

APLICACIÓN A LA PROGNOSIS DE INESTABILIDADES EN LOS TALUDES DE DESMONTES EN LA ALPUJARRA GRANADINO-ALMERIENSE

J. C. Hernández del Pozo¹, L. Fernández Caballero² y J. C. Hernández Garvayo³

¹ *Universidad de Granada*

² *Cavisur, Granada*

³ *Geotécnica del Sur, Granada*

RESUMEN.- Basados en los trabajos realizados sobre la red de carreteras de las Alpujarras en las épocas de lluvias que han soportado nuestras infraestructuras a partir del año 1996, los autores presentan el análisis de estabilidad de los taludes próximos en la A-348, que han sufrido distintos movimientos.

La necesidad de combinar la hidrología, el medio ambiente y el análisis geotécnico queda patente en un estudio comparativo sobre desmontes de más de veinte metros, tratados con Drenes California en un caso y en otro sin tratar.

La relación causa-efecto del agua y las inestabilidades es el objeto principal de esta comunicación, y se desarrolla un intento de conocimiento de la infiltración del agua y su colaboración desde las presiones intersticiales a los movimientos del terreno citado.

El método seguido de BACK-Análisis permite introducir en el cálculo parámetros reales así como demostrar la eficacia de la disminución de las presiones intersticiales en este tipo de terrenos.

El talud aparentemente menos peligroso desde un reconocimiento meramente de tipo organoléptico, no fue capaz de mantenerse estable ante las últimas lluvias, mientras que el que recibió el tratamiento de drenaje se ha mantenido estable con pendientes de 1V:1H.

INTRODUCCIÓN

La comarca de la Alpujarra Baja, situada en la zona que desciende hacia el oriente de nuestra provincia y para el Mediterráneo, tiene aun problemas pendientes en demasía. Bien es cierto que en ella se han realizado bastantes mejoras, sobre todo en los términos costeros y en el de la capitalidad. La A-348, que discurre por la comarca alpujarreña baja, es el acceso natural a la difícil y escarpada orografía del Sureste granadino.

Esta topografía abrupta y complicada, dificulta el paso de ejes viarios importantes; todos ellos recurren a los escasos pasos naturales disponibles en la zona; la A-348, objeto de este estudio es una de ellas.

Desde el punto de vista paisajístico, la carretera en cuestión reintegra un gran mosaico natural con una inmensa potencialidad turístico-recreativa que se ha visto incrementada en los

últimos años, convirtiéndose en un lugar de visita tanto para el turismo nacional y muy en especial para el internacional, que busca recónditos paisajes aún vírgenes.

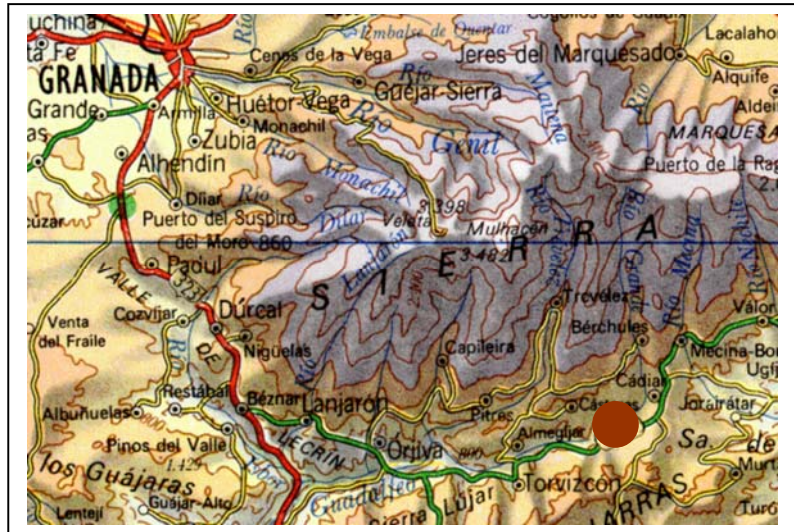


Fig. 1.- Zona de estudio

La geología predominante viene determinada por materiales pertenecientes al Complejo Alpujárride, formado por varios mantos de corrimiento. Cada uno de ellos está constituido por dos formaciones bien diferenciadas: una inferior, que está compuesta esencialmente por materiales metapelíticos (micasquistos y/o filitas con intercalaciones cuarcíticas y a veces migmatitas y gneises), y otra superior, constituida por derrubios, con mayor o menor grado de compacidad; la transición entre ambas suele estar representada por un tramo de calcosquistos de desarrollo variable. La continuidad y la correlación entre los mantos alpujárrides es una cuestión aún discutida.

