

Cartografía de los riesgos geotécnicos aplicada a los movimientos de ladera que afectan a la carretera N-323 (Granada)

POR L. M. SOPEÑA
DR. INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTAS

Y J. L. SALINAS
LICENCIADO EN GEOLOGÍA



Foto 1. Hundimiento del firme por deslamiento del sustrato.

La denominada habitualmente cartografía general de los peligros (riesgos) geológico-geotécnicos, y en concreto los mapas geotécnicos de deslizamientos o movimientos de ladera, debe ser contemplada desde la perspectiva de la reducción del riesgo de estos desastres, en lo que reside precisamente su objetivo primordial. En consecuencia, los criterios para su elaboración deben establecerse teniendo en cuenta las diversas estrategias de mitigación (cuadro 1).

Entre los numerosos problemas que se plantean en este

campo específico de la cartografía geotécnica aplicada a los peligros y riesgos inherentes a las inestabilidades potenciales de una ladera, uno muy importante es la gran complejidad de los fenómenos, la diversidad de sus tipos y el número de factores que influyen (es habitual distinguir entre 10 y 15 tipos fundamentales, con numerosos subtipos; y, entre los factores, se citan del orden de la veintena de grupos).

Otro de los problemas que también se presentan en este campo es la gran heterogeneidad de los criterios que se ma-

nejan para su elaboración, que comprenden desde su escala a los fundamentos básicos, como son: objetivos, alcance, tipo de evaluación, carácter cualitativo o cuantitativo, etc.

Tampoco estas técnicas cartográficas están exentas de la falta de claridad y uniformidad que suele existir en el manejo de los conceptos fundamentales, tales como peligro y riesgo; así como de sus factores esenciales: peligrosidad, vulnerabilidad y exposición.

Los mapas de los temas aquí contemplados deberían suministrar los datos esenciales para po-



Cuadro 1. Relación entre los factores de riesgo y las estrategias de mitigación. (Fuente: Ayala, 1992)

der actuar sobre los tres tipos de factores de riesgo; y, en consecuencia, servir para identificarlos en las correspondientes estrategias de reducción o mitigación de los riesgos.

Esta clase de mapas requiere incorporar al menos cuatro criterios fundamentales relacionados entre sí, como son: uso, escala, contenido y método de elaboración. En el cuadro 2 (A), se recoge una clasificación de los mapas de este tipo, según esos criterios; y, en el cuadro 2 (B), otra sobre los mapas geotécnicos, poniendo de manifiesto la gran variedad que resulta posible en el campo de la cartografía geotécnica y su aplicación a los peligros y riesgos naturales.

En cualquier caso, en el tratamiento de la información contenida en estos mapas hay que tener muy presente la diferencia entre peligrosidad y riesgo, así como entre lo cualitativo y lo cuantitativo, lo interpretativo y lo descriptivo, etc. En un sentido estricto, el riesgo, sea social o económico, debería entenderse como un concepto potencial, en términos de probabilidad y, además, de carácter cuantitativo.

En ese contexto general de los mapas de peligros y riesgos asociados a los movimientos de ladera, se inscribe la cartografía objeto de este artículo, que se clasificaría, desde un punto de vista general, como un mapa geotécnico específico (para carretera), de síntesis, a la escala de proyecto y diseño.

El método seguido parte de un mapa geomorfológico básico, al que se añade una estimación de la susceptibilidad, mediante la incorporación y evaluación de factores litológicos, topográficos y tectónicos. La cartografía de síntesis obtenida finalmente permite una evaluación del territorio, en este caso la traza, desde la perspectiva de la carretera como bien expuesto.

A partir de ahí, aunque ya no es objeto de este artículo, en cada zona diferenciada se ha podido estimar el grado de vulnerabilidad asociado a un determinado tipo de obra geotécnica concreta (viaducto, desmonte, túnel, etc.), y deducir el tipo de medida correctora más oportuna (dentro del binomio coste/efectividad), incluyendo el recurrir a una alternativa del trazado para un plazo medio-largo.

2. Ámbito de aplicación

El espacio donde se desarrollan los trabajos que han dado origen a este artículo se sitúa en el sur de la provincia de Granada, en la zona meridional de España (fig. 1). Esta región está configurada por unos materiales metamórficos intensamente tectonizados, de baja calidad geotécnica. El desnivel que han de salvar las vías de comunicación para acceder a la franja marítima, consecuencia de la pronunciada orografía del territorio, determina que las carreteras discurren por

unos valles muy encajonados, con unas laderas sometidas a una intensa dinámica. Esta actividad geomorfológica está favorecida por las características litoestructurales desfavorables de los materiales geológicos.

Estas circunstancias han hecho que, en el pasado, las comunicaciones en la región fueran difíciles, afectadas con cierta frecuencia por diversas patologías geotécnicas en algunos de sus tramos. En años recientes, se procedió a una mejora del trazado en la vía de comunicación principal, la N-323, lo que requirió unas importantes obras de infraestructura y la apertura de grandes desmontes.

No siempre se pudieron tener en cuenta, no obstante, las perturbaciones que unas obras tan significativas iban a producir en la dinámica natural del entorno en que se introducían, ni las condiciones de la estabilidad, ya en ocasiones precaria, del propio medio.

Como consecuencia de un período dilatado de lluvias caídas a finales de 1996 y comienzos de 1997, se produjo una intensa afección de movimientos de inestabilidad a un tramo de unos

A) CLASIFICACIÓN MULTICRITERIO DE LOS MAPAS GEOTÉCNICOS DE MOVIMIENTOS DE LADERA

CRITERIO	TIPOS
USO	General/Específico Normativo • Ordenación territorial • Ordenación urbana Edificación Infraestructura Para diseño
ESCALA	Muy pequeña < 1/1 000 000 Pequeña 1/100 000 - 1/1 000 000 Media 1/10 000 - 1/100 000 Grande 1/1 000 - 1/10 000 Muy grande 1/100 - 1/1 000
CONTENIDO	Descriptivo/Interpretativo Peligrosidad • Inventario • Geomorfológicos • Susceptibilidad - Cualitativo - Cuantitativo Vulnerabilidad • Cualitativo/Cuantitativo Riesgo • Cualitativo/Cuantitativo
MÉTODO DE ELABORACIÓN	Zonificación Directa (Método sintético) Zonificación Indirecta (Método analítico)

