

Movimientos de ladera en la Costa de Almuñécar y su entorno

Landslides in the Coast of Almuñécar and its surround

José Chacón¹, Rachid El Hamdouni¹, Clemente Irigaray¹, Jorge Jiménez-Perálvarez¹; Paz Fernández¹, Tomás Fernández², Pedro Alameda¹, José Antonio Palenzuela¹ y José Moya³

¹ Departamento de Ingeniería Civil, ETS ICCP, Campus de Fuentenueva, Universidad de Granada. C/ Severo Ochoa s.n, 18071 Granada, España. jchacon@ugr.es, rachidej@ugr.es, jorgejp@ugr.es, pazferol@ugr.es, clemente@ugr.es, pedalh@ugr.es, jpalbae@ugr.es

² Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas, Edificio A3, 23071 Jaén, España. tfeman@ujaen.es

³ Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña. Campus Diagonal Nord, Edificio D2, C/ Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona, España. jose.moya@upc.edu

ABSTRACT

The Eastern coast of the Granada Province, modelled on Alpujarrides metapelitic rocks, has been very frequently affected by landslides, usually triggered by a combination of rainfall and anthropic actions. Its relief includes instable zones and old landslides of variable size and unknown age. In the seventies, great residential resorts were damaged in Punta de la Mona and Velilla (Almuñécar), and then roadworks for widening the National Road 340, induced slope failures affecting new residential areas along the road in the municipalities of Salobreña and Almuñécar. More recently, from the late nineties, a great residential complex built up on Cerro Gordo (La Herradura, Almuñécar), is heavily affected since 2005 by widespread damages; its construction involved excavations and fillings, frequently performed too quickly, and lacking of adequate drainage and stabilization treatments. Rainfall and the leaks by breakage of water supply and sanitation networks are the main triggering factor. In this paper the main geological and geotechnical features common to the different study cases are described and also some relevant aspects of a final legal sentence which concern to the urban planning and the geotechnical practices and should be taken into account in order to minimize its undesirable consequences.

Key-words: Betic Cordillera, coastal landslides, slope instability, rock massif, legal consequences.

RESUMEN

La costa oriental de la provincia de Granada, modelada sobre rocas meta-pelíticas Alpujarrides ha sido afectada frecuentemente por movimientos de ladera, activados por una combinación de lluvias y acción antrópica. Su relieve incorpora zonas inestables y deslizamientos antiguos de tamaño variable y edad indeterminada. En los años setenta, quedaron dañados grandes complejos residenciales en Punta de la Mona y Velilla (Almuñécar) y después las obras de ampliación de la carretera C.N. 340, indujeron roturas de laderas que afectaron a las nuevas urbanizaciones construidas a lo largo de la carretera en los términos de Salobreña y Almuñécar. Más recientemente, a partir de finales de los noventa, se construyó en Cerro Gordo (La Herradura, Almuñécar), un gran complejo residencial, que desde 2005, se ve afectado por daños generalizados; su construcción implicó excavaciones y rellenos, practicados frecuentemente con demasiada rapidez, y por lo tanto carecieron de tratamientos de drenaje y estabilización adecuados. Lluvias y filtraciones por roturas de las redes de suministro de agua y saneamientos constituyen el principal factor activador. Se describen los rasgos geológicos y geotécnicos característicos de los diferentes eventos y se presenta un importante aspecto de la sentencia que se deberían tener en cuenta para minimizar sus indeseables consecuencias.

Palabras clave: Cordillera Bética, movimientos de ladera costeros, estabilidad de taludes, macizo rocoso, consecuencias legales.