Los diversos estudios que hemos realizado acerca de las inestabilidades presentadas en los taludes de la A-348 nos han llevado a determinar que nos encontramos ante casos claros de deslizamientos planos *no superficiales*, ya que se han encontrado potencias medias de



7 metros (espesores de entre 5 y 9 metros medidos con Inclinómetro Hita).



Fig. 2. Ejemplos de deslizamientos en materiales alpujárride



Fig.2 Bis.

Para determinar el orden de magnitud de los parámetros geotécnicos correspondientes se han llevado a cabo diversos estudios de corte directo (*del tipo lento*) en muestras de los materiales existentes en los citados taludes afectados de deslizamientos.

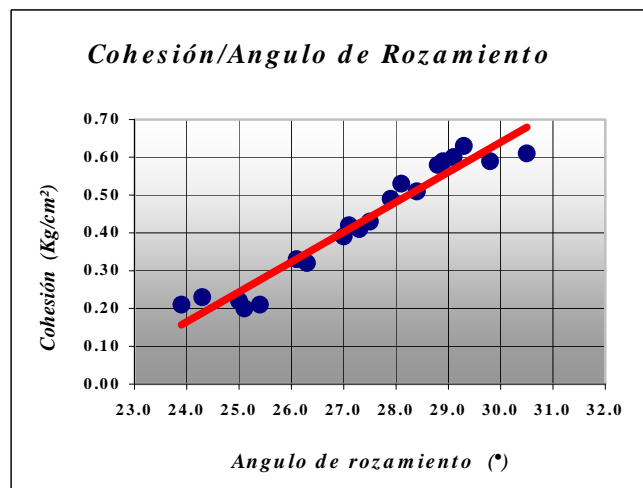
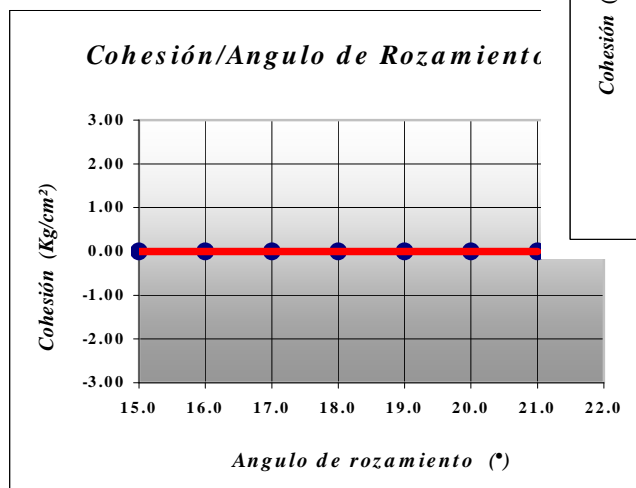
Así obtenemos para valores de pico el siguiente gráfico (Gráfico 1) donde se representa la correlación entre la cohesión c y el ángulo de rozamiento interno ϕ . (Gráfico 1)

Si repetimos el ensayo para valores residuales obtenemos (Gráfico 2):

- *Nota: Estos valores se han obtenido con un solo ciclo del ensayo de corte directo, lo cual según puede suponer una limitación, puesto que otros autores han indicado que para un número mayor de ciclos podríamos obtener valores diferentes.*

(Gráfico 2)

Según expone Soriano Peña (1997) en el IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, pág. 928, existe un relación entre la potencia de un deslizamiento plano y la cohesión existente, que responde a la siguiente fórmula:



$$D = \frac{C}{\gamma} \cdot \frac{\cos \beta \cdot \cos \phi}{\cos \beta \cdot \sin (\beta - \phi) + r_u \cdot \sin \phi} \quad (1)$$

es decir, $D = C / \gamma \cdot f(\beta, \phi, r_u)$ (2)

