

Anexo: Campanñas experimentales

<i>A.1 Boí Taüll 1995/96</i>	5
A.1.1 Alud de Cerví de Durro del 11-01-1996	5
A.1.2 Alud de Raspes Roies del 11-01-1996	11
<i>A.2 Núria 1995/96</i>	15
A.2.1 Aludes del 24-01-1996	15
A.2.2 Aludes del 1-02-1996	29
<i>A.3 Núria 1996/97</i>	47
A.3.1 Aludes del 3-01-1997	47
<i>A.4 Núria 1998/1999</i>	53
A.4.1 Aludes del 10-01-1999	53
<i>A.5 Núria 2000/01</i>	61
A.5.1 Aludes del 23-12-2000	61
<i>A.6 Sionne 1995/96</i>	67
A.6.1 Alud del 15-02-1996	67
<i>A.7 Sionne 1996/97</i>	71
A.7.1 Alud del 16-02-1997	71
<i>A.8 Sionne 1998/99</i>	77
A.8.1 Alud del 30-01-1999	77
A.8.2 Alud del 10-02-1999	84
A.8.3 Alud del 25-02-1999	91
<i>A.9 Sionne 1999/2000</i>	99
A.9.1 Alud del 27-12-1999	99
A.9.2 Alud del 29-01-2000	103
A.9.3 Alud del 10-02-2000	105
A.9.4 Aludes del 20-02-2000	112
<i>A.10 Sionne 2000/01</i>	125
A.10.1 Aludes del 5-03-2001	125
<i>A.11 Sionne 2001/02</i>	131
A.11.1 Aludes del 29-12-2001	131
A.11.2 Alud del 13-2-2002	146
A.11.3 Alud del 21-02-2002	151
A.11.4 Aludes del 22-02-2002	156
A.11.5 Alud del 13-03-2002	164
A.11.6 Alud del 20-03-2002	169

<i>A.12 Sionne 2002/03</i>	<i>175</i>
A.12.1 Alud del 22-12-2002	175
A.12.2 Alud del 2-01-2003	179
A.12.3 Aludes del 31-01-2003	184
A.12.4 Aludes del 4-02-2003	194
<i>Índice de figuras</i>	<i>199</i>

En este anexo se presentan los datos experimentales sobre los que se basan los resultados de la tesis. La explicación de cada campaña contiene un mapa de situación de las estaciones junto con las cartografías de los aludes, los datos de campo observados para cada alud, un estudio del ruido de fondo previo a los aludes para cada emplazamiento, las señales registradas simultáneamente al desarrollo del alud y las descripciones en el dominio temporal y frecuencial. Al final de cada descripción se comenta si la señal registrada contribuyó como una señal sísmica de alud (SSA) a la hora de analizar los resultados o si por el contrario la señal se atribuyó a una fuente ajena al alud.

Las campañas experimentales realizadas en Boí Taüll y Vall de Núria pudieron llevarse a cabo gracias a la colaboración de los trabajadores de las pistas de esquí. Uno de los trabajos de prevención del riesgo de aludes en las estaciones de esquí consiste en provocar aludes de forma artificial y controlada cuando las pistas están cerradas. Aprovechando estas tareas de mantenimiento el equipo de aludes de la UB pudo registrar y estudiar los aludes provocados en las estaciones de esquí de Boí Taüll y Vall de Núria. Las campañas de los años 1995 y 1996 se realizaron en colaboración con el equipo de aludes del Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC).

Las campañas realizadas en el Vallée de La Sionne fueron hechas en colaboración con el equipo de científicos y técnicos del Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research (SLF). Durante estas campañas se registraron aludes provocados y aludes naturales. Los experimentos de los dos primeros años se realizaron desde la estación de esquí de Anzère y durante los años siguientes se utilizaron las instalaciones del valle experimental de La Sionne, construidas específicamente para el estudio de aludes de nieve. A partir del año 2002 se implementó un sistema de comunicación con las estaciones vía línea telefónica que permitió controlar los registros y recuperarlos desde la Universitat de Barcelona (UB).

Los nombres de las campañas corresponden a cada período invernal, así por ejemplo Núria 1998/99 corresponde a la campaña realizada en Vall de Núria durante el invierno comprendido entre los últimos meses del año 1998 y los primeros de 1999.

Los datos que se muestran en este capítulo ya han sido filtrados y convertidos a movimiento del suelo tal como se explica en el capítulo de tratamiento de datos de la tesis. Los sismogramas y espectros que se presentan para cada campaña tienen escalas verticales diferentes con el fin de que se puedan observar los resultados lo mejor posible.

El estudio que se ha realizado para el ruido de fondo previo a cada experimento no es un estudio de emplazamiento ya que esto requeriría analizar los registros durante varios días diferentes y a horas diferentes. En nuestros experimentos tan sólo se tiene un registro previo a las señales de aludes, en algunos casos de varios minutos y en otros casos de un minuto o menos. Lo que se pretende en este estudio es calcular la densidad de potencia espectral de las señales de ruido previo a las de los aludes y utilizar las curvas proporcionadas por Aki y Richards (1980) como una referencia de la calidad de nuestros registros. Los instrumentos estuvieron sometidos a condiciones de frío y humedad variables a lo largo de cada campaña, por ello se consideró necesario estudiar la calidad del registro de cada experimento y la existencia o no de ruido importante con el fin de no atribuir falsas características a las señales de los aludes.

A.1 Boí Taüll 1995/96

El 11 de enero de 1996, debido a fuertes nevadas, el especialista nivológico de la estación de Boí Taüll decidió asegurar las instalaciones desencadenando aludes de forma artificial y controlada. Los encargados de la estación avisaron a los equipos de aludes de la UB y el ICC y un grupo de nueve personas se desplazó a la estación de esquí de Boí Taüll. Se instalaron cuatro estaciones sísmicas (tres Lennartz y una Pdas) y dos cámaras de vídeo con el fin de registrar los aludes y obtener el máximo de datos sobre ellos.

Se provocaron dos aludes, uno en la vertiente del pico Cerví de Durro y otro en la vertiente de Raspes Roies pues la acumulación de nieve en estos picos representaba un peligro para el uso de la estación de esquí. Ambos aludes pudieron ser registrados.

A.1.1 Alud de Cerví de Durro del 11-01-1996

Para el registro de este alud se instalaron tres estaciones sísmicas Lennartz (UB1, UB2, UB3) y una Pdas. Diversos problemas impidieron la obtención de registros en las estaciones UB2 y Pdas. La estación UB1 registró con un valor de amplificación de 6, la componente vertical no se registró debido a problemas técnicos causados por las bajas temperaturas ambiente. La estación UB3 registró con un valor de amplificación de 8, el registro de la componente horizontal N-S quedó filtrado en bajas frecuencias por causas desconocidas. Las dos cámaras de vídeo se situaron al lado de la estación UB1. Una de estas cámaras era móvil y la otra fija. La cámara móvil también se utilizó para filmar los límites del alud y parte del depósito.

Datos de campo extraídos a partir de: equipo de aludes de la UB y del ICC presentes en el experimento y registros de vídeo.

- ❖ *Alud provocado el 11 de enero de 1996 (Figura 1).*
- ❖ *Alud mixto.*
- ❖ *Recorrido del alud de ~ 800 m.*
- ❖ *Desnivel del recorrido del alud de ~375 m.*
- ❖ *El alud se precipitó por encima de una ruptura de pendiente brusca y convexa y formó una nube de aerosol.*
- ❖ *El alud colisionó con varios obstáculos (postes del telesilla) en su recorrido.*
- ❖ *Depósito rugoso con bolas de nieve y fragmentos de placa de hasta 1 m³.*
- ❖ *Densidad de la nieve involucrada inferior a 200 kg/m³.*
- ❖ *Altura de la fractura de ~70 cm.*
- ❖ *Velocidad media del alud de 70 km/h.*
- ❖ *Distancia zona de detención del alud-UB1~ 100m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del alud-UB3~ 100m.*

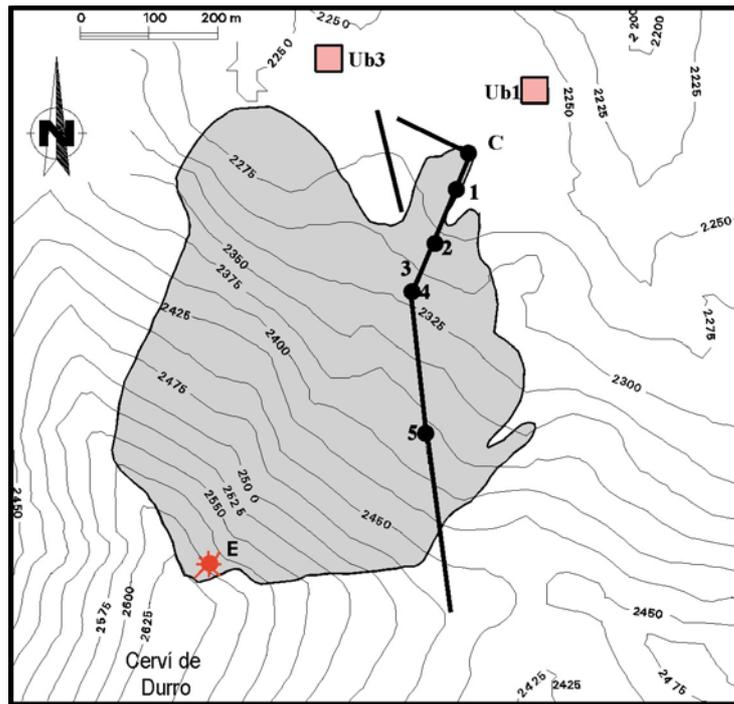


Figura 1. Cartografía del alud de Cervi de Durro provocado el 11 de enero de 1996 en la estación de esquí de Boí Taüll. E: localización de la explosión que provocó el alud. UB1 y UB3: estaciones sísmicas que registraron el alud. 1,2,3,4 y 5: postes del telesilla. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista

- Registros en la estación UB1

El estudio del ruido (*Figura 2*) se realizó con el mayor trozo de pre-señal (señal antes de la explosión) de que se disponía, en este caso de 9.95 s. Las dos curvas se encuentran por encima de la curva *Noisy* de referencia. Hay que tener en cuenta que durante el experimento había gente al lado del sensor. La componente E-W es superior a la componente N-S en todo el espectro. En la componente horizontal N-S destacan dos picos centrados en 15 Hz y 30 Hz que se atribuyeron a un ruido electrónico causado por una mala conexión del cable. El problema se solucionó antes del registro de la explosión.

La componente vertical no se registró por problemas técnicos debidos a las bajas temperaturas. En los sismogramas de las componentes horizontales (*Figura 3*) vemos la señal de la explosión que empieza a los 0 s y 25 s después empieza una señal que se podría atribuir al alud de nieve gracias a las imágenes de vídeo que muestran como en aquellos instantes el alud se desarrollaba. La señal del alud dura ~39 s, no obstante hay que considerar que el inicio de estas señales no se distingue bien debido al alto nivel de ruido detectado en este emplazamiento (*Figura 2*). Las amplitudes máximas son del orden de los 10^{-5} m/s en ambas componentes horizontales.

Se analizó el espectro total (*Figura 4*) de la señal comprendida entre los 19.16 s y los 60.12 s. Las amplitudes máximas de este espectro se sitúan entre los [2-13] Hz.

Este registro se consideró una SSA a la hora de analizar los resultados.

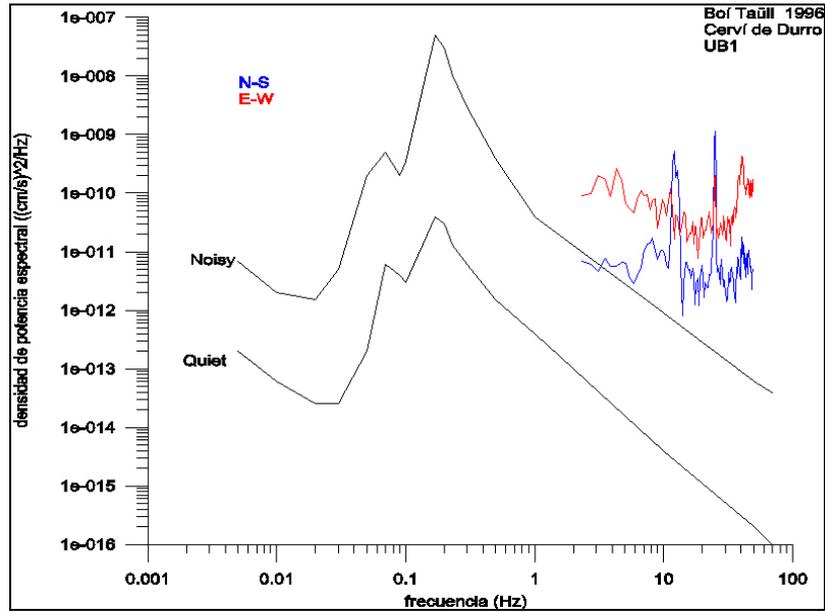


Figura 2. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 9.95 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación UB1 el 11 de enero de 1996 en la estación de esquí de Boí Taüll. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

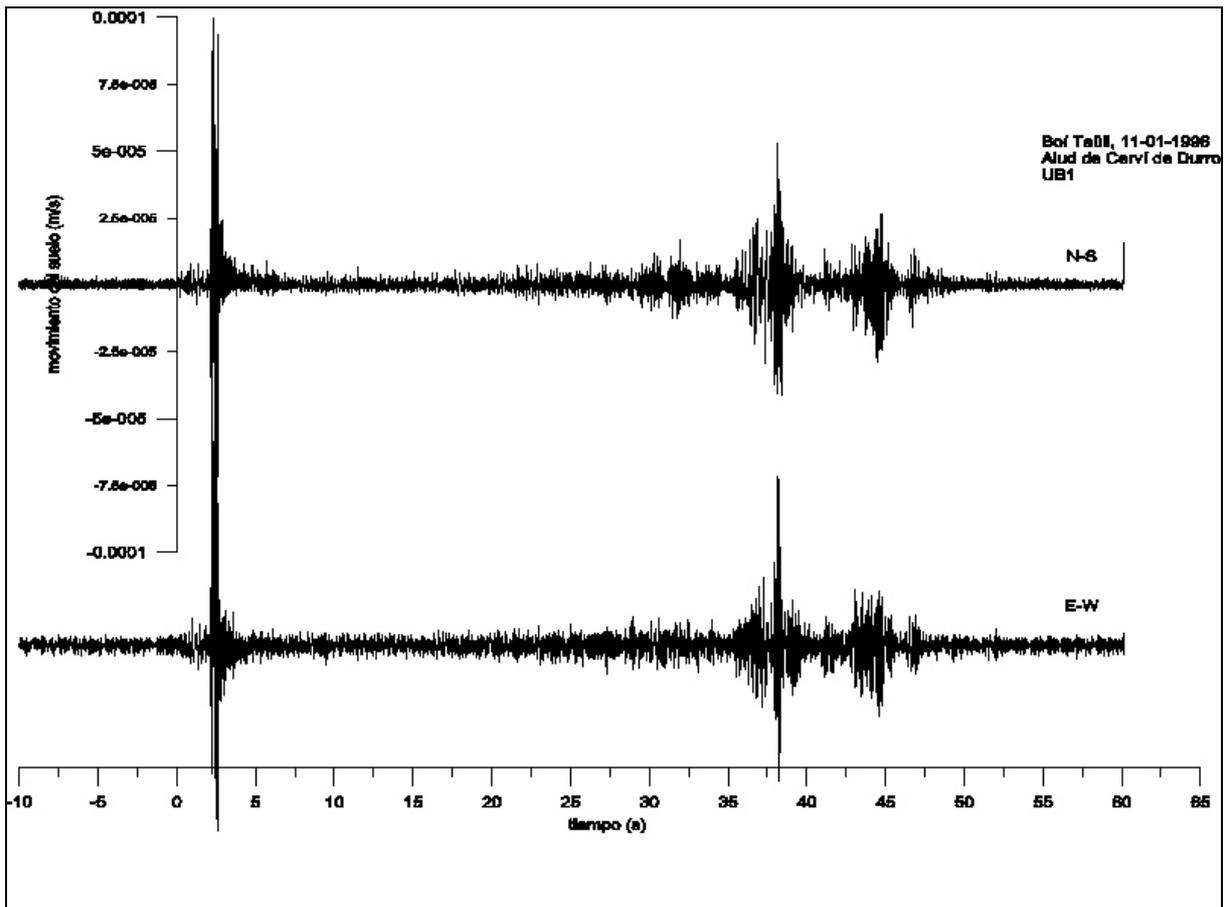


Figura 3. Señales registradas en la estación UB1 durante el alud de Cerví de Durro del 11 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión. La componente vertical no se registró por problemas técnicos en la estación.

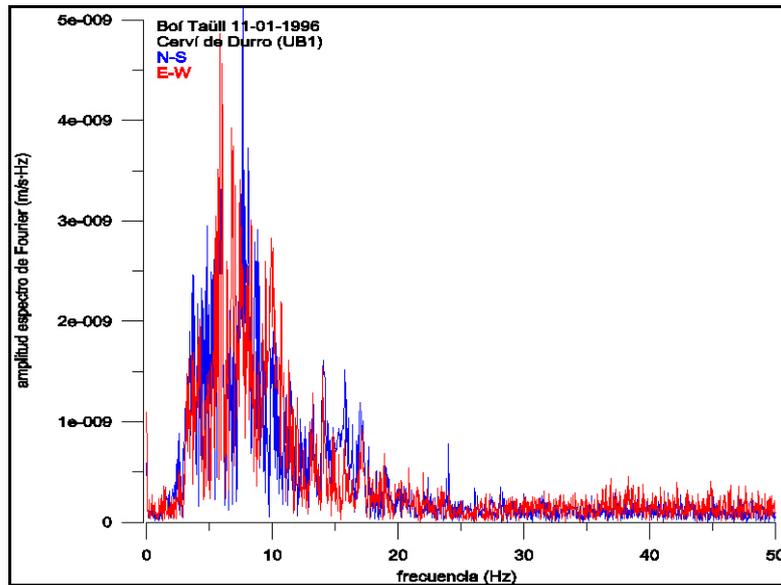


Figura 4. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el alud de Cerví de Durro del 11 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 19.16 s y 60.12 s.

- Registros en la estación UB3

El emplazamiento UB3 se estudió a partir de una señal de 9.95 s, que era el máximo tiempo registrado antes de la explosión. Las curvas de densidad de potencia espectral (*Figura 5*) de las componentes Z y E-W se encuentran por encima de la curva *Noisy* de referencia. También hay que destacar el comportamiento de la componente N-S cuyas amplitudes disminuyen significativamente al disminuir la frecuencia, esta anomalía se atribuyó a un problema técnico.

En los registros temporales (*Figura 6*) la componente N-S tiene amplitudes menores a las otras dos componentes. Esta anomalía se detectó en el estudio del ruido del emplazamiento (*Figura 5*) y no es atribuible, por tanto, a ninguna característica propia del alud. Dadas estas anomalías la componente N-S no se tuvo en cuenta a la hora de analizar los resultados.

En los sismogramas observamos la señal de la explosión a 0 s y ~20 s después se distingue una señal que podría atribuirse al alud, esta señal dura ~32 s. Las máximas amplitudes se encuentran en la componente vertical y son del orden de los 10^{-5} m/s. El estudio del ruido de este emplazamiento (*Figura 5*) mostró como la componente Z era mayor en todo el espectro, esta característica también se observa a lo largo de todo el registro y por tanto no es atribuible a la supuesta señal del alud.

El espectro total (*Figura 7*) se calculó a partir de la señal comprendida entre 16.40 s y 57.36 s. Las mayores amplitudes de Z y E-W se centran en los 10 Hz. La componente N-S presenta el corrimiento anómalo hacia las altas frecuencias que se observó en el estudio del emplazamiento.

Las componentes Z y E-W se consideraron registros de SSA en el análisis de los resultados.

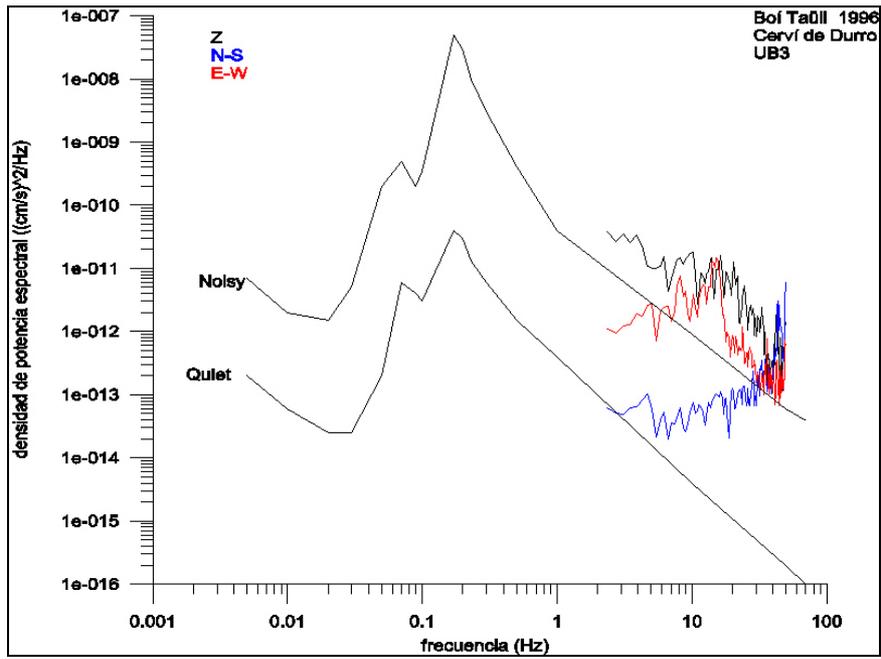


Figura 5. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 9.95 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación UB3 el 11 de enero de 1996 en la estación de esquí de Boí Taüll. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

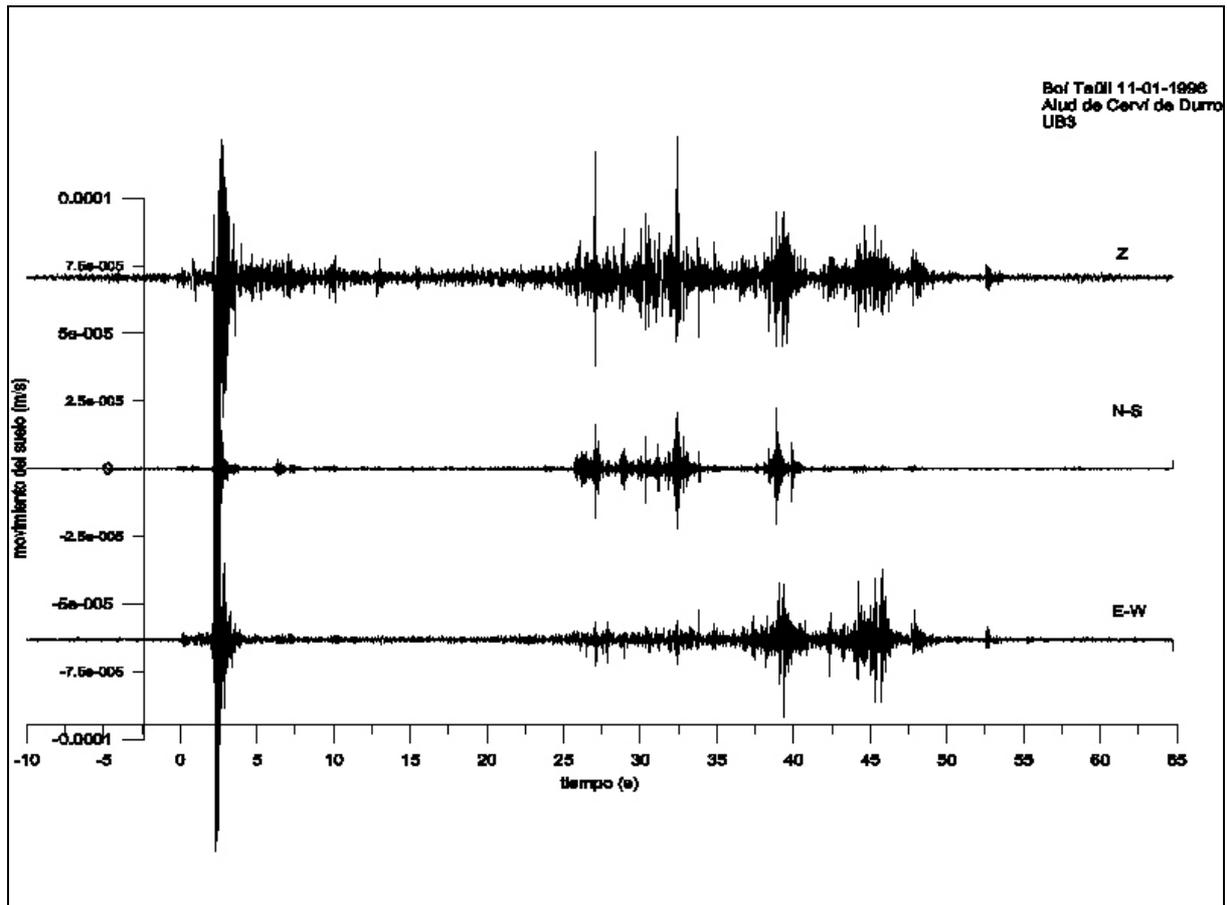


Figura 6. Señales registradas en la estación UB3 durante el alud de Cerví de Durro del 11 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión. La componente horizontal N-S tuvo anomalías durante el registro.

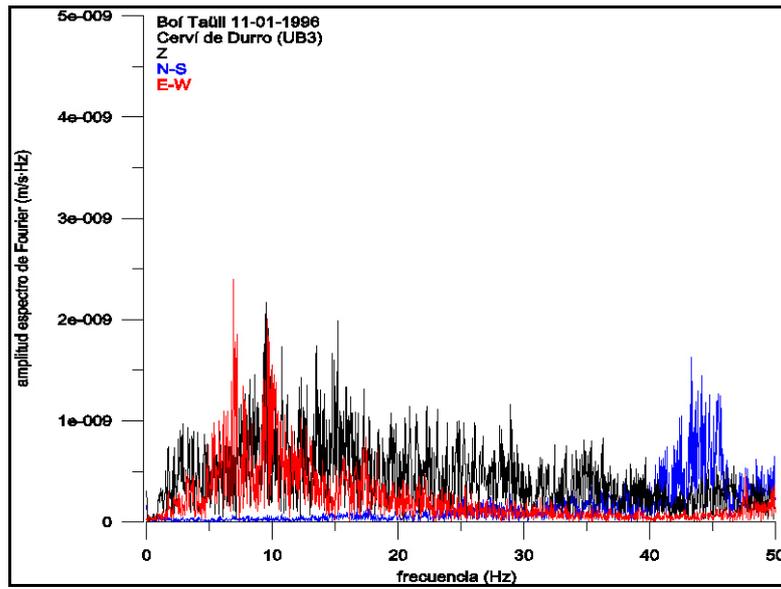


Figura 7. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el alud de Cerví de Durro del 11 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 16.4 s y 57.36 s.

A.1.2 Alud de Raspes Roies del 11-01-1996

Se utilizaron las mismas cuatro estaciones sísmicas que en el experimento anterior. Por problemas que se atribuyen a las bajas temperaturas y a la falta de experiencia del equipo científico en este tipo de experimentos sólo funcionó bien la estación UB3. La estación UB3 se situó enfrente y a cota más baja que la zona de alud, en un lugar denominado Barranco de Mulleres, a unos 1500 m de distancia del punto de explosión. La cámara de vídeo móvil estaba situada al pie del telesilla y la cámara de vídeo fija se situó en la cima del arrastre del Pic de Ginebrell. Esta estación registró con una amplificación de 8.

Datos de campo extraídos a partir de: equipo de aludes de la UB y del ICC presentes en el experimento:

- ❖ Alud provocado el 11 de enero de 1996 (Figura 8).
- ❖ Alud mixto.
- ❖ La fractura de la zona de salida se produjo a una altitud de 2710 m s.n.m.
- ❖ Recorrido del alud de ~840 m.
- ❖ Desnivel del recorrido del alud de ~500 m.
- ❖ El recorrido del alud fue por una ladera de perfil cóncavo orientado al oeste.
- ❖ El alud fue de nieve densa y formó un aerosol que se depositó poco más allá de la parte densa.
- ❖ Densidad de la nieve involucrada superior a 200 kg/m^3 .
- ❖ Depósitos de aspecto rugoso con bolas de nieve.
- ❖ Altura de la fractura ~50 cm.
- ❖ Distancia zona de detención del alud-UB3 ~ 500m.

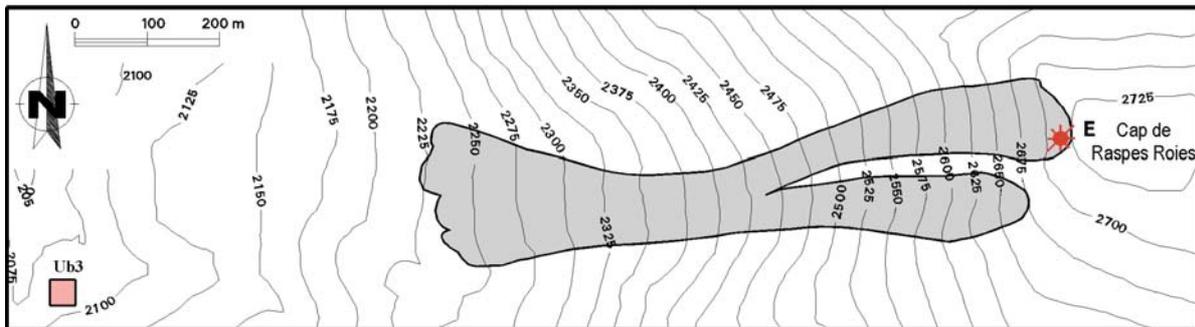


Figura 8. Cartografía del alud de Raspes Roies provocado artificialmente el 11 de enero de 1996 en la estación de esquí de Boí Taüll. E: localización de la explosión que provocó el alud. UB3: estación sísmica que registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en la estación UB3

No se pudo realizar el estudio del ruido del emplazamiento por falta de registro previo a la explosión. En los registros en el dominio temporal (Figura 9) se observa la señal de la explosión a 0 s. Gracias a las imágenes de vídeo podríamos atribuir la señal que aparece 20 s después al alud, esta señal tiene una duración de ~34 s. La máxima amplitud se encuentra en la componente vertical y es de un orden de 10^{-6} m/s.

Se calculó el espectro total (*Figura 10*) de la señal comprendida entre 18.12 s y 59.08 s. En las componentes Z y E-W se distinguen cuatro picos centrados en 5 Hz, 15 Hz, 24 Hz y 45 Hz respectivamente. En la componente N-S se distingue un pico centrado en los 15 Hz. Estos registros se consideraron SSA a la hora de analizar los resultados.

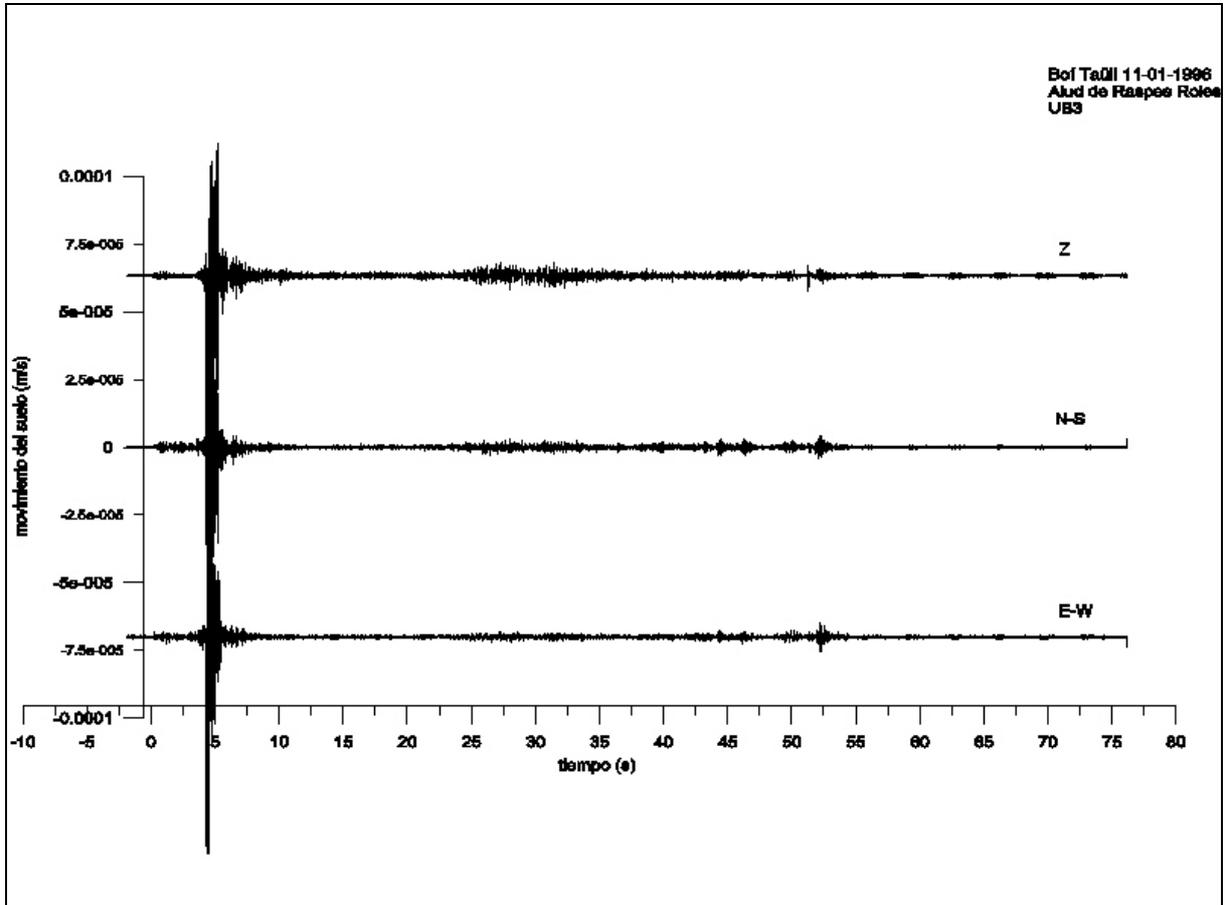


Figura 9. Señales registradas en la estación UB3 durante el alud de Raspes Roies del 11 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

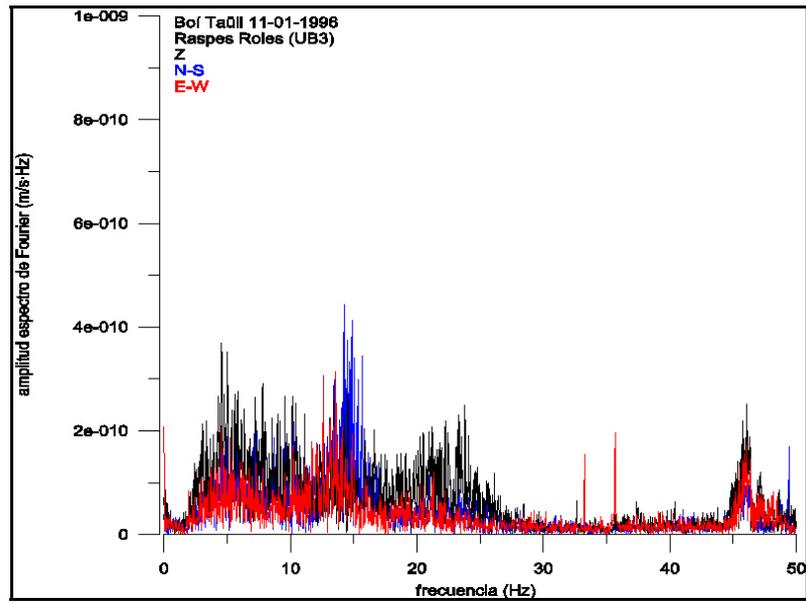


Figura 10. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el alud de Raspes Roies del 11 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 18.12 s y 59.08 s.

A.2 Núria 1995/96

Las campañas experimentales de Vall de Núria se realizaron aprovechando los trabajos de mantenimiento de la estación de esquí. Este invierno hubieron dos días en los que se provocaron aludes artificialmente, el 24 de enero y el 1 de febrero. Gracias a la colaboración de los encargados de pistas de esta estación los equipos de aludes de la UB y el ICC fueron avisado con suficiente tiempo como para poder llegar a Vall de Núria con los equipos necesarios, instalar las estaciones y poder registrar los aludes.

A.2.1 Aludes del 24-01-1996

El día 24 de enero de 1996 los responsables de las pistas de esquí de Vall de Núria decidieron que era necesario provocar unos aludes con las pistas cerradas con el fin de purgar algunas cornisas y disminuir el peligro de aludes descontrolados. Los equipos de aludes de la UB y del ICC se desplazaron a Núria con cuatro estaciones sísmicas, tres estaciones Lennartz y una Pdas. La estación Pdas no realizó buenos registros por problemas técnicos. La estación UB1 funcionó con un valor de amplificación de 7, la estación UB2 funcionó con una amplificación de 6 y la estación UB3 con un valor de 6.

Se dispararon 6 tiros desde un cañón *avalancheur* situado al pie del telearrastre. Durante los disparos la niebla impidió distinguir si bajaban aludes, las observaciones posteriores indicaron que de los seis tiros, los tres últimos habían sido efectivos y habían provocado aludes pequeños.

Datos de campo extraídos a partir de: datos nivometeorológicos recogidos por el observador de la estación de esquí, un sondeo de percusión, un perfil estratigráfico y las observaciones de campo del equipo de aludes de la UB y del ICC presentes en el experimento.

- ❖ *Aludes provocados el 24 de enero de 1996 (Figura 11).*
- ❖ *La densidad de la nieve podía variar entre 120 y 150 kgm⁻³.*
- ❖ *Aludes de flujo.*
- ❖ *El flujo fue poco denso.*
- ❖ *Altura de la fractura 30 a 35 cm.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 1º alud-UB1~ 700m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 2º alud-UB1~ 750m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 3º alud-UB1~ 750m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 1º alud-UB2~ 230m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 2º alud-UB2~ 290m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 3º alud-UB2~ 290m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 1º alud-UB3~ 300m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 2º alud-UB3~ 340m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 3º alud-UB3~ 400m.*

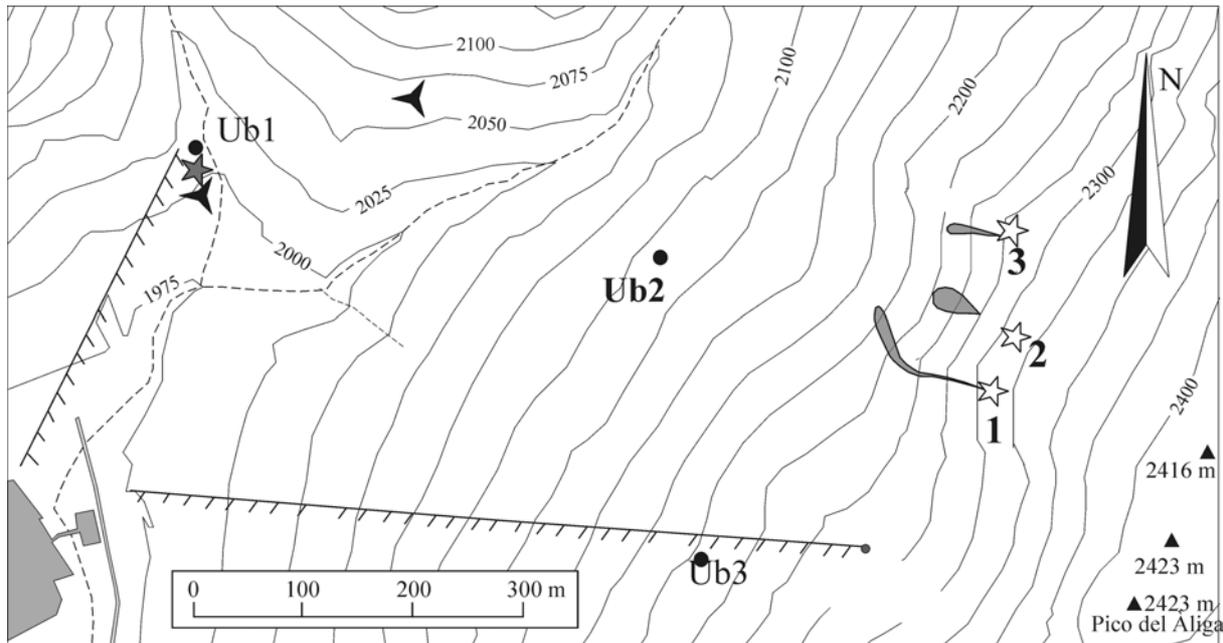


Figura 11. Cartografía de los tres aludes provocados artificialmente el 24 de enero de 1996 en la estación de esquí Vall de Núria. ★ 1,2 y3: Localización de las explosiones que provocaron los aludes. Ub1, Ub2 y Ub3: estaciones sísmicas que registraron los aludes. Cartografías realizadas por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en la estación UB1

El ruido de este emplazamiento (Figura 12) se estudió a partir de una señal de 19 s, previa a la señal de la explosión. La componente E-W es superior a las otras dos componentes en todo el espectro y se encuentra por encima de la curva *Noisy* de referencia. La componente N-S sobrepasa la curva *Noisy* para frecuencias superiores a los 10 Hz y tiene dos picos destacados, un pico centrado en [10-20] Hz y otro centrado en los 25 Hz. La componente Z sobrepasa la curva *Noisy* para frecuencias superiores a los 8 Hz y presenta tres picos centrados en [10-20] Hz, 25 Hz y 30 Hz respectivamente. Debe considerarse que el sensor estaba al lado del cañón *avalancheur* y había presencia constante de personas alrededor.

La estación UB1 se encontraba instalada al lado del cañón *avalancheur*. Estos cañones disparan los explosivos que al caer en la nieve explotan al cabo de unos segundos. En los registros de la estación UB1 (Figura 13, Figura 15, Figura 17) se observan las señales de los disparos del *avalancheur* y a continuación las señales de las explosiones a 0 s.

- Primer alud

La estación UB1 se encontraba a ~700 m del frente de detención del primer alud y las dimensiones del alud fueron pequeñas por lo que no se distingue ninguna señal atribuible al alud a priori (Figura 13). Se calculó el espectro total (Figura 14) de la señal comprendida entre 10.27 s y 51.23 s. En este espectro destaca un pico centrado en los 10 Hz para las tres componentes (1). En las componentes Z y N-S destacan también dos picos, uno centrado en los 26 Hz y otro en los 34 Hz pero picos similares (2) se detectaron en el estudio del ruido de fondo previo al alud (Figura 12).

- Segundo alud

Este alud fue de pequeño tamaño y la estación UB1 quedaba a ~750 m del alud por lo que apenas se distingue ninguna señal en el registro (Figura 15) que pueda relacionarse con el alud. Se calculó el espectro (Figura 16) de la señal comprendida entre 11 s y 31.46 s. En el espectro total de Fourier se destacan 3 picos en las componentes Z y N-S centrados en 10 Hz (1), 26 Hz y 34 Hz, igual que en el registro anterior los dos picos de frecuencias mayores

coinciden (2) con picos detectados en el estudio del ruido de fondo (Figura 12) por lo que se podrían atribuirse a una señal ajena al alud. La componente E-W no presenta picos definidos.

- Tercer alud

El tercer alud fue también de pequeña dimensión y la zona de llegada quedó a ~750 m de la estación. En los registros (Figura 17) no se distingue ninguna señal a excepción de la de la explosión a 0 s. Se calculó el espectro total (Figura 18) de la señal comprendida entre 10.93 s y 51.89 s. El resultado es similar al de los registros anteriores.

(1) El pico centrado en 10 Hz es un pico que no se observa en el ruido de fondo. Se estudiaron los espectros de las señales posteriores a los tiros que no provocaron aludes y también apareció este mismo pico. Este resultado nos condujo a pensar que las amplitudes espectrales centradas en 10 Hz podían contener la señal de un eco de la explosión.

(2) Al hablar de picos similares nos basamos en cálculos de potencias de densidad espectral hechos sobre las señales posteriores a las explosiones. Estos cálculos no se presentan en este trabajo pero fueron imprescindibles para poder comparar las amplitudes de los picos observados en los espectros de Fourier con las de los picos observados en las curvas de densidad espectral.

A la hora de analizar los resultados se consideró que las SSA generadas por estos aludes no podían diferenciarse del ruido de fondo.

