

Análisis de alterabilidad y estabilidad de taludes en las arcillas-margas y arenas del Mioceno de Villalonguejar (Burgos)

R. Rodríguez Escribano¹ y M. Tsige²

¹ Geoprin, S.A., Mesena 39, 1ª Planta, 28033 Madrid. rrodriguez@geoprin.es

² Dpto. de Geodinámica, Fac. de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid. meaza@geo.ucm.es

ABSTRACT

This study attempts a comprehensive review of the casual factors, which are controlling the frequent slope failures in the Miocene sediments at the Villalonguejar area (Burgos). For the purpose, an extensive study of both field and laboratory study of weathered and unweathered material was undertaken. The study involved insitu observation of both natural and artificially cut slopes, (mechanism, typologies and failure condition) as well as a survey of some of their engineering properties. The effect of this process has been estimated using, laboratory test and slope stability analysis considering a circular failure. The results have shown that the main process of slope instability in these sediments is degradation and erosion due to wetting-drying cycles.

Key words: slope stability, wetting-drying cycles, progressive weathering, marly clays.

INTRODUCCIÓN

Las laderas naturales y taludes excavados en suelos a lo largo del tiempo quedan expuestos a los agentes atmosféricos, lo que produce su degradación progresiva. En la mayoría de las ocasiones esto puede provocar una inestabilidad de laderas naturales y taludes de desmontes que se manifiesta como deslizamientos superficiales y como profundos, en ocasiones de grandes dimensiones. Este fenómeno es muy frecuente en los taludes y laderas naturales de los materiales que afloran en el área de estudio (Monterrubio *et al.*, 2001; Yenes *et al.*, 2001; Rodríguez, 2003).

Los mecanismos que producen la degradación de los taludes en suelos son principalmente la meteorización física, asociada a los ciclos de humedad-sequedad que afecta fundamentalmente a materiales arcillosos, y, por otro lado, la erosionabilidad que afecta a los suelos no cohesivos o granulares. Estos constituyen un proceso importante en materiales similares (rocas blandas o suelos duros poco cementados o sin cementación química). El efecto de estos procesos es la modificación de las características geotécnicas de los materiales, especialmente la reducción de los parámetros resistentes y un aumento de la deformabilidad (Chandler, 1972; Lempp, 1981; Tsige, 1999). Frecuentemente, en los diseños de taludes no se tienen en cuenta estos procesos, y los cálculos de estabilidad se realizan con los parámetros geomecánicos del suelo sano o valores en términos de pico. El objetivo de esta comunicación es, por una parte, señalar los factores más importante de la reducción de la resistencia de los materiales del mioceno, en la comarca de Villalonguejar (Burgos) y, por otra, analizar la estabilidad de los taludes empleando tanto parámetros del

sedimento en estado sano como teniendo en cuenta las modificaciones introducidas por los procesos externos (parámetros de resistencia de los materiales en estado de máxima alteración). En ella también se hace una comparación de los factores de seguridad obtenidos en los dos estados.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

Los materiales estudiados se engloban desde un punto de vista geológico regional en el conjunto de las formaciones de arcillas-margas yesíferas del Mioceno Inferior-Medio de la Cuenca del Duero (Burgos). Estas formaciones son depósitos de origen fluvio-lacustre y afloran en toda la cuenca terciaria ocupando una gran extensión (Fig. 1). En la zona de estudio se han reconocido las unidades geológico-geotécnicas que de muro a techo se describen de la siguiente forma: Arcillas o lutitas-margas yesíferas duras con intercalaciones de yeso masivo laminar y cristales de yeso en punta de flecha (UG-4), Arcillas margosas-yesíferas (UG-3), Arenas limo-arcillosas (UG-2) y por último Arcillas y arenas rojas (UG-1). En los inventariados de taludes realizados tanto en laderas naturales como en taludes excavados se han identificado los siguientes aspectos: tipología de rotura y estado del talud, mecanismos de rotura, factores condicionantes (litología, grado de alteración presencia de agua etc.). Junto a ello se ha evaluado el grado y mecanismo de meteorización física, así como la erosionabilidad de los frentes de los taludes siguiendo el método de De Belle (1971). El detalle de la metodología seguida para el estudio de los taludes de la zona se recoge de forma amplia en el trabajo de Rodríguez (2003).

