

Los movimientos del terreno en las laderas del valle del río Caudal y la incidencia de las escombreras del carbón en los mismos

C. López Fernández, M. Torres Alonso
y M. Gutiérrez Claverol

*Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. C/ Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo, España.
Correspondencia: miguel.torres@geol.uniovi.es*

Resumen: En este trabajo se presenta un estudio geotécnico del valle del Caudal en la zona de Mieres, que incluye una cartografía geotécnica de detalle, prestando especial atención al análisis de los movimientos del terreno existentes en las zonas de ladera. Se proponen los tratamientos técnicos más adecuados a los distintos fenómenos de inestabilidad (deslizamientos, "creep", etc.) observados, así como los tipos de cimentación recomendados en función de las condiciones geotécnicas existentes. Finalmente, se analiza en detalle la estabilidad de las escombreras del carbón presentes en la zona, reflejando las principales características de cada una de ellas, y se plantea la problemática de inestabilidad de laderas que puede generarse en el futuro como consecuencia del cierre de las explotaciones mineras.

Palabras clave: Carbonífero, Cuaternario, escombreras, deslizamientos, geotecnia, río Caudal, Mieres, Asturias.

Abstract: A geotechnical study of Caudal's valley (Mieres) is presented in this work, including a geotechnical detailed map and paying special attention to the analysis of the movements of terrain in the slope domains. The more suitable technical treatments to the different phenomena from instability observed (slides, creep, etc.) are putting forward, as well as the recommended types of foundations based on the existing geotechnical conditions. Finally, the stability of the present coal dumps in the zone is analysed in detail, reflecting the main characteristics of each one of them, and the problem of slope instability that can be generated in the future as result of the closing of the mining working is discussed.

Key Words: Carboniferous, Quaternary, dumps, slides, engineering geology, Caudal river, Mieres, Asturias.

El valle del Caudal en la zona de Mieres (Asturias) constituye un dominio geográfico con una elevada densidad de asentamientos tanto de carácter humano como industrial, concentrándose en él una densa red de vías de comunicación imprescindibles para Asturias. Parte de los mismos se sitúan en las zonas de ladera del valle del río Caudal, las cuales presentan una problemática específica en relación con los movimientos del terreno, objetivo destacado del presente trabajo. Así mismo, el pasado y el presente minero de esta cuenca se ven reflejados en

distintos aspectos propios de dicha actividad, tales como: escombreras, problemas derivados del cierre de minas, etc.

En este estudio se aborda la descripción y el análisis de los distintos movimientos del terreno localizados en este valle, proponiendo al mismo tiempo los tratamientos más adecuados. Paralelamente se han estudiado las 'escombreras del carbón', que presentan problemas específicos, debidos tanto a los materiales que las constituyen como a su comportamiento como depósito.

Metodología

Para la caracterización de los distintos materiales involucrados se realizó una cartografía geotécnica de detalle, a escala 1:5.000, prestándose especial atención a los suelos y a los depósitos de carácter antrópico, así como a la identificación de los distintos fenómenos de inestabilidad que sufren ambos tipos de depósitos.

Paralelamente, con los datos obtenidos a partir de una amplia recopilación de ensayos geológicos y geotécnicos previos, facilitados por diferentes entidades públicas y privadas, se procedió a una caracterización geológica y geotécnica de los distintos tipos de suelos y de depósitos antrópicos.

Basándose tanto en la cartografía geotécnica como en distintas observaciones de campo, se realizó una descripción y caracterización de la variada tipología de los movimientos del terreno localizados dentro de la zona. Posteriormente se analizaron y propusieron las oportunas soluciones técnicas más idóneas para los distintos tipos de inestabilidad.

Marco geográfico

La zona estudiada se ubica en la zona central del Principado de Asturias, dentro del concejo de Mieres. Abarca una parte del valle del río Caudal, comprendida entre las localidades de Baña y Figaredo, tomando como centro la villa de Mieres (Fig. 1).

El valle del Caudal se caracteriza por poseer una llanura aluvial alargada y estrecha, que mantiene una mínima pendiente hacia el río. Alcanza una anchura máxima de 900 m, situándose entre las cotas de 160 y 250 m sobre el nivel del mar. Las laderas en las que se encaja el valle presentan unas pendientes medias a fuertes, modificadas localmente por la existencia de rellenos y escombreras derivadas de la actividad minera e industrial. Las cumbres más próximas que flanquean el valle se sitúan entre los 600 y 700 m de altitud.

El clima de esta zona viene determinado principalmente por las masas de aire húmedo que proceden del Atlántico, cuyo paso hacia el sur es impedido por la cordillera, originándose consecuentemente abundantes precipitaciones. Así, la pluviometría media registrada para el período 1988-1998 se sitúa entre los 54,6 y los 125,4 mm

mensuales, con máximos de precipitaciones en abril y diciembre y mínimos en enero y julio. La lluvia máxima registrada en 24 horas oscila entre los 36,0 y los 83,5 mm, siendo septiembre y diciembre los meses donde tienen lugar las máximas precipitaciones diarias.

Para el mismo período, las temperaturas medias fluctuaron entre los 8,3 y 19,8° C, con mínimas en diciembre-enero y máximas en julio-agosto. Las mínimas oscilaron entre 6,3 y los 2,7° C, alcanzando valores extremos de hasta -5° C.

Este tipo de clima, con abundante pluviosidad a lo largo de todo el año, favorece la aparición de distintos fenómenos de alteración sobre las diferentes litologías, que van a provocar la formación de variados tipos de suelos. Éstos, a su vez, pueden verse afectados por fenómenos de inestabilidad (deslizamientos, etc.), favorecidos igualmente por las condiciones climáticas habituales en la zona.

Encuadre geológico

La zona de trabajo se sitúa geológicamente dentro de la denominada Zona Cantábrica (Julivert et al., 1972) y dentro de ella, mayoritariamente se ubica en la Cuenca Carbonífera Central y parcialmente dentro de la Unidad del Aramo (Región de Pliegues y Mantos) (Fig. 1). El límite entre ambas unidades se encuentra al norte del área estudiada (Baña-Loredo). En la Cuenca Carbonífera Central se distinguen, a su vez, dos unidades: Occidental o de Riosa y la Oriental o de Aller-Nalón, con diferencias estratigráficas evidentes. Los materiales son de edad Westfaliense en su mayoría, excepto los de la Región de Pliegues y Mantos, que pertenecen al Devónico y cabalgan a los carboníferos. Los materiales que constituyen el sustrato rocoso son eminentemente detríticos, tratándose de alternancias de areniscas, pizarras, lutitas, capas de carbón, etc., así como algún nivel calcáreo y de conglomerados. Sobre el sustrato rocoso se disponen distintos depósitos cuaternarios, tanto aluviales como eluviales y coluviales, a los que hay que sumar los de carácter antrópico.

