

Análisis de los tipos de inestabilidades del macizo rocoso de La Virgen de la Peña (Huelva, España)

Analysis of the instabilities types in the Rock Massif of Virgen de la Peña (Huelva, Spain)

F.M. Alonso Chaves, E. García-Navarro, M.A. Camacho y E.M^a. Mantero

Departamento de Geodinámica y Paleontología, Universidad de Huelva, Campus Universitario «El Carmen», 21007-Huelva (España). alonso@uhu.es

ABSTRACT

Geological map of Virgen de la Peña rock massif has established that there are three sets of geological discontinuities in the rock mass: a) stratification set strikes NW-SE and dips more 70° NE; b) faults set strikes NE-SW and has gently dips and c) joints set strike NE-SW showing steeply dips. Cubical or tabulate blocks are formed by three intersecting discontinuity sets. The analysis of stability of rock massif illustrates the mechanics of failure involve the block toppling and sliding. The index Rock Mass Rating (RMR, Bieniawski, 1989) is obtained.

Key words: rock massif, block toppling, plane failure, engineering geology, Puebla de Guzmán Anticline

Geogaceta, 44 (2008), 43-46
ISSN: 0213683X

Introducción

Las rocas que afloran en superficie se ven continuamente afectadas por los procesos geológicos y climáticos que modifican el relieve terrestre. Los principales factores causantes de modificaciones son la acción de la gravedad y de la meteorización, que producen el debilitamiento progresivo de los materiales rocosos. Estas acciones sobre laderas naturales, pueden dar lugar a una serie de inestabilidades que constituyen riesgos geológicos potenciales cuando afectan a las actividades humanas.

En este trabajo se analizan los factores geológicos que afectan a la estabilidad del macizo rocoso situado detrás de la ermita de la Virgen del Peña en el Cerro del Águila (Puebla de Guzmán, Huelva), de gran interés para las construcciones enclavadas en sus proximidades. La metodología utilizada está basada en las técnicas convencionales propias de la ingeniería geológica para el análisis de la estabilidad de taludes, y en la caracterización de la influencia que tienen las discontinuidades mecánicas en un macizo rocoso.

Situación geológica regional

El Cerro del Águila es uno de los rasgos topográficos más destacados del paisaje en la comarca onubense de El Andévalo. Con una altitud de 397 m el macizo rocoso de la ermita de la Virgen de la Peña está formado principalmente por cuarcitas pertenecientes a la unidad tectosedimentaria denominada

Grupo PQ (c f. Moreno y Sáez, 1990), en el Dominio Central (o Faja Pirítica Ibérica) de la Zona Sudportuguesa de acuerdo con Mantero *et al.*, 2007. La edad de estas rocas es atribuida a la parte alta del Devónico. Desde el punto de vista estructural, el área estudiada forma parte del flanco norte de un anticlinal de carácter regional conocido como Anticlinal de Puebla de Guzmán (Fig. 1). El citado anticlinal, con una directriz estructural ONO-ESE y un cierre periclinal muy apretado hacia el ONO, se ha relacionado con los pliegues de propagación ligados al desarrollo de cabalgamientos enraizados hacia el norte y de vergencia generalizada hacia el sur. Estos cabalgamientos, producidos en condiciones frágiles y semifrágiles, se relacionan con la segunda fase de deformación varisca en la Faja Pirítica Ibérica (Mantero *et al.*, 2007). En general, el flanco septentrional del anticlinal buza 15-20° hacia el NE. La existencia de cabalgamientos y fallas inversas que afectan localmente al flanco norte, repiten parcialmente el tramo cuarcítico del Devónico superior. El área estudiada se corresponde con el bloque de techo de una de esas fallas inversas, las cuales son responsables del fuerte buzamiento de los estratos de cuarcitas hacia el NE, siendo en general en esta zona, entre 75-80°.

Análisis estructural geométrico del macizo rocoso de la Virgen de la Peña

La mayor parte del macizo rocoso estudiado está formado por estratos

cuarcíticos. En su base afloran niveles de pizarras muy alteradas, correspondientes al desarrollo de una banda de rocas de falla, cuyo comportamiento mecánico puede asimilarse al de un suelo. Unas y otras rocas están parcialmente cubiertas por depósitos recientes de ladera, en las que abundan bloques de grandes dimensiones (métricas) envueltos en una matriz detrítica de grano medio-fino (Fig. 1).

