

Estabilidad de taludes excavados en formaciones superficiales en el Occidente de Asturias (España)

¹C. LÓPEZ-FERNÁNDEZ, ²L. PANDO y ³M^a Á. MADRIGAL

Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005. Oviedo, España
e-mails: ¹lopezcarlos@uniovi.es, ²pandoluis@uniovi.es, ³marian@geol.uniovi.es

Resumen: En este trabajo se exponen las principales propiedades geológicas y geotécnicas de los depósitos de pie de monte y mantos de alteración situados en la zona nor-occidental de Asturias, recientemente afectados por la construcción de infraestructuras lineales que precisaron la ejecución de importantes taludes. A partir de parámetros representativos de las unidades identificadas se analiza mediante métodos numéricos la estabilidad correspondiente a diferentes secciones tipo de talud. Se observa una correlación aceptable entre las pendientes teóricas obtenidas y la evolución de los taludes existentes, si bien cualquier variación en las condiciones geológicas locales implica la aparición de diferentes procesos de inestabilidad, en su mayoría vinculados a la circulación de agua.

Palabras clave: abanico aluvial, Asturias, estabilidad de taludes, modelización de taludes.

Abstract: This paper gathers the main geological and geotechnical properties of the piedmont deposits and alteration mantles located in western Asturias, recently affected by linear infrastructures which required major excavations. Based on representative parameters of the identified units, the stability of different slope types is analyzed. There is an acceptable correlation between theoretical slopes and the evolution of current excavation, although any change in the geological local conditions involves the appearance of diverse instability processes, mostly related to related to the movement of groundwater.

Keywords: alluvial fan, Asturias, slope stability, slope modelling.

En este trabajo se evalúa la problemática asociada con la excavación de taludes en depósitos de pie de monte y materiales de alteración del sustrato, tomando como caso de estudio el área noroccidental de Asturias (Fig. 1A). Las obras de ejecución de la autovía A-8 en este sector -entre las localidades de San Pedro (Cudillero) y Navia- han generado amplios afloramientos que han permitido reconocer la gran entidad de los antiguos abanicos aluviales que jalonan la rasa costera occiden-

tal, así como el importante progreso de la alteración del sustrato rocoso en algunas zonas. Los estudios de prospección del terreno contenidos en los proyectos constructivos han permitido, además, acceder a un notable volumen de datos geológicos y geotécnicos de las formaciones superficiales. Asimismo, el tiempo transcurrido desde la ejecución de los primeros taludes facilita el estudio in situ de la evolución de su comportamiento y el contraste con su diseño teórico.

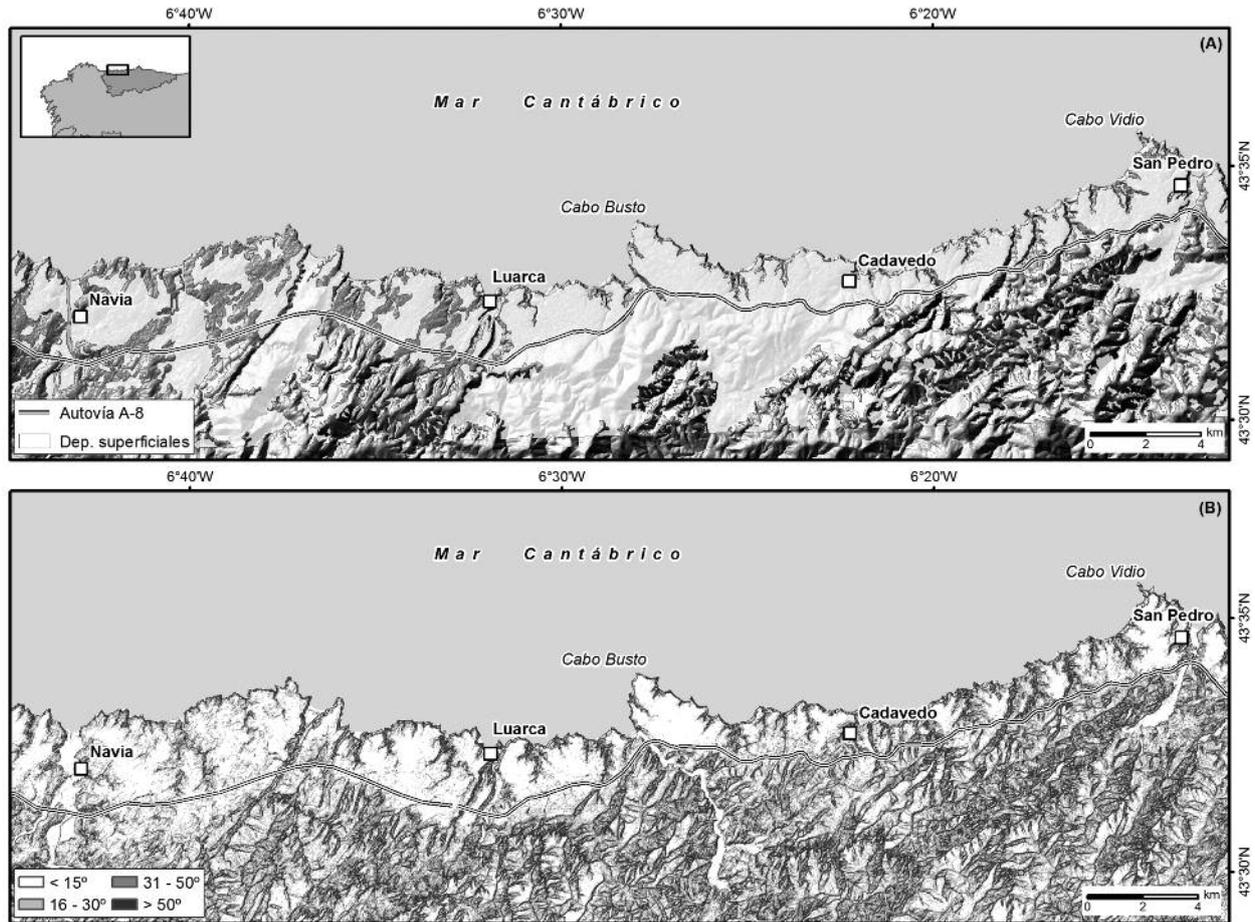


Figura 1. (A) Cartografía de los depósitos superficiales en la franja costera occidental de Asturias (INDUROT, 2002). (B) Mapa de pendientes del mismo sector, donde se puede observar una zona de baja pendiente correspondiente a la rasa.