B) MAPAS GEOTÉCNICOS

Por su objetivo	Específico	Para un determinado aspecto de la ingeniería (carreteras, urbanismo, industria, etc.)	
	Generales	Para todos los aspectos del desarrollo de una zona	
Por su contenido	De documentación	Situación de los reconocimientos Muestreo	
	Analíticos	De un determinado factor geotécnico	Geomorfología Hidrogeología Form. superf. Materiales
	De síntesis	De condiciones geotécnicas De zonificación geotécnica De aptitud	
Por su escala	Grande $E > 1:10\,000$		
	Mediana $1:10\,000 > E > 1:100\,000$		
	Pequeña $E < 1:100\,000$		

Cuadro 2. Criterios de clasificación de mapas. (Fuente: Rodríguez Ortiz, 1980).

8 km de la carretera, en un sector de gran complejidad del trazado, entre las poblaciones de Izbor y Vélez de Benaudalla, que discurre a media ladera y que salva un desnivel de 250 m.

Estas inestabilidades no siempre se produjeron simultáneamente al período de lluvias, sino que continuarían desarrollándose (a veces, incluso, iniciándose) en los meses poste-

riores (fotos 1, que abre el artículo, y 2).

Los trabajos de corrección de las inestabilidades del terreno y de restitución de la calzada acometidos son de gran envergadura y cuantía económica, requiriendo el retaluzado de desmontes, la reposición de los muros (con implantación de pantallas de micropilotes y pilotes) y el recalce de los viaductos.

Para llevarlos a cabo ha sido preciso realizar un estudio profundo de las características litoestructurales del terreno y de su dinámica geomorfológica, reflejadas en mapas y perfiles.

3. Metodología y trabajos realizados

Tres líneas de investigación convergentes llevaron a la definición de las características geológicas del terreno con implicaciones geotécnicas, que quedaron reflejadas en diversos mapas y perfiles:

a) Documentación, análisis de la información existente y fotointerpretación (para la que se dispuso de pares estereográficos a escala 1/6 000 obtenidos en un vuelo de febrero de 1997, tras los primeros daños en la carretera, así como de tomas aéreas posteriores) (foto 3).

b) Trabajo geológico de campo, con levantamiento de estaciones geomecánicas.

c) Examen de los testigos obtenidos con 59 sondeos mecánicos (hasta de 65 m), y de los datos que iban siendo aportados por unos inclinómetros instalados en ellos.

Los mapas y perfiles iniciales se fueron completando y mejorando a medida que se iba disponiendo de más datos (en este sentido, la evolución de algunos inclinómetros resultó ser de gran interés).

Simultáneamente a la elaboración de mapas y perfiles locales, necesarios para ir planteando soluciones en puntos concretos, se completaron una cartografía geológica a escala 1/5 000 (con unos cortes geológicos a la misma escala) y otra geomorfológica a 1/2 000, que, a su vez, sirvieron de base a nue-

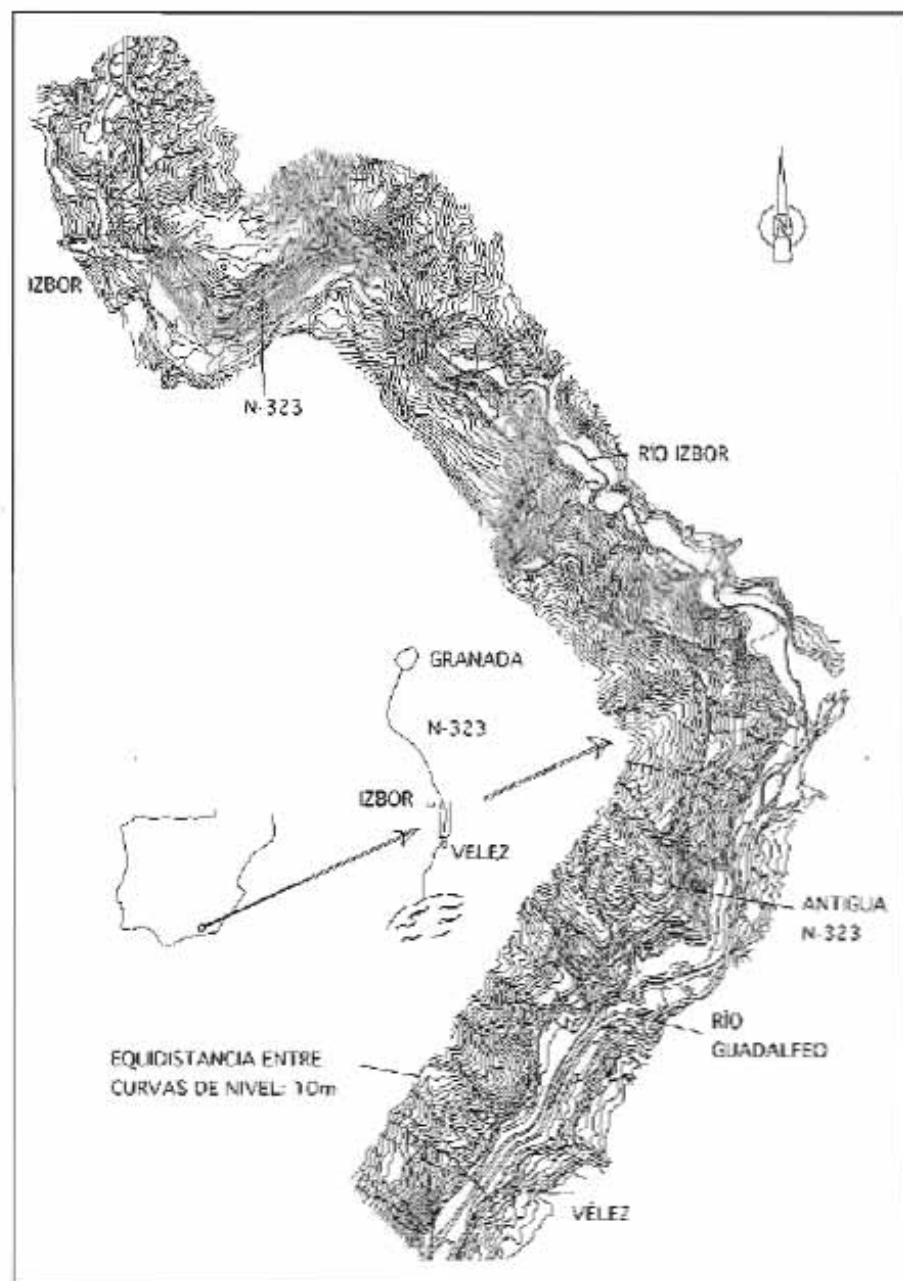


Figura 1. Situación y trazado de la carretera N-323 en el tramo Izbor - Vélez de Benaudalla.

vos perfiles locales o para encajar mejor los ya elaborados.

