

Análisis de estabilidad de los potenciales deslizamientos rocosos en el acantilado de El Rincón (Autovía GC-2, Gran Canaria)

Stability analysis of potential rock slides in El Rincón cliff (GC-2 motorway, Gran Canaria)

M. J. Rodríguez-Peces¹ y J. Yepes²

¹ Dpto. de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid. martinjr@geo.ucm.es

² Dpto. de Ingeniería Civil, IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 35017 Las Palmas.

Resumen: En este trabajo se han identificado los deslizamientos que se pueden desarrollar en el acantilado de El Rincón (Gran Canaria) y sus repercusiones sobre la Autovía GC-2, en la base del acantilado. El análisis de estabilidad realizado para las condiciones actuales indica que la ladera es estable. El análisis a largo plazo considera el macizo rocoso saturado en agua y define la existencia de dos bloques que son más susceptibles de experimentar deslizamiento: uno a media ladera y otro en coronación. El bloque situado a media ladera estaría favorecido por una rotura a través de la Formación Detrítica de Las Palmas, mientras que el deslizamiento del bloque situado en coronación tendría un carácter más superficial y estaría favorecido por la rotura de los piroclastos del Grupo Post-Roque Nublo. El deslizamiento del bloque de coronación parece más probable ya que sólo requiere la saturación de los piroclastos y está favorecido por la reducción de la resistencia asociada a la progresiva apertura de la grieta subvertical.

Palabras clave: Autovía, Deslizamiento, Gran Canaria, Ladera, Macizo rocoso.

Abstract: *In this work we have found landslides that may be developed in El Rincon cliff (Gran Canaria) and its impact on the GC-2 highway, at the base of the cliff. The stability analysis performed for the current conditions indicates that the slope is stable. The long-term analysis considers the water-saturated rock mass and defines the presence of two rocky blocks that are most likely to experience sliding, one along the mid-slope and another in the head. The mid-slope landslide would be favoured by failure through the Formación Detrítica de Las Palmas, while the landslide located on the head of slope would have a more superficial character and would be favoured by the failure through the pyroclastics of the Post-Roque Nublo Group. The landslide of the block of the head seems more likely since it only requires the saturation of the pyroclasts and is favoured by the reduction of strength related to the progressive opening of the subvertical cracks.*

Key words: Gran Canaria, Highway, Landslide, Rock mass, Slope.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se analizan los potenciales deslizamientos rocosos que se pueden desarrollar en el acantilado de El Rincón (Gran Canaria, Islas Canarias) y las posibles repercusiones de estas inestabilidades sobre la Autovía GC-2, localizada en la base del acantilado (Fig. 1). El estudio tiene su relevancia ya que la GC-2 es la principal vía de acceso a Las Palmas de Gran Canaria por el norte de la isla. Previamente a la construcción de la GC-2, la carretera antigua estaba encajada entre el pie del acantilado y el mar. En 1944, durante la construcción del antiguo vial, se produjo un gran deslizamiento en el pie de la ladera que afectó al trazado. En 1985, durante las obras de ampliación de la GC-2, se procedió a la extracción del pie de monte de la base del acantilado. Como consecuencia de esta actuación, aparecieron algunas grietas en la coronación y en la ladera del acantilado. La longitud de las grietas creció de modo alarmante hasta superar el centenar de metros. Estas grietas fueron controladas en dos periodos para medir la evolución de su apertura: de

1986 a 1991 (Fariña, 1991) y de 2001 a 2012 (Cabrera, 2013). Los resultados obtenidos indican que la mayoría de las grietas han aumentado su extensión superficial y profundidad en unas decenas de metros y que han experimentado un ensanchamiento métrico. A pesar de que estas grietas son activas, no se ha producido inestabilidad alguna hasta el momento. Sin embargo, el hecho de que el movimiento continúe activo es indicativo de que la ladera no está en equilibrio, por lo que es conveniente estudiar su comportamiento a largo plazo. Si se produjese un deslizamiento a favor de estas grietas, la GC-2 se vería afectada en gran medida, provocando su bloqueo inmediato.

Teniendo en cuenta esta información, se ha evaluado la estabilidad del acantilado de El Rincón, considerando dos factores que pueden contribuir a su desestabilización: reducción de los parámetros resistentes por meteorización y aumento de la presión intersticial por saturación de agua. Este estudio de estabilidad permitirá proponer medidas preventivas o correctoras que eviten la interrupción de la GC-2.

