Utilización de técnicas geofísicas en la identificación de deslizamientos de ladera Application of geophysical methods in the indentification of landslides

Ana María León Gómez^{1*}, Ángel Tijera Carrión² y Rubén Ruiz Bravo²

Palabras clave

Sumario

Abstract

deslizamientos; estado del arte; métodos geofísicos; sísmica de refracción; tomografía eléctrica;

Keywords

landslides; state-of-the-art; geophysical methods; seismic refraction; electrical tomography; Una de las actividades principales de la geotecnia es el estudio de deslizamientos de ladera, para el que pueden emplearse métodos de prospección geofísica. Este artículo resume un estado del arte realizado previamente en el que se hace una revisión más extensa de qué técnicas de prospección geofísica se utilizan para el análisis de deslizamientos. En dicho estado del arte se parte de un artículo anterior que recopila documentos desde los años noventa hasta el año 2006 (Jongmans y Garambois, 2007) y se continúa realizando una revisión de diferentes publicaciones desde el año 2007 hasta el 2013. Con la información obtenida se procede a hacer un análisis cuantitativo de qué métodos son los más utilizados en el estudio de deslizamientos, y se establece cuáles de ellos son más adecuados para deslizamientos asociados a suelos y a rocas.

Como ejemplo del análisis llevado a cabo sobre los textos revisados, y como caso práctico de aplicación de técnicas geofísicas al estudio de deslizamientos, se presenta en este artículo el estudio realizado por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX sobre un deslizamiento de ladera.

The aim of the current paper is to highlight which geophysical methods are the most widely used in the study of landslides nowadays.

The investigation of landslides is one of the fundamental activities of Geotechnics. The development of that study can be carried out by applying geophysical methods of exploration. This article summarizes a state of the art previously done in a more extensive review of geophysical techniques which are used in the characterisation of landslides.

Formerly, Jongmans and Garambois (2007) had reviewed the applications of the main geophysical techniques to landslide characterisation. In their article, the authors compiled documentation that had been published after 1990 until 2006. Following on that paper, this study makes a review of several articles from 2007 until recent papers (2013), throughout a quantitative analysis of the most applied geophysical methods. The research carried out has allowed not only to point out the main geophysical techniques currently applied for landslides investigation, but also to establish which are the most suitable depending on their composition (soils or rocks).

As an example of the analysis carried out from the different publications reviewed, and as a case of application of geophysical techniques to the study of landslides, the study developed by the Geotechnical Laboratory CEDEX on a landslide is presented in this article.

1. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos en laderas son movimientos de masas de tierra que siempre han despertado un gran interés y por tanto han sido ampliamente estudiados. Existen diferentes clasificaciones de estos fenómenos, siendo la más utilizada la desarrollada por Cruden y Varnes (1996). Esta clasificación se basa en el tipo de movimiento que se produce durante el deslizamiento así como en el material afectado (roca o suelo).

El uso de métodos de prospección geofísica puede sustituir o complementar a técnicas más tradicionalmente aplicadas al estudio de deslizamientos como son los sondeos geotécnicos, ofreciendo frecuentemente una rebaja en los costes y el tiempo de ejecución del proyecto.

En el año 2007 Jongmans y Garambois hacen una revisión de los diferentes métodos geofísicos utilizados en el análisis de deslizamientos investigando artículos desde los años noventa hasta el año 2006 (Jongmans y Garambois 2007). Dicha revisión pone de manifiesto que para sacar el máximo partido a una campaña de geofísica aplicada al estudio de un deslizamiento es recomendable utilizar, siempre que sea posible, más de una técnica geofísica. Dado que el objetivo común de los diversos métodos de prospección geofísica es el estudio de una o varias propiedades físicas del terreno, aplicando más de un método se podrán estudiar diferentes parámetros y contrastar los resultados obtenidos a partir de cada una de ellos. Un reconocimiento amplio de los diferentes métodos geofísicos existentes se puede encontrar en diversos libros y publicaciones (Kearey

^{*} Corresponding author: analeongomez@gmail.com

¹ BRD Environmental Ltd. Banbury, United Kingdom.

² Laboratorio de Geotecnia (CEDEX), Madrid, España

et al. 2002; Udías 1997 y 1999; Telford et al. 1990; Louie 2001; Loke 1999).

Partiendo del trabajo de Jongmans y Garambois (2007) se ha realizado un estado del arte revisando artículos desde el año 2007 hasta la actualidad. Se han encontrado un total de veintiocho artículos, todos ellos obtenidos de diferentes congresos y publicaciones de libre acceso. Si bien es cierto que existen otras publicaciones, no se han podido tener en cuenta por no tener acceso libre a ellas.

La metodología seguida en el análisis de los trabajos ha sido siempre la misma, y como ejemplo de ella se presenta previamente y de una manera más extensa un análisis sobre el estudio de un deslizamiento realizado por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX en el año 2010 localizado en la provincia de Alicante. Además, la presentación de este trabajo concreto también pretende mostrar la utilidad y la aplicabilidad de la prospección geofísica al estudio de deslizamientos.

Con la revisión de artículos efectuada se ha elaborado, al igual que hicieran Jongmans y Garambois (2007), una tabla en función de la técnica geofísica aplicada que recoge las características más importantes del análisis y estudio de cada deslizamiento. Seguidamente se muestran una serie de gráficos a modo de resumen donde puede verse en qué proporción han sido utilizados los diferentes métodos geofísicos. Primero considerando por separado los estudios realizados por Jongmans y Garambois (2007) sobre los trabajos llevados a cabo desde los años noventa hasta 2006, segundo con los nuevas publicaciones desde el año 2007 al 2013, y por último considerándolos todos conjuntamente. En todos los casos también se hace un análisis en función del material afectado por el deslizamiento (suelo o roca).

Finalmente se ha elaborado otra tabla basada en el trabajo de Bell et al. (2006) donde se hace una valoración inicial de qué método geofísico aplicar en función del deslizamiento y del material afectado en el mismo.

2. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LOS DESLIZAMIENTOS ESTUDIADOS. APLICACIÓN A UN CASO CONCRETO

Como se ha comentado en el apartado anterior la metodología que se presenta a continuación es la que se ha llevado a cabo en todos los casos estudiados. Los deslizamientos revisados se han descrito en función del método o métodos geofísicos que se han aplicado para su estudio, recogiendo también la información disponible en cuanto a su localización, tipo de deslizamiento, tipo de material/es envuelto/s, información previa, características de la adquisición de datos de campo y finalmente presentando los resultados y conclusiones obtenidas.

2.1. Aplicación a un caso concreto. Deslizamiento de Mascarat

Este deslizamiento, ocurrido en el año 2007, se localiza en la zona de Mascarat en la localidad de Altea, provincia de Alicante (figura 1). Fue estudiado por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX utilizando métodos de prospección geofísica y otras técnicas más usuales en este tipo de trabajos como son ensayos geotécnicos en sondeos, medidas de auscultación y análisis de muestras en laboratorio. De su análisis se pone de manifiesto que la aplicación conjunta de diferentes técnicas permite una buena caracterización y valoración del deslizamiento.