El macizo rocoso está definido por taludes con dos orientaciones. La primera de ellas, con mayor desarrollo longitudinal, es aproximadamente N130°-140°E y tiene una fuerte inclinación hacia el Suroeste. La segunda es, aproximadamente, subperpendicular a la primera, y es de dirección N55°E siendo prácticamente vertical.

La observación «in situ» de las discontinuidades del macizo ha permitido diferenciar tres familias de discontinuidades con diferente grado de penetratividad e importancia desde el punto de vista geomecánico (Fig. 2): familia 1, la cuál está formada por planos de estratificación; familia 2, que se corresponde con planos de falla y familia 3, integrada por diaclasas.

Familia 1. Los estratos cuarcíticos tienen direcciones entre N155°E y N135°E y buzamientos mayores de 70° hacia el NE (Fig. 2). En las pizarras la dirección de la estratificación es más variable, oscilando entre N148°E y N108°E, con buzamientos que no superan nunca los 70°. La orientación media es N135°E /48°NE.

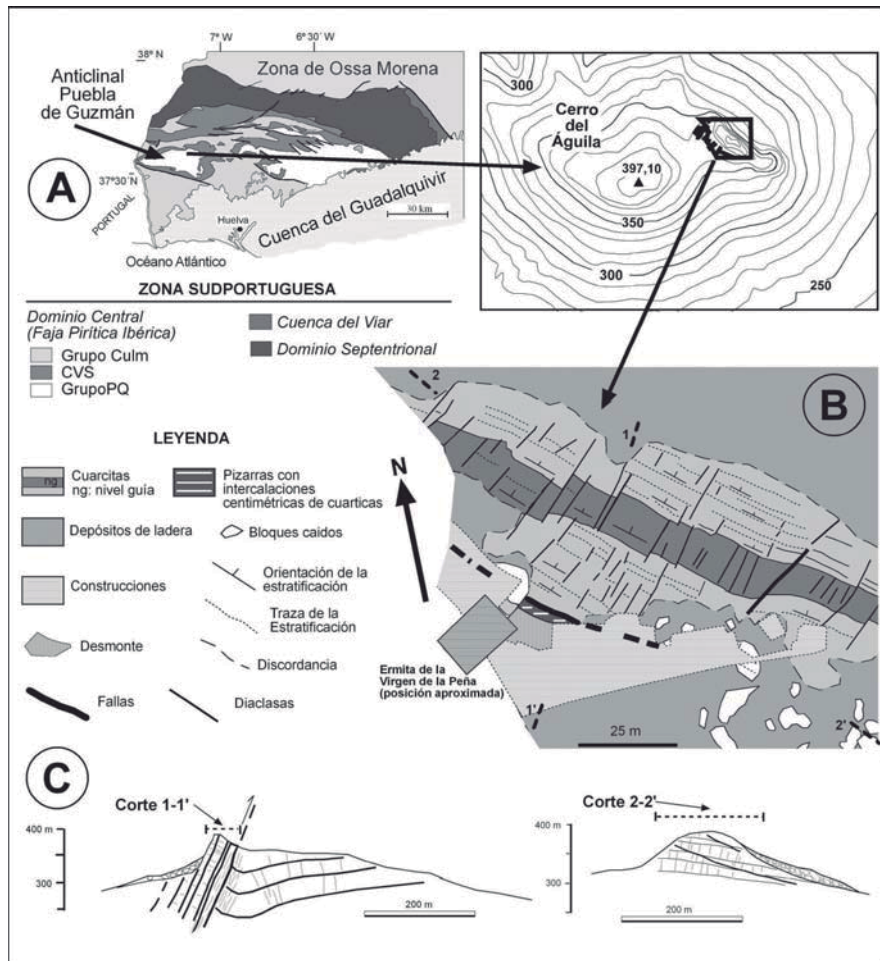


Fig. 1.- Situación geológica del área estudiada. A) Esquema tectónico del anticlinal de Puebla de Guzmán. B) Mapa Geológico detallado. C) Cortes geológicos (ver situación en B)

Fig. 1.- Geologic situation of the studied area. A) Tectonic map of Puebla de Guzmán Anticline. B) Detailed geologic map. C) Cross sections (for location see Fig. 1.B).

