

# El efecto antrópico como desencadenante de procesos de inestabilidad en laderas naturalmente estables. El caso de Sierra Cabrera (Almería)

*The responsibility of human action for the instability processes in naturally stable slopes. The case of Sierra Cabrera (Almería)*

J. Sirvent y A. Luzón

Dpto. de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. Pza. San Francisco s/n. 50009 Zaragoza.

## ABSTRACT

*This work focuses on an incipient landslide affecting the north-face of Sierra Cabrera (Almería). The survey undertaken in situ together with the computer analyses of the discontinuities observed lead us to the conclusion that the instability process is due to human action, and allow us to establish the adequate measures to stabilize the area.*

**Key words:** landslide, human action, Sierra Cabrera.

Geogaceta, 24 (1998), 295-298

ISSN: 0213683X

## Introducción

Sierra Cabrera es un paraje cercano a la localidad de Turre (Almería), donde son muy comunes las edificaciones utilizadas como segunda vivienda. Estas se construyen sin adaptarse a un ordenamiento urbanístico apropiado, de forma que a la hora de efectuar una nueva edificación, no se tiene en cuenta la afección que sobre el terreno puede llegar a producir el conjunto de todas ellas. El desmantelamiento del terreno para construir cada nuevo edificio, unido a la apertura de carreteras y caminos, traen como resultado la ruptura de la pendiente natural de la ladera a muy diversas alturas.

En la ladera septentrional de Sierra Cabrera (Fig. 1) se ha desarrollado un deslizamiento incipiente, cuyos efectos se están empezando a sentir, a modo de grietas, en alguna de las edificaciones existentes. Las características naturales del terreno, así como las condiciones climáticas de la zona, parecen garantizar "a priori" la estabilidad de la ladera. El trabajo llevado a cabo se centra en la determinación de las causas inductoras del fenómeno de deslizamiento con objeto de establecer las medidas oportunas de estabilización del movimiento.

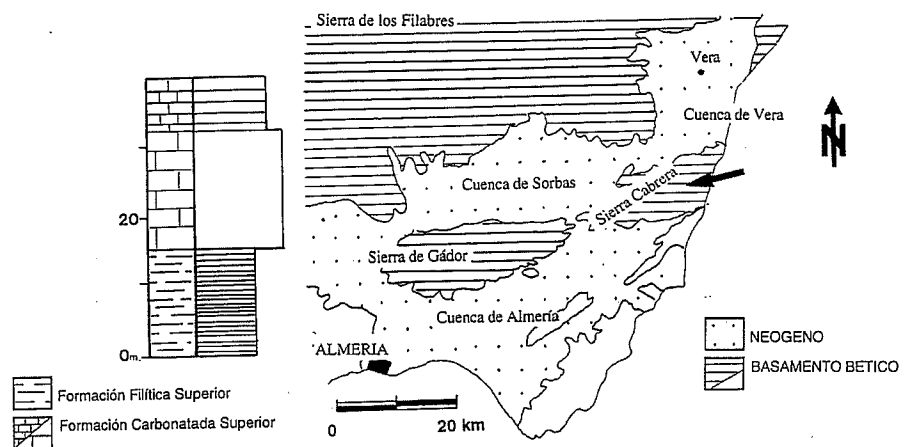


Fig. 1.- Situación geológica del área de estudio. El perfil estratigráfico se corresponde con el sector de ladera afectado.

Fig. 1.- Geological situation of the studied area. The stratigraphic column corresponds with the affected hillside area.

## Situación geológica

Desde el punto de vista geológico la zona objeto de estudio se localiza en las zonas internas de la Cordillera Bética, y más concretamente en la parte central del Complejo Alpujarride. Desde el punto de vista litoestratigráfico los materiales aflorantes forman parte de la Formación Filítica Superior (Fernández Luanco *et al.* 1975), atribuible al Permo-Trías, y de la Forma-

ción Carbonatada Superior (Fernández Luanco *et al.* 1975), de edad triásica. La Formación Filítica Superior está constituida por filitas con intercalaciones de cuarcitas, siendo mayor la cantidad de cuarcita hacia la parte alta de la serie. La Formación Carbonatada Superior, constituye la parte superior de Sierra Cabrera. Está integrada por calizas negras a marrón-grisáceo brechificadas con intercalaciones ocasionales de yeso hacia la base, y masivas con