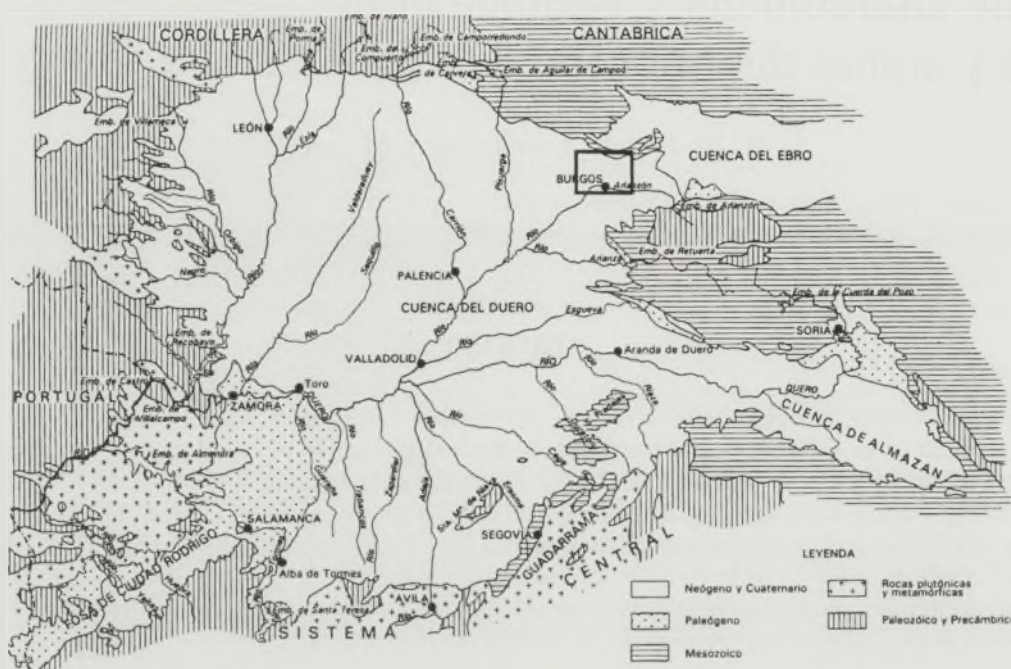


FIGURA 1. Mapa de encuadre geológico general de la zona de estudio (Pineda et al., 1997).

Los parámetros de resistencia al corte efectiva considerados para el análisis de talud a largo plazo se han obtenido en el ensayo de corte directo tipo Consolidado y Drenado (CD) tanto en muestras inalteradas (que representan el estado sano de los materiales) como en muestras tratadas con ciclos de humedad-sequedad (que representan el estado de máxima alteración física). En este último caso, los parámetros de resistencia han sido medidos para muestras tratadas con 2 y 5 ciclos de humedad-sequedad. Los tratamientos de humedad-sequedad se han realizado con una presión de confinamiento de $0,2 \text{ kg/cm}^2$.

Por último, se ha realizado el cálculo del factor de seguridad (F.S.) empleando el programa *Slide v 4.0, Rocscience* para el perfil tipo de la figura 2, que se ha establecido en función de los datos de campo y datos de sondeo. El método de cálculo empleado es el de equilibrio límite de Bishop Modificado (Bishop, 1955) para una rotura circular. La situación de nivel freático considerada para el cálculo (estado semi-saturado) es debido a la localización intermedia del nivel freático en el talud general.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las observaciones de campo han revelado que en los taludes del área de estudio la mayor parte de las inestabilidades están asociadas a dos procesos de alteración. En los niveles de materiales areno-arcillosos superficiales el proceso más significativo es la erosionabilidad, en forma de regueros y surcos, llegando al grado de cárcavas (De Belle, 1971), mientras que en las capas formadas por las arcillas margosas yesíferas y los yesos el proceso más importante en

la mayoría de los taludes lo desempeña la meteorización física (ciclos de humedad-sequedad). Esta alterabilidad en ocasiones afecta materiales de hasta 1 m en la vertical y más de 4 m en el frente de los taludes. El efecto de dichos procesos en los materiales estudiados se manifiesta en la pérdida de la resistencia y aumento de la deformabilidad en el conjunto del talud produciendo las numerosas inestabilidades de taludes observadas en esta zona (Monterrubio et al., 2001; Rodríguez, 2003). Este hecho, también se ve al comparar los valores de cohesión y ángulo de rozamiento interno efectivos obtenidos en las muestras de las unidades UG-3 y UG-4 donde se aprecian diferencias de los parámetros mecánicos en función de la alteración, mostrando claramente comportamientos distintos. En estado sano, los materiales presentan características de materiales competentes propio de estos tipos de sedimentos. Estos parámetros se van reduciendo de forma importante con los ciclos de humedad-sequedad (h-s) y la erosión. Esta reducción puede alcanzar hasta el 35% con solo dos ciclos h-s para alcanzar los valores residuales a los cinco ciclos de h-s. Los parámetros resistentes del sedimento sano arrojan valores medios de cohesión y ángulo de rozamiento interno de $0,55-1,0 \text{ kg/cm}^2$ y $26^\circ-29^\circ$, respectivamente, mientras que las muestras tratadas con cinco ciclos h-s (que representan el estado de máxima alteración) poseen valores de cohesión $0,1 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de rozamiento interno de $14^\circ-16^\circ$, acercándose a los valores residuales. En este estado de alteración, se puede producir una rotura dependiente del tiempo que se encuadra dentro de una rotura retardada, es decir, mecanismo que incluye los procesos que ocasionan el deterioro progresivo de los taludes al reducir los parámetros resistentes a lo largo del tiempo (López Jimeno,

