



XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLOGICA Y GEOMÉTRICA DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA. ESTUDIO DEL DESLIZAMIENTO DE LA CARRETERA DEL MOLINAR (ALCOY, ALICANTE)

R. Tomás¹⁾, L. Bañón²⁾, A. Cuenca³⁾, J. Delgado⁴⁾, C. Doménech⁵⁾

(1) Universidad de Alicante, España. Dep. Expresión Gráfica y Cartografía. roberto.tomas@ua.es

(2) Grupo Ortiz. Construcciones y Servicios, S.A. España. lbanon@gruportiz.com

(3) Consejería de Obras Públicas Urbanismo y Transporte. artemio.cuenca@coput.m400.gva.es

(4) Universidad de Alicante, España. Dep. Ciencias de la Tierra. jose.delgado@ua.es

(5) Instituto Técnico de la Construcción S.A. Área de Geotecnia. geotecnia.alicante@itcsa.es

RESUMEN

Los movimientos de ladera son fenómenos gravitacionales capaces de producir importantes daños en las infraestructuras humanas anualmente. El reconocimiento de los movimientos de ladera se lleva a cabo a través de diversos indicadores geomorfológicos del terreno. Una vez identificados, el estudio de estos procesos exige una descripción de detalle que incluya, además de otros datos, sus dimensiones geométricas. La terminología empleada facilita la comunicación entre profesionales. Alcoy, situado en la provincia de Alicante, sufre un gran número de estos fenómenos debido sobre todo a dos causas, el crecimiento de la ciudad en torno a los escarpados márgenes de los ríos y la litología predominante en la zona. En el presente trabajo se presentan los principales rasgos geomorfológicos y características geométricas de los movimientos de ladera, aplicándolos a un movimiento de gran envergadura que afecta a la ciudad de Alcoy, conocido como deslizamiento de la Carretera del Molinar.

Palabras clave: Rasgos geomorfológicos, dimensiones geométricas, movimiento de ladera

ABSTRACT

Landslides are gravitational processes that annually cause important human infrastructures damages. Recognition of landslides is made identifying various geomorphological features on terrain surface. Once identified, the study of these processes demands a detailed description that includes, besides other data, its geometric dimensions. The used terminology facilitates the communication between professionals. Alcoy, located in Alicante Province, suffer a great number of this phenomena due to two causes, the growth of the city around the step river sides and the predominant lithology in the area. In this work we present the principal features and geometric characteristics of the landslides, applying them to a great landslide that affects the city of Alcoy, called Carretera del Molinar Landslide.

Keywords: Geomorphological features, geometrical dimensions, landslide

1. Introducción

Los movimientos de ladera (landslides) constituyen procesos gravitacionales que movilizan pendiente abajo grandes masas de suelo y/o roca afectando a las infraestructuras humanas asentadas sobre ellas o sus proximidades, causando cuantiosas pérdidas materiales anualmente.

El reconocimiento espacial de estos fenómenos constituye el primer paso en el estudio de los riesgos asociados. La identificación suele llevarse a cabo fundamentalmente a través de la interpretación de rasgos geomorfológicos del relieve (Delgado y Tomás, 2003.a) haciendo uso de fotografías aéreas, imágenes satélite y observaciones de campo. Una vez identificado un movimiento de ladera es necesario establecer su localización geográfica estableciendo sus coordenadas WGS y la altitud, generalmente de la coronación (WASSS, 1997).