Figura 1. Foto aérea de la zona de estudio y delimitación del total de la masa deslizada.



Figura 2. Plano de la zona donde se aplicaron las técnicas geofísicas con la localización y orientación de los perfiles ejecutados. También se representan, mediante puntos rojos, la situación de los hitos topográficos utilizados para la auscultación del deslizamiento.



Figura 3. Masa deslizada vista desde el escarpe en la zona del perfil 3.

Deslizamiento de Mascarat (Altea, Alicante).

- <u>Métodos empleados:</u> sísmica de refracción y tomografía eléctrica.
- <u>Tipo de deslizamiento:</u> deslizamiento superficial de tierras (figura 3).

Existe un espaciado diferente entre:

- <u>Materiales:</u> arcillas margosas y arenosas con cantos de caliza en la masa deslizada. Sustrato rocoso calizo-margoso.
- Información previa: estudio geotécnico (sondeos geotécnicos y ensayos de laboratorio) y medidas de auscultación (inclinómetros e hitos topográficos). A partir de las medidas inclinométricas se detectó el movimiento del terreno a una profundidad de unos 2 m. Este dato coincide con la existencia de un nivel de material más fino y de mayor plasticidad interpretado a partir de los ensayos de laboratorio a esa profundidad.
- Adquisición de datos:

Sísmica de refracción: se ejecutaron 4 líneas sísmicas de entre 22 y 46 m de longitud (figura 2). Se utilizaron entre 12 y 24 geófonos con una separación de 2 m entre ellos. Como fuente de energía se utilizó el golpeo de una maza sobre placa metálica. El equipo de adquisición fue un Abem Terralok MK6 y para la interpretación de los datos se trabajó con el software SeisImager 2D de Geometrics. Tomografía eléctrica: se llevaron a cabo 4 líneas eléctricas de entre 22 y 46 m de longitud con la misma disposición de electrodos que los geófonos de las líneas sísmicas. El dispositivo de medida utilizado para la adquisición de datos fue dipolo-dipolo y se realizó con el resistivímetro Syscal R1 de Iris Instruments. Para su interpretación se empleó el programa RES2DINV de Geotomosoft.

Resultados: en los perfiles 1 y 2 (figuras 4 y 5) la tomografía eléctrica detecta núcleos resistivos en las zonas más superficiales seguidos de niveles más conductivos que alcanzan profundidades medias de 2 m. Seguidamente se obtiene un nivel continuo muy resistivo. Los ensayos de sísmica de refracción revelan un cambio brusco de velocidad a partir de una profundidad media de 2 m, lo que delimita una primera capa de material con baja velocidad de propagación de ondas P. Ambos aspectos indican la existencia clara de una primera capa de material más suelto y descomprimido seguida de materiales más consistentes, lo que delimitaría el espesor de material deslizado. Los niveles conductivos detectados en los perfiles eléctricos podrían deberse a la filtración de agua de lluvia entre los materiales más sueltos y su acumulación en el suelo del deslizamiento.

El perfil 3 de tomografía eléctrica (figura 6) muestra una zona de baja resistividad que se extiende en profundidad limitada por zonas muy resistivas.



Figura 4. Modelo de resistividad para el perfil 1 de tomografía eléctrica (arriba) y modelo de capas interpretado según los valores de velocidad de ondas P para el perfil 1 (abajo).



Figura 5. Modelo de resistividad para el perfil 2 de tomografía eléctrica (arriba) y modelo de capas interpretado según los valores de velocidad de ondas P para el perfil 2 (abajo).



Figura 6. Modelo de resistividad para el perfil 3.



Figura 7. Modelo de resistividad para el perfil 4 de tomografía eléctrica (arriba) y modelo de capas interpretado según los valores de velocidad de ondas P para el perfil 4 (abajo).

Esta zona de baja resistividad puede interpretarse como una región de circulación de aguas debido a filtraciones en el terreno por grietas existentes en la zona. No se dispone de resultados sísmicos debido a la mala calidad de los datos de campo originada por dichas grietas.

A partir del ensayo de tomografía eléctrica del perfil 4 (figura 7), el cual no se encuentra afectado por el deslizamiento, se ha interpretado un nivel superior de menor resistividad con espesores inferiores a 2 m, y también un nivel de muy baja resistividad que puede deberse a una zona de acumulación de agua encima del sustrato rocoso impermeable.

Los resultados de sísmica de refracción de este perfil (figura 7) revela esta misma disposición. Se deduce un nivel superior de baja velocidad seguido de unas capas de velocidades de propagación de ondas P mayores y similares a las obtenidas en los perfiles 1 y 2. La capa más superficial con un valor de velocidad de propagación de 600 m/s y que presenta un espesor medio inferior a los 2 m, no se corresponde con el material desplazado por el deslizamiento obtenido en los otros perfiles con velocidades de propagación de ondas P entre 300 y 400 m/s. Este material se interpreta como una capa superficial alterada del sustrato inferior que ha sido removilizada durante la construcción de la berma de seguridad en la que se encuentra.

Analizando los resultados expuestos referentes a los ensayos de prospección geofísica, junto con la información previa, se determina que la superficie de deslizamiento se encuentra a una profundidad de unos 2 m. Además se obtiene la estructura interna del subsuelo en la zona del deslizamiento.

3. RESULTADOS

Este artículo, como ya se ha comentado previamente, parte de una publicación anterior de Jongmans y Garambois (2007) que concluye con una tabla resumen de los artículos revisados en la misma. Dicha tabla ha sido traducida y se incluye en este artículo (tabla 1).

Por otro lado, siguiendo la metodología de análisis de deslizamientos desarrollada en el apartado anterior para el deslizamiento de Mascarat, se ha realizado una tabla similar a la expuesta por Jongmans y Garambois (2007) (tabla 2) que recoge los deslizamientos analizados desde el año 2007 hasta la actualidad.