Una de las principales dificultades que se plantean al proyectar cualquier obra lineal en una orografía accidentada es asegurar la estabilidad de los taludes, dado que los potenciales fenómenos de inestabilidad, además de afectar a la funcionalidad de la infraestructura, comportan costosas reparaciones y, ocasionalmente, un elevado riesgo de pérdida de vidas humanas.

El correcto comportamiento de un talud en suelos es función de factores geométricos (pendiente y altura) y geológico-geotécnicos (composición, granulometría, peso específico, parámetros resistentes, etc.), si bien pueden concurrir otras variables como agentes desestabilizadores (variaciones en el contenido y circulación de agua, modificación de la pendiente del talud, procesos erosivos, etc.). Precisamente, son estos últimos -cuya consideración es dificultosa en las modelizaciones informáticas- los que condicionan la estabilidad de las excavaciones en la mayor parte de los casos analizados.

Los principales objetivos planteados en este estudio, a los que se han ajustado la metodología seguida, han sido los siguientes: (i) caracterización geológica y geotécnica de las formaciones superficiales afectadas por construcción de taludes; (ii) modelización informática de las secciones tipo de talud más representativas, estableciendo las pendientes óptimas teóricas; (iii) análisis de la estabilidad de los taludes existentes y comparación con su comportamiento teórico; (iv) identificación de las medidas de estabilización de taludes más idóneas.

Marco geológico

El área estudiada se localiza dentro del Dominio del Navia y Alto Sil (Marcos, 1973), perteneciente a la Zona Asturoccidental-leonesa (Lotze, 1945; Julivert et al., 1972). El sustrato rocoso lo conforman materiales del Paleozoico inferior (Cámbrico inferior a Ordovícico superior) pertenecientes al Grupo Cándana, Caliza de Vegadeo, Serie de Los Cabos,

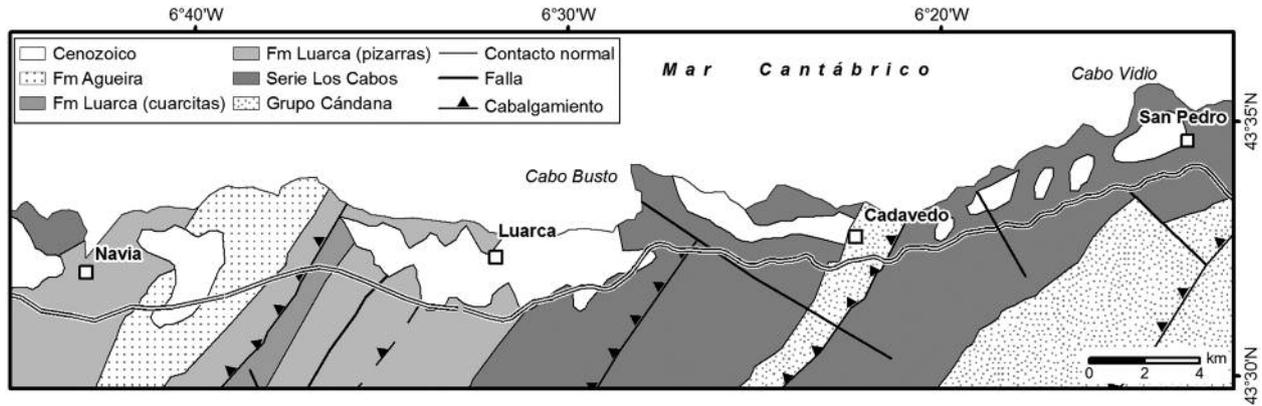


Figura 2. Esquema geológico de la zona occidental de Asturias. Modificado de IGME (2004).

Pizarras de Luarca y Formación Agüeira. En general predominan las alternancias de areniscas y cuarcitas, así como potentes sucesiones de pizarras negras (Fig. 2).

El rasgo geomorfológico más destacado es la denominada "rasa" costera, antigua plataforma de abrasión marina emergida decenas de metros sobre el nivel del mar actual. Se trata de una franja de topografía subhorizontal -ligeramente inclinada hacia el norte (< 1°)- y cuya anchura no excede los 2-3 km. Está limitada al norte por los acantilados y se extiende al sur hasta el pie de las alineaciones montañosas que discurren próximas a la costa (Figs. 1B y 3). Sus características geomorfológicas y sedimentológicas, así como las de otras superficies similares de menor entidad, han sido tratadas en diversos trabajos (Mary, 1970, 1983; Flor, 1983; Peón 1992).

Sobre la rasa, cuya continuidad cartográfica interrumpen los cauces fluviales encajados que se dirigen hacia el Mar Cantábrico, se localizan recubrimientos constituidos por depósitos de origen diverso que, con frecuencia, alcanzan potencias de varias decenas de metros (Figs. 1A y 3). Distintos autores (Mary, 1983; Flor, 1983) apuntan una procedencia marina para los niveles de cantos en matriz arenosa emplazados en las proximidades de la actual línea de costa (Fig. 3). Igualmente, han sido descritas acumulaciones de arenas de origen eólico (Mary, 1983). Sin embargo, los depósitos más relevantes son los horizontes de gravas y cantos subangulosos, con matriz arenosa, cuya frecuencia y espesor aumentan al pie de las sierras prelitorales. Su génesis parece estar relacionada con la actividad de grandes abanicos aluviales producidos por la erosión de un antiguo y prominente relieve cercano al margen costero posiblemente desmantelado durante el Pleistoceno (Peón, 1992). Sobre estos sedimentos se disponen otros más

recientes, de tipo coluvial, asociados a la dinámica propia de las laderas actuales.