Por último, y aunque se continuaron realizando trabajos de detalle, la información elaborada se volcó en un mapa de síntesis geológica 1/10 000, que, a su vez, constituyó la base del mapa de riesgos geotécnicos que aquí se presenta.

4. Marco litoestructural

El tramo de la N-323 objeto de este estudio está geológicamente integrado en la Cordillera

Bética, dentro del llamado Complejo Alpujárride. Este complejo geológico se caracteriza por una tectónica de mantos de corrimiento, que determina el apilamiento de unos materiales cuya secuencia se repite para cada uno de los mantos (tres en la zona de trabajo, aunque no hay unanimidad al respecto, denominados de Alcázar de la Herradura, el inferior, y de los Guájaros).

Las formaciones carbonatadas que coronan los mantos pertenecen al Triásico Medio y Superior; las formaciones predomi-

nantemente filíticas infrayacentes son de edad Permo-Triásica; y a las formaciones inferiores esquistocuarcíticas se les atribuyen una edad Paleozoica. Se trata de un esquema general, puesto que, en la realidad, las secuencias litológicas se repiten, o faltan localmente, dificultando su interpretación. En todo caso, las formaciones carbonatadas (calizas, dolomías) aparecen a techo de las metapelíticas (sedimentos pelíticos metamorfizados), caracterizadas por una marcada esquistosidad.

Con carácter mucho más restringido afloran algunos materiales neógenos (limos, margas, conglomerados) y aparecen formaciones cuaternarias. Estas últimas corresponden a unos recubrimientos asociados a los cursos de agua, dinámica de vertientes o suelos residuales. De especial incidencia geotécnica son los derrumbes de ladera, que localmente alcanzan un gran desarrollo.

Entre los procesos geodinámicos que afectan a las formaciones geológicas destaca, como se ha señalado, una tectónica de mantos de corrimiento, vinculada a la Orogenia Alpina.

En una fase anterior al emplazamiento de los mantos se origina una esquistosidad de flujo, asociada a unos pliegues isoclinales muy apretados, posteriormente enmascarada por otras deformaciones. La esquistosidad más manifiesta, correspondiente a la segunda fase de deformación, tiene una dirección NO-SE y buzamientos de 20°-30° al SO.

La tectónica de corrimiento produce grandes cizallas relacionadas con los mantos, con planos de despegue muy tendidos, en general, a techo de las formaciones carbonatadas. Todavía, tras el establecimiento de los mantos, se producen nuevas deformaciones que abomban las superficies de corrimiento. Por último, sobrevienen unas etapas de distensión que producen fallas, así como sistemas de diaclasado. Todo ello conlleva una gran complejidad litoestructural de la región, que se refleja en los cortes geológicos.

Los procesos de regularización de las laderas introducen unos falsos llanos que favorecen el encharcamiento del terreno

5. Dinámica de las laderas

Los procesos geomorfológicos más significativos que afectan a la zona de estudio están vinculados a la dinámica de los vertientes. La importante elevación tectónica experimentada por la región en la Orogenia Alpina ha propiciado un fuerte encajamiento posterior de la red principal de drenaje del macizo, con la consecuencia de un relieve montañoso que favorece la movilización de las laderas de los valles, que se encuentran muchas veces en un equilibrio estricto.

Esta manifiesta inestabilidad gravitacional se refleja en unos movimientos de gran extensión, magnificados por el elevado grado de tectonización de los materiales, de mayor incidencia en las formaciones esquistosas. A veces, los afloramientos de los materiales carbonatados, más competentes, delimitan las superficies de rotura.

El rápido encajamiento de la red fluvial desencadena una significativa descompresión de las laderas, con alteración de los tramos más superficiales de terreno, que favorece unos desplazamientos roto-traslacionales de los mismos. Los materiales filíticos más tectonizados en superficie y los suelos desarrollados sobre ellos, o sobre otras formaciones, llegan a movilizarse mediante flujos; de barro si son de naturaleza cohesiva (esporádicos), o de derrubios si tienen carácter granular. En las formaciones carbonatadas se producen desprendimientos o deslizamientos de cuñas propiciados por los sistemas de litoclasas.