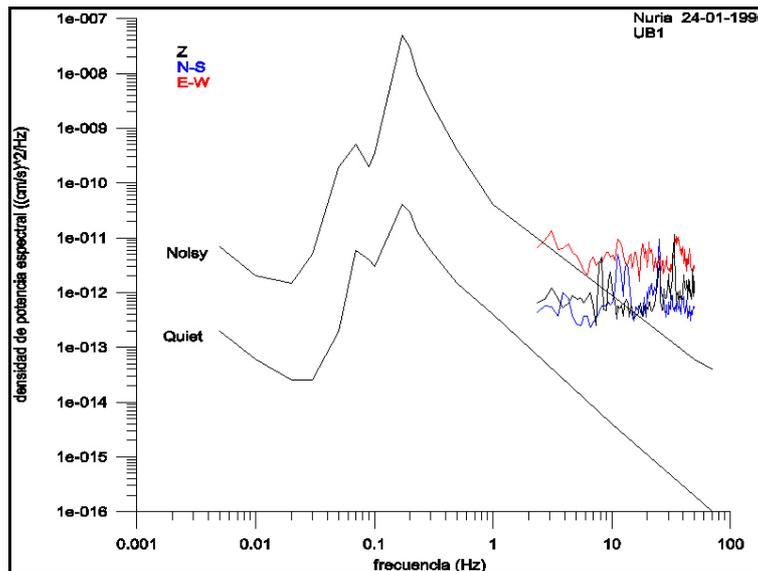


Figura 12. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 19 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB1 el 24 de enero de 1996 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

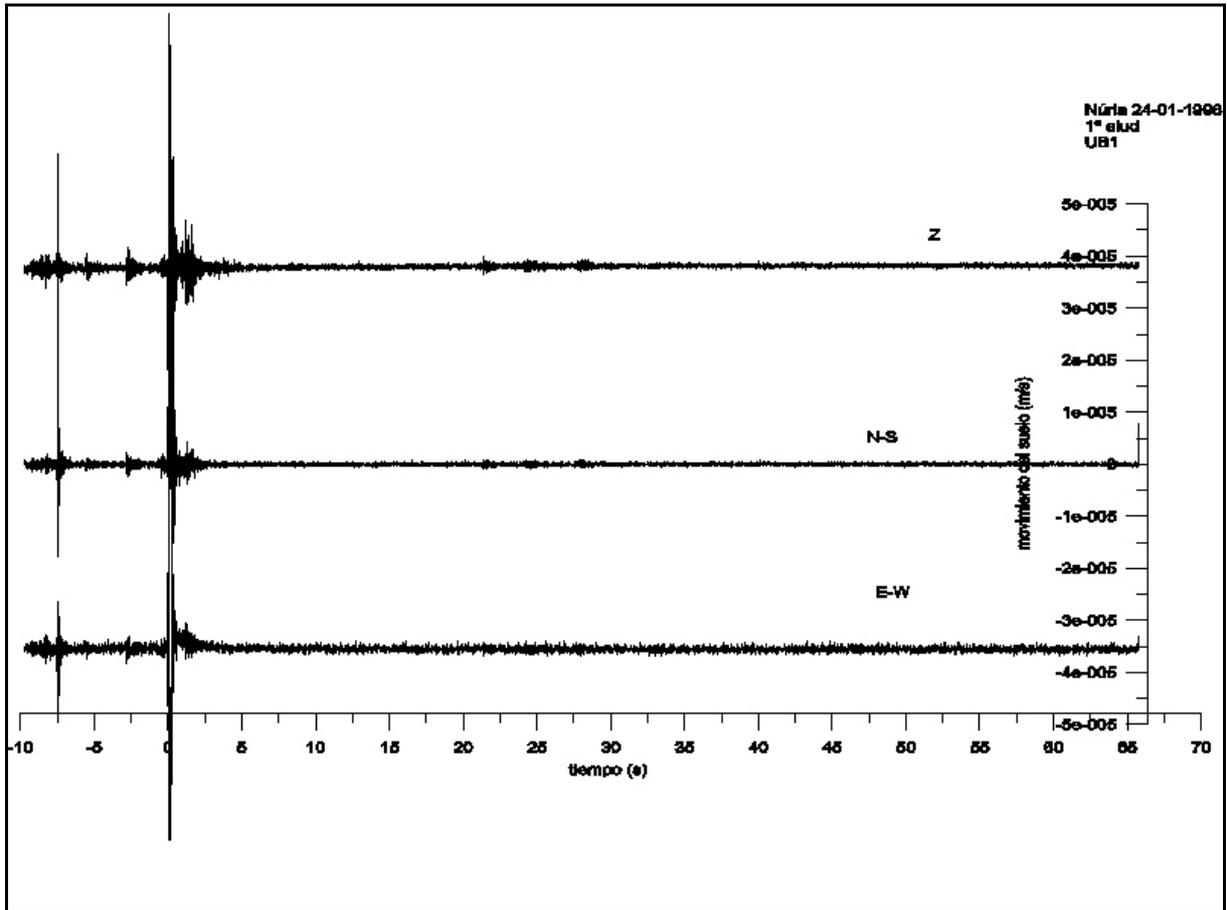


Figura 13. Señales registradas en la estación UB1 durante el 1º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

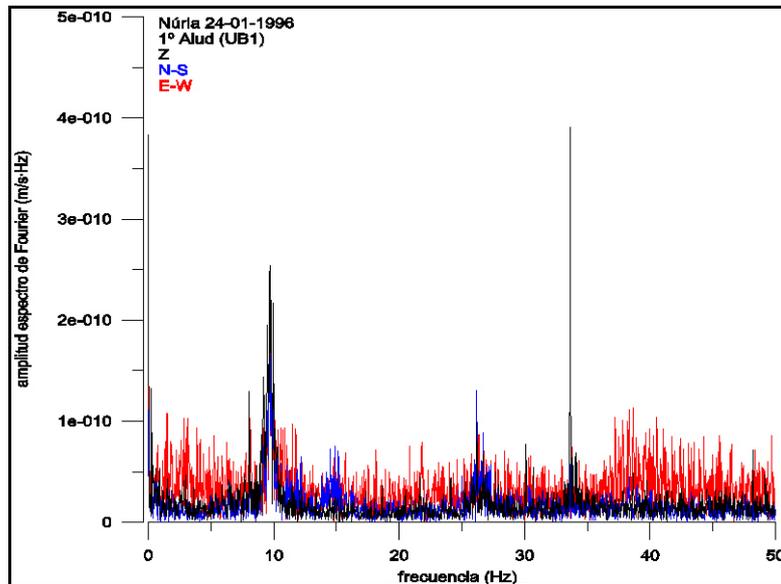


Figura 14. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 1º alud en Vall de Núria en 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 10.27 s y 51.23s.

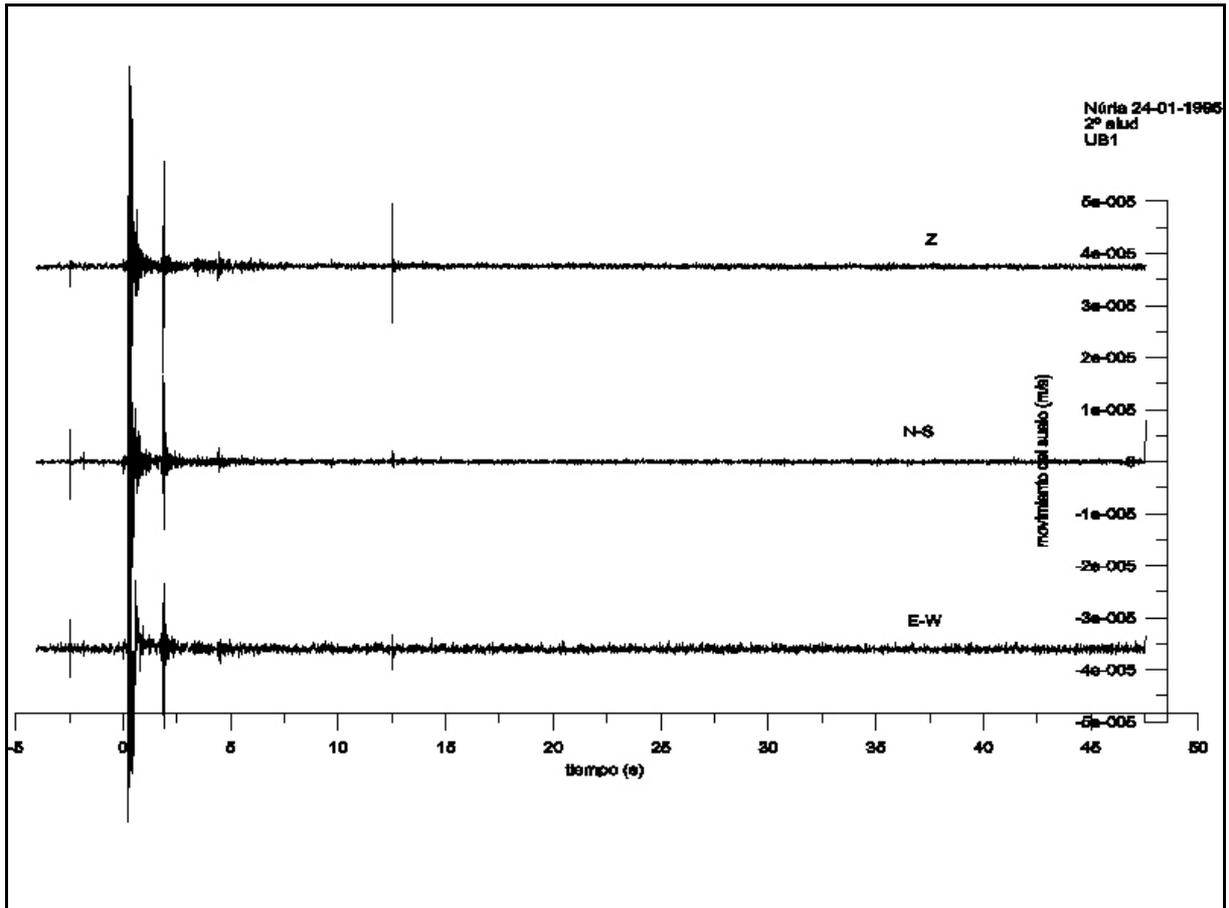


Figura 15. Señales registradas en la estación UB1 durante el 2º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

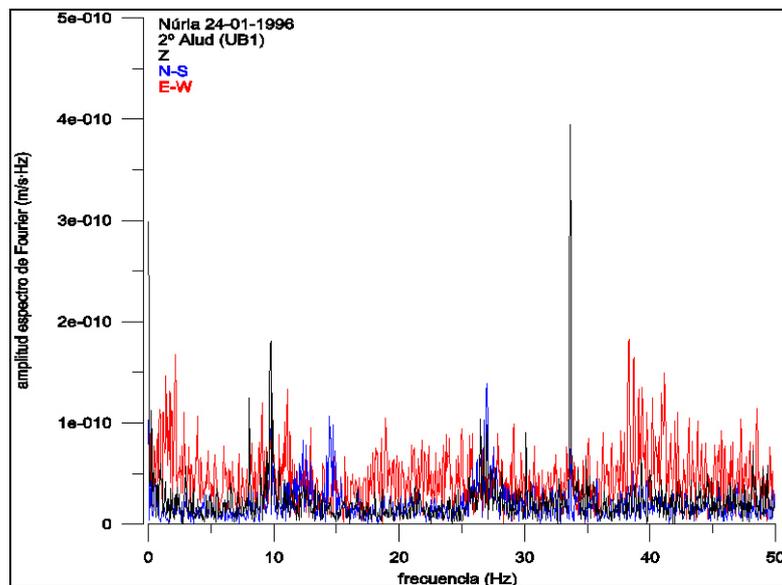


Figura 16. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 2º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 11 s y 31.46 s

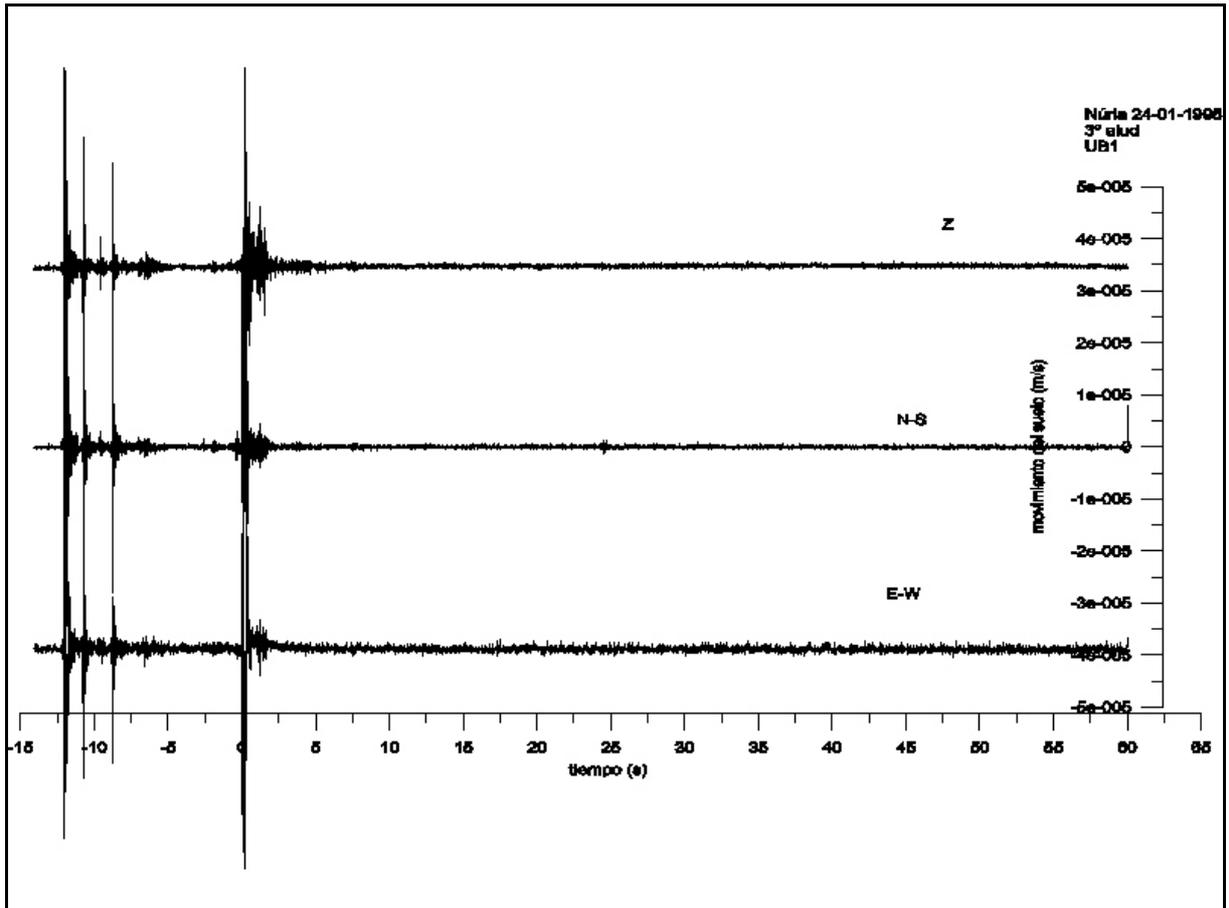


Figura 17. Señales registradas en la estación UB1 durante el 3º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión

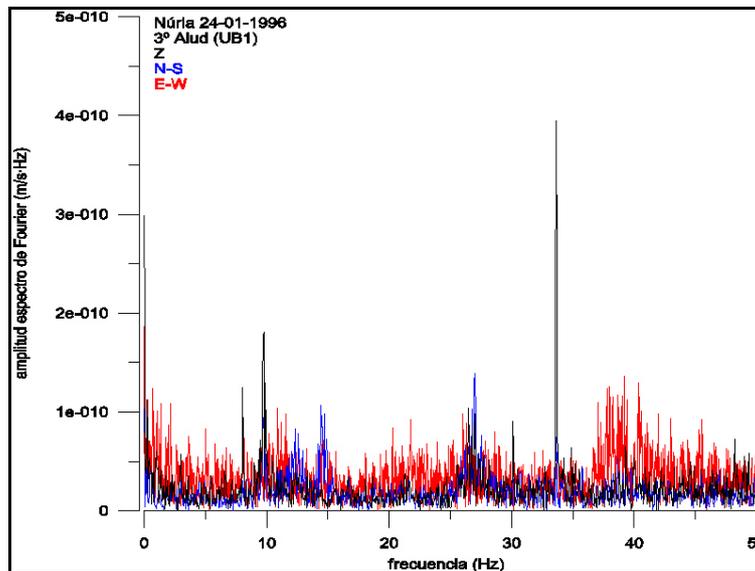


Figura 18. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 3º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 10.93 s y 51.89 s.

- Registros en la estación UB2

El ruido de este emplazamiento (*Figura 19*) se estudió a partir de los 5.12 s primeros del registro previos a la primera explosión. Las curvas de densidad de potencia espectral de las tres componentes son superiores a la curva *Noisy* para frecuencias superiores a los 5 Hz. Se destaca un pico centrado en [10-20] Hz para las componentes horizontales.

- Primer alud

En el registro (*Figura 20*) realizado durante el primer alud en la estación UB2 se observa la señal de la explosión a 0 s. Entre 15 s y 30 s se distingue otra señal que podría asociarse al alud, la amplitud mayor se encuentra en la componente horizontal N-S y es de un orden de 10^{-5} m/s. El espectro total de esta señal (*Figura 21*) se calculó a partir del registro comprendido entre 14 s y 54.96 s. Se observa un pico importante entre los [10-20] Hz para las componentes horizontales (3).

- Segundo alud

En los registros efectuados durante el segundo alud se observa (*Figura 22*) la señal de la explosión a 0 s. En la componente N-S se observa otra señal a ~18 s del orden de 10^{-6} m/s. Se hizo un estudio del contenido frecuencial de la señal comprendida entre los 17.3 s y 58.26 s. Se observa (*Figura 23*) un pico centrado entre [15-20] Hz (3).

- Tercer alud

Algún problema en la estación UB2 impidió el registro de la explosión que provocó el tercer alud. En los registros (*Figura 24*) tan sólo se aprecia una corta señal sobre los 11 s en las tres componentes. El espectro total (*Figura 25*) calculado a partir de la señal comprendida entre 0 s y 20.48 s muestra un pico centrado en [15-20] Hz para las componentes horizontales (3).

(3) Se calculó el espectro de las señales posteriores a las explosiones que no desencadenaron aludes y se observaron picos similares a éstos que se atribuyeron a posibles ecos de la explosión.

En el análisis de los resultados se consideró que las SSA generadas por estos aludes no podían distinguirse de la señal del ruido de fondo.

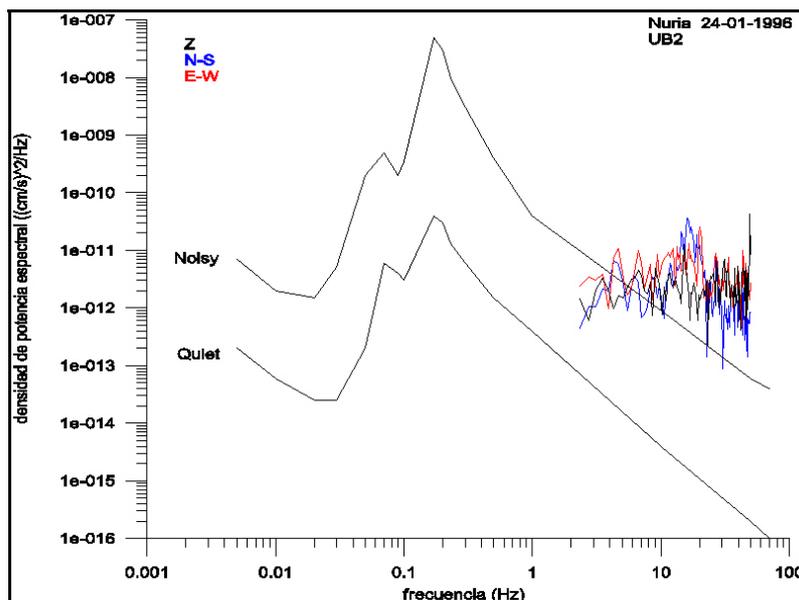


Figura 19. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 5.12 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB2 el 24 de enero de 1996 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

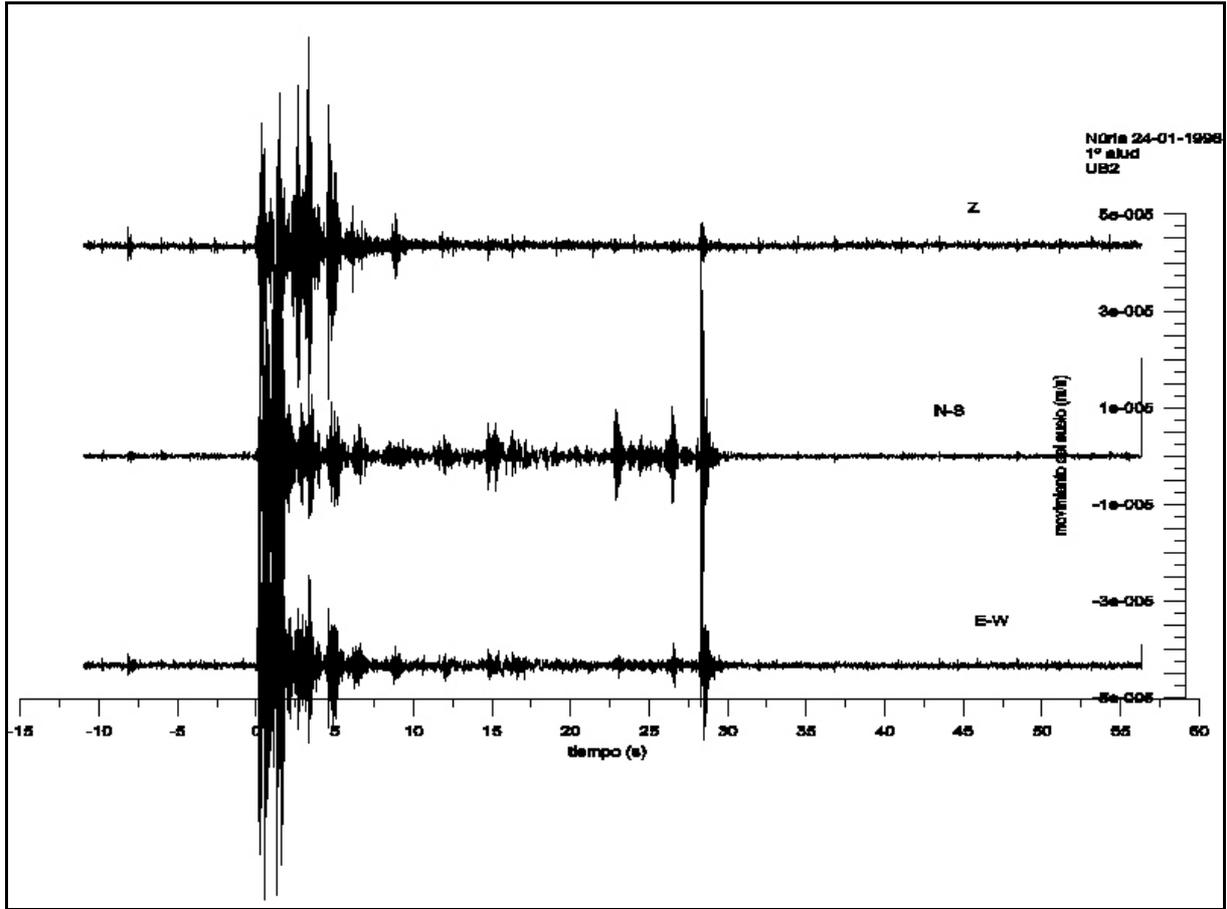


Figura 20. Señales registradas en la estación UB2 durante el 1º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión

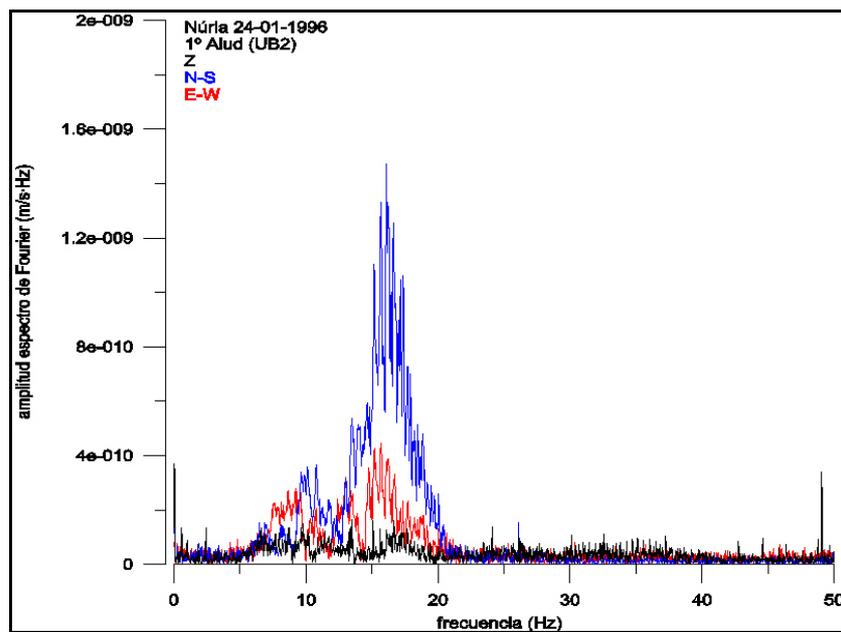


Figura 21. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 1º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 14 s y 54.96 s.

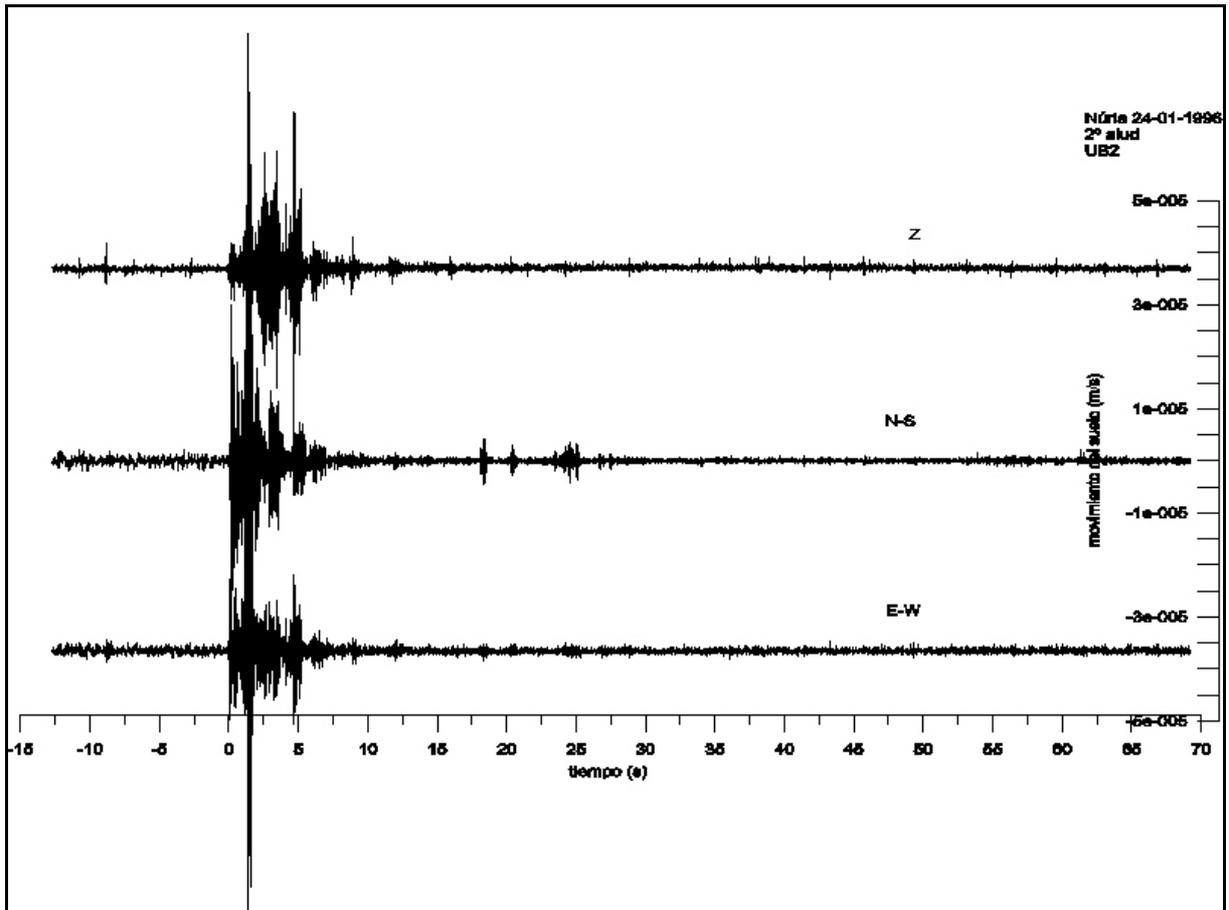


Figura 22. Señales registradas en la estación UB2 durante el 2º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

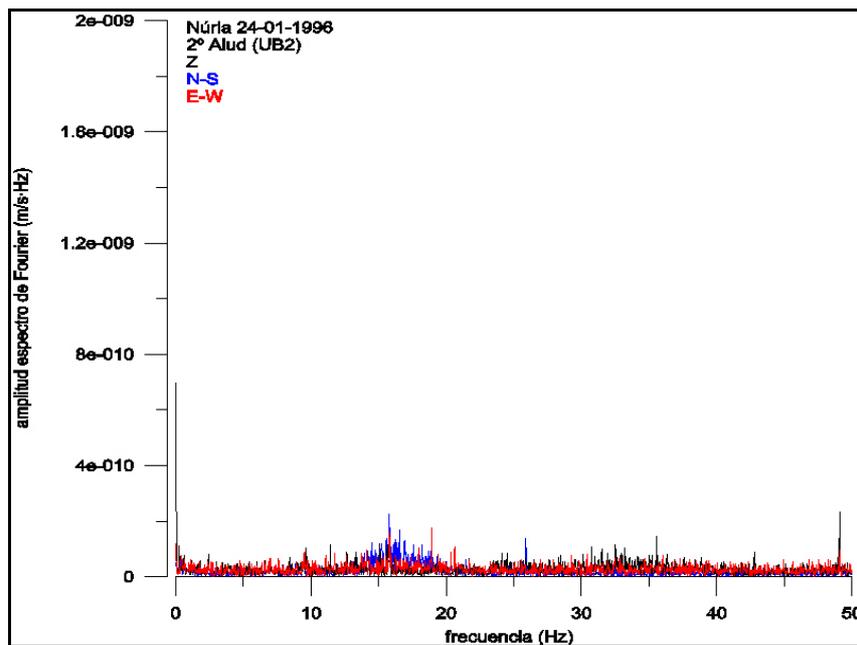


Figura 23. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 2º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 17.3 s y 58.26 s.

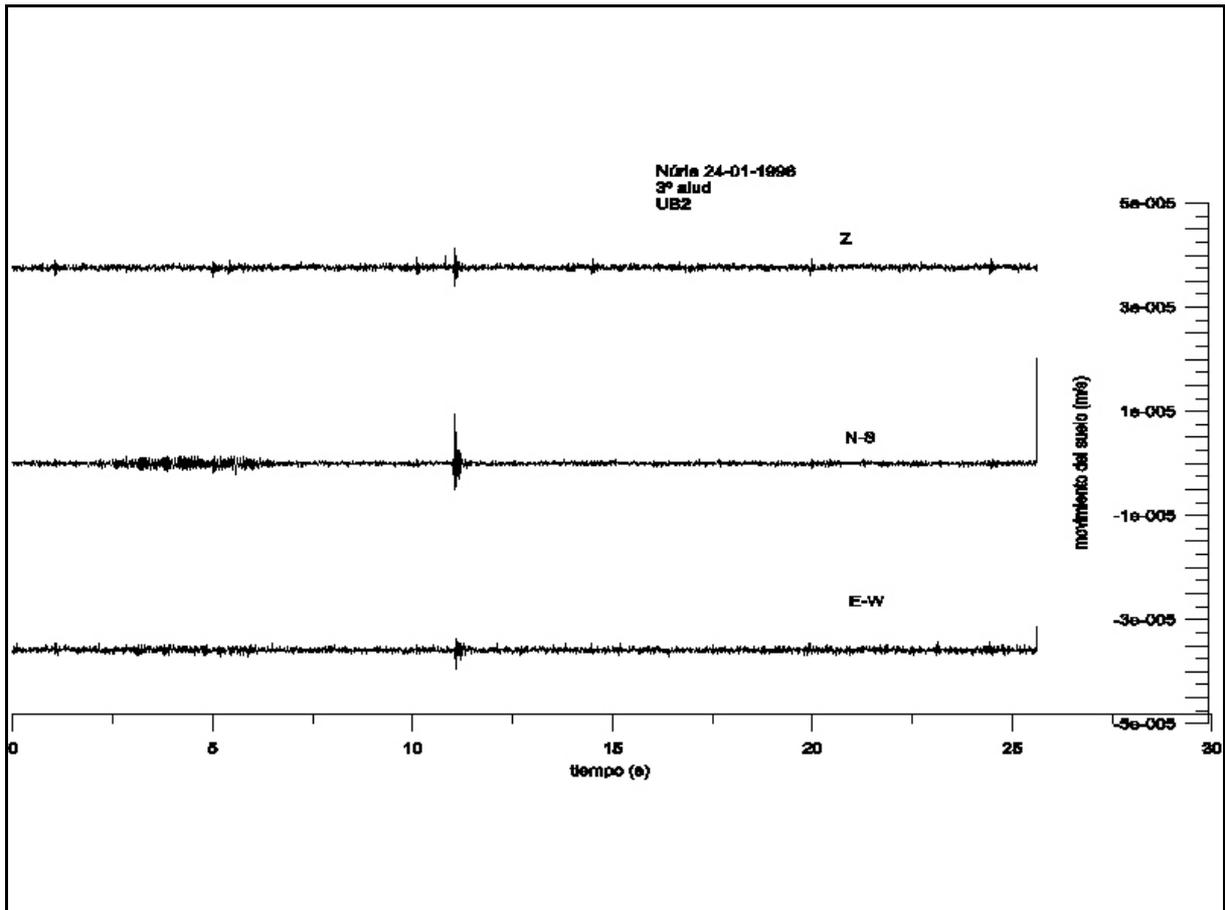


Figura 24. Señales registradas en la estación UB2 durante el 3º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

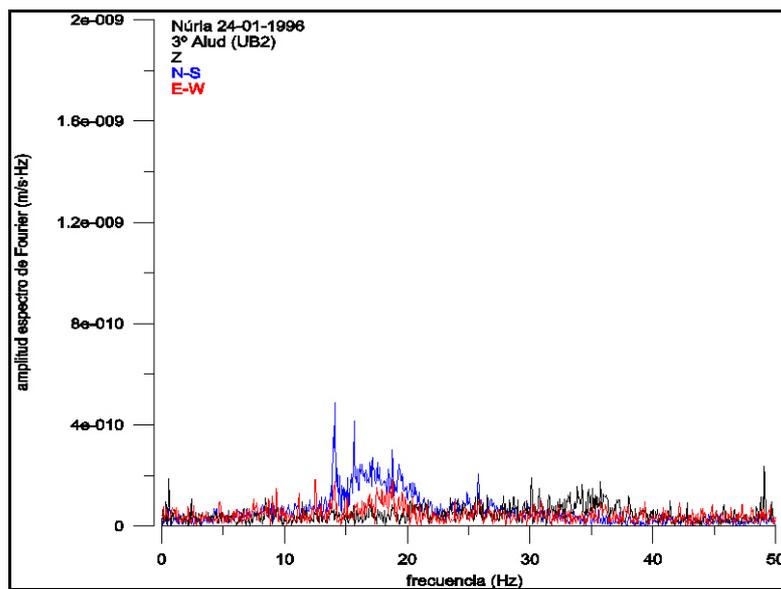


Figura 25. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 3º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 0 s y 20.48 s.

- Registros en la estación UB3

El ruido de este emplazamiento (*Figura 26*) se hizo a partir de los 5.12 s primeros del registro. Este equipo se instaló al lado del poste de un telesilla que siguió funcionando durante todo el experimento, por ello las curvas de densidad de potencia espectral muestran un emplazamiento altamente ruidoso. Las tres componentes superan la curva *Noisy* de referencia en todo el espectro y la componente vertical es superior a las horizontales.

- Primer alud

En los registros efectuados durante el primer alud en la estación UB3 (*Figura 27*) se distingue la señal de la explosión a los 0 s. Sobre los 25 s se distingue otra señal que podría asociarse al alud, esta señal tienen una duración de ~6 s y la amplitud máxima de las tres componentes es del orden de 10^{-5} m/s. El espectro total (*Figura 28*) del registro comprendido entre 18.4 s y 59.36 s muestra un pico centrado en [5-15] Hz para las tres componentes y otro pico para la componente Z situado en [40-50] Hz. Este último pico se detectó también (4) en el estudio del emplazamiento, pero no se detectó ningún pico similar al primero por lo que la supuesta señal del alud podría concentrarse en esta banda frecuencial. Este registro se consideró una SSA en el análisis de resultados.

- Segundo alud y tercer alud

El emplazamiento de UB3 dio unos registros altamente ruidosos. En estos registros (*Figura 29* y *Figura 31*) tan sólo se distingue la señal de la explosión a 0 s. Se calcularon los espectros (*Figura 30* y *Figura 32*) de las señales entre 17.2 s y 58.16 s, y 16.47 s y 57.43 s respectivamente. Los resultados que observamos muestran unos picos en Z situados en altas frecuencias [40-50] Hz que se atribuyen (4) al ruido de fondo. En estos registros se consideró que las SSA fueron del mismo orden o inferior a la señal del ruido de fondo.

(4) Estas afirmaciones están basadas en los cálculos de potencias de densidad espectral hechos sobre las señales posteriores a la explosión. Estos cálculos no se presentan en este trabajo pero fueron imprescindibles para poder comparar las amplitudes de los picos observados en los espectros de Fourier con las de los picos observados en las curvas de densidad espectral.

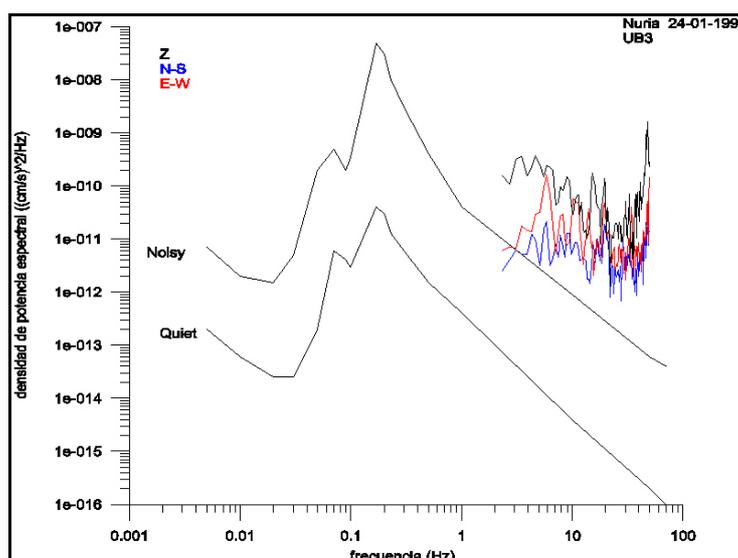


Figura 26. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 5.12 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB3 el 24 de enero de 1996 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

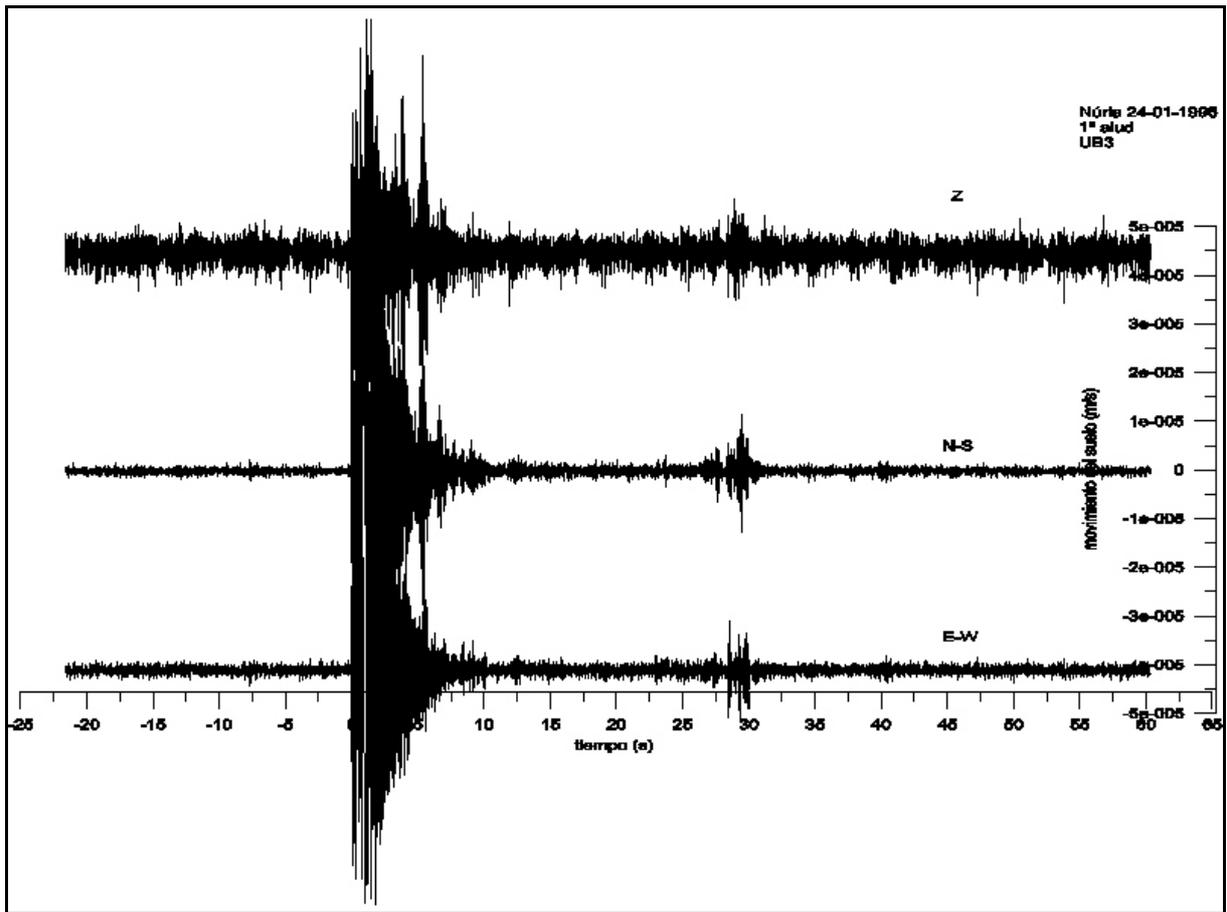


Figura 27. Señales registradas en la estación UB3 durante el 1º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión

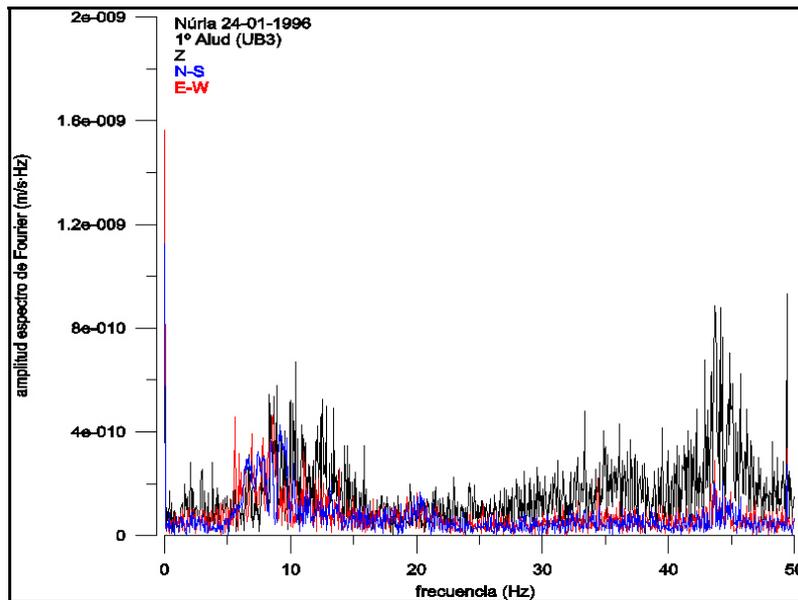


Figura 28. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 1º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 18.4 s y 59.36 s.