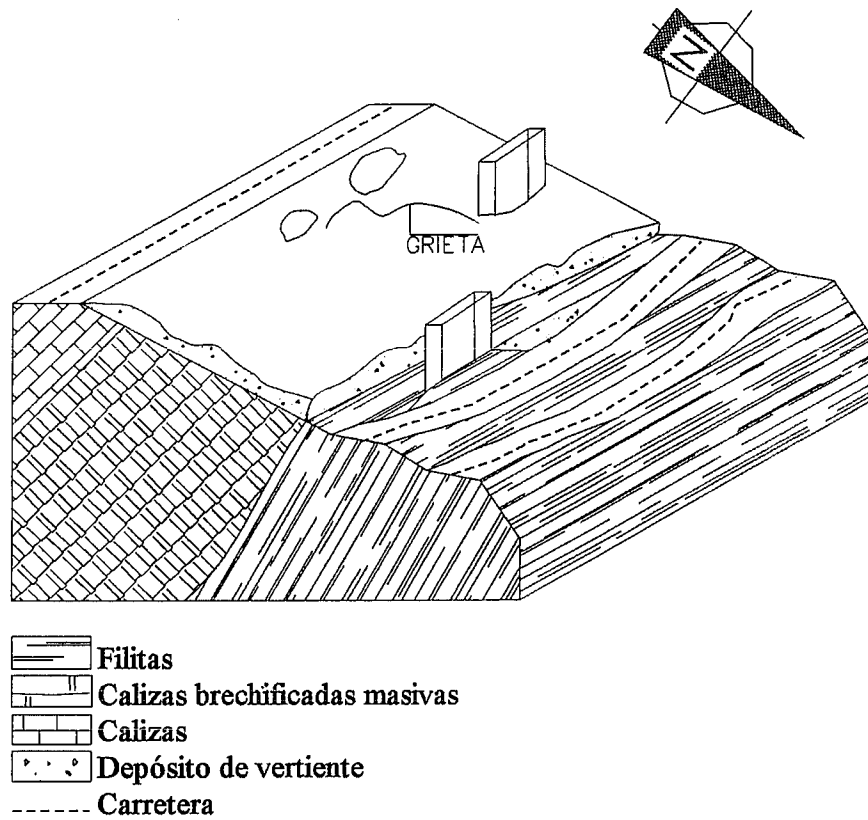


Fig. 2.- Representación esquemática de la ladera. Se han representado las edificaciones afectadas y la grieta desarrollada en la parte superior de la ladera.

Fig. 2.- Schematic representation of the hillside. In the drawing are located the affected buildings and the crack developed in the upper part of the hillside.

intercalaciones de filitas azules a techo. El paso entre ambas formaciones viene dado por un tramo en el que alternan filitas y calizas (Fernández Luanco *et al.* 1975).

**Estudio de los materiales y caracterización del movimiento**

Es bien conocido que la litología de los materiales, y más concretamente sus características (estructura, hidrogeología, historia evolutiva...), condicionan fuertemente la estabilidad de una ladera, controlando la posibilidad de que se produzcan deslizamientos (Corominas, 1989; Andreu *et al.* 1991). Por este motivo, se llevó a cabo un reconocimiento sobre la zona afectada y se reunieron los valores de los parámetros geotécnicos que se consideraron de interés para caracterizar tanto los materiales presentes, como el movimiento de inestabilidad.

Se ha levantado una columna estratigráfica (Fig. 1) en los materiales que afloran en el sector afectado por el deslizamiento. De base a techo se reconoce una suce-

sión, de unos 14 m de potencia constituida por filitas grises azuladas, u ocasionalmente verdes, a la que se superponen, mediante contacto mecánico, 25 m de calizas brechificadas marrón grisáceo, y calizas masivas de color gris oscuro a negro.

