciar (Fig. 4), en Avilés dominan las arcillas CL (>50%) sobre los limos ML (en torno al 30%), en contraposición al sector gijonés donde ocurre justo lo contrario, siendo mayoritarios los términos ML (>40%). También se debe resaltar que los finos de alta plasticidad son más frecuentes en la zona de Gijón que en Avilés, donde sólo es destacable el porcentaje de limos tipo MH (10%).

Ensayos mecánicos

En lo referente a las pruebas dinámicas (compresión, corte directo, edométricos...), se han manejado datos procedentes de un número más reducido de ensayos que

en el apartado anterior, aún así los resultados obtenidos (Tabla IV) admiten algunos comentarios.

Queda constatada la escasa resistencia a compresión uniaxial que poseen las arcillas, con valores que se sitúan entre 1 y 3 kp/cm^2 en Avilés y Gijón. Las muestras que arrojan las mayores resistencias están ligadas en su mayoría a depósitos de composición más margosa, y aquellas con valores muy pequeños suelen provenir de la cubierta eluvial.

El ángulo de rozamiento interno del terreno varía de forma sustancial, alcanzando valores por debajo de 20° en gran número de muestras. Se aprecia también que las arcillas tipo CL en Gijón presentan un ángulo medio hasta un 50% superior al de sus homónimas de la zona de Avilés.

La cohesión proporciona máximos moderados ($< 1 \text{ kp/cm}^2$) y también una fluctuación de valores destacable entre las distintas tipologías del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), no permitiendo la escasez de muestras percibir la tendencia habitual de mayor cohesión para los términos más plásticos.

Los valores del índice de compresión determinados en las pruebas edométricas muestran que en general estos depósitos en ambos sectores se clasifican como suelos medianamente compresibles ($0,1 < C_c < 0,3$), si bien se observan en Gijón valores que indican elevadas compresibilidades ($C_c > 0,3$). Esto debe estar relacionado con la mayor abundancia de arcillas tipo CH y limos MH respecto a Avilés.

Por último, los ensayos de hinchamiento (ensayo Lambe) realizados en la zona de Avilés han puesto de manifiesto la existencia de un riesgo de peligrosidad marginal ante puntuales concentraciones de minerales expansivos.



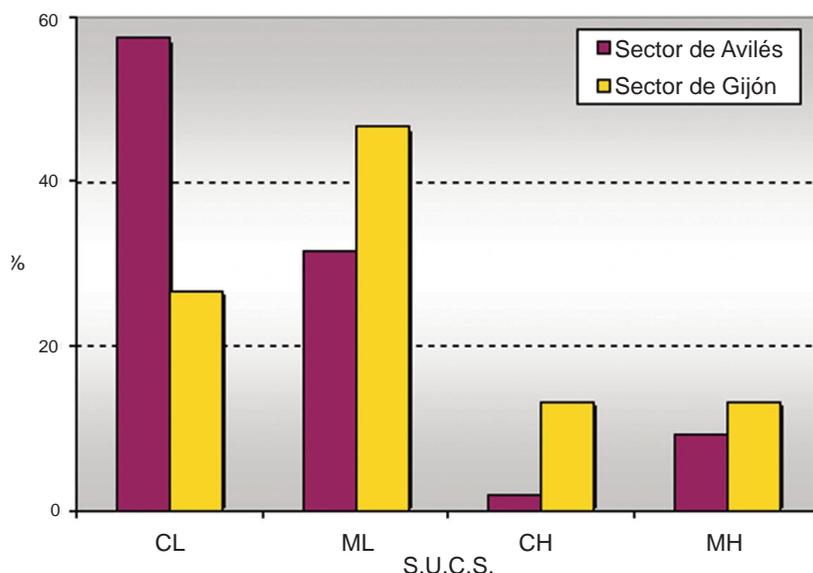
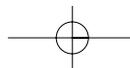


Figura 4. Clasificación Sistema Unificado Clasificación Suelos (S.U.C.S.) de los depósitos en Avilés y Gijón.

Valoración geotécnica

Una vez estimados los parámetros de laboratorio que definen el comportamiento geotécnico de los materiales, se entra a valorar la problemática inducida en varios campos de actuación propios de la obra civil. En esta interpretación tienen cabida también las observaciones de campo realizadas en los taludes de las Autovías A-8 y A-64 que han permitido focalizar el estudio hacia aspectos específicos de su ejecución. Dichas vías de comunicación constituyen un buen muestrario de soluciones constructivas para evitar o paliar los fenómenos de inestabilidad a que son proclives los taludes realizados en las arcillas rojizas objeto de estudio.

Problemática relacionada con obras lineales

La escasa estabilidad de los niveles arcillosos superiores de la serie permotriásica y, especialmente, del manto de alteración meteórica más superficial, se pone ya de manifiesto en las abundantes evidencias de reptación (“creep”) y morfologías lobuladas que muestran las praderías anexas a los viales, aún con pendientes de ladera relativamente reducidas.

