

AUSCULTACIÓN DE MOVIMIENTOS DE LADERA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE ALERTA. EJEMPLOS DEL PIRINEO Y PREPIRINEO CENTRAL Y ORIENTAL.

Marcel HÜRLIMANN^{1*}, José MOYA¹, Clàudia ABANCÓ¹ y Ignasi VILAJOSANA²

¹ Dpto. Ing. del Terreno, Cartográfica y Geofísica.
Universitat Politècnica de Catalunya.

² Worldsensing SL, Barcelona

RESUMEN

En la presente contribución se describen los sistemas de auscultación de cuatro tipos de movimientos de ladera (corriente de derrubios, deslizamiento profundo, deslizamiento superficial y desprendimiento). El énfasis se ha puesto en la descripción de la instrumentación de corrientes de derrubios en la cuenca El Rebaixader (Pirineo Central) y los resultados obtenidos durante los últimos 4 años. La auscultación de los otros tres tipos de movimientos se presenta de manera resumida.

El sistema de auscultación en la cuenca El Rebaixader incluye 6 diferentes estaciones: dos estaciones meteorológicas, dos estaciones de infiltración y dos estaciones registrando datos sobre la dinámica de flujo. Los resultados medidos en esta cuenca torrencial indican que un umbral de lluvia crítica de aproximadamente 15 mm/h sería adecuado para alertar de corrientes de derrubios en verano. Por otra parte, los geófonos y la transformación de las señales sísmicas a impulsos por segundo se pueden utilizar para detectar el paso de una corriente de derrubios y activar un sistema de alarma. Nuestra experiencia muestra que una red de sensores inalámbrica facilita la auscultación y la futura implementación de un sistema de alarma por sus múltiples ventajas (principalmente, más fácil instalación, menor vulnerabilidad del sistema por la mera ausencia de cables y muy bajo consumo).

1. INTRODUCCIÓN

La auscultación es una tarea fundamental en el estudio de movimientos de ladera. Dos son los objetivos principales de la auscultación: 1) uno científico, que consiste en mejorar el conocimiento de sus mecanismos, tanto los involucrados en la rotura como en su progresión post-rotura, y 2) uno social, que es accionar sistemas de alerta y alarma para mitigar el riesgo asociado a estos fenómenos.

Desde el punto de vista científico, los datos registrados in-situ constituyen una información esencial para mejorar el desarrollo de conceptos teóricos, calibrar modelos numéricos o verificar y escalar ensayos y experimentos de laboratorio (Angeli et al., 2000; Picarelli et al., 2004; Simoni et al., 2004; LaHusen, 2005; Reid et al., 2008; Greco et al., 2010).

La amplia variedad de mecanismos implicados en los movimientos de ladera hace que no exista un método de auscultación de aplicación general. Los movimientos de ladera pueden clasificarse en función de su profundidad y velocidad, algo especialmente importante desde el punto de vista del riesgo. La auscultación de movimientos superficiales, rápidos y con un gran alcance en relación a la masa movilizada, es muy diferente de la empleada para movimientos profundos, lentos y con un alcance relativamente pequeño.

El objetivo principal de la auscultación que se ha empleado en este trabajo es la observación de variables que controlan el desencadenamiento de los movimientos (precipitación, contenido de agua y temperatura del suelo, variación de presión de agua, etc.) o que permiten detectar y analizar su progresión una vez iniciado el desplazamiento (variaciones del nivel piezométrico, ondas sísmicas inducidas por el movimiento de ladera, medición directa de desplazamientos, etc.). Por este motivo se trata aquí de sistemas de auscultación con sensores instalados sobre el terreno o mejor, en algunos casos, dentro del terreno (por ejemplo, piezómetros, tensiómetros, termómetros, extensómetros en sondeos o geófonos). Las técnicas geomáticas quedan, pues, fuera del propósito de este trabajo.

En esta contribución, se describen cuatro ejemplos de auscultación que se han realizado en el marco de proyectos de investigación durante los últimos 20 años. Los ejemplos incluyen cuatro tipos de movimiento de laderas y un abanico de volúmenes movilizados que cubre varios órdenes de magnitud (Tabla 1). Los cuatro movimientos están situados en el Pirineo (Figura 1). Mientras la auscultación del deslizamiento profundo de Vallcebre ha comenzado en el año 1996 (Corominas et al., 2000; Gili et al., 2000), la instalación de los sensores ha sido mucho más reciente en la cuenca El Rebaixader y está en proceso de instalación en los otros dos sitios seleccionados. El énfasis se ha puesto en la auscultación de corrientes de derrubios, puesto que es algo muy novedoso en nuestro país.