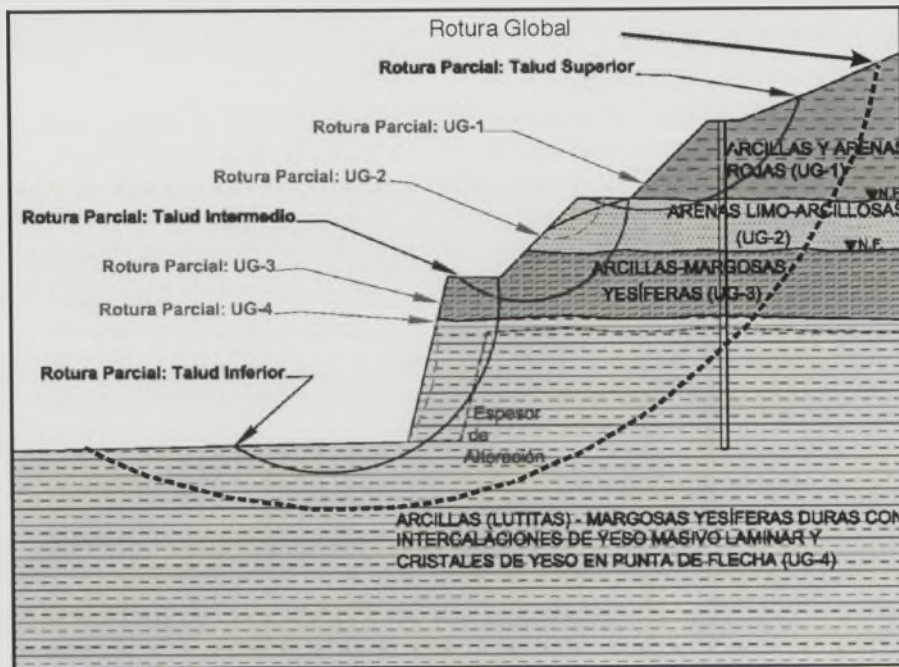


FIGURA 2. Perfil geológico-geotécnico tipo de cálculo y tipologías de roturas analizadas: global y parciales.

1999). Si esto se compra con los resultados obtenidos en el análisis retrospectivo de los grandes deslizamientos (Monte-rubio *et al.*, 2001) se puede afirmar, que el límite de la estabilidad de estos terrenos está controlado por los parámetros en estado de máxima alteración, que está muy cerca de los valores residuales.

Este aspecto también se puede ver en el análisis cuantitativo de la estabilidad de taludes realizado para el perfil tipo de la figura 2. Después de varios análisis de estabilidad, empleando las características resistentes de muestras sanas

y muestras tratadas y con la posición del nivel freático a la altura del límite entre las UG3 y UG4 se obtienen factores de seguridad muy distintos tanto para roturas parciales como para roturas globales (Fig. 3). Por lo general, los análisis realizados empleando los parámetros de las muestras sanas dan valores del FS muy superior a la unidad: sin embargo si empleamos los parámetros de resistencia de las muestras alteradas el FS está cerca o es inferior a la unidad, siendo esta reducción muy acusada en el caso de las arcillas margosas yesíferas.