En los tramos de autovía considerados, debido a la topografía, coexisten taludes en arcillas con un amplio rango de alturas y pendientes. Como norma general, cuanto mayor es su altitud, menor es la inclinación, y en aquellos casos donde el desmonte o la trinchera implican alturas elevadas, para evitar un tendido de talud considerable y minimizar la ocupación en superficie, se establecen varios niveles de bermas intercaladas (Fig. 5). Se han encontrado sin embargo en las proximidades de Villaviciosa taludes con ángulos muy bajos ($<20^\circ$) y alza-

do considerable, posiblemente debidos a problemas específicos de ejecución o presencia de potentes recubrimientos eluviales.

Los niveles de yesos y areniscas comentados que se intercalan en la serie estratigráfica ejercen en cierta medida (en función de su potencia y proporción relativa) una labor de “armado” o refuerzo de las arcillas, posibilitando taludes con una pendiente levemente superior, sin embargo no debe ignorarse la función de disolvente que el agua ejerce para los sulfatos con el consiguiente dismantelamiento de los horizontes yesíferos en condiciones subaéreas. Precisamente esta erosión da lugar a pequeños y puntuales fenómenos de desprendimiento por rodadura de bloques centimétricos de yeso (Fig. 6).

Por otro lado, teniendo en cuenta el grado de impermeabilidad de estos materiales, son netamente susceptibles a la erosión por fenómenos de arroyada concentrada, acusándose la falta de un drenaje adecuado en coronación de los taludes al objeto de evitar su degradación por las aguas de escorrentía superficial. Así pues se desarrolla el consecuente acarcavamiento, produciéndose la colmatación de las cunetas perimetrales de la calzada con el material movilizado. Cuando la pendiente es muy reducida y con ello el talud extenso y sin bermas, el agua dispone de mayor recorrido e incrementa su velocidad, magnificando su acción erosiva y desarrollando marcadas incisiones en la ladera (Fig. 6).

De manera complementaria, se han localizado pequeñas fallas subverticales de desplazamiento decimétrico que conforman zonas de debilidad (control estructural de la erosión) donde el abarrancamiento del talud se maximiza. Una forma de minorar estos impactos la constituye



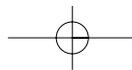
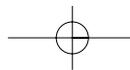


Figura 5. Talud con bermas a varios niveles en las cercanías del paso inferior bajo la ría, margen derecho, en dirección a Villaviciosa (A-8, pk 364).

Tabla IV. Datos obtenidos en los ensayos mecánicos sobre las arcillas del Permotrías.

Parámetro	Sector	SUCS	Nº muestras	Mínimo	Máximo	\bar{X}	S	C _v
qu (kp/cm ²)	Avilés	–	9	1,6	4,7	2,74	1,19	0,43
	Gijón	–	6	0,9	2,5	1,6	0,56	0,35
	Villaviciosa	–	2	3,53	6	4,76	–	–
Ø (°)	Avilés	CH	4	13	33	24	8,25	0,34
	Avilés	CL	8	9	30	20,05	6,84	0,34
	Avilés	MH	1	39	39	39	0	0
	Avilés	ML	1	20	20	20	0	0
	Gijón	CH	1	29	29	29	0	0
	Gijón	CL	6	22	40	31,5	7,42	0,24
	Gijón	MH	2	6	20	13	9,9	0,76
	Gijón	ML	2	18	21	19,5	2,12	0,11
	Villaviciosa	–	1	27	27	27	0	0
c (kp/cm ²)	Avilés	CH	4	0,16	0,33	0,25	0,1	0,40
	Avilés	CL	8	0,24	0,98	0,61	0,27	0,44
	Avilés	MH	1	0,32	0,32	0,32	0	0
	Avilés	ML	1	0,74	0,74	0,74	0	0
	Gijón	CH	1	0,23	0,23	0,23	0	0
	Gijón	CL	6	0,22	0,84	0,41	0,25	0,61
	Gijón	MH	2	0,45	0,72	0,59	0,19	0,32
	Gijón	ML	2	0,68	0,95	0,82	0,19	0,23
	Villaviciosa	–	1	0,28	0,28	0,28	0	0
Cc	Avilés	–	4	0,10	0,20	0,13	0,05	0,40
	Gijón	–	10	0,09	0,52	0,24	0,16	0,67
IH	Avilés	–	10	0,44	1,43	1,02	0,28	0,27

Leyenda: qu = resistencia a compresión; Ø = ángulo de rozamiento; c = cohesión; Cc = índice de compresión; IH = índice de hinchamiento (Ensayo Lambe); \bar{X} = media aritmética; S = desviación estándar; C_v = coeficiente de variación de Pearson



los tratamientos superficiales de revegetación, creando una cubierta de protección frente al “splash” y formación de “rills”, así como el afianzamiento del sustrato.