Esta dinámica de las vertientes origina en ocasiones unas impor-

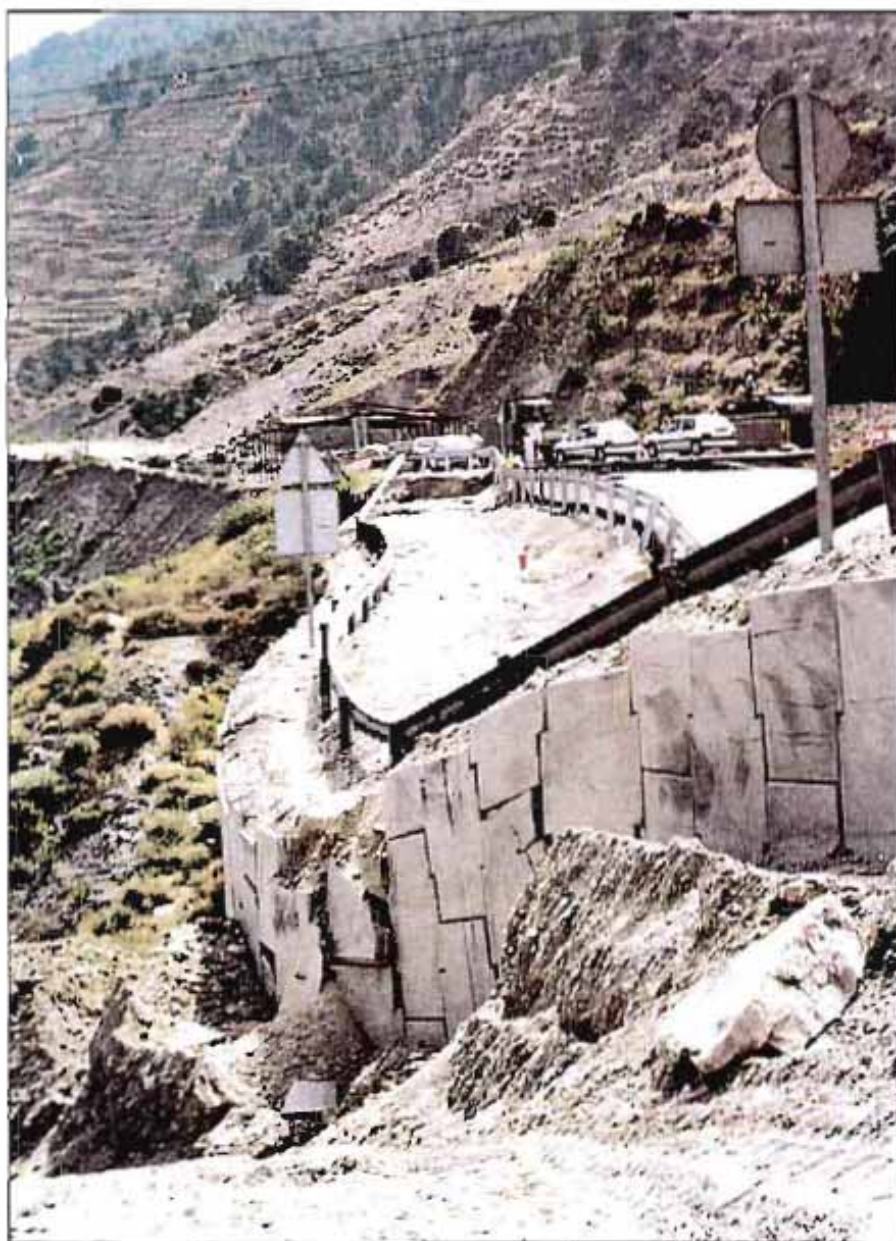


Foto 2.- Desplazamiento de un muro en el mismo tramo.

tales formaciones coluviales (derrubios de ladera), muy inestables.

Los procesos de regularización de las laderas introducen unos falsos llanos que favorecen el encharcamiento del terreno, saturando los materiales movilizados y propiciando su remoción. Pero, en general, lo abrupto de la pendiente garantiza una evacuación rápida de las aguas de escorrentía (excepto en los materiales carbonatados, que pueden originar acuíferos kársticos). La aridez del clima impide el desarrollo de una cubierta vegetal que amortigüe los efectos de arroyada de las aguas. En la zona sólo existen algunas fuentes y puntos de agua, en general, estacionales.

6. Factores condicionantes de los procesos de inestabilidad

Las causas primordiales del desarrollo de los fenómenos de inestabilidad gravitacional en las laderas podrían ser resumidas como sigue:

- La baja calidad geotécnica de los materiales rocosos que afloran en el trazado, debido principalmente a su carácter mayoritariamente esquistoso (excepto las calcodolomías y los niveles más cuarcíticos) y al elevado grado de fracturación que presentan.