Geogaceta, 59 (2016), 87-90
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 30 de junio de 2015
Fecha de revisión: 20 de octubre de 2015
Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2015

Introducción

La costa de Granada forma parte del relieve emergido del borde sur de las Zonas Internas de la Cordillera Bética (Fig. 1) en el que afloran unidades inferiores del Dominio Alpujarride compuestas por esquistos y cuarcitas, y en ciertas zonas migmatitas, seguidos de mármoles de composición variable entre dolomías amigdaloides oscuras, dolomías grises masivas, dolomías grises bandeadas, calizas grises tableadas y calizas masivas con frecuentes alternancias de esquistos y viceversa. La es-

tructura del conjunto es compleja, con frecuentes unidades alóctonas de envergadura variable, plegadas y foliadas en distintas fases de deformación, a lo largo de procesos orogénicos alpinos y probablemente pre-alpinos (Avidad *et al.*, 1973). El grado de alteración superficial llega a ser muy elevado y se extiende a través de las dos a cuatro familias de discontinuidades de la matriz rocosa (originadas a partir de la esquistosidad, el diaclasado y de otras fracturas) abiertas y poco rugosas, que delimitan bloques inestables de tamaño decimétrico o superiores.

La condición inestable de los terrenos del entorno ya fue mencionada por Avidad

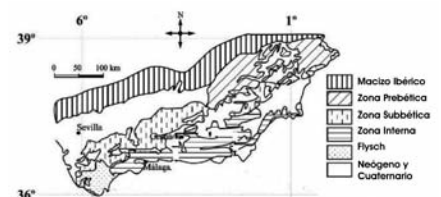


Fig. 1. Encuadre geológico regional (según Sanz de Galdeano, 1994).

Fig. 1.- Regional geological setting (after Sanz de Galdeano, 1994).

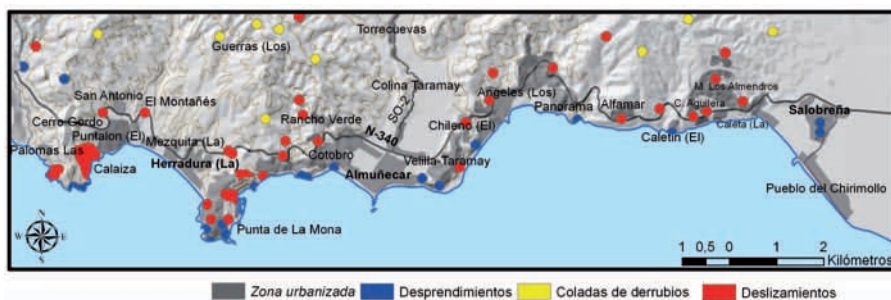


Fig. 2.- Inventario de movimientos de ladera de la franja oriental de la Costa de la provincia de Granada.
 Fig. 2.- Inventory of landslides in the Eastern margin of the Coast of de Granada Province.

et al. (1973). Otros mapas disponibles antes de las obras realizadas en la zona también señalaron los problemas de estabilidad: el "Mapa de Movimientos de Ladera de Granada" (Macau, 1963), el "Mapa Geotécnico General de España" (Hoja 5-11/83, 1973) o el "Mapa de Movimientos del terreno" del MOPU (1978).

En conjunto, han sido las obras de ampliación de la carretera nacional y las obras de las nuevas urbanizaciones (ambas realizadas a partir de los años 70) las afectadas por los daños registrados en el sector asociadas a inundaciones en periodos de lluvias extraordinarias. Incidencias similares a las observadas en la costa se registraron en carreteras, cauces fluviales y grandes obras situadas inmediatamente al Norte que no son objeto de este artículo (Fernández et al., 1997; Chacón et al., 2007; Jiménez-Perálvarez et al., 2011; Palenzuela et al., 2015).

Causas de la inestabilidad de taludes

Aunque el daño en infraestructuras y viviendas viene desde el inicio de los años 70, es a partir de finales de la década de los 80 cuando se llega al paroxismo tras la construcción de urbanizaciones en la franja costera, y la mejora de las red de carreteras. Las obras de ampliación de la C.N. 340 (1978-1980) implicaron una serie de nuevos taludes en ocasiones poco estables, en los que se movilizaron bloques rocosos, por lo general de limitada dimensión y desplazamiento, a veces prolongados en el tiempo y el espacio hacia zonas más amplias, que dañaron infraestructuras y viviendas de las urbanizaciones más cercanas a lo largo de la carretera (Fig. 2). Las excavaciones practicadas entre Salobreña y Almuñécar, afectaron a

taludes de varias urbanizaciones (Fig. 2) que, por lo general, tras un periodo más o menos dilatado, quedaron estabilizados mediante muros de contención que detuvieron, a veces sólo momentáneamente, el problema.

