

## **EXPERIMENTS SÍSMICS AMB ALLAUS DE NEU A RYGGFONN (NORUEGA)**

Ignasi Vilajosana, Emma Suriñach i Giorgi Khazaradze

Grup d'Allaus (<http://www.ub.es/allaus/>, RISKMAT). Dept. de Geodinàmica i Geofísica, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, Spain. (vilajosana@ub.edu)

### **RESUM**

El grup d'allaus de la Universitat de Barcelona sota el marc del projecte europeu SATSIE ha realitzat durant el període 2003-2006 una sèrie d'experiments en la canal experimental de Ryggfonn situada a Noruega. En aquesta canal per a l'estudi de les allaus de neu s'ha instal·lat i adaptat un equip sísmic estàndard, habitualment utilitzat en sismologia. Durant les temporades hivernals 2003-2004, 2004-2005 i 2005-2006 hem detectat 6 allaus i hem obtingut resultats relatius als paràmetres dinàmics de les allaus ocorregudes durant aquests episodis.

### **RESUMEN**

El grupo de aludes de la Universidad de Barcelona, en el marco del proyecto europeo SATSIE ha realizado durante el periodo 2003-2006 un conjunto de experimentos en el canal experimental de Ryggfonn, en Noruega. En este canal para el estudio de los aludes de nieve se ha instalado y adaptado un equipo sísmico estándar, habitualmente utilizado en sismología. Durante las temporadas invernales 2003-2004, 2004-2005 y 2005-2006 hemos detectado 6 aludes y hemos obtenido resultados relativos a los parámetros dinámicos de los aludes ocurridos durante estos episodios.

### **INTRODUCCIÓ**

En els darrers anys l'activitat humana i les infraestructures en àrees muntanyoses han augmentat considerablement. Conjuntament amb aquest creixement ha augmentat el risc associat a les allaus de neu. Per tal de mitigar aquest risc és vital conèixer el fenomen. Els experiments a escala real en canals experimentals s'han convertit en elements clau per a l'estudi de les allaus de neu. L'objectiu d'aquests experiments és millorar el coneixement sobre la dinàmica del fenomen i determinar aquells paràmetres físics que ens permetin descriure'l.

Per altre banda, les millores tecnològiques que ha experimentat la instrumentació en els últims anys ha fet pensar en la possibilitat d'utilitzar sistemes d'alerta autònoms o semi-autònoms que permetin la detecció de les allaus de neu. En aquest sentit les canals experimentals han demostrat també ser de gran utilitat per a la prova d'aquest equipament davant d'episodis reals.

En estudis previs i en els experiments que presentem en aquest treball la instrumentació sísmica ha resultat ser una eina adequada tant per a l'obtenció de paràmetres físics d'una allau de neu (Vilajosana et al., 2004, Vilajosana et al., 2006) com per a la detecció del fenomen en ell mateix (Suriñach et al., 2005).

L'any 2002 el grup d'allaus de la UB, juntament amb d'altres institucions científiques de vuit països més, inicià el projecte europeu SATSIE (EVG1-CT2002-00059) amb la intenció de continuar amb els estudis previs iniciats anteriorment en el camp de la detecció d'allaus i

verificar en un nou emplaçament experimental la reproductibilitat dels resultats observats. Aquest nou emplaçament és Ryggfonn, situat a Noruega. En aquest treball resumim l'experiència adquirida a Ryggfonn des de 2003 fins a l'actualitat i presentem alguns dels resultats obtinguts pel nostre grup.

## **EMPLAÇAMENT I INSTRUMENTACIÓ**

Ryggfonn és una canal experimental instrumentada per a l'estudi de les allaus de neu. Es troba a 500 Km al Nord Oest d'Oslo (Noruega). Aquest emplaçament va ser creat pel Norwegian Geotechnical Institute (NGI) el 1980 (Lied et al. ,2002). En aquesta canal es desencadenen 2 o 3 allaus per any de forma natural o artificial. Aquestes allaus són detectades i enregistrades per els diferents instruments instal·lats. La canal principal per on baixen les allaus té uns 2100 m de llarg i un desnivell, des de la part més elevada fins a la zona d'arribada, d'uns 900 m (Fig. 1).

El volum típic d' una allau desencadenada a Ryggfonn oscil·la entre 10.000 m<sup>3</sup> i 500.000 m<sup>3</sup>. El tipus d'allau més comú és el de neu seca i flux mixt. Les velocitats màximes que poden assolir aquestes allaus arriben fins als 60 m/s. A la part final de la canal hi trobem una presa de contenció de 100 m de llarg i 16 m d'alt construïda per a estudiar la seva efectivitat en la detenció del fenomen.