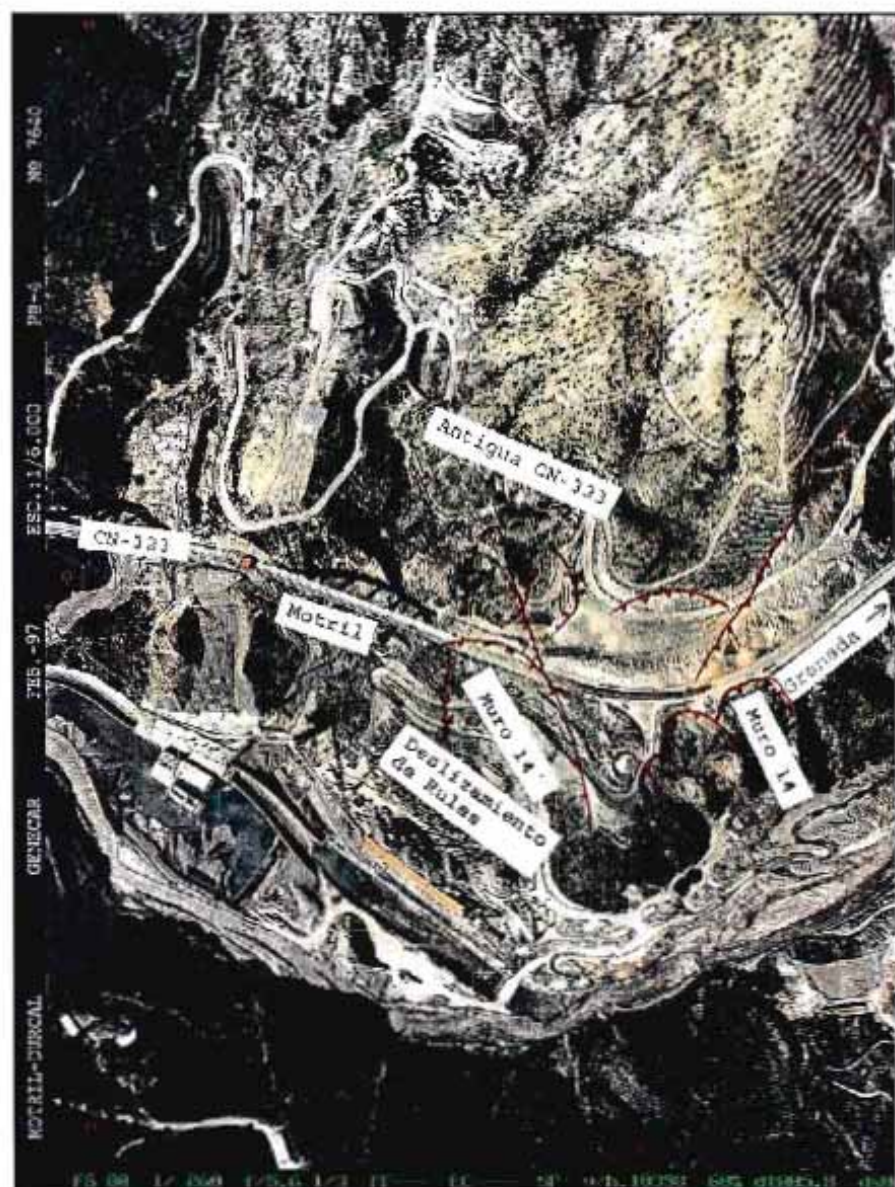


Foto 3.- Fotografía aérea en la que se reflejan los deslizamientos que afectan al tramo de la carretera en que se han tomado las fotos 1 y 2.

como consecuencia de las sucesivas etapas de deformación tectónica. Los macizos rocosos están en general compartimentados en bloques de roca de pequeño tamaño (de 10 a 30 juntas por m²), delimitados por superficies de discontinuidades abiertas y de gran recorrido en muchos casos.

Las características de los materiales se mantienen en profundidad, no observándose una mejora significativa de la calidad de la roca (en los sondeos mecánicos realizados, el RQD en profundidad no supera el 10% en la mayoría de los casos). La baja calidad de los macizos rocosos en profundidad trae como consecuencia que los deslizamientos sean no in-

frecuentemente profundos y afecten a un gran volumen de terreno.

- El alto grado de dislocación tectónica de la zona, destacando grandes fallas con direcciones principales NE-SO y SE-NO y buzamientos de entre 20° y 40°, y que pueden llevar asociadas franjas de brechificación, de espesor métrico en muchos casos. Estas familias de fracturas están directamente relacionadas con los niveles de despegue de la cabecera de muchos de los deslizamientos. Los movimientos pueden estar delimitados lateralmente por un conjunto de litoclasas de direcciones E-O y N-S y buzamiento subvertical, que están definidas en el paisaje por el encajamiento de

grandes valles en su trazado cartográfico.

- Las condiciones geomorfológicas, que resultan decisivas para el desencadenamiento de las inestabilidades. En el tramo de estudio, la carretera tiene un trazado a media ladera, con pendientes que superan con frecuencia los 25°. Como ya se señaló, se han originado valles y barrancos con una dinámica de vertientes muy activa, consecuencia de unas condiciones de equilibrio muy cambiantes (debido, en gran medida, a la rapidez de la erosión vertical). Los perfiles de equilibrio para cada nueva situación se alcanzan mediante movimientos en masa del terreno, lo que implica cambios bruscos de la topografía de las laderas.

El agua tiene un efecto activador de esta dinámica, tanto por acción de arroyada (debida a lluvias intensas concentradas en un corto periodo de tiempo), como por una posible saturación de las formaciones geológicas, en su matriz o a favor de discontinuidades (caso de precipitaciones continuadas).

El régimen meteorológico de la región se caracteriza por una pluviometría anual media de unos 550 l/m² para periodos húmedos, y unos 250 l/m² para periodos secos. Las precipitaciones suelen ser intensas y de corta duración. Sin embargo, entre octubre de 1996 y enero de 1997, la precipitación media en el entorno de la zona fue de 628 l/m², con continuidad de hasta 7 días.

Estas precipitaciones, excepcionales en cantidad y duración, sobrevenidas recientemente han acelerado una dinámica de laderas ya de por sí muy activa.

- El factor tensional juega también un importante papel en los movimientos gravitacionales del terreno. La relajación de las tensiones internas, por descompresión de unos materiales fuertemente deformados, da lugar a la abertura de las discontinuidades en los macizos rocosos. La excavación de desmontes en estos materiales acelera el proceso de descompresión en la roca, favoreciendo su relajación.

- La sismicidad, dado que el tramo de carretera se sitúa en un

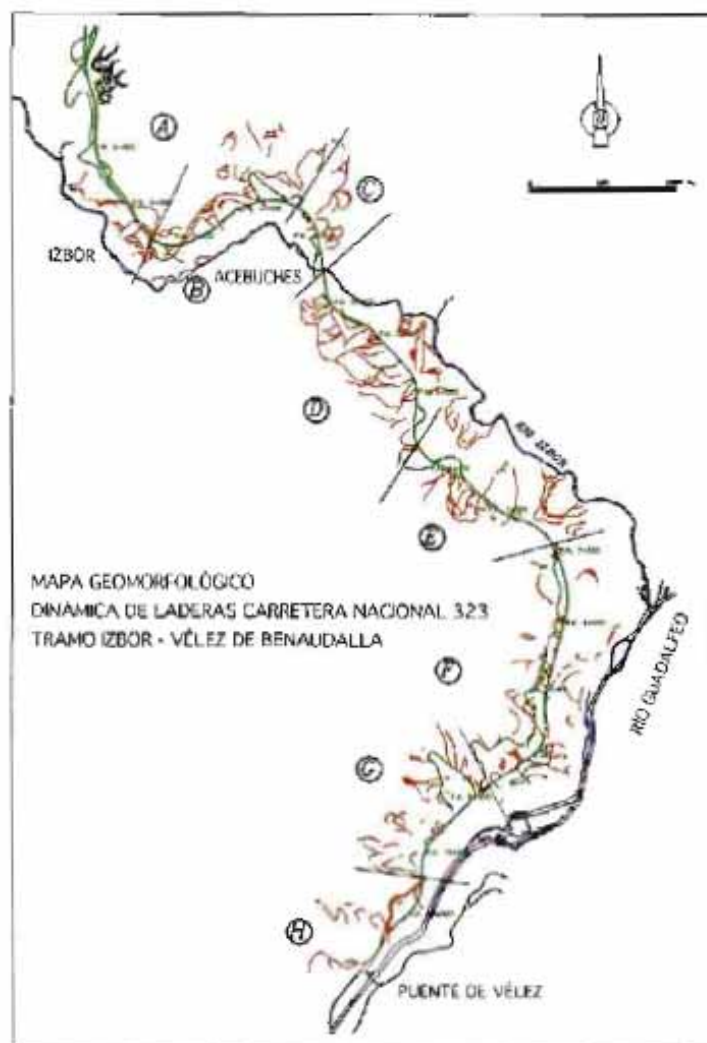


Figura 2. Movimiento del terreno y zonificación geomorfológica.