De cualquier manera estas labores correctivas deben ejecutarse con la suficiente previsión, máxime considerando la elevada pluviometría de la zona, y prestando especial atención a la eventual retención de aguas de escorrentía, situación evitable con un sistema de drenaje eficaz. Todo ello al objeto de impedir no sólo la erosión física del talud, sino también la alteración de los minerales arcillosos y niveles de sulfato presentes.

La conjunción de factores como una pendiente inapropiada, la erosión superficial y la saturación del terreno disminuyendo la resistencia a cortante, desemboca en ocasiones en deslizamientos de componente rotacional y pequeños flujos (Fig. 7), con previsible afección a la calzada. Estos movimientos del terreno, normalmente muy localizados, son habituales y reconocibles a lo largo de los tramos de autovía evaluados. Si bien en su mayoría movilizan la parte alta del talud y tienen carácter superficial, son perfectamente factibles eventos con superficie de rotura más profunda que implican al talud en toda su longitud, dada la potencia que alcanzan las arcillas. Se considera por ello recomendable en grandes ataluzados, la monitorización instrumental así como la inspección frecuente ante la aparición de grietas de tracción y/o asentamientos en coronación, en previsión de movimientos en masa de gran magnitud. Una vez producidas las desestabilizaciones, en la reparación se tiende a la corrección topográfica con relleno de material granular (pedraplén) y se coloca una escollera al frente como protección hacia el vial.

Cuando el tratamiento técnico se dirige a la contención o estabilización de movimientos incipientes, es frecuente la adopción de escolleras con dos disposiciones prioritarias, como contención a pie de talud y como revestimiento de ladera (Fig. 8). Al objeto de facilitar la evacuación hídrica a trasdós, se efectúan localmente canales perimetrales y drenes con piedra seleccionada (Fig. 9). También son abundantes en carreteras de la red secundaria, pequeños muros de contención de hormigón dimensionados a gravedad.

Por otra parte, los depósitos lutíticos permotriásicos se han empleado de manera habitual como material de préstamo para la construcción de terraplenes, habiendo sido calificados como “suelo tolerable” (según PG-3) por poseer condiciones aceptables a tal fin. Sin embargo, pueden presentarse problemas de compactación que impliquen la necesidad de aditivos, amén de resultar indiscutible un control exhaustivo del contenido en yesos, materia orgánica, etc, conforme a la normativa técnica vigente.

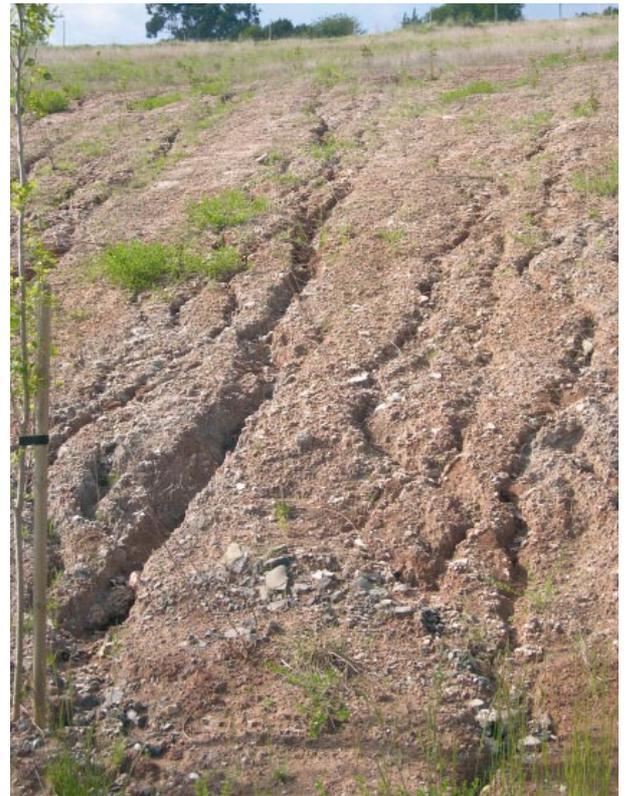


Figura 6. Acarcavamientos producidos por arroyada concentrada. Los fragmentos que se observan corresponden al deterioro de los niveles yesíferos.

Modelización de los taludes

Al objeto de evaluar la estabilidad de los taludes en las lutitas, se ha procedido a su modelización mediante tratamiento informático. En primer lugar se han seleccionado cuatro muestras tipo representativas (Tabla V) en función de su tipología S.U.C.S. a partir de los ensayos anteriormente descritos. En base a estos datos han sido elaborados diversos prototipos de taludes, tanto con bermas como con pendiente continua, para los que se analizó su estabilidad global. En concreto se han modelizado cuatro pendientes estándar de talud (2H/1V, 3H/2V, 1H/1V y 1H/2V) con alturas variables de 5, 10, 20 y 30 m. El cálculo de la estabilidad se ha llevado a cabo mediante el programa informático *Slope* (Geostru), siguiendo el método de Bishop (1955) para taludes en suelos.