Las filitas, que forman parte de la Formación Filítica Superior, presentan frecuentes manchas de óxidos de hierro, están intensamente esquistosadas y algunos de los planos de esquistosidad se encuentran rellenos por vetas de cuarzo de espesor milimétrico y continuidad centimétrica. Las calizas superiores, que se encuentran intensamente recristalizadas, forman parte de la Formación Carbonatada Superior; hacia la parte inferior del tramo su aspecto es masivo, si bien conforme ascendemos en la serie, ésta se encuentra organizada en estratos tabulares de potencia decimétrica a métrica. Las calizas grises presentan abundantes vetas de calcita blanca.

Estos materiales se encuentran recubiertos, en el tramo de ladera afectado, por un depósito de regularización de vertiente (Fig. 2). Se encuentra constituido por arci-

	Filitas	Calizas	Dep. vertiente
Superficie (m <sup>2</sup> )	615	745	1.360
ρ seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.1	2.7	2
ρ húm. (g/cm <sup>3</sup> )	2.5	2.7	2.1
φ (grados)	26	42	-
c (t/m <sup>2</sup> )	0.9	3	-

Tabla. 1.- Parámetros geotécnicos considerados y superficie ocupada por los materiales afectados.

Table. 1.- Geotechnical parameters and area occupied by the studied materials.

llas rojas y margas amarillas que incluyen cantos calcáreos muy angulosos, cuyo diámetro máximo varía de centimétrico a decimétrico; la proporción de cantos frente a la matriz es del 35%. El espesor del depósito varía entre 0,4 y 0,9 m, pudiendo alcanzar de forma excepcional los 3 m de potencia. La ladera presenta una pendiente general de 28°.

En la tabla 1 se reflejan los valores de parámetros geotécnicos referentes a los materiales presentes, que se han considerado de mayor interés para este estudio; asimismo queda recogida la superficie total ocupada por cada uno de ellos. Los datos relacionados en la tabla 1 son fruto de ensayos sobre muestras de *roca sana*, pero el comportamiento de los materiales en condiciones naturales puede responder a otros valores (Jiménez Salas, 1981; Cortés y Maestro, 1996). Resulta imprescindible, por tanto, realizar un estudio de las discontinuidades existentes, bien por la posibilidad de que lleguen a individualizar bloques susceptibles de deslizar, bien por los efectos que puedan tener sobre la transmisividad y capacidad de almacenamiento de aguas.

Los planos de estratificación y esquistosidad medidos pueden simplificarse en los siguientes valores promedio de dirección y buzamiento:

1. Planos de estratificación de las filitas: 055/30SE
2. Planos de esquistosidad en las filitas: 055/30SE
3. Planos de estratificación de las calizas: 085/45S

Dado que la orientación de la ladera es hacia el norte y su pendiente de 28°, no existe, a priori, ningún conjunto de planos cuya intersección con la vertiente genere la individualización de un bloque susceptible de deslizar. Además, existen dos familias de planos de esquistosidad en las filitas (170/74E y 075/80N) que tienen una importancia claramente secundaria en cuanto a que su continuidad es centimétrica, provocando tan sólo la individualización de microlitos de esas dimensiones. Sin embargo, éstas discontinuidades menores

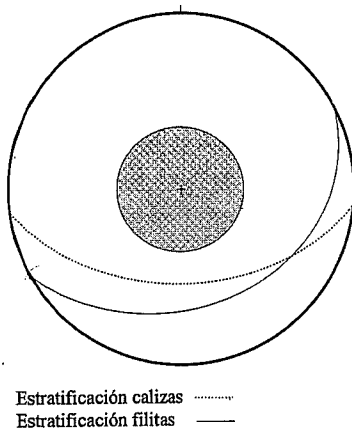


Fig. 3.- Representación estereográfica de las discontinuidades principales. La zona sombreada se corresponde con el grado de inclinación de la ladera.

Fig. 3.- Stereographic representation of the main discontinuities. The grey zone corresponds with the hillside slope.

pueden ejercer un importante papel en cuanto a la capacidad de almacenamiento hidráulico de la masa rocosa. Los planos representativos de las discontinuidades existentes se han representado en proyección estereográfica (Fig. 3).