Asimismo, en diversas zonas se desarrolla un manto de alteración *in situ* del sustrato rocoso, que en algunos puntos -generalmente bajo depósitos aluviales y coluviales- alcanzan varias decenas de metros de espesor.

Propiedades de las formaciones superficiales

La caracterización geológico-geotécnica de los diferentes depósitos se ha abordado con la información obtenida en los estudios de prospección realizados para la ejecución de infraestructuras viales en la zona; de forma complementaria se han llevado a cabo otros reconocimientos de campo. Dado el carácter confidencial de la mayor parte de la documentación de partida (facilitada por la Demarcación de Carreteras del Estado en Asturias) no se recoge en este trabajo la localización exacta de las prospecciones ni la totalidad de los datos, incluyéndose únicamente valores estadísticamente representativos de varios parámetros geotécnicos.

Depósitos de pie de monte (PDM)

Bajo esta denominación se han agrupado aquellos niveles de origen esencialmente aluvio-torrencial, procedentes de la denudación de las sierras meridionales, que se consideran una única unidad a efectos geotécnicos. Estos materiales yacen discordantes sobre el sustrato rocoso, en la base de las sierras prelitorales, en la zona de transición con la rasa. Su potencia media oscila entre 2 y 10 m, superando ocasionalmente los 30 m de espesor.

En general están formados por gravas y cantos subangulosos de naturaleza cuarcítica y/o pizarrosa, embe-

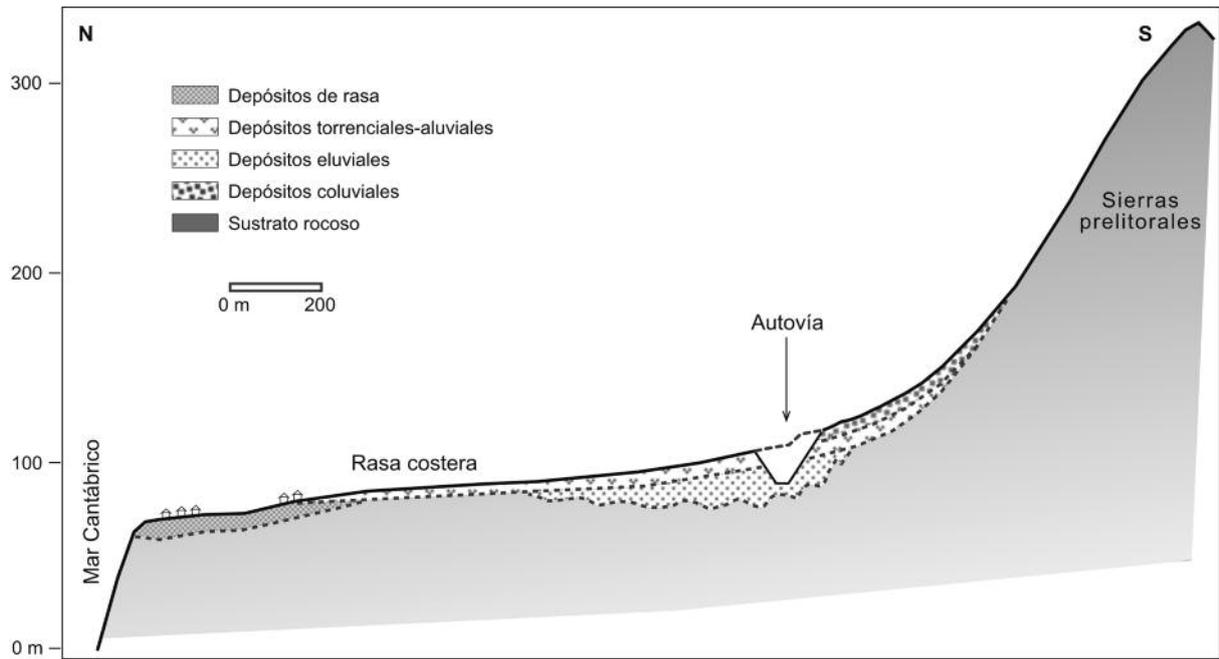


Figura 3. Configuración geológica de los diferentes depósitos superficiales sobre la rasa costera. Escala vertical realzada (x4,5).

bidos en una matriz arenolimosas principalmente silíceas. Hacia las laderas muestran mayor proporción de cantos y bloques, que disminuye progresivamente a términos arenosos y limosos, con gravas y cantos dispersos (Fig. 4). Es frecuente la presencia de contactos netos entre las diferentes facies que, como se discutirá posteriormente, definen superficies que favorecen el inicio y desarrollo de gran parte de los procesos de inestabilidad observados.

Dentro de este grupo de materiales se diferencian a efectos geotécnicos tres unidades, que corresponden a las principales facies observadas:

Unidad PDM-1: constituida por gravas y arenas limosas, con contenidos en materia orgánica inferiores al 1%, clasificación GM (USCS). Los ensayos recopilados indican valores medios de cohesión y ángulo de rozamiento interno de 19 kN/m² y 40° respectivamente, así como un peso específico aparente de 20,1 kN/m³.

Unidad PDM-2: formada por niveles de arenas con un contenido variable de limos y de cantos dispersos, con un porcentaje de materia orgánica inferior al 1,5% y clasificados como SM. Sus parámetros geotécnicos característicos varían en función del contenido de finos, pero se pueden considerar como representativos una cohesión de 20 kN/m², un ángulo de rozamiento de 36° y un peso específico aparente de 19,8 kN/m³.

