

El espectrograma como herramienta para la detección sísmica de aludes de nieve (ejemplo de fuente móvil).

The spectrogram as a tool for seismic detection of snow avalanches (an example of a moving source).

Biescas B. ⁽¹⁾, Suriñach E. ⁽¹⁾, Furdada G. ⁽¹⁾, Dufour F. ⁽²⁾

⁽¹⁾Dep. de Geodinàmica i Geofísica, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès s/n 08028, Barcelona, berta@geo.ub.es

⁽²⁾Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches, Rue de l'Industrie 45 CH-1950, Sion, dufour@sif.ch

SUMMARY

Seismic signals generated by avalanches have been studied by the avalanche team of the Universitat de Barcelona since 1996. The final aim of this study is to use seismic detection for monitoring purposes. In this paper we present results of the studies corresponding to artificially released avalanche signals recorded in the Vallée de la Sionne experimental site (Switzerland) during the winter seasons of 1996, 1997, 1999, 2000 and 2001. For monitoring, reproducibility of seismic signals must be assured. The analysis of the signals in the frequency and time domains to date confirms their reproducibility. Most of the energy of the signals in all the records obtained and for the three components is concentrated in the frequency band of 5-10 Hz of the total spectrum. Running spectra are also useful for detection confirming reproducibility. Avalanches following similar paths produce similar envelopes of the seismic records and also similar running spectra. Slope changes are related to variations in the running spectra frequency content. Running spectra facilitate the detection of small or distant avalanches and allow us to distinguish between signals produced by diverse sources which have the same frequency content but a different time evolution frequency (i.e. local earthquakes).

1. INTRODUCCIÓN

El equipo de aludes de la Universitat de Barcelona lleva estudiando señales sísmicas producidas por aludes de nieve desde el año 1996. Los registros se han realizado en los valles de Boí Taüll y Núria (Pirineo catalán) y en el valle de La Sionne (Alpes suizos).

Los estudios sobre aludes de nieve llevados a cabo por los diferentes equipos científicos que trabajan en este fenómeno se centran actualmente en dos campos: las investigaciones sobre la dinámica del fenómeno para una posterior mejora de los modelos que permiten afinar en la zonificación del territorio y en el diseño de obras de defensa, y los estudios sobre sistemas de predicción y alarma que comprenden mejoras en los sistemas de detección.

El registro de la señal sísmica de los aludes es una de las técnicas de estudio que se complementa con otras como son el radar Doppler, la fotogrametría, los sensores de presión, etc. Los estudios sobre la señal sísmica proporcionan información sobre la dinámica del flujo del alud (cambio de tipo de flujo, velocidades, masa, formación del aerosol, etc.). Además, la señal sísmica producida por los aludes puede ser utilizada en sistemas de detección aplicables en zonas sin accesibilidad física o visual.

Debido a que el alud es una fuente sísmica en movimiento respecto al sensor, su señal sísmica presenta un comportamiento característico en la evolución temporal del contenido frecuencial. Por ello nuestros últimos estudios se han centrado en el cálculo de los espectrogramas de las señales. A continuación se presentarán los resultados correspondientes a la contribución de los espectros corridos en la detección sísmica de aludes. Estos resultados se basan en los registros realizados en el valle experimental de La Sionne.

2. EXPERIMENTOS REALIZADOS

Los experimentos (tabla 1) se llevaron a cabo en la zona experimental de la Vallée de la Sionne (fig. 1) durante las temporadas de invierno de los años 1996, 1997, 1999, 2000 y 2001. Durante estas campañas se registraron aludes

artificiales provocados mediante explosivos lanzados desde un helicóptero.

A lo largo de estos años se han utilizado tres equipos diferentes para los registros sísmicos. Las primeras experiencias fueron registradas con estaciones analógicas Lennartz con sensores pasivos Mark ($f_0 = 2$ Hz) de tres componentes, posteriormente se utilizaron estaciones digitales Pdas (Teledyne-Geotech) con sensores activos Lennartz ($f_0 = 0.2$ Hz) de tres componentes y estaciones digitales Orion (Nanometrics) con sensores pasivos Mark ($f_0 = 1$ Hz) de tres componentes.

Los registros sísmicos se complementan con información sobre los aludes conseguida a través de la observación 'in situ' de las características del fenómeno y de grabaciones en video de los aludes. A partir de toda la información disponible se deducen unas características del alud (cartografía, masa, volumen, velocidades, tipo de flujo, etc.) que se asocian a las correspondientes características del registro sísmico.