L'octubre de 2003 el grup d'allaus de la Universitat de Barcelona va instal·lar per primera vegada dos sismòmetres Lennartz Electronic GmbH LE-3D/5s de tres components. La situació va ser escollida adaptant-nos a les possibilitats tècniques i logístiques del lloc i de les instal·lacions existents. El primer sismòmetre fou situat a la canal principal, uns 100 m més amunt de la presa i el segon, 500 m cap a l'Est del primer, a 40 m d'una caseta que allotja tots els instruments de control i mesura (Fig. 2). Aquesta caseta disposa de connexió a la xarxa elèctrica, ISDN i telèfon. El sistema d'adquisició de dades fou adaptat a les necessitats del lloc i al registre d'allaus de neu. Aquestes adaptacions permeteren l'obtenció de les dades i el control del sistema via telefònica des de Barcelona. El sistema també fou protegit contra sobretensions. Donat l'èxit obtingut amb aquesta configuració, la mateixa instal·lació s'ha repetit en dues temporades hivernals més, 2004-2005 i 2005-2006, incloent-t'hi només petites modificacions.

Completant aquesta instrumentació en la canal de Ryggfonn trobem dues cèl·lules de pressió tri-axials, (LP1, LP2) instal·lades a la presa i tres geòfons verticals de 4,5 Hz enterrats (GF4, GF5, GF6); GF4 i GF5 es troben situats al costat de les cèl·lules de pressió (Fig. 1). A sobre de la presa hi ha un màstil de 6,5 m d'alt amb un geòfon instal·lat en la part més elevada (HG1). Enterrats més amunt en la canal, trobem dos geòfons més, separats 47,4 m, són GF2 i GF3 (Fig. 1). Seguint la canal principal, 230 metres més amunt de la presa, hi ha una estructura de formigó en forma de tascó, equipada amb tres cèl·lules de pressió uni-axials (LC1, LC2, LC3). Seguint per la canal, 90 m més amunt, trobem una torre cilíndrica d'acer de 5,5 m d'altura equipada amb dues cèl·lules de pressió (LC4 y LC5) i un altre geòfon més (GF1) (Lied et al. ,2002). En la part més elevada d'aquesta canal, sobre l'aresta, és on se situen els explosius per al desencadenament artificial de les allaus.

## **RESULTATS**

Des de 2003 el sistema de detecció de la Universitat de Barcelona ha detectat i enregistrat el senyal sísmic provocat per 6 allaus de neu d'un total de 10 desencadenades a Ryggfonn (Taula 1). Tres d'elles han estat desencadenades artificialment i les set restants han estat naturals. Les

allaus no enregistrades van succeir en un període on el dispositiu d'adquisició de dades no estava operatiu. En el camp de la detecció, l'anàlisi dels senyals sísmics enregistrats a Ryggfonn ha contribuït en la verificació de la reproductibilitat en aquest nou emplaçament de les característiques del senyal sísmic prèviament observades en d'altres emplaçaments i en la identificació d'una evolució temporal característica del contingut de freqüències dels senyals sísmics generats per allaus de neu, en front d'altres fonts sismogèniques (Suriñach et al., 2005, Biescas, 2003). Pel que fa l'obtenció de paràmetres físics del flux de neu, l'anàlisi dels senyals sísmics enregistrats pels geòfons instal·lats a Ryggfonn durant els darrers anys, ha portat a l'obtenció de la velocitat d'onze allaus diferents desencadenades a Ryggfonn (Vilajosana et al., 2006). Amb aquests resultats, la instrumentació utilitzada pel Grup d'allaus ha demostrat ser robusta i aplicable en la detecció de les allaus de neu i en l'estudi del fenomen en ell mateix.

	<b>Data</b>	<b>hh:mm</b> <b>(Temps local)</b>	<b>Tipus</b> <b>desencadenament</b>	<b>Tipus allau</b> <b>Neu/flux</b>	<b>Mida*</b>
1	2004/02/24	08:50	Natural	Seca / mixt	Petita(2)
2	2004/02/24	22:30	Natural	Seca / mixt	Petita (3)
3	2004/02/28	15:22	Artificial	Seca / mixt	Mitjana(3.5)
4	2005/04/16	15:04	Artificial	Humida / Dens	Mitjana(3.5)
5	2006/02/06	14:57	Natural	Seca / mixt	Petita (3)
6	2006/05/01	14:15	Artificial	Humida / Dens	Petita (1)

**Taula 1.** Allaus enregistrades pel sistema de detecció del grup d'allaus entre el 2003 i el 2006.  
\*D'acord amb la classificació per mida Canadenca (McClung and Schaerer, 1993).

