

Estudio geológico para el nuevo trazado de la carretera de acceso a Lanjarón (Granada): análisis de estabilidad de taludes

Geological assessment for the new road leading into Lanjarón (Granada, Spain): slope stability analysis

Francisco M. Alonso-Chaves ⁽¹⁾, Encarnación García Navarro ⁽¹⁾, Susana M^a Gavilán-Guzmán ⁽²⁾, Jorge Vázquez ⁽²⁾, Manuel A. Camacho ⁽¹⁾, Isabel Mantero ⁽²⁾ y Jesús Fe ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geodinámica y Paleontología, Universidad de Huelva, E-21007 Huelva. alonso@uhu.es; navarro@uhu.es; manuel.camacho@dgeo.uhu.es

⁽²⁾ Ingenieros Dintra5 S.L., Avda. República Argentina, Edificio Principado, planta 1, módulo 19, E-41930 Bormujos, Sevilla. s.gavilan@ingennya.com; j.vazquez@ingennya.com; i.mantero@ingennya.com; j.fe@ingennya.com

ABSTRACT

Detailed geological study of the western part of a new road leading to Lanjarón (Betic Cordillera) has revealed the existence of natural instabilities in metapelitic rock masses of the Alpujarrides Units. We have analysed the stability of the future slopes in the Cerro de la Escolta based on detailed geological mapping and measurement of structural data and mechanical discontinuities.

Key words: Slopes, mechanical discontinuities, structural data, geological mapping, Alpujarride Complex.

Geogaceta, 48 (2010), 231-234
ISSN: 0213-683X

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2010
Fecha de revisión: 21 de abril de 2010
Fecha de aceptación: 28 de mayo de 2010

Introducción

En los proyectos de ingeniería civil resulta imprescindible la investigación geológica del trazado de una nueva carretera para rentabilizar en tiempo y coste económico las inversiones que se hacen por parte de las distintas administraciones públicas (estatales y/o autonómicas). En la elección del trazado de una carretera tienen un peso decisivo las características geológicas del terreno (González de Vallejo *et al.* 2002). En este sentido, es importante detectar los principales problemas geológicos que se pudieran presentar y en consecuencia definir soluciones en el ámbito de la ingeniería civil, adaptando el proyecto a las características geológicas singulares de cada caso. Los mapas geológicos aportan una importante información sobre las características del terreno y sirven de base para la realización de una cartografía geotécnica de detalle.

Este trabajo trata sobre el estudio geológico realizado en el Cerro de la Escolta y alrededores en relación con el nuevo trazado proyectado para la carretera A-348, que permitirá el acceso a Lanjarón (La Alpujarra, Granada) desde la N-323. En relación con el citado acceso destaca en el proyecto la construcción de un falso túnel de 90 m de longitud (atravesando el Cerro de la Escolta) y un viaducto de 120 m, al Este de dicho cerro. Esta carretera se construirá sobre afloramientos del Complejo Alpujarride (Zonas Inter-

nas de las Cordilleras Béticas) y sobre parte del borde neógeno de la Cuenca de Granada (Fig. 1), en una zona tectónicamente compleja, afectada por una intensa deformación frágil, que ha condicionado las características mecánicas de los macizos rocosos aflorantes en la zona.

Arquitectura geológica

Desde el punto de vista tectónico la organización de las unidades alpujarrides son

láminas alóctonas muy adelgazadas por procesos extensionales a escala cortical que se desarrollaron durante el Mioceno (García Dueñas *et al.*, 1992), resultando un espesor variable de las citadas láminas. Dichas láminas se disponen inclinadas hacia el suroeste y están limitadas a techo y muro por fallas extensionales de bajo ángulo (Fig. 2). A partir de la cartografía geológica realizada ha sido posible diferenciar tres unidades tectónicas en los materiales del Complejo Alpujarride, denominadas inferior, interme-

Fig. 1.- Mapa geológico de las Cordilleras Béticas.

Fig. 1.- Geological map of the Betic Cordillera.





Fig. 2.- Esquema tectónico de las unidades geológicas al Oeste de Lanjarón.

