

ANÁLISIS SIMPLIFICADO DEL POTENCIAL DE REACTIVACIÓN DE COLADAS DE TIERRA

A simplified analysis of the reactivation potential of mudslides

J. Moya ⁽¹⁾, M. Hürlimann ⁽¹⁾, M. Jiménez ⁽²⁾

(1) Dpto. Ing. del Terreno, Cartográfica y Geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña. jose.moya@upc.edu

(2) Andestas S.L., Barcelona.

Abstract: Mudslides are landslides which usually reactivate. A simplified method for the assessment of the reactivation potential of narrow mudslides is proposed here. The method uses the factor of safety, calculated by the limit equilibrium technique, but incorporating an additional strength component due to friction in the lateral margins of the mudslide, a component which typically is neglected. The approach requires a detailed geomorphological reconnaissance of the mudslide to locate the sliding surface from transversal cross-sections. The method was applied to three mudslides in the eastern Pyrenees. The safety factor was calculated hypothesizing the depth of the water table in the mudslide body. The results show that the lateral strength component is highly important and that the three mudslides will probably reactivate in the future. The technique was checked by comparing the safety factors calculated with the frequency of past reactivations, which was obtained independently by dendrochronological dating.

Palabras clave: coladas de tierra, potencial de reactivación, análisis de estabilidad, Pirineos

Key words: mudslides, reactivation potential, stability analysis, Pyrenees

1. INTRODUCCIÓN

Las coladas de tierra son movimientos de ladera particularmente susceptibles a la lluvia y que tienden a reactivarse. La cuantificación de esta tendencia, es decir, de su potencial de reactivación, no es una tarea fácil puesto que requiere un conocimiento profundo de las condiciones de la colada (geomorfológicas, mecánicas e hidrológicas).

El cálculo de dicho potencial puede abordarse determinando la probabilidad de que el factor de seguridad sea menor a la unidad (Mostyn y Fell, 1997). El método anterior necesita registros de desplazamiento y de nivel freático que se extiendan durante al menos varios años.

El potencial de reactivación de una colada también puede ser calculado, desde otro punto de vista, utilizando la frecuencia de las reactivaciones pasadas, siempre y cuando éstas hayan implicado desplazamientos pequeños o moderados. Es difícil conseguir, con todo, una base de datos suficientemente completa para aplicar cualquiera de los dos métodos mencionados. En esta situación, el potencial de reactivación puede estimarse

de forma simplificada mediante el factor de seguridad característico del deslizamiento. Esta aproximación está basada en la hipótesis de que cuanto menor sea su factor de seguridad, para la posición usual del nivel freático, mayor será su probabilidad de reactivación.

Por otra parte, muchas coladas de tierra son relativamente estrechas. En estos casos, un análisis de estabilidad convencional puede proporcionar valores del factor de seguridad demasiado pequeños, no realistas, puesto que no tiene en cuenta la fricción que existe en los márgenes laterales de la colada.

En esta contribución se propone un método para cuantificar el potencial de reactivación de coladas de tierra alargadas basado en la combinación de un reconocimiento geomorfológico detallado y un análisis de estabilidad que incluye la resistencia lateral de forma simplificada.

Se han estudiado tres coladas de tierra situadas en la cuenca alta del Río Llobregat, en el Pirineo Oriental (Fig. 1). Se trata de las coladas de tierra de La Nou, Can Pujals y Malanyeu, que tienen un tamaño medio, de hasta 25000 m². Estas coladas están muy próximas entre sí

(distancia < 2 km) y se desarrollaron en la misma unidad geológica (lutitas garumnienses). Las tres coladas se han reactivado varias veces en los últimos 50 años (Corominas y Moya, 1999).



Fig. 1. Situación de las coladas de tierra estudiadas.

2. MÉTODOS

A continuación se describen los métodos empleados para determinar la posición de la superficie de deslizamiento, algo fundamental para el análisis mecánico de un deslizamiento, y los procedimientos de análisis de estabilidad. Finalmente se especifica cómo se han contrastado los resultados obtenidos.

2.1. Localización de la superficie de deslizamiento

Para el cálculo de un factor de seguridad de un deslizamiento es necesario determinar la geometría de la superficie de deslizamiento y conocer el mecanismo de rotura y de reactivación del mismo. Cuando no se dispone de datos de sondeos, como ocurre en los casos que nos ocupan, la superficie de deslizamiento puede determinarse mediante la cartografía de detalle de la colada y por la interpretación de varios perfiles transversales a la misma. En la zona de cabecera de la colada aflora la superficie basal de deslizamiento, limitada por escarpes. La morfología de

dicha superficie indica el mecanismo de rotura (planar o rotacional). Por otra parte, la altura de los escarpes laterales corresponde a la profundidad original de la superficie de rotura. En la zona de acumulación, el perfil longitudinal de la superficie de deslizamiento se ha trazado interpolando la profundidad estimada en los perfiles geomorfológicos transversales.