Tabla 1. Síntesis de métodos geofísicos usados en la investigación de deslizamientos (traducida de Jongmans y Garambois (2007)). Vp y Vs: velocidad sísmica de ondas P y ondas S respectivamente; ρ: resistividad; V: potencial eléctrico; ε: permitividad eléctrica; γ: densidad; α: gradiante medio de ladera. También se incluye la máxima penetración de investigación alcanzada con el método

Método	Parámetro -información	Contexto geológico	Tipo de deslizamiento	Aplicación-objetivo	Autores
Sísmica de reflexión	Vp, Vs, secciones verticales 2D	Sedimentos (arenas y arcillas)	Deslizamiento de tierra - flujo de derrubios (α=25°)	Contacto geológico (80 m)	Bichler et al. (2004)
	Vp, Vs, secciones verticales 2D	Yesos, lutitas, areniscas	Deslizamiento complejo activo (α=10º)	Superficie de deslizamiento (50 m) dentro de una capa de yeso	Bruno & Marillier (2000)
	Vp, Vs, secciones verticales 2D	Filitas, gneises	Caída de rocas (α=26º)	Geometría interna (estratificación, fracturas,)	Ferrucci et al. (2000)
	Vp, Vs	Margas alteradas y calizas	Deslizamiento complejo activo (α=7º)	Superficie de deslizamiento (3 m)	Glade et al. (2005)
Sísmica de refracción	Vp, Vs	Calizas, lutitas y derrubios	Caída de rocas activa - Flujo de derrubios	Superficie del sustrato rocoso (30 m) y estructura interna	Mauritsch et al. (2000)
	Vp, Vs	Margas negras	Deslizamiento complejo de fango (α=26º)	Superficie basal de deslizamiento (9 m)	Caris & Van Asch (1991)
Tomografía Sísmica	Vp, secciones verticales 2D	Pizarras	Deslizamiento de rocas traslacional (acantilado vertical)	Geometría del deslizamiento (5-10 m)	Jongmans et al. (2000)
	Vp, secciones verticales 2D	Micaesquistos	Caída de rocas (α=32º)	Caracterizar la masa deslizada y los límites del deslizamiento	Méric et al. (2005)
Mediciones de Ruido Sísmico (H/V)	Vs, perfil vertical 1D	Arcillas versicolores	Deslizamiento complejo y flujo de tierra (α=9- 10º)	Espesor del deslizamiento (30 m), reubicación de materiales	Lapenna et al. (2005)
	Vs, perfil vertical 1D	Margas negras	Deslizamiento complejo de fango (α=25º)	Superficie de rotura (35 m)	Méric et al. (2006)
	Vs, perfil vertical 1D	Arcillas estratificadas	Deslizamiento traslacional (α=10°)	Superficie deslizamiento (27-37 m) y profundidad del sustrato rocoso (33- 62 m)	Méric et al. (2006)
Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)	ρ, perfil vertical 1D	Areniscas arcillosas	Deslizamiento rotacional de suelo y roca (α=6º)	Superficie de deslizamiento (100 m)	Agnesi (2005)
	ρ, perfil vertical 1D	Margas negras	Deslizamiento complejo de fango (α=25°)	Superficie de deslizamiento y profundidad del sustrato rocoso (15 m)	Schmutz et al. (2000)
	ρ, perfil vertical 1D	Margas negras	Deslizamiento complejo de fango (α=25°)	Profundidad sustrato rocoso (7.5 m)	Caris & Van Asch (1991)

Continúa en la página siguiente

Utilización de técnicas geofísicas...

Método	Parámetro -información	Contexto geológico	Tipo de deslizamiento	Aplicación-objetivo	Autores
	ρ, sección vertical 2D	Calizas, lutitas	Caída de rocas (α=22º)	Superficie de rotura (10 m)	Batayneh & Al- Diabat (2002)
	ρ, sección vertical 2D	Sedimentos (arenas, arcillas)	Deslizamiento de tierra - flujo de derrubios (a=25º)	Contacto geológico y profundidad de superficie de deslizamiento	Bichler et al.(2004)
	ρ, sección vertical 2D	Derrubios de sedimentos aluviales en gneises	Gran deslizamiento de rocas (α=40º)	Superficie del deslizamiento en 3D y flujos de agua	Lebourg et al. (2005)
Tomografía Eléctrica	ρ, sección vertical 2D	Arcillas y arenas	Deslizamiento múltiple de tierras (α=8°)	Contacto geológico y profundidad de superficie de deslizamiento	Demoulin et al. (2003)
	ρ, sección vertical 2D	Arcillas versicolores	Deslizamiento complejo y flujo de tierra (α=9- 10º)	Superficie de deslizamiento (30 m)	Lapenna et al. (2005)
	ρ, sección vertical 2D	Arenitas y arcillas	-	Superficie de deslizamiento (20 m)	Havenith et al. (2000)
	ρ, sección vertical 2D	Micaesquistos	Gran deslizamiento de rocas	Límites laterales y espesor de la roca deslizada (100 m)	Méric et al. (2005)
	ρ, sección vertical 2D	Arenas arcillosas sobre rocas cristalinas	-	Profundidad superficie deslizamiento	Wisen et al. (2003)
Potencial Espontáneo	V, perfil horizontal 1D y mapa 2D	Yesos, lutitas, areniscas	Deslizamiento complejo activo (α=10º)	Flujo de agua ascendente en el deslizamiento	Bruno (2000)
	V, perfil horizontal 1D y mapa 2D	Arcillas versicolores	Deslizamiento complejo y flujo de tierra (α=9- 10º)	Límites del deslizamiento y flujos de agua	Lapenna et al. (2005)
	ρ, perfil horizontal 1D y mapa 2D	Yesos, lutitas, areniscas	Deslizamiento complejo activo (α=10º)	Límites laterales del deslizamiento	Bruno & Marillier (2000)
	ρ, perfil horizontal 1D y mapa 2D	Micaesquistos	Gran deslizamiento de rocas	Límites laterales del deslizamiento	Méric et al. (2005)
Electromagnetismo (EM-34 o TEM)	ρ, perfil horizontal 1D y mapa 2D	Margas negras	Deslizamiento complejo de fango (α=25°)	Superficie de deslizamiento y profundidad del sustrato rocoso (15 m)	Schmutz et al. (2000)
	ρ, perfil horizontal 1D y mapa 2D	Calizas, lutitas y derrubios	Caída de rocas activa - Flujo de derrubios	Localización de zonas saturadas	Mauritsch et al. (2000)
	ρ, perfil horizontal 1D y mapa 2D	Margas negras	Deslizamiento complejo de fango (α=26º)	Diferencias en contenido de agua	Caris & Van Asch (1991)
Georadar (GPR)	ε, secciones verticales 2D	Sedimentos (arenas y arcillas)	Deslizamiento de tierra - flujo de derrubios (a=25º)	Contacto geológico y superficie de deslizamiento	Bichler et al. (2004)
	ε, secciones verticales 2D	Calizas	Deslizamiento de rocas	Geometría de la masa en movimiento (5 m)	Petinelli et al. (1996)
	ε, secciones verticales 2D	Calizas	Deslizamiento de rocas	Localización de fracturas (15 m)	Jeannin et al. (2005)
Radar en sondeo		Gneis	_	Localización de fracturas (49 m)	Willenberg et al. (2004)
Gravimetría	γ, perfil horizontal 1D y mapa 2D	Flysch	-	Huecos en el sustrato rocoso cerca del escarpe principal	Del Gaudio et al. (2000)

Tabla 2. Síntesis de métodos geofísicos usados en la investigación de deslizamientos (2007-2013). $V_p y V_s$: velocidad sísmica de ondas P y ondas S respectivamente; ρ : resistividad; V: potencial eléctrico; ε : permitividad eléctrica; γ : densidad; α : gradiante medio de ladera. También se incluye la máxima penetración de investigación alcanzada con el método