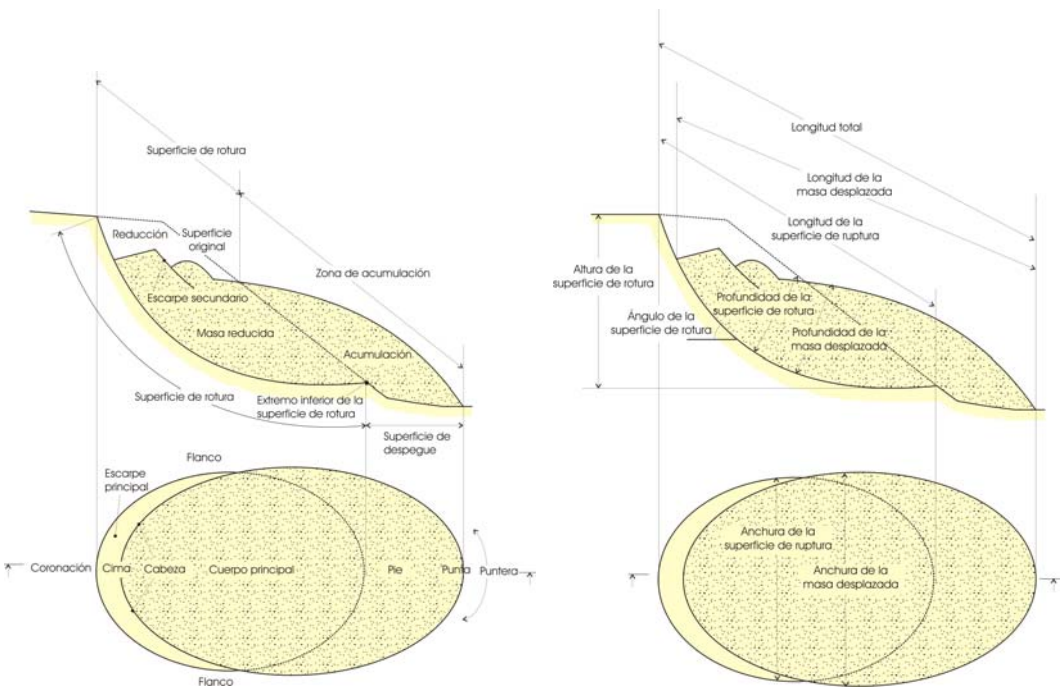


Fig. 1.- Partes y geometría de un movimiento de ladera (WP/WLI, 1993; Dikau et al. 1996; Corominas y García-Yagüe, 1997)

El presente trabajo se centra en los movimientos de ladera denominados deslizamientos (slides), cuyos principales criterios geomorfológicos de reconocimiento son (modificado de Corominas, 1989 y Vallejo et al. 2002):

- Anomalías en la pendiente de la ladera.
- Desvío de cauces.
- Formas lobuladas por acumulación de material.
- Perfiles longitudinales cóncavo-convexos.

Los deslizamientos pueden clasificarse atendiendo a la geometría de la superficie o superficies de rotura que puede ser (WSSS, 1997): Plana (P), escalonada (E), en cuña (W), circular (C), no circular (NC), circular múltiple (MC) u ondulada (O).

Cuando los deslizamientos se producen sobre tierra o suelos y no sobre rocas ni derrubios, podemos distinguir dos tipos de deslizamientos (Cruden y Varnes, 1996): deslizamiento de tierras rotacional (rotational earth slide), con una superficie de rotura curvilínea, y translacional (translational earth slide) con una superficie de rotura plana.

La diferenciación entre unos y otros desde una perspectiva estrictamente geomorfológica puede llegar a ser difícil, aunque la observación de las formas del relieve puede desvelar el tipo de rotura. Soeters y Van Westen (1996) han establecido una relación entre la profundidad (D_d) y la longitud (L_d) de la masa desplazada inferior a 0.1 para deslizamientos de tierra traslacionales y entre 0.1 y 0.3 para rotacionales.

Una vez identificado el movimiento de ladera ha de estudiarse la geometría de éste. Sus dimensiones pueden ser muy variadas tanto en planta como en sección longitudinal existiendo una terminología establecida para su estudio (Fig. 1). Las principales dimensiones utilizadas en la caracterización geométrica de deslizamientos son las siguientes (modificado de Dikau et al., 1996; Fig. 1):

- *Longitud total (L)*: distancia mínima comprendida entre la punta y la coronación del deslizamiento.
- *Longitud de la masa desplazada (L_d)*: Distancia mínima comprendida entre la punta y la cima del deslizamiento.
- *Longitud de la superficie de ruptura (L_r)*: Es la mínima distancia comprendida entre el extremo inferior de la superficie de ruptura y la coronación.
- *Profundidad de la superficie de ruptura (D_r)*: Es la máxima profundidad de la superficie de ruptura existente por debajo del talud original medida en la dirección perpendicular al plano constituido por W_r y L_r .
- *Profundidad de la masa desplazada (D_d)*: Es la máxima profundidad de la masa deslizada medida en la dirección perpendicular al plano constituido por W_d y L_d .
- *Anchura de la superficie de ruptura (W_r)*: Es la distancia máxima comprendida entre los dos flancos y medida perpendicularmente a la dirección de L_r .
- *Anchura de la masa desplazada (W_d)*: Es el ancho máximo de la masa desplazada medido perpendicularmente a la dirección L_d .
- *Ángulo de la superficie de rotura (α_r)*: Ángulo formado por la superficie de ruptura con la horizontal.
- *Altura de la superficie de rotura (H_r)*: Distancia vertical entre la coronación y el pie de la superficie de ruptura.