área de alta actividad sísmica. Según la Norma Sismorresistente NCSE-94, son predecibles unas aceleraciones horizontales de 0.2 g para periodos de retorno de 500 años. Los sismos coinciden con la generación y reactivación de fallas responsables de la actividad neotectónica. La sismicidad coadyuvaría a la inestabilización de las laderas.

• La acción antrópica, causante de la modificación del perfil de los taludes, fundamentalmente como consecuencia de las obras de construcción y acondicionamiento de la N-323. Los desmontes han originado nuevas inestabilidades, y no infrecuentemente han determinado la reactivación de otras ya existentes.

Hay que señalar que las superficies de los deslizamientos antiguos quedan a veces por debajo del firme de la carretera o de elementos

repoblación forestal, aunque limitados en la zona, son unos factores antrópicos que también interfieren la evolución natural del territorio.

7. Zonificación geomorfológica del tramo

Considerando la conveniencia de zonificar el tramo según sus características geomorfológicas, para poder concretar los problemas principales que afectaban de forma diferenciada a cada una de las zonas, se dividió el trazado en ocho sectores (fig. 2). Esta zonificación condujo a una cartografía geomorfológica, con especial énfasis en los movimientos de laderas, a escala 1/2 000 y equidistancia entre curvas de nivel de 2 m.

de ésta (muros, terraplenes, etc.), lo que explica los devastadores efectos que sobre la propia carretera ha causado su reactivación. En ocasiones, incluso se han favorecido los movimientos como consecuencia de las modificaciones introducidas en la dinámica natural de la ladera (interrupción o perturbación del drenaje natural, sobrecargas en recubrimientos de estabilidad precaria).

Los abanalamientos para cultivos (almendros y olivos) y la

Las características geomorfológicas primordiales que distinguen a cada una de las zonas diferenciadas se resumen del modo siguiente:

ZONA A: Importantes deslizamientos, insertos en uno más general, que afectan a la N-323 frente al camino de acceso a Izbor. Estos movimientos se desarrollan en formaciones metapelíticas alteradas, derrubios de ladera y vertidos antrópicos.

ZONA B: Extensos movimientos de ladera, parte de los cuales han sido reactivados, e incluso propiciados por la carretera, frente al pueblo de Los Acebuches. Los deslizamientos, generalmente de tipo roto-traslacional (afectando a franjas alteradas o descomprimidas del macizo, en las zonas más tectonizadas, y los suelos coluvionales en el sector oriental), descalzan a veces unas formaciones carbonatadas que afloran en la zona de coronación de la ladera, produciendo desprendimientos.

ZONA C: Deslizamientos poco profundos en las formaciones metapelíticas, a veces muy alteradas, depósitos de ladera y vertidos antrópicos. Posibles deslizamientos en las calcedolomías existentes en la zona.

ZONA D: Este tramo cubre la zona denominada de El Miriñaque. Existe un importante recubrimiento de la ladera, constituido por unas brechas coluvionales muy inestables, alimentadas fundamentalmente por los materiales calcedolomíticos que afloran en la parte superior de la ladera (y que aportan grandes bloques de roca). La dinámica evolutiva de esta vertiente es muy activa y compleja, con grandes deslizamientos que se imbrican y producen el desplazamiento general de los materiales (foto 4, figura 3).

ZONA E: Extensos deslizamientos en metapelitas, en muchas ocasiones meteorizadas en su franja superficial (con desarrollo de suelos rojizos). Se generan a ambos lados de la carretera, desde la zona de las cumbres hasta el río, que en este tramo produce unas socavaciones que propician la desestabilización de la base de la vertiente. Los desmontes de la carretera han provocado deslizamientos asociados a ellos, pero que muchas veces se enmarcan en otros de carácter más

general. Algunas superficies de deslizamiento se superponen a unos escarpes erosivos.

ZONA F: Este tramo está afectado por una evolución geomorfológica muy rápida, propiciada por los materiales metapelíticos, muy tectonizados y alterados en algunos sectores, así como por las obras de construcción y acondicionamiento de la carretera. El terreno ha sido profusamente abancalado para cultivos, aprovechando el relativamente extenso desarrollo superficial en algunas zonas de suelos, modificando el drenaje natural del terreno.

ZONA G: Los deslizamientos cartografiados se desarrollan en las metapelitas, fundamentalmente en las zonas medias de la ladera, por encima de la carretera, pero que llegan a afec-



Foto 4.- Brecha de ladera de El Mirñaque, retaluzada y movida (zona geomorfológica D).

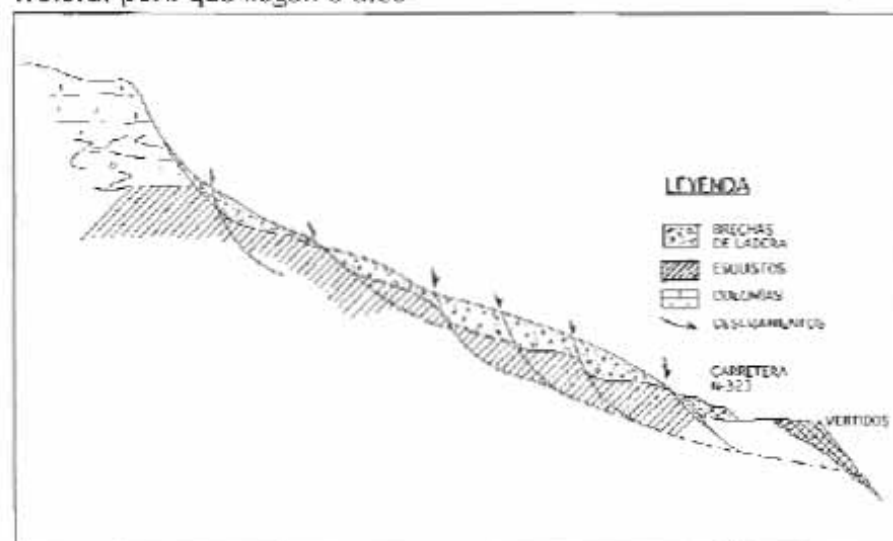


Figura 3.- Corte representativo del deslizamiento de El Mirñaque.

tarla. Una parte de estos deslizamientos están favorecidos por los escarpes erosivos.