Tectónicamente, la Cuenca Carbonífera Central presenta un sistema complejo de pliegues formado por unos 'longitudinales', que se alinean N-S describiendo un arco paralelamente al trazado de los

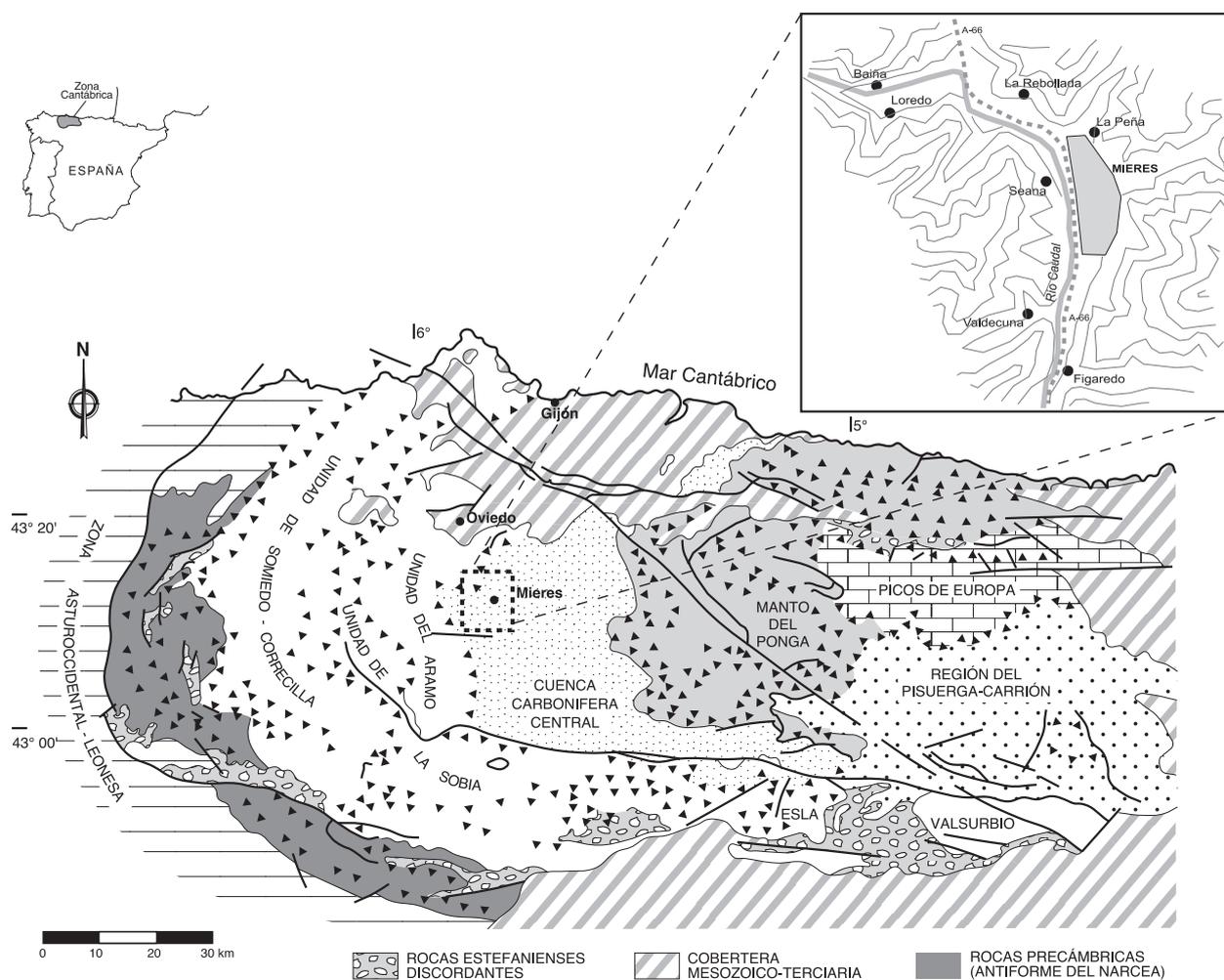


Figura 1. Localización geográfica y geológica del área de estudio.

cabalgamientos, y otros 'radiales', dispuestos transversalmente (Julivert y Marcos, 1973). Los pliegues N-S, interpretados como de propagación de falla (Aller y Gallastegui, 1994), son apretados y vergentes al E en la zona occidental de la Cuenca Carbonífera Central y abiertos hacia la zona oriental, con longitudes de onda predominantes que oscilan entre 4 y 5 km. La segunda generación de estructuras consiste en pliegues E-O que deforman los pliegues longitudinales existentes produciendo importantes figuras de interferencia.

La Región de Pliegues y Mantos se caracteriza en su zona más próxima a la Cuenca Carbonífera Central por la existencia de un conjunto de pliegues complejos integrados en otras estructuras de orden mayor. En esta zona se desarrollan varios sistemas de fallas inversas con planos muy verticalizados

con orientaciones preferentes NE-SO y NO-SE (Pello, 1976).

Características litológicas y geotécnicas de los depósitos cuaternarios

Discordantemente, sobre el sustrato rocoso, descansan distintos tipos de depósitos cuaternarios que se relacionan a continuación.

Rellenos antrópicos

Se consideran, dada su abundancia e importancia en esta zona, como un depósito cuaternario más. Presentan la particularidad de ser originados por el hombre, fundamentalmente como consecuencia de la actividad minera e industrial. Se distinguen tres

Tabla i. Ensayos de identificación de estériles de lavadero.

Materiales	H.N. (%)	Granulometría (%)				Límites de Atterberg			Clasif. S.U.C.S.
		grava	gravilla	arena	limo + arcilla	L L	L P	I P	
El Batán granos	2,4	70	28	1	1	—	—	—	GP
El Batán menudos	13,6	-	70	28	2	18	15	3	GW
Morgao estériles	5,7	5	55	37	3	27	12	15	SW

tipos diferentes de rellenos antrópicos: rellenos heterogéneos, estériles de lavadero y estériles de mina. Los *rellenos heterogéneos* son materiales de diversa procedencia, englobando estériles de mina, residuos de excavaciones, restos siderúrgicos, escorias, cenizas, rellenos de viales y obras de edificación, etc. Su ubicación depende directamente del tipo de actividad que los halla generado, situándose habitualmente en áreas próximas a instalaciones industriales, antiguas factorías, etc. Desde un punto de vista geotécnico se trata de materiales con muy escasa capacidad portante; son fácilmente excavables y no aptos como material de préstamo.

Los *estériles de lavadero* están constituidos por cantos lutíticos englobados en una matriz limosa negruzca, con un contenido variable en carbón. Están compuestos básicamente por cuarzo, arcillas y micas, como accesorios piritas, materia orgánica, carbonatos, etc. (González Moradas, 1991). En general, presentan capacidades portantes muy bajas, inferiores a 1 kg/cm², ángulos de rozamiento interno del orden de 20° y densidades aparentes entre 1,8 a 1,9 t/m³.

En la Tablas i y ii se sintetizan, respectivamente, los ensayos de identificación y mecánicos de estériles

procedentes de los lavaderos de El Batán y Morgao.

Los *estériles de mina* son materiales procedentes de las explotaciones mineras y pertenecientes, como regla general, a las rocas que están en contacto con las capas explotables. Se trata de fragmentos angulosos y heterométricos de naturaleza muy variada: pizarras, argilitas, finos de carbón, limolitas, areniscas, calizas, trozos de madera procedentes de la entibación, etc. Presentan granulometrías variadas y suelen estar disgregados y parcialmente alterados. Están fuertemente condicionados por la modalidad de excavación utilizada y, en menor medida, por la forma de vertido. Muestran una baja capacidad portante (1-2 kg/cm²), con valores de rozamiento interno entre 20 y 48°, baja permeabilidad y un considerable contenido en materia orgánica (González Moradas, *op. cit.*).

Depósitos cuaternarios propiamente dichos

Los eluviones y coluviones aparecen distribuidos a lo largo de las laderas, habitualmente en su parte baja en contacto con el fondo del valle excavado por el río. Presentan una potencia media de unos 2-3 m.

Tabla ii. Ensayos mecánicos de estériles de lavadero.

Materiales	Corte directo		Próctor normal	
	ϕ (°)	C (kg/cm ²)	$\delta_{\max \text{ seca}}$	H. O.
El Batán menudos	54°	0,12	1,78	3,0
Morgao estériles	48°	0,30	1,83	8,0

Tabla iii. Ensayos de identificación de eluviones.