2. Metodología de estudio del deslizamiento de la carretera Molinar

La información considerada en el análisis de la evolución temporal del deslizamiento con el fin de establecer su geometría ha consistido básicamente en el uso de pares de fotografías aéreas, lecturas de inclinómetros, datos topográficos de las cabezas de los inclinómetros, datos de campo así como algunos antecedentes históricos.

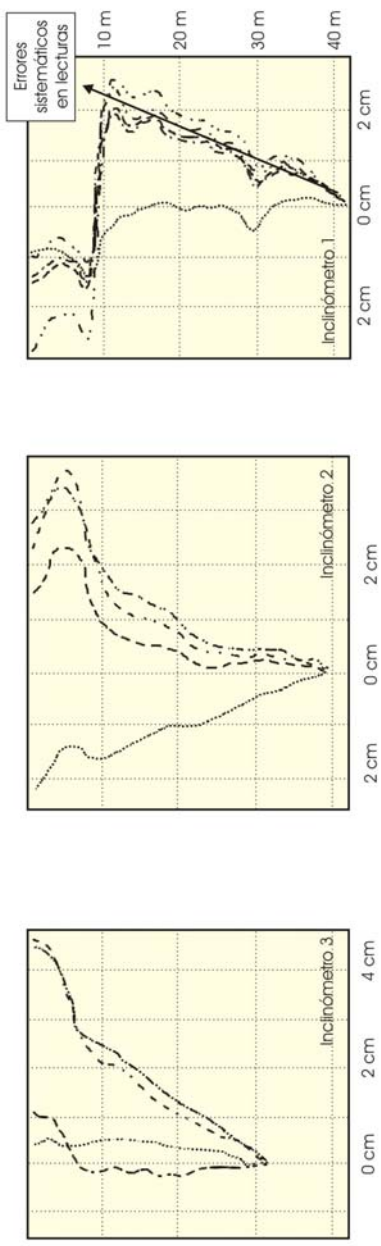
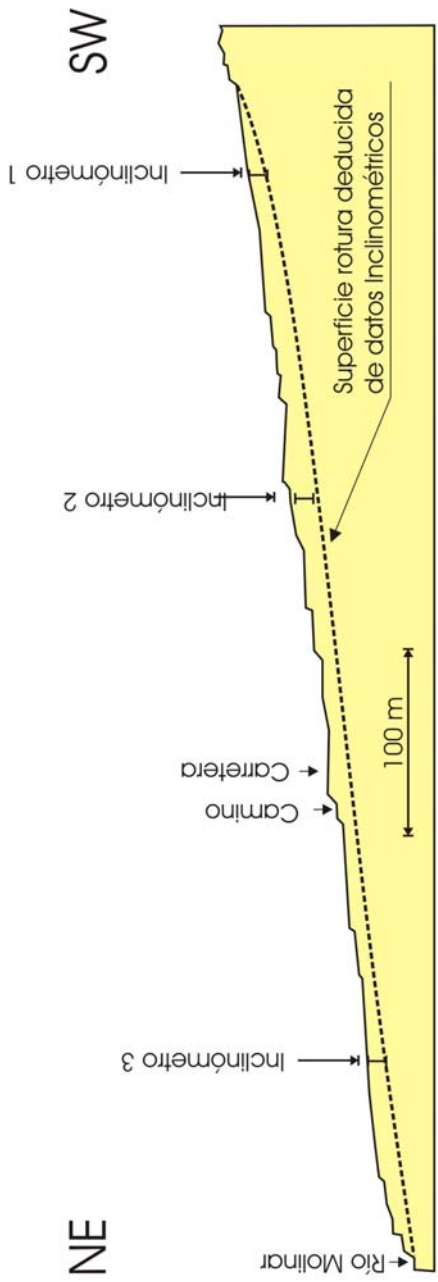
Los pares de fotografías aéreas analizados pertenecen a vuelos realizados durante los años 1956-1957, 1986 y 1997, siendo las escalas de las mismas 1:33.000, 1:18.000 y 1:5.000 respectivamente. Éstas han servido fundamentalmente para definir la planta del deslizamiento, así como la distribución espacial de los escarpes y demás elementos.