2.2. Análisis de estabilidad mediante técnicas convencionales

En el análisis de estabilidad se han utilizado valores de resistencia a la cizalla dentro de un rango determinado mediante ensayos de laboratorio. La resistencia de la superficie de deslizamiento de las coladas se ha considerado residual, puesto que las coladas han sufrido varias reactivaciones. La resistencia residual se obtuvo mediante ensayos de corte anular de dos muestras tomadas en la colada de La Nou.

La profundidad del nivel freático es desconocida, por lo cual los cálculos se han realizado considerando varias posiciones hipotéticas del nivel freático entre dos extremos (coincidiendo con la superficie de deslizamiento, por un lado, y con la topografía por el otro).

Así, para cada colada se han calculado varios factores de seguridad, considerando tanto un rango de ángulos de fricción residual como un rango de posiciones del nivel freático. Los cálculos se realizaron con el método de equilibrio límite en 2D con el programa Stable. En primer lugar se realizó un análisis convencional, sin incluir la resistencia existente en los márgenes laterales de la colada.

2.3. Análisis de estabilidad con incorporación de resistencia lateral

Los resultados de estos primeros cálculos mostraron, como se verá después, que las coladas serían inestables incluso con el nivel freático situado por debajo de la superficie de deslizamiento. Este resultado se contradice con las observaciones geomorfológicas realizadas sobre el terreno en varias campañas, que indican

que las coladas han permanecido sin cambios aparentes desde mediados de los años 1990.

En una segunda tanda de cálculos se incorporó el efecto de la resistencia lateral. La fuerza de fricción lateral se calculó a partir del esfuerzo horizontal efectivo actuante en los márgenes laterales (Arellano y Stark, 2000). Dicho esfuerzo se obtuvo multiplicando el esfuerzo vertical efectivo por el coeficiente de presión de tierras en reposo, K_0 . Este último se obtuvo, a su vez, a partir del índice de plasticidad del material presente en los escarpes laterales de la colada (Look, 2007). Para incluir la resistencia lateral en un análisis de estabilidad en 2D, la fuerza de fricción lateral se dividió por el área de la superficie basal de deslizamiento de la colada, que depende de la anchura de la misma, y después se incorporó en el programa de cálculo como si fuera una cohesión (en Jiménez, 2006, se encuentra la formulación completa de la resistencia lateral).

2.4. Contraste del método

Para verificar si el factor de seguridad tal como se ha calculado es útil como medida del potencial de reactivación de una colada, es necesario contrastar los resultados obtenidos. Los factores de seguridad calculados se han comparado con la frecuencia de las reactivaciones de cada colada en las últimas décadas. Esta había sido obtenida de forma independiente mediante datación dendrogeomorfológica (Corominas y Moya, 1999). La proximidad de las coladas ha permitido suponer que las diferencias en la frecuencia de reactivación que pudieran ser debidas a diferencias en el régimen de precipitaciones no son significativas.

En la comparación se utilizaron dos valores del factor de seguridad para cada colada, correspondientes a las dos posiciones extremas del nivel freático (una justo bajo la superficie de deslizamiento y la otra coincidiendo con la superficie del terreno). Estos factores de seguridad corresponden a

las condiciones de estabilidad máxima y mínima de la colada.

3. RESULTADOS

3.1. Características de la superficie de deslizamiento

Las observaciones geomorfológicas mostraron que, en las tres coladas, la rotura en la zona de cabecera es planar y que el desplazamiento en la zona de acumulación fue traslacional. Lo anterior implica que, bajo la colada, la superficie de deslizamiento es paralela a la superficie del terreno. En los tres casos, la superficie de deslizamiento es somera y se sitúa entre los 3 y los 7 m de profundidad. Por otra parte, los ensayos de corte de las dos muestras tomadas indican que el ángulo de fricción residual (ϕ_r) varía entre los 11 y los 15°.

3.2. Condiciones de estabilidad

La tabla 1 muestra los valores del factor de seguridad (F) calculados con el análisis convencional. De acuerdo con esos valores, la colada de la Nou no sería estable ni cuando el nivel freático se situara por debajo de la colada. Las otras dos coladas sólo serían estables con un ϕ_r de 15° y un nivel freático muy bajo.