El presente trabajo tiene tres objetivos principales: 1) por una parte se describen las características técnicas de los sistemas de auscultación y, 2) por otra parte, se presentan resultados de la auscultación y se relacionan con las causas y los mecanismos de los movimientos de ladera estudiados; 3) en todos los casos, en el diseño de los sistemas de auscultación se ha tenido en cuenta su posible utilización para el desarrollo de futuros sistemas de alerta que sería el objetivo final del estudio.

Sitio	Unidad morfoestructural	Proceso	Volumen (m ³)	Año instalación
Vallcebre	Prepirineo	Deslizamiento profundo	10 ⁷	1996
Rebaixader	Pirineo Axial	Corrientes de derrubios	10 ³ - 10 ⁴	2009
Cercs	Prepirineo	Deslizamiento superficial	10 ¹ - 10 ²	2013
Forat Negre	Pirineo Axial	Desprendimiento	10 ⁻¹ - 10 ⁰	2013

Tabla 1. Resumen de los sitios de auscultación y el proceso estudiado

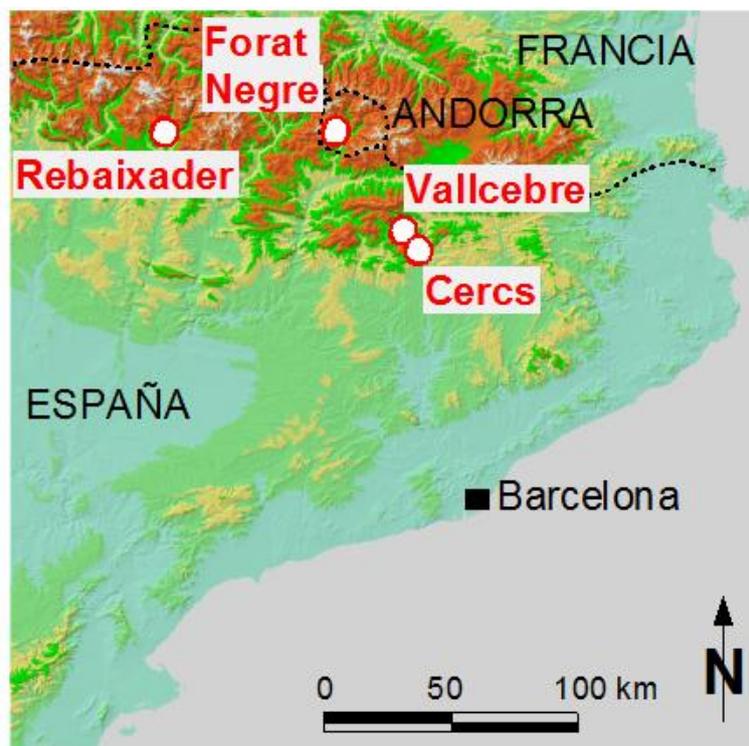


Figura 1. Situación de los cuatro sitios de auscultación descritos en este trabajo.

2. AUSCULTACIÓN DE CORRIENTES DE DERRUBIOS EN LA CUENCA EL REBAIXADER (PIRINEO AXIAL)

2.1 Aspectos generales

2.1.1 Terminología

Las corrientes de derrubios están formadas por una mezcla de material fino y grueso, con una cantidad variable de agua, que se desplaza pendiente abajo, normalmente en oleadas inducidas por la gravedad o colapso repentino de material. El factor desencadenante principal de las corrientes de derrubios son precipitaciones intensas, pero también puede

tener influencia de la fusión de nieve, el efecto del deshielo de los glaciares o desbordes de lagos (Wieczorek y Glade, 2005):

A parte de corrientes de derrubios pueden ocurrir otros procesos torrenciales en un barranco de alta montaña, como por ejemplo flujos hiperconcentrados (Pierson y Costa, 1987). En este trabajo se utilizan las definiciones propuestas por Hungr et al. (2001) para distinguir entre corrientes de derrubios (debris flows en inglés) y otros tipos de flujos con menos concentración de sólidos, menor caudal máximo y menor energía (debris floods en inglés).

2.1.2 Auscultación de corrientes de derrubios

La auscultación de corrientes de derrubios normalmente se centra en dos aspectos principales: los mecanismos de formación y la dinámica de flujo, mientras que la acumulación del material se estudia sólo en casos aislados.

Actualmente, la mayoría de los sistemas de auscultación de corrientes de derrubios se encuentra en los Alpes Europeos: en Italia (Berti et al., 2000; Marchi et al., 2002; Scotton et al., 2011; Gregoretto, 2012; Marchi et al., 2012), en Austria (Hübl y Kaitna, 2010), en Francia (Navratil et al., 2012) y en Suiza (Hürlimann et al., 2003; McArdeell et al., 2007; Badoux et al., 2009). No obstante, en el continente Europeo, también existen sistemas de auscultación de corrientes de derrubios en Islandia (Bessason et al., 2007) y en los Pirineos (Hürlimann et al., 2011). Fuera de Europa hay sistemas de auscultación en China (Zhang, 1993), Japón (Suwa et al., 2009), Taiwán (Yin et al., 2011) y en los Estados Unidos (Coe et al., 2008; Kean et al., 2011).