Materiales	Test químicos			Granulometría (%)				Límites de Atterberg			Clasif. S.U.C.S.
	H.N. (%)	M.O.	CO ₃ ⁼	grava	gravilla	arena	limo + arcilla	LL	LP	IP	
arcillas con cantos	14,2	2,30	—	31,7	24,8	12,0	31,5	35	20	15	GC
arcillas y arenas con cantos	17,8	0,95	12,2	13,3	34,0	20,5	32,2	29	17	12	SC
	16,3	1,40	11,8	7,0	48,7	17,0	27,3	32	19	13	GC
arcillas y arenas	17,1	0,05	0,0	13,0	18,6	26,0	42,4	31	20	11	SC
arcillas y arenas con cantos y lajas	10,2	0,05	0,0	4,5	26,0	23,8	45,7	31	17	14	CL
arcillas arenosas con cantos y lajas	12,3	0,50	0,4	3,4	17,9	43,3	35,4	26	18	8	SC
	18,2	1,70	0,0	11,9	23,2	24,1	40,8	35	22	13	SC

Los *depósitos eluviales* están compuestos mayoritariamente por arenas arcillosas y, en menor proporción, por arcillas arenosas y gravas arcillosas, lo cual es coherente con su menor grado evolutivo; si bien su naturaleza siempre vendrá determinada por el tipo de litologías sobre las que se desarrollan.

Las areniscas, las pizarras y las lutitas (litologías predominantes en la zona de estudio) presentan una especial alteración superficial, siendo de mucha menor entidad la alteración en las capas más potentes de areniscas. Sobre las alternancias de pizarras y lutitas el contenido arcilloso del depósito es mucho mayor que sobre las litologías más areniscosas, en las que se desarrollan unos depósitos arenosos predominantes.

En general, los eluviones, ocupan mayores extensiones que los depósitos coluviales (Fig. 2), localizándose los de mayor extensión en las zonas de Sena, La Fonda, Valdecuna, valle del río San Juan, Santullano, El Pedroso, etc. Otros de menor entidad se distribuyen por Baña, Ablaña, Sueros, Santa Clara, La Quinta, etc.

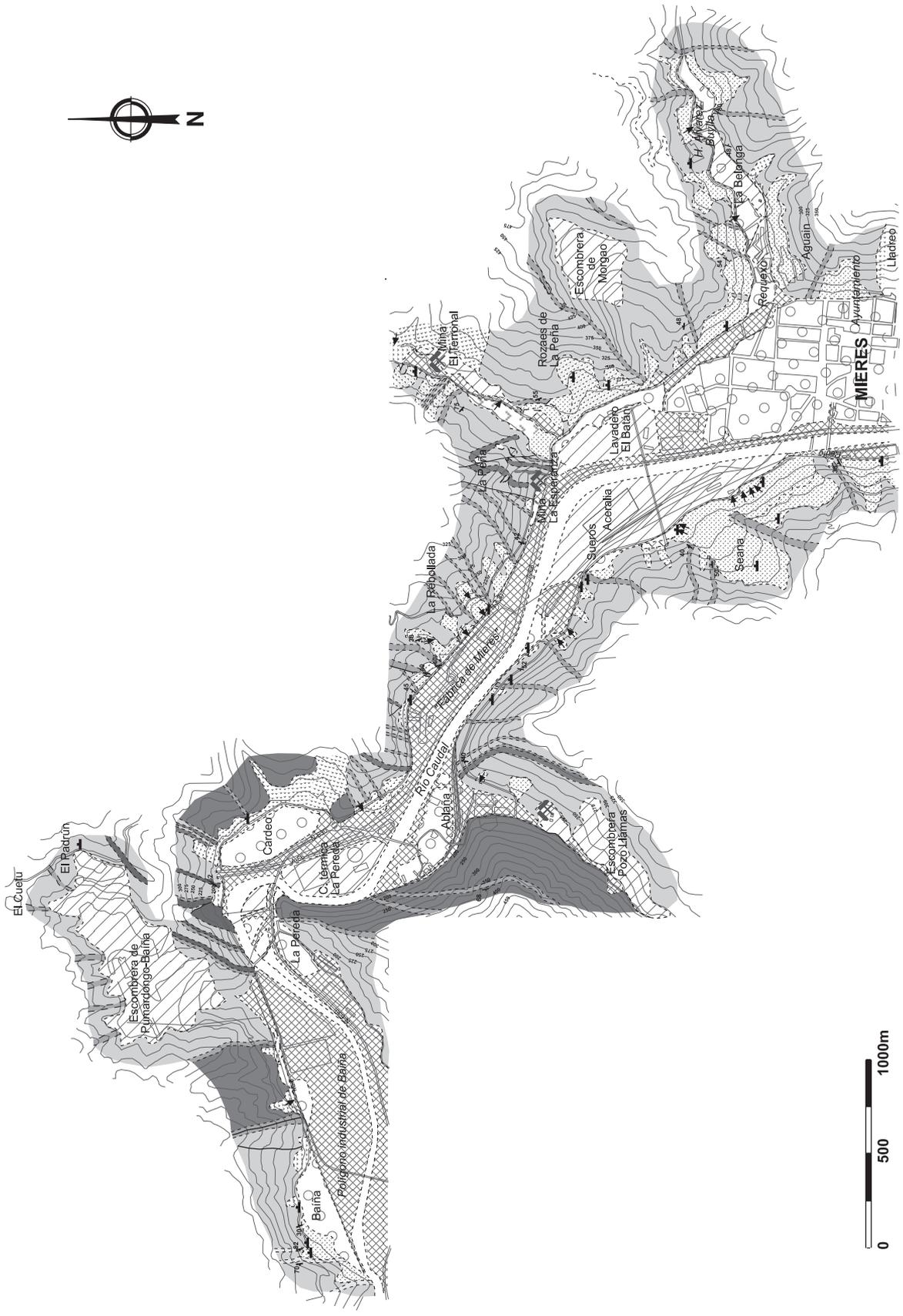
Los *depósitos coluviales* están constituidos, generalmente, por una mezcla de arenas arcillosas y arcillas de baja plasticidad, variando el porcentaje de gravas, arenas, etc., en función de la localización de cada depósito. Es característica la presencia puntual de cantos en los coluviones provenientes

de niveles conglomeráticos situados en zonas más altas. Los coluviones aparecen a lo largo y ancho de toda la zona estudiada, concentrándose en las zonas bajas de las laderas, vaguadas y valles de los pequeños arroyos intermitentes que convergen al río Caudal. Los de mayor extensión se sitúan en la ladera localizada entre los pueblos de El Requexau y El Pedroso, en Santullano, en las laderas del arroyo San Juan, etc. (Fig. 2).

En general, eluviones y coluviones presentan unas características geotécnicas análogas. Estudios realizados en áreas limítrofes (Torres y Martínez, 1985) arrojan los siguientes valores: la humedad natural oscila entre el 12 y el 18% de media, la densidad seca varía entre 1,95 y 2,0 g/cm³, los contenidos en materia orgánica alcanzan un máximo del 8%; el porcentaje de carbonatos oscila ampliamente, alcanzando valores máximos del 12,2%; el límite líquido fluctúa entre 24 y 49. Se han obtenido valores de entre 20 y 43° en el ensayo de corte directo, mientras que los de compresión simple oscilan entre 0,14 y 4,47 kg/cm². El ensayo Lambe proporciona índices de hinchamiento extremos entre 0,12 y 1,13.

Los ensayos, tanto de identificación como mecánicos, realizados sobre eluviones y coluviones se sintetizan en las Tablas iii, iv, v y vi.