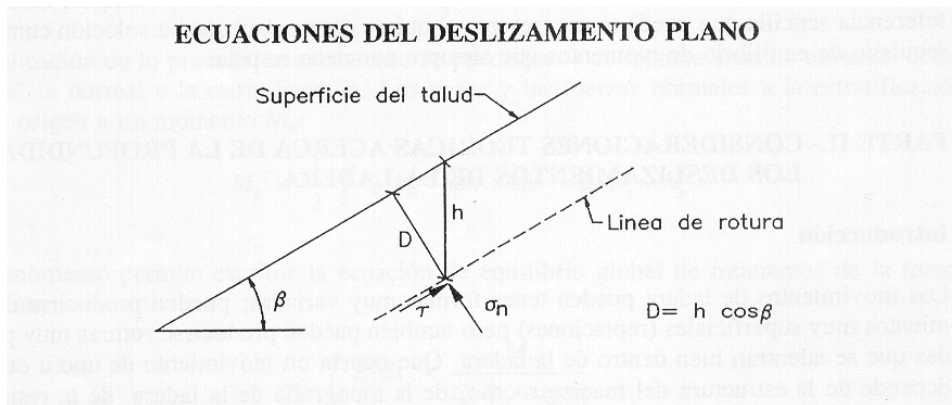


Fig. 3. Esquema del deslizamiento plano.

Esta formulación implica que si el terreno no tiene cohesión solo son posibles roturas superficiales (deslizamientos de piel), es decir para $C = 0$, el espesor $D = 0$.

Aceptando esta formulación, solamente nos surge la duda de porqué en estas condiciones los deslizamientos planos que hemos estudiado en los materiales alpujárrides no cumplen la anterior aseveración, ya que como hemos dicho con anterioridad, se presentan potencias medias de 7 metros.

En el momento de la rotura el coeficiente de seguridad será estricto y por tanto $C_s=1$, en cuyo caso puede desarrollarse la fórmula de Soriano, haciendo intervenir la longitud L de una cuña de deslizamiento de espesor D , el peso ω de dicha cuña y el valor de r_u .

Sabiendo que $r_u = u / \gamma h$, donde u es la presión intersticial, obtenemos la siguiente expresión:

$$\omega \sin \beta = (\omega \cos \beta - uL) \operatorname{tg} \phi + CL \quad (3) \quad \text{para } C_s = 1$$

Vamos a analizar la variabilidad de la función $f(\beta, \phi, r_u)$ que acompaña al factor C/γ en la fórmula de Soriano (1).

Cabe la posibilidad de que el denominador de la función sea igual a cero y por tanto la función tienda a ∞ , lo que daría como resultado para el caso de cohesión $C = 0$

que el valor del espesor de la masa deslizante D sería una indeterminación matemática del tipo $0 \cdot \infty$, no pudiendo afirmarse de manera general la superficialidad de la rotura.

Vamos a ver a que nos lleva anular la expresión del denominador de la fórmula de Soriano, admitiendo previamente que $\beta, \phi < \pi/2$ y $\phi \geq \beta$ (para $C = 0$).

$$\cos \beta \cdot \sin (\beta - \phi) + r_u \cdot \sin \phi = 0 \quad (4)$$

$$\cos \beta \cdot (-\sin (\phi - \beta)) = -r_u \cdot \sin \phi \quad (5)$$

Como $r_u = u / \gamma h$ y $h = D / \cos \beta$

$$\frac{u}{\gamma h} = \frac{\cos \beta \cdot \sin (\phi - \beta)}{\sin \phi} \quad (6)$$

$$\frac{u}{\gamma D} = \frac{\sin (\phi - \beta)}{\sin \phi} \quad (7)$$

Finalmente obtenemos una expresión muy similar a la propuesta por Soriano, pero en la que la correlación se establece en este caso entre el espesor de la capa y la presión intersticial, que es el caso de los materiales alpujárrides objeto de este estudio.

$$D = \frac{u}{\gamma} \cdot \frac{\sin \phi}{\sin (\phi - \beta)} \quad (7)$$

es decir, $D = u / \gamma \cdot f(\beta, \phi) \quad (8)$

Haciendo un análisis similar al realizado anteriormente podríamos terminar el estudio diciendo que cuando la presión intersticial u fuera nula el espesor de la capa deslizante también habría de ser nulo.