Para cada uno de los taludes planteados se ha determinado el factor de seguridad correspondiente al círculo de rotura más probable, obteniéndose así una buena aproximación teórica al equilibrio del talud. Se han considerado, por simplificación en el proceso, taludes homogéneos y prácticamente impermeables, así como un total de 25 rebanadas en la masa deslizada y una malla de centros de 15 x 15 a efectos de cálculo (Fig. 10). Por otro



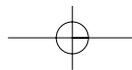


Figura 7. Deslizamiento reciente en las proximidades del entronque de la Autovía A-64 y la A-8, donde se aprecian la masa desplazada y la cicatriz erosiva.

lado, en términos geométricos, los taludes con bermas se han definido situando escalones de 2 m de ancho cada 10 m de altura, manteniendo los ángulos de inclinación en las zonas de pendiente. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla VI.

En todo caso, es necesario señalar que los estudios realizados pretenden únicamente establecer una pauta teórica de comportamiento pero no pueden reflejar la infinita casuística geológica y geotécnica posible, así como todos aquellos factores ambientales o antrópicos que pueden llegar a condicionar en último caso la estabilidad de un talud. Si bien es imposible modelizar todas estas va-

riables, se pueden extraer –a partir de los datos obtenidos– algunas pautas generales de comportamiento de estos materiales.

Taludes sin bermas. Para alturas de talud por debajo 10 m son recomendables pendientes 1H/2V (ver Tabla VII) e incluso superior en casos concretos, asumiendo como estable un factor de seguridad comprendido entre 1,2 y 1,5, considerado como habitual en obras lineales. Se ha constatado *in situ* en los taludes de las autovías cómo la mayor parte de los taludes con alturas similares eran estables con las pendientes comentadas. Para alturas superiores (20-30 m) es necesario rebajar la pendiente hasta

Tabla V. Parámetros geotécnicos de las muestras tipo empleados en el procedimiento de cálculo.

S.U.C.S.	Ángulo rozamiento interno (°)	Cohesión (kp/cm ²)	Densidad aparente (g/cm ³)
CH	27	0,25	2,57
CL	25	0,33	2,57
MH	23	0,45	2,57
ML	20	0,78	2,57

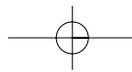


Figura 8. Escollera de revestimiento en la Autovía A-64.

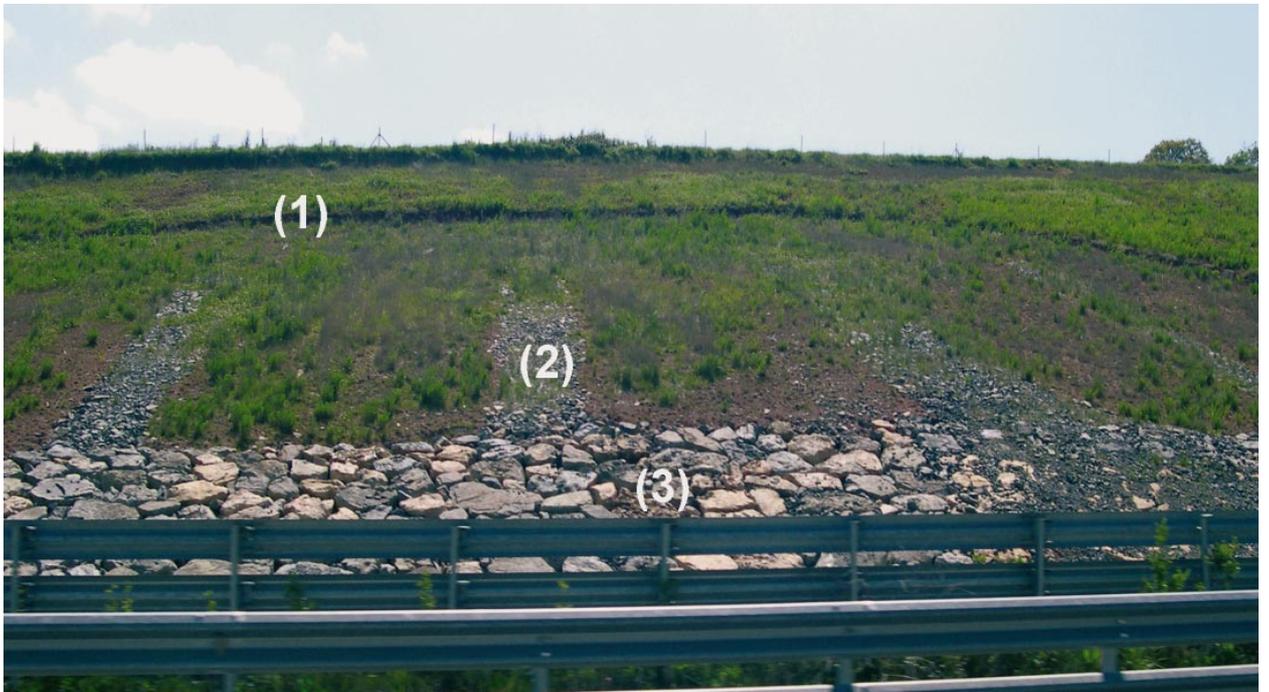
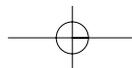


Figura 9. Talud con canal perimetral (1), drenes longitudinales (2) y escollera al pie (3).