Método	Parámetro - información	Contexto geológico	Tipo de deslizamiento	Aplicación - objetivo	Autores
	Vp,Vs, secciones verticales 2D	Calizas, argilitas y sedimentos	Flujo de rocas	Superficie de deslizamiento	Stucchi, E. et al. (2011)
	Vp, Vs, modelo 3D	Lutitas y margas	Flujo de tierras-flujo de Iodos	Superficies geológicas y modelo de fracturas	Eichkitz, C. et. al (2009)
	Vp,Vs, secciones verticales 2D	Arcillas, limos, arenas	Complejo, activo (α=10º)	Superficie de deslizamiento y estructura interna	Stucchi & Mazzotti (2009)
Sísmica de reflexión	Vp,Vs, secciones verticales 2D, tomografía de refracción	Sedimientos (arenas, cantos) y lutitas	Deslizamiento de tierras traslacional, regresivo y relicto	Estructura interna deslizamiento	Ogunsuyi,O. (2010)
	Vp, secciones verticales 2D	Arcillas saturadas (Quick clay)	Flujo rápido de tierras	Estructura interna deslizamiento	Malehmir, A. et. al. 2013
	Vp,Vs, secciones verticales 2D	Acantilados de rocas calizas	Desprendimientos de rocas	Sistema de fracturas	Jongmans, D. et. al. (2008)
	Vp, tomografía sísmica	Sedimentos (arcillas, cantos)	Deslizamiento de derrubios	Espesor del material deslizado	Narwold, Ch. & William, P. (2002)
	Vp, tomografía sísmica	Depósitos fluviales, conglomerados de lutitas y cantos	Deslizamiento de tierras (gravitatorio profundo) (a=20º)	Caracterización del deslizamiento	Narwold, Ch. & William, P. (2002)
	Vp, Vs, tomografía sísmica	Arcillas saturadas	Complejo: traslacional de tierras, rotacional, flujo	Vp: no concluyente; Vs: caracterización masa deslizada	Jongmans, D. et. al. (2009)
	Vp, Vs, tomografía sísmica, 3D	Gneises y granitos	Deslizamiento traslacional de rocas	Sistema de fracturas, roca sana	Heincke, B. et. al. (2010)
Sísmica de refracción	Vp, tomografía sísmica	Flysch (areniscas- calizas-esquistos)	Complejo: rotacional, traslacional	Estructura interna deslizamiento	Grandjean, C. et. al. (2011)
	Vp, tomografía sísmica	Hielo y rocas (permafrost)	Flujo por reptación	Distribucion del terreno	Maurer, H. et. al. (2010)
	Vp, tomografía sísmica, 3D	Arcillas, arcillas limosas- arenosas, saturadas	Complejo: traslacional y rotacional	Superficie de deslizamiento y sustrato rocoso	Sirles, P. et. al. (2011)
	Vp, tomografía sísmica, 3D	Arcillas, fragmentos de rocas de argilitas y volcánicas	Complejo	Superficie de deslizamiento y sustrato rocoso	Sirles, P. et. al. (2011)
	Vp, tomografía sísmica, 3D	Rocas cristalinas tipo gneis	Deslizamiento de rocas	Roca alterada (masa deslizada)	Maurer, H. et. al. (2010)
	Vp, tomografía sísmica	Arcillas margosas, arcillas arenosas con cantos de caliza	Deslizamiento de tierras superficial	Distribucion del terreno	Laboratorio de Geotecnia del CEDEX (2010)
Sísmica Pasiva	Vs. Ondas de superficie (sección vertical), ReMi (frecuencia)	Areniscas y lutitas (meteorizadas)	Deslizamiento traslacional de rocas	Estructura interna y superficie de delsizamiento	Che, A. & Luo, X. et. al. (2008)
	Vs. Ondas de superficie (sección vertical Vs). ReMi (Vs,frecuencia)	Margas con gravas, arcillas arenosas	Deslizamiento traslacional de derrubios	Estructura interna del deslizamiento	Che, A. & Luo, X. et. al. (2008)
	ReMi (Vs, frecuencia)	Arenas con cantos y bloques de areniscas	Complejo: caída de rocas y deslizamiento de derrubios	Espesor del material deslizado, plano y geometría del deslizamiento	Rucker, M.L. et. al. (2011)
	Ruido sísmico H/V (frecuencia). Ondas de superficie (s. vertical)	Arcillas saturadas	Comlejo: traslacional de tierras, rotacional, flujo	Caracterización masa deslizada	Jongmans, D. et. al. (2009)
	Vs, Ondas de superfice (sección vertical)	Flysch (areniscas- calizas-esquistos)	Complejo: rotacional y traslacional	Estructura interna deslizamiento y porosidad	Grandjean, C. et. al. (2011)

Continúa en la página siguiente

Utilización de técnicas geofísicas...