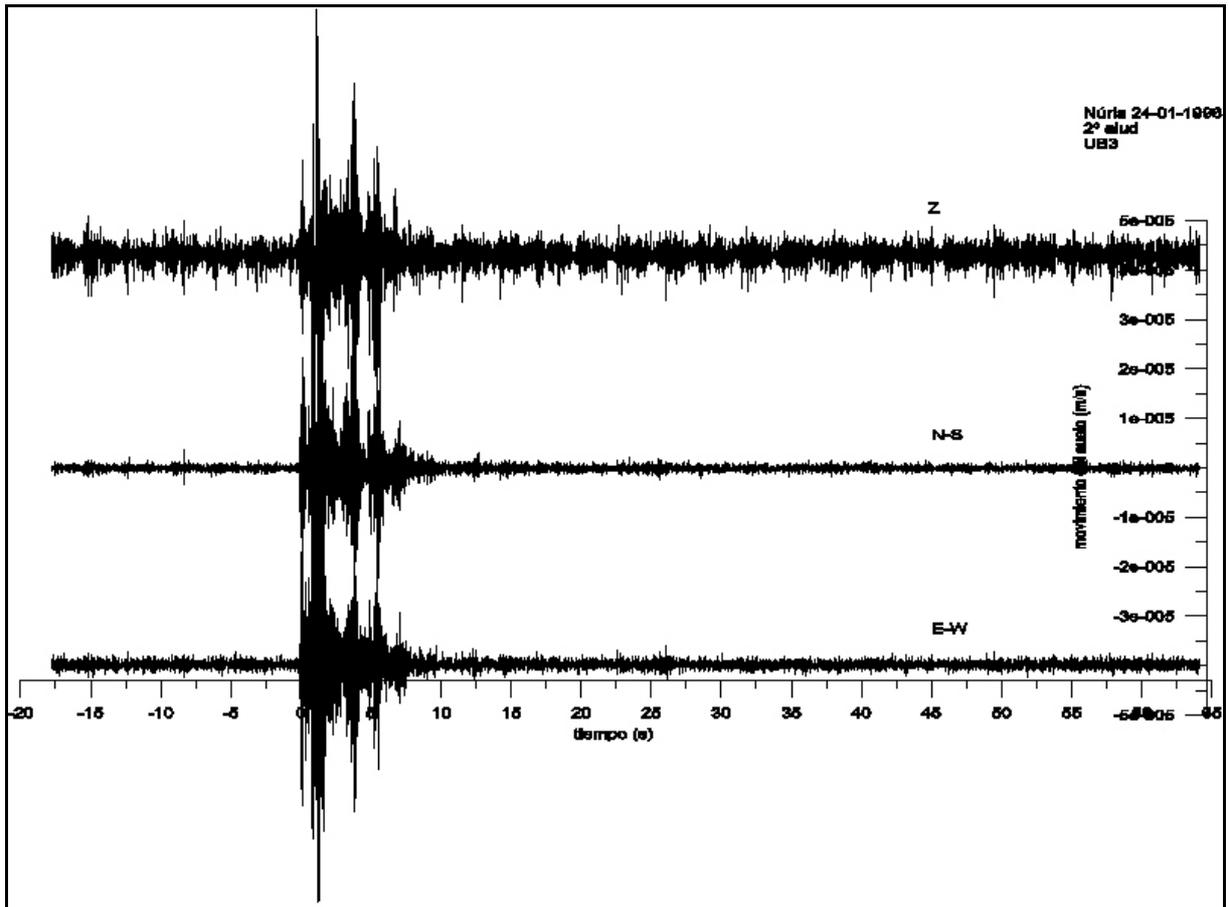


Figura 29. Señales registradas en la estación UB3 durante el 2º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión

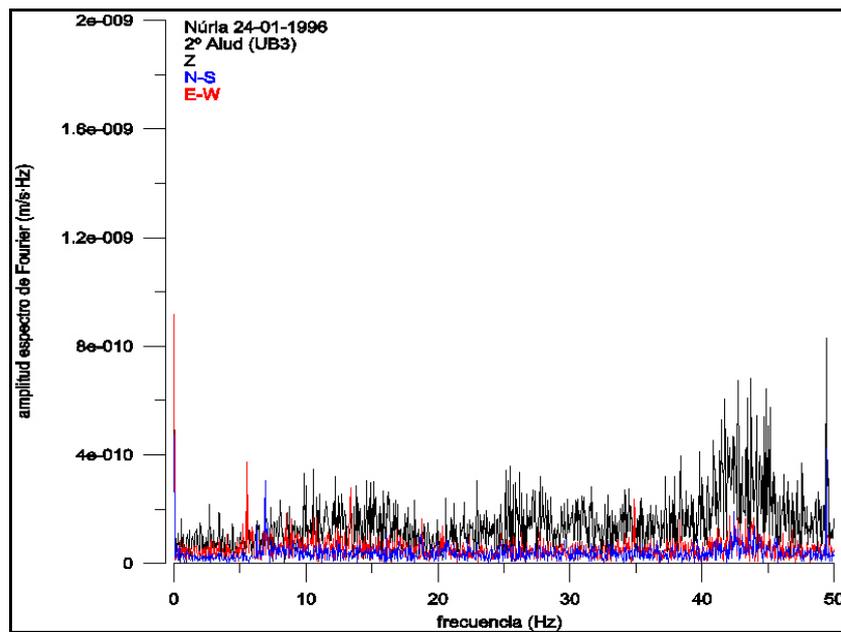


Figura 30. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 2º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 17.2 s y 58.16 s.

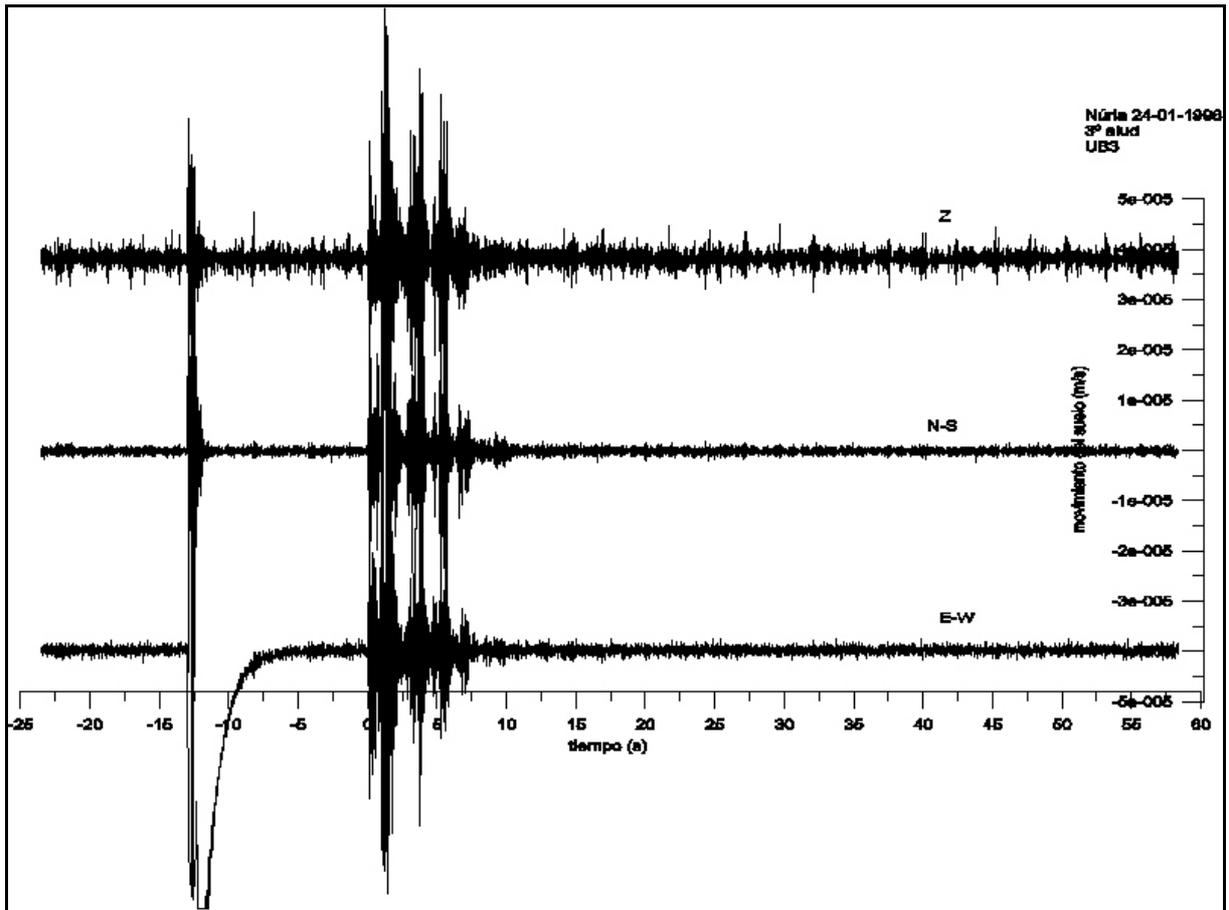


Figura 31. Señales registradas en la estación UB3 durante el 3º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión

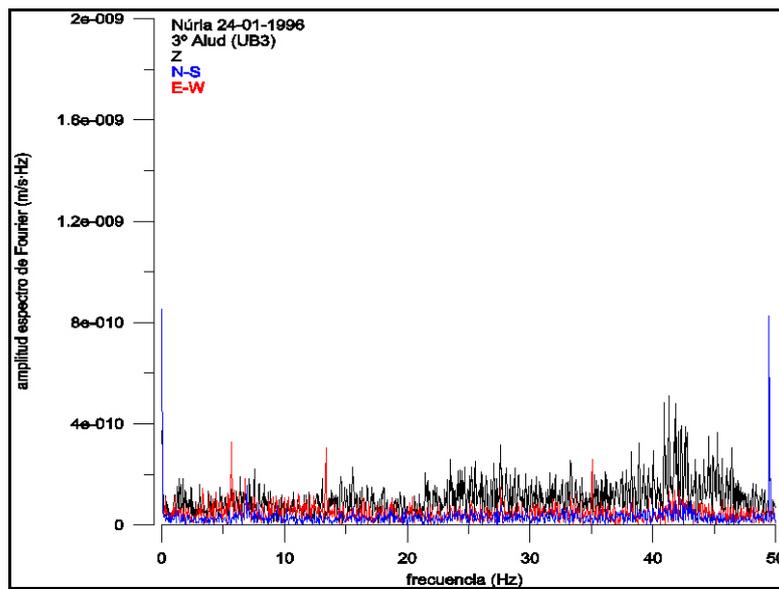


Figura 32. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 3º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 16.47 s y 57.43 s.

A.2.2 Aludes del 1-02-1996

El 1 de febrero de 1996 los responsables de las pistas de la estación de Vall de Núria se propusieron desencadenar aludes sobre la zona de Mulleres. El día anterior los equipos de aludes de la UB y del ICC subieron a Núria con todo el material para instalarlo y estuvieron presentes en los disparos del cañón *avalancheur*.

Se instalaron cuatro estaciones, tres estaciones sísmicas Lennartz y una Pdas. La situación de las estaciones se puede observar en la *Figura 33*. La estación Pdas no pudo registrar por causas desconocidas. La estación UB1 registró con un valor de amplificación de 8, la estación UB2 funcionó con una amplificación de 7 y la UB3 con una amplificación de 7.

Se dispararon cinco tiros y todos los disparos desencadenaron pequeños aludes. El quinto tiro cayó fuera de la zona observable y por ello no se cartografió ni se tomaron datos sobre él por lo que no se estudiará. No fue posible filmar los aludes debido a que la visibilidad era casi nula.

Datos de campo extraídos a partir de: datos nivometeorológicos recogidos por el observador de la estación de esquí y observaciones del equipo de aludes de la UB presente en el experimento

- ❖ *Aludes provocados el 2 de febrero de 1996 (Figura 33).*
- ❖ *Altura de fractura ~50 cm.*
- ❖ *La densidad de la nieve era de ~140 kgm⁻³.*
- ❖ *Aludes de flujo.*
- ❖ *El flujo de los aludes fue poco denso.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 1º alud-UB1~ 800m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 2º alud-UB1~ 750m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 3º alud-UB1~ 580m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 4º alud-UB1~ 680m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 1º alud-UB2~ 370m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 2º alud-UB2~ 330m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 3º alud-UB2~ 110m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 4º alud-UB2~ 230m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 1º alud-UB3~ 40m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 2º alud-UB3~ 110m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 3º alud-UB3~ 360m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del 4º alud-UB3~ 310m.*

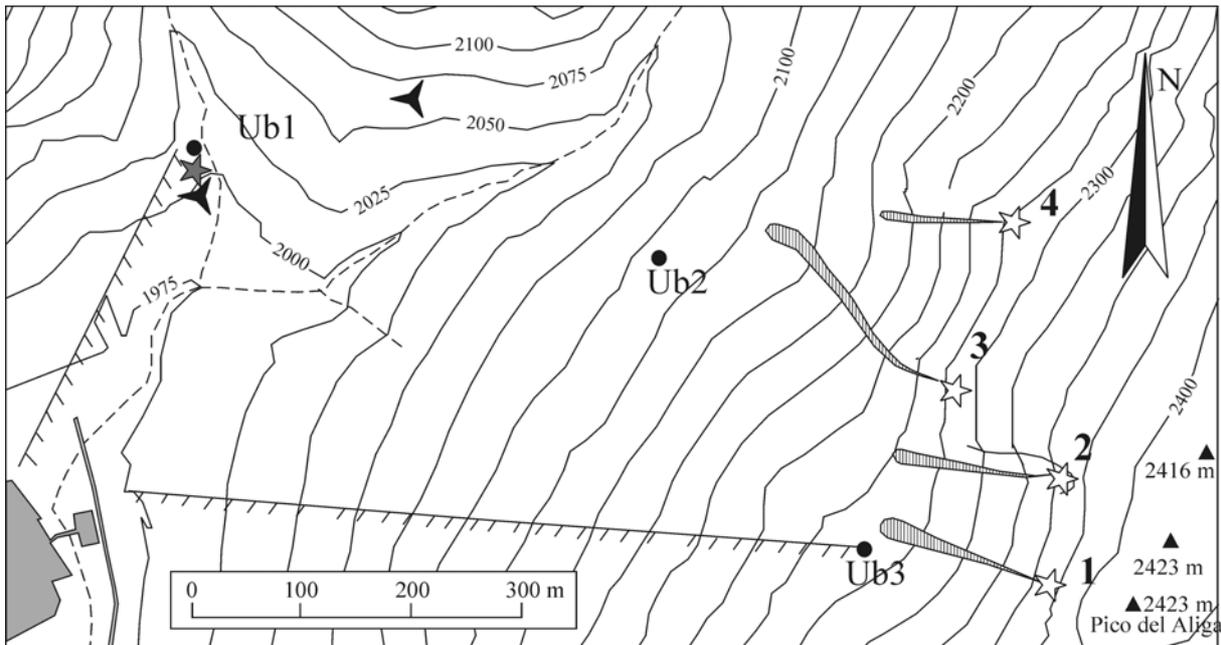


Figura 33. Cartografía de los cuatro aludes provocados el 1 de febrero de 1996 en la estación de esquí de Vall de Núria. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en la estación UB1

La señal que se utilizó para estudiar el ruido de este emplazamiento era de 5.12 s. El estudio del ruido de fondo en este emplazamiento debe llevarse a cabo teniendo en cuenta que el sensor estaba al lado del cañón *avalancheur* y había presencia constante de personas alrededor. Las curvas de densidad (Figura 34) de la componente N-S superan la curva *Noisy* en todo el espectro. Las otras dos componentes, Z y E-W, superan la curva *Noisy* para frecuencias superiores a 10 Hz y 6 Hz respectivamente.

- Primero, segundo, tercero y cuarto alud

Los cuatro registros de la estación UB1 presentan características similares. Se observan (Figura 35, Figura 37, Figura 39 y Figura 41) las explosiones a 0 s y previamente a éstas se observan las señales de disparo del cañón *avalancheur*. En ninguno de los registros se distingue, a priori, ninguna señal que pueda ser atribuida a los aludes. Los cálculos de los espectros totales (Figura 36, Figura 38, Figura 40 y Figura 42) muestran picos centrados en 10 Hz. Este pico se observó también en las señales posteriores a las explosiones que no provocaron aludes por lo que se atribuye al eco de la explosión. A la hora de analizar los resultados se consideró que las SSA generadas por estos aludes en este emplazamiento no podían diferenciarse de la señal de ruido de fondo.

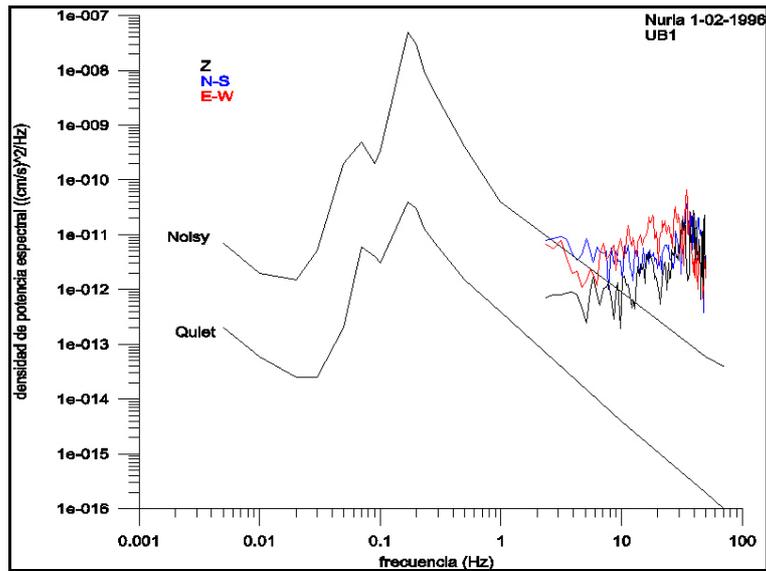


Figura 34. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 5.12 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB1 el 1 de febrero de 1996 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

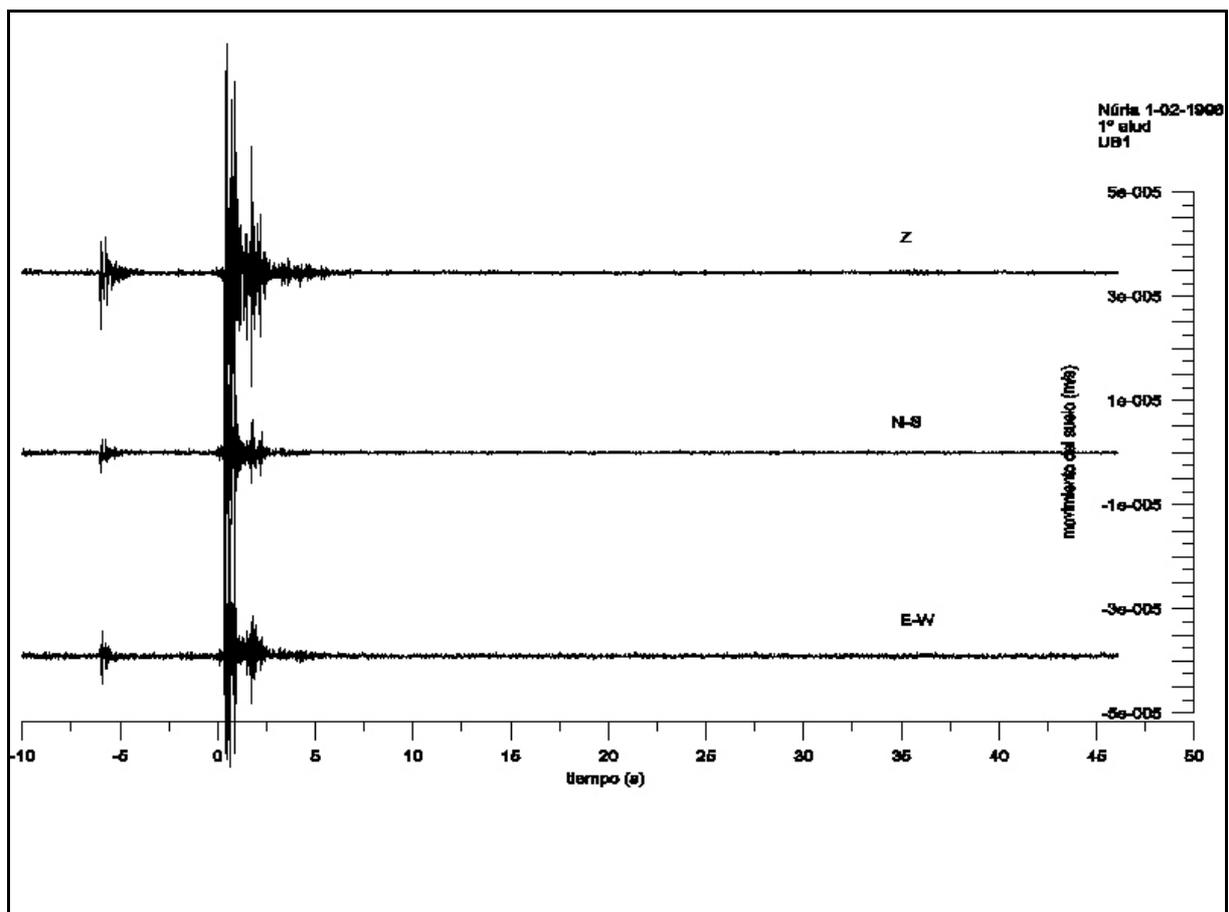


Figura 35. Señales registradas en la estación UB1 durante el 1º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

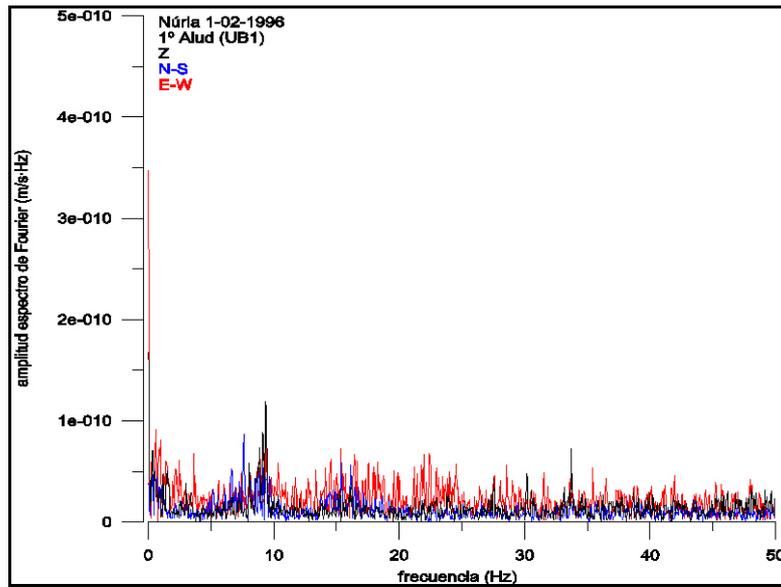


Figura 36. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estaci3n UB1 durante el 1o alud en Vall de Nuria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calcul3 a partir de la señal comprendida entre 19.18 s y 39.66 s.

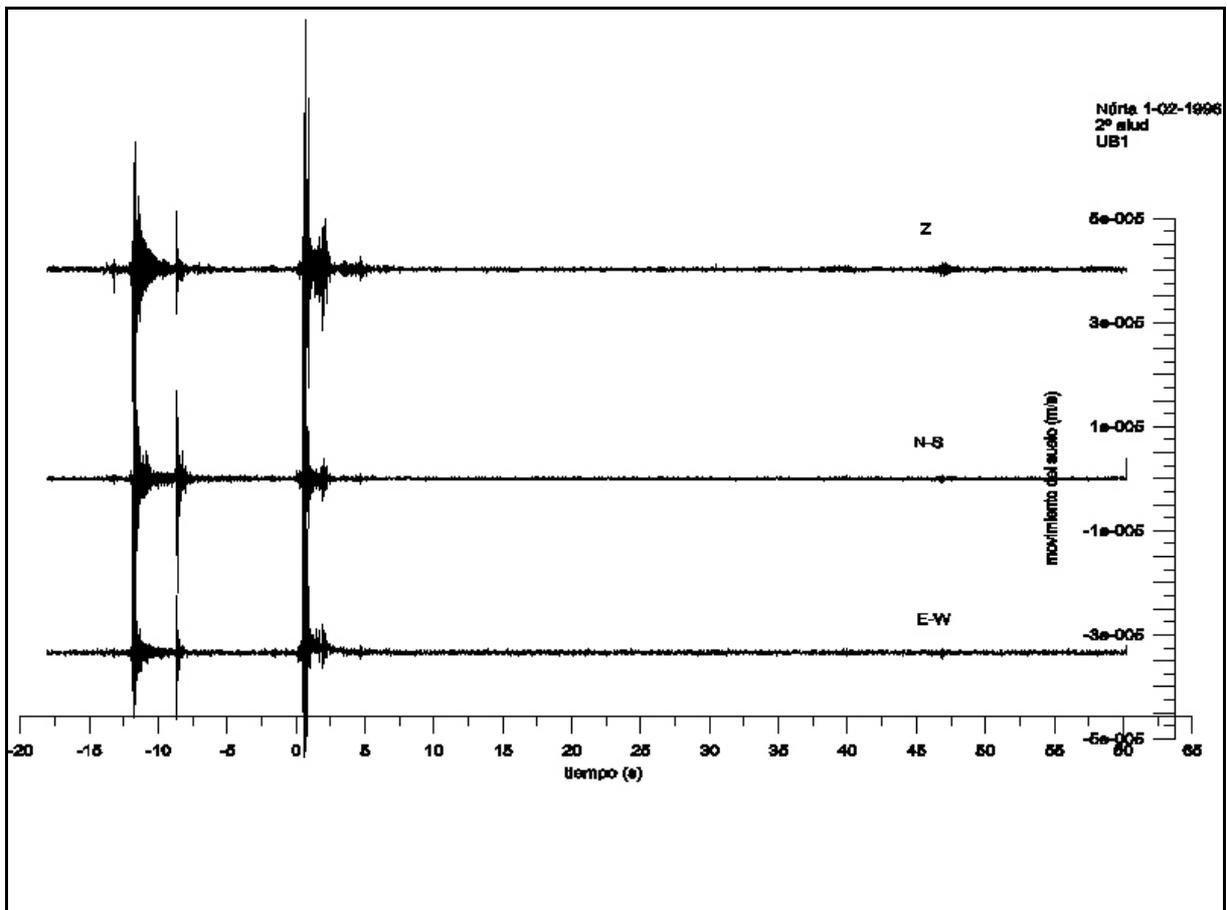


Figura 37. Señales registradas en la estaci3n UB1 durante el 2o alud en Vall de Nuria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosi3n

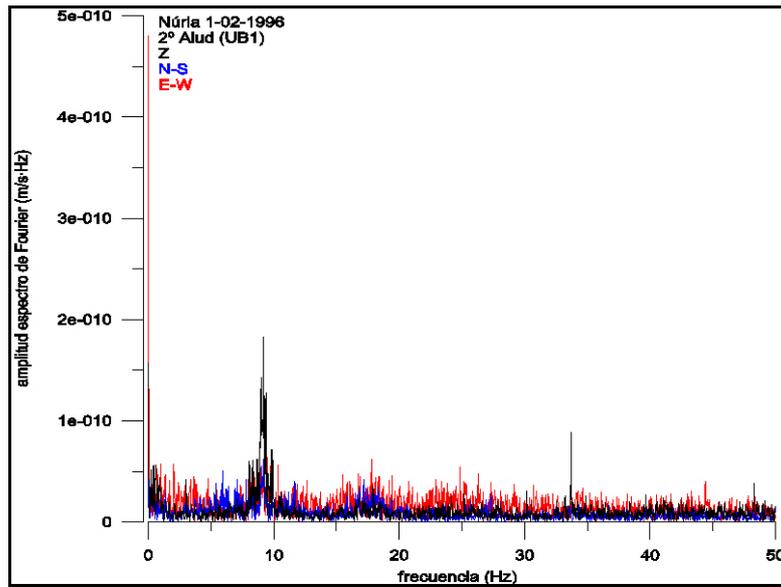


Figura 38. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 2º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 11.92 s y 52.88 s.

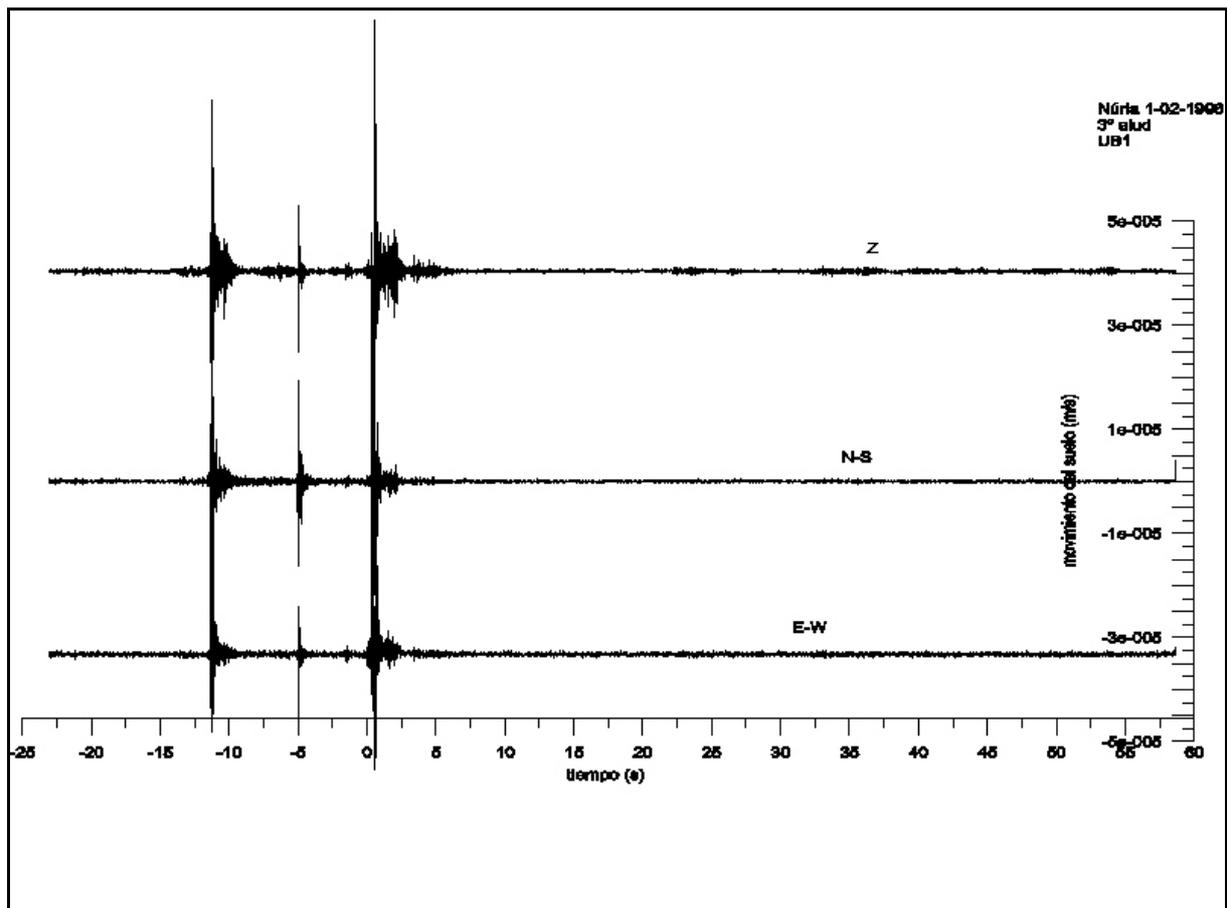


Figura 39. Señales registradas en la estación UB1 durante el 3º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

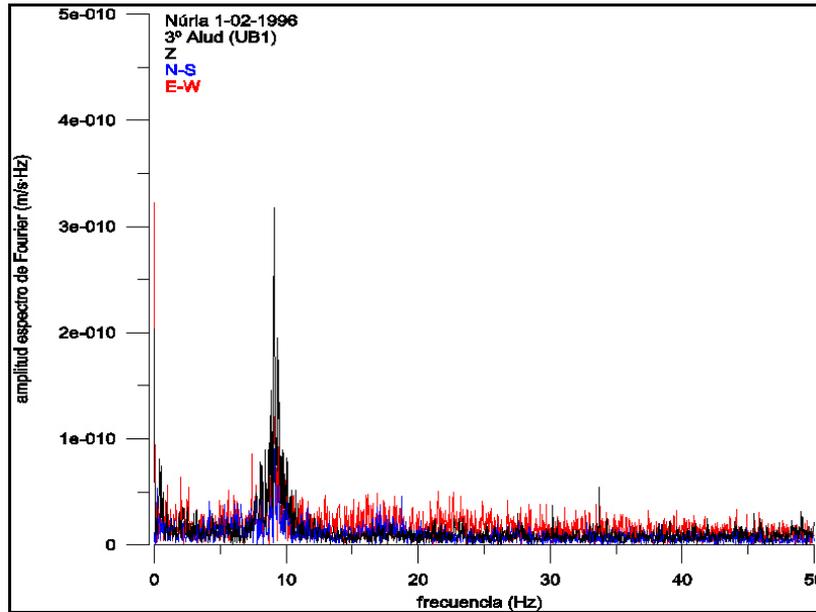


Figura 40. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 3º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 16.91 s y 57.87 s.

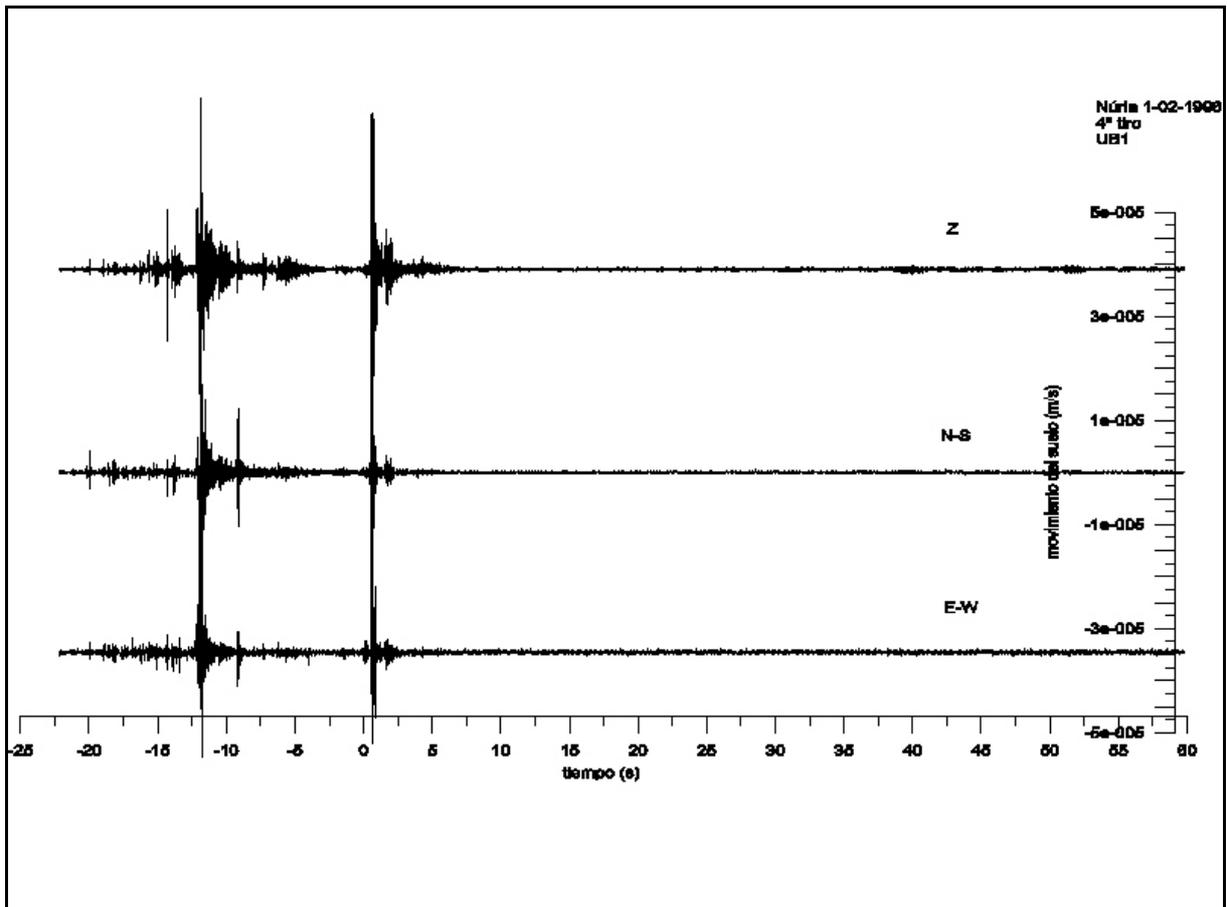


Figura 41. Señales registradas en la estación UB1 durante el 4º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

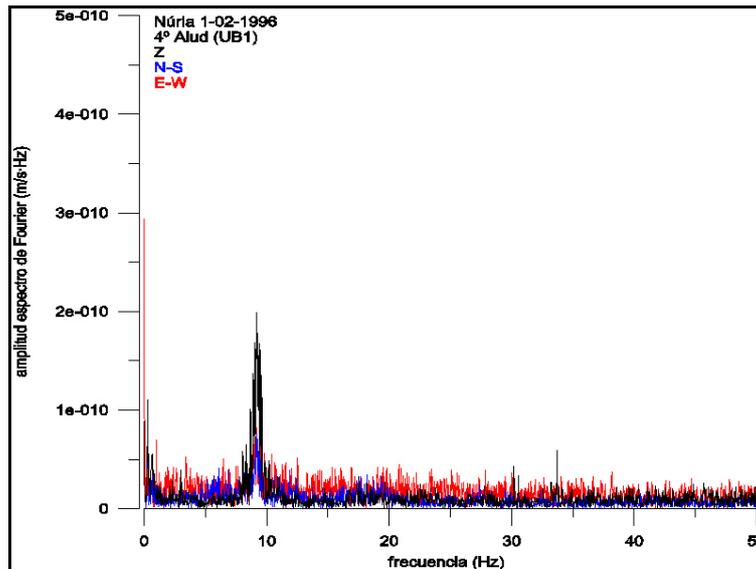


Figura 42. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 4º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 17.87 s y 58.83 s.

- Registros en la estación UB2

El ruido de este emplazamiento se estudió con los 5.12 s primeros del registro (*Figura 43*). La componente E-W sobrepasa el nivel de la curva de referencia *Noisy* para frecuencias superiores a los 5 Hz. Las componentes Z y N-S superan el nivel *Noisy* para frecuencias superiores a 10 Hz.

- Primero, segundo, tercero y cuarto alud

Las características de los cuatro registros son similares. Los registros efectuados por la estación UB2 muestran (*Figura 44*, *Figura 46*, *Figura 48* y *Figura 50*) las señales de las explosiones a 0 s, pero no se distinguen, en un primer análisis, ninguna señal posterior que pudiera asociarse a los aludes. Los espectros de Fourier (*Figura 45*, *Figura 47*, *Figura 49* y *Figura 51*) tan sólo muestran un pico en la componente E-W centrado en los [5-8] Hz similar (5) al observado en el ruido de fondo. En el análisis de resultados se consideró que estas SSA no se podían diferenciar de la señal de ruido de fondo.

(5) Esta afirmación está basada en el cálculo de la densidad de potencia espectral de estas señales que no se presenta en este trabajo pero es imprescindible para hacer la comparación con las curvas del ruido de fondo.

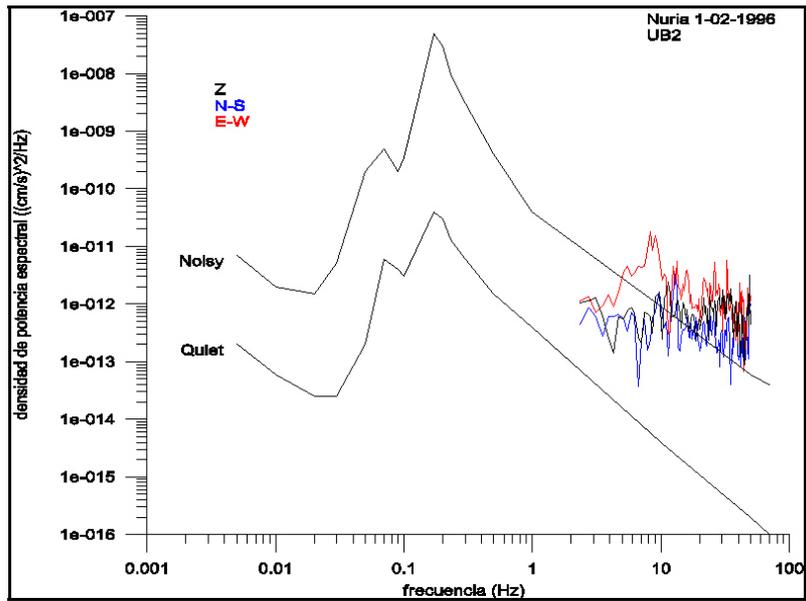


Figura 43. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 5.12 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB2 el 1 de febrero de 1996 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

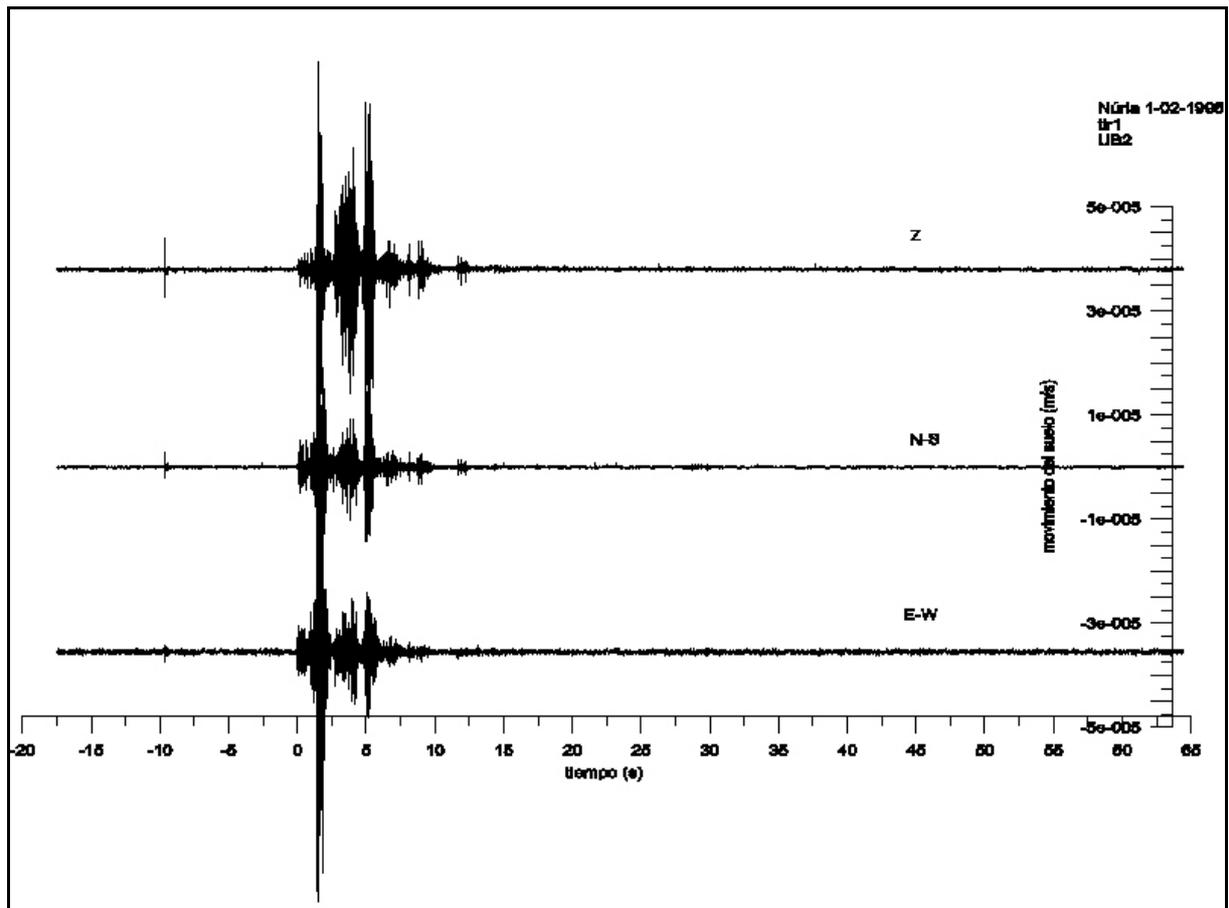


Figura 44. Señales registradas en la estación UB2 durante el 1º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

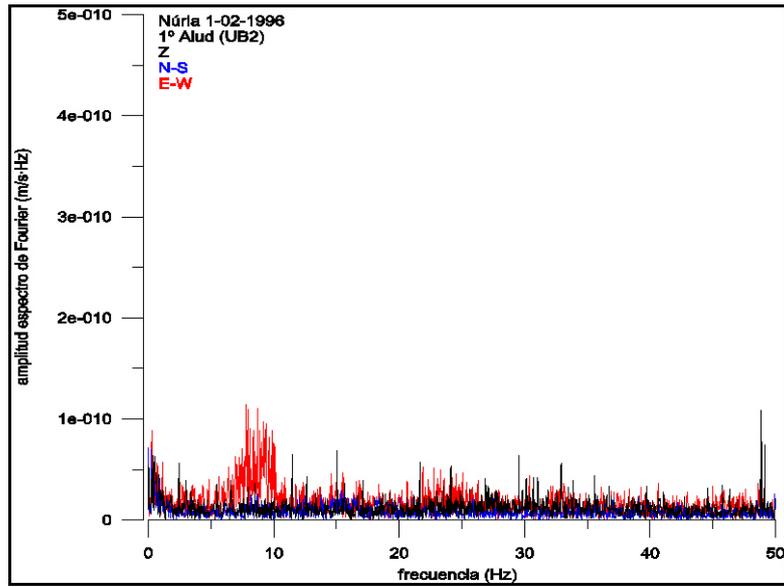


Figura 45. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 1º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 17.56 s y 58.52 s.