Fig. 2.- Tectonic sketch of the geological units, to Western of Lanjarón.

dia y superior; y que podrían correlacionarse con las unidades de Cástaras, Alcázar y La Herradura (Aldaya *et al.*, 1979). Cada una de ellas está formada por una secuencia inferior de metapelitas (filitas o esquistos de edad permo-triásica) y otra superior de naturaleza carbonatada (mármoles atribuidos al Triás medio - superior). Las familias de fallas observadas forman parte de sistemas de fallas extensionales (a veces con geometría lítrica) que se localizan en el bloque de techo de un despegue extensional de carácter regional (Fig. 2), conocido como Despegue de Mecina o Filabres (cf. García-Dueñas y Martínez-Martínez, 1988, Galindo *et al.*, 1989, García-Dueñas *et al.* 1992). El análisis estadístico de las familias de discontinuidades mecánicas ha permitido diferenciar tres tipos de planos: fallas, foliaciones y diaclasas; sus orientaciones preferentes se muestran en la figura 3. Las fallas de alto ángulo tienen una orientación media: N115°E / 72°SO (Fig. 3), se caracterizan por el hundimiento del bloque de techo, y tienen estrías en buzamiento u oblicuas. La orientación media de las fallas de bajo ángulo es N120°E / 25°SO (Fig. 3, ver el máximo a*). Generalmente, las fallas de alto ángulo cortan a las fallas de bajo ángulo (véase el corte geológico de la Fig. 2). Las fallas descritas tienen una importante continuidad en dirección y buzamiento (en ocasiones superior a 20 m; véase la orientación de las fallas en la Fig. 4). Son especialmente ilustrativos de este tipo de fallas los contactos entre las litologías que afloran en el cuadrante SO de

la figura 4, con una orientación N120°E / 50°SO y la falla que cruza el Cerro de la Escolta.

La intensidad de la deformación frágil sufrida por los materiales ha favorecido la formación de abundantes rocas de falla (brechas y harinas de falla) y superficies de cizalla frágil muy penetrativas a la escala de afloramiento. Los planos de falla son rugosos o lisos para las de mayores dimensiones; y rugosos, lisos o pulidos en las fallas de menores dimensiones (de acuerdo con ISRM, 1981).

Las unidades constituidas por metapelitas están formadas por bandas de rocas muy alteradas con un grado de meteorización V y VI (ISRM, 1981). La resistencia a partir de los índices de campo de las metapelitas en dichas bandas puede considerarse extremadamente blanda, muy blanda o blanda (ISRM, 1981). En los mármoles algunas de las fracturas de alto ángulo presentan una abertura importante (de hasta 10 mm) y se han observado evidencias de procesos de disolución. Igualmente, a partir de los índices de campo la resistencia estimada para los mármoles es dura y/o muy dura y el grado de meteorización de tipo II – III.

En el interior de las láminas alpujárrides hay varias foliaciones tectónicas (de tipo esquistosidad o filítica); generalmente predomina una que se ha denominado foliación principal, por ser la discontinuidad mecánica más penetrativa. La orientación media para los planos de la foliación principal es N 135°E / 48°SO (Fig. 3); otros máximos, algo

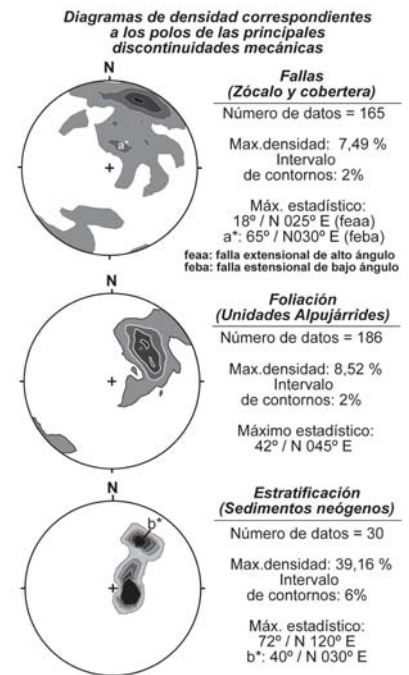


Fig. 3.- Proyección esférica de datos estructurales de discontinuidades mecánicas.