El espaciado de la estratificación en las cuarcitas varía entre moderado a muy grande. La continuidad es alta, la apertura es variable, siendo frecuente observar aperturas que se pueden caracterizar como anchas y extremadamente anchas. Debe hacerse notar que la apertura ligada a estos planos tiende a disminuir hacia el interior. Entre los planos de la estratificación se observan bloques de dimensiones centimétricas caídos. La rugosidad de los planos de estratificación es del tipo escalonada. Las observaciones realizadas inmediatamente posterior a un periodo de lluvia permiten constatar que todas las superficies de estratificación contienen agua.

Familia 2. Las fallas se orientan según diferentes direcciones, predominando valores comprendidos entre N40°E y N70°E, y buzamientos que no suelen superar los 40°, son en general hacia el SE (Fig. 2). En detalle, se observa que las superficies de falla son onduladas, más o

menos irregulares, lo que produce en ocasiones ligeros cambios en el buzamiento (siempre de carácter local) hacia el NO. Las fallas presentan una alta continuidad paralela al buzamiento. El espaciado varía entre moderado a grande. La apertura de estos planos es moderada (entre 0.5 y 10 mm), apreciándose superficies pulidas y escaso desarrollo de rellenos.

Familia 3: Las diaclasas tienen una dirección bastante constante comprendida entre N45°E y N75°E, con buzamientos muy altos, generalmente mayores de 60° (Fig. 2). El sentido de buzamiento predominante es hacia el Noroeste, si bien, se observan diaclasas con buzamientos al Sureste. Las diaclasas son consideradas en general rugosas y/o ligeramente rugosas, aunque se han observado algunas superficies que bien pudieran considerarse onduladas e incluso suaves. El espaciado de las diaclasas depende de las dimensiones de las mismas, de tal manera que las de menores dimensiones tie-

nen un espaciado muy pequeño (entre 20 y 60 mm), y aparecen distribuidas heterogéneamente en el macizo. Las diaclasas de mayores dimensiones tienen un espaciado grande o muy grande (entre 600 y 6000 mm). La apertura en las diaclasas de menores dimensiones es del tipo abierta o parcialmente abierta (lo que supone valores de 0.25 a 2.5 mm), y en el caso de las diaclasas de mayores dimensiones la apertura es ancha o muy ancha (del orden de 10 a 100 mm). Las superficies de las diaclasas están algo meteorizadas y se observan filtraciones de humedad.

Aproximación a la clasificación del tipo de macizo rocoso. Cálculo del índice RMR

La clasificación geomecánica del macizo rocoso de la Virgen de la Peña que se ha utilizado fue la desarrollada por Bieniawski (1989). Al índice RMR (Rock Mass Rating) básico le hemos aplicado un factor de corrección en función de la orientación favorable/desfavorable de las discontinuidades respecto de la estabilidad del talud, de acuerdo con Tomás *et al.*, 2005. El macizo rocoso situado detrás de la ermita de la Virgen de la Peña es de tipo IV (para valores comprendidos entre 40-21), es decir, es de mala calidad.

Tipos de inestabilidades: Rotura vs. deslizamiento

Los taludes naturales desarrollados en el macizo rocoso de la Virgen de la Peña están marcados por dos familias de discontinuidades, la familia 1 (estratificación) que controla el desarrollo principal del talud según la dirección N130-140°E, y la familia 3 (diaclasas) que controlan en gran medida el talud de orientación media N55°E.

La intersección de los tres planos de discontinuidades (estratificación, diaclasas y fallas) delimita bloques de morfología cúbica y/o tabular, con diferentes dimensiones que son los que se han ido desprendiendo del macizo.

El tramo NO-SE del talud se encuentra afectado por inestabilidad de tipo vuelco de bloques (Hoek y Bray, 1991), favorecida por la orientación de la estratificación (So), subparalela a la orientación del talud, y buzamientos hacia el interior del mismo (Fig. 2). Las diaclasas, subperpendiculares a la So, y algunas fallas poco buzantes, al intersectar con la estratificación delimitan los bloques susceptibles de vuelco. Para el talud con orientación NE-SO se observa que la es-

tratación no produce ningún tipo de inestabilidad (Fig. 2). Sin embargo, algunas fallas (aquellas que tienen un buzamiento algo mayor) podrían presentar

inestabilidades por rotura plana por sus bajos buzamientos. En cuanto a las diaclasas se aprecia en principio una inestabilidad por vuelco (Fig. 2), si bien di-

cha inestabilidad no está tan desarrollada como en el caso de la estratificación, ya que los planos de las diaclasas tienen menor continuidad.