Unidad PDM-3: representada por limos arenosos con un reducido contenido en gravas, estando clasificados como suelos SL. La cohesión suele superar los 35 kN/m², el ángulo de rozamiento interno alcanza los 30° y su peso específico promedio se sitúa en 20 kN/m³.

Manto de alteración (MAT)

Comprende el residuo de alteración del sustrato rocoso que no ha sufrido transporte; se dispone también discordante sobre el sustrato rocoso y localmente alcanza potencias métricas a decamétricas (Fig. 5).

El sustrato rocoso está conformado en gran parte por alternancias de cuarcitas, areniscas y pizarras (Tabla I), cuya alteración origina los depósitos superficiales de naturaleza arcillosa, limosa y arenosa (Gutiérrez-Claverol et al., 2008). Predominan, en todo caso, las fracciones limosas con proporción variable de arenas y arcillas, clasificados como suelos ML (I_p entre 5,1 y 5,7, W_L entre 28,6 y 32,4). Los parámetros geotécnicos representativos son: peso específico aparente de 17 kN/m³, cohesión de 50 kN/m² y ángulo de rozamiento interno de 35°.

Depósitos de rasa (DRA)

Están compuestos mayoritariamente por cantos y gravas, embebidos en una fracción cambiante de arenas y

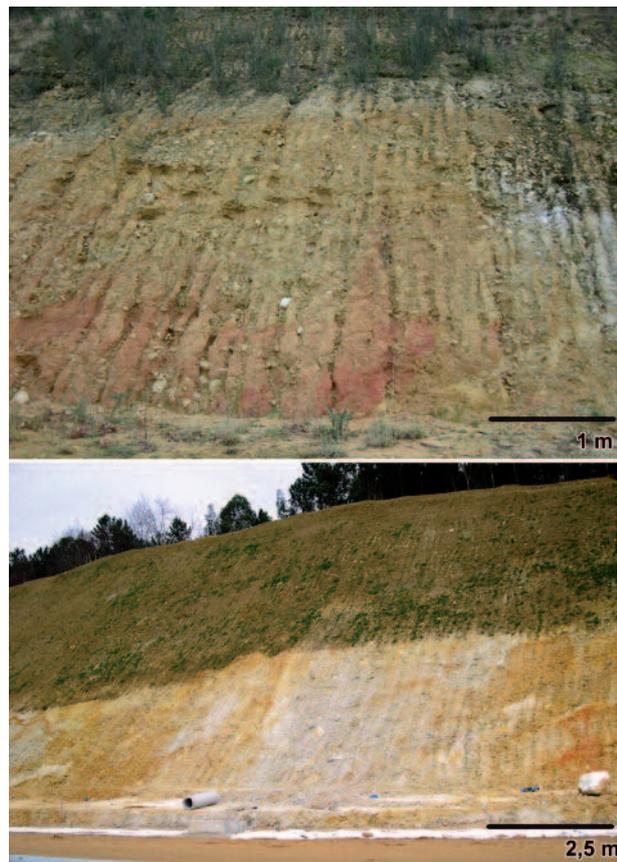


Figura 4. Aspecto de los depósitos torrenciales en Cadavedo (arriba); en ocasiones fosilizan residuos de alteración del sustrato rocoso (en tono blanquecino) en las proximidades de Ballota (abajo).

limos (Fig. 6). A menudo, aparecen recubiertos por los de pie de monte. Dada su menor entidad, tanto por extensión como espesor, no suelen verse afectados por la ejecución de taludes, por lo que no han sido considerados en las estimaciones de estabilidad realizadas.

Modelización de taludes

Considerando los parámetros geotécnicos representativos de los cuatro grupos de materiales identificados (Tabla I) se analizó la estabilidad de varias configuraciones de ataluzados. Si bien no es factible recoger la totalidad de la casuística geológica y geotécnica posible -dados los numerosos condicionantes externos (ambientales, antrópicos, etc.) que concurren en la estabilidad de un talud-, sí resulta viable establecer unas pautas teóricas de comportamiento.

Inicialmente se definieron dieciséis secciones de talud de pendiente continua y composición homogénea,

resultado de la combinación de cuatro inclinaciones estándar (1H/1V, 2H/3V, 1H/2V y 1H/3V) con alturas de coronación de 5, 10, 15 y 20 m. Estas secciones tipo son representativas de las geometrías y alturas observadas en los taludes existentes a lo largo de la autovía A-8.

La estimación de los factores de seguridad se efectuó mediante el programa de análisis tenso-deformacional *Phase2* (versión 6.004, Rocscience). Este software permite analizar la estabilidad de taludes mediante elementos finitos, reproduciendo condiciones de deformación elásticas y plásticas, siguiendo criterios de rotura específicos para suelos y rocas (Mohr-Coulomb, Hoek&Brown, etc.). El programa calcula el denominado SRF (*Strength Reduction Factor*) crítico, equivalente al factor de seguridad que ofrecen los métodos de equilibrio límite. Para ello, efectúa un primer análisis del estado de esfuerzos de la ladera al reducir en un determinado factor los parámetros resistentes del terreno; a continuación, este proceso se repite para diferentes valores del SRF hasta que el modelo se vuelve inestable y los resultados del análisis no convergen.

En las modelizaciones realizadas se adoptaron las siguientes consideraciones: *step size* automático; *tolerance (step size)* = 0,01; *tolerance (stress analysis)* = 0,002; *maximum number of iterations* = 100; criterio de rotura de Mohr-Coulomb; mallado uniforme con polígonos triangulares de 6 nodos; limitación total de movimientos en todo contorno, a excepción de la superficie topográfica, que se ha mantenido libre; estado tensional inducido por la gravedad considerando la superficie topográfica proyectada; nivel piezométrico a aproximadamente 1 m de la superficie topográfica, como situación representativa de las observaciones de campo realizadas (Fig. 7).