En resumen, se trata de materiales deficientes a efectos de cimentación, siendo susceptibles de su-



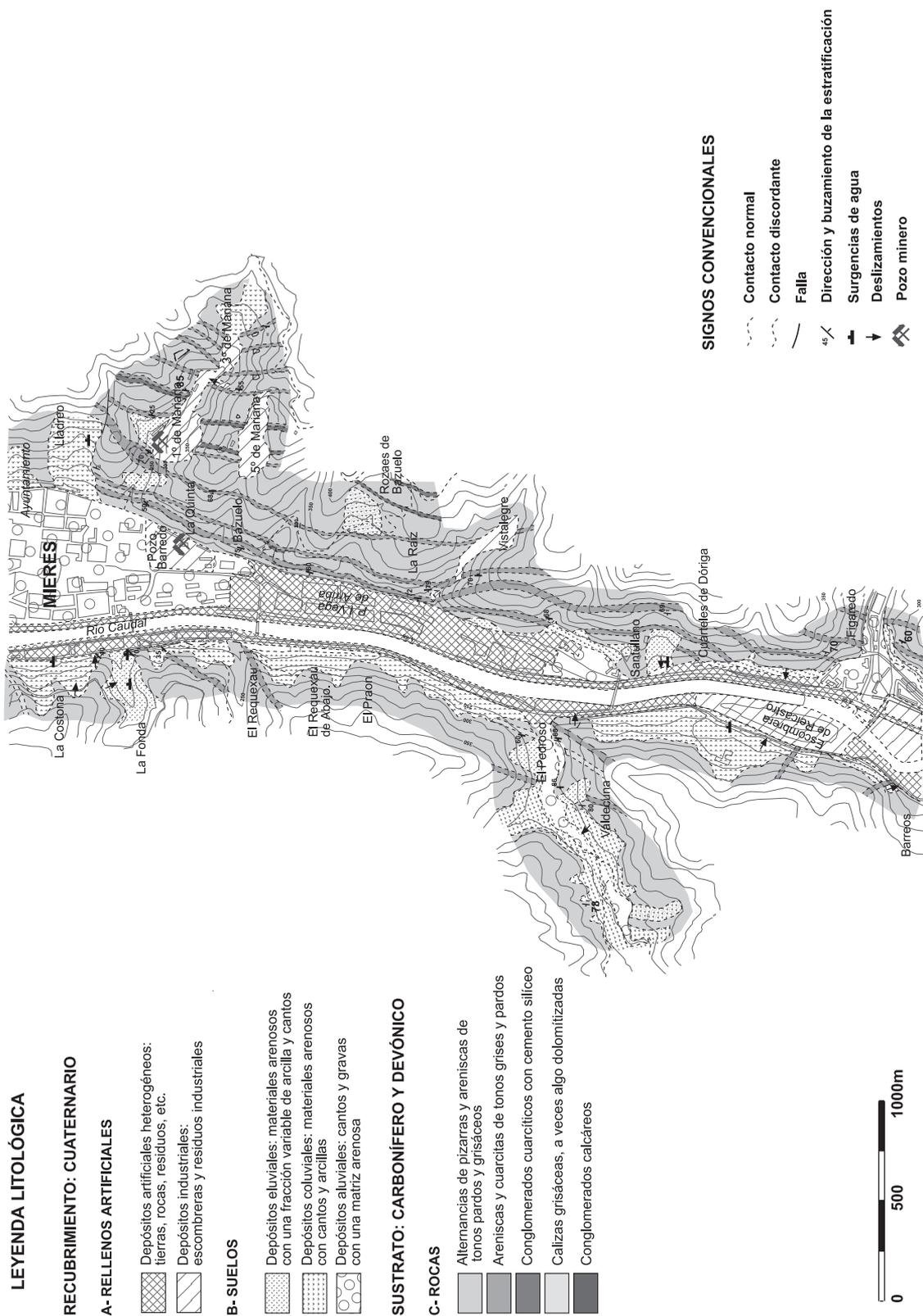


Figura 2. Esquema geotécnico del valle del Caudal en la zona de Mieres.

Tabla iv. Ensayos mecánicos de eluviones.

Materiales	q _e (kg/cm ²)	Corte directo		Ensayo Lambe		Clasif. S.U.C.S.
		φ (°)	c (kg/cm ²)	Índice Hinchamiento	Grado Peligrosidad	
arcillas con cantos	—	20°	0,64	0,27	No crítico	GC
arcillas arenosas con cantos	—	29°	0,60	0,32	No crítico	SC
	—	26°	0,42	0,23	No crítico	GC
arcillas con cantos y lajas	2,65	25°	0,61	0,53	No crítico	CL
arcillas arenosas	—	23°	0,98	0,42	No crítico	SC
arcillas arenosas con cantos	1,05	23°	0,50	0,15	No crítico	SC
	2,7 – 3,5	29°	0,65	0,42	No crítico	SC

fir considerables asientos, así como el riesgo añadido de provocar deslizamientos.

En la Tabla vii se resumen, a efectos comparativos, los principales parámetros geotécnicos de los estériles de lavadero frente a los de eluviones y coluviones.

Junto con los eluviales y coluviales los depósitos más característicos del valle del río Caudal son

los sedimentos *aluviales*. Están constituidos por gravas y bolos con matriz arenosa que, en su tramo más superficial, presentan un elevado contenido en arenas de grano fino a limosas, y cantos dispersos. La potencia media de estos depósitos oscila entre los 7 y los 9 metros, alcanzado localmente más de 12 m.

Tabla v. Ensayos de identificación de coluviones.

Materiales	Test químicos			Granulometría (%)				Límites de Atterberg			Clasif. S.U.C.S.
	H.N. (%)	M.O.	CO ₃ ⁺	grava	gravilla	arena	limo + arcilla	LL	LP	IP	
arcillas con cantos/bloques	13,1	1,20	0,0	6,70	30,7	22,3	40,3	27	19	8	SC
	19,0	3,60	0,0	0,00	20,8	17,3	61,9	40	25	15	CL
arcillas y arenas	15,6	0,35	0,0	0,00	1,9	42,0	56,0	27	16	11	CL
	9,60	0,25	0,0	0,00	7,50	23,0	69,5	38	26	12	CL
arcillas y arenas con cantos y bloques	16,3	1,40	0,0	6,05	35,7	27,3	30,5	32	22	10	SC
	14,9	2,70	0,0	3,20	13,6	16,1	67,1	49	28	21	ML
arcillas y arenas con cantos	13,8	0,05	0,0	10,2	38,8	27,7	28,3	29	17	12	SC
	20,4	0,35	0,0	3,80	13,5	16,1	66,6	36	23	13	CL
	17,3	8,60	0,0	2,00	35,4	29,8	32,8	24	22	2	SM

Tabla vi. Ensayos mecánicos de coluviones.

Materiales	q_u (kg/cm ²)	Corte directo		Ensayo Lambe		Clasif. S.U.C.S.
		ϕ (°)	c (kg/cm ²)	Índice Hinchamiento	Grado Peligrosidad	
arcillas con cantos y bloques	2,38	27°	0,76	0,23	—	SC
	—	28°	0,75	0,60	No crítico	CL
arcillas y arenas	2,3 – 2,8	30°	0,28	0,44	No crítico	CL
	0,84	27°	0,49	0,49	No crítico	CL
arcillas y arenas con cantos/bloques	—	27°	0,41	1,13	No crítico	SC
	0,95	27°	0,48	0,47	No crítico	ML
arcillas y arenas con cantos	0,42	31°	0,64	0,14	—	SC
	1,9 – 2,3	27°	0,96	0,28	No crítico	CL
	0,8 – 2,3	30°	0,87	0,40	No crítico	SM

Tabla vii. Parámetros geotécnicos de estériles de lavadero, eluviones y coluviones.

Parámetros	Estériles de lavadero	Eluviones y coluviones
Carbonatos (%)	—	0 - 12
Materia orgánica (%)	0 - 3	0 - 8
Porosidad (%)	46	—
Humedad natural (%)	2,4 - 13,6	9 - 22
Peso específico (t/m ³)	2,0	1,7 - 2,1
Compresión simple (kg/cm ²)	< 1	0,14 - 4,47
Rozamiento interno	20 - 54°	20 - 43°
Índice hinchamiento (kg/cm ²)	—	0,12 - 0,86
Cohesión (kg/cm ²)	0,12	0,21 - 0,98
Límite líquido	18	24 - 49
Límite plástico	15	16 - 28
Índice plasticidad	3	7 - 21
Contenido en finos (%)	< 3	13 - 71
Clasificación S.U.C.S.	GW - GP	SC; CL; GC; ML

Características litológicas y geotécnicas del sustrato rocoso

Está formado fundamentalmente por alternancias de areniscas, pizarras y lutitas, entre las cuales se intercalan capas de calizas y dolomías de pequeño espesor y algún nivel de conglomerados, de edad devónica y carbonífera.