**Tabla VI.** Factores de seguridad obtenidos en el cálculo de la estabilidad de taludes.

		Factor de seguridad (Fs)							
		Tipo CH		Tipo CL		Tipo MH		Tipo ML	
		ρ (g/cm ³) = 2,57 \emptyset (°) = 27 c (kp/cm ²) = 0,25		ρ (g/cm ³) = 2,57 \emptyset (°) = 25 c (kp/cm ²) = 0,33		ρ (g/cm ³) = 2,57 \emptyset (°) = 23 c (kp/cm ²) = 0,45		ρ (g/cm ³) = 2,57 \emptyset (°) = 20 c (kp/cm ²) = 0,78	
Talud	H (m)	Pendiente continua	Con bermas						
1H/2V 63,5°	5	1,86		2,13		2,60		3,72	
	10	1,13		1,27		1,46		2,07	
	20	0,83	0,91	0,89	0,98	0,98	1,07	1,26	1,37
	30	0,71	0,81	0,75	0,84	0,80	0,90	0,99	1,09
1H/1V 45,0°	5	2,28		2,58		3,05		4,41	
	10	1,41		1,64		1,89		2,60	
	20	1,13	1,22	1,19	1,28	1,29	1,39	1,62	1,74
	30	0,98	1,08	1,01	1,10	1,07	1,16	1,29	1,40
3H/2V 33,7°	5	2,59		2,91		3,43		4,92	
	10	1,85		2,01		2,27		2,97	
	20	1,43	1,52	1,49	1,58	1,61	1,70	1,93	2,01
	30	1,26	1,37	1,28	1,42	1,35	1,43	1,58	1,70
2H/1V 26,5°	5	2,97		3,32		3,84		5,30	
	10	2,20		2,32		2,56		3,29	
	20	1,74	1,83	1,79	1,90	1,88	2,00	2,24	2,35
	30	1,57	1,69	1,60	1,71	1,63	1,73	1,86	1,94

Leyenda: ρ = densidad aparente; \emptyset = ángulo de rozamiento; c = cohesión.

Tabla VII. Pendientes de talud recomendadas con carácter general.

Altura (m)	Máximo talud sin bermas recomendable (Fs > 1,2)			
	CH	CL	MH	ML
5	1H/2V (63,5°)	1H/2V (63,5°)	1H/2V (63,5°)	1H/2V (63,5°)
10	1H/1V (45°)	1H/2V (63,5°)	1H/2V (63,5°)	1H/2V (63,5°)
20	3H/2V (33,7°)	1H/1V (45°)	1H/1V (45°)	1H/2V (63,5°)
30	3H/2V (33,7°)	3H/2V (33,7°)	3H/2V (33,7°)	1H/1V (45°)
Altura (m)	Máximo talud con bermas recomendable (Fs > 1,2)			
	CH	CL	MH	ML
20	1H/1V (45°)	1H/1V (45°)	1H/1V (45°)	1H/2V (63,5°)
30	3H/2V (33,7°)	3H/2V (33,7°)	3H/2V (33,7°)	1H/1V (45°)

valores 1V/1H e incluso 3H/2V en los depósitos CH. En general, los materiales con mejor comportamiento (mayor factor de seguridad) son aquellos clasificados como ML y MH, siendo los CH los que presentan generalmente un menor grado de estabilidad.

Taludes con bermas. La ejecución de bermas de 2 m de ancho cada 10 m de altura en los taludes implica –manteniendo la pendiente inicial de los bancos– un incre-

mento del factor de seguridad de aproximadamente 0,1 (Tabla VI).

A modo de ejemplo, en la Fig. 11 se recogen los factores de seguridad obtenidos para los distintos tipos de talud estudiados en las arcillas de tipo CL, frecuentes en el sector de Avilés. Se puede observar cómo los taludes de hasta 10 m de altura, son estables con pendientes 1H/2V tomando un Fs de 1,2. Para alcanzar alturas su-