Fig. 3.- Spherical projection of structural data (mechanical discontinuities).

menos acusados, permiten definir planos con dirección entre N140°E y N155°E, buzando 85° y 45° al SO, respectivamente.

Los sedimentos miocenos de la Cuenca de Granada afloran en dos sectores, en el extremo occidental de la traza y al sur y sureste del Cerro de la Escolta, donde se encuentran los materiales más antiguos de la cuenca (Aldaya *et al.*, 1979). Se han diferenciado tres unidades sedimentarias de acuerdo con las diferencias litológicas que se observan (Fig. 4). De muro a techo, dichas unidades están formadas por: a) limos arcillosos con intercalaciones de areniscas (más abundantes hacia techo), b) conglomerados con una matriz arenosa y c) calcarenitas con niveles de microconglomerados. Los limos y conglomerados presentan buzamientos significativamente altos hacia el SO (ver el máximo identificado como b* en la Fig. 3). En los sedimentos miocenos las superficies de estratificación y las fallas de alto ángulo son las principales discontinuidades. A partir del análisis estadístico se han definido dos valores medios de dirección para las superficies de estratificación: N30°E y N120°E con buzamientos de 18°NO, en los niveles de calcarenitas del extremo occidental de la traza, y 50°SO para los limos arcillosos (Fig. 3).

Elevación tectónica reciente y formaciones superficiales

La zona de estudio está localizada en la vertiente meridional de Sierra Nevada (Figs.