METODOLOGÍA

A partir del perfil topográfico, así como la información geológica y geomorfológica disponible, se ha realizado un modelo geológico-geotécnico del acantilado de El Rincón. Se han considerado varios bloques potencialmente inestables definidos por la intersección de las grietas de tracción observadas con los diferentes planos de estratificación, a los que se atribuye el carácter de potenciales superficies de rotura. La caracterización geotécnica de los materiales presentes en la ladera ha sido establecida a partir de las propiedades geotécnicas publicadas para diferentes litotipos volcánicos de las Islas Canarias (González de Vallejo et al., 2008; Rodríguez-Losada et al., 2009; Serrano et al., 2007; Rodríguez-Peces et al., 2013). La estabilidad se ha calculado mediante el programa Slide, que emplea diferentes métodos de equilibrio límite. Para este análisis se han empleado dos criterios de rotura: el de Mohr-Coulomb, para los materiales tipo suelo; y el de Hoek-Brown generalizado, para el caso de materiales rocosos. Además, se ha realizado un análisis de sensibilidad considerando diferentes casos, en función de los valores de las propiedades geotécnicas (valor medio, máximo y mínimo) y el grado de saturación de los materiales (parcial o total).

EL ACANTILADO DE EL RINCÓN

El acantilado de El Rincón presenta un desnivel de unos 180 m desde la cota de la GC-2 hasta la coronación (Fig. 1). En la parte inferior de la ladera aparecen materiales miocenos del Grupo Fataga, relacionado con la primera etapa volcánica subaérea de Gran Canaria con 8,6 a 13,3 Ma de antigüedad (McDougall y Schmincke, 1976). En la base del acantilado aparecen unas lavas fonolíticas, que constituyen una rasa marina sobre la cual está construida la autovía. Por encima se observa una capa de ignimbritas fonolíticas no soldadas, de unos 10 m de espesor. A techo de las mismas se dispone un paquete de tobas e ignimbritas fonolíticas soldadas, de unos 25 m de potencia. Sobre estos materiales, y a media ladera, aflora un depósito sedimentario de abanico aluvial (conglomerados y arenas de cantos fonolíticos) perteneciente al Miembro Inferior de la Formación Detrítica de Las Palmas (Gabaldón et al., 1989), que se desarrolló durante un extenso periodo erosivo (8,6-5,6 Ma). Esta formación presenta intercalada una capa de ignimbritas fonolíticas no soldadas con un espesor de unos 5 m. Sobre la Formación Detrítica de Las Palmas se apoya una secuencia de unos 45 m de espesor de coladas lávicas de composición basáltica y estructura escoriácea, pertenecientes al Grupo Roque Nublo (Pérez Torrado et al., 1995), de edad Plioceno (5,6-2,9 Ma). En el tercio superior del acantilado se observan lavas basaníticas de unos 20 m de espesor pertenecientes al Grupo Post-Roque Nublo, cuya antigüedad oscila entre 2,9 y 1,5 Ma (Gillou et al., 2004). Coronando el acantilado se encuentran unos

depósitos piroclásticos (lapillis, escorias y bombas) con un espesor de hasta 30 m, que están relacionados con un cono del Grupo Post-Roque Nublo. Estos depósitos se encuentran bastante meteorizados y formando un suelo en los 20 m más superficiales de la unidad.