Tabla 1 – Experimentos realizados en la Vallée de la Sionne (Experiments carried out in the Vallée de la Sionne).

Año	Localización del alud	Características
1996	Pointe des Tsarmettes	1 alud registrado en estación Lennartz
1997	Pointe des Tsarmettes	1 alud registrado en una estación Pdas
1997	Lui du Sac	1 alud registrado en una estación Pdas
1999	Crêta Besse	3 aludes registrados en dos estaciones Pdas
2000	Crêta Besse	3 aludes registrados en una estación Pdas
2001	Crêta Besse	1 alud registrado en una estación Orion

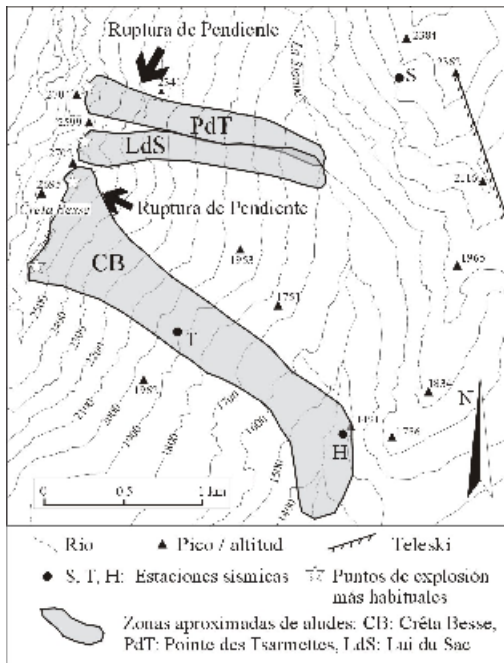


Figura 1 – Mapa de localización de las zonas de aludes del Vallée experimental de La Sionne. (Map of the avalanche paths of the Vallée de la Sionne experimental site).

3. TRATAMIENTO DE LAS SEÑALES

Las señales sísmicas registradas se convierten a movimiento del terreno (m/s) utilizando la función de transferencia correspondiente a cada equipo. Posteriormente se aplica sobre las señales un filtro pasabanda Butterworth de orden 4 con banda de [4-40] Hz. Los estudios de las señales se centran en el estudio de su envolvente, el estudio del espectro de la señal completa (fig. 2) y el estudio de la evolución temporal del contenido frecuencial, es decir su espectro corrido (fig. 3). El estudio espectral se realiza mediante el algoritmo FFT del entorno Matlab. Los espectros corridos se calculan mediante STFT (short time Fourier transform), con un programa escrito en el entorno de Matlab, las ventanas temporales son de 1.28 segundos con un solapamiento del 50%.

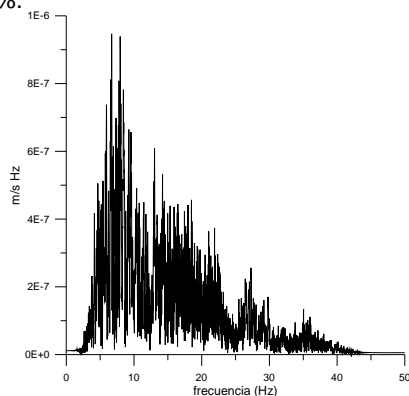


Figura 2 – Espectro total de la componente vertical de la señal sísmica del alud registrado en H el 30 de enero de 1999 en el valle experimental de La Sionne. Total spectrum of the vertical component of seismic signal of the avalanche recorded at H on 30th January 1999 in the Vallée de la Sionne experimental site.

En la figura 2 se puede observar el espectro total de la componente vertical de la señal de un alud registrada en la estación H. Las máximas energías de esta señal se

concentran en la banda de frecuencias entre 5 y 10 Hz. Este resultado es característico de todos los registros que se han obtenido y se repite en las tres componentes de la señal sísmica.

En la figura 3 se puede observar el espectro corrido de la componente vertical de la señal obtenida en H en el experimento realizado el 20 de febrero del 2000 en la zona experimental de La Sionne. Esta gráfica tridimensional nos muestra en los primeros segundos la señal de la explosión, posteriormente la señal del alud con una forma triangular característica y dos bandas aproximadamente paralelas a unos 15 Hz y unos 35 Hz que corresponden a la señal del helicóptero que sobrevolaba la zona durante la experiencia. Estas tres partes se pueden diferenciar en todos nuestros registros.