Los materiales devónicos pertenecen al denominado 'Complejo detrítico carbonatado' (García Loygorry et al., 1971) constituido por cuarzoarenitas en la base, seguidas de una alternancia de pizarras y areniscas deleznable, con paquetes que incluyen micritas arenoso-limosas, dolomías y cuarzoarenitas.

Dentro de los materiales carboníferos se encuentra la denominada informalmente 'Caliza de Montaña'. Los materiales del Westfaliense están representados por los denominados 'paquetes mineros'. Fundamentalmente se trata de ciclos de alternancias de pizarras, areniscas, niveles calcáreos, cuarcitas, carbón, conglomerados, etc. Son niveles de potencia métrica o decimétrica en general, exceptuando algunos niveles más potentes de calizas, cuarcitas o conglomerados (Salvador, 1993).

Las características geotécnicas de estos materiales estarán condicionadas por la litología, espesor de los estratos, su disposición estructural, etc. Los valores de los distintos parámetros geotécnicos se pueden ver mermados por el mayor o menor grado de alteración de las rocas. Como parámetros de referencia se pueden tomar algunos con un carácter general, si bien será necesario considerar las peculiaridades locales. Así, en general, la capacidad portante varía con las litologías, siendo media-baja en limolitas-lutitas y alta-muy alta en areniscas-conglomerados-calizas. En ensayos realizados en áreas colindantes (Torres y Martínez, *op. cit.*), para similares materiales, los valores de capacidad portante oscilan entre los 100 y los 1.700 kg/cm².

Desde un punto de vista hidrogeológico, la zona de estudio se enmarca dentro de la denominada 'Unidad Paleozoica', que se caracteriza por una circulación de agua de tipo fisural, dando lugar a numerosas surgencias (Fig. 3).

La mayor parte de las litologías que componen el sustrato rocoso (lutitas, limolitas, pizarras, etc.) presentan un carácter impermeable, lo cual hace

que la circulación hídrica sea mayoritariamente a través de las discontinuidades. Las precipitaciones, dada la elevada impermeabilidad litológica, llegarán a los cauces principales por escorrentía superficial, favorecida por las elevadas pendientes. Una parte del agua de lluvia se infiltrará a través de la red fisural, si bien el volumen de agua implicada se intuye reducido. Otra parte se introduce en el interior del macizo rocoso a través de los minados. En el norte de la zona estudiada aparecen litologías carbonatadas, con una circulación de agua de tipo kárstico, sobre las cuales se desarrollan morfologías susceptibles de almacenar y permitir la circulación del agua.

Los depósitos cuaternarios presentan una circulación de tipo freático, debido a que su composición arenosa y limosa le confiere una significativa porosidad. Normalmente, estos depósitos están saturados en agua (produciendo fenómenos de inestabilidad), originándose a menudo pequeñas surgencias cuando se corta la zona freática, cuyo límite superior fluctúa con el régimen de precipitaciones. Los depósitos de carácter antrópico, en general, tienen una considerable porosidad, permitiendo así una importante circulación y almacenamiento hídrico.

Los movimientos del terreno

Existen diversos factores que caracterizan y definen los movimientos del terreno, por un lado están los relacionados con el 'material movilizable': litología, estructura del macizo rocoso, topografía, etc.; y por el otro están los 'factores externos': la acción humana, aspectos ambientales, el aporte de agua, etc.

Los movimientos del terreno detectados en la zona de estudio se originan primordialmente en los depósitos eluviales y coluviales, los cuales presentan una naturaleza arcillo-arenosa. Se concentran en las zonas bajas de las laderas del valle principal del río Caudal, así como en sus afluentes (Valdecuna, Murias, etc.), influyendo la pendiente de las mencionadas laderas. Los factores externos, tales como la actividad humana o el contenido en agua de los materiales movilizables, son determinantes en el desarrollo de los mismos. La actividad antrópica, reflejada en la realización de obras de desmonte, la

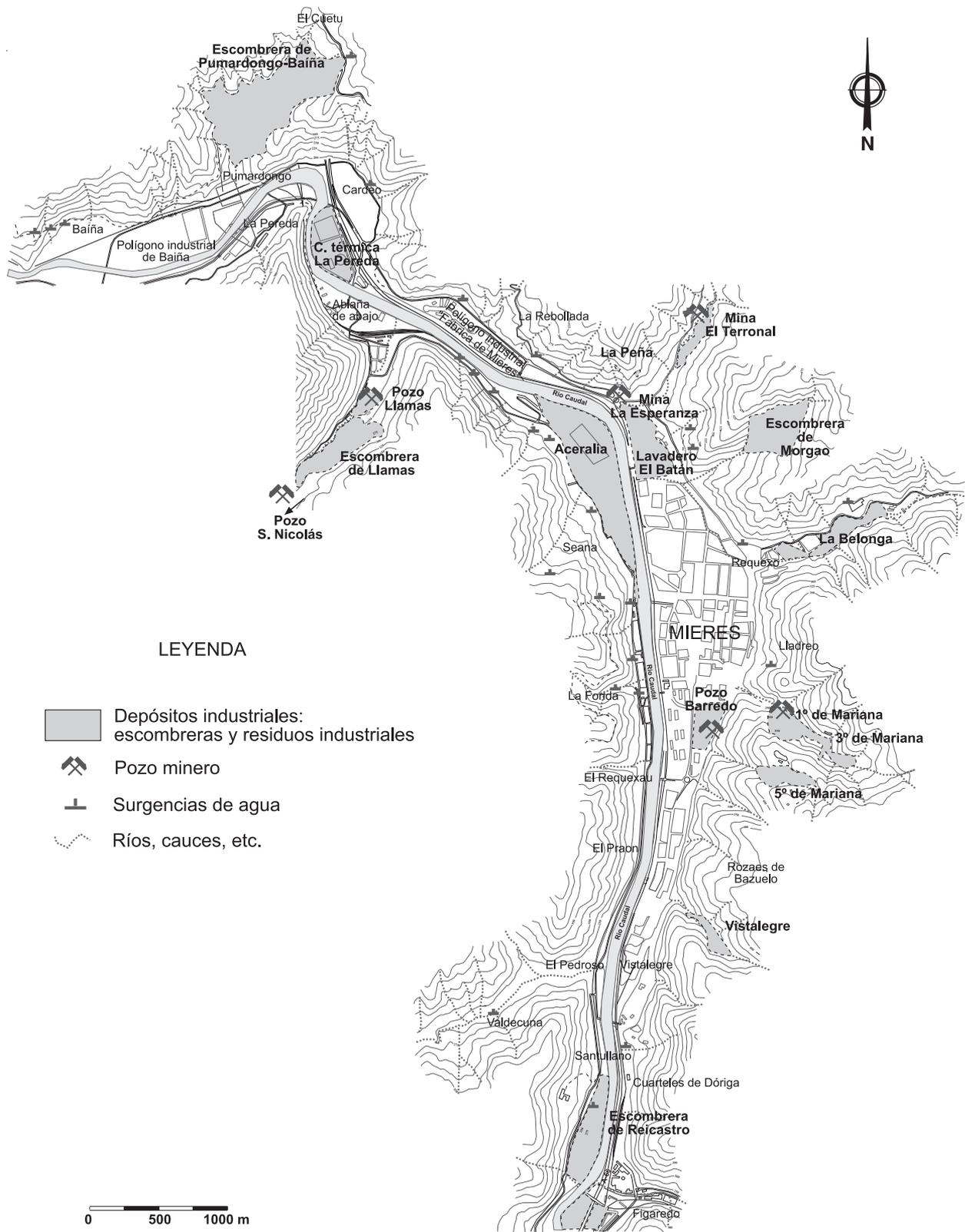


Figura 3. Esquema hidrogeológico y minero.

creación de terraplenes, etc., modifica las condiciones de equilibrio naturales favoreciendo la aparición de distintos fenómenos de inestabilidad. Así mismo, puede constatarse una relación directa entre estos y el contenido en agua de los materiales movilizables.