Método	Parámetro - Contexto información geológico		Tipo de deslizamiento	Aplicación - objetivo	Autores	
	ρ, sección vertical 2D	Flysch (areniscas-lutitas)	Complejo: expansión lateral, vuelco, deformaciones gravitatorias profundas	Profundidad del deslizamiento y fracturas	Pánek, T. et. al. (2008)	
	ρ, sección vertical 2D	Flysch (areniscas-lutitas)	Complejo: deformaciones gravitatorias profundas	Supercies de deslizamiento	Pánek, T. et. al. (2008)	
	p, sección vertical 2D	Flysch (areniscas-lutitas)	Deslizamientos de rocas y tieras (α>20º)	Superficies de deslizamiento y fracturas	Pánek, T. et. al. (2008)	
	ρ, sección vertical 2D	Sedimentos y Flysch muy fracturado	Complejo: traslacional, rotacional, flujo de tierras	Espesor de la masa deslizada. Superficie de deslizamiento, fracturas	Klime [°] s.,J, et. al. (2009)	
	ρ, sección vertical 2D	Rocas sedimentarias: calizas sobre margas y arcillas	Rotacional	Contenido humedad.	Bell, R. et. al. (2006)	
	p, sección vertical 2D	Bloques de roca caliza y arenas	Traslacional de rocas	Delimitación la masa movilizada, superficie deslizamiento y fracturas	López, V. et. al. (2009)	
	ρ, sección vertical 2D	Arcillas saturadas	Comlejo: traslacional de tierras, rotacional, flujo	Datos no concluyentes	Jongmans, D. et. al. (2009)	
	ρ, sección vertical 2D	Sedimientos (arenas, cantos) y lutitas	Deslizamiento de tierras traslacional, regresivo y relicto	Superficie de rotura y geometría interna del deslizamiento	Ogunsuyi,O. (2010)	
	ρ, sección vertical 2D y 3D	Gneises y granitos	Deslizamiento traslacional de rocas	Sistema de fracturas, roca sana	Heincke, B. et. al. (2010)	
Tomografía Eléctrica	ρ, sección vertical 2D, 3D	Arcillas saturadas (Quick clay)	Flujo rápido de tierras	sustrato rocoso (hasta 30 m.)	Malehmir, A. et. al. 2013	
	ρ, sección vertical 2D	Flysch (areniscas- calizas-esquistos)	Complejo: rotacional, traslacional	Variaciones del contenido agua en la masa deslizada	Grandjean, C. et. al. (2011)	
	p, sección vertical 2D	Hielo y rocas (permafrost)	Flujo por reptación	Superficie de deslizamiento	Maurer, H. et. al. (2010)	
	ρ, sección vertical 2D y 3D	Arcillas, arcillas limosas- arenosas, saturadas	Complejo: traslacional y rotacional	Variaciones del contenido agua en la masa deslizada	Sirles, P. et. al. (2011)	
	ρ, sección vertical 2D y 3D	Arcillas, fragmentos de rocas de argilitas y volcánicas	Complejo	No concluyentes (nevadas y lluvias)	Sirles, P. et. al. (2011)	
	ρ, sección vertical 2D	Acantilados de rocas calizas	Desprendimientos de rocas	Sistema de fracturas y superficies de deslizamiento	Jongmans, D. et. al. (2008)	
	p, sección vertical 2D	Acantilados de rocas calizas	Desprendimientos de rocas	Extensión fracturas en profundidad	Jongmans, D. et. al. (2008)	
	p, sección vertical 2D	Arcillas con cantos de roca y limos	Deslizamiento de tierras superficial	Superficie de rotura y geometría interna del deslizamiento	Ristic, A. et. al. (2012)	
	p, sección vertical 2D	Arcillas con bloques de roca, saturadas	Complejo: rotacional y flujo	Contenido humedad	Azañón, J.M., et. al. (2009)	
	p, sección vertical 2D	Esquistos y cuarcitas	Deslizamiento activo de rocas	Superficies potenciales de deslizamiento	Sastry, R. et. al. (2008)	
	ρ, sección vertical 2D	Arcillas margosas, arcillas arenosas con cantos de caliza	Deslizamiento de tierras superficial	Espesor masa removilizado, superficie de deslizamiento, sustrato rocoso	Laboratorio de Geotecnia del CEDEX (2010)	
	cargabilidad, sección vertical 2D	Arcillas saturadas (Quick clay)	Flujo rápido de tierras	apido de tierras Sustrato rocoso		
Polaridad Inducida	cargabilidad, sección vertical 2D y 3D	Arcillas, arcillas limosas- arenosas, saturadas	Complejo: traslacional y Delimitar la masa arcillosa saturada rotacional movilizada		Sirles, P. et. al. (2011)	
	cargabilidad, sección vertical 2D	Arcillas, fragmentos de rocas de argilitas y volcánicas	Complejo	No concluyentes (nevadas y lluvias)	Sirles, P. et. al. (2011)	
Electromagnetismo	ρ, perfil horizontal 1D y mapa 2D	Arcillas saturadas (Quick clay)	Flujo rápido de tierras Arcillas (hasta 5 m.)		Malehmir, A. et. al. 2013	
(EM-34 o TEM)	ρ, perfil horizontal 1D y mapa 2D	Hielo y rocas (permafrost)	Flujo por reptación	No concluyentes	Maurer, H. et. al. (2010)	

Continúa en la página siguiente

Método	Parámetro - información	Contexto geológico	Tipo de deslizamiento	Aplicación - objetivo	Autores
Georadar (GPR)	ε, secciones verticales 2D	Arcillas saturadas (Quick clay)	Flujo rápido de tierras	Arcillas (hasta 5 m.)	Malehmir, A. et. al. 2013
	ε, secciones verticales 2D	Hielo y roca s(permafrost)	Flujo por reptación	No concluyentes	Maurer, H. et. al. (2010)
	ε, secciones verticales 2D y 3D	Rocas cristalinas tipo gneis	Deslizamiento de rocas	Estructura interna roca y fracturas	Maurer, H. et. al. (2010)
	ε, secciones verticales 2D	Acantilados de rocas calizas	Desprendimientos de rocas	Sistema de fracturas en la roca	Jongmans, D. et. al. (2008)
	ε, secciones verticales 2D	Arcillas con cantos de roca y limos	Deslizamiento de tierras superficial	Geometría interna del deslizamiento	Ristic, A. et. al. (2012)
	ε, secciones verticales 2D	Arcillas con bloques de roca, saturadas	Complejo: rotacional y flujo	Superficie de deslizamiento	Azañón, J.M., et. al. (2009)
Perfiles Sismicos Verticales	Vp,Vs, secciones verticales 2D	Sedimientos (arenas, cantos) y lutitas	Deslizamiento de tierras traslacional, regresivo y relicto	Datos no concluyentes	Ogunsuyi,O. (2010)
Gravimetría	γ, perfil horizontal 1D y mapa 2D	Arcillas saturadas (Quick clay)	Flujo rápido de tierras	Arcillas (hasta 5 m.)	Malehmir, A. et. al. 2013
	γ, mapa 2D	Esquistos y cuarcitas	Deslizamiento activo de rocas	Profundidad del sustrato rocoso no alterado	Sastry, R. et. al. (2008)

Ambas tablas representan una clasificación de los diferentes deslizamientos analizados en función de: el método geofísico (sísmica, eléctrica, georradar, etc.); parámetro - información (parámetros que registra dicho método geofísico); contexto geológico (materiales envueltos en el deslizamientos, tipos de suelos o roca); tipo de deslizamiento (atendiendo a la clasificación de Varnes (1996); aplicación - objetivo (resultados obtenidos: superficie/s de deslizamiento, sustrato rocoso, etc.) y por último autor del artículo.

Con los datos obtenidos de las tablas 1 y 2 se han realizado una serie de gráficos. En ellos se representan en qué porcentaje se han utilizado los diferentes métodos geofísicos en los trabajos examinados, y en qué porcentaje dichos métodos se aplican sobre suelos o rocas.

Primero se expondrán los gráficos obtenidos con los datos de Jongmans y Garambois (2007). El gráfico 1 recoge los métodos geofísicos utilizados en todos los deslizamientos, el gráfico 2 muestra los porcentajes de utilización de dichos métodos en suelos y el gráfico 3 los porcentajes obtenidos en rocas.

A continuación se exponen los gráficos obtenidos con los artículos consultados correspondientes al periodo 2007 -2013.

El gráfico 4 recoge los métodos geofísicos utilizados en todos los deslizamientos, el gráfico 5 muestra los porcentajes de utilización de dichos métodos en suelos y el gráfico 6 los porcentajes obtenidos en rocas.

Por último, se han realizado gráficos que unen los datos de los porcentajes obtenidos tanto con la revisión anterior al año 2007 (Jongmans y Garambois, 2007) como con la revisión realizada en este trabajo (2007-2013).

El gráfico 7 recoge el porcentaje de métodos geofísicos utilizados en todos los deslizamientos. Los gráficos 8 y 9 muestran los porcentajes de utilización de dichos métodos en suelos y en rocas respectivamente.