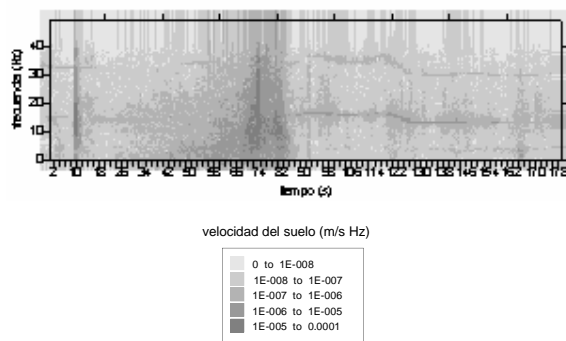


Figura 3 – Espectro corrido de la componente vertical del registro sísmico del alud provocado el 20 de febrero de 2000 en el valle experimental de La Sionne registrado en H. También se muestra la escala de tonos de gris que se ha utilizado en las gráficas tridimensionales de los espectros corridos. (Running spectra of the vertical component of the seismic signal of the avalanche recorded at H on 20th February 2000 in the Vallée de la Sionne experimental site and color scale for the running spectra).

4. RESULTADOS

Con el fin de utilizar las señales sísmicas como posible sistema de detección automática de aludes es necesario asegurar una reproducibilidad en las señales sísmicas producidas por aludes de similares características y con similar posición relativa alud-sensor. En estudios anteriores (Sabot et al., 1998; Suriñach et al., 2000), se comprobó como aludes con una trayectoria semejante producen registros sísmicos con envolventes similares. En estos nuevos resultados se presenta como también se observa una evolución semejante del contenido frecuencial en el tiempo (fig. 4). La forma característica de los espectros corridos para aludes de una cierta dimensión que se acercan al sensor muestra un aumento en el contenido de altas frecuencias a medida que el alud se aproxima al sensor. En la figura 4 se observan los sismogramas y espectros corridos de dos aludes registrados en la estación H el 20 de febrero del 2000. Ambos aludes tuvieron un volumen de partida semejante y una trayectoria similar. Los sismogramas de los registros tienen una envolvente con las mismas características y los espectros corridos tienen una evolución similar que refleja la reproducibilidad en los registros sísmicos.

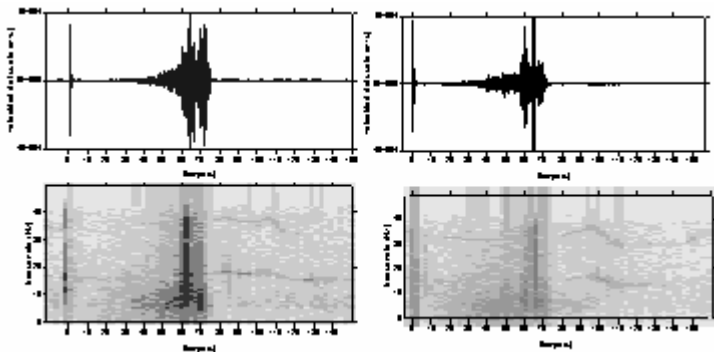


Figura 4 – Sismogramas y espectrogramas correspondientes a los registros de los aludes del día 20 de febrero del 2000 a las 10h40m (izquierda) y a las 11h40m (derecha) en la estación H. (Seismograms and running spectra of the signals recorded at H on 20th February 2000 at 10h40m (left) and 11h40m (right).)

A partir de la comparación de las imágenes de video y de las señales sísmicas se puede asociar cambios en la pendiente de la ladera por donde baja el alud con cambios en las amplitudes (Suriñach et al., 2001). Estos nuevos estudios muestran como los cambios en la pendiente también se pueden asociar a cambios en el contenido frecuencial. Esto puede permitir además de detectar el alud localizarlo geográficamente en un determinado canal o corredor.

La detección sísmica de aludes de nieve presenta problemas en el caso de aludes de pequeñas dimensiones (volumen involucrado <17000 m³) y/o que se encuentran a grandes distancias (distancia >1 Km) del sensor. Nuestros estudios muestran como el análisis de los espectros corridos aporta información adicional a la de los sismogramas que puede ayudar a la detección de aludes pequeños o distantes. La figura 5 permite comparar el registro de un alud de pequeñas dimensiones (volumen inicial de partida de 17400 m³) con el de una explosión que no desencadenó ningún alud. Vemos como en el dominio del tiempo la detección de este alud sería bastante difícil dado que la diferencia de las amplitudes es muy pequeña. En cambio, en el dominio de las frecuencias, si se observa un cambio en el contenido frecuencial que corresponde al desarrollo del alud.