Los inclinómetros constituyen un sistema de auscultación muy utilizado para el control de deslizamientos de ladera. Éstos miden fundamentalmente la desviación respecto a la vertical de las paredes de un sondeo proporcionando así una medida de la deformación horizontal del terreno en profundidad en dos direcciones x-y. En el deslizamiento de la carretera del Molinar se llevó a cabo una campaña de auscultación entre los años 1982 y 1984 consistente en tres sondeos inclinométricos de unos 40 m de profundidad, de la cual se obtuvieron las lecturas que se muestran en la Figura 2. Otras fuentes de información empleadas en el estudio del deslizamiento del Molinar fueron las observaciones de campo que facilitaban datos sobre el estado actual del movimiento de ladera (Delgado y Tomás, 2003.b). Esta información, totalmente descriptiva, consistió básicamente en la identificación de daños en el firme de la calzada de la carretera de acceso al barranco así como en edificaciones colindantes. El último tipo de datos empleados en el estudio fueron diversas citas históricas recogidas en trabajos y memorias de los últimos 100 años.

3. Evolución del deslizamiento de la Carretera del Molinar

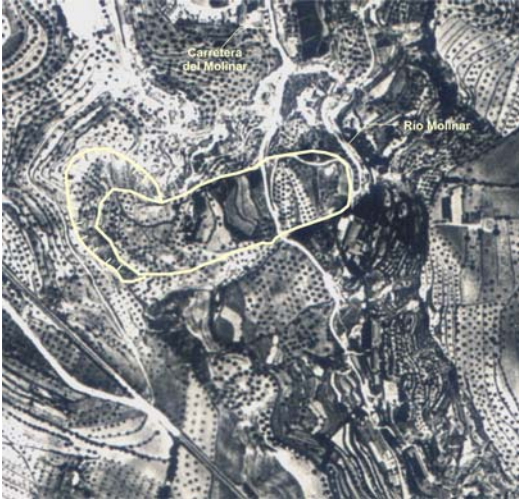
La principal información sobre la evolución planimétrica del deslizamiento se obtuvo a partir del análisis de las fotografías aéreas (Fig. 3) que permitieron identificar los límites del movimiento. La principal dificultad fue reconocer el límite neto del pie del movimiento de ladera dado que la acción erosiva del río Molinar lo modificaba sustancialmente en el tiempo, haciendo compleja su identificación. El estudio morfológico y geométrico que se hace en este trabajo corresponde al estado actual del deslizamiento, el cual sigue mostrando signos de actividad a través de fracturas en el firme de la carretera y grietas en las edificaciones situadas en el flanco izquierdo del movimiento aunque las velocidades son claramente inferiores a las estimadas en los años 80.

La masa desplazada y los escarpes del movimiento de ladera se encuentran altamente antropizado en comparación con el aspecto que presentaba en el año 1957 debido a las actuaciones que se han llevado a cabo sobre él para su estabilización así como las numerosas construcciones que se han realizado en sus proximidades. La velocidad del movimiento se estimó a partir de los datos inclinométricos mostrando una velocidad constante comprendida entre 0.6 y 1.2 mm/mes (IGME, 1985).

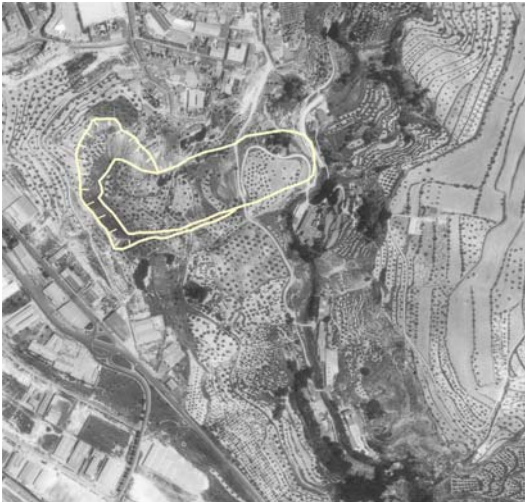


..... Nov. 1982 - - - Feb. 1984 - . . . Abril 1984 - - - Mayo 1984 - . . . Sept. 1984

Fig. 2.- Lecturas de los inclinómetros instalados en el deslizamiento del Molinar (IGME, 1985)



(a)



(b)



(c)

Fig. 3.- Evolución del deslizamiento de la Carretera del Molinar. Fotografías aéreas pertenecientes a los años: (a) 1956-1957, (b) 1986 y (c) 1997.