En el primer caso de rotura por vuelco de bloques (talud NO-SE), los bloques formados descansan sobre segmentos de superficies de falla, a lo largo de los cuales la cohesión es mínima, dando lugar a una geometría escalonada como la de la figura 3. La estabilidad de los bloques de roca va a estar condicionada por las dimensiones e inclinación del plano de apoyo. Un estudio detallado de la estabilidad de los bloques individuales se presenta en la figura 4. La estabilidad de cada bloque está condicionada por sus dimensiones (b/h) y la inclinación de la base sobre la que se apoya, además de la fricción a lo largo de dicho plano (Hoek y Bray, 1991). En la figura 4, se han representado estos parámetros, observándose que el bloque 1 es el que presenta mayores problemas de inestabilidad. El resto de bloques son estables del 2 al 7. El bloque 2 soporta parte del peso inducido por los bloques 3 y siguientes, pero es un bloque bastante estable debido a que su altura respecto a la anchura es prácticamente similar. Los bloques 3 y 4a son los que presentarían también ciertos problemas de inestabilidad. Estos bloques no caerían hacia el talud NO-SE porque están estabilizados por el bloque 2, pero serían bastante inestables para el talud NE-SO. La inclinación de la base de los bloques es menor que el ángulo de rozamiento interno (entre 30°-40°) de los bloques de cuarcita, cumpliéndose las condiciones de estabilidad que se deducen de la figura 4, donde $\gamma < \phi$.

El bloque 1 está representado dentro de los campos de inestabilidad por «vuelco» y «deslizamiento-vuelco». La inclinación de la base sobre la que descansa es de bajo ángulo. Sin embargo, en la parte inferior del bloque se observan algunas fracturas con una inclinación variable (desde 20° a 50°) enraizadas en el propio plano de falla. Este hecho incrementa notablemente el riesgo de «vuelco» y/o «deslizamiento-vuelco», dado que además el centro de gravedad se sitúa muy cerca del extremo de la base del bloque (Fig. 3). El vector W, que representa el peso del bloque situado en el centro de gravedad está en el límite de la base «b» del bloque por lo que está en las condiciones límite de vuelco. La más mínima variación de las condiciones actuales (excavaciones en el pie del talud, filtraciones de agua, temblor sísmico...) produciría la inestabilidad del bloque