## AGRAÏMENTS

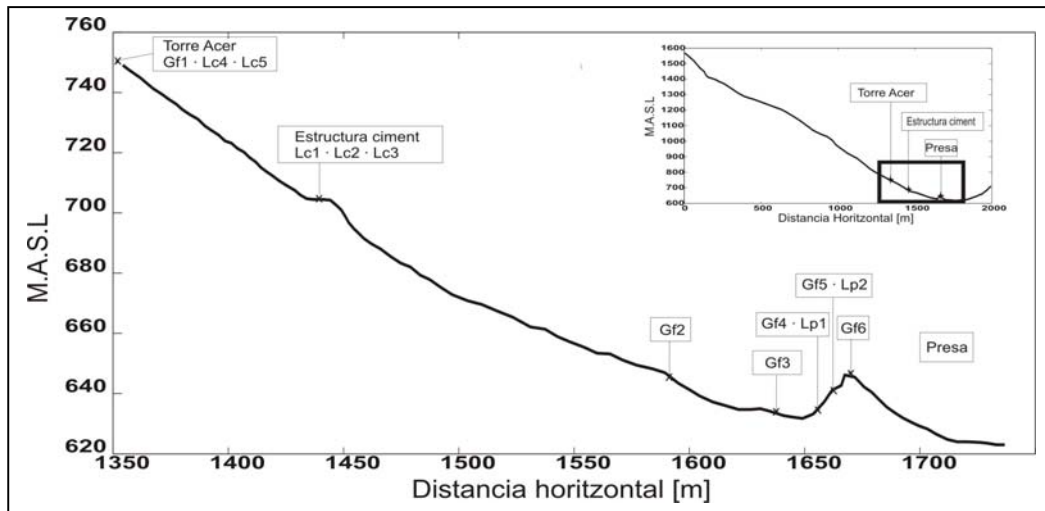
Aquest estudi ha estat finançat per el projecte EU SATSIE (EVG1-CT-2002-00059). Els autors volen agrair a K. Kristensen i E. Lied pel seu suport tècnic a Ryggfonn. Sense la seva valuosa col·laboració aquest treball no hauria estat possible.

## REFERÈNCIES

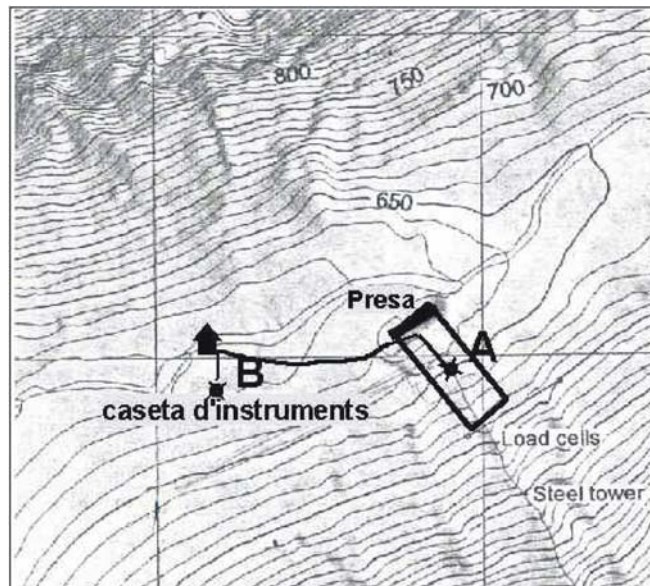
- Biescas, B., (2003). Aplicación de la sismología al estudio y detección de los aludes de nieve. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, Barcelona, Espanya, (ISBN: B. 46927-2003 / 84-688-3758-X), 1-130 pp. <http://www.tdx.cesca.es/TDX-1010103-084042>.
- Lied K., Moe A., Kristensen K., and Issler D. (2002). Ryggfonn: Full scale avalanche test site and the effect of the catching dam. En NGI Report 581200-35, Vol. 581200-35. Norwegian Geotechnical Institute.
- McClung, D. and Schaerer, P.A., (1993). The Avalanche Handbook. The Mountaineers. Seattle, Washington.134pp.
- Suriñach, E., Vilajosana, I., Khazaradze, G., Biescas, B., Furdada, G., and Vilaplana, J.M., (2005). Seismic detection and characterization of landslides and other mass movements. Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 1–8, 2005S. Ref-ID: 1684-9981/nhess/2005-5-1.

Vilajosana, I., Khazaradze, G., Lied, E. and Suriñach, E., (2004). Can the propagation speed of snow avalanches be determined by seismic methods? Proceedings of 4th Ass. Luso - Espanhola de Geodesia e Geofisica. (2004), Figueira da Foz, Portugal, pp. 73-74.

Vilajosana, I., Khazaradze, G., Suriñach, E., Lied, E., Kristensen, K. (2006). Snow avalanche speed determination using seismic methods. Accepted at Cold Regions Science and Technology.



**Figura 1.** Detall perfil topogràfic de la canal principal de Ryggfonn i localització dels sensors.



**Figura 2.** Mapa topogràfic de la zona d'arribada de Ryggfonn. A indica la posició del sismòmetre situat en la canal principal i B indica la posició del sismòmetre instal·lat prop de la caseta d'instruments.