La inestabilidad, por lo general, depende de la disposición de los bloques del macizo rocoso y del valor del ángulo de fricción de las discontinuidades que los delimitan, respecto al talud excavado. La concentración de depósitos de alteración arcillosos en las superficies de las discontinuidades, y su limitada rugosidad, asociada a cizallas entre los bloques del macizo rocoso, así como la relajación de tensiones derivadas de la pérdida de confinamiento tras la excavación, induce la apertura de las discontinuidades, lo que permite, a su vez, el lavado de rellenos por la infiltración de la lluvia, en ocasiones torrencial; todo lo cual reduce la resistencia global del macizo rocoso. La excavación de taludes propicia la relajación de tensiones en macizos rocosos muy comprimidos. De ello se deriva la apertura de discontinuidades que reducen así su resistencia al corte.

Por otra parte, el intensivo proceso urbanizador de terrenos rústicos implicó el trazado de viales, parcelas, acometidas de saneamientos y suministro de agua, tendidos eléctricos etc., acciones de las que resultaron excavaciones y rellenos, que habilitaron el terreno a edificar. Se efectuaron, con frecuencia, rellenos poco compactados con deficiente drenaje, y a veces muy potentes, sobre taludes en macizos rocosos muy alterados y fracturados, con discontinuidades muy abiertas y poco resistentes, en bloques rocosos en posición inestable.

La fracturación del macizo rocoso, de procedencia tectónica, junto con los procesos antes descritos, en los taludes

menos estables, conduce a frecuentes procesos de extensión, caída, vuelco y deslizamiento planar de bloques en los que la matriz de roca intacta ofrece una resistencia compresiva uniaxial media a elevada, con la única excepción de filitas y esquistos muy alterados. La foliación metamórfica muy penetrativa y las dos o tres restantes familias, a distancias más espaciadas y menos persistentes, todas ellas con frecuencia no demasiado resistentes por la alteración superficial y la cizalla entre bloques que reduce la rugosidad y la resistencia al corte, determinan un control estructural del que resulta un predominio de los deslizamientos planares sobre los rotacionales (Chacón et al., 1992a, b; 2007; 2014; Fernández et al., 1994, 2005; Irigaray et al., 2001, 2003).

La figura 3 muestra un buen ejemplo de macizo rocoso relajado y abierto junto al emplazamiento actual de lo que será un gran hotel internacional, frente al Complejo de Marina del Este, sobre el Peñón del El Lobo, en que se aprecia al fondo el escarpe erosionado de un antiguo deslizamiento.

En los macizos rocosos excavados, con frecuencia es crítico el reajuste de los bloques del macizo rocoso por la apertura de discontinuidades muy inclinadas. Esto se evidencia al comparar la proyección equiareal de polos (Fig. 4) y la de valores de extensión o apertura en milímetros en las mismas discontinuidades (Fig. 5) que señalan las direcciones en las que se excavaron los taludes, es decir hacia el cuadrante sudeste del afloramiento. Ambas figuras proceden del talud excavado bajo la urbanización Monte de los Almen-



Fig. 3.- Deformación extensiva en macizo rocoso de cuarcitas aflorantes sobre el Peñón del Lobo (Almuñécar).

Fig. 3.- Extensive deformation in quartzite rock massif cropping out on the Peñón del Lobo, (Almuñécar).