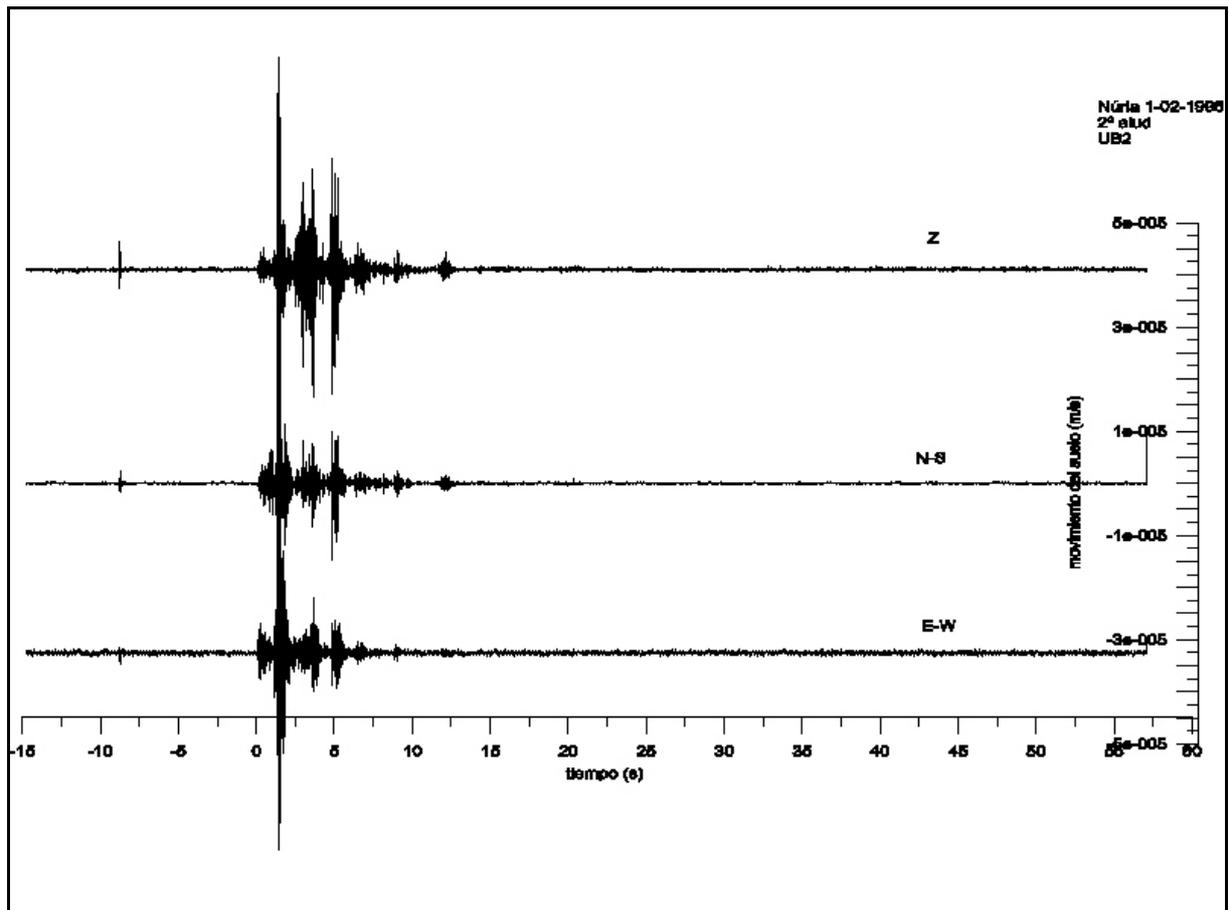


Figura 46. Señales registradas en la estación UB2 durante el 2º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión

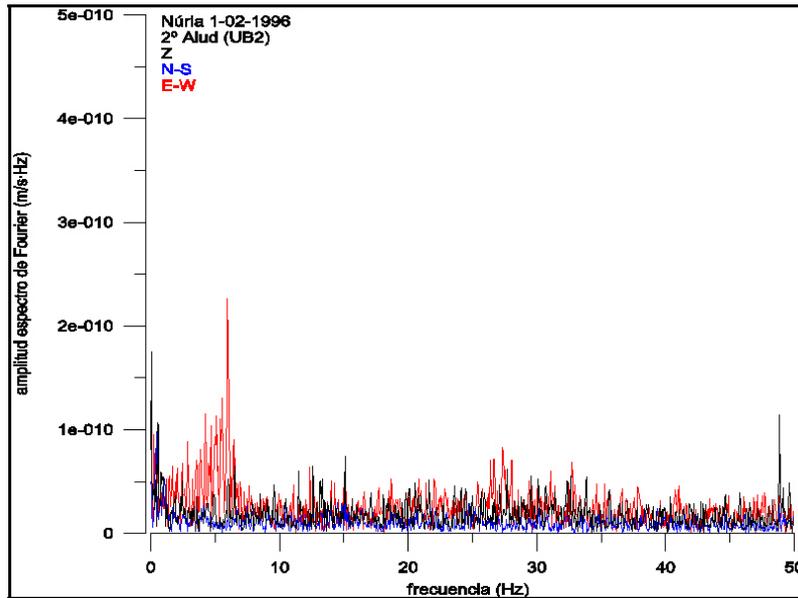


Figura 47. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 2º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 25.17 s y 45.65 s.

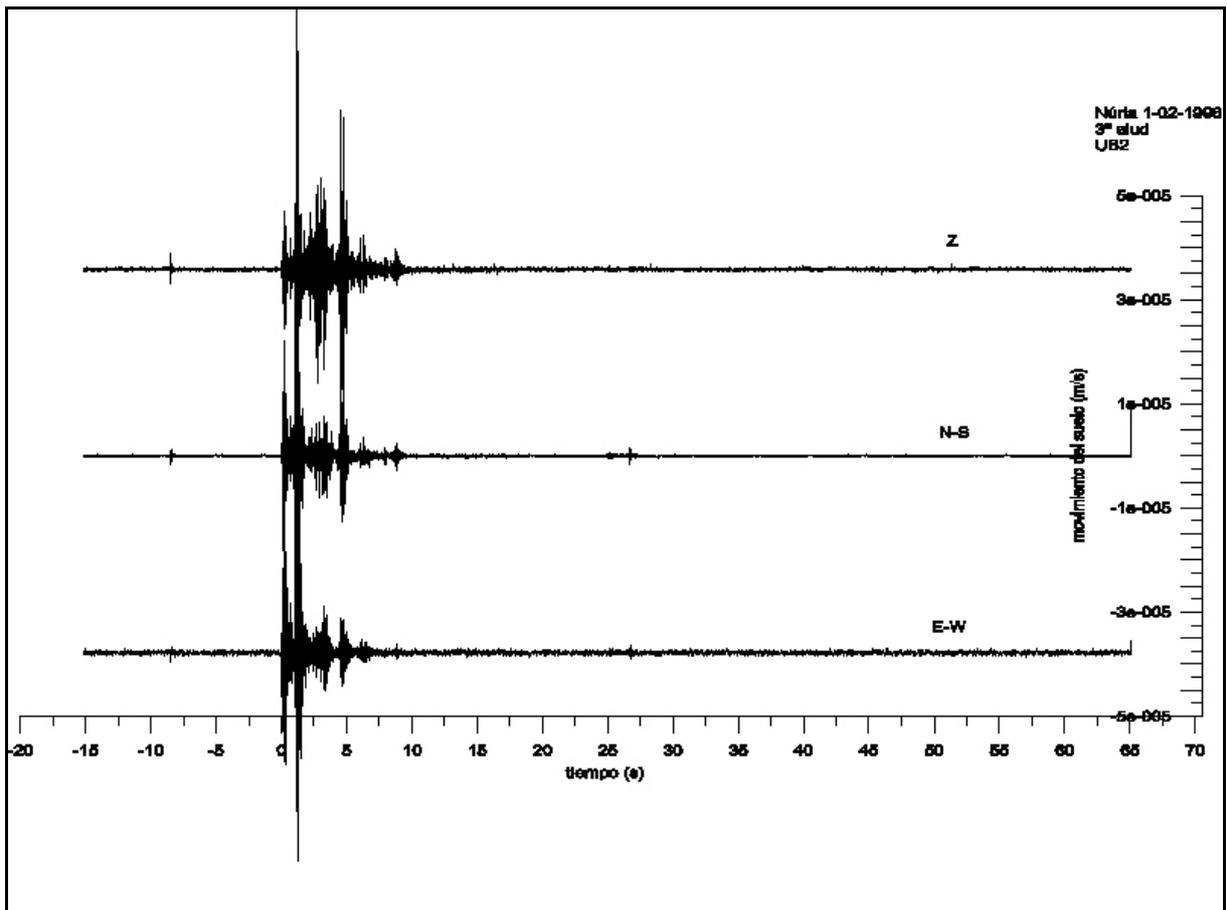


Figura 48. Señales registradas en la estación UB2 durante el 3º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

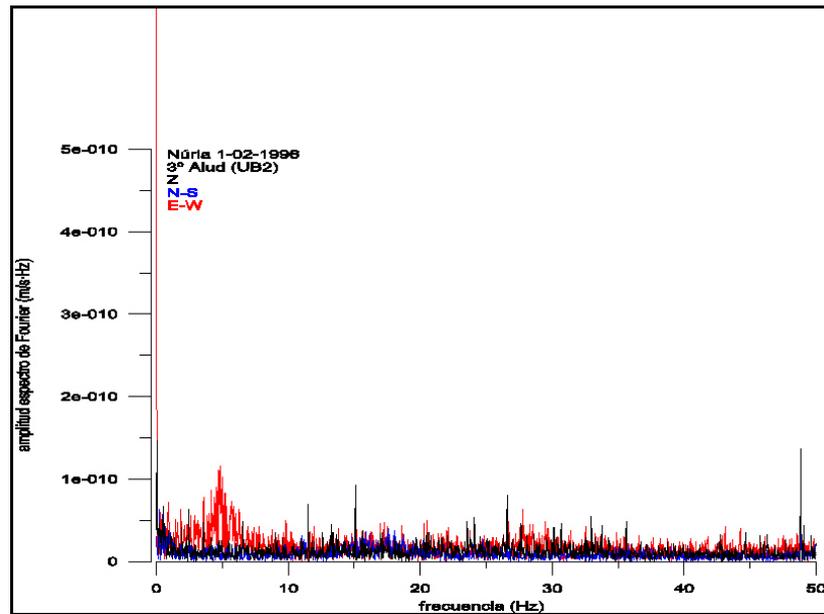


Figura 49. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 3º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 14.82 s y 55.78 s.

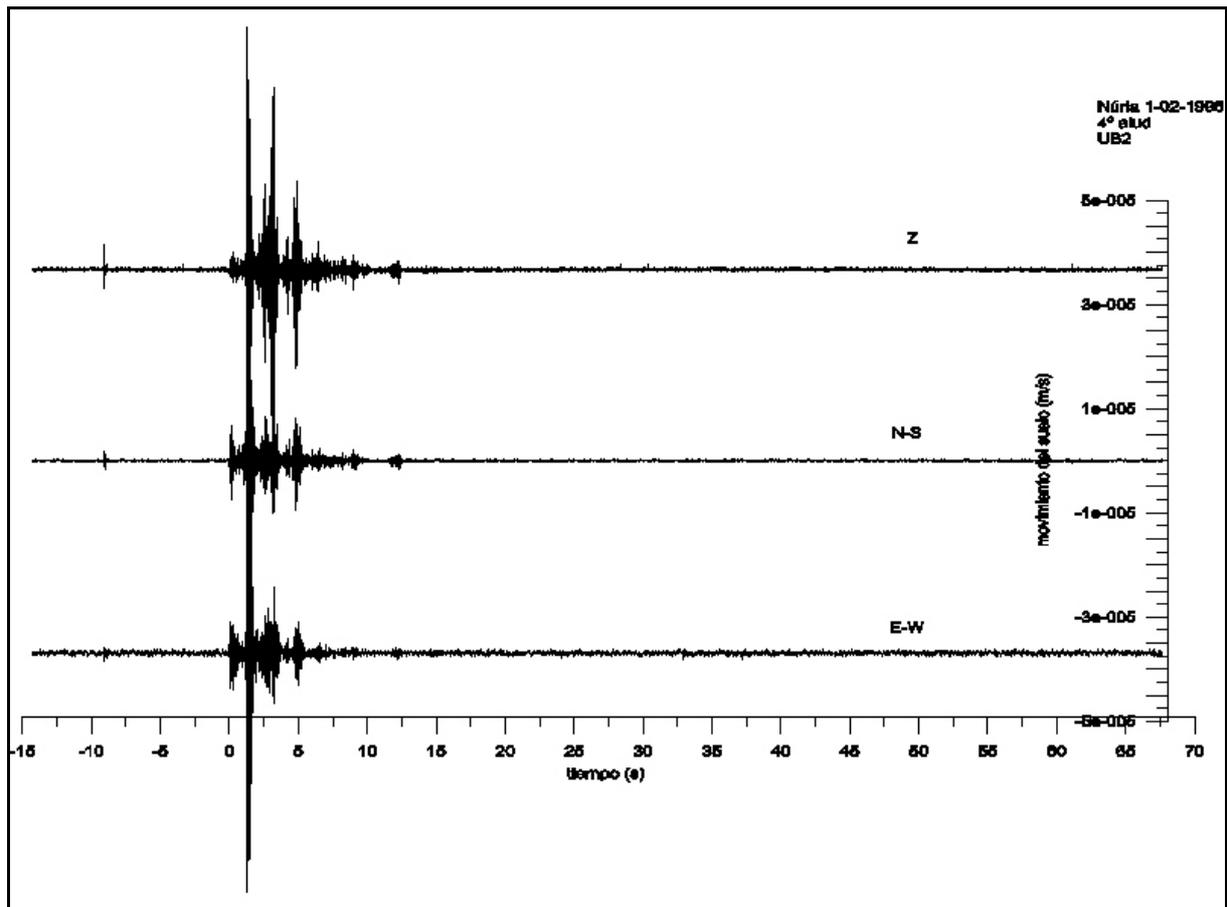


Figura 50. Señales registradas en la estación UB2 durante el 4º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

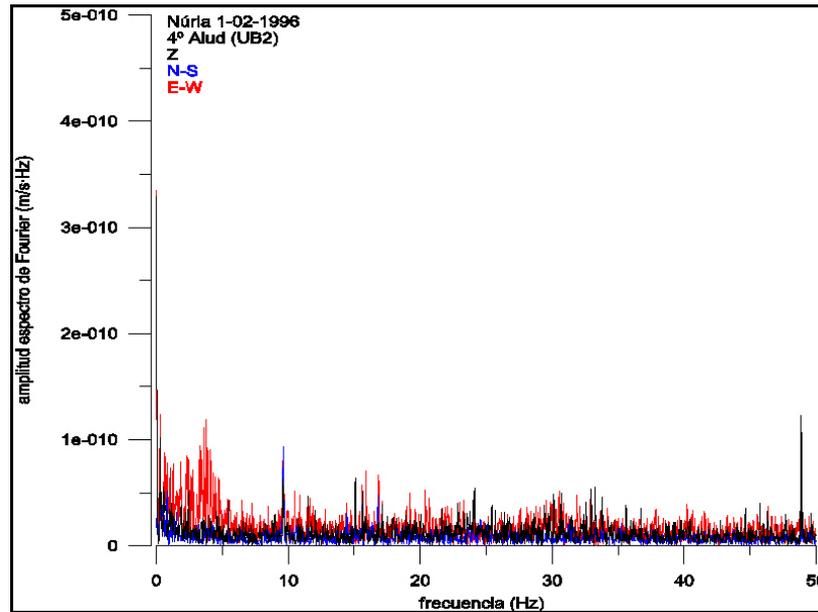


Figura 51. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 4º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 20.77 s y 61.73 s.

- Registros en la estación UB3

La señal de ruido de este emplazamiento comprende los primeros 5.12 s de registro previos a la explosión. El telesilla, situado al lado del sensor, estuvo funcionando durante todo el experimento, por ello las curvas nos muestran un emplazamiento altamente ruidoso (Figura 52) sobretodo para la componente Z que es superior a las horizontales en todo el ancho del espectro. Si comparamos este resultado con el del emplazamiento en el que se encontraba este equipo el día 24 de enero del mismo año vemos que los resultados son muy similares.

- Primer alud

Los registros de la estación UB3 (Figura 53) muestran la señal de la explosión a 0 s y a 18 s se distingue una señal que podría atribuirse al alud. Nótese que la zona de detención del alud se quedó a tan sólo 40 m de la estación de registro. Esta señal dura ~12 s pero es difícil distinguir el principio y final de la señal debido al alto nivel del ruido de fondo. Las amplitudes máximas son del orden de 10^{-5} m/s. El espectro total se calculó a partir de la señal comprendida entre los 13.88 s y los 54.84 s. El resultado (Figura 54) muestra que las amplitudes máximas se concentran en [5-25] Hz, en las tres componentes. Esta señal se consideró una SSA en el análisis de los resultados.

- Segundo, tercero y cuarto alud

Los registros de la estación UB3 durante estos aludes (Figura 55, Figura 57 y Figura 59) no muestran ninguna señal, que en un primer análisis, pueda asociarse a los aludes. En los tres registros se observa la señal de la explosión a 0 s. En los espectros de Fourier (Figura 56, Figura 58 y Figura 60) se observan tres picos en la componente Z similares (6) a los del ruido de fondo. A la hora de estudiar los resultados se consideró que las SSA no podían diferenciarse de la señal de ruido de fondo.

(6) Para poder hacer esta comparación se calcularon las curvas de densidad de potencia espectral aunque no se presentan en este trabajo.

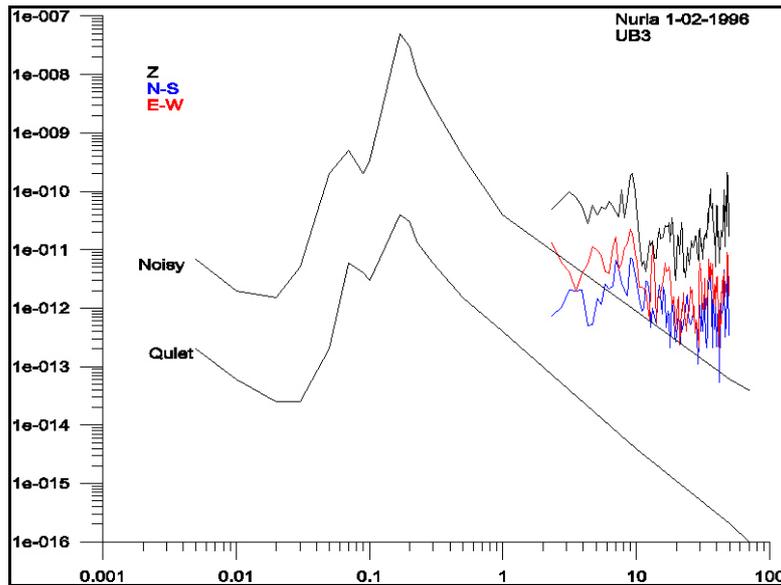


Figura 52. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 5.12 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB3 el 1 de febrero de 1996 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

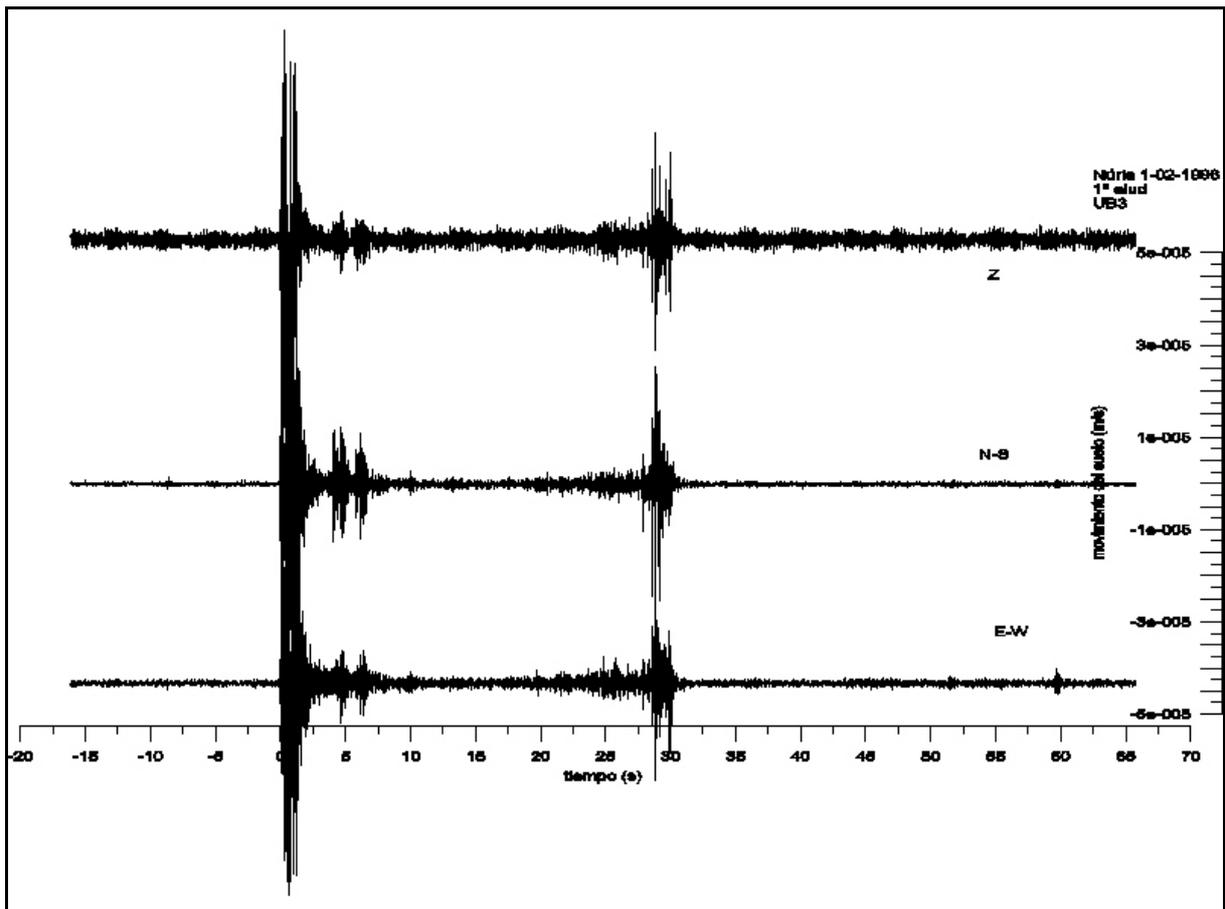


Figura 53. Señales registradas en la estación UB3 durante el 1º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

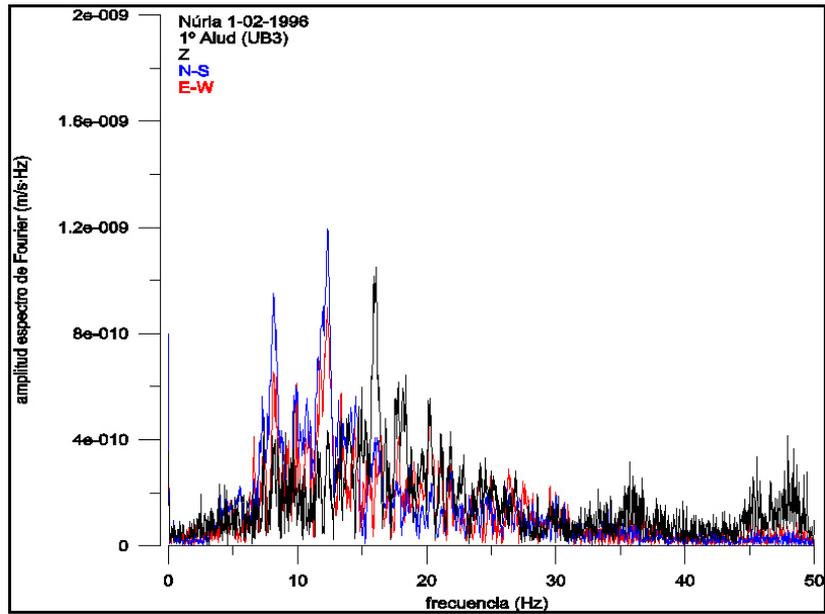


Figura 54. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 1º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 13.88 s y 54.84 s.

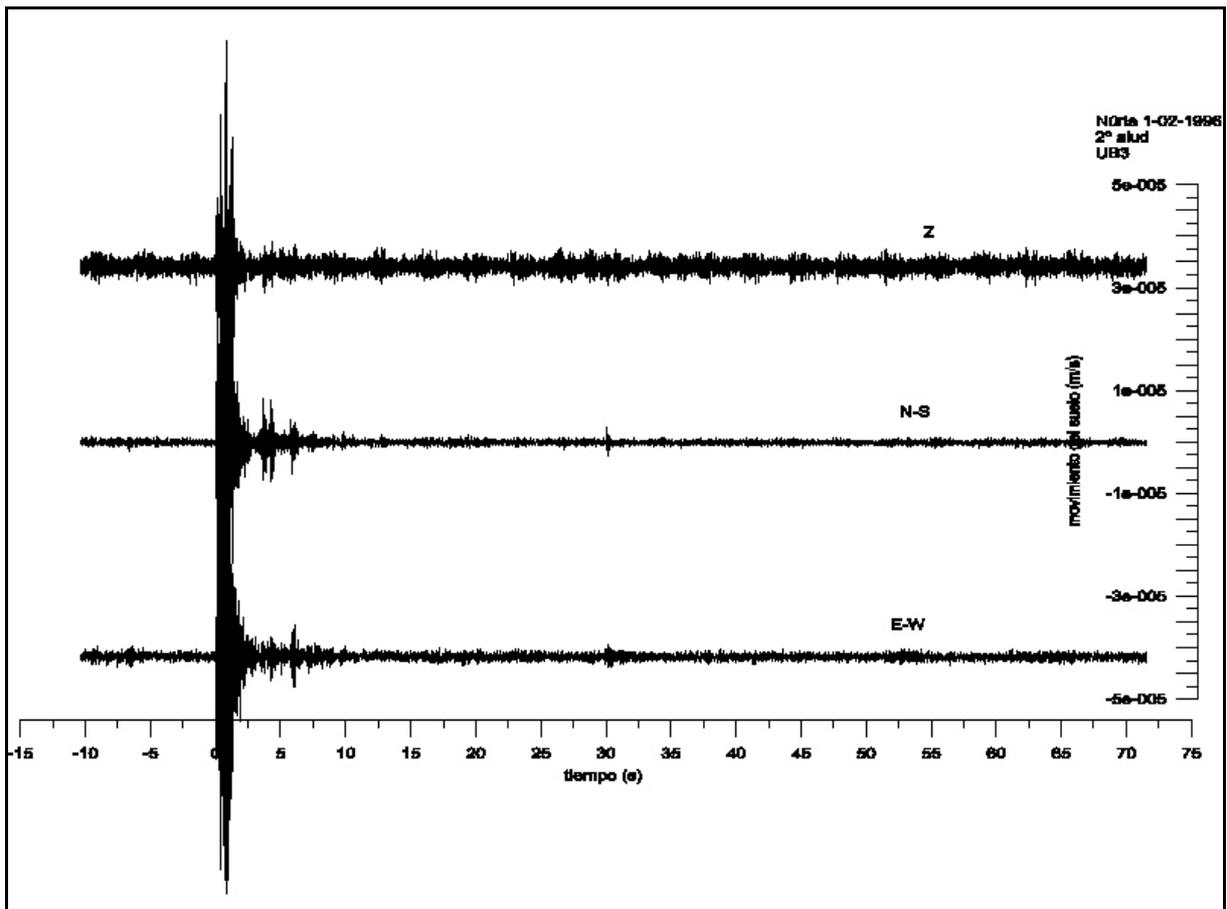


Figura 55. Señales registradas en la estación UB3 durante el 2º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

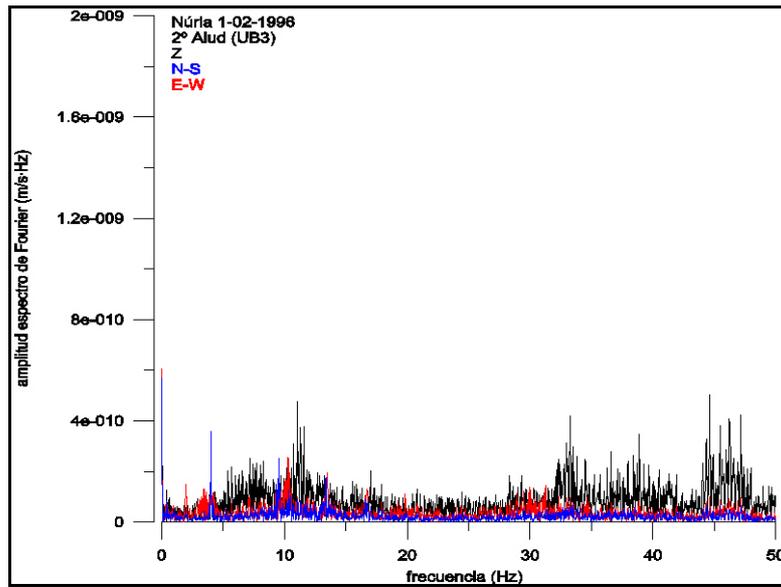


Figura 56. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 2º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 19.63 s y 60.59 s.

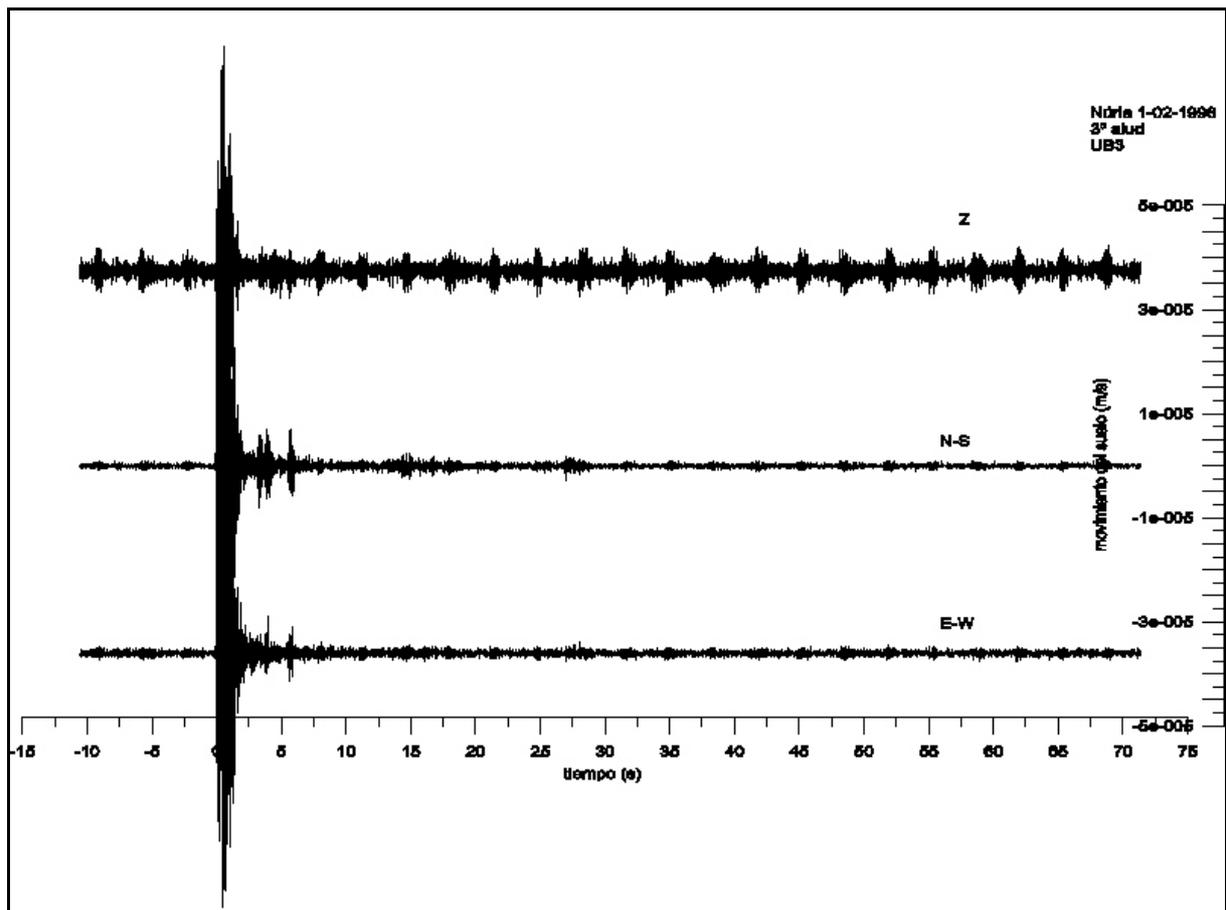


Figura 57. Señales registradas en la estación UB3 durante el 3º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

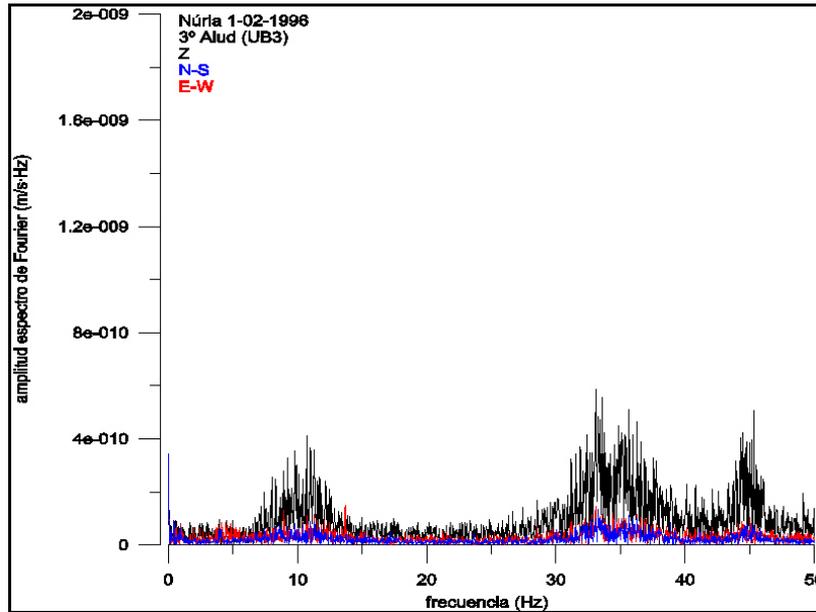


Figura 58. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 3º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 19.44 s y 60.4 s

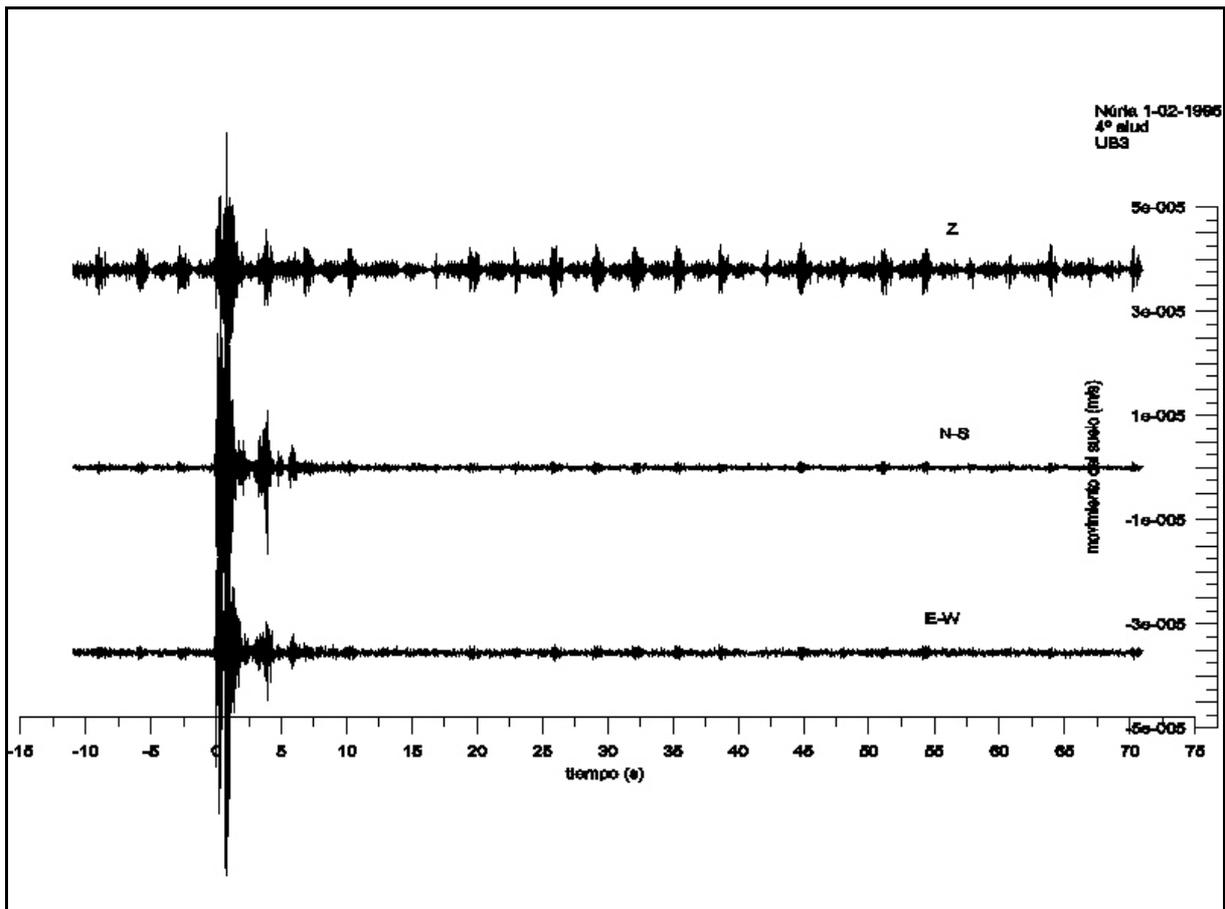


Figura 59. Señales registradas en la estación UB3 durante el 4º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión

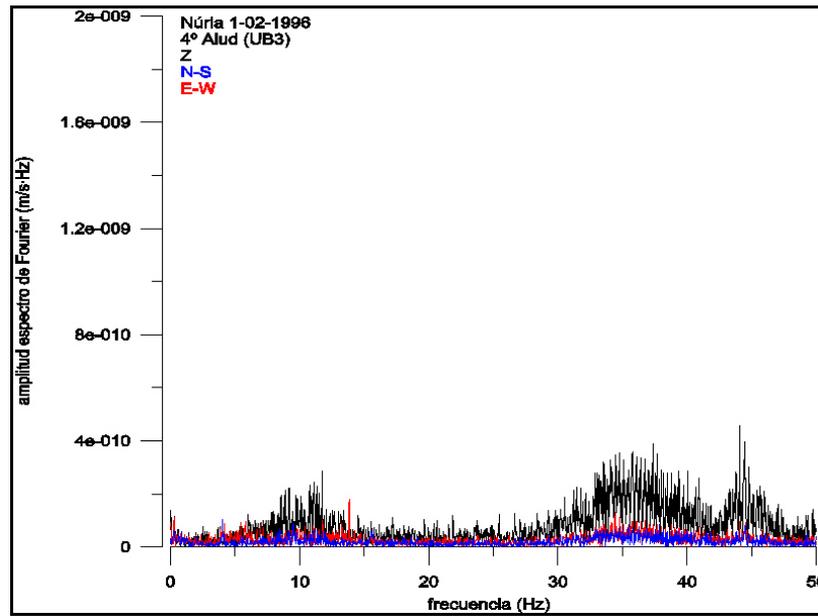


Figura 60. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 4º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 19.05 s y 60.01 s.

A.3 Núria 1996/97

En noviembre de 1996 se instaló una estación sísmica Pdas en la mitad del recorrido de la pista de esquí llamada La Pala. Se llegó a un acuerdo con los trabajadores de pistas de la estación de esquí de Vall de Núria para que avisaran en caso de alerta de aludes. En esta temporada invernal sólo fue necesario la actuación del cañón *avalancheur* el 3 de enero. El equipo de aludes de la UB no pudo desplazarse a la zona pero el personal de pistas puso en marcha la estación Pdas siguiendo las instrucciones indicadas. Ese día se dispararon tres tiros hacia la zona de Mulleres que desencadenaron tres aludes. Gracias a la buena colaboración de los encargados de pistas de Vall de Núria la estación Pdas pudo registrar los tres aludes.

A.3.1 Aludes del 3-01-1997

El 3 de enero de 1997, debido a las fuertes nevadas que se habían producido durante el día, el equipo de responsables de las pistas de esquí de Vall de Núria decidió desencadenar aludes artificialmente y de forma controlada, cuando no había esquiadores en las pistas. Se lanzaron 3 disparos con el *avalancheur* y en los tres se desencadenaron aludes.

Los encargados de las instalaciones de esquí pusieron en marcha la estación sísmica Pdas que se encontraba en la ‘*Caseta de les Camilles*’ (Figura 61). Los aludes se filmaron con una cámara de vídeo-aficionado situada al lado del cañón, las imágenes tuvieron poco contraste debido a que apenas había luz y no se diferencian los aludes con claridad. Las cartografías de estos aludes se realizaron a partir de las imágenes de vídeo.

Datos de campo extraídos a partir de: observaciones de los trabajadores de la estación de Vall de Núria, un perfil estratigráfico de nieve, un sondeo a percusión del día anterior y los datos nivometeorológicos del mismo día.