Por otro lado se han reconocido diversos parámetros morfológicos a partir del análisis de las fotografías aéreas y de los datos topográficos disponibles del terreno (Fig. 4). El primero de ellos es el cambio de curvatura que se produce en la topografía del deslizamiento, pasando de ser cóncava en la parte de la cabecera a convexa hacia el pie (Figs. 4 y 5). La curva pronunciada que hace el río al pasar por el pie del deslizamiento indica que la acumulación masiva de material al pie de la ladera ha ocupado el río viéndose este obligado a buscar un nuevo cauce (Fig. 4). Otro rasgo característico de la cartografía de los deslizamientos es el cambio brusco que se produce en las curvas de nivel al pasar por los flancos del movimiento debido al incremento de pendiente que en ellos se produce (Fig. 4).

Tabla 1: Parámetros geométricos del deslizamiento de la carretera del Molinar

Parámetro	Valor
Altitud s.n.m. (m)	662 m
Coordenadas UTM (Huso 30)	x 719.905
	y 4.285.289
Superficie de rotura	Plana
Longitud total, L_t (m)	450 m
Longitud de la masa desplazada, L_d (m)	427 m
Longitud de la superficie de ruptura, L_r (m)	450 m
Profundidad de la superficie de ruptura, D_r (m)	12 m
Profundidad de la masa desplazada, D_d (m)	12 m
Anchura de la superficie de ruptura, W_r (m)	201 m
Anchura de la masa desplazada, W_d (m)	125 m
Pendiente mínima-máxima//media de la ladera (°)	2-30°//11°
Ángulo de la superficie de rotura, α_r (°)	12°
Altura de la superficie de rotura, H_r (m)	90 m
Relación D_d/L_d	0.028 < 0.1

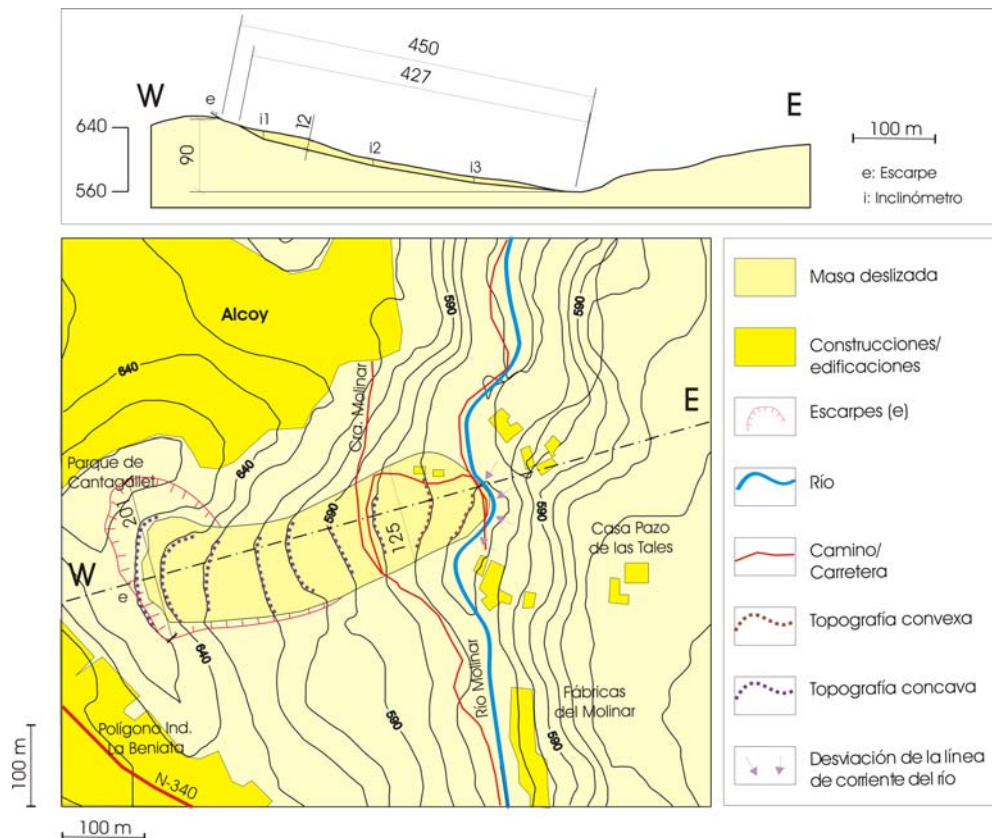
Un último paso en el estudio gráfico-técnico de los deslizamientos suele ser la elaboración de un modelo 3D o bloque diagrama que permita observar de forma inmediata la morfología del movimiento de ladera. En el caso del movimiento de ladera del Camino del Molinar ha sido realizada a partir de un modelo digital del terreno (MDT) a escala 1:25.000 de la zona de estudio sobre el que se ha superpuesto la planimetría deducida de la fotografía aérea del año 1991.