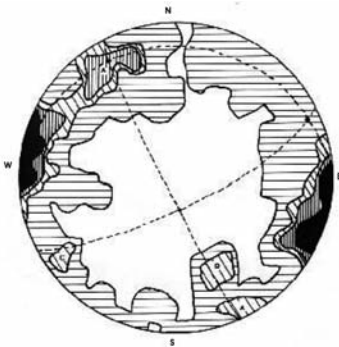


Fig. 4.- Diagrama de Schmidt (hemisferio inferior) de 350 polos de discontinuidades: 1-2; 2-4; 4-10 y 10-18% de concentración.

Fig. 4.- Schmidt diagram (lower hemisphere) of 350 discontinuity poles: with 1-2; 2-4; 4-10 y 10-18 % of concentration.

ros antes de ser cubierto a finales de los años 80 por muros de contención que lo estabilizaron.

Algunas incidencias registradas

En 1971 un deslizamiento planar afectó a *Marina del Este* en la Punta de la Mona oriental frente al Peñón de las Caballas; y en 1976, una caída súbita de rocas derribó una estructura de 11 plantas destinada a apartamentos en la costa de Velilla-Taramay, ambos en construcción (Fig. 2). Estos casos afectaron tanto a la unidad de filitas y cuarcitas superiores (Velilla, Taramay) como a los esquistos y cuarcitas inferiores y foliación inclinada hacia el exterior del talud (*Marina del Este*). Igualmente en la Punta de la Mona (Fig. 2), *Los Berengueles* y otras urbanizaciones sufrieron daños en las décadas siguientes por roturas de tracción incipientes en el terreno, tras excavaciones cercanas o infiltraciones.

El ensanche de la antigua C.N.340 (Fig. 2), a finales de los 70 afectó a una serie de urbanizaciones en los términos de Salobreña y Almuñécar, como *El Monte de los Almendros*, *El Pargo*, *Costa Aguilera*, *Alfamar* o *El Montañés*, por citar las directamente investigadas en la época, y seguidas con posterioridad. Por lo general quedaron estabilizados por obras de contención aún visibles. Por entonces la valoración del carácter resistente del macizo rocoso en el proyecto de la obra ejecutada, aún se basaba en la caracterización de la roca intacta y el valor del R.Q.D., mientras que se prestaba menor atención a la influencia de las discontinuidades del macizo rocoso y a la cinemática de los modos de rotura que determinaban. En el *Monte de los Almendros*

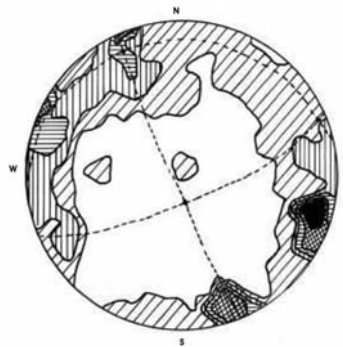


Fig. 5.- Diagrama de apertura acumulada en los mismos 350 polos de discontinuidades. Máxima extensión 40 mm inclinada 10° hacia N100.

Fig. 5.- Diagram showing accumulated opening of the plotted 350 discontinuities. Maximum opening dipping 10° towards N100.

se apreció una rotura desde la excavación, con un pequeño salto vertical menor de diez centímetros que afectó a viales, una serie de chalets e instalaciones de su infraestructura (Figs. 2 y 6).

En *El Montañés* (Almuñécar, Figs. 2, 7 y 8) los daños fueron similares al originarse grietas de tracción sobre la zona movilizada cuando las obras cortaron el pie de la inestable vertiente. Las grietas de tracción seccionaron de parte a parte la vertiente, y cruzaron su parte superior ocupada por la urbanización, afectando muros, viales y viviendas. En aquel momento no se ejecutaron obras de contención del talud, ni en años posteriores, pero el deslizamiento se detuvo en la fase incipiente (Fig. 7).

En el caso de *Alfamar* (Fig. 2) los daños en el interior de la propia urbanización obligaron a principios de los 90 a la contención del talud y a diversos refuerzos en su interior. Entre 2011 y 2014, era evidente el fallo de la solución, y se realizaron nuevas obras de estabilización.