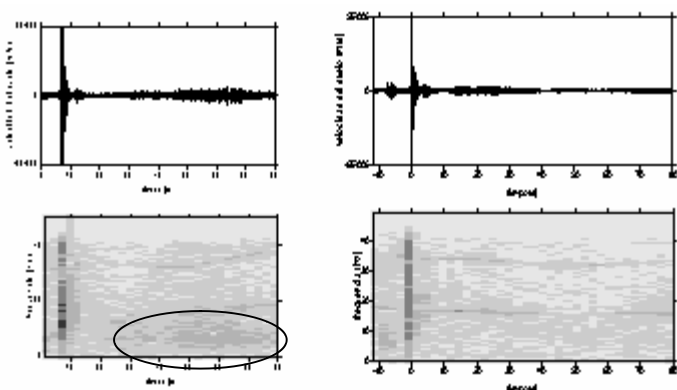


Figura 5 – Sismogramas y espectros corridos correspondientes al registro del alud del 10 de febrero de 2000 (izquierda) y al de una señal de explosión que no desencadenó alud (derecha). (Seismograms and running spectra of the avalanche recorded on 10th February 2000 (left) and of an explosion which did not release any avalanches (right).)

Otro aspecto importante en la detección sísmica de aludes es la necesidad de discernir entre las señales producidas por

aludes y otras producidas por fuentes diferentes. Estudios anteriores (Lepettre et al., 1996), mostraron que los espectros totales permiten descartar fuentes de bandas frecuenciales diferentes a las de los aludes (p.e. helicóptero) pero presentan problemas a la hora de discernir entre señales con la misma banda frecuencial (p.e. terremotos locales). Los espectros corridos de fuentes móviles tienen características muy diferentes de aquellos correspondientes a fuentes fijas respecto al sensor sísmico, por ello contribuyen de forma importante a la hora de discernir las señales sísmicas producidas por aludes de las producidas por otras fuentes fijas (p.e. sismos). La figura 6 permite comparar la señal de un alud con la de un terremoto local en los dominios temporal y frecuencial. En el dominio del tiempo se observa como las envolventes son suficientemente diferentes como para que puedan discriminarse ambas fuentes y en el dominio frecuencial esta discriminación también es posible.

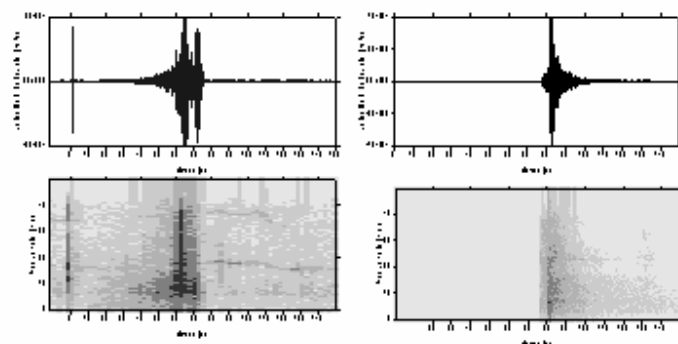


Figura 6 – Sismogramas y espectros corridos correspondientes al registro del alud del 20 de febrero de 2000 (izquierda) y de un terremoto local de ML=3.5 con epicentro (46.1N 7.0 E) a 35,4 km del sensor (derecha). (Seismograms and running spectra of the avalanche recorded on 20th February 2000 (left) and of a local earthquake with an epicenter (46.1 N 7.0 E) located 35.4 km from the sensor (right).)

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación parcial de los siguientes proyectos: 1999SGR00065 (Grup de Recerca Consolidat 03167-UB) y Proyecto CICYT REN 2000-0518/RIES.

6. REFERENCIAS

- Lepettre B. J. P., J. Navarre y A. Taillefer (1996): "First results from a pre-operational system for automatic detection and recognition of seismic signals associated with avalanches". *Journal of Glaciology*, 42, 141, 352-363.
- Sabot F., M. Naaim, E. Suriñach, P. Planet y G. Furdada (1998): "Study of avalanche dynamics by seismic methods, image-processing techniques and numerical models". *Annals of Glaciology*, 26, 319-323.
- Suriñach E., F. Sabot, G. Furdada, J. M. Vilaplana (2000): "Study of seismic signals of artificially released snow avalanche for monitoring purposes". *Phys. Chem. Earth*, 25, 9, 721-727.
- Suriñach E., G. Furdada, F. Sabot, B. Biescas, J. M. Vilaplana (2001): "On the characterization of seismic signals generated by snow avalanches for monitoring purposes". *Annals of Glaciology*, 32, 268-274.