Pero si $\sin (\phi - \beta) = 0$, volveríamos a otra indeterminación del tipo $0 \cdot \infty$. La diferencia en este caso estriba en que para que $\sin (\phi - \beta)$ sea igual a cero, ϕ ha de ser igual a β , lo que en el caso de en que estamos de $C = 0$ y $u = 0$, es siempre cierto por definición de ángulo de rozamiento interno, por lo cual la fórmula es coherente.

Por tanto para suelo seco ($u = 0$), el talud será estrictamente estable, lo que obliga a que $\phi = \beta$, como era de esperar para $C_s = 1$.

Hay un caso particular interesante de analizar en la expresión (7) cuando b es igual a cero, es decir estamos ante un plano horizontal. En este caso lo que impone justo en la rotura es :

$$u = \gamma \cdot d = \gamma \cdot h$$

condición de presión efectiva nula en el plano de contacto, lo que quiere decir que existe inestabilidad del terreno al estar sifonado por la carga del agua, sin que haya que suponer un deslizamiento sobre un plano horizontal.

Podemos afirmar por tanto que en los límites los fenómenos de inestabilidad por sifonamiento y los deslizamientos planos están infinitamente próximos.

En resumen, podemos afirmar que:

1. Siendo la fórmula de Soriano para deslizamientos planos válida en una amplia mayoría de los casos, hay que indicar que el hecho de cohesiones nulas no implica que los deslizamientos solo se produzcan de manera superficial.
2. En condiciones de cohesiones nulas y coeficiente de seguridad igual a la unidad, el espesor de la capa deslizante se correlaciona con el valor de la presión intersticial siguiendo una estructura similar a la de la fórmula de Soriano.
3. En el caso de que la presión intersticial fuese cero, estaríamos en condiciones de estabilidad estricta, siendo cuando el ángulo de rozamiento interno fuese igual a la pendiente del talud.
4. Para estratos planos, no hay posibilidad de deslizamiento plano en condiciones de cohesión nulas, pero pueden darse problemas de inestabilidad derivados de fenómenos de sifonamiento, al anularse la presión efectiva del terreno.

APLICACIÓN

En los materiales alpujárrides hemos comprobado mediante ensayos de corte directo como las cohesiones se anulan, pero los deslizamientos planos observados presentan potencias elevadas como para considerarlos superficiales.

Por tanto, de acuerdo con las expresiones obtenidas (7 y 8), la estabilidad de los taludes compuestos de estos materiales son función, para unos parámetros geométricos determinados (ϕ , β), de la altura de la columna de agua, que es la que nos mide la presión intersticial, lo que nos lleva a abandonar la idea de deslizamientos superficiales.

En base a este estudio hemos confeccionado el siguiente ábaco Hernández-Fernández-Hernández, en el que para β, ϕ dadas (en valores residuales) podemos correlacionar el espesor de capa D con la altura de la columna de agua u/γ .