En cuanto a los efectos derivados de la inestabilidad de la zona, se detectaron agrietamientos en varias edificaciones que se encuentran asentadas sobre las filitas, en estos materiales, en cambio, no se observó ningún indicador de posibles movimientos de ladera. Sin embargo, del reconocimiento de campo se deduce la existencia de una discontinuidad que es la que realmente adquiere una importancia trascendental. Se trata de un agrietamiento del terreno que parte de la base de los cimientos de una construcción adyacente, situada en los materiales carbonatados superiores, a escasos metros al oeste de las edificaciones afectadas. Esta grieta presenta una apertura del orden de 40 cm y un desarrollo de 60 metros. Se ha ido propagando desde su zona de arranque hacia zonas más altas de la ladera, constituyendo la cicatriz del deslizamiento potencial (Fig. 2). Es de esperar que la discontinuidad continúe propagándose hasta completar un arco alrededor de los edificios inferiores, momento en el que el volumen de terreno quedaría individualizado y sería susceptible de deslizarse si se superara la resistencia al corte de los materiales.

Esta grieta actúa, además, como sumidero de agua, de manera que las aguas de lluvia y de escorrentía penetran en el

sustrato a través de ella, siendo mayor la cantidad de agua que penetra durante estos periodos que la que puede ser evacuada por las discontinuidades existentes. Tal y como indica Lloret (1989) estas condiciones de drenaje poco efectivo hacen que el agua contenida en los materiales juegue un importante papel a corto plazo, de manera que el agua infiltrada permanece durante un tiempo en el interior y puede dar lugar a diferentes procesos, tales como aumento de las presiones intersticiales y reducción de la cohesión de la roca, incremento del peso de material susceptible de deslizarse, modificación de las propiedades físico-químicas de la roca..., aspectos que aumentan, en general, las posibilidades de deslizamiento de la ladera.

Además de la edificación posterior de otras viviendas a pocos metros de las afectadas, se han abierto dos carreteras en la ladera, al pie de aquéllas. Es interesante remarcar también que en la parte alta de la ladera se localizan numerosos bloques calcáreos, de dimensión métrica procedentes de rechazos de las excavaciones en las zonas de cimentación de otras edificaciones.

#### Factores desencadenantes del proceso de inestabilidad

En los procesos de inestabilidad de laderas intervienen, básicamente, factores de tipo geológico, climático y antrópico, si bien la importancia relativa de ellos varía según los casos. Las observaciones llevadas a cabo apuntan a que la ladera objeto

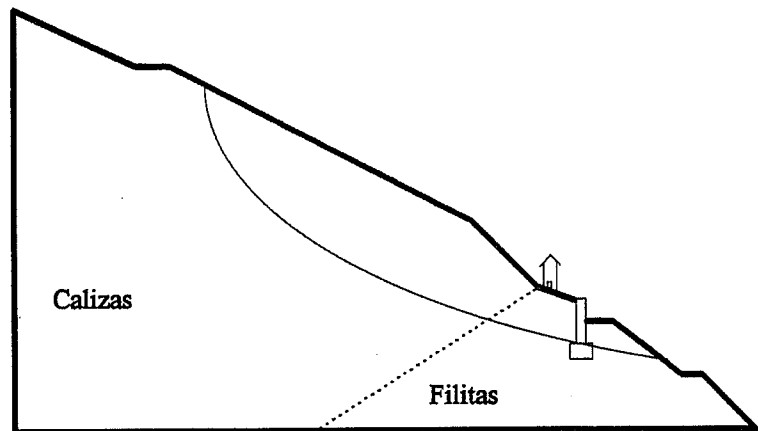


Fig. 4.- Sección de la ladera en la que se han representado la superficie de deslizamiento y la solución geotécnica propuesta.

Fig. 4.- Cross-section of the hillside. The surface of landslide and the geotechnical solution proposed are represented.

de estudio, es estable en condiciones naturales y que han sido los factores de carácter antrópico los que han desencadenado el deslizamiento incipiente de Sierra Cabrera. En la zona de estudio, se combinan claramente varios factores antrópicos que pueden influir en la desestabilización de laderas. Por un lado las excavaciones realizadas, que tal y como apunta Gens (1989), modifican la geometría natural de las laderas y son una de las causas de estabilización o desestabilización de las mismas. En nuestro caso las excavaciones han variado el estado de equilibrio del terreno provocando una disminución de las fuerzas estabilizantes asociadas al peso. Por otra parte, la colocación de sobrecargas (bloques calcáreos de dimensiones métricas) ha provocado un incremento del peso, aumentando el esfuerzo cortante del material y el conjunto de fuerzas desestabilizantes.