Primer alud provocado el 3 de enero de 1997, 16:04 UTC (Figura 61):

- ❖ *El alud se desencadenó a una altitud de ~2355 m.*
- ❖ *Recorrido del alud de ~650 m sobre una pendiente regular.*
- ❖ *Desnivel del recorrido del alud ~320 m.*
- ❖ *Alud de flujo.*
- ❖ *La parte inferior del alud pasa por encima de unos pequeños árboles.*

Segundo alud provocado el 3 de enero de 1997, 16:12 UTC (Figura 61):

- ❖ *El alud fue un alud de pequeñas dimensiones.*
- ❖ *Alud de flujo.*

Tercer alud provocado el 3 de enero de 1997, 16:25 UTC (Figura 61):

- ❖ *El alud se desencadenó a una altitud de ~2310 m.*
- ❖ *Alud de flujo.*
- ❖ *El alud saltó por encima de una barrera rocosa.*
- ❖ *Recorrido del alud ~450 m.*
- ❖ *Desnivel del recorrido del alud ~260 m.*

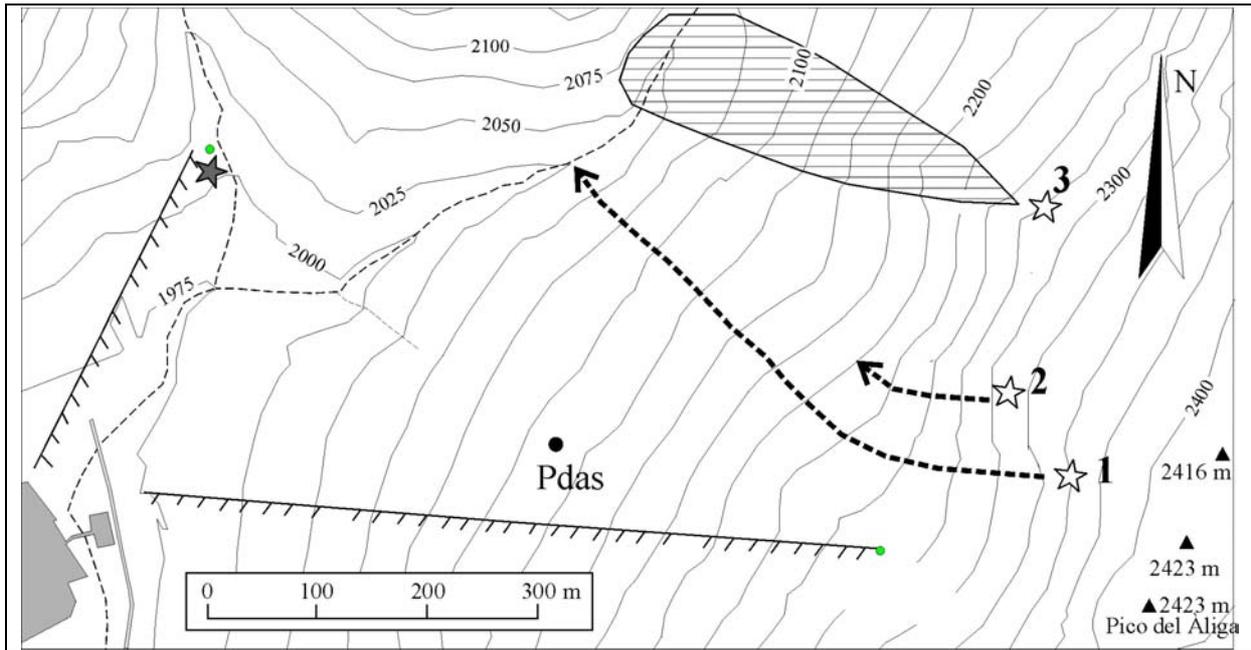


Figura 61. Cartografía de los tres aludes provocados artificialmente el 3 de enero de 1997 en la estación de esquí de Vall de Núria. En estos casos los límites del alud no pudieron distinguirse. Pdás: estación que registró los aludes. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en la estación Pdás

Para el estudio del ruido de este emplazamiento se utilizaron los primeros 40 s de registro de la estación. Las curvas de densidad de potencia espectral de las tres componentes (Figura 62) están por debajo de la curva *Quiet* de referencia para frecuencias inferiores de 10 Hz.

- Primero, segundo y tercer alud

En los registros efectuados por la estación Pdás durante los tres aludes (Figura 63, Figura 65 y Figura 67) se pueden observar las señales de las explosiones a 0 s y a continuación algunas señales de bajas frecuencias (<5Hz) tal como muestran los espectros de Fourier (Figura 64, Figura 66 y Figura 68). Debido a la anomalía detectada en el estudio del emplazamiento y los resultados de los registros temporales y espectrales estos registros no se tuvieron en cuenta a la hora de analizar los resultados. Estos problemas se atribuyeron a una anomalía técnica.

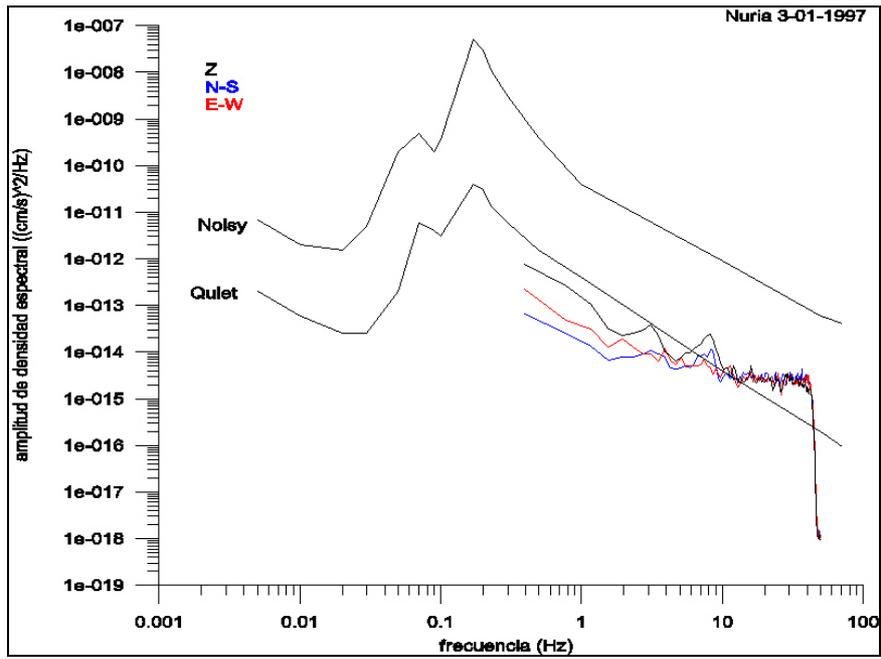


Figura 62. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 40 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas el 3 de enero de 1997 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

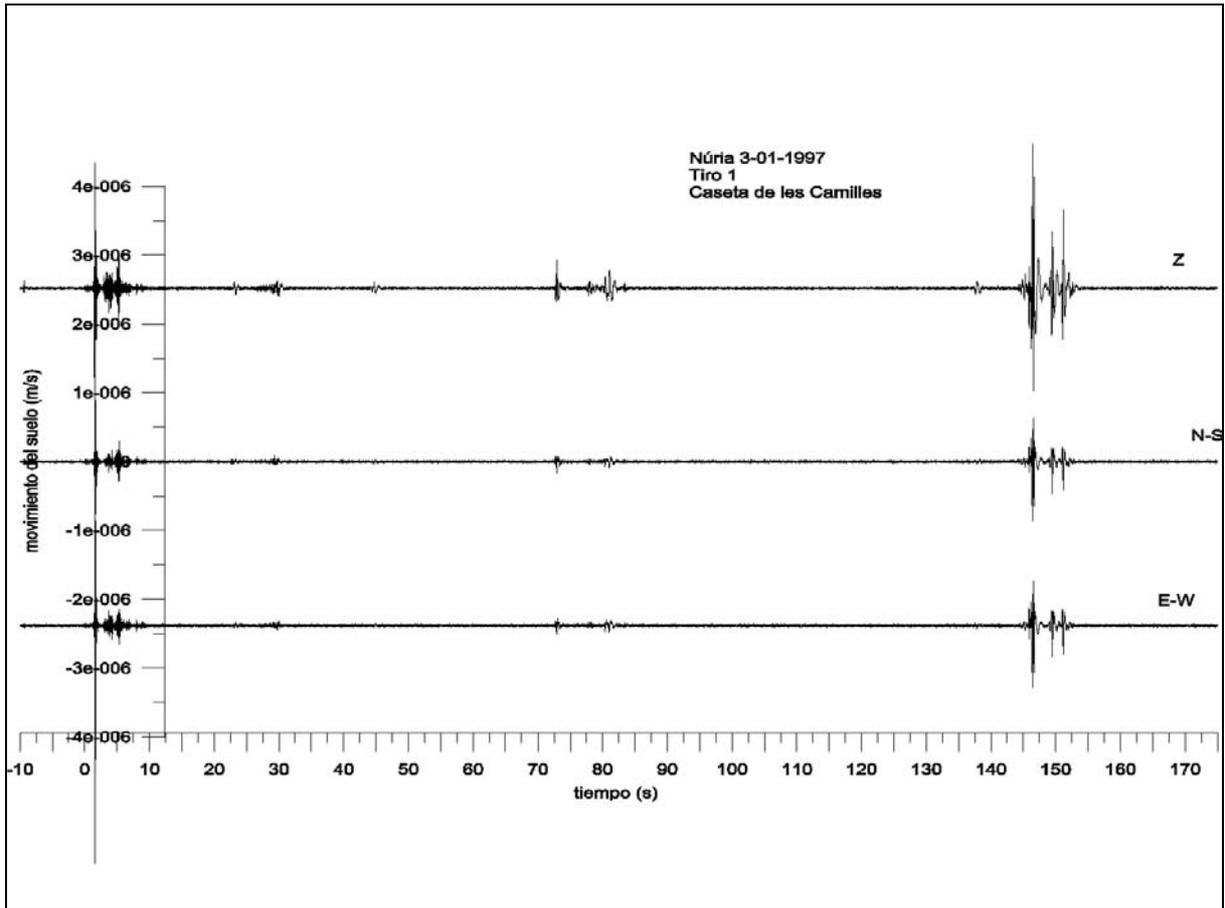


Figura 63. Señales registradas en la estación Pdas durante el 1º alud en Vall de Núria el 3 de enero de 1997. El alud fue provocado por una explosión

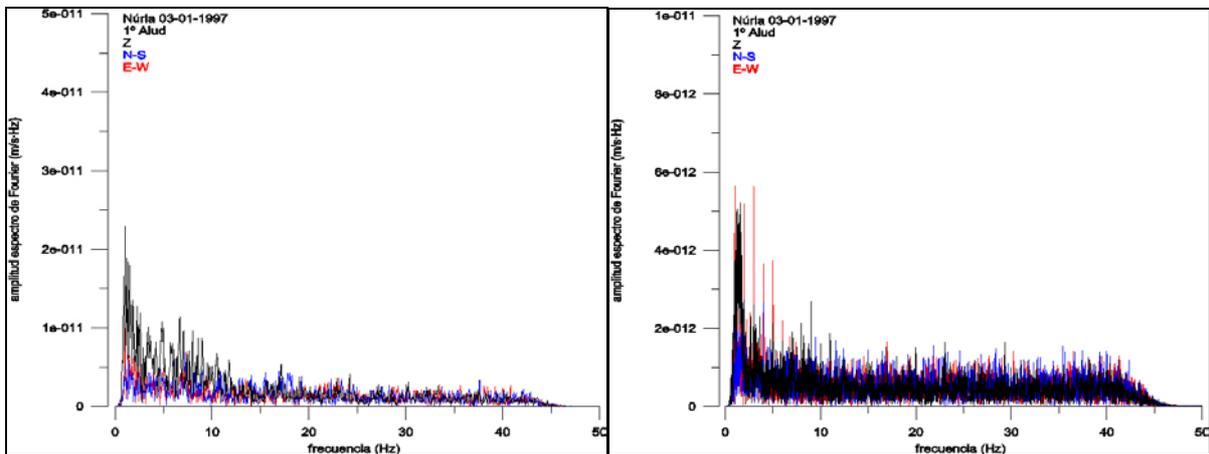


Figura 64. Espectros de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el 1º alud en Vall de Núria el 3 de enero de 1997. Los espectros se calcularon a partir de las señales comprendidas entre 16 s y 36.48 s (izquierda) y 66 s y 86.48s (derecha).

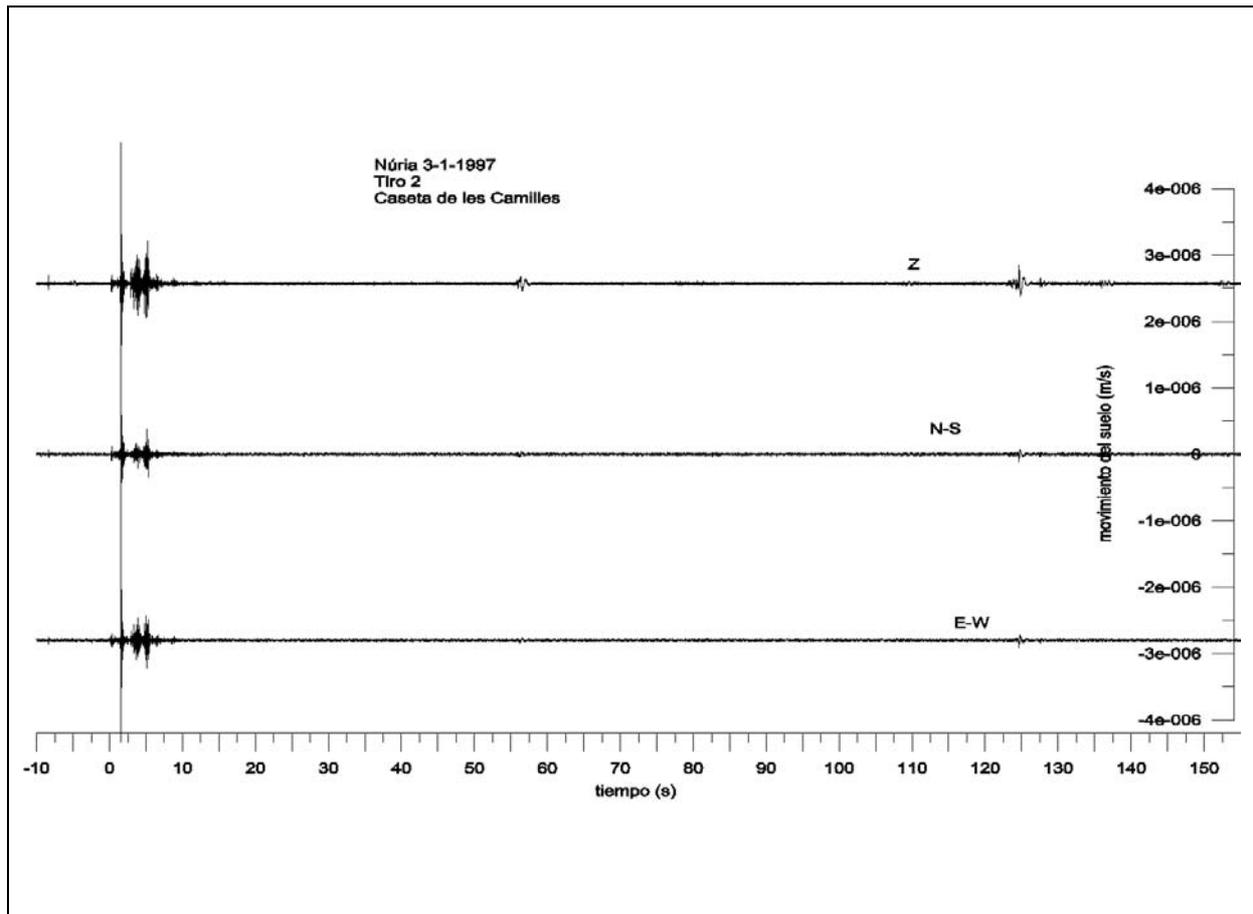


Figura 65. Señales registradas en la estación Pdas durante el 2º alud en Vall de Núria el 3 de enero de 1976. El alud fue provocado por una explosión

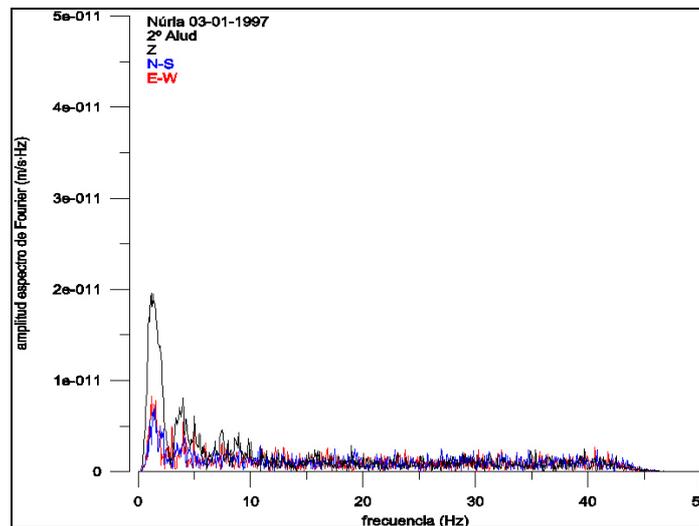


Figura 66. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el 2º alud en Vall de Núria el 3 de enero de 1997. El espectro se calculó a partir de las señales comprendidas entre 44.9 s y 65.38 s.

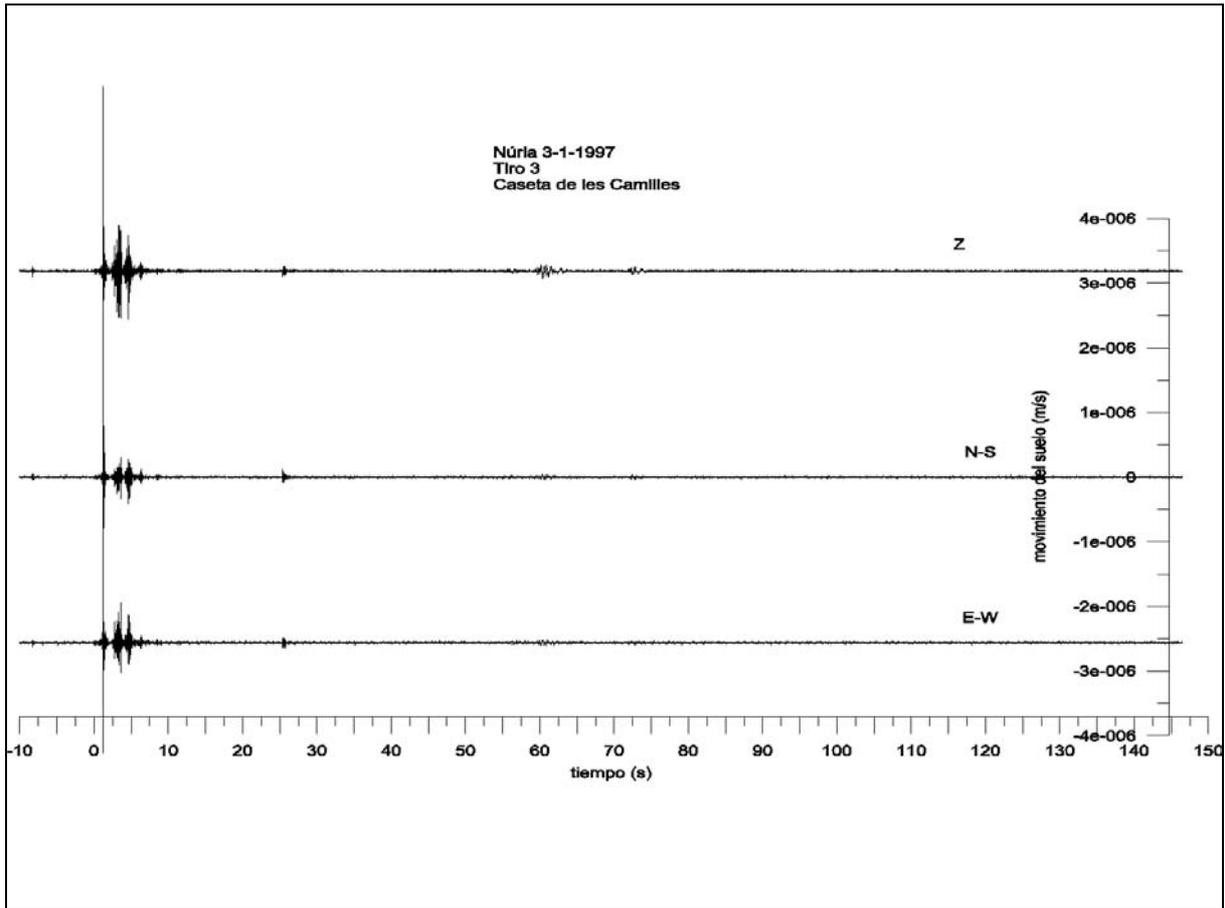


Figura 67. Señales registradas en la estación Pdas durante el 3º alud en Vall de Núria el 3 de enero de 1976. El alud fue provocado por una explosión.

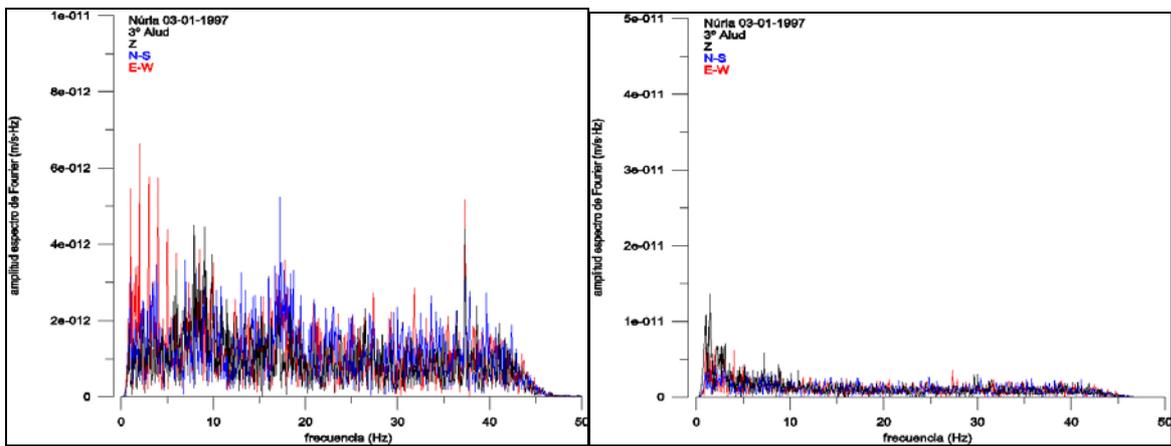


Figura 68. Espectros de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el 3º alud en Vall de Núria el 3 de enero de 1997. Los espectros se calcularon a partir de las señales comprendidas entre 21.5 s y 41.98 s (izquierda) y 56.5s y 76.98 s (derecha).

A.4 Núria 1998/1999

Como continuación de las campañas de los años anteriores, durante la temporada invernal 1998/99 se instalaron dos estaciones sísmicas con el objetivo de registrar aludes de nieve en la estación de esquí de Vall de Núria.

El 9 de diciembre de 1998 se instaló una estación Pdas a media altura de la pista de esquí La Pala. Se instaló también una estación Orion al lado del lago con el principal objetivo de registrar los aludes de la zona de Coma de la Perdiu que pudieran afectar a la vía del tren cremallera. Esta estación se programó para registrar en modo continuo. La estación Orion presentó problemas graves en su funcionamiento y no pudo registrar ningún alud.

Durante ese invierno los encargados de pistas de Vall de Núria tuvieron que provocar aludes el 10 de enero. Hicieron cuatro disparos de los cuales la estación Pdas registró todos menos el primero. El segundo disparo provocó un alud de gran magnitud, el tercero no provocó ningún alud y el cuarto provocó un alud pequeño.

A.4.1 Aludes del 10-01-1999

El día 10 de enero de 1999 el personal de la estación de Vall de Núria consideró necesario provocar aludes de forma controlada en la zona de Mulleres para prevenir el riesgo de aludes. Antes de realizar los disparos el personal de pistas puso en marcha la estación sísmica Pdas. Realizaron cuatro disparos, el primer disparo no se registró y el tercer disparo no provocó ningún alud, así que en total se registraron dos aludes. Tres días después el equipo de aludes de la UB se desplazó a Núria para obtener datos de campo y recoger toda la información posible.

Datos de campo extraídos a partir de: observaciones de los trabajadores de la estación de Vall de Núria presentes en el experimento, observaciones del equipo de aludes de la UB realizadas tres días después del experimento.

Primer alud provocado el 10 de enero de 1999, 12:14 UTC (Figura 71):

- ❖ *Alud de gran magnitud.*
- ❖ *El alud rompió un paravientos de madera situado a mitad de ladera y algún árbol lo que provocó un estruendo considerable (Figura 69).*
- ❖ *El alud se inició como una placa.*
- ❖ *Hubo un pequeño depósito en el lateral SE.*
- ❖ *No se reconoció ninguna acumulación de nieve en la zona de llegada.*
- ❖ *Se consideró un alud aerosol y de nieve seca.*
- ❖ *La mínima distancia entre alud y estación fue de 70 m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del alud-Pdas~280m.*

Segundo alud provocado el 10 de enero de 1999, 13:25 UTC (Figura 71):

- ❖ *Alud de placa.*
- ❖ *Los datos recogidos de este alud son escasos debido a que en el momento de producirse había una espesa niebla que impidió verlo.*
- ❖ *Depósitos de aspecto rugoso con bolas de nieve (Figura 70).*
- ❖ *Distancia zona de detención del alud-Pdas~ 340m.*

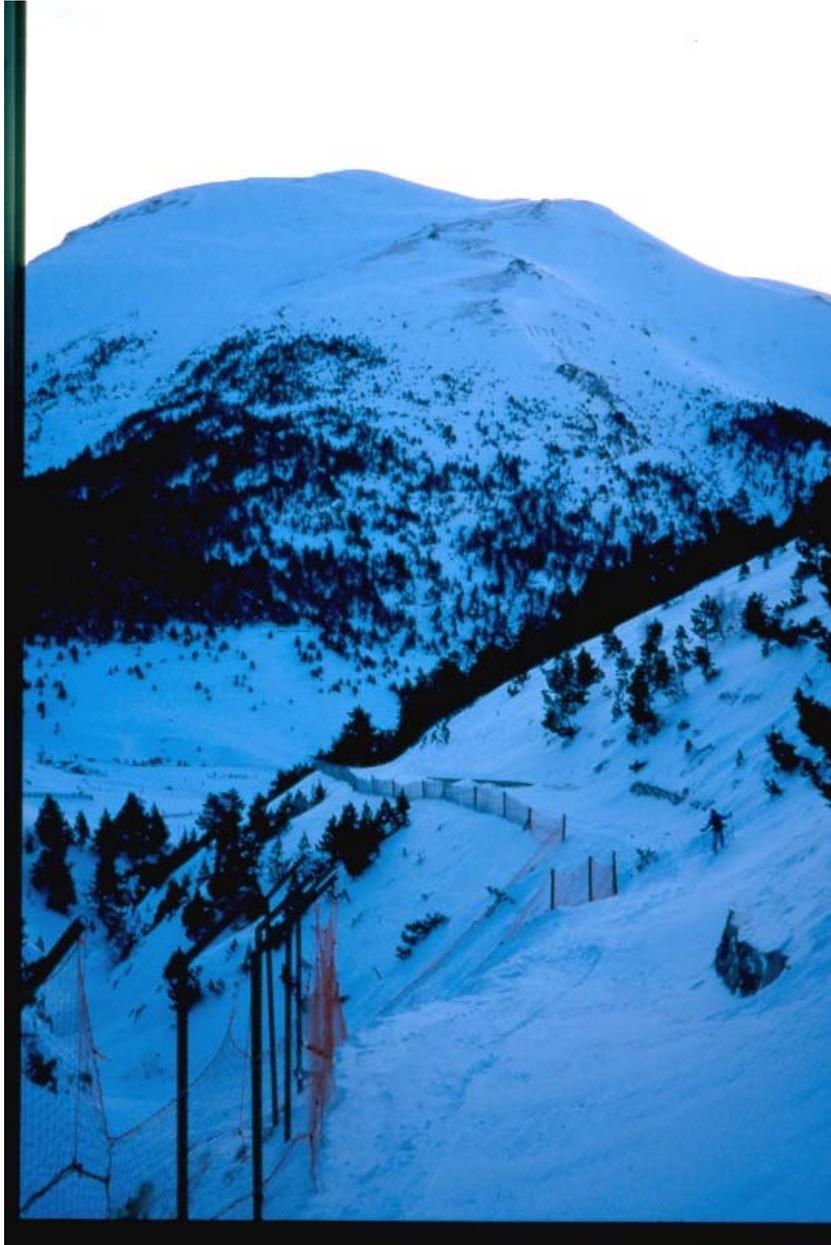


Figura 69. Efectos del alud aerosol provocado el 10 de enero de 1999 en Vall de Núria. Fotografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.



Figura 70. Depósitos del alud de placa provocado el 10 de enero de 1999 en Vall de Núria. Fotografía realizada por Glòria Furdada Bellavista

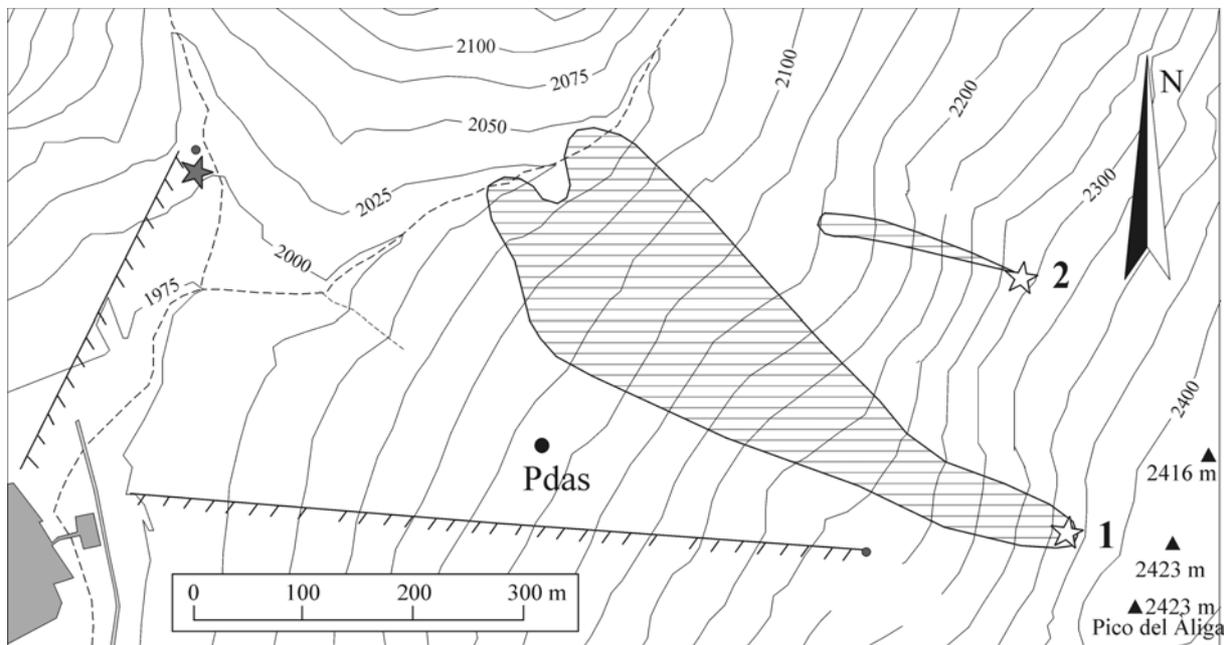


Figura 71. Cartografía de los dos aludes provocados el 10 de enero de 1999 en la estación de esquí de Vall de Núria. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista

- Registros en la estación Pdas

El estudio del ruido (*Figura 72*) de este emplazamiento se hizo a partir de los primeros 200 s de registro. Las tres componentes presentan un pico destacado entre los 30-50 Hz y las componentes horizontales presentan otro pico centrado en los 6 Hz. También se observan unas bajas frecuencias ($<2\text{Hz}$) muy por encima de la curva *Noisy*, esto podría indicar un problema en el sensor, no obstante hay que tener en cuenta que las señales fueron filtradas posteriormente con un pasa-altas de 1 Hz por lo que esta anomalía no afectaría prácticamente a los resultados.

- Primer alud

En los registros de la estación Pdas durante el alud aerosol se observa (*Figura 73*) la señal de la explosión a 0 s y sobre los 15 s se aprecia otra señal que podría asociarse al alud. Esta señal dura ~ 50 s pero el principio y el final de la señal no son claros debido al alto nivel de ruido del emplazamiento. Las amplitudes máximas de las tres componentes son muy similares y de un orden de 10^{-6} m/s. Se calculó el espectro de la señal comprendida entre los 13.52 s y 54.48 s. El resultado (*Figura 74*) muestra un pico dominante en las tres componentes centrado en [5-15] Hz que no coincide con ninguno de los picos detectados en el ruido de fondo. Esta señal contribuyó como una SSA en el análisis de resultados.

- Segundo alud

Los registros de la estación Pdas efectuados simultáneamente al alud de placa (*Figura 75*) muestran la señal de la explosión a 0 s y seguidamente una señal que podría atribuirse al alud en un principio. Se calculó el espectro total de la señal comprendida entre 21.68 s y 62.64 s. El resultado (*Figura 76*) muestra dos picos en las componentes horizontales, uno centrado en 6 Hz y otro de frecuencias más bajas, estos dos picos se detectaron en el estudio del ruido de fondo del emplazamiento (7). En la componente vertical el pico, situado en frecuencias menores de los 5 Hz también se asocia a una fuente de ruido ajena al alud de nieve. En los resultados de la tesis se consideró que la señal del sismograma era mayoritariamente de un ruido parásito que se superponía a la del alud.

(7) Para poder hacer esta afirmación se calcularon las curvas de densidad de potencia espectral de este registro, aunque no se presentan en este trabajo, para poderlas comparar con las curvas del ruido de fondo.

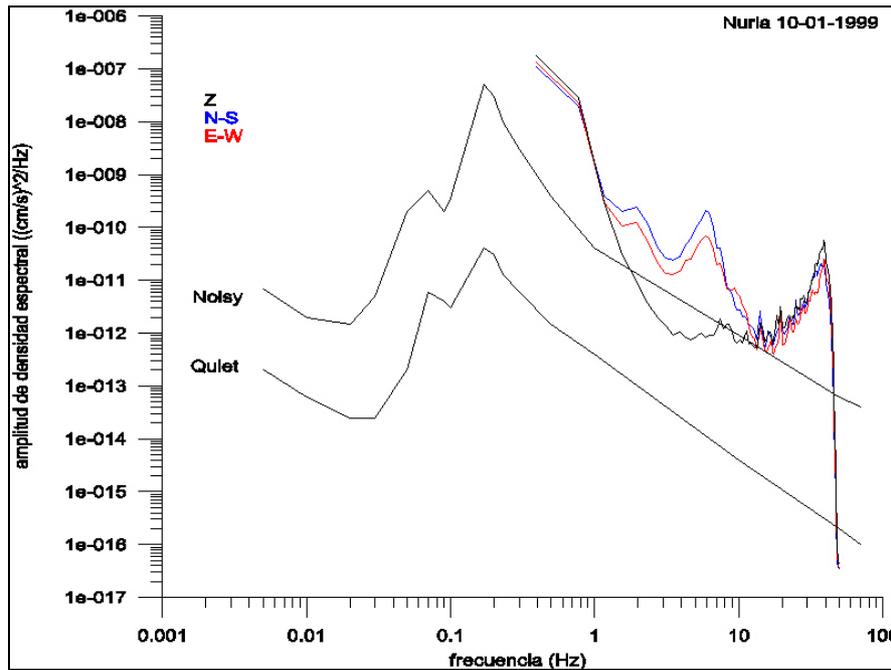


Figura 72. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 200 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas el 10 de enero de 1999 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

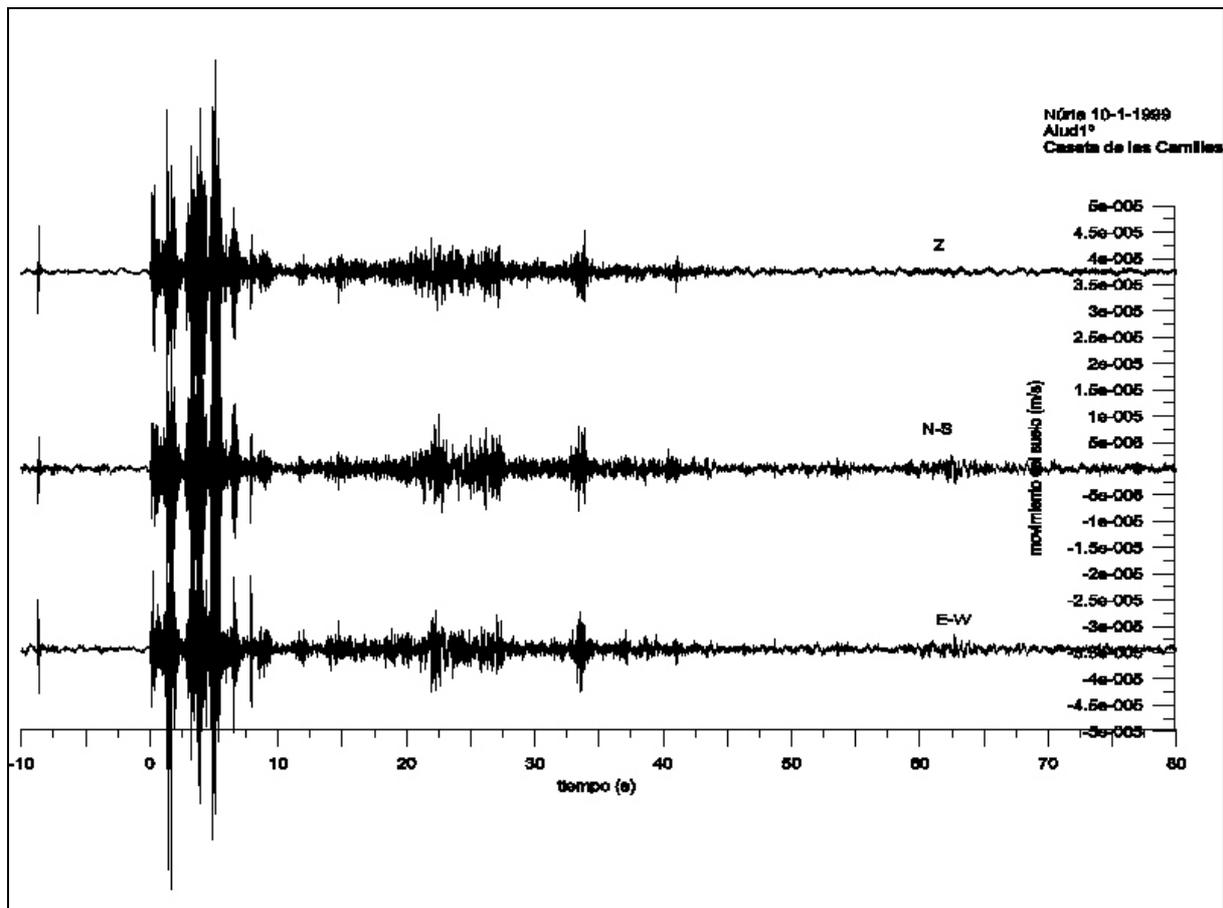


Figura 73. Señales registradas en la estación Pdas durante el 1º alud en Vall de Núria el 10 de enero de 1999. El alud fue provocado por una explosión.

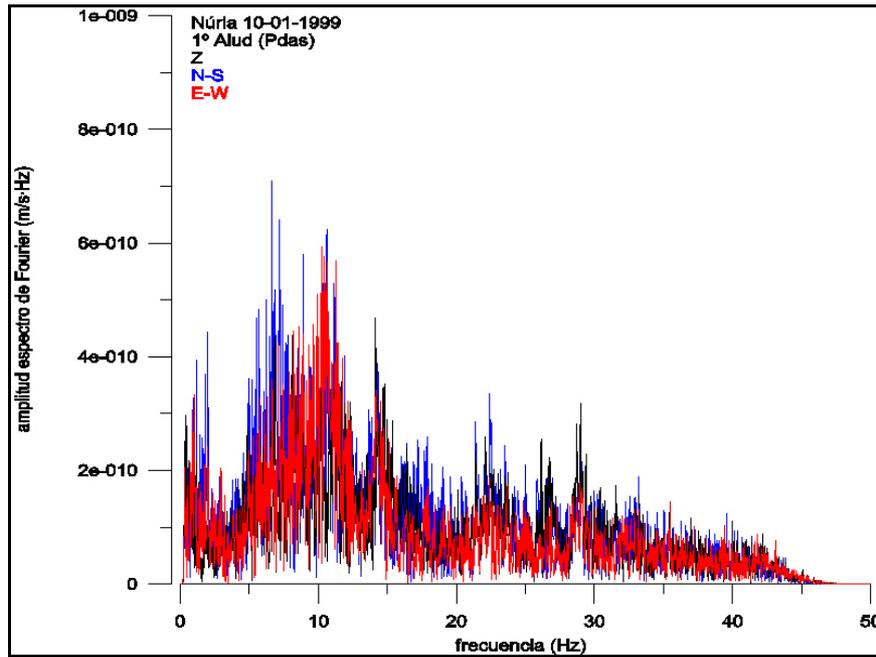


Figura 74. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el 1º alud en Vall de Núria el 10 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 13.52 s y 54.48 s.

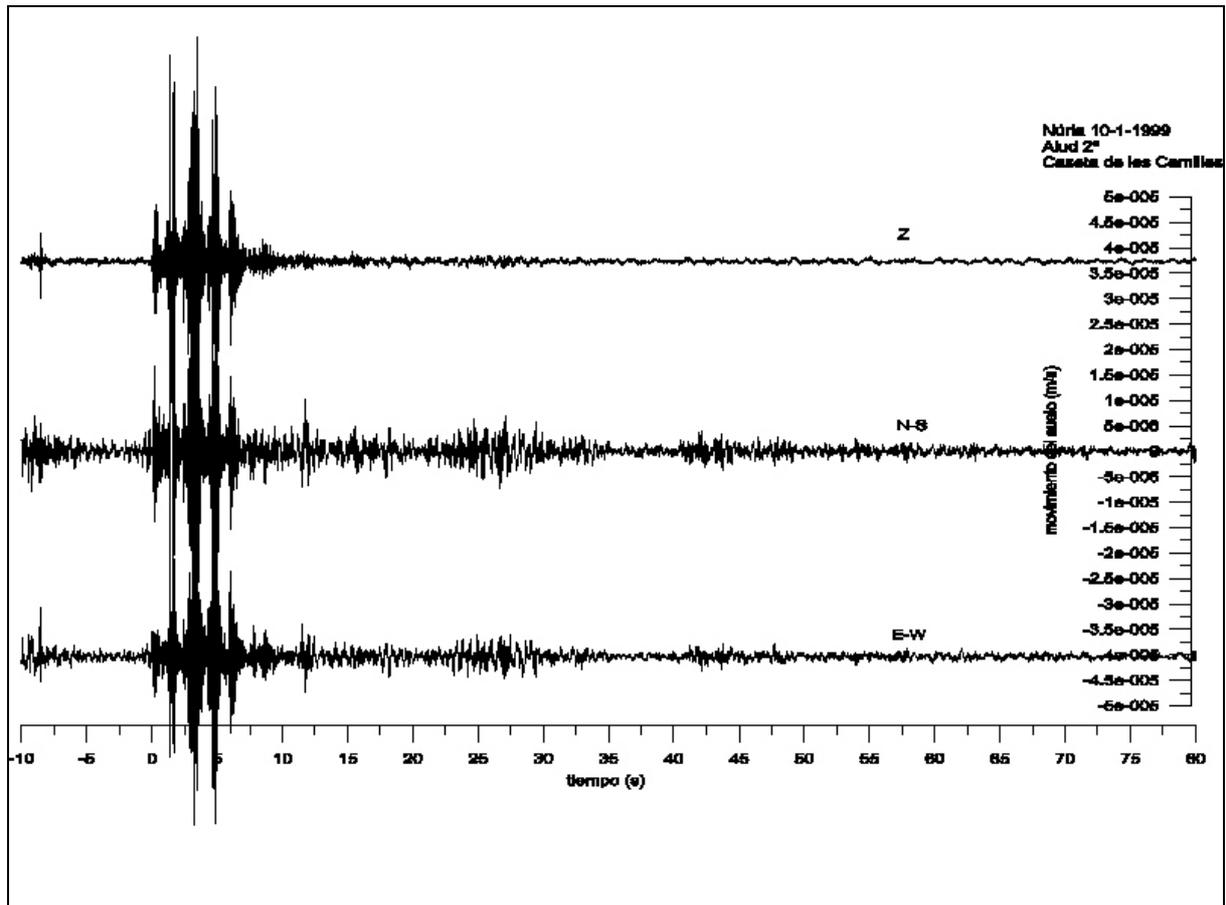


Figura 75. Señales registradas en la estación Pdas durante el 2º alud en Vall de Núria el 10 de enero de 1999. El alud fue provocado por una explosión

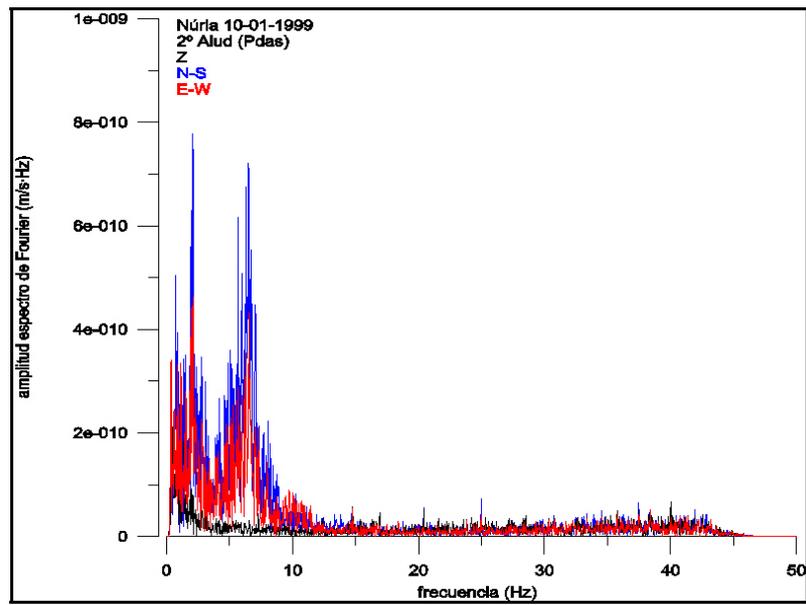


Figura 76. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el 2º alud en Vall de Núria el 10 de enero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 21.68 s y 62.64 s.