A continuación se relacionan los tipos de movimientos más habituales en la zona.

Desprendimientos

La “caída de bloques” se produce en taludes o laderas, muy escarpados, próximos a la verticalidad, donde las discontinuidades del macizo rocoso individualizan bloques con tendencia a desplomarse por gravedad. Se presentan en materiales competentes y muy estructurados. Existen desprendimientos rocosos de escasa entidad en la localidad de La Fonda, en la zona de Santullano, en la carretera antigua de Mieres a Ablaña, y puntualmente en vías como la N-630, tramo Cardeo-La Peña, o en secundarias como Mieres-Ujo, etc. (Fig. 2). En general son desprendimientos puntuales y de pequeña importancia.

Corrimientos

Son movimientos gravitacionales de masas de rocas y/o suelos que deslizan a favor de una o más superficies, una vez superada la resistencia al corte, presentando una velocidad variable. Se dividen en distintos tipos:

a) *Reptaciones* o ‘*creep*’: movimientos muy lentos y continuos, típicos de zonas de materiales con alto contenido en arcillas. Afectan a la zona superficial del terreno, presentando lobulaciones y escalonamientos del mismo. La presencia de agua produce un incremento de volumen, lo que puede provocar un movimiento de los materiales a favor de la pendiente, pudiendo evolucionar a fenómenos como coladas o deslizamientos. Se observan fenómenos de ‘*creep*’ en Seana, Valdecuna, El Pedroso, La Fonda, valle del río San Juan, Murias, La Belonga, Ablaña, Baña, El Requexau, Santullano, Reicastro, etc. (Fig. 2). Son movimientos con extensiones medias y en laderas de baja a media pendiente, muy numerosos a lo largo de este valle.

b) *Deslizamientos*: movimientos de laderas y taludes que afectan, en este caso, a materiales rocosos alterados y a depósitos eluviales y coluviales, diferenciándose los de tipo traslacional y rotacional. Los ‘*traslacionales* o *planares*’ desplazan el terreno siguiendo una superficie más o menos plana, produciéndose sobre todo en alternancias de materiales del sustrato rocoso y formaciones superficiales, etc. Se localiza uno en la zona de Ablaña, y otros de menor entidad en la carretera El Pedroso-Valdecuna (Fig. 2). Los ‘*rotacionales*’ presentan una morfología semicircular y cóncava, presentando una componente rotacional alrededor de un eje paralelo a la ladera o talud. La velocidad oscila entre 1 cm/año y 1 m/día. Son, junto al ‘*creep*’, el tipo de movimientos mayoritarios. Se desarrollan sobre materiales sueltos, como coluviones y eluviones. Se han cartografiado varios deslizamientos de este tipo en la localidad de Seana, en la carretera entre El Pedroso y Valdecuna, en la zona del hospital Álvarez Buylla, en la ladera inferior a la Rebollada, en la zona de Baña, etc. (Fig. 2).

Tratamiento de los deslizamientos

Las soluciones adoptadas en los distintos movimientos observados han consistido en tratamientos de contención fundamentalmente y, en menor medida, de saneamiento y consolidación. En la Tabla **viii** se resumen las principales medidas de contención más apropiadas en función de los materiales afectados por fenómenos de inestabilidad.

Medidas de consolidación y saneamiento: con ellas se busca la estabilización máxima posible del terreno, mediante la consolidación del mismo, y el control de la circulación del agua.

Medidas de contención: implican la colocación de elementos que impidan de forma directa el movimiento del terreno, siendo necesaria la distinción entre contención en suelos, rocas, depósitos antrópicos, etc. Los tratamientos más utilizados y con mejores resultados son las escolleras y los muros de contención. Se han utilizado escolleras en la construcción de la autopista A-66, en el emboquillado de los túneles del Padrún, en la zona de Santullano, en Cardeo-Mieres, en el encauzamiento del río Caudal, etc. Son numerosos los deslizamientos tratados mediante de muros de conten-

Tabla viii. Medidas de contención.

Materiales	Tipo de tratamiento	
	Superficial	Profunda
Medidas de contención en rocas competentes	malla metálica	pilotes
	gaviones	—
	escolleras	—
	contrafuertes	—
	tierra armada	—
	muros de hormigón	—
Medidas de contención en suelos	gaviones	tablestacas
	escolleras	pilotes
	tierra armada	muros pantalla
	muros pantalla	—
Medidas de contención en depósitos antrópicos	escolleras	tablestacas
	tierra armada	—
	muros de hormigón	—
	gaviones	—

ción en La Fonda, El Requexau, en Murias, Santullano, etc. (Fig. 2).

Las cimentaciones

La problemática de las cimentaciones en las laderas está estrechamente asociada con los problemas de inestabilidad de las vertientes del valle, por ello se ha dedicado una especial atención a su análisis.

La zona de laderas se corresponde con el ámbito propiamente rural, donde la mayor parte de las construcciones actuales son de escasa entidad, localizándose también diversas infraestructuras, tanto viarias como de servicio. Presentan una problemática clara, determinada por el tipo de depósito. Así, podemos distinguir dos posibles alternativas de cimentación: sobre el sustrato rocoso o sobre depósitos eluviales y coluviales.

Cimentaciones sobre depósitos eluviales y coluviales

Debido a sus particulares características geológico-geotécnicas, los depósitos eluviales y coluviales son unos materiales susceptibles de sufrir fenómenos de inestabilidad tales como procesos de reptación y deslizamientos, pudiendo asimismo producirse asentamientos e incluso desplazamientos en las construcciones.

En principio, sería factible cimentar sobre estos materiales mediante técnicas superficiales normales (zapatas, vigas, losa, etc.), siempre que las características topográficas sean adecuadas (zonas de baja pendiente, con escasa presencia de agua, etc.). En caso contrario será necesaria la adopción de medidas de contención que impidan el desarrollo de procesos de 'creep' o de deslizamientos, bien mediante la construcción de muros encastrados en 'roca sana', muros anclados, etc., o bien mediante la utilización de técnicas de cimentación profunda:

micropilotes, pantalla de pilotes, cimentación directa sobre el sustrato, etc. También se puede recurrir a la sustitución de los materiales más deficientes a efectos constructivos, si su volumen no es excesivo. En cada caso sería necesario evaluar la opción más apropiada.

Estos materiales presentan una considerable porosidad, pudiendo retener ciertas cantidades de agua que llegan a acelerar los procesos de inestabilidad del depósito. Así, se recomienda la adopción de medidas de drenaje efectivas, controlando al máximo la circulación de agua.

Cuando se afronten excavaciones habrá de tenerse en cuenta que son materiales de fácil excavabilidad mediante medios mecánicos normales. Los taludes estables van de 3/2 a 1/1 como máximo, dependiendo siempre de la cantidad de agua presente. Es también recomendable la adopción de medidas de contención o entibamiento típicas de excavaciones, tales como muros, tablestacas, etc., siendo fundamental, en todo momento, el control y eliminación del agua causante de la inestabilidad de estos depósitos.

Cimentaciones sobre el sustrato rocoso

Los materiales que constituyen el sustrato rocoso presentan una capacidad portante idónea en la práctica totalidad de la zona estudiada, tratándose, por tanto, de un nivel adecuado de cimentación.