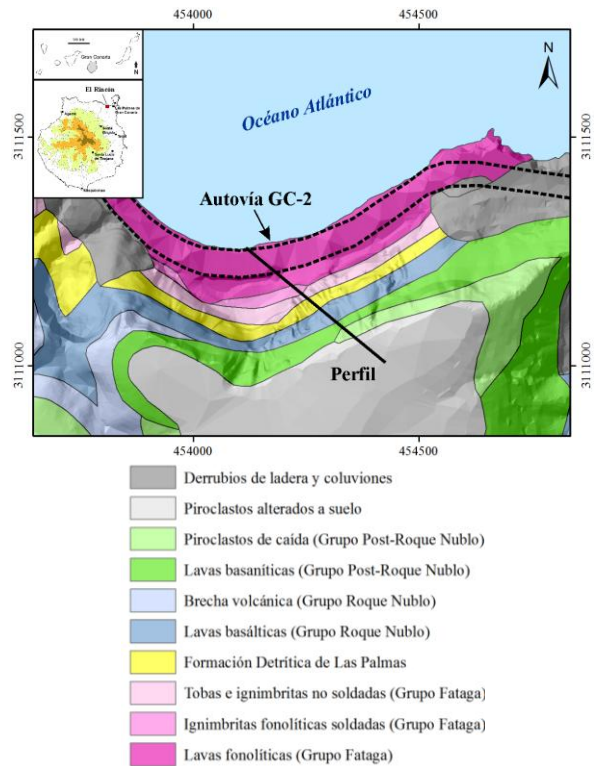


FIGURA 1. Mapa litológico del acantilado de El Rincón (Gran Canaria). Se indica la traza de la autovía GC-2 (línea discontinua) y el perfil geotécnico (cf. figuras 2 y 3).

Desde un punto de vista estructural, las principales discontinuidades que se pueden observar en este macizo rocoso están relacionadas, por una parte, con los contactos subhorizontales entre los diferentes materiales y, por otra, con la fracturación subvertical que presentan. Con respecto a los contactos entre capas, se ha observado la existencia de un nivel arcilloso en el contacto entre la toba fonolítica y la ignimbrita fonolítica infrayacente (Fariña, 1991). Este nivel presenta un espesor centimétrico, consistencia blanda y unas estrías de movimiento que indican la existencia de un desplazamiento relativo entre las tobas y las ignimbritas. Estas observaciones sugieren que los contactos entre litologías con diferente competencia constituyen potenciales superficies de rotura basal, sobre todo si presentan alteraciones arcillosas, que favorecen el deslizamiento planar del macizo rocoso suprayacente. Con respecto a las discontinuidades subverticales, las fracturas presentan una orientación subparalela al acantilado y un buzamiento de 80° (Fariña, 1991; Cabrera, 2013). Estas discontinuidades parecen afectar a todas las formaciones, situándose a diferentes alturas a lo largo de la ladera. Destacan las grietas que aparecieron en la coronación y a media

ladera durante la construcción de la GC-2 (1984-1991). Estas grietas siguen activas en la actualidad.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

La combinación de las superficies basales de rotura con las fracturas subverticales observadas ha permitido definir bloques rocosos potencialmente inestables. Las dimensiones de estos bloques superan el millón de metros cúbicos, por lo que su deslizamiento provocaría el bloqueo inmediato de la GC-2. En primer lugar, se han analizado las posibles inestabilidades generadas por la intersección de una grieta subvertical abierta, situada a media ladera, con los contactos litológicos. Los factores de seguridad (FS) obtenidos para estas superficies de rotura son estables ($FS > 2$), si se considera el terreno seco. El análisis de sensibilidad de los parámetros realizado indica que el único factor que contribuye a reducir el FS es la presencia de agua en el terreno. Así, para que el bloque definido por una rotura basal situada a muro de la Formación Detrítica de Las Palmas resulte inestable ($FS < 1$), es necesario considerar la saturación completa de la Formación Detrítica de Las Palmas y la saturación parcial (41 %) de la capa de toba fonolítica intercalada dentro de esta formación. Para estas condiciones, la probabilidad de rotura es del 55 % (Fig. 2a). Por otra parte, para que se produzca la inestabilidad de mayor volumen, definido por la grieta subvertical y el contacto entre las lavas y las tobas fonolíticas no soldadas (Fig. 2b), es necesaria la saturación completa de las lavas fonolíticas, de las tobas no soldadas y de las ignimbritas soldadas. Para estas condiciones, la probabilidad de rotura es del 53 %.

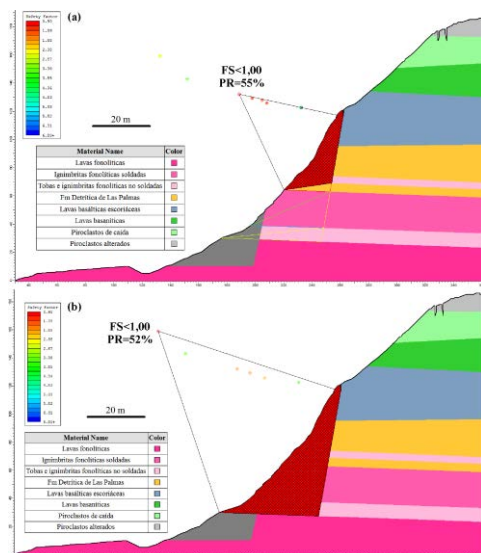


FIGURA 2. Análisis de estabilidad frente al deslizamiento del acantilado de El Rincón. Se han considerado las superficies de rotura generadas por la grieta subvertical, situada a media ladera y los diferentes contactos litológicos. (a) Bloque de menor tamaño. (b) Bloque de mayor tamaño. FS: Factor de seguridad. PR: Probabilidad de rotura.