En el caso del Complejo *Cármenes del Mar* (~1990-2002) en el flanco oriental de Cerro Gordo (Figs. 2, 9 y 10), las consecuencias han sido muy graves. El relieve es modelado por la erosión costera, la karstificación y por dos antiguos deslizamientos en la unidad de mármoles sobre esquistos oscuros y migmatitas; en el flanco occidental se aprecia el vaciado de un deslizamiento planar (Figs. 9 y 10 izq.), mientras que en el oriental se extienden las urbanizaciones sobre playa de Calaiza (Fig. 10 dcha.). Entre 2005 y 2014, los informes realizados demostraron al Tribunal las relaciones causa-efecto entre las prácticas constructivas empleadas, el em-



Fig. 6.- Rotura en 1981 del terreno y de una vivienda en Monte de los Almendros (Salobreña).

Fig. 6.- Failure in 1981 in Terrain and house in Monte de los Almendros (Salobreña).

plazamiento sobre el antiguo deslizamiento de Calaiza, y los efectos del agua de la lluvia y, más aún, de las frecuentes roturas de los saneamientos y acometidas de aguas municipales, inducidas por asientos y fluencias de los rellenos pobremente drenados y compactados, al acumular agua y ceder por fluencia plástica, a lo que se añade el efecto permanente del deslizamiento de Calaiza. Tales efectos fueron puestos de manifiesto mediante el seguimiento de grietas y fracturas de superficie en su desarrollo longitudinal y de apertura a lo largo de sucesivos contratos, perfiles de Georadar y el análisis dendrocronológico sobre coníferas de Cerro Gordo. También por lecturas inclinométricas en sondeos aportados por la parte demandada. Todo ello evidenció la diacronía del deslizamiento y el papel del agua infiltrada (Chacón, 2012).

Consecuencias legales

De las incidencias se derivaron numerosas demandas y sentencias favorables a los afectados en Tribunal Supremo (*Monte de los Almendros*, *Alfamar*, etc). En la sentencia de 1ª Instancia N° 165/2014 del

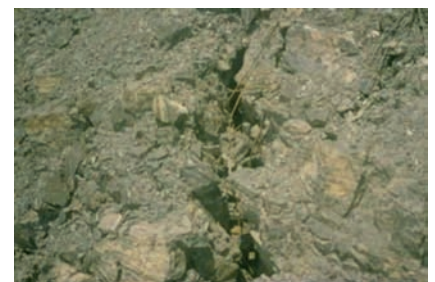


Fig. 7.- Grieta de tracción en esquistos bajo El Montañés (en 1991).

Fig. 7.- Tension crack on schist below El Montañés (in 1991).



Fig. 8.- Grietas de tracción y rotura del muro principal en El Montañés (Almuñécar) en 1991.

Fig. 8.- Tension cracks and failure of the main wall of the El Montañés (Almuñécar) in 1991.

Tribunal nº 12 de Granada, interpuesta por las Urbanizaciones *Los Altos, Balcón, Atarazanas y Pueblo de Cármes del Mar*, se incluye el siguiente párrafo sobre el arquitecto proyectista, quién debe asumir su tarea " *con apoyo de todos los estudios y no según se alega, sin tener por qué conocer sobre gráficas e informes geológicos, como si se pudieran construir "castillos en el aire", como recogió la STAP de Granada de 30/03/2012, ya que no basta con redactar un proyecto que abstractamente sea correcto y factible, sino que es preciso que el mismo se acomode a las condiciones del terreno sobre el que se ha de asentar, afirmación esta que es extensible igualmente a la labor del ingeniero superior*"

Conclusiones

La urbanización de terrenos rústicos en macizos rocosos de media y baja cali-



Fig. 9.- Movimientos de ladera en Cerro Gordo, 1986.