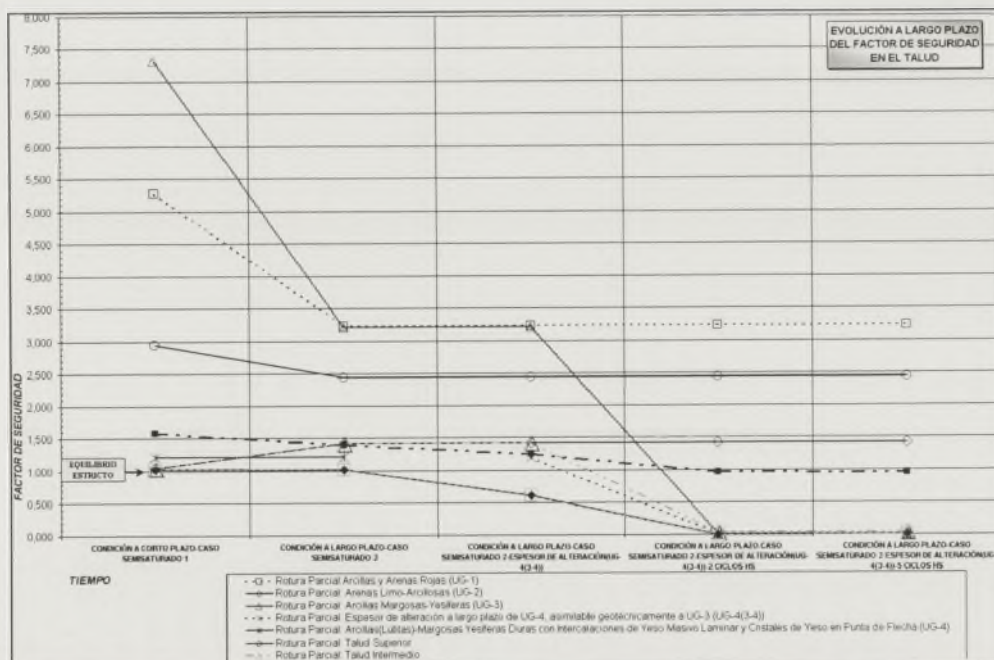


FIGURA 3. Evolución a largo plazo -tiempo- del factor de seguridad en el talud, para los diversos casos de roturas analizadas.

CONCLUSIONES

La evaluación de la erosionabilidad y alterabilidad, principalmente debido a ciclos de sequedad-humedad, ha puesto de manifiesto una importante reducción de los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción interna y cohesión) hasta valores residuales en los materiales del Mioceno de la zona de Villalonquejar (Burgos).

Comprando los resultados obtenidos en el análisis retrospectivo de los grandes deslizamientos, se puede afirmar que el límite de la estabilidad de estos terrenos en taludes a largo plazo está controlado por los parámetros en estado de máxima alteración, que están cerca de los valores residuales.

En un primer instante los taludes y laderas experimentan un proceso de erosión que evoluciona hacia una erosión regresiva, que al acumular sedimentos al pie, aumenta las fuerzas estabilizadoras, sin embargo, a largo plazo se produce el mecanismo de rotura retardada en el cual la meteorización progresiva produce la reducción de los parámetros resistentes hasta valores prácticamente residuales, pudiendo provocar la rotura generalizada global del talud.

AGRADECIMIENTOS

Los autores, agradecen la colaboración prestada en Laboratorio de Ingeniería Geológica del Dpto. de Geodinámica de la Facultad de CC. Geológicas de la U.C.M., y a la empresa GEOPRIN, S.A. (grupo PROINTEC, S.A.) por los datos de Sondeo.

REFERENCIAS

- Bishop, A.W. (1955): The use of slip circle in the stability of slopes. *Geotechnique*, 5: 7-17.
- Chandler, R.J. (1972): Lias clay. Weathering processes and their effect on shear strength. *Geotechnique*, 22: 403-431.
- De Belle, G. 1971: *Roadside erosion and resource implications in Prince Edward Island: with special reference to western Prince County*. Monograph: Information Canada, Ottawa. 25 p.
- Lempp, CH. (1981): Weatherability of overconsolidated pelitic rocks of the Keuper and Jurassic in Southwestern Germany. *BIAEG*, 23, 201-108.
- López Jimeno, C., Ed. (1999): *Manual de estabilización y revegetación de taludes*. Madrid, 704 p.
- Monterrubio, S., Yenes Ortega, M., Sánchez Matias, J., Blanco Sánchez, J.A., Fernández Macarro, B. y Santos Delgado, G. (2001): Características geotécnicas de la facies Dueñas en el sector central de la Cuenca del Duero y sus implicaciones en la formación de los grandes deslizamientos rotacionales en la zona. En: *V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Madrid, Vol. I, 149-160.
- Pineda, A., Arce, J.M. et al. (1997): *Mapa geológico de España 1:50.000, hoja nº 200 (Burgos)*. IGME, Madrid.
- Rodríguez Escribano, R. (2003): *Análisis de la durabilidad y estabilidad de taludes naturales y artificiales en suelos: aplicación a un talud en Villalonquejar (Burgos)*. Trabajo de DEA. Universidad Complutense de Madrid.
- Tsige M. (1999): *Micrófabrica y mineralogía de las arcillas azules del Guadalquivir y influencia en sus propiedades geotécnicas*. Ministerio de Fomento, CEDEX, Monografía nº 64, 294 p.
- Yenes, M., Monterrubio, S., Fernández, B., Blanco, J.A. y Santos, G. (2001): Inventario de Deslizamientos del Centro de la Cuenca del Duero. En: *V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, Madrid, Vol. II, 511-523.