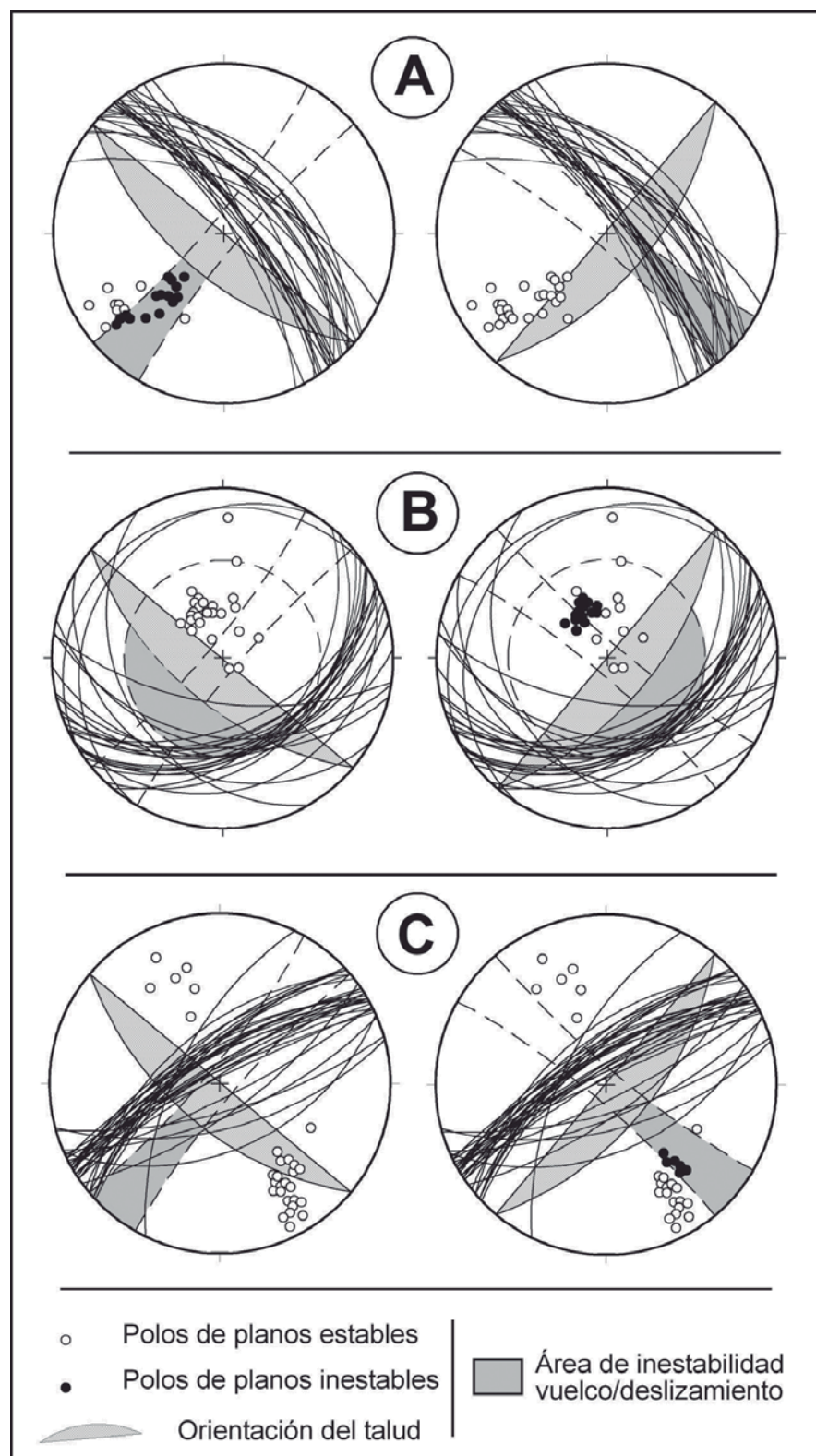


Fig. 2.- Proyecciones equiareales (hemisferio inferior) de las familias de discontinuidades presentes en el macizo rocoso. A) Análisis cinemático de la estratificación. B) Análisis cinemático de las fallas. C) Análisis cinemático de las diaclasas.

Fig. 2.- Stereoplot (lower hemisphere, equal area) of the three discontinuity sets in the rock mass. A) Cinematic analysis of stratification. B) Cinematic analysis of faults. C) Cinematic analysis of joints.

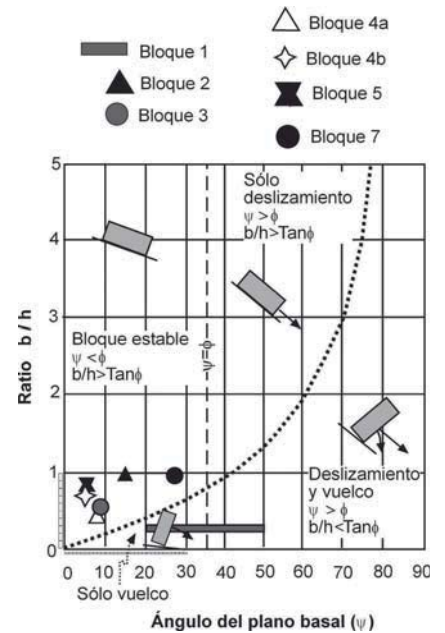
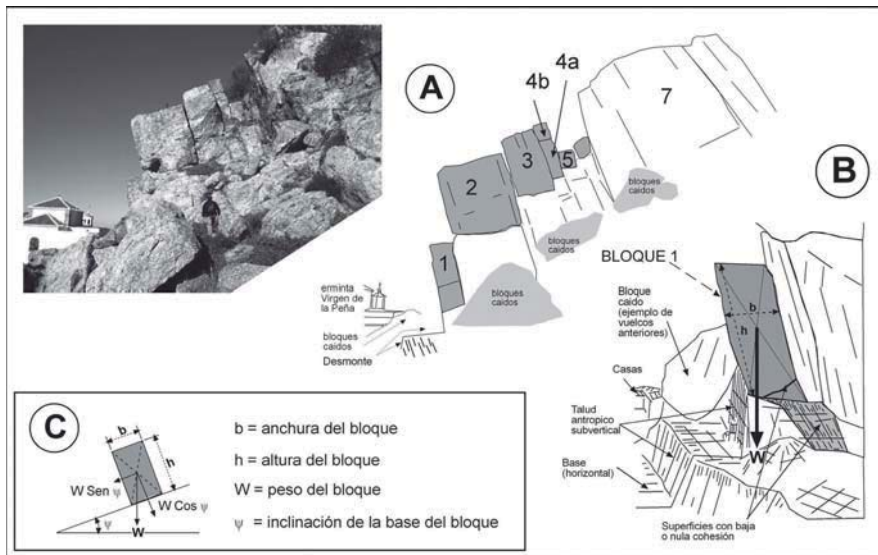