Los gráficos presentados de ambas revisiones sólo arrojan datos de los métodos geofísicos utilizados pero no de la efectividad de los mismos, por lo que se propone una tabla (tabla 3) donde se muestran los métodos geofísicos más adecuados, en función de las condiciones del terreno a estudiar en un determinado tipo de deslizamiento. Esta tabla se elabora a partir de la realizada por Bell et al. (2006) incluyendo la información de los deslizamientos investigados desde el año 2007 al 2013. En ella se muestra de una forma clara y sencilla qué métodos geofísicos son más efectivos en el estudio de deslizamientos en función del material afectado en el fenómeno (rocas o suelos), resaltando un tipo de arcillas presentes en el norte de Europa, Canadá y Japón, arcillas tipo "Quick-clay", las cuales presentan unas características muy especiales en cuanto a su génesis, composición y resistencia. Siendo responsables de deslizamientos de tierras devastadores.



Gráfico 1. Porcentajes de métodos geofísicos utilizados en deslizamientos (Jongmans y Garambois, 2007).



Gráfico 2. Porcentajes de métodos geofísicos utilizados en deslizamientos sobre suelos (Jongmans y Garambois, 2007).



Gráfico 3. Porcentajes de métodos geofísicos utilizados en deslizamientos sobre rocas (Jongmans y Garambois, 2007).



Gráfico 4. Porcentajes de métodos geofísicos utilizados en deslizamientos (2007 - 2013).



Gráfico 5. Porcentajes de métodos geofísicos utilizados en deslizamientos sobre suelos (2007 - 2013).



Gráfico 6. Porcentajes de métodos geofísicos utilizados en deslizamientos sobre rocas (2007 - 2013).



Gráfico 7. Porcentajes de métodos geofísicos utilizados en deslizamientos. Datos conjuntos (Jongmans y Garambois, 2007) y revisión actual 2007 - 2013).



Gráfico 8. Porcentajes de métodos geofísicos utilizados en deslizamientos sobre suelos. Datos conjuntos (Jongmans y Garambois 2007) y revisión actual 2007 - 2013).



Gráfico 9. Porcentajes de métodos geofísicos utilizados en deslizamientos sobre rocas. Datos conjuntos (Jongmans y Garambois 2007) y revisión actual 2007 - 2013).

Además, Bell et al. (2006), resaltan la validez del método geofísico elegido para una caracterización geotécnica, así como el contenido de humedad del terreno.

4. DISCUSIÓN

De los gráficos presentados en el apartado anterior se concluye que el método de prospección geofísica más utilizado en el estudio de deslizamientos es la tomografía eléctrica, tanto en la revisión realizada por Jongmans y Garambois (2007) como en la realizada posteriormente. **Tabla 3.** Idoneidad de diferentes métodos geofísicos para tipos de deslizamientos con diferentes características. (modificada de Bell et al., 2006)

Métodos		Deslizamientos en roca	Deslizamientos en suelos	Deslizamientos en "Quick clays"	Caidas de rocas	Determinación de propiedades para caracterización geotécnica	Contenido de humedad del terreno, niveles freáticos
	Refracción/Reflexión	А	А	А	?	А	A-N
Métodos	Tomografía	А	А	Ν	Ν	А	Ν
sísmicos	Sísmica pasiva	А	А	А	А	А	А
	Ondas de superficie	?	?	А	Ν	А	Ν
Electro- magnéticos (EM)	Baja frecuencia	А	А	Ν	Ν	Ν	А
	Georradar (GPR)	А	A (depende del contenido en arcilla)	Ν	А	Ν	А
Tomog	Tomografía eléctrica		А	(A)	?	Ν	А
Potencial espontáneo (SP)		А	А	Ν	Ν	Ν	А
Polarización inducida (IP)		Ν	Ν	А	Ν	Ν	А
Gravimetría		?	?	Ν	А	А	Ν
Magnéticos		?	?	Ν	Ν	Ν	Ν
	A= a	decuado. (A)= parcial	mente adecuado. N	l= no adecuado. ?=	depende del ter	reno	

A partir de la aportación de Loke (1999) se tiene la posibilidad de obtener secciones bidimensionales en los ensayos eléctricos y se comienza a desarrollar la tomografía eléctrica como un método independiente de prospección. Este desarrollo, los buenos resultados que ofrece y su aplicación en campo, son aspectos fundamentales que hacen que el uso de esta técnica sea habitual en el estudio de deslizamientos.

Los siguientes métodos geofísicos más utilizados en el estudio de deslizamientos, después de la tomografía eléctrica, son la sísmica de refracción y la sísmica de reflexión. Esto es así debido a que pueden arrojar información sobre la estructura de capas del deslizamiento a lo largo de un perfil con una relativa facilidad en la adquisición de datos en campo. La técnica de georradar tiene una representación similar a la de las técnicas sísmicas y su uso está cada vez más generalizado debido a su fácil sistema de adquisición y la gran cantidad de información que puede aportar.

Realizando una síntesis porcentual de los métodos geofísicos más utilizados en deslizamientos, desde los años 90 hasta el año 2013, se puede decir que: con más de un 20% de utilización se encuentra la tomografía eléctrica; entre un 10 y un 20% la sísmica de refracción, georradar y sísmica de reflexión, y por último, con un porcentaje inferior al 10%, estarían la sísmica pasiva, electromagnetismo, sondeos eléctricos verticales, polaridad inducida, gravimetría, potencial espontáneo y perfiles sísmicos verticales. El bajo porcentaje de estos últimos métodos puede deberse a que por sí solos no son concluyentes y su uso se limita a cuando existe la posibilidad de aplicarlos como complemento a las técnicas principales.

De este análisis cabe resaltar que la utilización de la sísmica pasiva en el estudio de deslizamientos, aun siendo reciente por ser una técnica bastante novedosa (Louie, 2001), alcanza un valor de un 13% en su aplicación sobre suelos y su utilización se sitúa muy por encima de otras técnicas con mucha mayor tradición. La tabla 3 presenta, de una forma breve y clara, una primera valoración de qué métodos geofísicos son más apropiados en el estudio de deslizamientos en función del material afectado y del movimiento producido en la ladera. A pesar de no incluir todos los movimientos de la clasificación de Varnes (1996) sí que recoge los más frecuentes. Por otro lado resaltar la existencia de deslizamientos en presencia de arcillas tipo "Quick-clay", donde cabe destacar que la utilización de tomografía eléctrica se clasifica como un método parcialmente adecuado (A), debido a que es necesario que exista un fuerte contraste eléctrico entre los materiales afectados por el deslizamiento (arcillas "Quickclay") y el material no deslizado para tener éxito en la aplicación de este método.

5. CONCLUSIONES

La revisión de diferentes casos de deslizamientos, veintiocho en total, ha permitido observar que el éxito en la aplicación de cualquier técnica geofísica al estudio de un deslizamiento, depende de la existencia de un contraste detectable de la magnitud física estudiada entre el terreno removilizado y el sustrato no deslizado.