Para desmontes de reducida entidad (5 m) se puede recurrir a pendientes teóricas 1H/3V (72°) en todos los tipos de materiales estudiados (Tabla II), superando el mínimo factor de seguridad de 1,5 empleado para ataluzados permanentes.

Para alturas superiores a 10 m se verifica la estabilidad de los taludes si se rebaja la pendiente a 1H/1V para los depósitos de pie de monte. A partir de ahí precisan ya la adopción de medidas de contención.

Por el contrario, los materiales de alteración permiten alturas teóricas de hasta 20 m sin sostenimiento con taludes 1H/1V, pudiendo alcanzar pendientes superiores en taludes de menor entidad.



Figura 5. Importante nivel de alteración de las cuarcitas y areniscas de la Serie de Los Cabos en Salamir (Cudillero).

La observación en el campo de diversos síntomas de inestabilidad en el contacto entre los depósitos de pie de monte y el manto de alteración propició una segunda modelización de las secciones anteriores, considerando ahora ambos tipos de materiales. En los cálculos se emplearon los parámetros geotécnicos más conservadores (Tabla III), situando en todos los casos el contacto entre los dos depósitos en la parte media del talud (Fig. 8).

Los resultados obtenidos (Tabla IV) muestran –como se observó en el campo– que la rotura del talud se ve favorecida por el contacto entre ambos depósitos. Para los desmontes de menor entidad (5 m) se puede recurrir a pendientes teóricas 1H/3V (72°) superando ampliamente el factor de seguridad de 1,5 considerado para excavaciones permanentes. Para alturas superiores, de hasta 10 m, se podrían

adoptar pendientes 1H/2V. Por encima de 10 m se verifica la estabilidad de los taludes si se rebaja la pendiente a 1H/1V. En todos los casos, son esperables pequeñas inestabilidades en la zona de intersección con el talud de la superficie de contacto entre ambos depósitos, que localmente precisarán medidas de drenaje, saneamiento y contención. En general y como cabe esperar, se observa que la presencia de agua reduce entre 2 y 3 décimas los factores de seguridad de las pendientes analizadas.

Estabilidad de los taludes actuales

El estudio de la práctica totalidad de los taludes ejecutados en las distintas vías de comunicación ha permitido identificar diversos procesos de inestabilidad, en parte ocasionados de inmediato tras la excavación. Los más frecuentes son:

- (i) Procesos de acarcabamiento debidos a la escorrentía superficial y pérdida de material por circulación de agua entre las diferentes facies (Fig. 9A);
- (ii) Flujos y deslizamientos (Figs. 9B, C y D).

En general, afectan a todo tipo de materiales, si bien son más frecuentes en los residuos de alteración. Se producen incluso para alturas de talud reducidas (< 6 m), como refleja la figura 9. Por tanto, se constata una ligera desviación entre los modelos teóricos y el comportamiento final de los desmontes, mostrando mayores evidencias de inestabilidad aquellos con *a priori* mayor cohesión (manto de alteración del sustrato).

Son diversos los factores externos que parecen condicionar este hecho, confluyendo en ocasiones varios de ellos. El principal desencadenante es el flujo de agua, que mantiene una trayectoria orientada desde las laderas septentrionales de las sierras prelitorales hacia la costa. Se observa una circulación preferente a favor de las superficies de contacto entre las diferentes facies, llegando a desarrollarse canales de tamaño decimétrico. A ello se suma la escorrentía superficial, que erosiona con facilidad este tipo de materiales (Fig. 9A). Otro de los factores es el diferente grado de compactación y/o cementación que se observa en diferentes puntos, especialmente en algunos depósitos torrenciales de granulometría más gruesa. Asimismo, la propia naturaleza del depósito, con frecuentes cambios laterales de facies, conlleva una marcada variabilidad de los parámetros resistentes (cohesión y ángulo de rozamiento) –incluso a escala de talud– y, por tanto, del comportamiento de la excavación.



Figura 6. Afloramiento de niveles de cantos y arenas en las proximidades del viaducto de Cueva (A-8, Canero).

Depósitos	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	Clasific. USCS
PDM-1	20,1	21,5	19	40	GM
PDM-2	19,8	20,0	20	36	SM
PDM-3	20,0	21,0	35	30	SL
MAT	17,0	19,0	50	35	ML

Tabla I. Parámetros geotécnicos representativos de los depósitos superficiales. Unidades: γ =densidad seca; γ_{sat} = densidad saturada; c= cohesión; ϕ = ángulo de rozamiento interno.