#### Cálculo de estabilidad

Para determinar la superficie potencial de deslizamiento y poder plantear la solución óptima para resolver el problema, se ha utilizado el programa informático PCSTABL5M (Purdue University, 1985), basado en una adaptación del método de Bishop simplificado. La eficacia de esta herramienta está plenamente reconocida (ITGE, Andreu *et al.* 1991; Cortés y Maestro, 1996). Para la aplicación del método, se seleccionaron tres secciones subparalelas a la pendiente y se introdujeron los parámetros obtenidos del levantamiento to-

pográfico de detalle y del reconocimiento geológico. La introducción de los datos particulares de cada sección dio como resultado la obtención de 50 superficies de rotura potenciales, con una típica geometría en cuchara. Las superficies de deslizamiento correspondientes a las secciones B y C (Fig. 2), presentaron factores de seguridad (FS) superiores a 5, mientras que para la sección A, existen varias superficies con  $FS < 1$ , obteniéndose un valor de 0,624 para el caso más desfavorable.

En función de los datos obtenidos se proponen como medidas técnicas preventivas, el sellado de la grieta superior de la ladera, y la colocación de elementos resistentes que mejoren la estabilidad de la ladera; concretamente de muros de contención. La solución técnica adoptada queda reflejada en la figura 4.

### Conclusiones

Se ha analizado un deslizamiento potencial en Sierra Cabrera (Almería), en una zona donde las condiciones naturales parecían garantizar la estabilidad de la ladera. Los efectos derivados del fenómeno se dejan sentir a modo de agrietamientos en varias edificaciones de la zona.

Los materiales donde se encuentran asentadas estas edificaciones están intencionalmente esquistosados, si bien la orientación de los planos de esquistosidad no individualiza volúmenes importantes susceptibles de deslizarse por sí solos.

El deslizamiento se encuentra en una fase muy incipiente habiéndose desarrollado, hasta el momento, únicamente una cicatriz de 40 cm de apertura y 60 m de extensión lateral en zonas inmediatamente superiores a las edificaciones afectadas. Esta cicatriz junto con la existencia de esquistosidad en el macizo, favorecen la infiltración y la acumulación de agua en el interior contribuyendo a su desestabilización.

El análisis realizado permite constatar que los factores causantes de la inestabilización de la ladera son de carácter antrópico, mediante la ruptura de pendiente natural de la ladera en las zonas inferiores, y la colocación de sobrecargas en las partes superiores de la misma.

El análisis estadístico pone de manifiesto la existencia de superficies con valores de FS inferiores a 1.

Como medida preventiva se propone la colocación de elementos resistentes de contención. Asimismo, y dados los procesos acaecidos, será necesaria

rio llevar a cabo una campaña de prevención ante la construcción de nuevos edificios que pudieran introducir modificaciones en las características naturales de la ladera afectada.

### Referencias

- Corominas, J. (1989): *Monograf. SEG*, 3: 81-96.
- Cortés, A. L. y Maestro, A. (1996): *VI Cong. Nac. y Conf. Internac. de Geol. Ambient. y Ordenac. del Territ.*: 467-484.
- Gens, A. (1989): *Monograf. SEG*, 3: 231-248.
- Fernández-Luanco, M.C.; García-Monzón, G., Kampschuur, W., Martínez, J.U., Perconig, E. y Verburt, V. (1975): *Mem. Expl. Mapa Geol. de España*. E. 1:50000. Sorbas: (1031), 46 pp.
- Andreu, F.J., Ayala, F.J., Cienfuegos, F.J., De Simón, A., Fe, M., Fernández, I., Ferrer, M., Gómez, J., Olalla, C. y Sampeiro, J. (1991): *Manual de Ingeniería de Taludes*. 456 pp.
- Jiménez Salas, J.A. y De Justo Alpañes, J.L. (1981): *Geotécnia y Cimientos I*. 466pp.
- Lloret, A. (1989): *Monograf. SEG*, 3: 31-80.
- Purdue University (1985): *Prog. PCSTABL5M*. 89 pp.