El uso de métodos de investigación más convencionales para el estudio de deslizamientos de laderas inestables (modelos digitales del terreno y topografías, estudios geotécnicos, datos geomorfológicos, etc.) proporciona información limitada de cómo se extienden las estructuras dentro del subsuelo. La aplicación de técnicas geofísicas ofrece la posibilidad de completar y ampliar esta falta de información.

En todos los artículos revisados para este trabajo se observa como siempre se cuenta con el apoyo de técnicas convencionales, y en algunos casos resultados de campañas de prospección geofísica anteriores, para la interpretación de los ensayos geofísicos.

La tomografía eléctrica es el método más aplicado en el estudio de deslizamientos. Es un método que puede

detectar superficies de deslizamiento, sustrato rocoso, sistemas de fracturas y que también se puede utilizar para el control de la variación del contenido de humedad dentro de la masa deslizada.

Los métodos sísmicos son también muy utilizados en este tipo de fenómenos, en particular la sísmica de refracción y de reflexión. Su uso para la detección de estructuras internas dentro del cuerpo deslizado es muy útil, así como para ubicar en profundidad el sustrato rocoso o sustrato inalterado sobre el que se produce el deslizamiento.

La obtención de la velocidad de las ondas S a partir de técnicas sísmicas proporciona buenos resultados para caracterizar la masa deslizada cuando se aplican en suelos finos saturados.

La utilización del georradar es de gran interés para la detección de fracturas internas dentro de deslizamientos en rocas. Su uso se está viendo incrementado debido a la facilidad de adquisición de datos de campo y a la gran cantidad de información que se puede obtener. Sin embargo, se debe tener en cuenta que su aplicación está limitada en terrenos formados por materiales finos conductivos (limos-arcillas) y especialmente en terrenos con un alto contenido de humedad.

La combinación de varios métodos geofísicos, en especial sísmicos y eléctricos, es la manera más adecuada de investigar estructuras complejas deslizadas. Esto además permite conseguir una modelización del terreno en secciones de dos o tres dimensiones, siendo esta característica lo que les hace muy útiles en el estudio de deslizamientos. Estos modelos ayudan a localizar la superficie de rotura y con ello evaluar la causa del deslizamiento y la estabilidad del mismo, lo que permitirá adoptar posibles medidas correctoras y de seguridad.

6. BIBLIOGRAFÍA

Ager, C.A. y Liard, L.O. (1982). Vertical gradient surveys: Field research and interpretation in British Columbia. Geophysics. Vol. 47: 919-925.

Andres, L., Arlandi, M. y Jordá, L. (2009). Estudio mediante técnicas geofísicas de la geometría de los deslizamientos de la Rambla de la Parrica. Sorbas (Almería) y análisis retrospectivo de la estabilidad geotécnica al paso de una tuneladora. En: Alonso, E. Corominas, J. y Hürlimann, M. (Editores), VII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Barcelona. CIMNE. pp. 376-386.

Azañón, J.M., Peña, J.A., Teixidó, T., Mateos, R.M., Yesares, J., Delgado, J. y Tsiege, M. (2009). *Evaluación de la eficacia de los sistemas de drenaje mediante tomografía eléctrica en el deslizamiento de Diezma (Granada).* En: Alonso, E. Corominas, J. y Hürlimann, M. (Editores), VII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Barcelona. CIMNE. pp. 441-452.

Bell, R. Kruse, J-E., García, A., Glade, T., Hördt, A. y Hördt, B. (2006). *Subsurface investigations of landslides using geophysical methods geoelectrical applications in the Swabian Alb (Germany)*. Geographica Helvetica. Vol. 3 (61): 201-208.

Björn, H., Günter, T., Dalsegg, E., Rønnig, J. S., Ganerød, G.V., Elvebakk, H. (2010). *Combined three-dimensional electric and seismic tomography study on the Åknes rockslide in western Norway.* Journal of Applied Geophysics. Vol. 70 (4): 292-396.

Corominas, J. (2004). *Tipos de rotura en laderas y taludes*. En: López Jimenos, C. (Editor). Ingeniería del Terreno (Ingeo Ter 4). E.T.S.I. Minas. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. pp. 447. Deparis, J., Jongmans, D., Fricout, B., Villemin, T., Meric, O., Mathy, A. y Effnidantz, L. (2008). *Characterization of the fracture pattern on cliff sites combining geophysical imaging and laser scanning. En: CHEN et al. (Eds), Landslides and Engineered Slopes. London.* Taylor & Francis Group, pp. 323-329.

Eichkitz, C.G. Schreukechner, M.G., Amtmann, J. and Schmid, C. (2009). *Shallow seismic reflection study of the Gschliefgraben landslide deposition area – Interpretation and three dimensional modeling.* Austrian Journal of Earth Sciences. Vol. 102 (2): 52-60.

Grandjean, G., Hibert, C., Bitri, A., Trabelletti, J. and Malet, J.P. (2009). *Gephysical data fusion applied to the characterization of the La Valette landslide*. In: Malet J.P., Remaitre, A., Boogard, T. (Editores) Proceedings of the International Conference on Landslide Processes: from geomorphologic mapping to dynamic modeling. Strasbourg. CERG Editions. pp. 119-124.

Grandjean, G. A. (2012). multi-method geophysical approach based on fuzzy logic for an integrated interpretation of landslides: application to the French Alps. Near Surface Geophysics. Vol. 10 (6): 601-611.

Jongmans, D., Bièvre, G., Renalier, F., Schwartz, S., Beaurez, N., Orengo, Y. (2009). *Gephysical investigation of a large landslide in glaciolacustrine clays in clays in the Trièves Area (French Alps)*. Engineering Geology. Vol. 109 (1): 45-56.

Jongmans, D., Garambois, S. (2007). *Geophysical investigation of landslides: a review.* Bulletin Société Géologique de France. Vol. 178 (2): 101-112.

Jongmans, D., Renalier, F., Kniess, U., Schwartz, S., Pathier, E., Orengo, Y., Biévrre, G., Villemin, T., and Delaourt, C. (2008). *Charcterization of the Avignonet landslide (French Alps) with seismic techniques*. En: CHEN et al. (Eds), Landslides and Engineered Slopes. London. Taylor & Francis Group, pp 395-401.

Keary, Philip, Brooka, Michael and Hill, Ian. (2002). *An introduction to geophysical exploration*. 3a. ed. Singapur. Blackwell Publishing, 2002. 262 p.

Klimeš, J., Baroň, I., Pánek, T., Kosačík, T., Burda, J., Kresta, F., and Hradecky, J. (2009). *Investigation of recent catastrophic landslides in the Flysch Belt of outer Western of Carpathians* (*Czech Republic*): *Progress towards better hazard assessment*. Natural Hazards Earth System Sciences, (9): 119-128. February 2009.