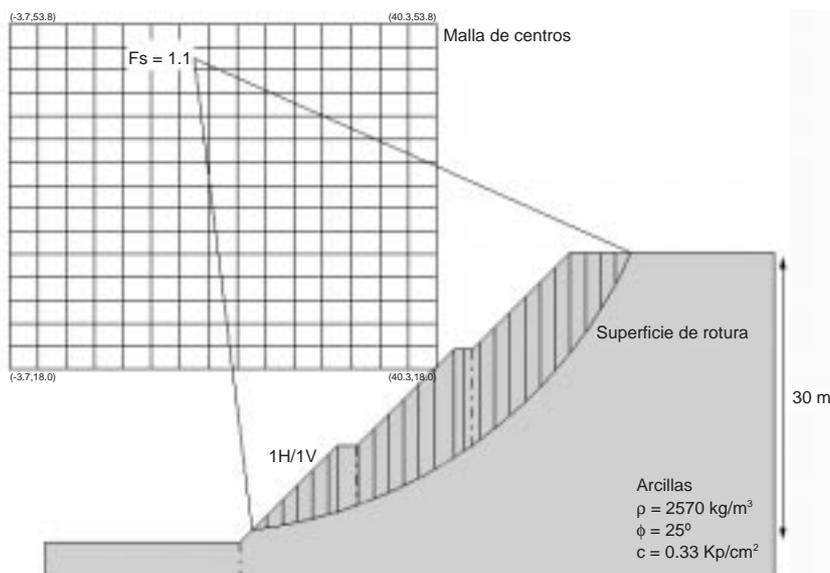
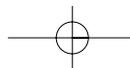


Figura 10. Esquema del procedimiento de cálculo empleado.

periores (10-20 m) es necesario rebajar la pendiente a 1H/1V e incluso a 3H/2V, inclinación que ya nos permitirá obtener alturas de hasta 30 m con un factor de seguridad adecuado. La ejecución de bermas en taludes de 20 m de altura, por ejemplo, nos permite ir a una pendiente 1H/1V, mientras que si no se ejecutan es necesario rebajar a 3H/2V.

Los ángulos medidos en campo en algunos taludes han sido comparados con las recomendaciones obtenidas mediante modelización. Se advierte *a priori* una cierta adaptación de los resultados a los casos reales, soportando los taludes pendientes cercanas a las propuestas (p. ej. muchos taludes de altura inferior a 10 m permiten e incluso superan la sugerencia 1H/2V). De cualquier manera los fenómenos comentados que se superponen a la estabilidad intrínseca del talud (erosión, saturación, etc) distorsionan en demasía su comportamiento, siendo necesario un estudio en mayor profundidad y con un tratamiento más amplio cuyo desarrollo se presume alejado de los objetivos planteados en este artículo.

Otras incidencias geotécnicas

En lo tocante a la *cimentación* de estructuras, estas arcillas muestran en los ensayos de compresión uniaxial valores de resistencia (<4-5 kp/cm²) que evidencian bajas presiones de hundimiento. Esta reducida capacidad portante, con la excepción de construcciones singulares u otros condicionantes particulares, es salvada en la mayor parte de casos mediante cimentaciones superficiales, previa escarificación o ripado del horizonte superficial de alteración. Puntualmente no debe descartarse el uso de técnicas de cimentación profunda me-

dante ejecución de pilotaje o micropilotes efectuando apoyos sobre roca inalterada. Los ensayos edométricos realizados, por su parte, evidencian un palpable riesgo de generación de asientos de consolidación de magnitud respetable que, según las circunstancias, pueden ser diferenciales. Además, en zonas muy localizadas la presencia de minerales arcillosos del grupo de las esmectitas favorece la aparición de fenómenos de expansividad. Cuando el caso lo requiere (p. ej., presencia significativa de dichos minerales) es recomendable la sustitución parcial o total del suelo por material seleccionado y adecuadamente compactado.

En la realización de *excavaciones* de cierta profundidad, surgen problemas de sostenimiento perimetral corregibles mediante estructuras de contención flexible tipo muro pantalla o pantallas de pilotes. Por la naturaleza y textura del material, para abordar el vaciado resulta viable el empleo de maquinaria de excavación mecánica convencional de media-baja potencia. En obras subterráneas la perforación es ejecutable sin mayores dificultades con rozadoras, siendo los inconvenientes básicos los potenciales deslizamientos en clave y hastiales, intensos fenómenos de convergencia y la posible fluencia en el frente de avance. No son previsibles problemas hidrogeológicos destacables por la baja permeabilidad y deficiente capacidad de drenaje, propia de materiales cohesivos.

Debe añadirse que, de manera obvia, las múltiples carencias mostradas por las arcillas rojizas se magnifican habitualmente en los recubrimientos eluviales suprayacentes, de naturaleza esencialmente arcillosa y en términos generales mayor plasticidad.



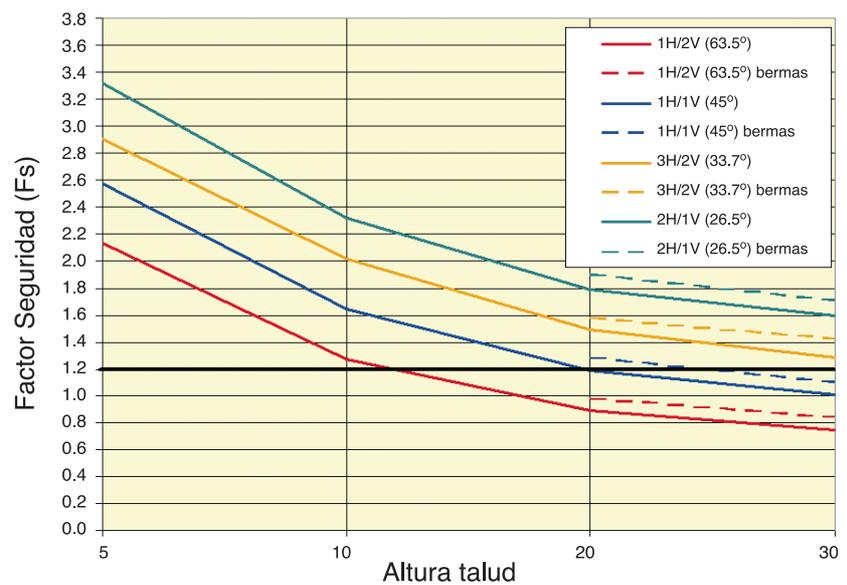
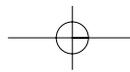