4. Parámetros geométricos y geomorfológicos del deslizamiento de la Carretera del Molinar

Como ya se ha descrito en el primer apartado del presente trabajo, se han establecido una serie de parámetros por convenio que permiten definir la geometría del movimiento de ladera estudiado y que en este caso se van a aplicar al deslizamiento del Molinar. Los índices geométricos del deslizamiento del Molinar son los que se indican en la Tabla 1.

Tal y como se deduce de los datos inclinométricos y de los cálculos de estabilidad llevados a cabo por el IGME (1985) el deslizamiento parece tener una superficie de

rotura situada a unos 10-12 metros de profundidad con una morfología plana. El extremo inferior de la superficie de ruptura se sitúa en el mismo río Molinar lo que hace que coincidan la longitud total y la de ruptura, no existiendo zona de despeje debido a la acción erosiva del río.



La longitud de la masa desplazada resulta ser inferior a la longitud total dado que en la cabecera del deslizamiento existen unos escarpes muy desarrollados. La anchura de la superficie de ruptura es muy superior a la de la masa desplazada siendo los valores medidos de 201 y 125 m respectivamente.

Por otro lado se han reconocido diversos parámetros morfológicos a partir del análisis de las fotografías aéreas y los datos topográfico disponibles del terreno (Fig. 4). El primero de ellos es el cambio de curvatura que se produce en la topografía del deslizamiento, pasando de ser cóncava en la parte de la cabecera a convexa hacia el pie (Figs. 4 y 5). La curva pronunciada que hace el río al pasar por el pie del deslizamiento indica que la acumulación masiva de material al pie de la ladera ha taponado el río viéndose este obligado a buscar un nuevo cauce (Fig. 4). Otro rasgo característico de la cartografía de los deslizamientos es el cambio brusco que se produce en las curvas de nivel al pasar por los flancos del movimiento debido al incremento de pendiente que en ellos se produce (Fig. 4).

Un último paso en el estudio gráfico-técnico de los deslizamientos suele ser la elaboración de un modelo 3D o bloque diagrama que permita observar de forma inmediata la morfología del movimiento de ladera. En el caso del movimiento de ladera del Camino del Molinar ha sido realizada a partir de un modelo digital del terreno (MDT) a escala 1:25.000 de la zona de estudio sobre el que se ha superpuesto la planimetría deducida de la fotografía aérea del año 1991.