Lebourg, T., El Bedoui, S., Hernández, M. y Jomard, H. (2008). *Temporal survey of fluids by 2D electrical tomography: The "Vence" landslide observatory site (Alps Maritimes, SE France)*. En: CHEN et al. (Eds), Landsllides and Engineered Slopes. London. Taylor & Francis Group. pp. 421-426.

Loke, Meng Heng, (1999). *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*. Penang. Ed. Loke. 57 p.

López, V., Aracil, E., Ibáñez, S., y Porres, J.A. (2009). *Caracterización de un deslizamiento mediante el empleo de técnicas geofísicas*. En: Alonso, E., Corominas, J y Hürlimann, M (Editores), VII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Barcelona. CIMNE, 2009. pp. 431-438.

Louie, J.N. (2001). Faster, Better: Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 91 (2): 347-364. April 2001.

Malehmir, A. (2012). Ultra high-resolution reflection seismic imaging of quick-clay landslides in South-West Sweden. 74th EAGE Conference and Exhibition Incorporating. SPE EUPEC 2012. June 2012. Malehmir, A., Bastani, M., Krawczyk, C.M., Gurk, M., Ismail, N., Polom, U. and Persson, L. (2013). *Geophysical assessment and geotechnical investigation of Quick-clay landslides – a Swedish case study.* Near Surface Geophysics. (11): 341-350.

Maurer, H., Spilmann, T., Heinck, B., Hauck, C., Loew, S., Sringman, S.M. and Green, A.G. (2010). *Geophysical characterization of slope instabilities. First Break*, Near Surface Geoscience. Vol. 28 (8): 53-61. August 2010.

Narwold, C.F. and Owen, W.P. (2002). *Seismic refraction analysis of landslides*. Geophysics and Geology Branch, California Department of Transportation. Proceedings of the Geophysics 2002 Conference. April 2002. Los Angeles. California.

Ogunsuyi, O. (2010). *Geophysical characterization of Peace River landslide*. Master of Science in Geophysics. Edmonton, Alberta (Canada). University of Alberta.. 211 p.

OgunsuyiI, O., Schmitt, D., Martin, D., Morgan, J. and Frpese, C. (2011). *Geophysical study of the Peace River landslide*. Recovery – 2011 CSPG CSED CWLS Convention.

Pánek, T., Hradecký, J. and Šilhán, K. (2008). Application of electrical resistivity tomography (ERT) in the study of various types of slope deformations in anisotropic bedrock: case studies from The Flysch Carpathians. Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica. Vol. XLII: 57-73.

Ristić, A., Abolmasov, B., Govedarica, M., Petrovacki, D. and Ristić, A. (2012). *Shallow-landslide spatial structure interpretation* *using a multi-geophysical approach.* Acta Geotechnica Slovenica. Vol. 1: 47-59.

Sastry, R.G., Mondal, S.K., Gautam, P.K. y Pachaur, A.K. (2008). *Electrical resistivity tomography and gravity studies for active landslide characterization at Naitwar, Garhwal Himalaya, India.* 7th International Conference y Exposition on Petroleum Geophysics. Hyderabad 2008.

Sirles, P., Schofield, J and Butler, D. (2011). Induced *polarization and seismic 3D imaging of landslides*. Lakewood, Colorado (USA). Federal Highway Administration Central Federal Lands Highway Division. 142 p.

Stucchi, E., Anfuso, A. y Ribolini, A. (2011). *High resolution seismic reflection on the Patigno landslide, Northern Apennines, Italy.* GNGTS Conference Trieste. November, 2011.

Stucchi, E. y Mazzotti, A. (2009). 2D Seismic exploration of the Ancona landslide, Adriatic Coast, Italy. Geophysics, vol. 74 (5): B139-B151. September-October 2009.

Telford, William Murray, Geldart, L. P. y Sheriff, Robert Eduard. (1990). *Applied Geophysics*. 2a. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 790 p.

Udías, Agustín Vallina y Mezcua, Julio Rodríguez. (1997). *Fundamentos de Geofísica*. 1a. ed. Madrid: Alianza editorial, 1997 481 p

Udías, Agustín Vallina. (1999). *Principles of Seismology.* 1a. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 475 p.

EDICIONES DEL CEDEX



Cálculo de cimentaciones superficiales y profundas basado en ensayos in situ: práctica francesa Autores: Roger Frank Serie Monografías: M-101 ISBN: 978-84-7790-493-9 Año: 2009

Este libro es la traducción del texto francés "Calcul des cimentations superficielles et profondes" originalmente publicado en 1999 por el profesor Roger Frank. El objetivo ha sido facilitar la divulgación de la práctica de cimentación francesa basada fundamentalmente en métodos directos a partir de ensayos "in situ", y, en particular, el ensayo presiométrico, siguiendo la experiencia y tradición desarrolladas por Louis Ménard. Los métodos directos, menos habituales en los países de tradición anglosajona, como es el caso de España, pueden resultar una alternativa o complemento razonable a los métodos clásicos de tipo indirecto. En el libro se recogen aspectos fundamentales relacionados con los cálculos de capacidad portante de cimentacio-

nes superficiales y profundas, tanto los basados en el método presiométrico como en otros ensayos in situ (CPT, SPT). Se desarrollan también otros aspectos como la evaluación de los esfuerzos parásitos sobre pilotes (rozamiento negativo, empujes laterales) o la interpretación de pruebas de carga en pilotes recogiendo metodologías específicas, poco conocidas fuera de Francia. Pero, conviene tener en cuenta para su empleo, que los ensayos "in situ" que involucran un avance previo de sondeo pueden estar afectados por el modo de ejecución del mismo.



Gestión de aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano.

Autores: Jerónimo Puertas Agudo, Joaquín Suárez López y José Anta Álvarez Serie Monografías: M-98 ISBN: 978-84-7790-475-5

Año: 2008 PVP.: 30€

PVP.: 23€

Los sistemas de saneamiento urbano han sufrido en los últimos años un cambio de paradigma, motivado por la irrupción de criterios que emanan esencialmente de la Directiva Marco del Agua, y cuyo fin último es la protección de los medios receptores (ríos, mar).En este libro se realiza un compendio del conocimiento más o menos asentado sobre lo que se podría denominar la nueva concepción de los sistemas de alcantarillado, en que el ciclo del agua urbana, desde la precipitación o consumo, hasta su depuración y entrega al medio se considera como un conjunto necesariamente armónico, y cuya orientación incluye tanto la protección frente a inundaciones urbanas como la consecución del buen estado ecológico de los cauces o zonas

costeras.Se incluyen desarrollos extensos sobre las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TDUS), que de algún modo son la plasmación física de este nuevo enfoque. Estas TDUS, integradas en el sistema, lograrán conjugar los aspectos cuantitativos y cualitativos y lograr una gestión de los sistemas de saneamiento más acorde con los objetivos de la DMA. Este libro incluye una extensa bibliografía sobre cada uno de los temas tratados, que permitirá al técnico ahondar en los temas que conciten su interés.