2.1.3 Descripción de la zona

El barranco “El Rebaixader” tiene un área cuenca de aproximadamente 0.53 km² y está situado en el Pirineo Central cerca de la población de Senet (Alta Ribagorça, Lleida). Geológicamente, la cuenca se encuentra en el Pirineo Axial, dónde el sustrato rocoso presente se constituye principalmente rocas metamórficas como pizarras o filitas del Devoniano s formadas durante la orogenia hercínica (Muñoz, 1992). Las formaciones superficiales cuaternarias incluyen depósitos glaciales y coluviales. El área fuente de las corrientes de derrubios en la cuenca El Rebaixader está situada en una morrena lateral de decenas de metros de espesor (Figura 2). Este tipo de suelo glacial presentan normalmente una mala clasificación de granulometrías: están constituidos por clastos muy heterométricos (desde gravas a bloques) incluidos en una matriz que puede ser lutítica (arcillas y limos) y/o arenosa (Vilaplana, 1983). Los procesos torrenciales y otros movimientos de masa han generado un gran escarpe con pendientes altas en esta morrena lateral (Fig. 1). Pendiente abajo, se encuentra un canal estrecho que forma la zona de tránsito y finalmente el cono que representa la zona de acumulación de las corrientes de derrubios.

El clima y sobre todo las precipitaciones (factor desencadenante para los procesos torrenciales) en la zona de estudio están afectados por tres factores: la relativa proximidad al Mar Mediterráneo, la influencia de los vientos del Atlántico y el efecto orográfico de la propia cordillera. En esta zona de los Pirineos la precipitación media anual está establecida entre 1000 y 1400 mm/año y el Atlas Climatológico de Catalunya define 1270 mm/año para la cuenca El Rebaixader (CAC, 2004).



Figura 2. Vista general de la cuenca El Rebaixader y las diferentes estaciones que incluye la auscultación de corrientes de derrubios.

2.2 Sensores instalados en la cuenca El Rebaixader

2.2.1 Esquema general del sistema de auscultación

El sistema de auscultación instalado consiste en un total de 25 sensores midiendo múltiples parámetros repartidos en seis estaciones diferentes (Tabla 2 y Figura 3):

- Dos estaciones meteorológicas
- Dos estaciones de infiltración
- Dos estaciones registrando datos de la dinámica de flujo

Los primeros sensores se instalaron a principios del verano de 2009, y desde entonces la auscultación se ha estado mejorando continuamente. En la fase inicial, se instalaron cuatro geófonos, un sensor de ultrasonidos y una estación meteorológica simple. Mediante los geófonos y el sensor de ultrasonidos se ha estudiado la dinámica de los flujos, mientras que el pluviómetro ha proporcionado la información referente a las lluvias antecedentes y desencadenantes de las corrientes de derrubios. En 2011, se completó la parte de la auscultación asociada a la dinámica de flujo con un geófono adicional y una cámara de vídeo.

Durante el 2012 se instalaron varios sensores para medir la infiltración de la lluvia en el terreno. Además, se mejoró la parte geofísica de la auscultación mediante una unidad de registro sísmico conectada a tres geófonos adicionales.

También en 2012 se empezó con la auscultación de cambios morfológicos en la cuenca mediante campañas de láser escáner terrestre. Los resultados y experiencias adquiridas durante estas campañas no se presentan en esta publicación, ya que se puede encontrar en otra contribución del Simposio (Hürlimann et al., 2013).

Las dos estaciones METEO-CHA y FLOW-WR, que están instaladas desde el principio (2009), utilizan técnicas estándares para la auscultación, mientras que las estaciones más recientes se han instalado utilizando técnicas inalámbricas. Esta nueva red inalámbrica se ha desarrollado para cumplir con las necesidades específicas de una instrumentación en alta montaña e incluye cuatro estaciones (METEO-TOP, INF-TOP, INF-SCARP y FLOW-SPI). Los distintos sensores de estas cuatro estaciones están conectados a siete nodos inalámbricos que transmiten la señal a una Gateway. Esta Gateway puede almacenar los datos temporalmente y los envía mediante módem al servidor.

En la Tabla 2 se presenta un listado de todos los sensores instalados en la cuenca El Rebaixader está en. Los detalles de estos y el uso de cada uno se describirán a continuación, distinguiendo entre sensores asociados con la formación y sensores asociados al estudio de la dinámica de flujo.