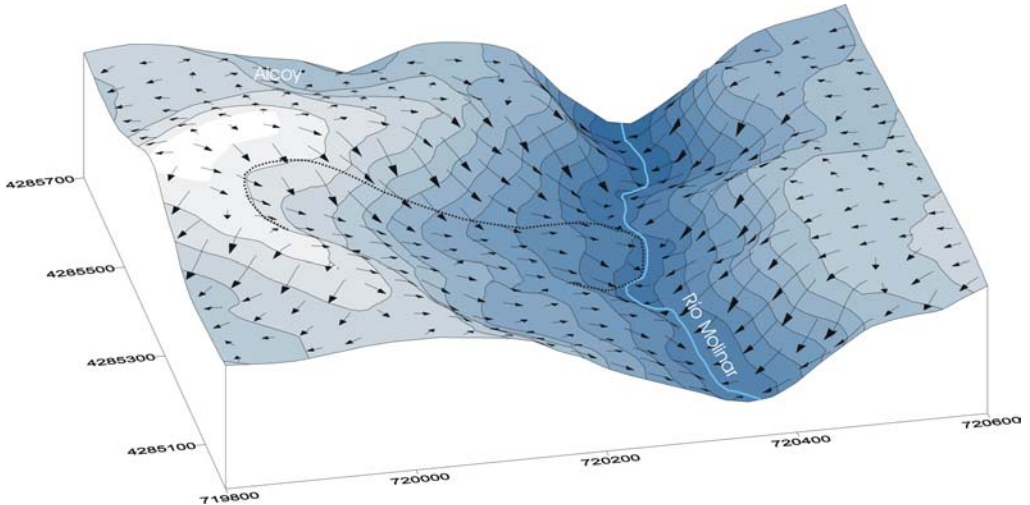


Fig. 5.- MDT del deslizamiento de la Carretera del Molinar.

5. Conclusiones

El primer paso en el estudio de los movimientos de ladera es el reconocimiento e identificación espacial de los mismos. Esto suele llevarse a cabo a través de los indicadores geomorfológicos. Una vez localizado el deslizamiento es necesario establecer su posición xyz, generalmente de su coronación.

El siguiente paso es caracterizar geoméricamente el deslizamiento. Para ello se ha establecido una nomenclatura estándar que facilita la comunicación entre profesionales de la Ingeniería Geológica dedicados al estudio de los movimientos de ladera. Estos parámetros se han determinado para el deslizamiento de la Carretera del Molinar (Alcoy) lo que ha permitido determinar que se trata de un deslizamiento planar de 450 metros de longitud total, una profundidad de la superficie de rotura y de la masa acumulada mínima de 12 m con una pendiente media de 12° . El estudio planimétrico ha permitido establecer los valores correspondientes a la anchura de la superficie de rotura y de la masa deslizada en 201 y 124 m respectivamente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto CTIDIB/2002/177 y es la publicación 01/2004 de la unidad de Ingeniería Geológica del grupo de investigación GRUPOS03/085 de la Generalitat Valenciana.

Referencias

COROMINAS, J. (1989). *Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera*. En Corominas, J. (ed.): Estabilidad de taludes y laderas inestables. Sociedad Española de Geomorfología, monografía nº3, 1-30. Barcelona.

COROMINAS, J., GARCÍA-YAGÜE, A. (1997). *Terminología de los movimientos de ladera*. IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables. Granada.

CRUDEN, D.M., VARNES, D.J. (1996). *Landslide types and processes*. En A.K. Turner y R.L. Schuster Eds. Landslides. Investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report 247, 36-75.

DELGADO, J., TOMÁS, R. (2003.a). *Geología Aplicada a la Ingeniería: Movimientos de Ladera*. En Recursos Didácticos para la enseñanza de los Riesgos Geológicos en la Provincia de Alicante. Edita ICE Universidad de Alicante. Alicante.

DELGADO, J., TOMÁS, R. (2003.b). *Movimientos de ladera en el casco urbano de Alcoy y Sectores adyacentes*. En Recursos Didácticos para la enseñanza de los Riesgos Geológicos en la Provincia de Alicante. Edita ICE Universidad de Alicante. Alicante.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.I., FERRER, M., ORTUÑO, L., OTEO, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Editorial Prentice Hall. Madrid.

IGME (1985). *Mapa geotécnico y de riesgos geológicos para la ordenación urbana de Alcoy*. Mapa de riesgos geológicos E: 1/25.000, 1/2.500 y 1/1.000. Memoria. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

SOETERS, R., VAN WESTEN, C.J. (1996). *Slope stability recognition, analysis and zonation*. En landslides Investigation and mitigation. Transportation Research Board Spec. Rep. 247. Turner and Schuster Eds. Cahpter 8.

VARNES, D.J. (1978). *Slope movement types and processes*. En .L. Schuster y R.J. Krizek Eds. Landslides: analysis and control. Transportation Research Board. Special Report 176, 11-33.

WP/WLI (1993). *Multilingual landslide glossary*. The Canadian Geotechnical Society. BiTech Publishers Ltd.

WIDE AREA SLOPE STABILITY SERVER, WASSS home page (1997). <http://wasss.entpe.fr>