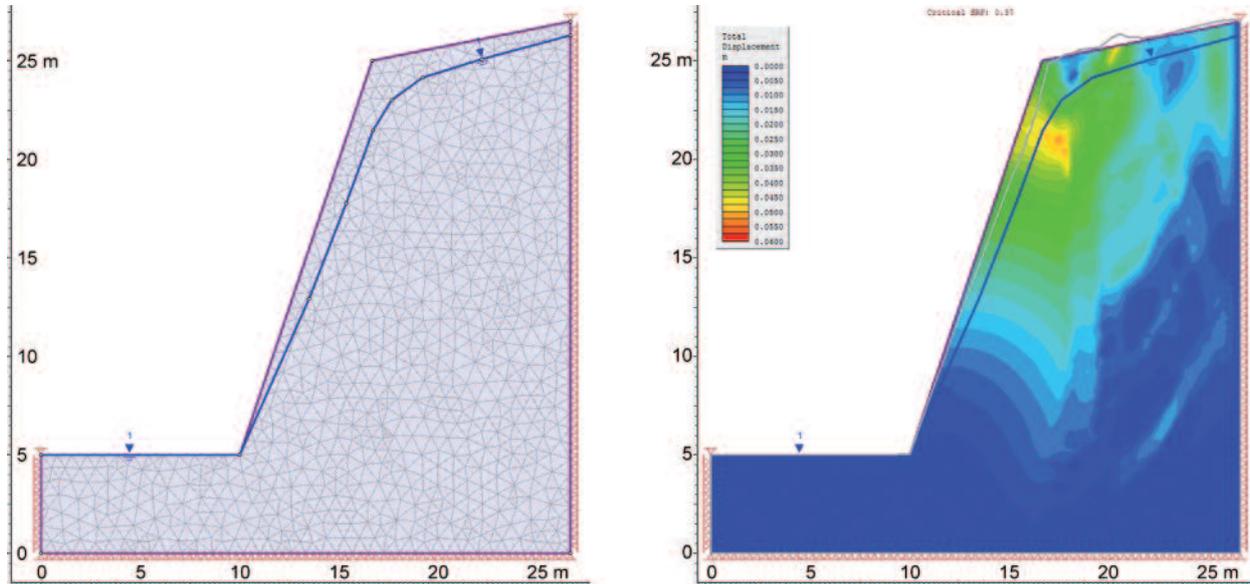


Figura 7. Ejemplo de modelización correspondiente a un talud homogéneo de 20 m de altura con una pendiente 1H/3V ejecutado en depósitos de pie de monte (PDM-3), para el que se obtiene un valor SRF = 0.37; la inestabilidad se concentra e inicia en la parte superior del mismo. Escala horizontal y vertical expresada en metros.

Esta diferencia entre el comportamiento teórico y la evolución final de los taludes parece radicar esencialmente en la insuficiente valoración de la contribución del agua en su inestabilidad, motivada por la dificultad de reflejar en la modelización 2D realizada las condiciones hidrogeológicas reales.

Medidas de estabilización

Los procesos de inestabilidad acontecidos han supuesto la aplicación de diferentes técnicas de saneamiento y contención que, con el transcurso del tiempo, ofrecen resultados desiguales:

Técnicas de saneamiento:

- Revegetación del talud (Figs. 10A, C)
- Construcción de cunetas en coronación (Figs. 10C, E)
- Disminución de la pendiente original del talud (Figs. 10B, C)

Técnicas de contención:

- Contrafuertes drenantes (Figs. 10A, B, C)
- Muros de escollera (Figs. 10D, F)

A pesar de la escasa entidad de los desmontes, en un número significativo de los casos ha sido indispensable disminuir la pendiente del talud a 1H/1V (Figs. 9B, 10C). Por el contrario, algunos materiales torrenciales y de granulometría gruesa, soportan en principio pendientes de 70° (Fig. 10E), si bien con el paso del tiempo presentan pequeñas inestabilidades muy superficiales y de carácter local.

Los muros de escollera muestran un correcto funcionamiento en todos los casos analizados, tanto cuando se ejecutan al pie del talud como a modo de revestimiento. Su notable efectividad se ve favorecida no sólo por su deformabilidad sino por su capacidad de drenaje. De igual forma, los contrafuertes drenantes

Pdte.	H (m)	PDM-1	PDM-2	PDM-3	MAT
1H/1V (45°)	5	2,27	2,18	2,84	3,95
	10	1,61	1,50	1,49	2,45
	15	1,33	1,22	1,36	1,84
	20	1,06	0,99	1,11	1,50
2H/3V 56,3°)	5	2,01	1,96	2,59	3,65
	10	1,28	1,20	1,45	1,62
	15	0,89	0,81	1,05	1,49
	20	0,85	0,79	0,89	1,24
1H/2V 63,4°)	5	1,74	1,71	1,92	3,63
	10	1,09	1,03	1,25	1,70
	15	0,82	0,76	0,89	1,33
	20	0,62	0,48	0,58	0,72
1H/3V (72°)	5	1,60	1,57	1,97	3,39
	10	0,81	0,74	0,99	1,69
	15	0,38	0,32	0,46	0,64
	20	0,25	0,23	0,37	0,57

Tabla II. Valores de SRF (Strength Reduction Factor) obtenidos para las diferentes configuraciones de talud.

(Figs. 10A, B y C), junto con todas aquellas estructuras de desagüe, mejoran sustancialmente el comportamiento de los ataluzados.

Sin duda la medida menos efectiva -si no va acompañada de otras técnicas de drenaje superficial y profundo- es la revegetación artificial de algunos taludes, que no ha conseguido evitar una intensa erosión superficial incluso tras el pasó de una década.

Discusión y conclusiones

En la zona occidental de Asturias, se localizan potentes depósitos cuaternarios que se ven afectados con frecuencia por la construcción de infraestructuras lineales, lo que conlleva la ejecución de importantes desmontes en suelos.

Se observan tres tipologías de materiales: aluviales/torrenciales, de alteración (eluviales) y de rasa. En los primeros, consecuencia de la actividad de antiguos y muy activos abanicos, se diferencian a

su vez en función de su granulometría tres unidades, correspondientes a las diferentes facies características de este tipo de aparatos. Sobre el sustrato rocoso se desarrolla un manto de alteración de distribución y espesor irregular, que localmente alcanza potencias decamétricas. Este mayor desarrollo se observa en aquellas zonas de sustrato arenoso y cuarcítico, y en particular allí donde se localizan los otros tipos de recubrimiento superficial. Los depósitos de rasa se disponen en el área más próxima a la costa, mostrando una escasa entidad tanto en extensión como en espesor.

El comportamiento geotécnico de los diferentes materiales viene directamente determinado por su origen, lo que condiciona su granulometría y mineralogía y consecuentemente sus parámetros geotécnicos. El análisis teórico mediante elementos finitos (*Phase2 V6.004, Rocscience*) realizado para 16 geometrías de talud diferentes, indica un mejor comportamiento de los niveles de alteración, con mayor cohesión y un relativamente elevado ángulo de rozamiento interno.