Debido a las propias características litológicas y estructurales del sustrato rocoso, la meteorización crea un manto de alteración sobre el mismo, cuyo espesor es, en general, reducido: entre 0,5 y 1,0 m. A la hora de cimentar debe eliminarse esta zona alterada, ya que no es apta como cimiento natural.

La litología y la estructura determinarán, en último caso, la capacidad portante del sustrato rocoso y su cota de cimentación, siendo necesaria la realización de estudios concretos para la ubicación de grandes estructuras, tales como viaductos, etc., mientras que para las construcciones de tipo medio no cabe esperar problemas singulares de cara a su cimentación.

Cimentación o soporte de terraplenes y escombreras. El emplazamiento de cualquier tipo de terraplén o escombrera necesita valorar una serie de as-

pectos que dependen, tanto del material a acumular, como de la zona de acumulación.

El terreno de apoyo de los distintos depósitos tiene una importancia fundamental de cara al comportamiento de los mismos, independientemente de la calidad y del diseño de la acumulación. Los depósitos eluviales y coluviales no son aconsejables, ya que favorecen la aparición de asientos e inestabilidades en el conjunto del depósito, debiendo recurrirse a la sustitución de los mismos por otros de mejor calidad. Así mismo, es necesario conocer la hidrogeología de la zona, que puede verse alterada negativamente por la implantación de un depósito de este tipo. La ubicación de escombreras y taludes en laderas que están en un equilibrio límite no es aconsejable, pudiendo producirse inestabilidades debido al peso del depósito, haciéndose imprescindible, por tanto, el estudio de la morfología del terreno de ubicación.

El despeje y desbroce del terreno, su escarificado y cajeado, etc., son medidas habituales a adoptar antes de comenzar la acumulación de materiales.

Finalmente, en la Tabla ix se resume toda la problemática relacionada con las cimentaciones en las zonas de ladera. Para cada tipo de materiales (eluviones, coluviones, escombreras, etc.) se abordan los aspectos geotécnicos más habituales: método de excavación más adecuado, tratamientos para conseguir la máxima estabilidad de los taludes, estimación de su capacidad portante y, por último, tipo de cimentación más aconsejable.

La problemática de la estabilidad de las escombreras de carbón

La minería, fundamentalmente del carbón, asentada en la zona de Mieres, ha traído como consecuencia la existencia de numerosas escombreras, donde se han acumulado los materiales considerados como no aprovechables (estériles o escombros de mina).

Dentro de la particular problemática que presentan las escombreras (su ubicación, su peligrosidad como depósito inestable, la potencial contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, su impacto visual, etc.), uno de los problemas más importantes que plantean es su estabilidad como depósito.

Tabla ix. Problemática de las cimentaciones en las zonas de laderas.

Materiales	Excavación					Taludes					Agua		Capacidad portante				Tipo cimentación		
	Medios mecánicos	Escarificación	Martillos neumáticos	Mixtos	Explosivos	Relación H/V	Drenaje	Gunitado	Deslizamientos	Muros de contención	Impermeabilizaciones	Freática	Fisural	Nula o muy baja	Baja	Media	Alta	Superficial	Profunda
Escombreras	•					2/3-1/1	•	•	•	•	•			•	•				•
Rellenos heterogéneos	•					2/3-1/1	•		•		•			•					•
Eluviones y coluviones	•					3/2-1/1	•	•	•	•	•				•				•
Sustrato rocoso		•	•	•	•	1/3-1/10		•	•	•	•	•				•	•		•
Aluvial fino	•					1/1	•		•	•	•			•	•				•
Aluvial grueso	•					1/1	•		•	•	•				•				•

Los residuos del carbón comprenden tanto los estériles de mina como los materiales procedentes del lavado del mismo (estériles de lavadero). Mineralógicamente están compuestos por cuarzo, minerales arcillosos, plagioclasas, calcita, siderita, pirita, etc., así como cantidades variables de materia orgánica y azufre. Presentan granulometrías variadas, suelen estar disgregados y es habitual su alteración parcial.

Tradicionalmente no se ha dado importancia al emplazamiento de las escombreras, persiguiendo únicamente la facilidad de transporte y la ocupación de terrenos sin planificación previa. Esto ha originado diversos problemas de inestabilidad en la mismas, así como elevados impactos medioambientales. Todas las escombreras localizadas dentro del área de estudio se sitúan sobre laderas o cauces, lo cual puede derivar en problemas de carácter geotécnico.

Lógicamente una parte de la estabilidad de las escombreras está determinada por el tipo de materia-

les acumulados, influyendo características tales como la litología, forma, granulometría, etc. Existen una serie de parámetros a considerar a la hora de evaluar la estabilidad de una escombrera:

- Resistencia al corte: cohesión y rozamiento interno, que dependen de la angulosidad de las partículas, de su tamaño, de la granulometría, de su grado de compactación, etc.
- Grado de deformabilidad: relacionada con la forma de vertido, la humedad, granulometría, alterabilidad, etc.
- Compresibilidad: debida al propio peso del depósito, y que se traduce en asientos que pueden alcanzar del orden 3% en un período de entre 5 y 10 años.
- Posibilidad de combustión por ignición espontánea.

La circulación del agua y el drenaje constituyen un factor básico en la estabilidad de las escombreras,

siendo imprescindible el control de las aguas superficiales para tratar de evitar que el agua sature el depósito o que circule por su interior. La capacidad de almacenamiento de agua en una acumulación de este tipo es muy elevada, con lo cual el peso de la escombrera puede verse incrementado notablemente, multiplicándose así el riesgo de inestabilidad. Igualmente el sistema de vertido (por cintas, mediante camiones, por tongadas, etc.) influye de forma decisiva en la estabilidad de estos depósitos.

Las modalidades de inestabilidad que pueden sufrir las escombreras son muy variadas, siendo las más habituales los deslizamientos superficiales, que se originan de forma rápida afectando normalmente a escombros de baja cohesión y los deslizamientos profundos, circulares o mixtos, que evolucionan en el tiempo, siendo por tanto lentos, afectando a importantes masas e incluso al basamento sobre el que se apoyan.

En la Figura 3 se representan las trece escombreras que han sido inventariadas dentro de la zona de estudio. En algunas de ellas se han detectado distintos deslizamientos superficiales, grietas de tracción y cicatrices de recientes fenómenos de inestabilidad.

Ocho de las escombreras tienen un considerable tamaño, extendiéndose a lo largo de las respectivas laderas o cubriendo vaguadas y cauces. El resto se localizan sobre la llanura aluvial del río Caudal, estando la mayor parte cubiertas por otros depósitos. Sobre ellas se ubican, fundamentalmente, asentamientos de tipo industrial.

Del conjunto de grandes escombreras localizadas en la zona, sólo una está activa en la actualidad, la de Pumardongo-Bañña (Fig. 3). La ubicada en Reicastro está siendo utilizada actualmente como fuente de estériles para distintos usos (combustible en la Central Térmica de La Pereda, áridos para obras civiles, etc.). El resto se encuentran abandonadas en su mayoría, algunas después de haber sido relavadas parcialmente, encontrándose ya revegetadas parcial o totalmente.

En la Tabla x se enumeran los principales fenómenos de inestabilidad observados en las diez mayores escombreras controladas. Así mismo, se reflejan, en su caso, las medidas correctoras adoptadas, una estimación de la estabilidad global de cada escombrera y el grado de impacto visual que presentan.

Algunas de ellas ocupan considerables superficies, oscilando entre 45.000 y 2.000.000 m². Son depósitos de gran entidad, almacenando entre 3 y 20 millones de m³ de estériles. Los taludes que presentan varían entre 25 y 30°.