A.5 Núria 2000/01

El 5 de diciembre de 2000 el equipo de aludes de la UB instaló dos estaciones sísmicas en Vall de Núria para continuar con las campañas iniciadas 4 años antes. Se instalaron una estación Pdas a media altura de la pista de La Pala y una estación Orion en la caseta al lado del lago, igual que en la campaña anterior. Durante esta campaña invernal hubo tres avisos de alerta de aludes, 23, 24 y 25 de diciembre, en los que el personal de la estación de esquí de Vall de Núria creyó conveniente utilizar el cañón *avalancheur* para provocar aludes. El equipo de aludes estuvo presente en estos trabajos de prevención. El 23 de diciembre se lanzaron tres tiros sobre la zona de Mulleres y la estación Pdas pudo registrar los eventos. Los otros dos días se lanzaron tiros hacia el Plan de Sallent, en la vertiente donde estaba instalada la estación Orion. El registro de los eventos de los días 24 y 25 no fueron buenos ya que la estación Pdas estaba demasiado lejos y en la estación Orion los registros quedaron superpuestos por el ruido de una bomba de agua cercana a la caseta del lago.

A.5.1 Aludes del 23-12-2000

El 23 de diciembre los trabajadores de las pistas de esquí de Vall de Núria decidieron purgar la cornisa del pico de Mulleres donde había una sobreacumulación de nieve. Se lanzaron tres tiros (*Figura 77*) que registraron en la estación Pdas, situada a mitad de la pista 'La Pala'. La visibilidad era muy mala y no se distinguió si había bajado algún alud. Las fuertes nevadas de aquella noche impidieron hacer una cartografía en los días siguientes pero observaciones posteriores indicaron que había sido efectiva una de las tres purgas.

Datos de campo extraídos a partir de: observaciones de los trabajadores de la estación de Vall de Núria y observaciones del equipo de aludes de la UB presente en el experimento. Aludes provocados el 23 de diciembre de 2000, primer alud (16:17 UTC), segundo alud (16:30 UTC), tercer alud (16:39UTC):

- ❖ *En los días anteriores no había hecho frío.*
- ❖ *Había 80 cm de grosor de nieve a mitad de ladera.*
- ❖ *Las condiciones meteorológicas impidieron verificar qué alud había bajado.*

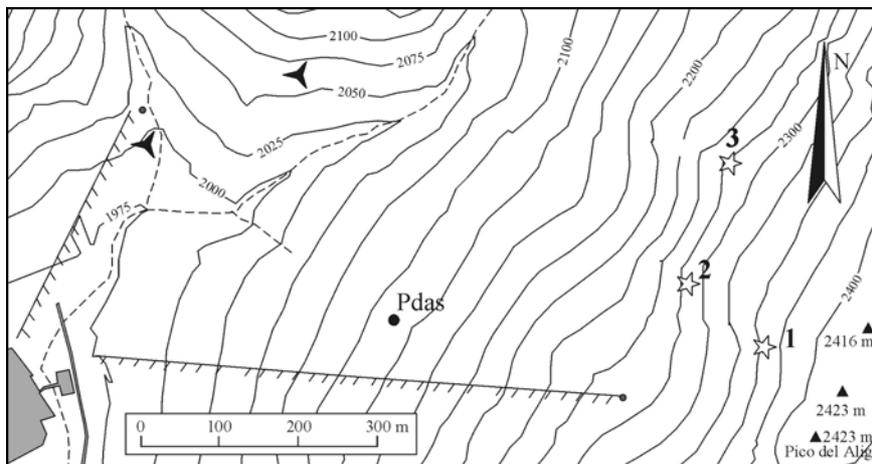


Figura 77. Los puntos 1,2 y 3 indican las posiciones de los tiros que se lanzaron el 23 de diciembre de 2000 en la estación de esquí de Vall de Núria. Las condiciones meteorológicas impidieron hacer una cartografía de los aludes.

- Registros en la estación Pdas

Para el estudio del ruido de este emplazamiento se utilizaron los primeros 50 s del registro. Las curvas de densidad de potencia espectral destacan (*Figura 78*) un pico en las tres componentes centrado en [40-50] Hz. En la comparación de estas curvas con las curvas de referencia se detectó una sobreamplificación en las bajas frecuencias (< 2Hz). No obstante hay que tener en cuenta que los registros fueron filtrados con un pasa-altas de 1 Hz por lo que esta anomalía no afectó a los registros.

- Primer tiro

Debido a la mala visibilidad no se pudo comprobar si el tiro había sido efectivo o no. En los registros (*Figura 79*) se observa la señal de la explosión a 0 s. En el segundo 80 se aprecia una pequeña señal que podría ser atribuida a un pequeño alud. Se calculó el espectro de la señal entre los 70 s y 151.92 s. El resultado (*Figura 80*) muestra un espectro con varios picos que coinciden (8) con los encontrados en el estudio del ruido de fondo por lo que no se puede asegurar que esta señal fuera producida por un alud. A la hora de analizar los resultados no se consideró este registro como una SSA.

- Segundo tiro

Debido a la mala visibilidad tampoco se pudo comprobar si este tiro había sido efectivo o no. El segundo registro (*Figura 81*) quedó superpuesto con el ruido de alguna máquina de la estación. El espectro (*Figura 82*) muestra un pico predominante en altas frecuencias [35-45] Hz. Este registro no se consideró una SSA a la hora de analizar los resultados.

- Tercer tiro

La efectividad de este tiro tampoco pudo ser comprobada por problemas meteorológicos (niebla y nieve). En estos registros (*Figura 83*) se aprecia la señal de la explosión a 0 s y a 80 s se aprecia una pequeña señal que podría ser asociada a un pequeño alud. Esta señal presenta una duración de ~20 s y unas amplitudes máximas de 10^{-6} m/s. Se calculó el espectro de la señal entre los 80 s y 120.97 s. El resultado (*Figura 84*) muestra un espectro con un pico predominante entre los [5-10] Hz, común a las tres componentes, que no se observa en el ruido de fondo (8). Este registro se consideró SSA en el análisis de resultados.

(8) Para hacer estas comparaciones se calcularon las curvas de densidad espectral de los registros para poderlas comparar con las curvas del ruido de fondo, no obstante estos cálculos no se presentan en este trabajo.

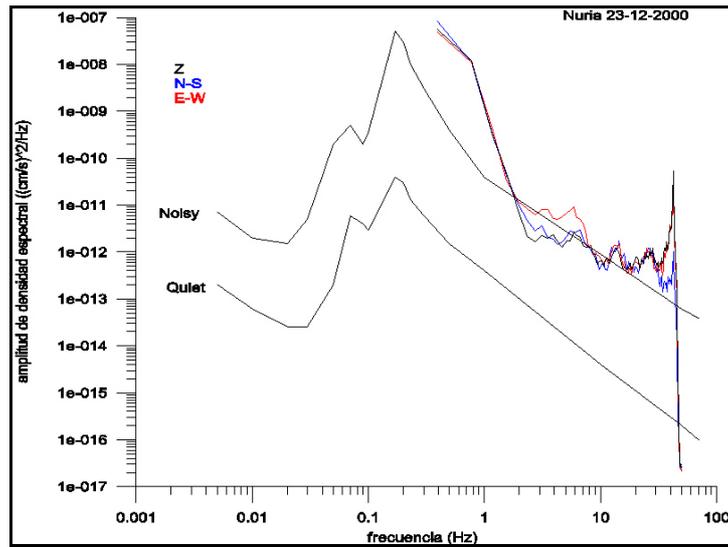


Figura 78. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 50 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas el 23 de diciembre de 2000 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

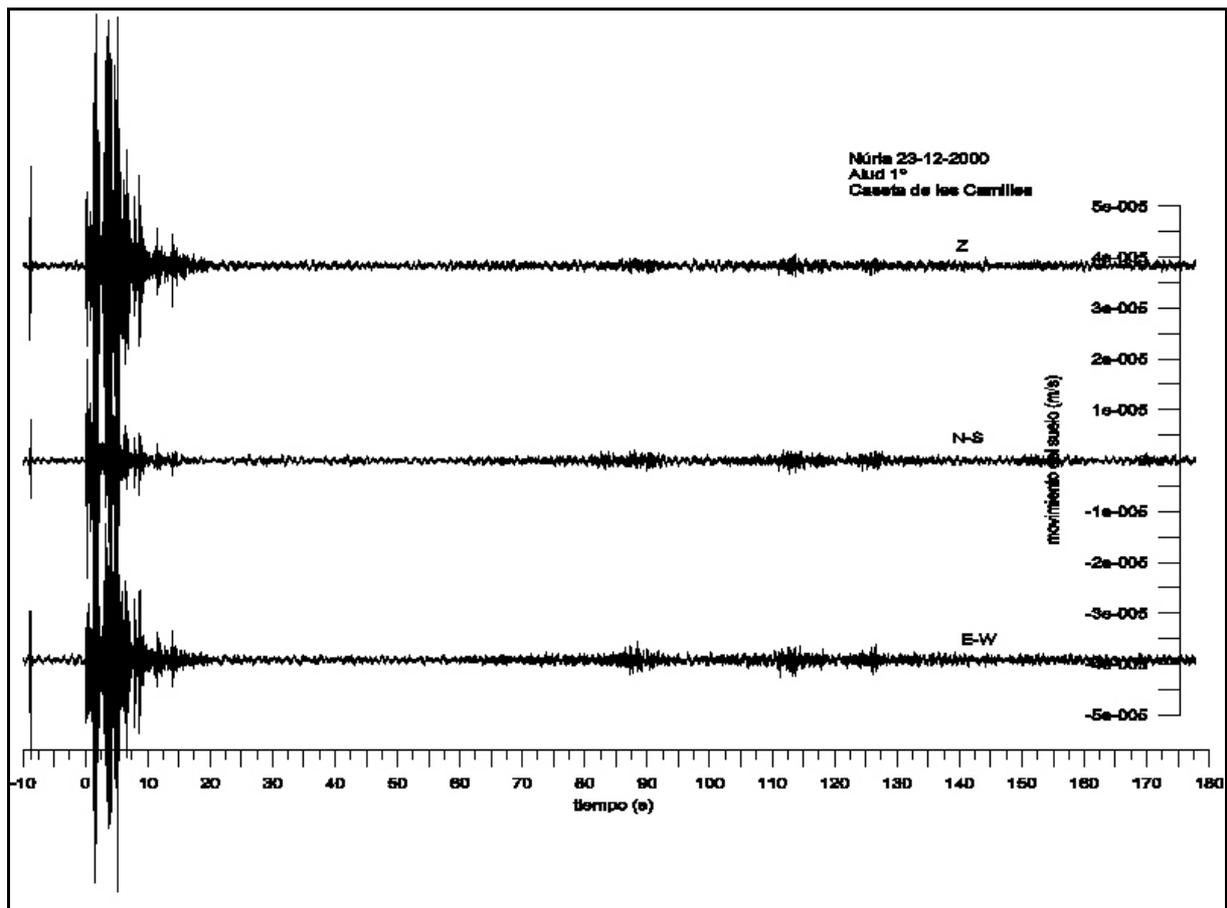


Figura 79. Señales registradas en la estación Pdas en el 1º tiro en Vall de Núria el 23 de diciembre de 2000.

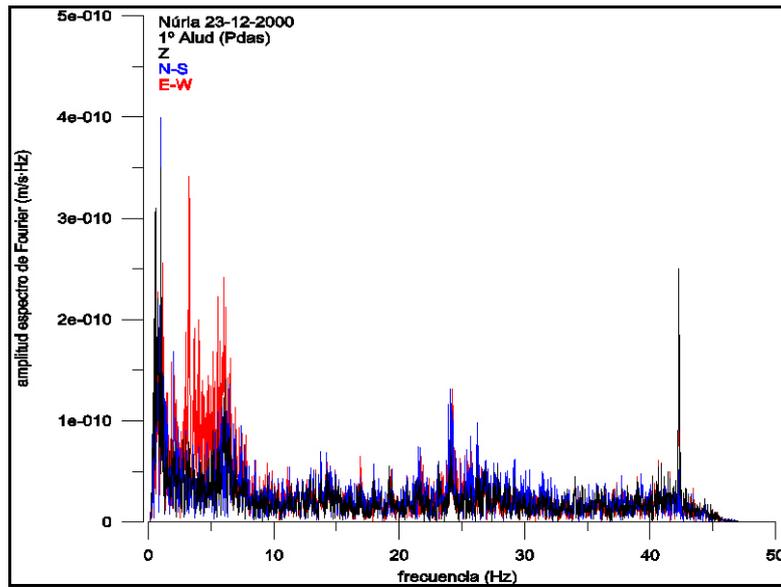


Figura 80. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdás en el 1º tiro. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 70 s y 151.92 s.

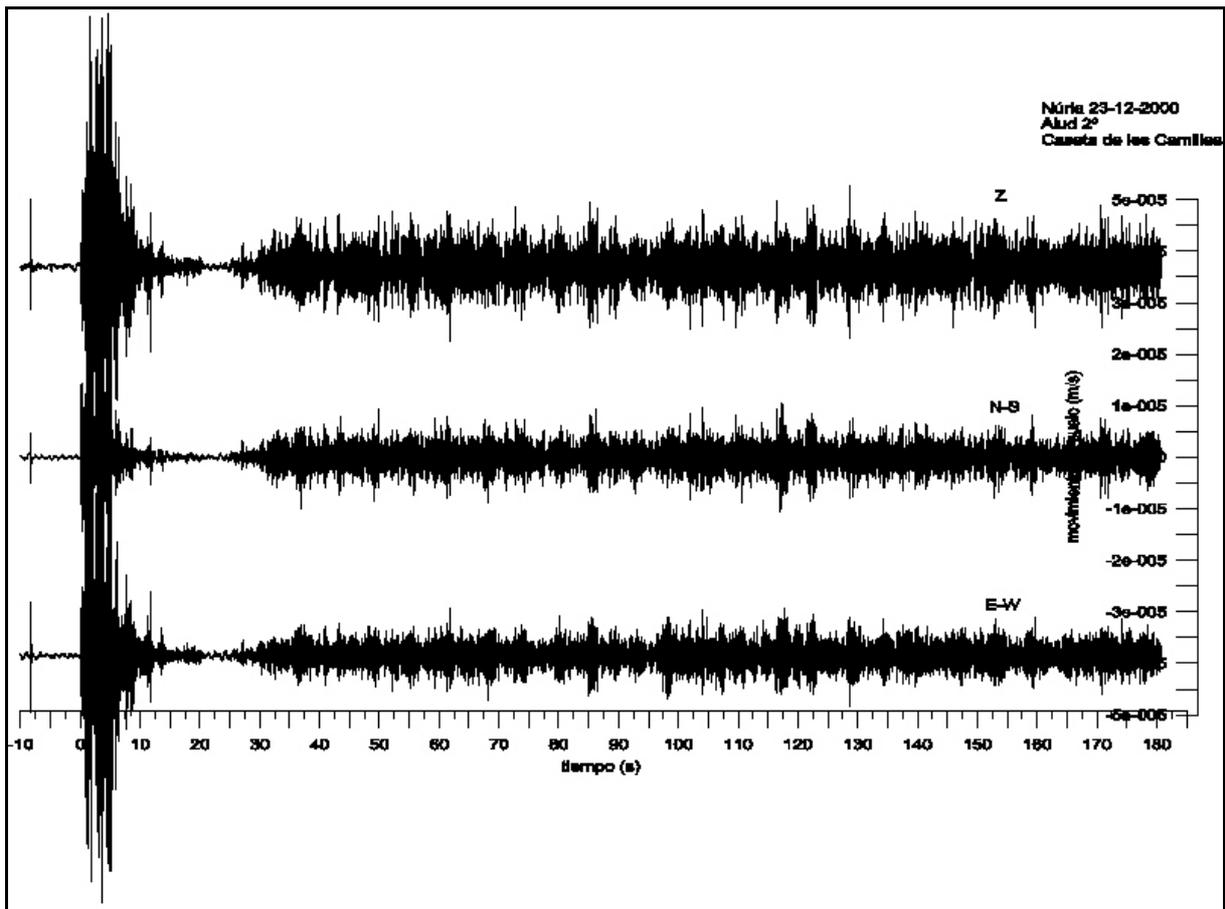


Figura 81. Señales registradas en la estación Pdás en el 2º tiro en Vall de Núria el 23 de diciembre de 2000

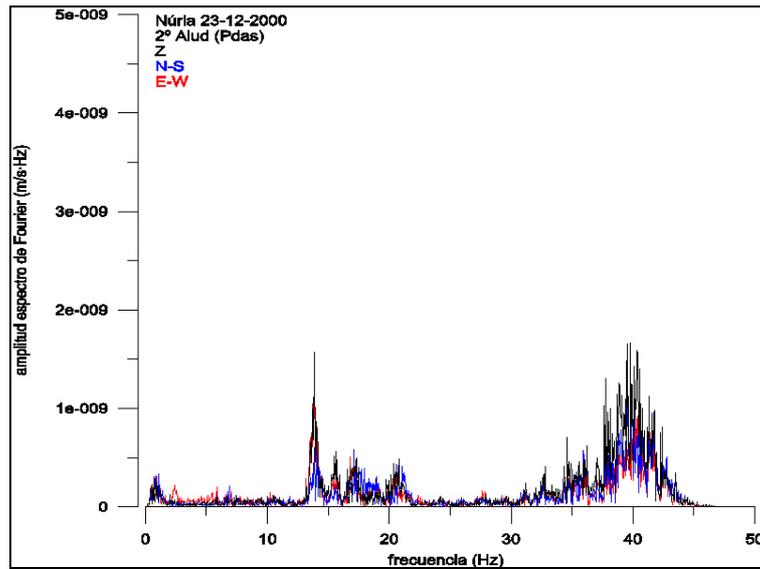


Figura 82. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas en el 2º tiro en Vall de Núria el 23 de diciembre de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 70.69 s y 111.65 s.

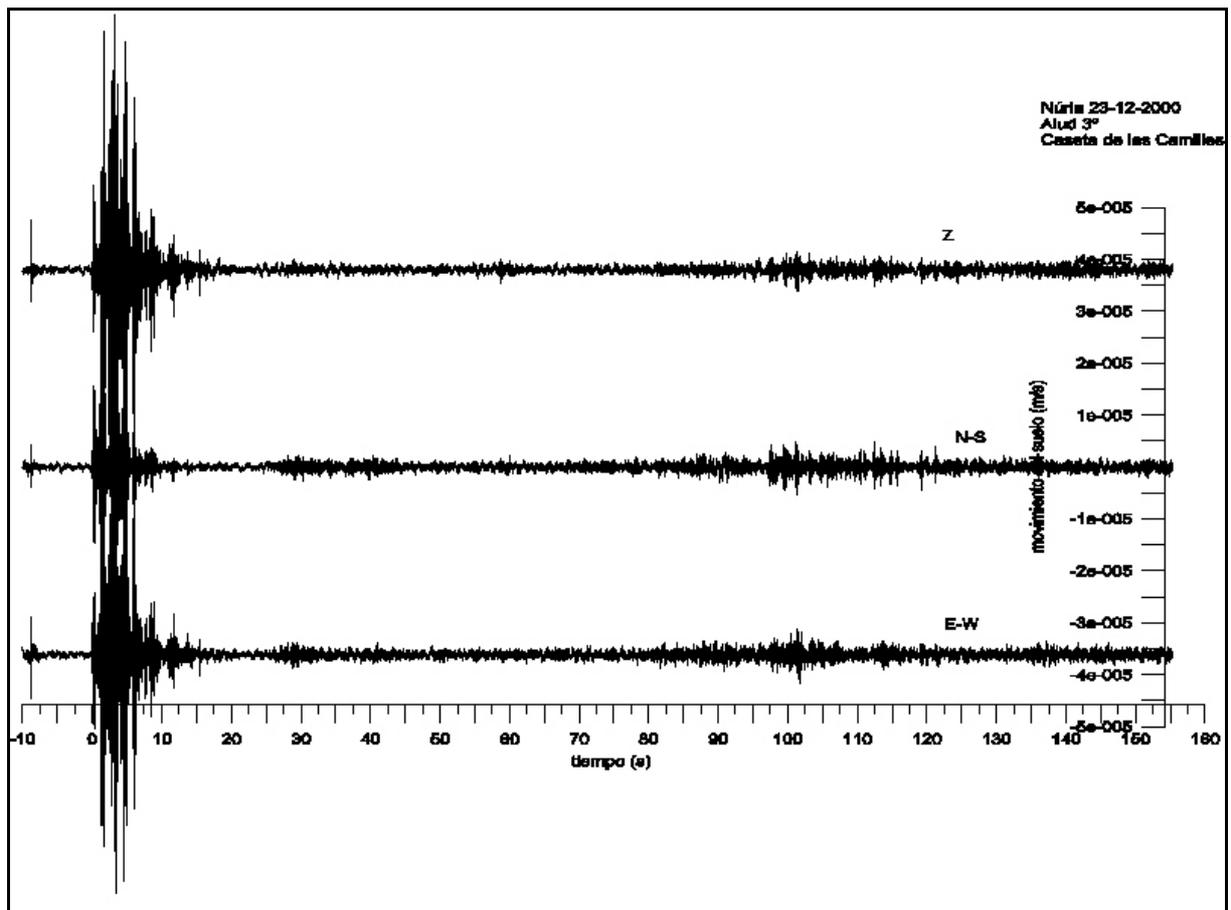


Figura 83. Señales registradas en la estación Pdas en el 3º tiro en Vall de Núria el 23 de diciembre de 2000.

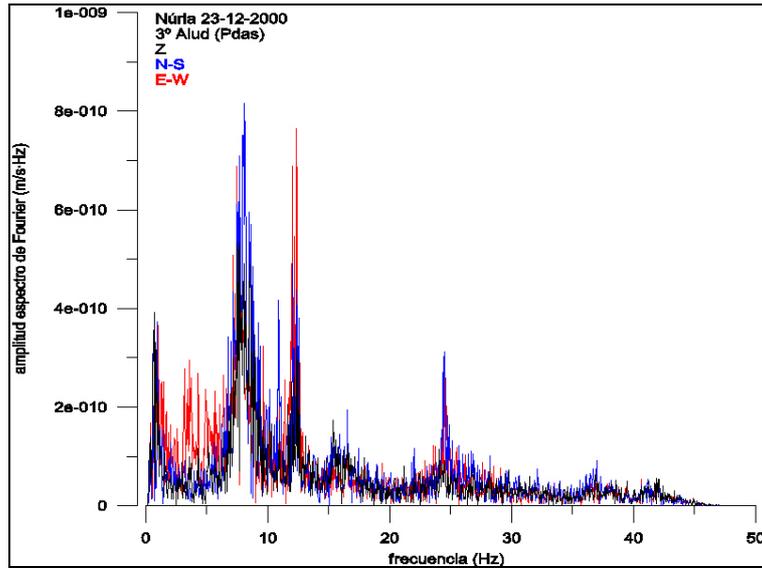


Figura 84. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas en el 3º tiro en Vall de Núria el 23 de diciembre de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 80 s y 120.97 s.

A.6 Sionne 1995/96

El 15 de febrero de 1996 el equipo de la UB participó por primera vez en los experimentos realizados en el Vallée de La Sionne. En estos experimentos se lanzaron explosivos desde un helicóptero para provocar aludes en las vertientes de Pointe des Tsarmettes y Lui du Sac. El equipo científico se instaló en el Pas de Maimbré, cerca de la estación de esquí de Anzère, en la ladera opuesta a la que se desencadenaban los aludes. Para este primer experimento el equipo de la UB instaló una estación Lennartz que pudo registrar un alud.

A.6.1 Alud del 15-02-1996

El 15 de febrero del 1996 se instaló una estación Lennartz en el Pas de Maimbré, cerca de la estación de esquí de Anzère (*Figura 85*). Los explosivos lanzados desde el helicóptero fueron detonando consecutivamente. Se provocaron diversos aludes en las zonas de Lui de Sac y Pointe des Tsarmettes pero sólo se pudo registrar uno de ellos. Los registros se realizaron en la estación UB3 (Lennartz) que funcionó con un valor de amplificación de 8.

Datos de campo extraídos a partir de: observaciones del equipo de aludes de la UB presente en el experimento.

Alud de Pointe de Tsarmettes provocado el 15 de febrero de 1996 (Figura 85):

- ❖ *Alud mixto.*
- ❖ *Se desencadenó con una carga de explosivos colocada a ~2640 m s.n.m.*
- ❖ *La fractura se produjo a una altitud de ~2680 m s.n.m.*
- ❖ *Recorrido del alud ~1500 m.*
- ❖ *Desnivel del recorrido del alud ~800 m.*
- ❖ *Distancia zona de detención del alud- Pdas: ~1250 m.*

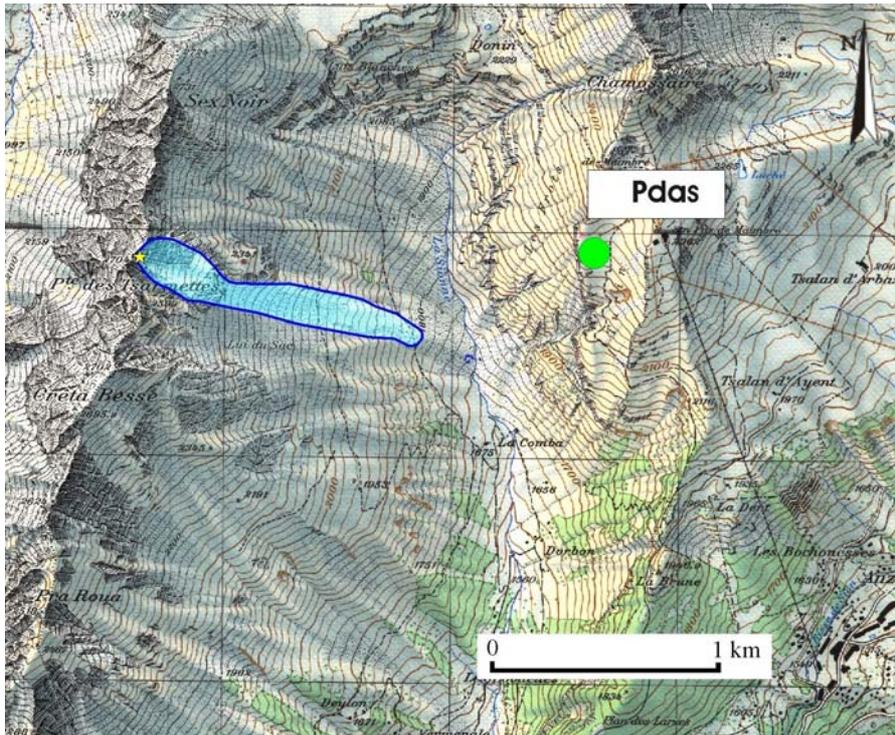


Figura 85. Cartografía del alud provocado artificialmente el 15 de febrero de 1996 en el Vallée de La Sionne. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros realizados en UB3

El estudio del ruido de fondo se realizó a partir de 5.12 s de registro anterior a las explosiones. El resultado (Figura 86) muestra unas curvas para las componentes horizontales por encima de la curva *Noisy*. La componente vertical, en cambio, se encuentra por debajo de la curva *Noisy*.

En los registros realizados por la estación Lennartz simultáneamente al alud se observa (Figura 87) la señal de la explosión a 0 s y una señal que empieza a 15 s que podría asociarse al alud que se desarrollaba en esos instantes. Esta señal dura ~20 s pero sus límites son difíciles de distinguir de la señal del ruido de fondo. Las amplitudes máximas son del orden de 10^{-6} m/s. Las componentes horizontales son mayores que la vertical y concretamente la componente E-W es la mayor de todas pero esta característica también se observó en el ruido de fondo. Una posible explicación de esta observación sería un efecto topográfico ya que el sensor se encontraba sobre la roca de un abrupto escarpe.

Se calculó el espectro de Fourier de la señal comprendida entre 12.03 s y 32.51 s. El resultado (Figura 88) es un espectro con un pico predominante centrado en los 5 Hz de mayor (9) amplitud que el observado en el ruido de fondo. En el análisis de resultados esta señal contribuyó como SSA.

(9) Esta comparación está basada en el cálculo de la densidad de potencia espectral de la señal. A pesar de que este cálculo no se presenta aquí es necesario para poder comparar este registro con la señal de ruido de fondo.

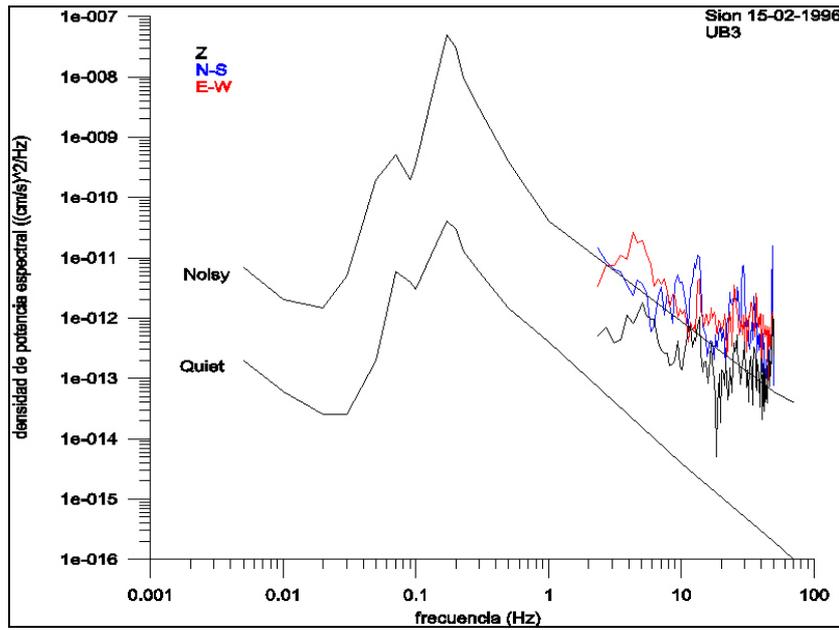


Figura 86. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 5.12 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB3 el 15 de febrero de 1996 en la estación de esquí de Anzère. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

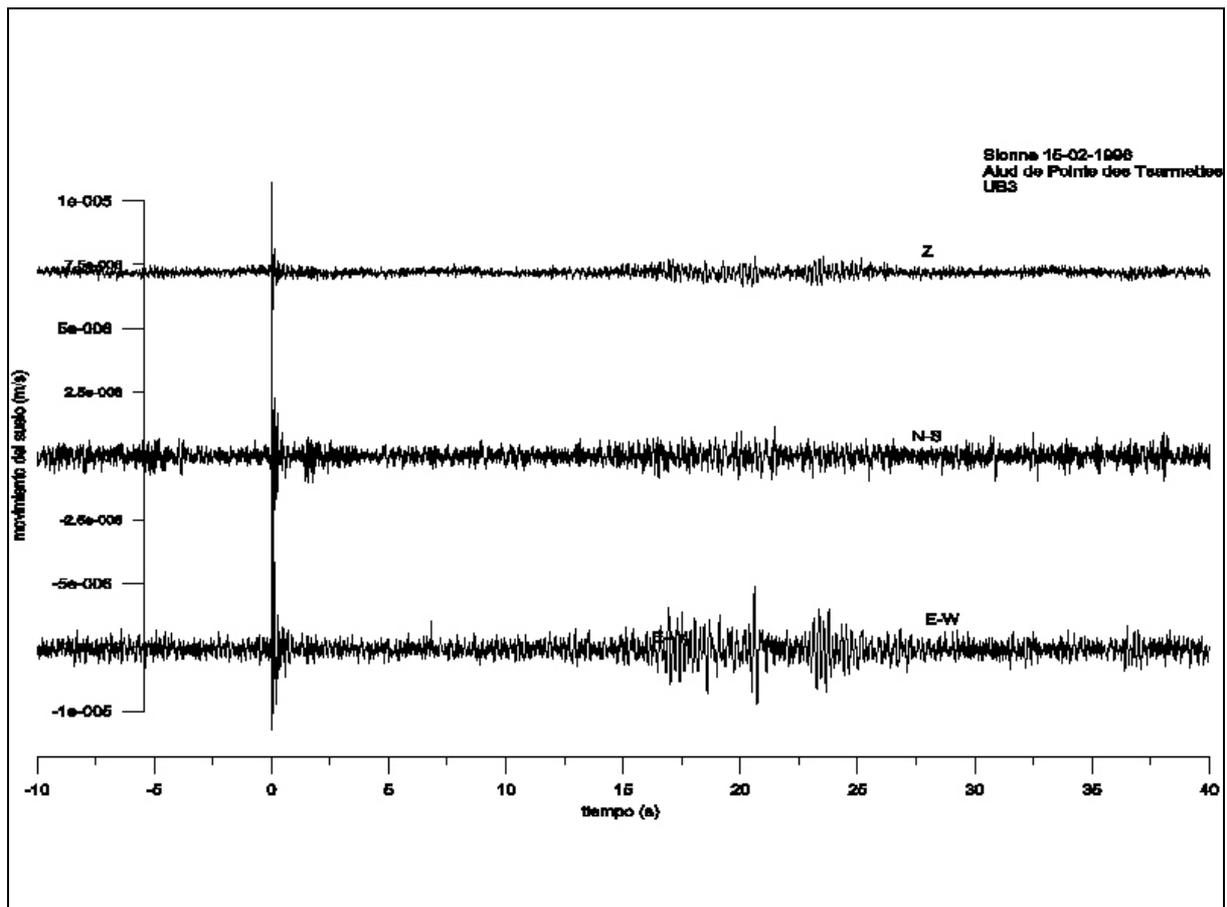


Figura 87. Señales registradas en la estación UB3 durante el alud de Pointe de Tsarmettes en La Sionne el 15 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.

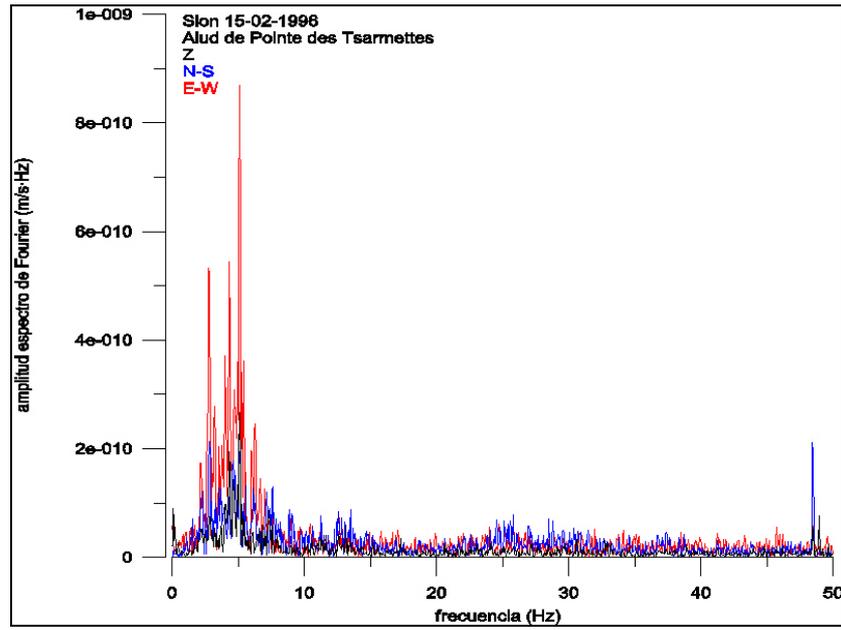


Figura 88. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el alud de Pointe des Tsarmettes el 15 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 12.03 s y 32.51s.

A.7 Sionne 1996/97

El 16 de febrero de 1997 se realizó el segundo experimento en el Vallée de La Sionne. El equipo de la UB se desplazó hasta la estación de esquí de Anzère. Se instalaron dos estaciones sísmicas, una Pdas y una Lennartz, en Pas de Maimbré para registrar los eventos. Se registraron dos aludes, también se pudieron grabar los experimentos en vídeo.

A.7.1 Alud del 16-02-1997

Para el registro de este experimento se instalaron dos estaciones sísmicas, una Pdas y una Lennartz, en el emplazamiento del Pas de Maimbré. La estación Lennartz tuvo problemas de funcionamiento debido al frío y finalmente no registró nada. Durante este experimento se realizaron diez explosiones. Los explosivos fueron tirados desde un helicóptero. Estas explosiones desencadenaron un total de 8 aludes, pero sólo se tiene el registro simultáneo a dos de ellos, uno bajó por el canal de Ponte des Tsarmettes y otro por el canal de Lui du Sac.

Datos de campo extraídos a partir de: observaciones del equipo de aludes de la UB presente en el experimento.

Alud de Pointe de Tsarmettes provocado el 16 de febrero de 1997, 8:16 UTC (Figura 89):

- ❖ *Alud mixto.*
- ❖ *Se desencadenó con una carga de 15 kg de explosivos colocada a ~2640 m s.n.m.*
- ❖ *La fractura se produjo a una altitud de ~2680 m s.n.m.*
- ❖ *Recorrido del alud ~1850 m.*
- ❖ *Desnivel del recorrido del alud ~ 900 m.*
- ❖ *Se observó un importante aerosol en el desarrollo del alud.*
- ❖ *Distancia zona de detención del alud- Pdas: ~900 m.*

Alud de Lui de Sac provocado el 16 de febrero de 1997, 8:17 UTC (Figura 89):

- ❖ *Alud mixto.*
- ❖ *Se desencadenó al explotar la tercera carga de explosivos colocada a una altitud de ~2540 m s.n.m.*
- ❖ *La fractura se produjo a 2650 m s.n.m.*
- ❖ *Recorrido del alud ~1650 m.*
- ❖ *Desnivel del recorrido del alud ~860 m.*
- ❖ *El alud empezó a acelerar entre los 2200 m s.n.m. y 2100 m s.n.m. y luego apareció un aerosol importante.*
- ❖ *Distancia zona de detención del alud- Pdas: ~900 m.*

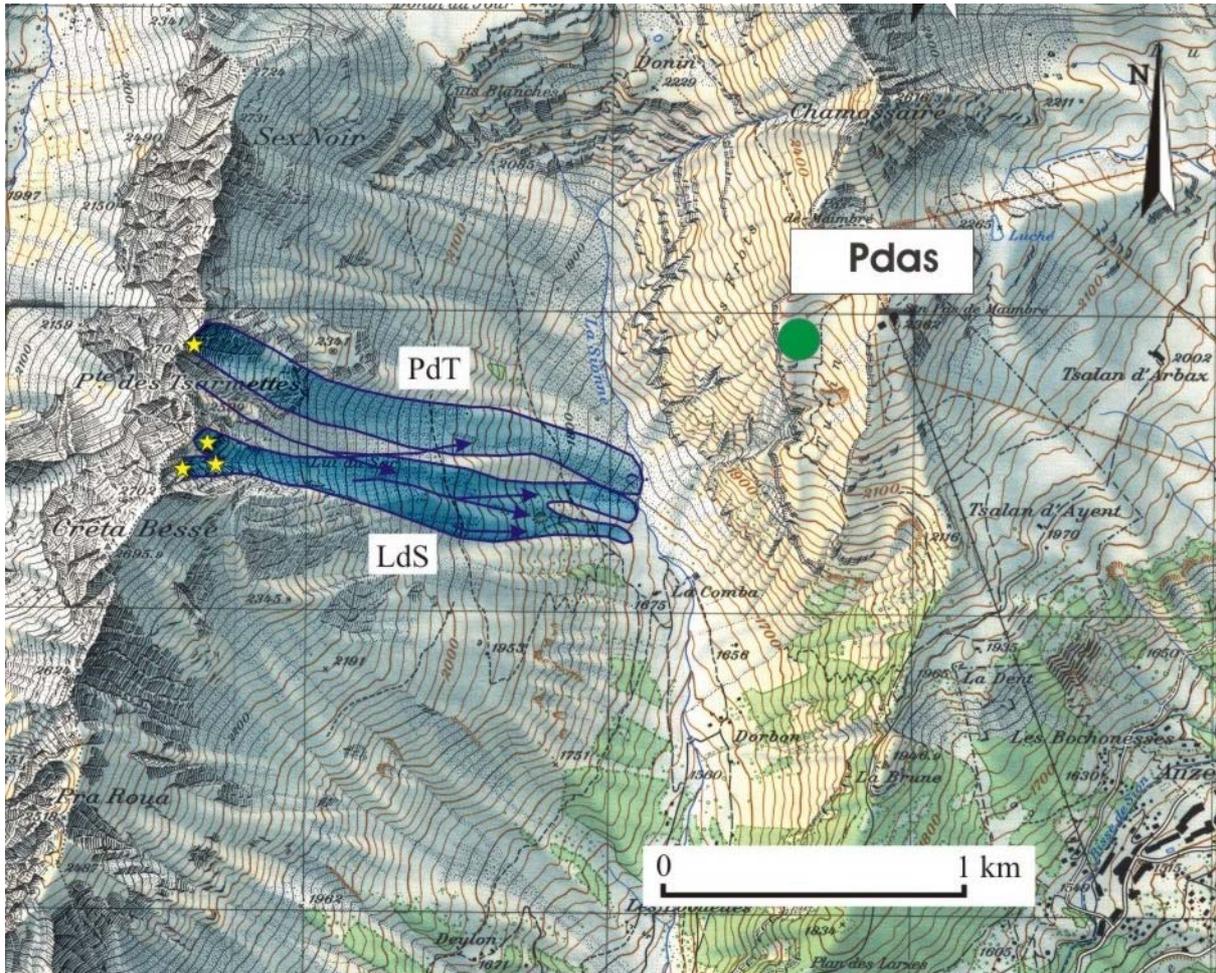


Figura 89. Cartografía de los dos aludes provocados artificialmente el 16 de febrero de 1997 en el Vallée de La Sionne. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros realizados en la estación Pdas

El estudio del ruido de fondo se realizó a partir de 50 s de registro previo a la primera explosión. Las tres componentes (Figura 90) presentan picos muy por encima de la curva de referencia *Noisy*. Las componentes horizontales son superiores a la vertical en todas las frecuencias. En las tres componentes se destacan 3 picos centrados en 15 Hz, 20 Hz y 40 Hz. Durante la realización del experimento un helicóptero sobrevolaba la zona. Los tres picos se atribuyen a la señal del ruido del helicóptero de acuerdo con el estudio de los registros acústicos realizado por Chritin y Rossi (1997).

Los registros de la estación Pdas fueron simultáneos a varias explosiones y dos aludes, uno que bajó por Pointe des Tsarmettes y otro que se desarrolló por el canal de Lui du Sac. Este último empezó a bajar cuando el otro todavía no se había detenido. En los registros de la estación Pdas (Figura 91) aparecen superpuestas las señales de varias explosiones junto con las señales que podrían atribuirse a los dos aludes. Las imágenes de vídeo ayudaron a saber qué parte del registro podía pertenecer a cada alud. Así la señal del alud de Pointe des Tsarmettes empezaría sobre los ~15 s y su final quedaría superpuesto con el principio del alud de Lui du Sac que empezaría a los ~ 65 s. Las amplitudes máximas de las tres componentes son del orden de los 10^{-5} m/s y la duración total del registro es de ~147 s. Las componentes horizontales son mayores que la vertical pero esta característica también se observa en todo el

espectro del ruido de fondo. Una posible explicación de esta observación sería un efecto topográfico ya que el sensor se encontraba sobre la roca de un abrupto escarpe.