En segundo lugar, se han analizado las posibles inestabilidades generadas por la intersección de una grieta subvertical abierta localizada en la coronación de la ladera, con los diferentes contactos litológicos. Los factores de seguridad obtenidos para estas superficies de rotura son estables ($FS > 2$), si se considera el terreno seco. El bloque que presenta el valor más bajo ($FS = 2,3$) corresponde a una rotura superficial a través de los materiales piroclásticos del Grupo Post-Roque Nublo (Fig. 3a). El estudio de sensibilidad de los parámetros indica que la probabilidad de rotura a favor de esta superficie es significativa (52 %) con una reducción de la resistencia a la compresión simple de los piroclastos hasta alcanzar unos valores inferiores a 185 kPa. Sin embargo, la probabilidad de que los piroclastos presenten estos valores tan bajos de resistencia es muy limitada (3 %). En este sentido, es más factible que la rotura se produzca por la presencia de agua en el terreno, como en el caso anterior. Así, el bloque es inestable, con una probabilidad de rotura de 52 %, cuando la saturación de los piroclastos es de un 65 %. Por otra parte, el bloque de mayor volumen definido por la grieta subvertical de cabecera y el contacto entre las lavas y tobas fonolíticas no soldadas (Fig. 3b), resulta inestable (con una probabilidad de rotura de 52 %) si las lavas fonolíticas, las tobas no soldadas, las ignimbritas soldadas y la Formación Detrítica de Las Palmas se encuentran saturadas de agua al 100 %.

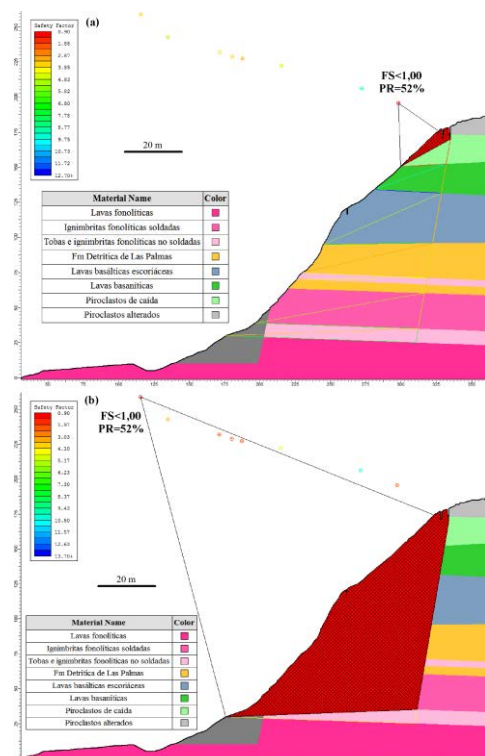


FIGURA 3. Análisis de estabilidad del acantilado de El Rincón. Se han considerado las superficies de rotura generadas por la grieta subvertical, situada en cabecera y los diferentes contactos litológicos. (a) Bloque de menor tamaño. (b) Bloque de mayor tamaño. FS: Factor de seguridad. PR: Probabilidad de rotura.

El análisis realizado muestra que los casos con mayor probabilidad de rotura corresponden a los bloques de menor volumen: el primer bloque estaría definido por la intersección de la grieta subvertical, situada a media ladera, con la base de la Formación Detrítica de Las Palmas (Fig. 2a); el segundo bloque estaría definido por la intersección de la grieta subvertical, situada en la zona de coronación, con un plano de rotura superficial que afectaría a los piroclastos del Grupo Post-Roque Nublo (Fig. 3a). De los dos casos expuestos, parece más verosímil que se produzca primero el deslizamiento del bloque situado en la zona de coronación, puesto que resulta más factible que los piroclastos alcancen la saturación parcial a que la Formación Detrítica de Las Palmas alcance la saturación completa. Además, el deslizamiento del bloque situado en la zona de coronación se encuentra favorecido por la progresiva apertura que presenta la grieta subvertical (Cabrera Fuentes, 2013) y por la paulatina pérdida de resistencia que experimentan los piroclastos como consecuencia de este movimiento lento.