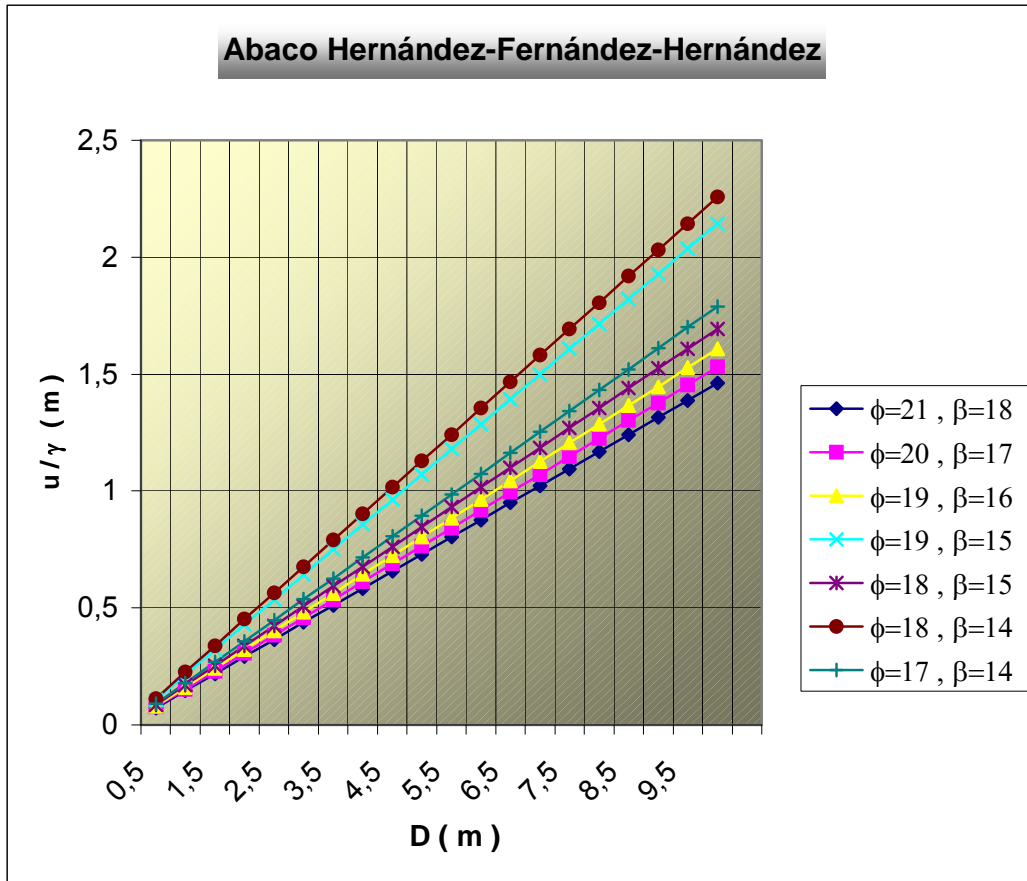


Fig. 4.- Ábaco Hernández-Fernández-Hernández

A raíz de la observación del ábaco, se colige que para los casos más típicos en los materiales alpujárrides ($C = 0, \gamma = 2 \text{ T/m}^3, \phi = 18^\circ$), el espesor de la capa deslizada es de entre 2,5 y 3,5 veces la presión intersticial existente.

Entonces, ¿ que ocurriría si lográsemos anular las presiones intersticiales en este tipo de materiales ?. Tal y como hemos demostrado podrían darse dos casos; o bien $D = 0$ y por tanto tenemos roturas superficiales, o bien $\beta = \phi$, lo que implica que $C_s > 1$, con lo que no habría deslizamiento alguno. En definitiva si anulamos las presiones intersticiales, lograremos la estabilidad del talud.

Nuestro estudio ha constatado que la colocación de diversas hileras de drenes California consigue reducir la presión intersticial en el interior de los taludes, hasta el punto de que taludes separados tan solo 50 m, sufrían deslizamientos planos no

superficiales en función de la existencia o no de drenes California, tal y como muestran las siguientes figuras.



Fig. 5.- Combinación de drenes california y escollera en la contención de taludes



Fig. 6. Eliminación de agua del trasdós de un talud mediante drenes california



Fig. 7. Deslizamiento plano en talud contiguo a los representados en las figuras anteriores, en el que no se ha hecho uso de drenes

Tras las últimas lluvias, hemos percibido un aspecto aún más curioso, y es que la zona de influencia de los drenes abarca una zona determinada en la vertical del mismo, de manera que si el talud tiene una altura considerable por encima de la línea de drenaje, aparecen deslizamientos como consecuencia de la no reducción de la altura de la columna de agua en las zonas más elevadas de los taludes.

En los casos estudiados, parece que esta franja en la que el dren ejerce correctamente su función abarca una línea vertical de entre 3 y 5 m, por lo que invita a pensar que una forma lógica de evitar los deslizamientos de las partes altas de los taludes es introducir una segunda hilera de drenes california para reducir el nivel freático del agua contenida en la masa deslizada lo que incrementa de forma notable la seguridad de las medidas correctoras, haciendo que éstas deban ser de menor magnitud, lo que se traduce en una mayor economía en cualquier solución.