Depósitos	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
PDM	19,8	21,0	19	30
MAT	17,0	19,0	50	35

Tabla III. Parámetros geotécnicos utilizados para la modelización de taludes mixtos (depósitos de pie de monte sobre el manto de alteración). Unidades: γ = densidad seca; γ_{sat} = densidad saturada; c = cohesión; ϕ = ángulo de rozamiento interno.

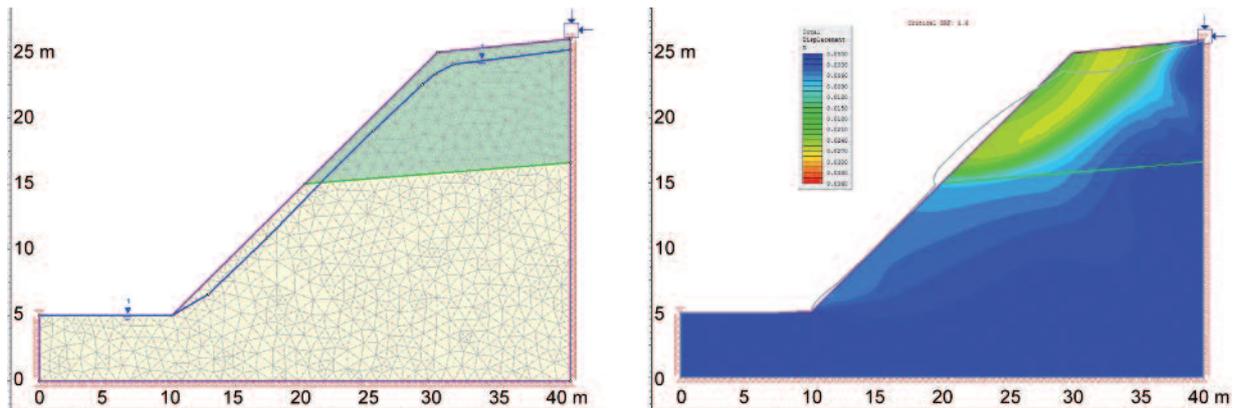


Figura 8. Ejemplo de modelización correspondiente a un talud mixto (PDM/MAT) de 20 m de altura con una pendiente 1H/1V, para el que se obtiene un valor SRF = 1.6; la inestabilidad se inicia en el contacto entre ambos depósitos afectando en mayor medida al nivel superior.

Por el contrario, los depósitos arenosos aluviales ofrecen un comportamiento más deficiente. Así, para taludes de poca altura (5 m) se puede recurrir a inclinaciones 1H/3V (72°), mientras que en valores superiores a 10 m se requiere rebajar la pendiente a 1H/1V para los depósitos de pie de monte, los cuales por encima de esa elevación precisan ya la adopción de medidas de contención.

Asimismo, la modelización de taludes excavados en depósitos de pie de monte situados sobre el manto de alteración indica que son aconsejables pendientes teóricas 1H/3V para alturas no superiores a 5 m, siendo necesario rebajarlas a 1H/2V para excavaciones de 10 m y 1H/1V para alturas mayores. Los factores de seguridad se incrementan en 2-3 décimas

considerando el estado seco de los depósitos. En todos los casos, los procesos de inestabilidad se concentran en la superficie de contacto entre ambos materiales, en torno a la cual se produce una circulación preferente de agua.

El inventario de los desmontes ejecutados permite identificar diversos fenómenos de inestabilidad, reconocibles incluso en taludes de escasa altura (<5 m). Como principales patologías destacan una importante erosión superficial y la circulación de agua entre las diferentes facies, así como pequeños deslizamientos superficiales. Si bien, afectan a todo tipo de materiales, se observa una mayor incidencia en aquellos de granulometría más fina, a diferencia de lo observado en las modelizaciones teóricas. Las causas residen en condi-

Pendiente	H (m)	PDM / MAT	PDM / MAT
		(Nivel freático)	(Sin agua)
1H/1V (45°)	5	3.59	3.85
	10	2.13	2.34
	15	1.57	1.86
	20	1.24	1.60
2H/3V (56,3°)	5	3.16	3.19
	10	1.82	1.95
	15	1.28	1.51
	20	1.06	1.29
1H/2V (63,4°)	5	2.72	2.95
	10	1.54	1.79
	15	1.19	1.37
	20	0.70	0.88
1H/3V (72°)	5	1.96	2.33
	10	1.36	1.64
	15	0.96	1.19
	20	0.77	1.01

Tabla IV. Valores de SRF obtenidos en la modelización de taludes mixtos (depósitos de pie de monte sobre el manto de alteración).