CONCLUSIONES

El acantilado de El Rincón se puede considerar estable frente a la ocurrencia de deslizamientos, considerando las condiciones secas de la ladera. Esto es congruente con el hecho de que la ladera no presenta surgencias de agua en la actualidad y que el nivel freático se encuentra deprimido por debajo de los bloques potencialmente inestables. Sin embargo, se ha observado que sería posible el deslizamiento de dos bloques de gran tamaño si la ladera se llegase a saturar de agua. Estas condiciones requieren un clima más húmedo que el actual, en el que se registrasen periodos con abundantes precipitaciones. Los bloques inestables estarían situados a media ladera y en la zona de coronación. El deslizamiento del bloque situado a media ladera estaría favorecido por la rotura a través de la Formación Detrítica de Las Palmas. El deslizamiento del bloque situado en la coronación tendría un carácter más superficial y estaría favorecido por la rotura de los piroclastos del Grupo Post-Roque Nublo. En un primer análisis, parece más probable el deslizamiento del bloque situado en la coronación, puesto que es más factible alcanzar la saturación de los piroclastos en comparación a la Formación Detrítica de Las Palmas. Por otra parte, la individuación del bloque superior se encuentra favorecida por el progresivo agrietamiento que experimenta la zona de coronación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los grupos de investigación Geología Aplicada y Regional de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y Tectónica Activa, Paleosismicidad y Riesgos

asociados, GR35/10-A-910368 de la Universidad Complutense de Madrid.

REFERENCIAS

- Cabrera Fuentes, C. (2013): *Análisis cartográfico de los riesgos asociados a los desprendimientos de la ladera del Rincón*. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 67 p.
- Fariña, P. (1991): *Informe para ACNOR UTE. Acceso a Las Palmas de Gran Canaria por el norte. Tramo Alcaravaneras-El Rincón-Enlace de Arucas (C-810). Estudio de estabilidad del acantilado (pk 3+500 a 4+000)*. Dames & Moore Iberia S.A. Las Palmas de Gran Canaria, 46 p.
- Gabaldón, V.; Cabrera, M.C. y Cueto, L.A. (1989): Formación Detrítica de Las Palmas. Sus facies y evolución sedimentológica. *European Science Foundation Meeting on Canarian Volcanism*, 210-215.
- Guillou, H., Pérez Torrado, F.J., Hansen Machín, A.R., Carracedo, J.C. y Gimeno, D. (2004): The Plio-Quaternary evolution of Gran Canaria based on new K-Ar ages and magnetostratigraphy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 135: 221-246.
- González de Vallejo, L.I., Hijazo, T. y Ferrer, M. (2008): Engineering Geological Properties of the Volcanic Rocks and Soils of the Canary Islands. *Soils and Rocks*, 31: 3-13.
- McDougall, I. y Schmincke, H.U. (1976): Geochronology of Gran Canaria (Canary Islands): age of shield building volcanism and other magmatic phases. *Bulletin of Volcanology*, 40: 57-77.
- Pérez-Torrado, F.J., Carracedo, J.C. y Mangas, J. (1995): Geochronology and stratigraphy of the Roque Nublo Cycle, Gran Canaria, Canary Islands. *Journal of the Geological Society*, 152: 807-818.
- Rodríguez-Losada, J.A., Hernández-Gutiérrez, L.E., Olalla, C., Perucho, A., Serrano, A. y Eff-Darwich, A. (2009): Geomechanical parameters of intact rocks and rock masses from the Canary Islands: Implications on their flank stability. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 182: 67-75.
- Rodríguez-Peces, M.J., Yepes Temiño, J. y Martín-Nicolau, E. (2013): Geotechnical features of the volcanic rocks related to the Arteara rock avalanche in Gran Canaria (Canary Islands, Spain). En: *Landslide Science and Practice. Volume 3: Spatial Analysis and Modelling* (Margottini, C.; Canuti, P. y Sassa, K., eds.), Springer, 111-117.
- Serrano, A., Olalla, C., Perucho, A., Hernández-Gutiérrez, L.E. (2007): Strength and deformability of low density pyroclasts. En: *Volcanic Rocks* (Nunes J.C. y Malheiro, M.M., eds.). Taylor & Francis Group. London, 35-43.