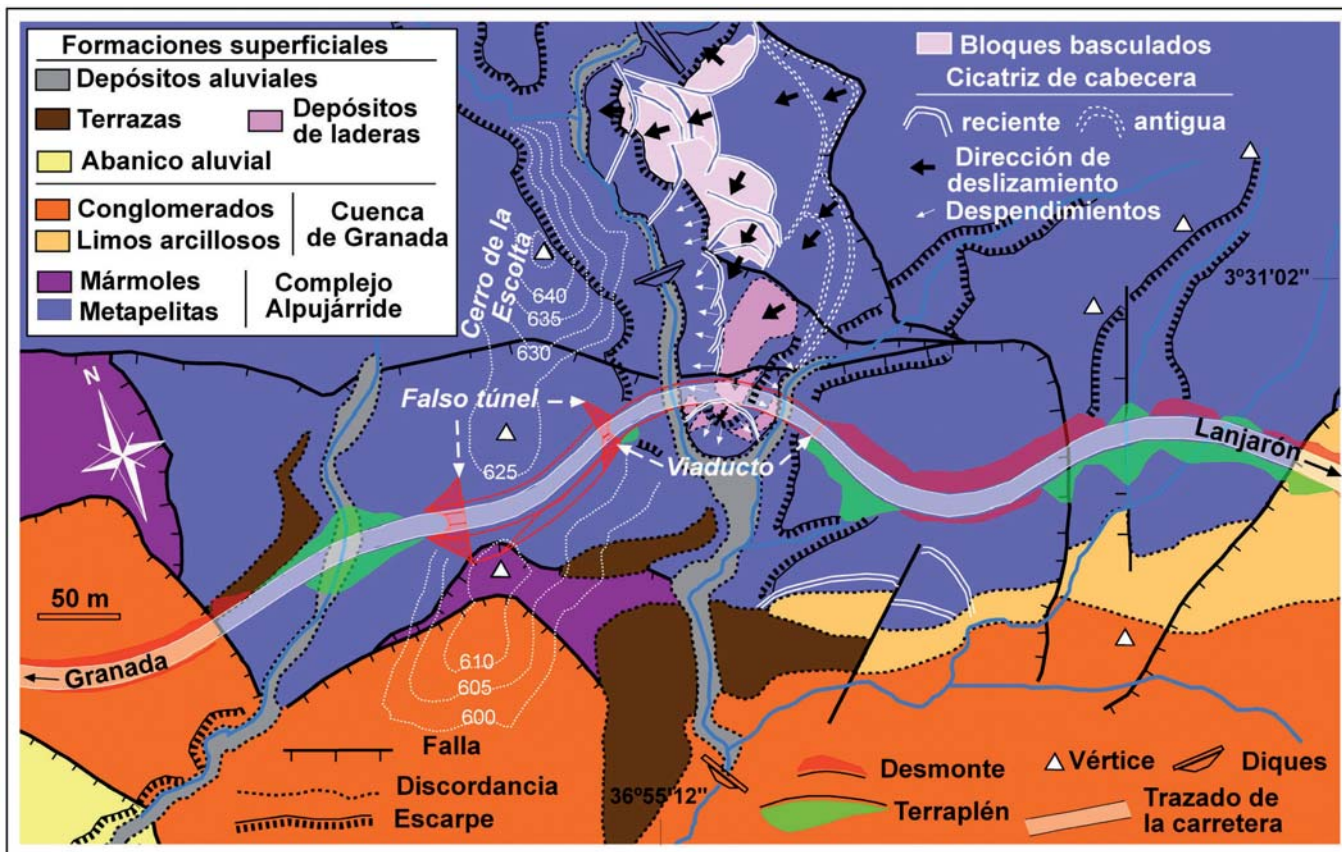


Fig. 4.- Mapa geológico del Cerro de la Escolta (al Oeste de Lanjarón, Granada).

Fig. 4.- Geological map of the Cerro de la Escolta (Western Lanjarón, Granada).

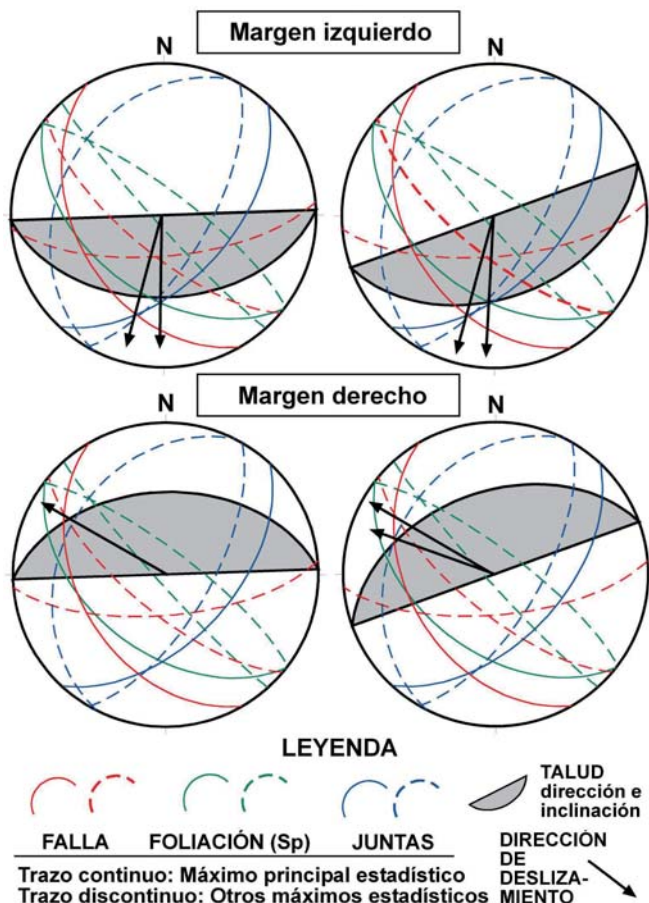


Fig. 5.- Proyección de las principales discontinuidades mecánicas en el Cerro de la Escolta.

Fig. 5.- Projection of major mechanical discontinuities in the Cerro de la Escolta.

1 y 2). El paisaje se caracteriza por la existencia de amplios valles colgados (de dirección aproximada E-O) que estaban inclinados hacia el Oeste y antiguas laderas (donde predominaban las inclinaciones hacia el Sur). Los ríos que drenan el borde suroccidental de Sierra Nevada entre el Río Tablate y Lanjarón se orientan según tres direcciones preferentes (Fig. 4): a) E-O, b) N-S y c) NO-SE. En la cartografía geológica se han identificado formaciones superficiales en relación con depósitos continentales ligados a paleocanales, abanicos aluviales, terrazas y depósitos de laderas (Fig. 4). Además, en los márgenes de los actuales ríos se observan depósitos de terrazas con espesores que pueden alcanzar la decena de metros. En todas las formaciones superficiales citadas anteriormente se encajan los cursos fluviales actuales (produciendo desniveles topográficos de hasta varias decenas de metros).