Para cerrar la comunicación vamos a mostrar una encina salvada de la agresión de la carretera con un muro bulonado de pequeñas dimensiones, lo que supuso un esfuerzo inusual con el fin de adaptar y superponer las necesidades del entorno a las definiciones del proyecto.

Se puede decir que estos *Quercus ilex* son los árboles más característicos del país, donde ocupa la mayor superficie de entre todos los árboles y responde a las condiciones más generalizadas y características del clima mediterráneo, aunque las mayores alturas donde se encuentra es, en las que hoy nos ocupan, en el entorno Sierra Nevada.

Esta simbiosis se ha conseguido y el precio pagado parece irrisorio en comparación con la imagen majestuosa de una de estos árboles enmarcado dentro del alcorque creado para su sujeción.

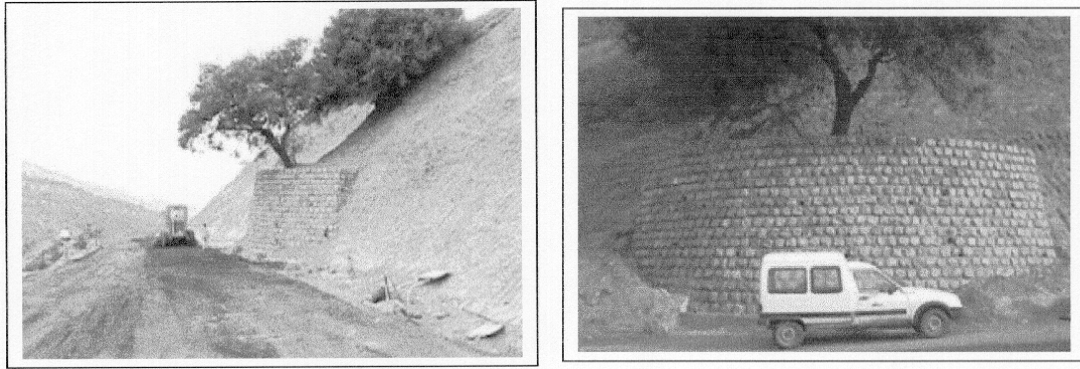


Fig. 8. Vistas laterales y frontales de la encina y su alcorque

Los modelos ejecutados para la realización del alcorque referido se detallan en los gráficos siguientes, donde además se ha planteado la necesidad de ejecutar dos parejas de bulones, una por cada lateral de la encina.

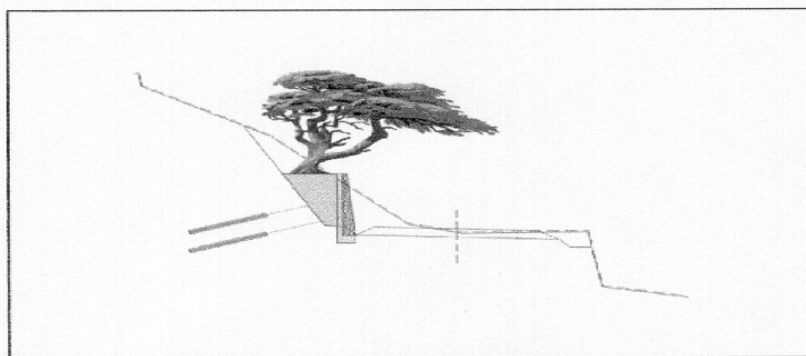


Fig. 9. Croquis de la solución

REFERENCIAS

Soriano Peña, A. (1997) . Análisis de problemas de estabilidad de taludes. IV Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables, pp. 928-929.

Alonso, E. (1989). Análisis de estabilidad de taludes. Monografía del SEG, nº 3, pp. 119-166.

Izquierdo, F. Cuestiones de geotécnica y cimientos . Universidad de Valencia, p. 227

Irigaray, C. ; Fernández, T. ; El Hamdouni, R. & Chacon, J. (2000). The importance of precipitation and the susceptibility of the slopes for the triggering of landslides along roads. *Natural Hazards*, nº 21 , pp. 65-81

Hernández del Pozo, J.C.; Ocete, I. & Sánchez, A. (2000). Necesidades paisajísticas frente a la definición del proyecto en la Alpujarra granadina. II Congreso Andaluz de Carreteras. Ponencia nº 95