ZONA H: El primer tramo de esta zona, en las metapelitas, se caracteriza por unos significativos abancalamientos para cultivos, que favorecen la inestabilidad del terreno; en el tramo final los deslizamientos, debido al cambio de la naturaleza del sustrato, configuran unas morfologías más abruptas que en las zonas anteriores, coadyuvando a esta circunstancia la existencia de unos escarpes erosivos.

8. Mapas de síntesis geológica

En el mapa de síntesis de los factores geológicos (figura 4) se incorporan, de forma resumida, los de esta naturaleza implicados en la inestabilidad de las laderas. Esta inestabilidad representa el principal problema de índole geológico que afecta a la carretera (aunque, evidentemente, esos factores son también de interés para otros problemas geotécnicos: capacidad portante del terreno, drenaje,

etc.). Los factores considerados son los siguientes:

- **Factores litológicos:** Los materiales geológicos afectados por la carretera se clasifican en tres grupos, valorándose su capacidad resistente presumible o "competencia". A las formaciones carbonatadas (caliza, dolomías) se les atribuye una alta resistencia; los esquistos cuarcíticos, una resistencia media; los esquistos micáceos, filitas y formaciones neógenas y cuaternarias se consideran de baja resistencia.

- **Factores topográficos:** Se han considerado tres magnitudes de pendiente, a efectos de la sectorización del relieve: $> 25^\circ$; $25^\circ - 15^\circ$; $< 15^\circ$.

- **Factores geomorfológicos:** Afectan a las zonas en las que se han producido movimientos gravitacionales del terreno. Se delimitan contorneando los de mayor magnitud, que pueden incluir a otros de menor rango.

- **Factores tectónicos:** Incluyen las discontinuidades mecánicas que dislocan y compartimentan el macizo rocoso, introduciendo superficies o franjas de debilidad. Se han cartografiado las de entidad significativa a la escala de trabajo. La esquistosidad de las formaciones metamórficas es otro factor de interés geotécnico, que propician, aun-

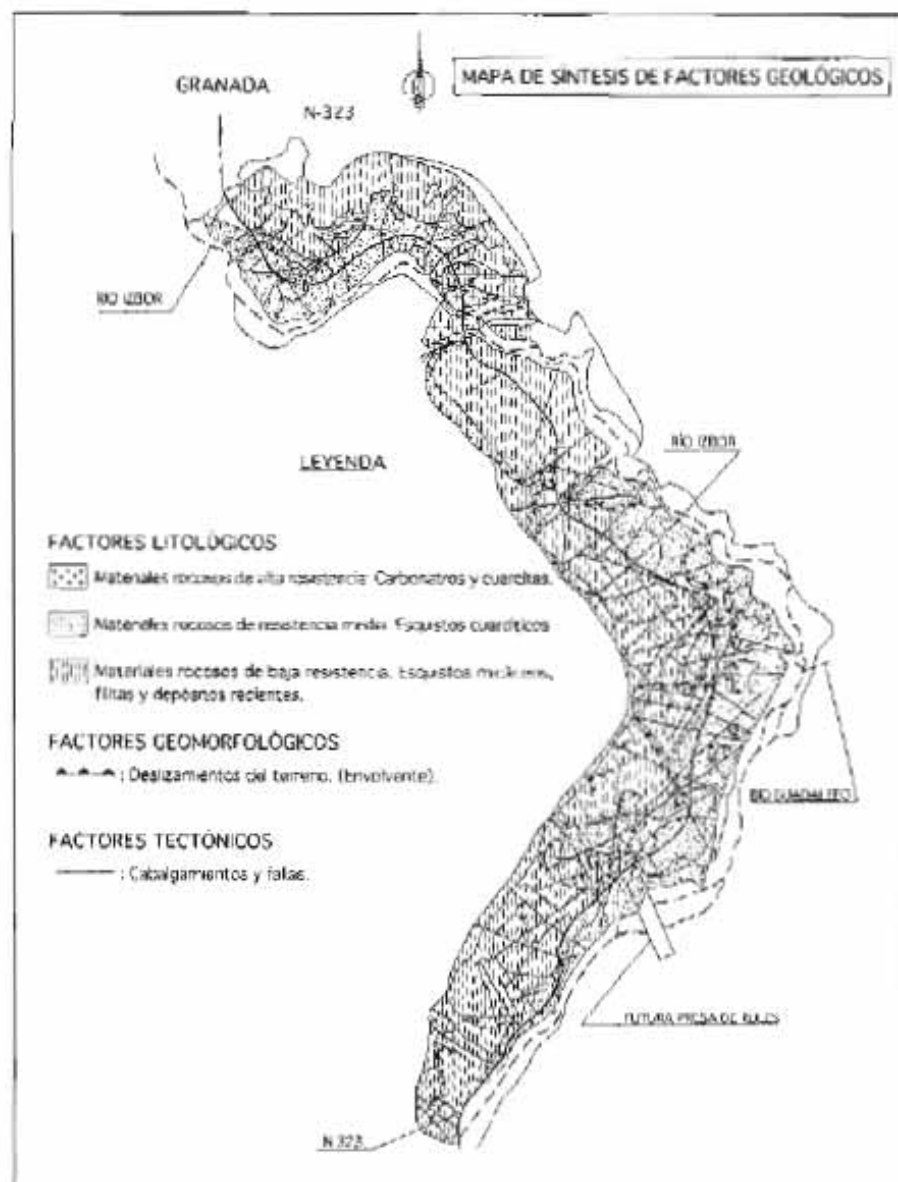


Figura 4. Carretera N-323, tramo Izbor-Vélez de Benaudalla.

que no gobiernen, los grandes deslizamientos.