Se calculó el espectro total de la señal comprendida entre los 20 s y 60.69 s. El espectro muestra (*Figura 92*) un pico significativo entre [2-15] Hz que no coincide con ningún pico del ruido de fondo. A la hora del análisis de resultados esta señal se consideró como una SSA.

También se calculó el espectro de Fourier de la señal comprendida entre 129.22 s y 170.18 s. El espectro muestra (*Figura 93*) el mismo contenido frecuencial que el anterior donde las mayores energías se sitúan entre los [2-15] Hz. Esta señal contribuyó como SSA en el análisis de resultados.

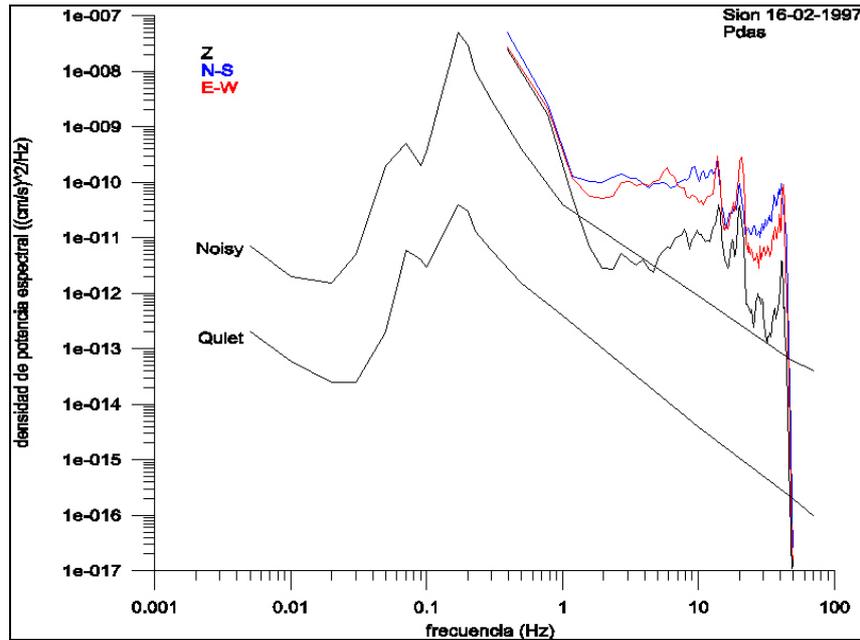


Figura 90. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 50 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas el 16 de febrero de 1997 en la estación de esquí de Anzère. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

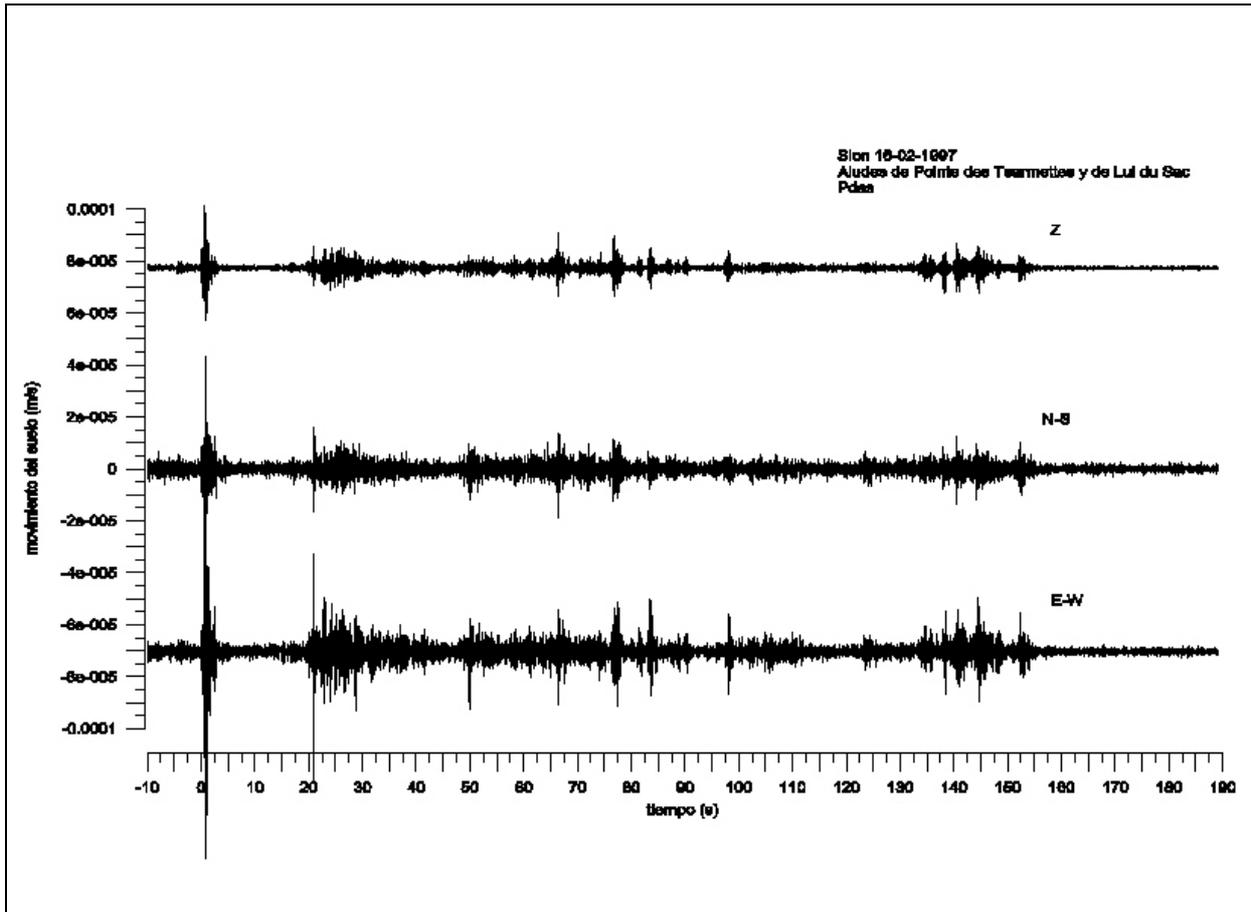


Figura 91. Señales registradas en la estación Pdca durante los aludes de Pointe des Tsarmettes y Lui du Sac el 16 de febrero de 1976. Los aludes fueron provocados por una explosión.

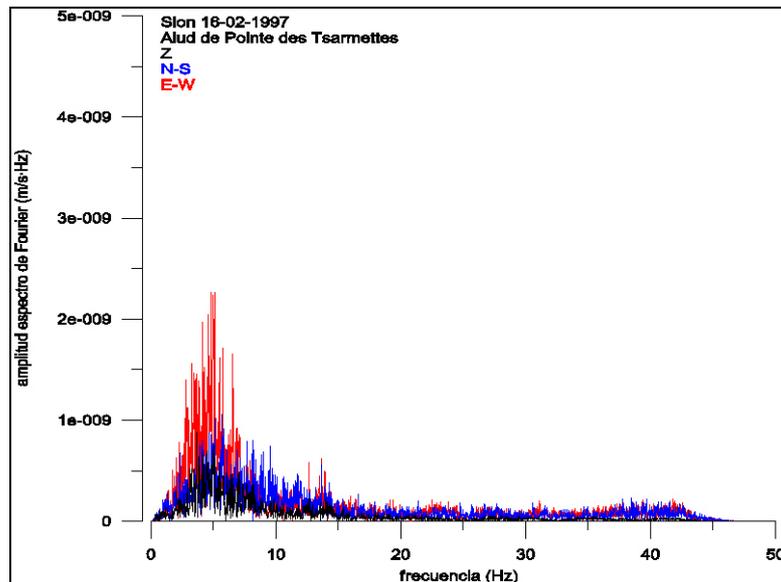


Figura 92. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdca durante el alud de Pointe des Tsarmettes en La Sionne el 16 de febrero de 1997. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 20 s y 60.69 s.

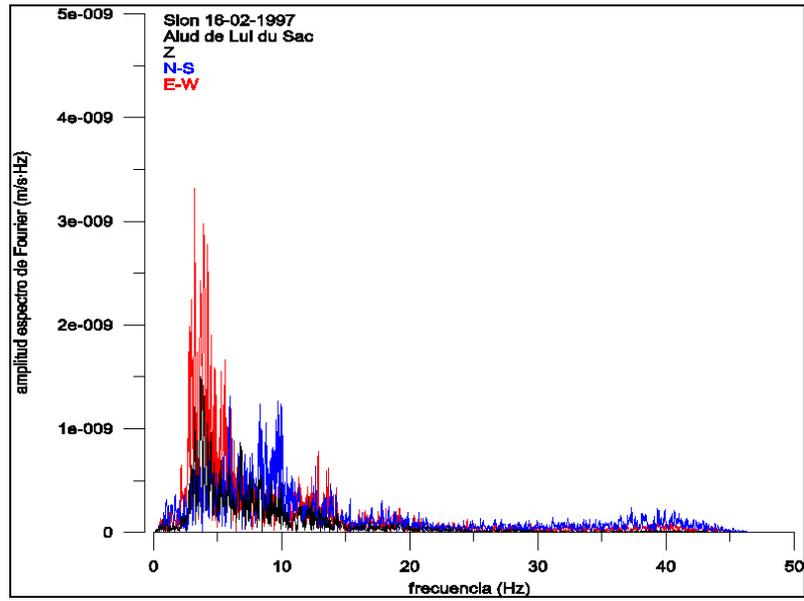


Figura 93. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el alud de Lui du Sac en La Sionne el 16 de febrero de 1997. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 129.22 s y 170.18 s.

A.8 Sionne 1998/99

El invierno del 1998-1999 fue un año de extraordinarias precipitaciones nivológicas en Europa. En este invierno se produjeron destacados accidentes causados por aludes en algunos países alpinos (Suiza, Austria,...). En la zona experimental de La Sionne también se produjeron unas precipitaciones de nieve muy superiores a las de otros años y los aludes que se desencadenaron fueron los aludes registrados de mayores dimensiones.

El 25 de noviembre se instalaron en la zona experimental dos estaciones Pdas con sus respectivos sensores Lennartz. Una estación se instaló en la zona de llegada de los aludes, a unos 100 m aproximadamente del centro de control (emplazamiento C, *Figura 94*) y la otra estación se instaló a media ladera, en la caverna B (*Figura 94*), a 1900 m s.n.m.

Durante esta campaña se registraron tres aludes artificiales los días 30-01-1999, 10-02-1999 y 25-02-1999. Los tres aludes se pudieron registrar en las dos estaciones Pdas y también en la estación suiza Syscom situada en la caverna A (*Figura 94*). Los aludes fueron provocados de forma artificial con explosivos lanzados sobre la cornisa de Crêta Besse desde un helicóptero que sobrevolaba la zona. Los tres aludes fueron grabados en vídeo desde varias posiciones.

A.8.1 Alud del 30-01-1999

El alud del 30 fue provocado artificialmente. El desarrollo del alud fue grabado por varias cámaras de vídeo situadas en diferentes puntos.

Datos de campo obtenidos a partir de: observaciones in situ y posteriores del equipo científico suizo y de la UB e imágenes de vídeo.

- ❖ *Alud provocado el 30 de enero de 1999, 8:06 UTC (Figura 94).*
- ❖ *Zona de salida en la parte izquierda de Crêta Besse 2 (2695 m s.n.m.). La parte más importante del alud baja por este canal.*
- ❖ *Alud mixto con alto contenido de aerosol.*
- ❖ *Longitud fractura ~400 m*
- ❖ *Altura media fractura ~142 cm.*
- ❖ *Volumen estimado de la zona de salida ~10⁴ m³.*
- ❖ *Volumen estimado de depósito ~10⁵ m³.*
- ❖ *El alud destrozó el mástil y lo transportó hasta la ladera opuesta.*
- ❖ *El alud pasó por encima de los emplazamientos A, B y C.*

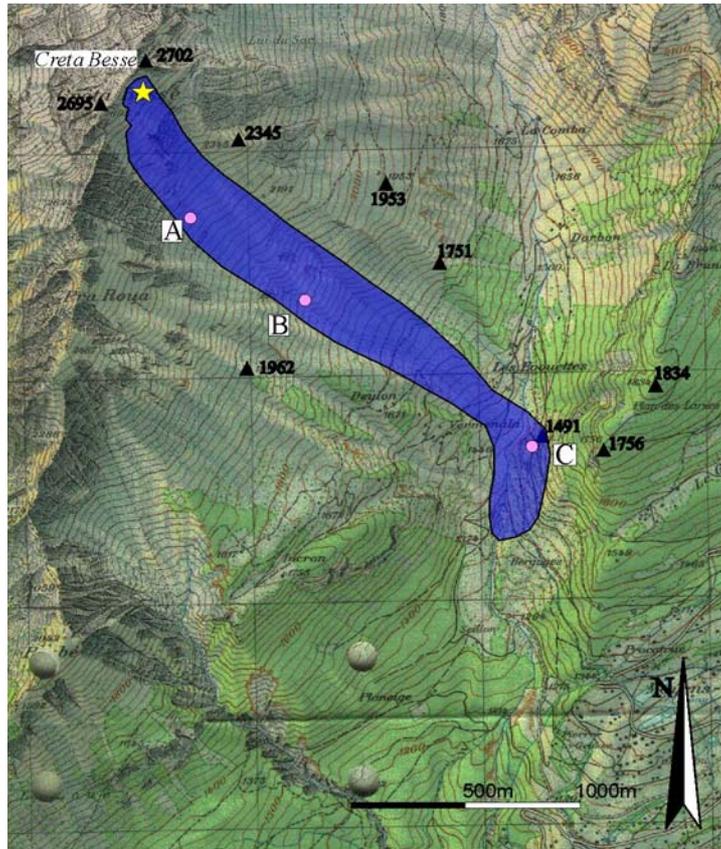


Figura 94. Cartografía del alud provocado artificialmente el 30 de enero de 1999 en el Vallée de La Sionne. A, B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento A

El equipo suizo cedió este registro para su estudio. El registro no contenía señal de pre-evento por lo que no se pudo realizar un estudio del ruido de fondo. El alud pasó por encima de la caverna A, situada en la zona de salida. Estos registros (Figura 95) son posteriores a la señal de la explosión. Las tres componentes son de amplitudes máximas muy similares y del orden de 10^{-4} m/s pero hay que tener en cuenta que el estudio del ruido de fondo de este emplazamiento el 25 de febrero de 1999 (Figura 113) mostró una amplificación del registro en todo el espectro. La señal asociable al alud empieza a distinguirse sobre los 2 s y dura ~ 32 s. El espectro (Figura 96) se calculó a partir de la señal comprendida entre 5 s y 15.24 s. Las mayores amplitudes se concentran entre los [0-40] Hz. Esta señal contribuyó como una SSA en el análisis de resultados.

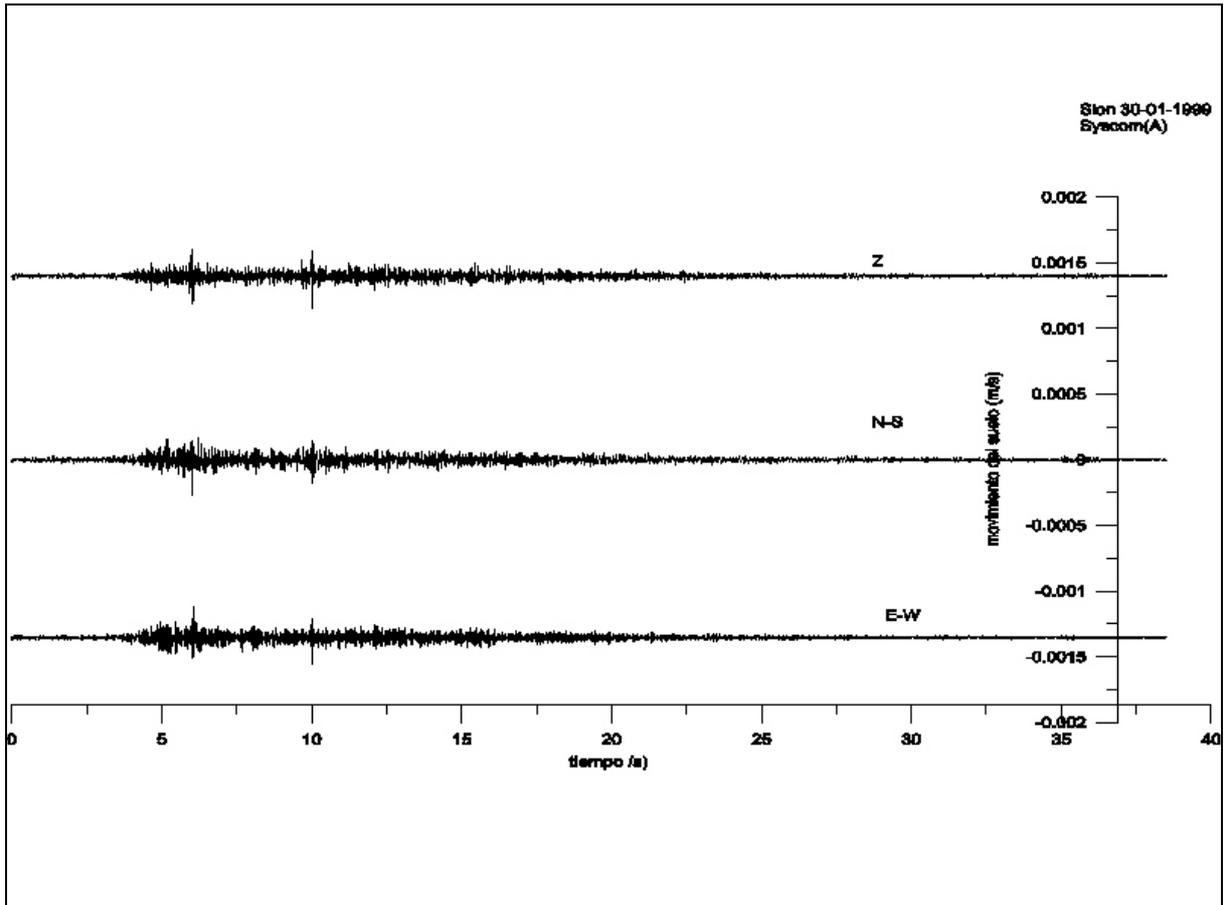


Figura 95. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 30 de enero de 1999. El alud fue provocado por una explosión.

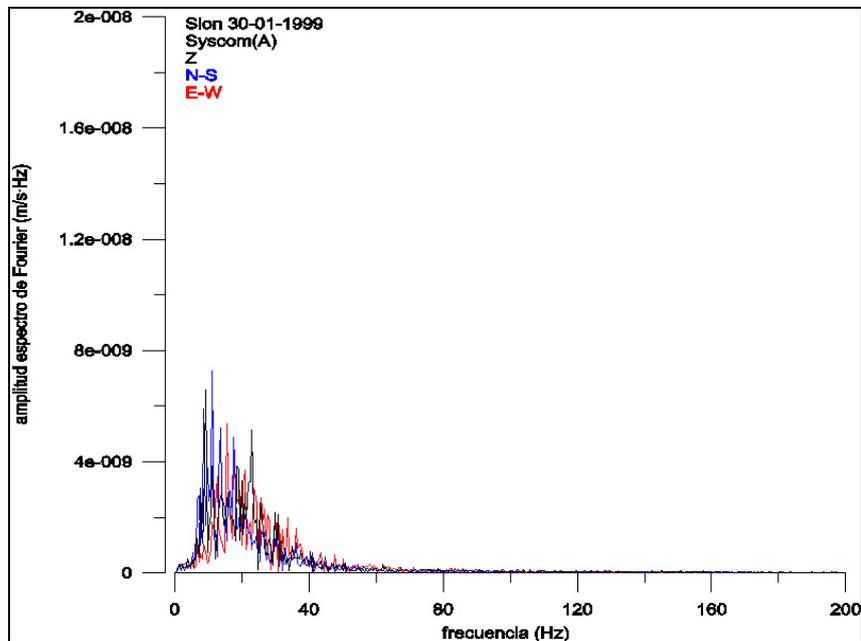


Figura 96. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 30 de enero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 5 s y 15.24 s.

- Registros en el emplazamiento B

El estudio del ruido de fondo de este emplazamiento se hizo con los primeros 150 s de registro. Hay que tener en cuenta que durante todo el experimento un helicóptero sobrevolaba la zona. Las curvas de densidad de potencia espectral (*Figura 97*) superan el nivel de ruido de la curva *Noisy* en frecuencias superiores a 15 Hz. Este ruido podría atribuirse al helicóptero, presente durante todo el experimento. Otra característica a destacar es que la componente E-W presenta amplitudes menores que las otras dos componentes para frecuencias superiores a los 6 Hz.

El alud pasó por encima de la caverna B. En los registros (*Figura 98*) se ve la señal de la explosión a los 0 s. La señal que aparece a los 15 s podría asociarse al alud puesto que en esos momentos se estaba desarrollando. Las tres componentes son muy similares y las amplitudes mayores son del orden de 10^{-3} m/s. El principio de la señal del alud se distingue sobre los 10 s y dura unos ~ 227 s. El espectro total de la señal se calculó a partir de la señal entre 36.51 s y 118.43 s. El contenido frecuencial (*Figura 99*) de esta señal se reparte entre los [0-45] Hz. Esta señal se consideró una SSA a la hora de analizar los resultados.

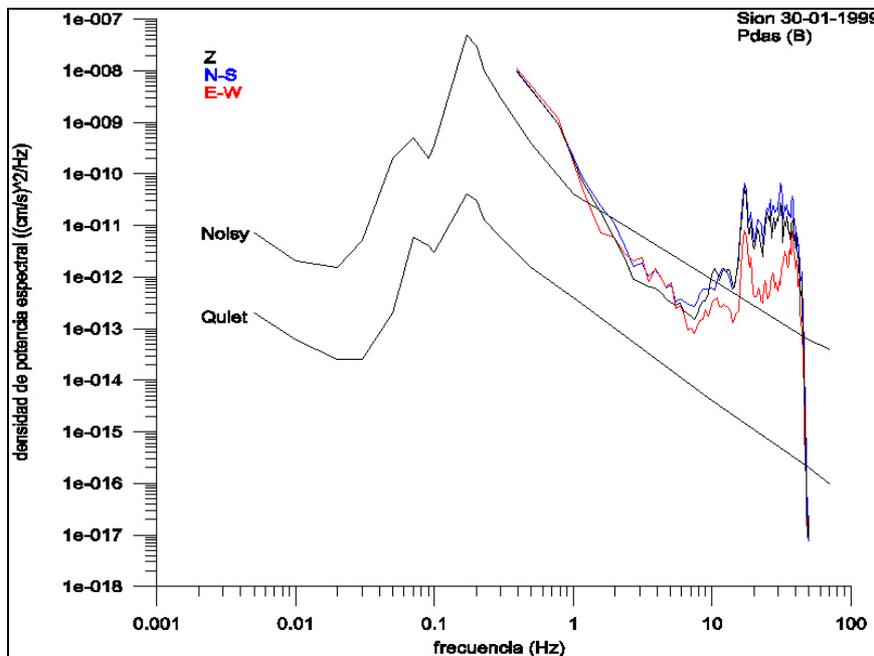


Figura 97. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 150 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento B el 30 de enero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

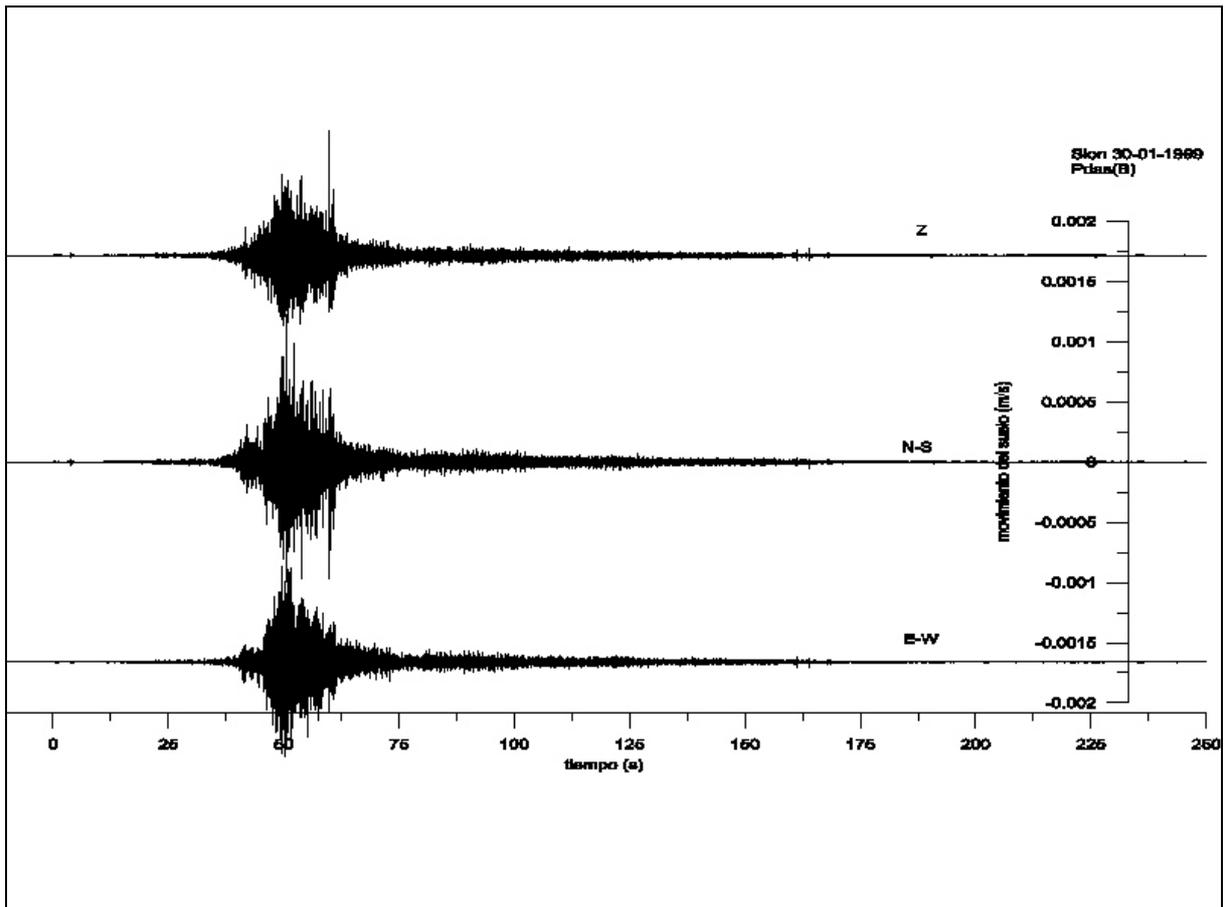


Figura 98. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento B durante el alud del 30 de enero de 1999. El alud fue provocado por una explosión.

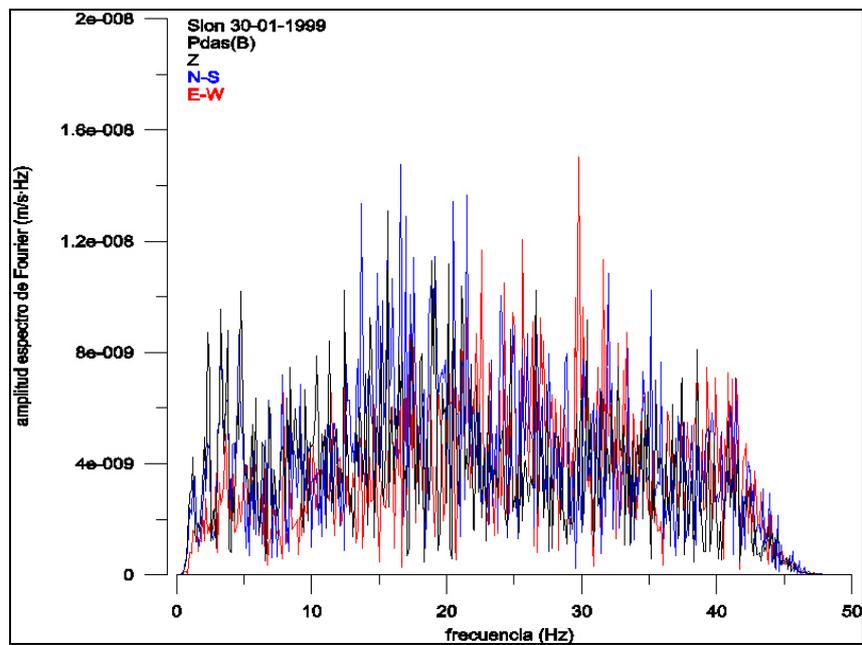


Figura 99. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento B durante el alud del 30 de enero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 36.51 s y 118.43 s

- Registros en el emplazamiento C

Se calcularon las curvas de densidad de potencia espectral (Figura 100) para los 200 s primeros del registro, previos a las explosiones. Las tres componentes superan la curva de referencia *Noisy* para frecuencias superiores a 5 Hz. Además sobre este alto nivel de ruido se destacan 2 picos, uno centrado en los 20 Hz y otro en 40 Hz que se atribuyen al ruido del helicóptero. También hay que tener en cuenta que había científicos trabajando en el centro de control cercano al emplazamiento y que pudieron contribuir en el ruido.

Los registros (Figura 101) presentaron problemas de saturación debido al fuerte estruendo de una compuerta que se cerró en el centro de control y a la magnitud del alud que pasó por encima del emplazamiento del sensor. Al filtrar la señal los puntos saturados se distorsionaron a amplitudes casi nulas. La señal asociable al alud empieza a distinguirse sobre los 10 s y dura ~230 s. Se calculó el espectro (Figura 102) del registro entre los 32.18 s y 52.66 s, es decir del principio de la señal solamente, debido a los problemas de saturación. Las mayores amplitudes se concentran entre [0-10] Hz. También se observan dos picos de menores amplitudes centrados en 15 Hz y 35 Hz que se atribuyen al ruido del helicóptero (10). Esta señal se consideró una SSA al analizar los resultados.

(10) En el ruido de fondo la señal del helicóptero observó en dos bandas frecuenciales, en 20 Hz y 40 Hz y en el espectro estas bandas se observan en 15 Hz y 35 Hz. Estas diferencias se pueden explicar con el efecto Doppler ya que durante el experimento el helicóptero se movía constantemente, acercándose y alejándose de los emplazamientos.

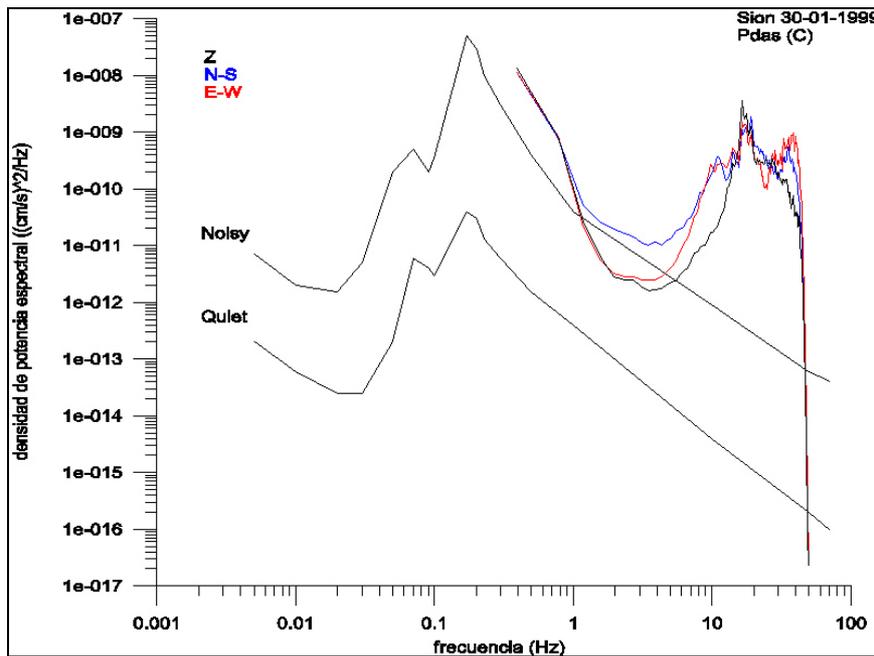


Figura 100. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 200 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento C el 30 de enero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

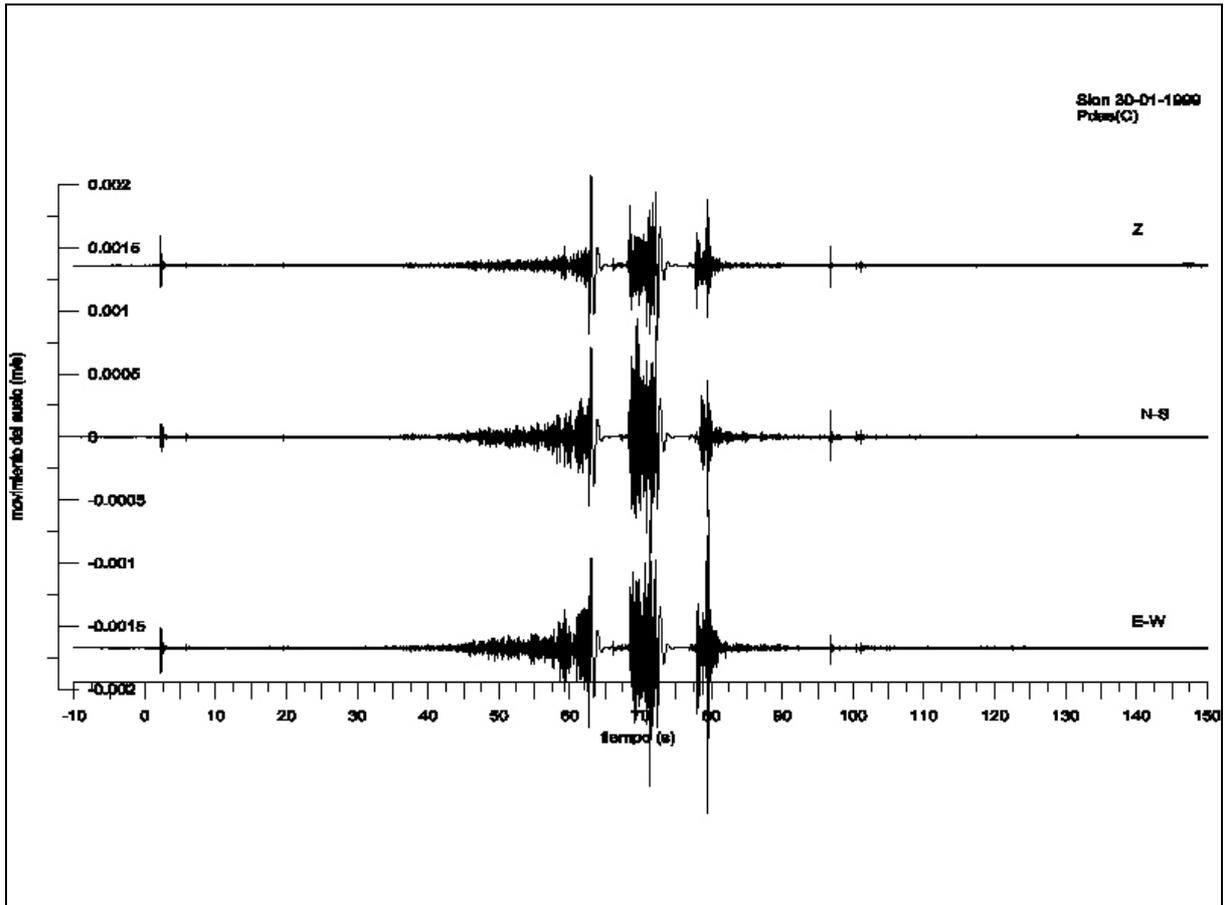


Figura 101. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el alud del 30 de enero de 1999. El alud fue provocado por una explosión. Estos registros presentan saturación

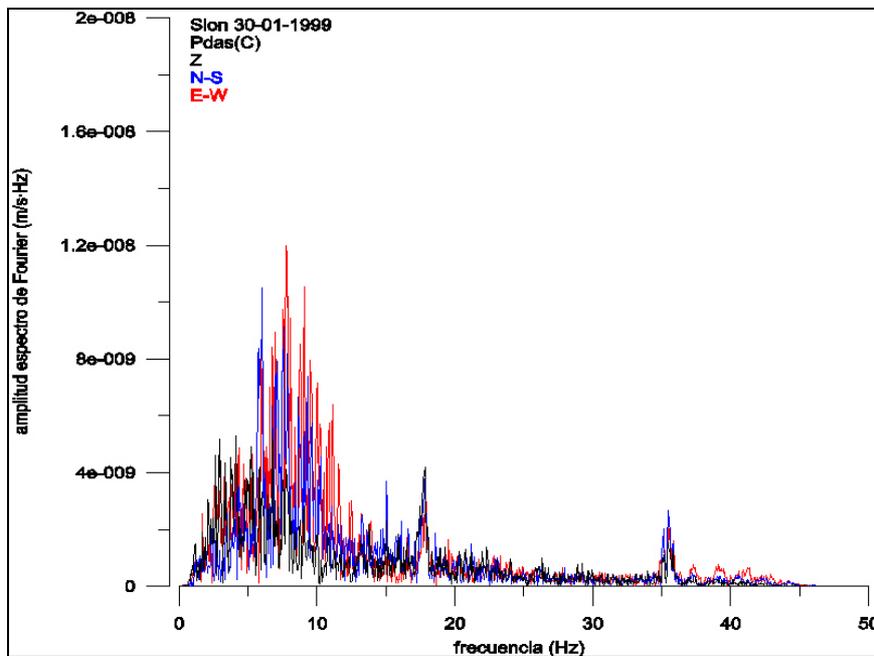


Figura 102. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el alud del 30 de enero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 32.18 s y 52.66 s.

A.8.2 Alud del 10-02-1999

El 10 de febrero fue el primer día claro después de un período de fuertes nevadas. La acumulación de nieve producida en la zona de salida durante los últimos tres días era de más de dos metros. Sobre las 8 de la mañana se provocó un alud artificialmente dejando caer explosivos desde un helicóptero en la cornisa de Crêta Besse. El desarrollo del alud fue grabado en vídeo desde diversas perspectivas.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo científico suizo que observó el experimento desde el centro de control e imágenes de vídeo.

- ❖ *Alud provocado el 10 de febrero de 1999, 8:08 UTC (Figura 103).*
- ❖ *Una primera carga de 15 kg de explosivos que cayó sobre la parte izquierda de Crêta Besse 1 provocó un alud que bajó por Crêta Besse 1 y Pra Roua.*
- ❖ *Alud mixto y con un contenido muy elevado de aerosol.*
- ❖ *Longitud del envolvente de la fractura de ~900 m.*
- ❖ *Altura media del envolvente de la fractura de ~86 cm.*
- ❖ *Volumen estimado de la zona de salida de $\sim 10^5 \text{ m}^3$.*
- ❖ *Volumen estimado de depósito de $\sim 10^5 \text{ m}^3$.*
- ❖ *El techo de la caverna B se agujereó debido al choque de unas rocas.*
- ❖ *Los depósitos que quedaron sobre el lecho del río La Sionne excedían los 10 m.*
- ❖ *El aerosol llegó antes que la parte densa al centro de control.*
- ❖ *En la parte densa se observaron bloques de más de 60 cm de diámetro.*
- ❖ *Al lado del centro de control se observó una alternanza de zonas de depósitos y zonas de erosión.*
- ❖ *La nube de aerosol llegó a los 200 m de altura en el Plan des Larzesi y después se desvió hacia abajo siguiendo el lecho del río 1 km aproximadamente.*
- ❖ *Los obstáculos no fueron destruidos ni se observaron importantes daños.*
- ❖ *El centro de control quedó cubierto bajo más de 1 m de nieve de los depósitos del alud.*
- ❖ *El alud pasó por encima de los emplazamientos B y C.*

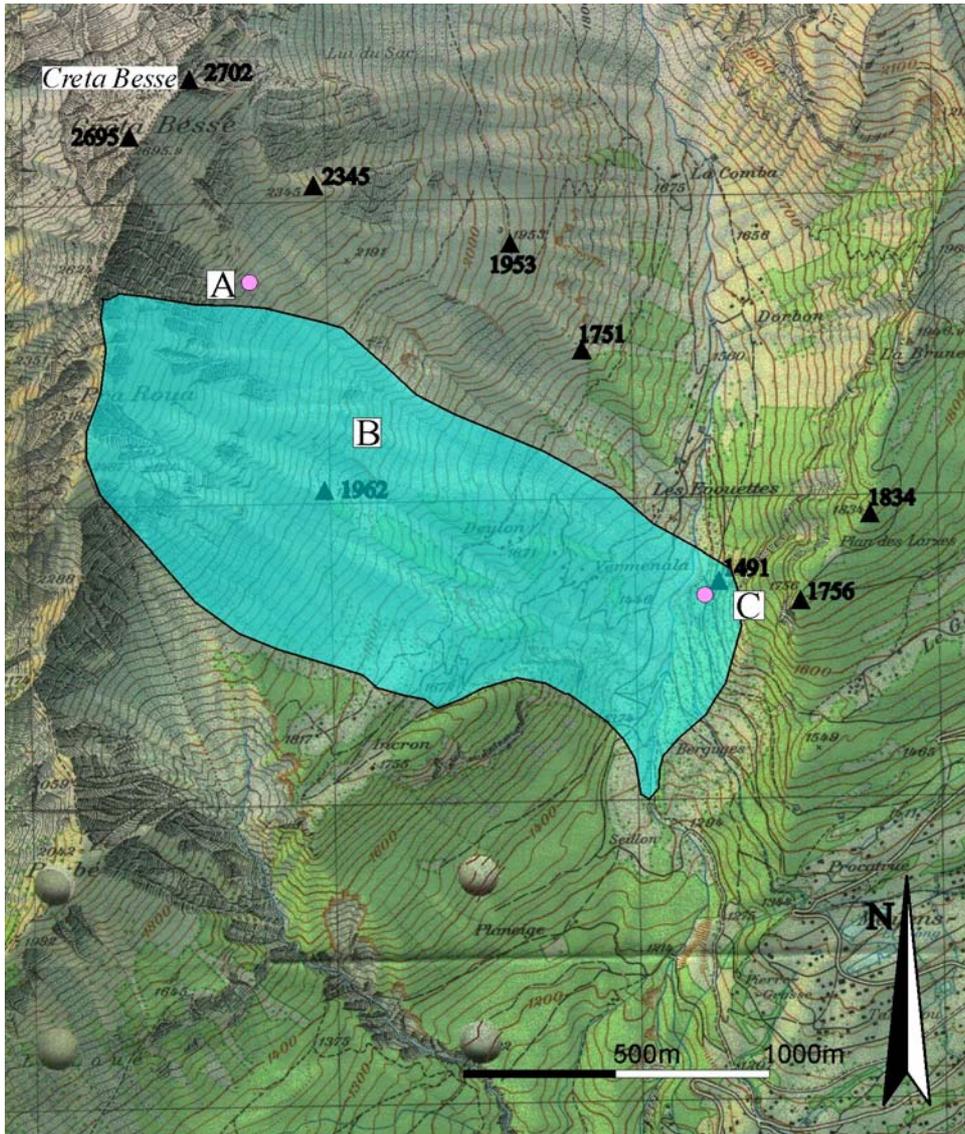


Figura 103. Cartografía del alud provocado artificialmente el 10 de febrero de 1999 en el Valleé de La Sionne. A, B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros del emplazamiento A

El equipo suizo cedió este registro para su estudio. El registro no contenía señal de pre-evento por lo que no se pudo hacer estudio del ruido de fondo.

La zona de salida de este alud quedó a la izquierda de la caverna A y el alud pasó a 70 m aproximadamente del sensor. Los registros (Figura 104) son posteriores a la explosión, se pueden observar amplitudes máximas del orden de los 10^{-4} m/s pero hay que tener en cuenta que el estudio del ruido de fondo de este emplazamiento el 25 de febrero de 1999 (Figura 113) mostró una amplificación del registro en todo el espectro. El principio de la señal que podría asociarse al alud se aprecia sobre los 23 s y dura ~ 45 s, esta señal está repartida de forma similar en las tres componentes. Se calculó el espectro (Figura 105) de la señal comprendida entre 17.5 s y 37.98 s. Las mayores amplitudes se concentran entre [5-20] Hz. Esta señal se consideró una SSA en el análisis de los resultados.