Figura 11. Factores de seguridad obtenidos para taludes en materiales CL.

Conclusiones

En el tramo superior de la serie estratigráfica del permotriás en Asturias, se localizan importantes niveles de materiales arcillosos rojizos –con frecuencia alterados– que poseen marcadas deficiencias geotécnicas, algunas de ellas evidenciadas en los últimos tiempos en la construcción de varios tramos de autovía de la red viaria asturiana (A-8 y A-64).

En estos depósitos de carácter cohesivo dominan principalmente las arcillas y limos de baja plasticidad (CL y ML según clasificación S.U.C.S.). En el área de Avilés son más abundantes los términos CL, mientras que en la zona de Gijón predominan los limos ML. Las arcillas y limos de alta plasticidad, en mucha menor proporción, se concentran principalmente en Gijón.

En vista de los problemas observados en varios taludes de los viales comentados, se ha procedido a su modelización mediante software informático en base a los datos geotécnicos expuestos. Los resultados muestran un buen ajuste entre la geometría de los taludes reales y el estudio de estabilidad de los modelos generados por ordenador. Se concluye que la mayor parte de las desestabilizaciones que muestran los ataluzados están más relacionadas con procesos de alteración meteorológica en combinación con drenajes deficientes, que con un diseño de la pendiente erróneo. Por otro lado se ha observado que algunos taludes tienen pendientes excesivamente tendidas ($<20^\circ$), con factores de seguridad elevados, pudiendo explicarse este hecho por razones constructivas, condiciones geotécnicas peculiares, etc.

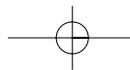
Ante la intensa degradación erosiva provocada por agua de escorrentía superficial y fenómenos de inestabilidad puntuales que sufren los taludes en estas arcillas, se deben adoptar las correspondientes medidas de consolidación, saneamiento y contención, mediante tratamientos de revegetación inmediatos a la ejecución del talud, construcción de escolleras, muros, etc, en combinación con sistemas de drenaje superficial eficientes, al objeto de lograr un control preciso de la circulación hídrica.

Deben evitarse las acumulaciones de agua por varias razones, a saber: latente alteración de los minerales arcillosos presentes, fenómenos potenciales de hinchamiento, y la agresividad química para el hormigón estructural que suponen las aguas selenitosas producto de la disolución de los yesos intercalados en la sucesión estratigráfica.

Como cimiento natural de estructuras, su reducida capacidad portante, tendencia puntual a generar acentuados asentamientos de consolidación y presencia de minerales arcillosos, algunos expansivos, conlleva en edificaciones singulares la necesidad de técnicas de cimentación profunda. Si la situación lo requiere se pueden llevar a cabo sustituciones del suelo por material seleccionado y adecuadamente compactado.

Debe prestarse especial atención al recubrimiento eluvial de mayor plasticidad, ya que sin duda el elevado contenido en ciertas especies minerales comentadas, altamente susceptibles frente a la alteración por agentes externos cuyo mayor exponente es el agua, incide directamente en las propiedades geotécnicas de los materiales lutíticos provocando una merma tangible de su comportamiento.