Deslizamientos de laderas

El relieve abrupto debido al levantamiento reciente de Sierra Nevada y al encajamiento de los ríos, así como el grado alto de alteración de las rocas, han sido factores determinantes en la activación de procesos ligados a la inestabilidad de las laderas naturales, amén

de los factores climáticos (intensas precipitaciones, ciclos hielo-deshielo) que actúan en esta región. Los datos de campo y las cartografías geológicas realizadas evidencian la existencia de deslizamientos activos al Este del Cerro de la Escolta, en concreto en las proximidades de las márgenes fluviales donde se ha producido un fuerte encajamiento de los ríos (Fig. 4). Es posible que algunas cicatrices de cabecera identificadas en la cartografía geológica correspondan a deslizamientos antiguos (posiblemente previos al último encajamiento de la red fluvial actual?).

Este trabajo se centra en los deslizamientos localizados en las metapelitas al Este del Cerro de la Escolta (Fig. 4). El incremento de la pendiente en las nuevas laderas –debido al encajamiento fluvial en la zona citada– produce en ellas una significativa inestabilidad, con numerosos desprendimientos. El desnivel entre el cauce actual y la terraza colgada inmediatamente por encima es de 20 m, y la distancia horizontal desde el escarpe al cauce es de 30 m. Como puede verse en la figura 4 la orientación del curso fluvial en este tramo es aproximadamente N-S, si bien, unos 200 m aguas arriba del viaducto el río presenta un afluente de dirección E-O. El área afectada por los deslizamientos tiene forma triangular, con longitudes máximas de 300 m y 170 m según las direcciones N-S y E-O, respectivamente. En ese sector, se han identificado numerosos deslizamientos que pueden relacionarse entre sí, tanto geométrica como genéticamente. Se han observado deslizamientos de grandes masas, desprendimientos y deslizamientos rotaciones que afectan a las metapelitas (materiales alterados prácticamente a suelos residuales) y a las propias formaciones superficiales. La zona afectada por los deslizamientos recientes es una antigua ladera de dirección N-S, inclinada al Oeste, en la cual se ha encajado el cauce del río actual, en relación con el último pulso tectónico de elevación de Sierra Nevada. En la figura 4 se observan numerosas cicatrices arqueadas en las zonas de cabecera de los deslizamientos. Es frecuente observar basculamientos que afectan a terrazas fluviales colgadas y depósitos de ladera desnivelados, constatándose un desplazamiento vertical entre 0,5 y 2 m. En la zona se observan además escarpes –más o menos degradados– que tienen una posición relativamente más alta (en la topografía) y que podrían corresponder a deslizamientos más antiguos en relación con fallas de dirección NNE-SSE y buzamientos hacia el SO.

Taludes: análisis estructural geométrico

Una de las principales obras en el proyecto de la carretera de acceso a Lanjarón, es la construcción de un falso túnel que atravesará el Ce-

ro de la Escolta (Fig. 4). En dicho cerro afloran las metapelitas de la Unidad Alpujarride superior y, en contacto mecánico por encima de ellas, los mármoles de la misma unidad. La existencia de fallas de gran extensión paralelas (o subparalelas, véase la Fig. 4) a los futuros taludes, así como la intensa deformación con superficies de cizalla muy penetrativas a la escala del afloramiento y el grado de alteración de los metapelitas constituyen las principales características en el citado cerro. En la figura 5 se muestra la orientación de las principales discontinuidades mecánicas. La foliación generalmente está inclinada hacia el SO (Fig. 5), con ángulos variables, predominando buzamientos comprendidos entre 20° y 60°. Las direcciones frecuentes son N110°E y N160°E.