9. Mapa de riesgos geotécnicos

El mapa de riesgos geotécnicos (figura 5) refleja, de forma gráfica, la incidencia que tiene sobre el trazado la conjunción de los cuatro factores geológicos considerados como condicionantes de la inestabilidad gravitacional del terreno (litológicos, topográficos, geomorfológicos, tectónicos).

Se trata de un mapa con el que se pretende visualizar como nivel de riesgo la importancia de los problemas geotécnicos que, en relación con la estabilidad de las la-

deras, afectan (o es previsible que afecten) a la carretera. La escala original del mapa es 1/10 000, y tiene un detalle superior al de síntesis que aquí se presenta.

Se han considerado cuatro niveles de riesgo, de muy alto a bajo, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Con riesgo de inestabilidad muy alto se consideran las áreas afectadas por los movimientos del terreno.

- Con riesgo de inestabilidad alto se conceptúan las zonas no movilizadas, pero en las que confluyen los otros factores de riesgo (materiales geológicos de competencia baja-media, pendiente superior al 25% - 15%, franjas muy tectonizadas). Se entiende que la

conjunción de estos factores incrementa las posibilidades de una inestabilización del terreno.

- Con riesgo de inestabilidad alto-medio se delimitan las zonas no movilizadas, en las que confluyen dos factores de riesgo, en grado máximo o medio.

- Con riesgo de inestabilidad medio-bajo se cartografían las áreas no movilizadas en que inciden un factor de riesgo o ninguno. En el tramo, estas zonas se limitan, prácticamente, a los fondos de valle.

10. Conclusiones

La experiencia derivada de los trabajos geológicos-geotécnicos acometidos en un largo tramo de la carretera N-323, en la provincia de Granada, permite llegar a la conclusión de que, para la construcción y conservación de vías de comunicación a media ladera en terrenos geotécnicamente problemáticos, resulta necesario disponer de una información precisa de las características estructurales y litogeotécnicas de los materiales afectados por el trazado, así como de su dinámica geomorfológica.

La dinámica de las vertientes resulta del máximo interés no sólo para establecer la estabilidad de las laderas sobre las que discurre la vía de comunicación, sino también para dilucidar el alcance de las posibles perturbaciones que, sobre aquella, ejerce la propia carretera con sus obras de relleno y de desmonte.

Por ello, la elaboración de una cartografía de los riesgos geotécnicos, basada en datos geológico-geomorfológicos a una escala suficiente como para que pueda ser utilizada, al menos, en la fase de proyecto, puede minimizar los problemas posteriores, contribuyendo de forma primordial a encontrar soluciones a unas patologías concretas.

El método de trabajo comprendería las etapas siguientes:

- a) Análisis de las patologías geotécnicas, en relación con obras lineales de la zona.

- b) Cartografías litoestructural y geomorfológica, a escalas comprendidas entre 1/10 000 y 1/1 000, de acuerdo con la



Figura 5. Carretera N-323, tramo Izbor-Vélez de Benaudalla.

complejidad del terreno y el detalle requerido.

c) Reconocimiento, mediante sondeos mecánicos y auscultación, de los tramos de especial relevancia geotécnica (zonas con recubrimientos inestables, áreas movilizadas, apoyos de muros y viaductos, desmontes significativos, túneles).

d) Elaboración de una cartografía de los riesgos geotécnicos de una franja de terreno que permita optimizar el trazado y decidir actuaciones, en las fases de proyecto, construcción o conservación, teniendo en cuenta el riesgo asumible en cada ocasión.

En todo caso, los trabajos de reconocimiento geológico-geomorfológico y la auscultación geotécnica del terreno muestran

ser el procedimiento más adecuado para lograr unas soluciones lógicas y perdurables donde se constatan movimientos de inestabilidad gravitacional que comprometen la viabilidad actual o futura de una carretera, elaborando una cartografía de peligros (riesgos), que, a su vez, permite adoptar las correspondientes estrategias de mitigación.

11. Agradecimientos

Los autores desean dejar constancia de su agradecimiento a la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, y, en particular, a D. José Luis Elvira, por su impulso en los trabajos y la autorización para llevar a cabo esta publicación.

12. Bibliografía

ANON (1982). *Land surface evaluation for engineering purposes*. Report of the Working Party of the Geological Society. Quarterly Journal of Engineering Geology 15 (4).

AYALA, F.J. (1990). *Mapas de Riesgos Geológicos Integrados para Ordenación del Territorio*. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Madrid.

AYALA, F. J. (1992). *Conceptos y problemas en mapas geotécnicos de movimientos de ladera*. III Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. La Coruña.

BARISONE, G. et al. (1988). *Slope instability evaluation in schistose rocks of Aosta Valley*. Landslides, Bonnard, C. Edit. Balkema, Rotterdam.

DESIO, A. (1985). *Geologia applicata all'ingegneria*. Hoepli, U. Edit. Milán.

FOOKES, P.G. and VAUGHAN P.R. (1986). *A handbook of applied geomorphology*. Surrey University Press.

HARTLEN, J. y VIBERG, L. (1988). *General Report: Evaluation of landslides*. Bonnard, C. Edit. Balkema, Rotterdam.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (1973). *Mapa Geotécnico General*, E: 200.000, nº 83.

JIMÉNEZ SALAS et al. (1980). *Cartografía Geotécnica*. Geotecnia y Cimientos III. Ed. Rueda, Madrid.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, (1974). *Estudio Previo de Terrenos. Autovía del Mediterráneo, tramo Granada-Vélez de Benaudalla*.

RODRIGUEZ ORTIZ, J.M. (1980). *Cartografía Geotécnica*. Geotecnia y Cimientos. Jiménez Salas, J.A., Edit. Ed. Rueda, Madrid.

STEVENSON, P.C. (1977). *An Empirical Method for the Evaluation for Relative Landslip Risk*. Bol. IAEG 16.

UNESCO (1976). *Engineering geological maps. A guide to their preparation*. The Unesco Press, Paris. ■