Fig. 9.- Landslides in Cerro Gordo, 1986.

dad predominantes en las unidades Alpujarrides aflorantes en la costa de Granada, ha carecido de una adecuada caracterización geomorfológica y geotécnica para la identificación de las zonas edificables, y la delimitación de laderas inestables y los deslizamientos antiguos presentes en la zona, a pesar de las incidencias precedentes y de los relativamente abundantes mapas e informes previos disponibles, lo que ha dado lugar a frecuentes casos de daños, que han perjudicado la imagen de la zona.

Es crucial que la administración competente incremente el control de calidad de los estudios previos de terrenos a la escala del detalle y del proyecto constructivo, en todas sus fases, una vez asegurada la condición de estabilidad de acuerdo con el CTE. También es necesario garantizar la adecuación profesional de los titulados implicados para elaborar los estudios previos, diseñar, dirigir y ejecutar el conjunto del proceso constructivo.

Agradecimientos

Se agradece la valiosa contribución de los revisores. Los trabajos se financiaron a cargo del Grupo de Investigación RNM 121 del P.A.I, y de sucesivos proyectos nacionales y autonómicos, así como por numerosos contratos realizados desde los años 80 a la actualidad, para la defensa de la mayor parte de las urbanizaciones mencionadas y a través de la oficina competente, según el periodo, de la Universidad de Granada.



Fig. 10.- Cármes del Mar al Este del Cerro Gordo sobre la playa de Calaiza. En primer plano fracturas de bloques y el deslizamiento exhausto del lado occidental.

Fig. 10.- Cármes del Mar to East of Cerro Gordo above the Calaiza beach. First plane failure of coastal blocks and the imprint of an exhausted block rock slide in the Western side.

Referencias

- Avidad, J., García Dueñas, V. y Aldaya, F. (1973). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1055 (Motril) y memoria*. IGME, Madrid, 58 p.
- Chacón, J. (2012). *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 28, 73-89.
- Chacón, J., Fernández, T. y Hernández del Pozo, J.C. (1992a). En: *III Congreso Geológico de España, Salamanca*. Actas 2, 610-619.
- Chacón, J., Fernández, T. e Irigaray, C. (1992b). En: *III Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables. La Coruña*. Vol. II, 695-706.
- Chacón, J., Irigaray, C. y Fernández, T. (2007). En: *Atlas de Riesgos Naturales en la Provincia de Granada* (M. Ferrer, Coord.). Edición Diputación - IGME, 45-82.
- Chacón, J., Irigaray, C., Fernández, T., El Hamdouni, R., Jiménez-Perálvarez, J., Alameda, P., Moya, J. y Palenzuela, J.A. (2014). En: *Proc. of World Landslide Forum* 3, 2-6, Beijing, P.R. of China, Session C6, 3609, 42-47. Springer.
- Fernández, T., Irigaray, C. y Chacón, J. (1994). En: *7th IAFG Congress*. Lisboa. Ed. Balkema (Rotterdam) VI, 4649-4658.
- Fernández, T., Brabb, E., Delgado, F., Martín-Algarra, A., Irigaray, C., Estévez, A. y Chacón, J. (1997). En: *IV Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables*, Granada. Vol. II, 795-808.
- Fernández, T., Irigaray, C., El Hamdouni, R. y Chacón, J. (2005). En: *VI Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables*, Valencia. Vol. I, 354-365.
- Irigaray, C., Fernández, T. y Chacón, J. (2001). En: *V Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables*, Madrid. Vol. I, 427-427.
- Irigaray, C., Fernández, T. y Chacón, J. (2003). *Natural Hazards* 30, 309-324.
- Jiménez-Perálvarez, J., Irigaray, C., El Hamdouni, R., Fernández, P. y Chacón, J. (2011). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 70, 265-277.
- Palenzuela, J.A., Jiménez-Perálvarez, J.D., El Hamdouni, R., Alameda-Hernández, P., Chacón, J. e Irigaray, C. (2015). *Landslides*, DOI 10.1007/s10346-015-0598-x.
- Sanz de Galdeano, C. (1994). En: *Some Spanish Karstic Aquifers* (A. Pulido-Bosch, Ed.), University of Granada, Spain, 1-17.