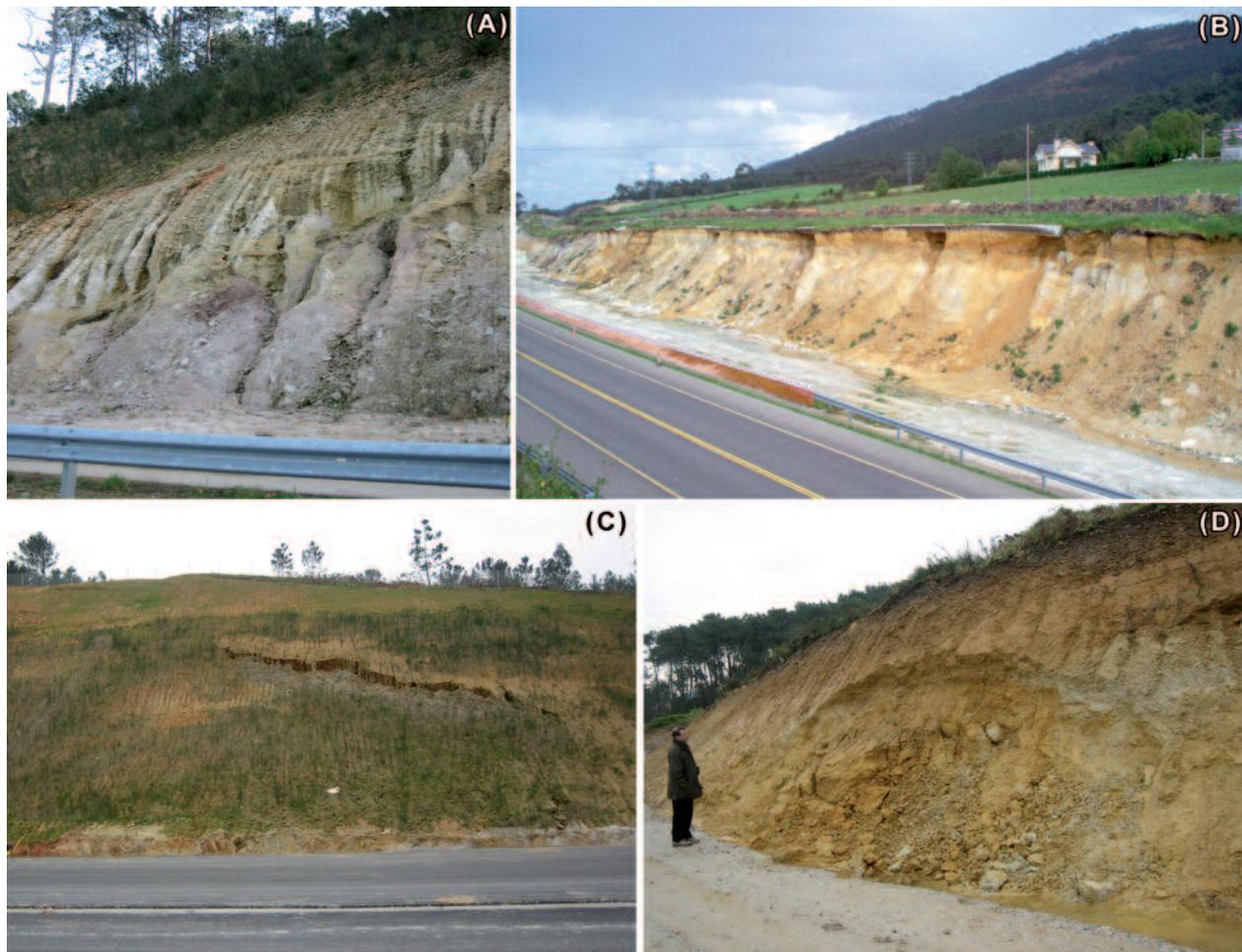


Figura 9. Ejemplos de inestabilidad del terreno: (A) erosión del terreno en la superficie del talud transcurridos 3 años desde su ejecución; (B) deslizamientos y flujos; (C) grietas correspondientes a un deslizamiento incipiente; (D) deslizamiento de carácter superficial.

cionantes de carácter puntual: el flujo de agua dirigido hacia el norte a favor de las superficies entre facies, la escorrentía superficial, el diferente grado de compactación y cementación de los depósitos, los frecuentes cambios de facies, etc.

En la mayor parte de los casos rebajar la pendiente a 1H/1V no resulta suficiente para lograr la estabilidad

de los taludes, siendo precisa la adopción de diversas técnicas de estabilización. Las más efectivas son aquellas que favorecen el drenaje de los ataluzados, caso de los contrafuertes drenantes y los muros de escollera, no mostrando eficacia las medidas de revegetación artificial adoptadas.

Bibliografía

GUTIÉRREZ-CLAVEROL, M., PANDO, L. y GARCÍA-RAMOS, J. C. (2008): Procesos y productos de alteración de formaciones rocosas en Asturias y su repercusión socio-económica. *Bol. Inst. Geol. Min. Esp.*, 1.192: 211-230.

FLOR, G. (1983): Las rasas asturianas: ensayos de correlación y emplazamiento. *Trab. Geol.*, 13: 65-82.

INDUROT (2002): *Cartografía Temática Ambiental del Principado de Asturias*. E: 1:25.000. Hojas 11-IV, 12-III, 12-IV, 13-III y 13-IV. Consejería de Medio Ambiente del Gobierno del Principado de Asturias.

IGME (2004): *Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1:1.000.000*. Inst. Geol. Min. Esp.

JULIVERT, M., FONTBOTÉ, J. M., RIBEIRO, A. y CONDE, L. (1972):



Figura 10. Medidas de estabilización de taludes: (A) revegetación y contrafuertes drenantes; (B) reperfilado del talud y contrafuertes drenantes; (C y D) muros de escollera y drenajes (ver Fig. 9B); (E) drenaje transversal desde la coronación de un talud subvertical; (F) escolleras de revestimiento.

Memoria y Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares. Inst. Geol. Min. Esp.: 113 pp.

LOTZE, F. (1945): Zur Gliderung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotekt. Forsch.*, 6: 78-92.

MARCOS, A. (1973): Las series del Paleozoico inferior y la estructura herciniana del occidente de Asturias NO de España. *Trab. Geol.*, 6: 1-113.

MARY, G. (1970): Dépôts marins et éolisation ancienne près du phare de Penas Ancient eolian reworking of marine deposits near the Penas lighthouse. *Brev. Geol. Ast.*, 14: 45-48.

MARY, G. (1983): Evolución del margen costero de la Cordilla Cantábrica desde el Mioceno. *Trab. Geol.*, 13: 3-35.

PEÓN, A. (1992): *Evolución morfogenética del relieve de Asturias.* Tesis Doctoral (inérita), Univ. Oviedo: 275 pp.