Varias de las escombreras han sufrido distintos fenómenos de inestabilidad, en algunos casos de considerable importancia. Se han detectado en las siguientes (Fig. 3):

a) *Morgao*: situada a unos 3 km de Mieres, en la zona de Arrojo. En ella se acumularon materiales procedentes de Fábrica de Mieres y del lavadero El Batán. Actualmente presenta taludes de 30-35° en bancos de 8-13 m. Sufrió problemas desde sus inicios: deslizamientos, represamiento del arroyo Morgao, colmatación de cunetas, arrastres superficiales, surgencias de agua, etc; dichos problemas derivaron de la ubicación de la misma y del sistema de vertido utilizado. Se adoptaron medidas correctoras de los anteriores problemas, como revegetación, canalizaciones, etc.

b) *Llamas*: localizada en las inmediaciones del pozo homónimo, en la localidad de Ablaña, los estériles proceden de los pozos Llamas y San Nicolás. Presenta taludes parciales de 30-35°, que sufrieron deslizamientos y arrastres superficiales, tratados en su momento mediante la adopción de medidas de revegetación y la construcción de muros de contención.

c) *1^{as} de Mariana*: situada en la carretera Mieres-Cuarteles de Mariana, los materiales vertidos proceden del Pozo Barredo y de la antigua Fabrica de Mieres. Presenta taludes de 35-40°. En ella se detectaron arrastres superficiales y surgencias en su base. Actualmente se observan signos de deslizamiento, tales como grietas y asentamientos en la parte superior.

d) *3^{as} de Mariana*: situada en la zona superior a la de 1^{as} de Mariana, presenta arrastres superficiales y socavación del pie de la misma. A excepción del encauzamiento parcial del arroyo Duro, no ha sido objeto de ningún tipo de tratamiento.

e) *5^{as} de Mariana*: localizada en Cuarteles de Mariana, su estabilidad fue considerada como mala, ya que sufrió algún deslizamiento serio. Igualmente se originaron movimientos locales y ero-

Tabla x. Problemática de las escombreras.

Escombrera	Fenómenos de inestabilidad*	Medidas adoptadas	Estabilidad	Impacto visual
Morgao	D, A, S	Canalizaciones, revegetación	Buena	Bajo
Llamas	A	Revegetación, muros	Buena	Alto
Pumardongo	—	Canalizaciones	Buena	Medio
1° de Mariana	A, S	Desvío arroyos, revegetación	Mala	Alto
5° de Mariana	A, D	Drenaje	Mala	Alto
3° de Mariana	A, D	—	Mala	Alto
El Terronal	A, S	—	—	Alto
La Belonga	A	—	Alta	Alto
La Pereda	A	—	—	Bajo
Reicastro	A, D	Revegetación	Alta	Alto

*D = Deslizamientos; A = Arrastres; S = Surgencias

sión superficial. Se llevaron a cabo medidas de revegetación, drenajes y se ejecutaron canales perimetrales.

f) *Reicastro*: localizada en las proximidades de Figaredo, es de tipo terraplén sobre el aluvial del río Caudal. Los estériles acumulados proceden mayoritariamente de lavadero. Presenta distintos problemas de estabilidad de pequeña importancia: deslizamientos puntuales, erosión superficial y acarreamiento, socavación de pie, combustión espontánea, etc.

g) *Mina El Terronal*: situada al lado del pozo del mismo nombre, donde se extrajeron minerales de mercurio. Presenta, además de problemas de contaminación química, deslizamientos locales, erosión superficial y socavación de pie.

h) *Central Térmica de La Pereda*: escombrera donde hoy se asienta esta central, en el pasado sufrió problemas de agrietamientos, erosión superficial, socavación por las inundaciones del río, etc.

Problemática derivada del cierre de las explotaciones mineras

Una de los problemas que probablemente se suscitara en un futuro próximo, derivado del cierre de las explotaciones de carbón, será el llenado de

agua de las labores mineras por debajo de la cota de la boca de los pozos, al abandonarse las labores de bombeo, implicando también la colmatación de las circulaciones fisurales en los tramos superiores, con la reactivación de las antiguas surgencias a media ladera. Esto puede provocar la parcial inundación de los depósitos superficiales (eluviales y coluviales) y escombreras, modificando sensiblemente las condiciones de estabilidad en las zonas de pendiente y causar diversas inestabilidades en el terreno. Las modificaciones de carácter hidrogeológico también afectarán por encima de los niveles de las explotaciones, puesto que se recuperarán los equilibrios hídricos subterráneos originales.

Conclusiones

En las laderas del valle del Caudal en la zona de Mieres (Asturias) se sitúan abundantes depósitos tipo eluviones y coluviones, así como de origen antrópico, los cuales presentan claros síntomas de inestabilidad, tales como reptaciones, deslizamientos superficiales, etc.

Las cimentaciones que se pretendan llevar a cabo en las zonas de ladera de este valle requerirían, por tanto, la adopción de medidas constructivas espe-

ciales (tanto en lo referente a las excavaciones como a las propias cimentaciones), de forma particular cuando se realicen sobre depósitos eluviales, coluviales o antrópicos.

Las escombreras, originadas por la intensa actividad minera del pasado, se distribuyen a lo largo de las laderas y del fondo del valle del río Caudal en lugares no adecuados, en la mayor parte de los casos, tales como laderas de fuerte pendiente, sobre cauces de arroyos, etc. Asimismo, en su mayoría, se han creado sin ningún tipo de planificación previa que contemplara el sistema de vertido, el tratamiento de los materiales, etc. Gran parte de las mismas presentan serios fenómenos de inestabilidad que en unos casos consisten en erosiones superficiales, deslizamientos de mayor o menor entidad, embolsamientos de agua, etc.; mientras que en

otros pueden llegar a representar la inestabilización de la escombrera en su conjunto, con el consiguiente riesgo para los bienes materiales adyacentes y para la población de las zonas cercanas.

Finalmente, hay que destacar que el cierre progresivo de los pozos mineros representará una causa de notable alteración de las condiciones hidrogeológicas actuales de la zona, pudiendo ser la causa de futuros problemas de inestabilidades en laderas y escombreras.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración desinteresada de la Oficina Técnica de la Universidad de Oviedo, la Confederación Hidrográfica del Norte de España, el Ministerio de Fomento y Hulleras del Norte S. A. (HUNOSA). Igualmente, los autores quisieran expresar su agradecimiento por el apoyo tanto técnico como humano del Área de Geodinámica del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo y, en especial, de Javier A. Pulgar.

Bibliografía

- Aller J. y Gallastegui, J. (1994): Analysis of kilometric-scale superposed folding in the Central Coal Basin (Cantabrian Zone, NW Spain). *Journal Structural Geology*, 17(7):961-969.
- García-Loygorry, A., Ortuño, G., Caride, E. Gervilla, M., Greber, Ch. y Feys, R. (1971): El Carbonífero de la Cuenca Central Asturiana. *Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo*, 3:101-150.
- González-Moradas, M. R. (1991): *Caracterización geotécnica de estériles de carbón asturianos y su aprovechamiento en Ingeniería civil*. Tesis doctoral, Universidad de Oviedo, 1-428.
- Julivert, M., Fontboté, J. M., Ribeiro, A. y Conde, L. (1972): Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares. *Instituto Geológico y Minero de España*, Madrid, 1-113.
- Julivert, M. y Marcos, A. (1973): Superposed folding under flexural conditions in the Cantabrian Zone (Hercynian Cordillera, Northwest Spain). *American Journal of Science*, 273:353-375.
- Pello, J. (1976): Mapa Geológico de España: Hoja Proaza 1:50.000. *Instituto Geológico y Minero de España*, Madrid, 1-53.
- Salvador, C. I. (1993): La sedimentación durante el Westfaliense en una cuenca de antepaís (Cuenca Carbonífera Central de Asturias, N de España). *Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo*, 19:195-254.
- Torres, M. y Martínez, J. A. (1985): Características geotécnicas generales de los depósitos del cuaternario en los valles de los Ríos Negro, Pajares y Huerna. *Boletín de Ciencias de la Naturaleza del Instituto de Estudios Asturianos (I.D.E.A.)*, 36:189-202.