Bibliografía

- Adaro, L. de y Junquera, G. (1916): Criaderos de hierro de España. Tomo II: Criaderos de Asturias. *Mem. Inst. Geol. Esp.*, 677 p.
- Barrois, Ch. (1882): Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice. *Mém. Soc. Géol. Nord*, 2: 1-630, Lille.
- Barrón, E., Gómez, J. J. y Goy, A. (2002): Los materiales del tránsito Triásico-Jurásico en la región de Villaviciosa (Asturias, España). Caracterización palinológica. *Geogaceta*, 31: 197-200.
- Bishop, A. W. (1955). The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. *Geotechnique*, 5, 7-17.
- Endlicher, G. (1976): Die syngenetischen Fluss und Schwespatmineralisationen von Arlós und Villabona in Westasturien (nordspanien). *Mineral. Deposita*, 11: 329-351.
- Ferrand, A. (1978): *Étude géologique et géochimique du gisement de fluorine de Villabona (Asturies, Espagne)*. These Doctorale, Université d'Orléans, 116 p.
- Ferrand, A. y Thibieroz, J. (1978): Les gîtes de fluorine de l'Ouest de la province asturienne (Arlós, La Moscona, Casa del Cura, Villabona, Cucota, Ural) résultent d'une mme succession de circulations paléohydrogéologiques au sein d'un horizon calcaire triasique. *Bull. B.R.G.M.*, Sect. II, 4.
- Forster, A. (1974): Die Fluspatlagerstätten Asturiens/Nordspanien und deren Genese. *Geol. Rundschau*, 63 (1): 210-263. Stuttgart.
- Gutiérrez Claverol, M., Torres Alonso, M. y Luque Cabal, C. (2002): *El subsuelo de Gijón. Aspectos geológicos*. CQ Licer, S. L. Librería Cervantes, 462 p., I.S.B.N.: 84-923608-4-4, D. L.: As-4303-02, Oviedo.
- Gutiérrez Claverol, M., Vargas Alonso, I. y Torres Alonso, M. (1998): Interés industrial de las rocas arcillosas permo-mesozoicas del norte de Asturias (España). *X Congr. Latinoamericano de Geología (Argentina, 1998)*. VI Congr. Nacional de Geología Económica. Actas Congr. vol. III: 291-296, Buenos Aires.
- Jullien, J. (1974): *Recherches sur les minéralisations fluorées liées à l'évolution du bassin permo-triasique des Asturies (Espagne)*. Tesis Doctoral. Univ. París VI (inédita), 298 p., París.
- López Fernández, C., Pando, L., Gutiérrez Claverol, M. y Torres Alonso, M. (2005): Propiedades geotécnicas de las arcillas de descalcificación de Gijón y áreas limítrofes (Asturias). *Ingeniería Civil*, Cedex, Madrid (in litt.).
- Manjón, M. y Gutiérrez Claverol, M. (1991): Nuevas precisiones sobre los depósitos de sulfatos de los alrededores de Gijón (Asturias). *Geogaceta*, 9, 87-89.
- Manjón, M., Gutiérrez Claverol, M. y Martínez García, E. (1992): La sucesión posthercínica preliásica del área de Villabona (Asturias, N de España). *III Congr. Geol. España-VIII Congr. Latinoamericano de Geología*, Actas t. 2: 107-111. Salamanca.
- Martínez García, E. (1981): Tectónica y mineralizaciones pérmicas en la Cordillera Cantábrica oriental (Noroeste de España). *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 2 (II): 263-270.
- Martínez García, E. (1983): El Pérmico de la Región Cantábrica. En *Carbonífero y Pérmico* (C. Martínez Díaz, coord.). *Inst. Geol. Min. Esp.*, pp. 389-402.
- Martínez García, E. (1990): Stephanian and Permian Basins. En *Pre-Mesozoic Geology of Iberia* (R.D. Dalmayer & E. Martínez García, Eds.). Springer-Verlag, pp. 39-54.
- Martínez García, E., Coquel, R., Gutiérrez Claverol, M. y Quiroga, J. L. (1998): Edad del "Tramo de transición" entre el Pérmico y el Jurásico en el área de Gijón (Asturias, NW de España). *Geogaceta*, 24: 215-218.
- Meléndez, B. (1950): Nota previa sobre los terrenos pérmicos de Colunga y Caravia. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 48: 141-154.
- Patac, I. (1920): La formación uraliense asturiana. Estudios de cuencas carboníferas. *Congr. Nac. Ingeniería (Madrid, 1919)*, secc. IV de Minas y Metalurgia. Artes Gráficas, S. A., Gijón, 54 p.
- Pieren, A. P., Areces, J. L., Torano, J. y Martínez García, E. (1995): Estratigrafía y estructura de los materiales permotriásicos del sector Gijón-La Collada (Asturias). *Cuad. de Geología Ibérica*, 19: 309-335. Univ. Complutense, Madrid.
- Suárez Rodríguez, A. (1988): Estructura del área de Villaviciosa-Libardón (Asturias, Cordillera Cantábrica). *Trabajos de Geología* 17: 87-98.
- Suárez Vega, L. C. (1974): *Estratigrafía del Jurásico en Asturias*. Gráficas Summa, 368 p., Oviedo.
- Torres Alonso, M. (1985). Características geológico-geotécnicas de los materiales margo-arcillosos de la facies Keuper en Asturias. *Boletín Ciencias Naturaleza (IDEA)*, 35: 129-153, Oviedo.
- Torres Alonso, M. y Gutiérrez Claverol, M. (2005): Influencia de la geología en el diseño de infraestructuras de saneamiento: El plan integral de Avilés y su entorno industrial. *Ingeniería y Territorio*. Rev. Colegio Ingenieros de Caminos de España (in litt.).
- Wagner, R. H. y Martínez García, E. (1982): Description of an early Permian flora from Asturias and comments on similar occurrences in the Iberian Peninsula. *Trabajos de Geología, Univ. Oviedo*, 12: 273-287.