Estadísticamente, se ha definido el valor máximo de la orientación preferente de la foliación como N128°E y un buzamiento de 48° SO (máxima densidad: 11.26%). Las fallas son las principales discontinuidades mecánicas dadas sus dimensiones y la baja cohesión de los materiales a lo largo de dichos planos. En la Unidad Alpujarride superior las fallas pueden estar en cualquier posición espacial, si bien predominan dos orientaciones: N110°E con buzamientos hacia el SO de 70° (fallas de alto ángulo) y de 25° (fallas de bajo ángulo). También hay una tercera familia de fallas –antitética de las fallas de alto ángulo– que se orienta N110°E con buzamientos de 70° al NE. A partir de la cartografía geológica se han podido caracterizar las fallas de mayores dimensiones, con direcciones: a) N90°-100°E y b) N140°E, en ambos casos con buzamientos medios a altos hacia el sur (entre 40° y 70°), véase la figura 5. Las diaclasas (o juntas) en la unidad tectónica superior se orientan preferentemente con dirección NE-SO y fuertes buzamientos hacia el SE y NO.

Con el propósito de plantear un análisis estructural geométrico de la estabilidad de los futuros taludes para la construcción del falso túnel, se han proyectado en la figura 5 las principales discontinuidades mecánicas junto con la orientación de los taludes en el Cerro de la Escolta (talud derecho o meridional y talud izquierdo o septentrional). Se han representado las diferentes orientaciones de los taludes, dado que los desmontes cambian de orientación según el trazado (véase en la Fig. 4 el trazado previsto de la carretera). A partir de los datos proyectados en la figura 5 se ha determinado una inclinación de 45° para conseguir unas condiciones de estabilidad mínimas durante la construcción del falso túnel, descartándose inclinaciones superiores para evitar posibles deslizamientos.

Conclusiones

Las fallas de alto ángulo con dirección N110°E y buzamiento al SO se relacionan

con la elevación de Sierra Nevada en su borde suroccidental. Dicha fallas reorientan otras anisotropías mecánicas previas en los macizos rocosos, como las fallas de bajo ángulo y las foliaciones tectónicas. Las metapelitas del Complejo Alpujarride que afloran al Oeste de Lanjarón presentan en algunas zonas un grado de meteorización V –VI (equivalente geomecánico a un material tipo suelo). La elevación reciente de Sierra Nevada ha originado el encajamiento de los ríos, y consiguientemente se han modificado las inclinaciones de las vertientes y se han formado deslizamientos naturales. Como las metapelitas están intensamente meteorizadas es lógico suponer que dichos materiales se comporten desde el punto de vista mecánico como un suelo, lo que explicaría la forma curva o arqueada en planta de los deslizamientos cartografiados.

A partir de la orientación preferente de las discontinuidades mecánicas descritas en el Cerro de la Escolta los taludes proyectados en relación con el trazado del falso túnel que se construirá deberían tener una inclinación menor de 45°, de esta manera se minimizará el riesgo de deslizamientos.

Agradecimientos

La Empresa Gestión de Infraestructuras S. A. (GIASA, Junta de Andalucía) ha financiado el proyecto «Acondicionamiento de la A-348, tramo N-323 a Lanjarón». A José María Thode, Silvestre Hernández e Isabel Fiestas les agradecemos las discusiones que mantuvimos durante la realización del proyecto. Igualmente agradecemos la revisión del manuscrito original realizada por Rosa M^a Mateos Ruiz y Mercedes Ferrer Gijón.

Referencias

- Aldaya, F., Martínez-García, E., Díaz de Federico, A., Puga, E. García-Dueñas, V. y Navarro-Vilá, F. (1979). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1042 (Lanjarón) y memoria*. IGME. 65 p.
- Galindo-Zaldívar, J. González Lodeiro, F. y Jabaloy, A. (1989). *Geodinamica Acta*, 3, 73-85
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). *Prentice Hall*, 715 p.
- García-Dueñas, V. y Martínez-Martínez, J.M. (1988). *Geogaceta*, 5, 53-55.
- García-Dueñas, V., Balanyá, J.C. y Martínez-Martínez, J.M. (1992). *Geo-Marine Letters*, 12, 88-95.
- ISRM (1981). *Rock Characterization. Testing and monitoring. ISRM suggest methods*. (E.T. Brown Ed.). International Society for Rocks Mechanics. Pergamon Pres.