Tabla 1. Factores de seguridad obtenidos mediante análisis de equilibrio límite convencional

Colada	Posición del nivel freático	Factor de seguridad	
		$\phi_r = 11^\circ$	$\phi_r = 15^\circ$
La Nou	Bajo la colada (BC)	0,65	0,90
	Superficie terreno (ST)	0,38	0,52
Malanyeu	BC	1,08	1,49
	ST	0,55	0,79
Can	BC	0,90	1,24
Pujals	ST	0,46	0,63

En la tabla 2 se muestran los resultados tras incorporar el efecto de la resistencia lateral. La comparación de los factores de seguridad de las dos tablas muestra que la resistencia lateral tiene una influencia muy significativa en la estabilidad de las tres coladas. En las coladas de Malanyeu y Can Pujals el incremento de F varía entre el 11 y 14%. En el caso de La Nou, el

incremento es todavía mayor, variando entre el 20 y el 35%, en función de la posición del nivel freático.

Tabla 2. Factores de seguridad obtenidos considerando la resistencia lateral ($K_R=0,5$)

Colada	Posición del nivel freático	Factor de seguridad	
		$\phi_r=11^\circ$	$\phi_r=15^\circ$
La Nou	BC	0,79	1,03
	ST	0,51	0,65
Malanyeu	BC	1,20	1,69
	ST	0,62	0,85
Can Pujals	BC	1,02	1,4
Pujals	ST	0,52	0,72

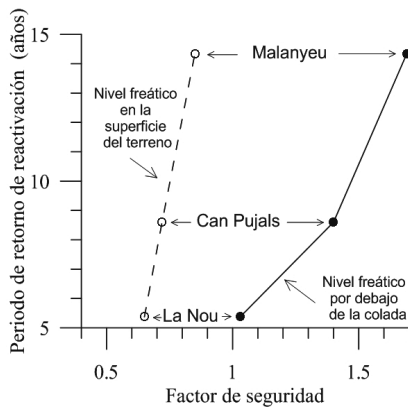


Fig. 2. Relación del factor de seguridad con el periodo de retorno de las reactivaciones de las coladas. Los valores corresponden a un ϕ_r de 15° .

Los resultados de la tabla 2 indican que dos de las coladas de tierra son estables ($F > 1$) en condiciones secas, incluso para un ϕ_r de 11° . En el caso de La Nou, la colada es metaestable ($F=1,03$) incluso en condiciones secas. Este resultado sugiere que la colada estaría habitualmente activa; sin embargo, esta colada no ha sufrido cambios aparentes en su morfología al menos desde 1995. La colada de Can Pujals también sería metaestable en condiciones secas si ϕ_r fuera de 11° . Lo anterior insinúa que ϕ_r puede estar próximo a los 15° o incluso ser algo mayor. Considerando dicho valor para ϕ_r y un nivel freático situado entre el 70 y el 80% del grosor de la colada, todas las coladas

serían inestables. Esto sugiere que las tres coladas pueden reactivarse en el futuro.

En la Fig. 2 se comparan los factores de seguridad con el periodo de retorno de las reactivaciones de las tres coladas de tierra. La comparación muestra que con el incremento del factor de seguridad el periodo de retorno de reactivación también aumenta, como era de esperar.

4. CONCLUSIONES

El factor de seguridad puede ser utilizado para estimar el potencial de reactivación de coladas de tierra, aunque es imprescindible considerar la fricción en los márgenes laterales del movimiento. Esta última puede introducirse de forma sencilla en el cálculo como una cohesión aparente. Se ha comprobado que los factores de seguridad calculados son congruentes con la frecuencia de reactivación obtenida independientemente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto europeo Safeland (contrato 226479) y por el proyecto nacional BigRisk (contrato BIA2008-06614).

REFERENCIAS

- Arellano, D. y Stark, T.D. 2000. Importance of Three-Dimensional Slope Stability Analyses in Practice. *Geotechnical Special Publ.* 101, 18-32.
- Corominas, J. y Moya, J. 1999. Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain. *Geomorphology* 30, 79-93.
- Jiménez, M. 2006. Anàlisi de la susceptibilitat a la reactivació de colades de terra. Tesina Final de Carrera. Univ. Politècnica de Catalunya, 105 pp.
- Look, B. 2007. Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Taylor and Francis, London, 331 pp.
- Mostyn, G.R. y Fell, R. 1997. Quantitative and semiquantitative estimation of probability of landsliding. In Cruden, D. y Fell, R. (Eds.): *Landslide risk assessment*. Rotterdam: Balkema, 297-315.