Fig. 3.- A) Esquema geológico transversal a la estratificación. En él se ilustra la individualización de bloques que quedan delimitados por la estratificación, las fallas (base de los bloques) y diaclasas. Los bloques han sido numerados de abajo arriba. B) Esquema que ilustra las condiciones de estabilidad del bloque 1; Obsérvese la fractura próxima a la base del bloque y el centro de gravedad desplazado hacia el extremo de la base del mismo. C) Esquema geométrico de las fuerzas que actúan sobre un bloque que descansa en una superficie inclinada: distribución de fuerzas normales y de cizalla.

Fig. 3.- A) Geological scheme transverse to stratification. Individual blocks defined by the stratification, faults (bottom of the blocks) and joints are illustrated. Blocks have been numbered from bottom to top. B) Scheme illustrating the stability conditions of block 1. C) Geometry of block on inclined plane: relations between the shear force and normal force.

y el vuelco del mismo. Hacia el NO en este mismo talud hay bloques caídos que evidencian situaciones de inestabilidad similares a las que atribuimos al bloque 1.

Conclusiones

La cartografía geológica realizada muestra la existencia de una zona de falla en la base del talud situado detrás de la ermita de la Virgen de la Peña. Dicha falla de dirección NO-SE es aproximadamente paralela a la orientación del talud y buza hacia el interior de éste. Tal circunstancia, junto con la orientación de los estratos – buzando también hacia el interior del talud- favorecen la inestabilidad del tipo «vuelco de bloques», en el talud NO-SE y «rotura plana» en el talud que se orienta NE-SO.

La existencia de bloques caídos, de grandes dimensiones, englobados en los depósitos de ladera adosados al talud evidencian que el proceso es activo para tiempos geológicos recientes. La acumulación de estos depósitos en la base del talud de manera natural tiende a calzar el propio talud,

lo que favorece el desarrollo de un talud cada vez más estable.

El macizo rocoso ha sido clasificado como de mala calidad (tipo IV de Bieniawski), ya que las orientaciones de las discontinuidades respecto al talud son muy desfavorables para su estabilidad.

No se han observado rotaciones de bloques significativas dentro del macizo rocoso, si bien, algunas de ellas pueden entenderse que están actualmente bloqueadas. Por el contrario, ciertos bloques, especialmente el que denominamos con el número 1 está sometido a unas condiciones de esfuerzo críticas, pudiendo sufrir vuelco y/o deslizamiento. Tal circunstancia puede verse favorecida con la infiltración de agua (procedente especialmente de precipitaciones), ciclos de hielo – deshielo, temblor sísmico y/o vibraciones de origen antrópico, entre otras causas. Si el bloque 1 se desprende puede producirse modificaciones en la organización del talud, de tal manera que a dicho desprendimiento le puedan suceder otros casi de manera inmediata.

Para el talud NE-SO existen posibilidades de vuelco y rotura plana con deslizamiento y caída de bloques a favor del talud, como lo demuestra la acumulación

de bloques existente actualmente en el pie del mismo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por del Grupo de Investigación RMN 316 (Junta de Andalucía) y el plan propio de investigación de la Universidad de Huelva.

Referencias

Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. John Wiley and Sons, 251 p.
 Hoek, E. y Bray, J. W. (1991). *Rocks slope engineering*. Elsevier, 358 p.
 Moreno, C. y Sáez, R. (1990). *Geogaceta*, 8, 62-64
 Mantero, E., García-Navarro, E., Alonso-Chaves, F.M., Martín Parra, L.M., Matas, J. y Azor, A. (2007). *Geogaceta*, 43 en prensa.
 Tomas, R., Delgado, J. y Cuenca, A. (2005). En: *Congreso Internacional Conjunto XVII Ingegraf-XV ADM*. 1-10