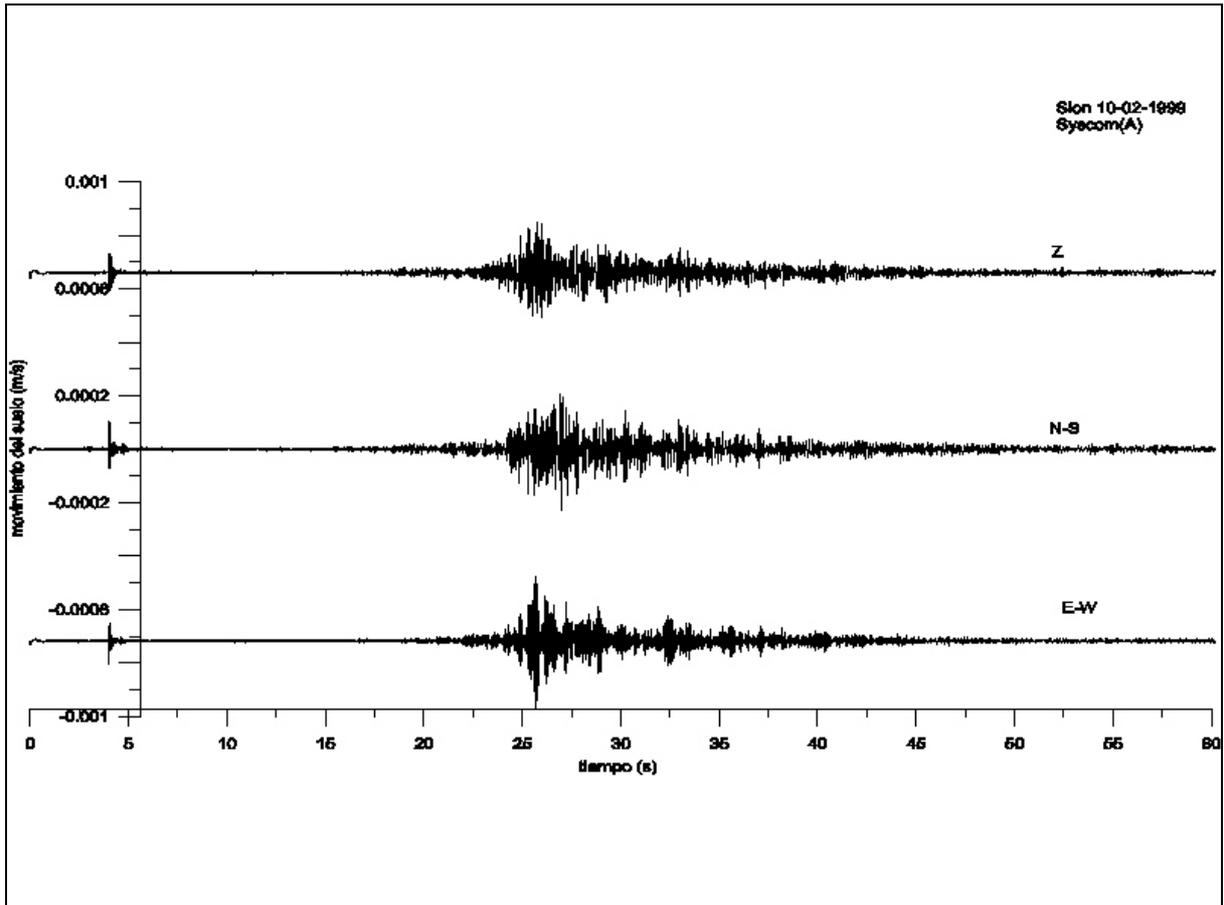


Figura 104. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 10 de febrero de 1999. El alud fue provocado por una explosión.

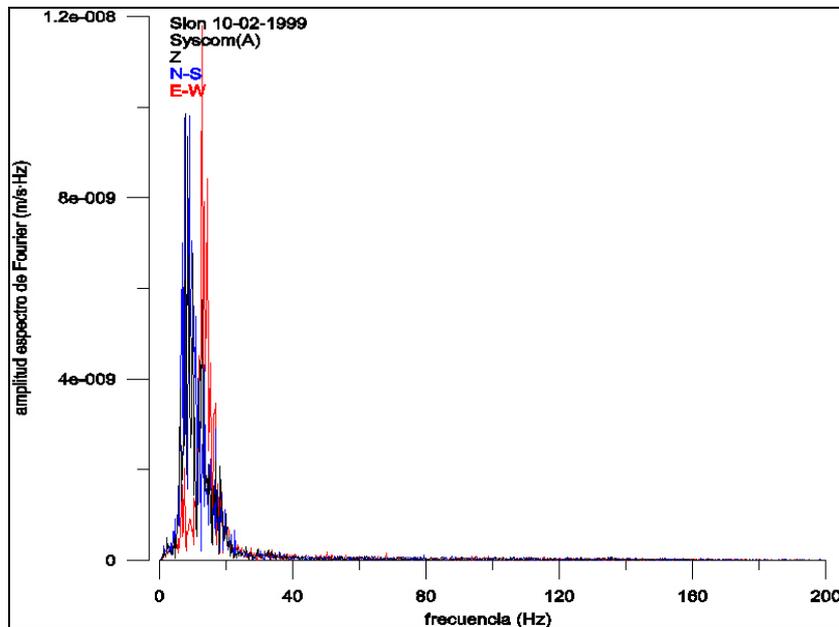


Figura 105. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 10 de febrero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 17.5 s y 37.98 s.

- Registros en el emplazamiento B

El estudio del ruido de fondo se hizo a partir de las curvas de densidad de potencia espectral (*Figura 106*) de los primeros 300 s de registro. El resultado muestra dos picos en las tres componentes que superan el nivel de ruido en 20 Hz y 45 Hz y que se atribuyen al ruido del helicóptero.

El registro (*Figura 107*) de la estación del emplazamiento B presenta problemas de saturación debido a la gran dimensión del alud que pasó por encima de la caverna donde estaba el sensor. Debido al filtrado de la señal los puntos saturados se distorsionaron a amplitudes casi nulas. La señal asociable al alud empieza sobre los 20 s y dura ~136 s. Se calculó el espectro (*Figura 108*) de la señal entre 60.36 s y 80.84 s. El resultado muestra que el contenido frecuencial se reparte entre los [0-45] Hz. Esta señal contribuyó como una SSA en el análisis de resultados.

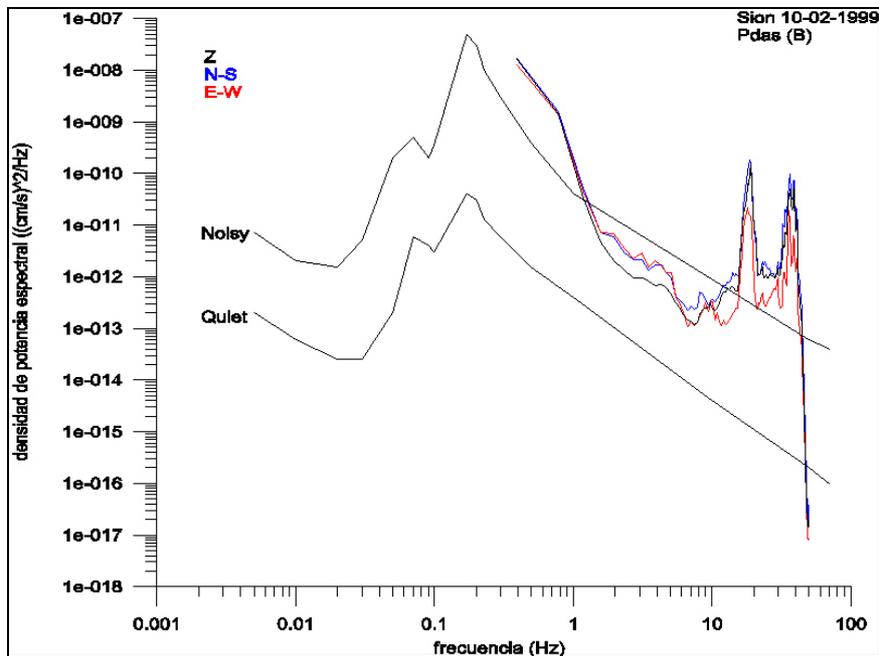


Figura 106. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 300 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento B el 10 de febrero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

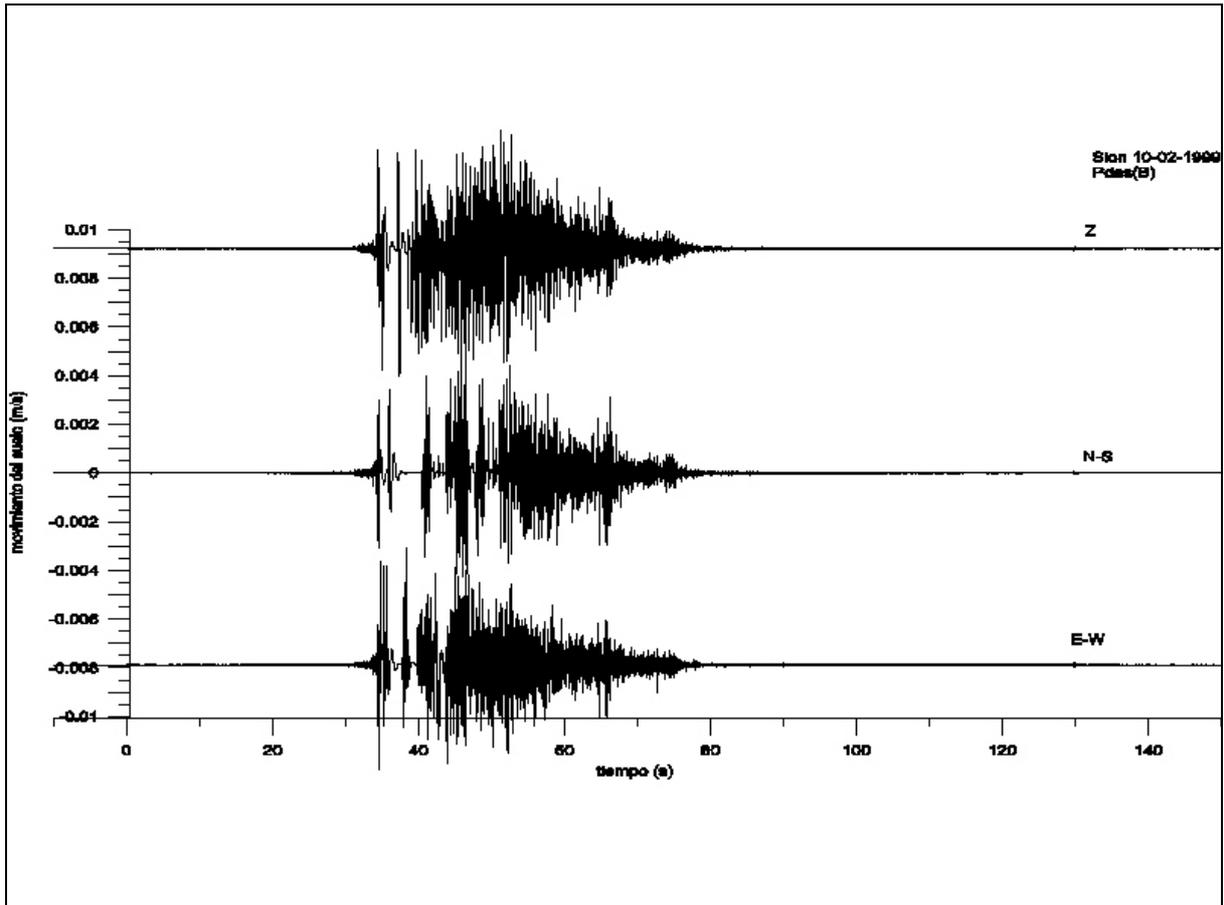


Figura 107. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento B durante el alud del 10 de febrero de 1999. El alud fue provocado por una explosión. Estos registros presentan saturación.

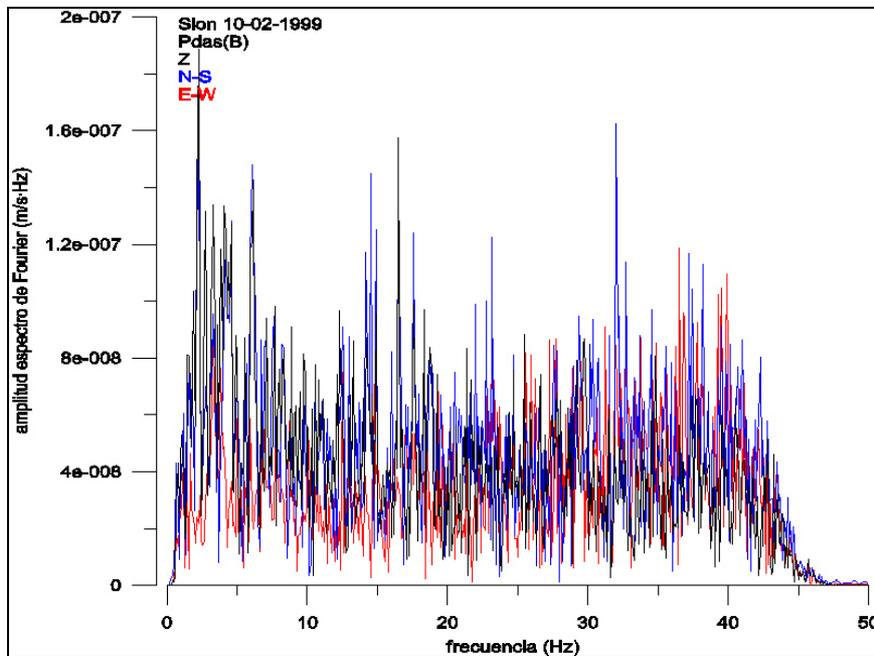


Figura 108. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento B durante el alud del 10 de febrero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 60.36s y 80.84s

- Registros en el emplazamiento C

El estudio de ruido de fondo (*Figura 109*) de este emplazamiento se realizó a partir de los primeros 100 s de registro antes de la explosión. Durante todo el tiempo de registro un helicóptero sobrevolaba la zona. En el resultado destacan dos picos comunes a las tres componentes centrados en 20 Hz y 45 Hz, estos picos se atribuyen al ruido del helicóptero. El frente de este alud sobrepasó el centro de control y sus depósitos lo cubrieron con 1 m. Las grandes dimensiones provocaron también problemas de saturación en los registros (*Figura 110*) al pasar por encima del emplazamiento del sensor. Al filtrar la señal los puntos saturados se distorsionaron a amplitudes casi nulas. El principio de la señal que podría atribuirse al alud se distingue sobre los 20 s y dura ~137 s. Se calculó el contenido frecuencial (*Figura 111*) entre 31.98 s y 52.46 s, es decir de la parte inicial de la señal. Las mayores amplitudes se sitúan entre [5-15] Hz. Esta señal se consideró una SSA en los resultados.

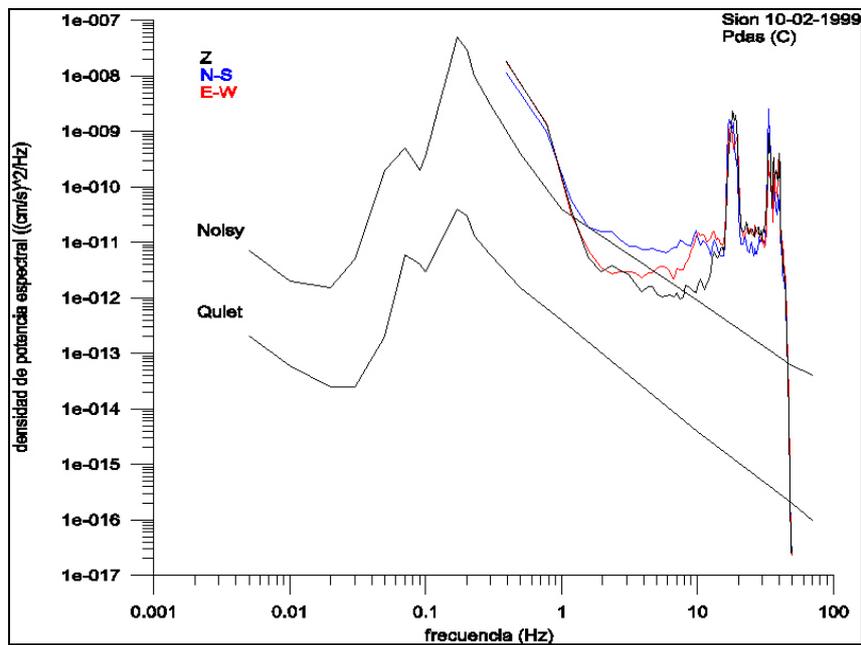


Figura 109. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 100 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento C el 10 de febrero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

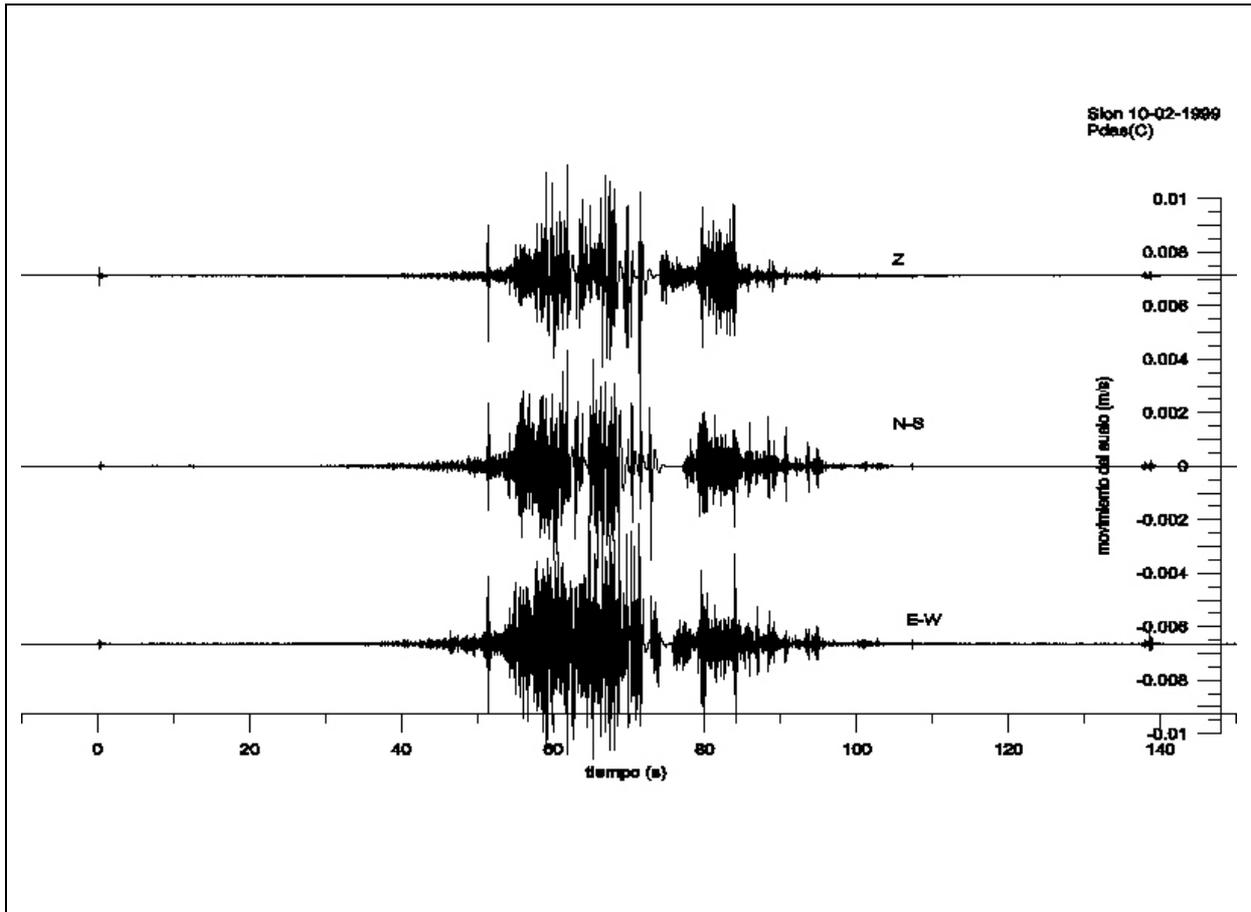


Figura 110. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el alud del 10 de febrero de 1999. El alud fue provocado por una explosión. Estos registros presentan saturación

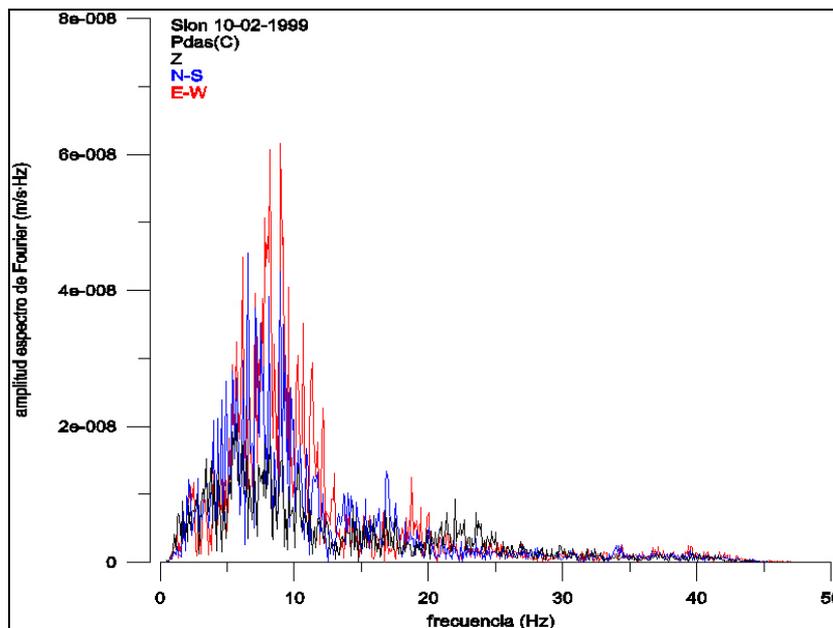


Figura 111. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el alud del 10 de febrero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 31.98s y 52.46s.

A.8.3 Alud del 25-02-1999

Este alud artificial fue el mayor de todos los registrados en nuestras campañas. El equipo suizo estuvo presente en el centro de control para poner en marcha los aparatos y obtener el máximo de observaciones sobre el alud. El alud fue grabado en vídeo desde diferentes puntos.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo científico suizo presente en el centro de control durante el experimento e imágenes de vídeo.

- ❖ *Alud provocado el 25 de febrero de 1999, 8:39 UTC (Figura 112).*
- ❖ *El alud bajó por Crêta Besse 1 y 2.*
- ❖ *Alud mixto y con alto contenido de aerosol.*
- ❖ *Longitud del envolvente de la fractura de 1400 m.*
- ❖ *Volumen estimado en la zona de salida de $\sim 10^5 \text{ m}^3$.*
- ❖ *Volumen estimado de depósito de $\sim 10^5 \text{ m}^3$.*
- ❖ *Fueron destruidos todos los instrumentos y también grandes zonas de bosque e incluso algunos de los puentes sobre el río La Sionne.*
- ❖ *El centro de control quedó cubierto por 4 m de depósitos sólidos (hielo, rocas, trozos de árboles, etc.).*
- ❖ *La nube del aerosol bajó a mayor velocidad que la parte densa.*
- ❖ *El alud pasó por los emplazamientos A, B y C.*

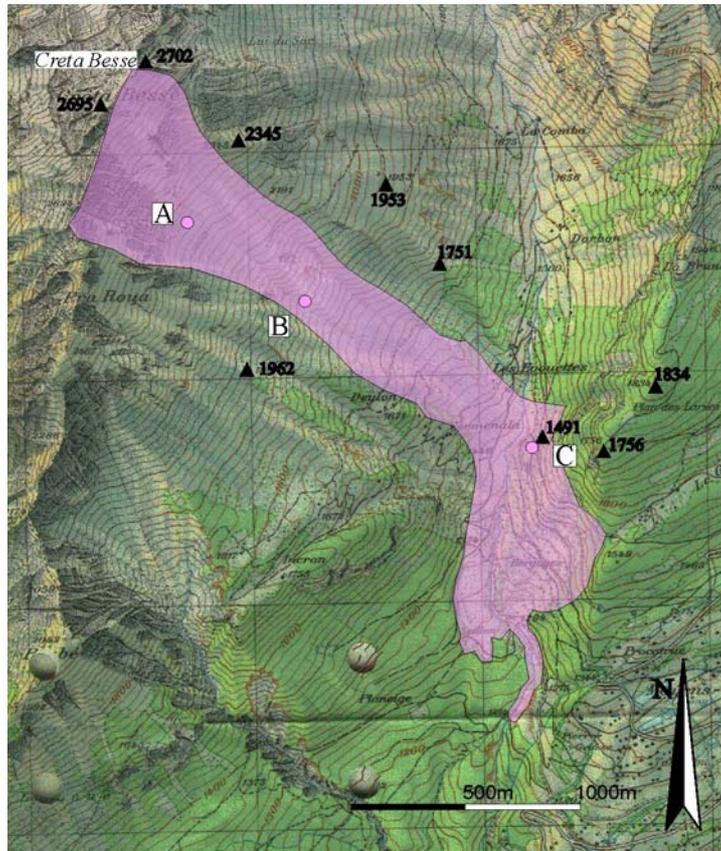


Figura 112. Cartografía del alud provocado artificialmente el 25 de febrero de 1999 en el valle experimental de La Sionne. A, B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento A

Se estudió el ruido de fondo (*Figura 113*) de este emplazamiento a partir de los 15 s primeros del registro. Esta estación da un nivel de ruido muy por encima de la curva de referencia *Noisy* en todo el ancho del espectro y para las tres componentes. Debido a que el equipo instrumental no pudo ser controlado por nosotros las amplitudes de estos registros no se tuvieron en cuenta a la hora de analizar los resultados. Además de este nivel medio anómalo se observa un pico en [3-20] Hz, el máximo del pico para la componente E-W presenta un pequeño corrimiento hacia las altas frecuencias.

Este alud tuvo una gran masa de salida y pasó por encima de la caverna A. La señal (*Figura 114*) que podría asociarse al alud empieza a apreciarse sobre los 20 s y dura ~95 s. El espectro total (*Figura 115*) se calculó a partir del registro comprendido entre 20 s y 40.78 s. Las amplitudes se reparten entre [0-40] Hz. Esta señal contribuyó como una SSA en los resultados.

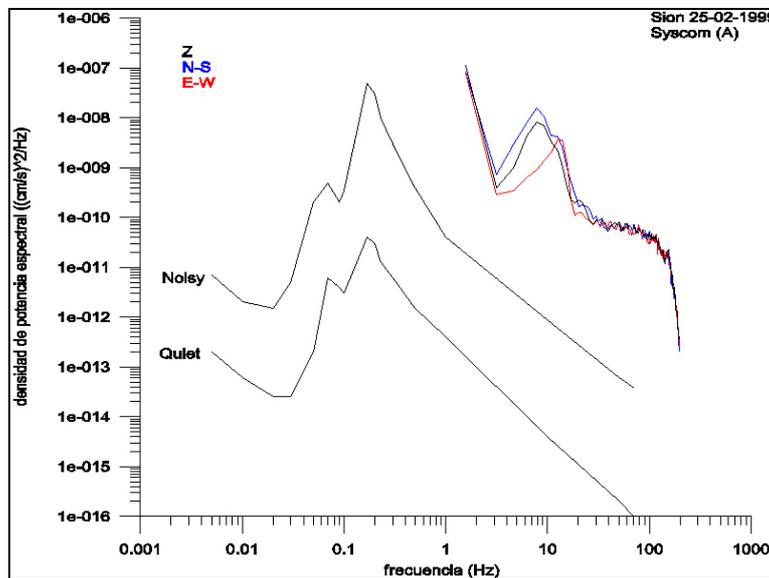


Figura 113. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 15 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Syscom en el emplazamiento A el 25 de febrero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

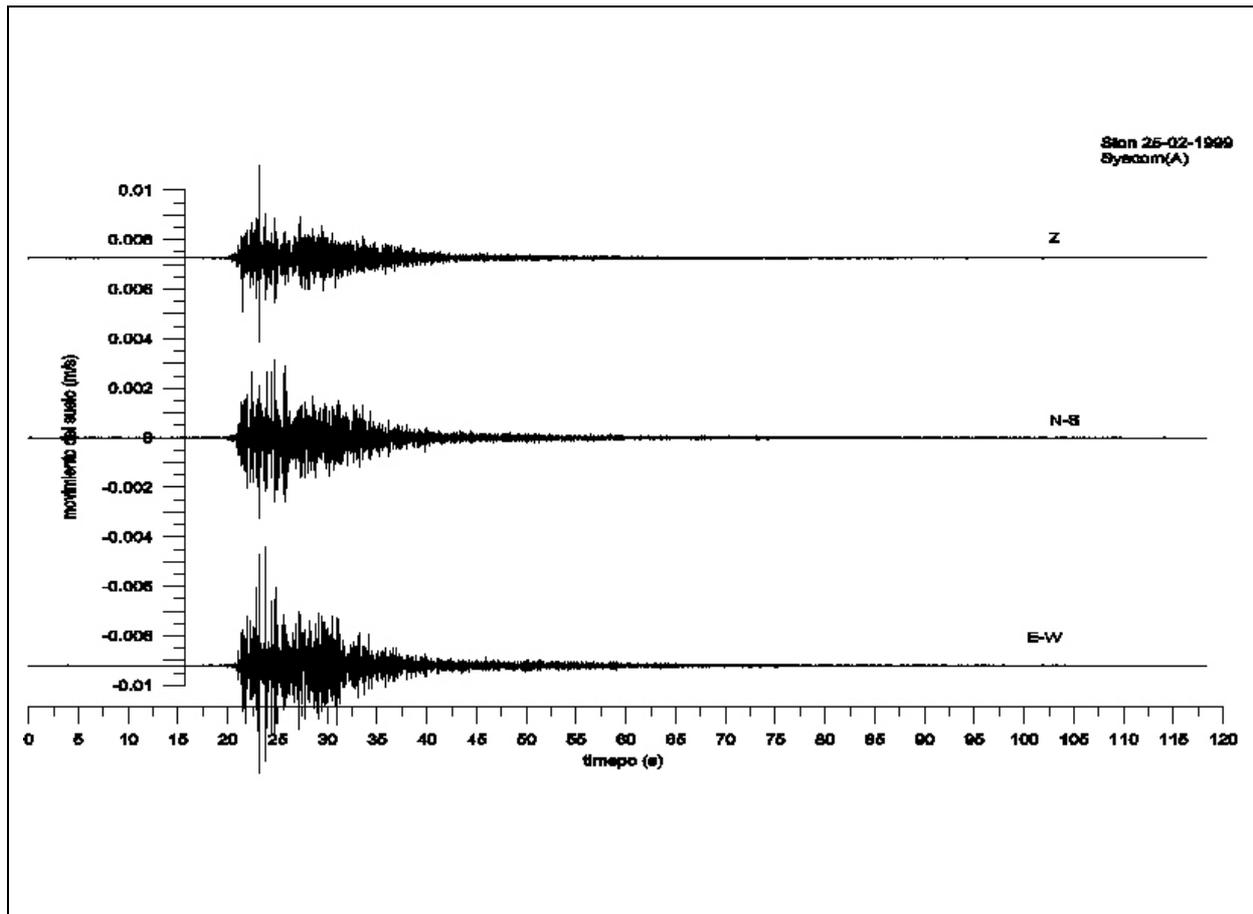


Figura 114. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 25 de febrero de 1999. El alud fue provocado por una explosión

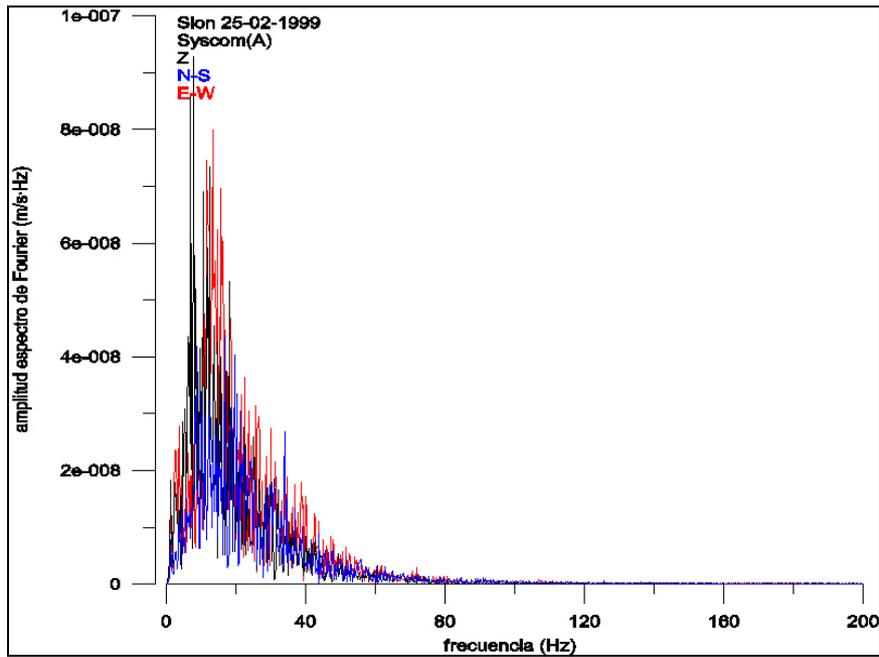


Figura 115. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 25 de febrero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 20 s y 40.78 s.

- Registros en el emplazamiento B

Se estudió el ruido de fondo (*Figura 116*) a partir de 150 s de señal. Los registros presentan diversos picos que superan el nivel de ruido *Noisy* para frecuencias superiores a 8 Hz.

Los registros (*Figura 117*) del emplazamiento B presentan saturación debido a la gran dimensión del alud que pasó por encima. Al filtrar la señal los puntos saturados se distorsionaron a amplitudes casi nulas tal como se observa en los registros. El principio de la señal que podría atribuirse al alud se distingue sobre los 20 s y dura ~220 s. Se calculó el espectro total (*Figura 118*) de la señal comprendida entre 62.6 s y 83.08 s, o sea la parte final del registro. Las amplitudes tienen valores similares en todo lo ancho del espectro. Esta señal se consideró una SSA en el análisis de los resultados.

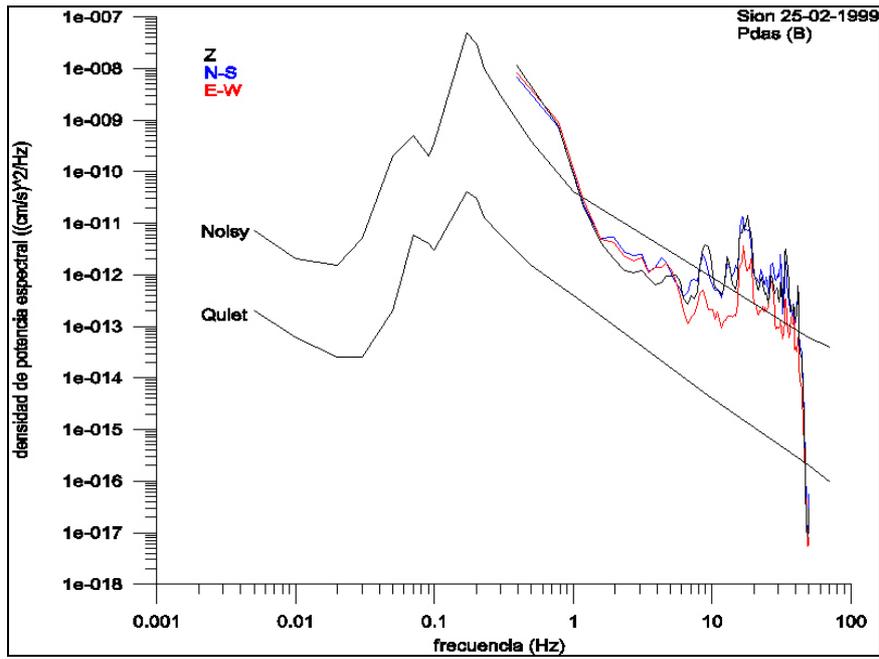


Figura 116. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 150 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento B el 25 de febrero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

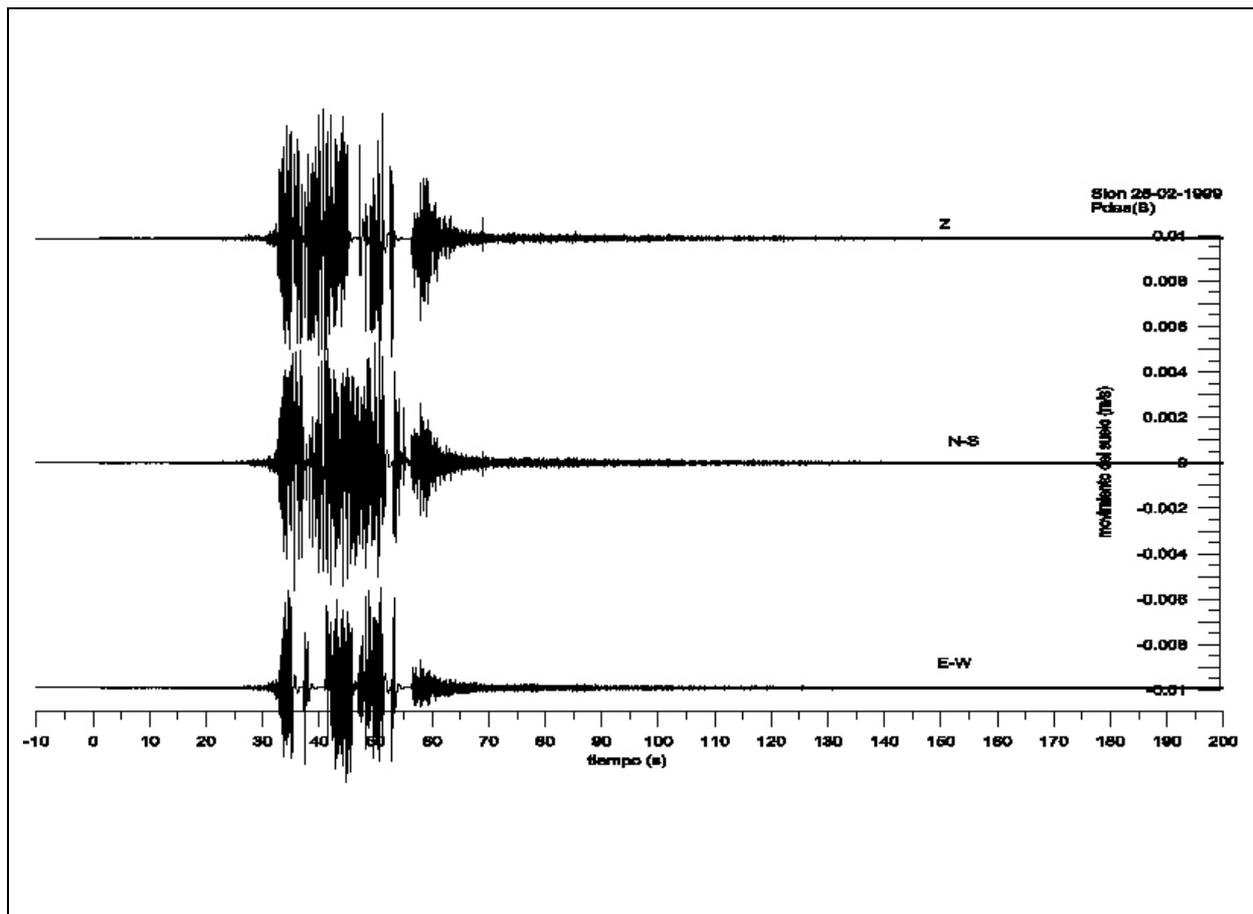


Figura 117. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento B durante el alud del 25 de febrero de 1999. El alud fue provocado por una explosión

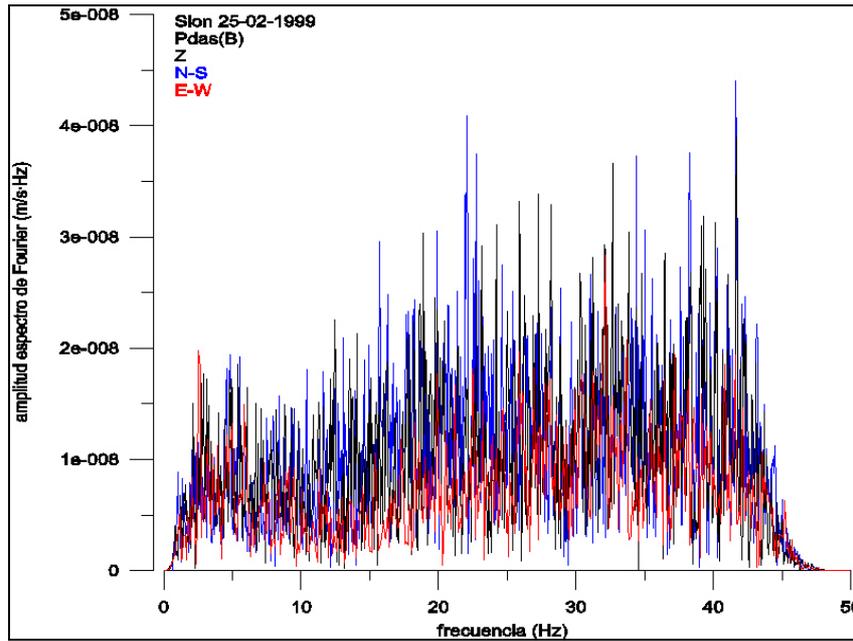


Figura 118. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento B durante el alud del 25 de febrero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 62.6 s y 83.08 s.

- Registros en el emplazamiento C

Se calcularon las curvas de densidad de potencia espectral (*Figura 119*) de los primeros 150 s de señal, en el resultado destacan dos picos comunes a las tres componentes, un pico en [10-20] Hz y otro centrado en 35 Hz. Ambos picos se atribuyen al ruido del helicóptero. Este alud cubrió el centro de control con 4 m de depósitos, se puede observar en estos registros (*Figura 120*) del emplazamiento problemas de saturación. Al filtrar la señal los puntos saturados en los registros aparecen con amplitudes casi nulas. La señal que podría asociarse por simultaneidad al alud empieza sobre los 20 s y dura ~173 s. El espectro total (*Figura 121*) se calculó a partir del registro comprendido entre los 32.26 s y 52.74 s, o sea de la parte inicial de la señal. Las mayores amplitudes se sitúan entre los [5-15] Hz. Esta señal se consideró una SSA a la hora de analizar los resultados.

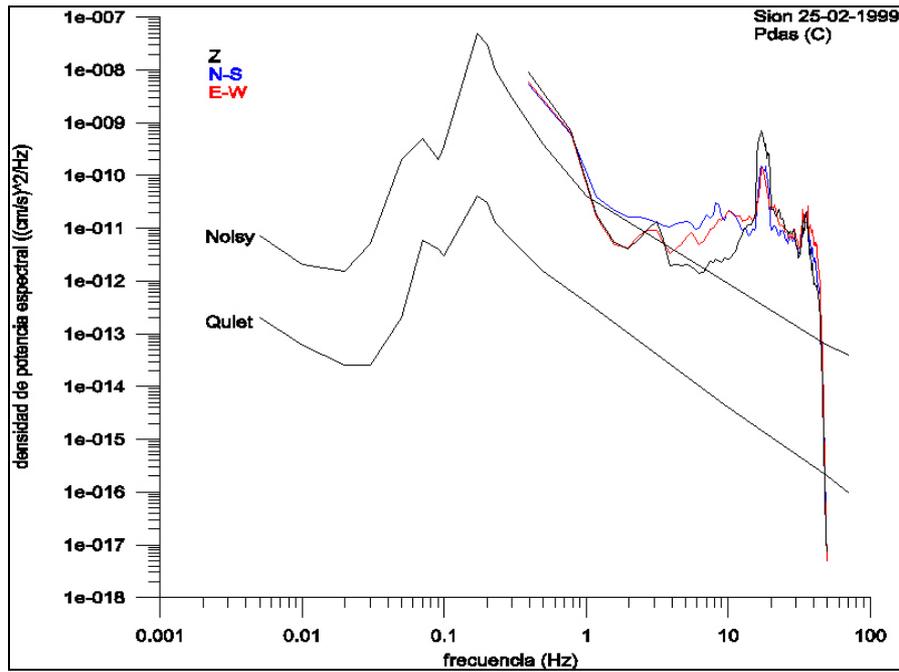


Figura 119. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 150 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento C el 25 de febrero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

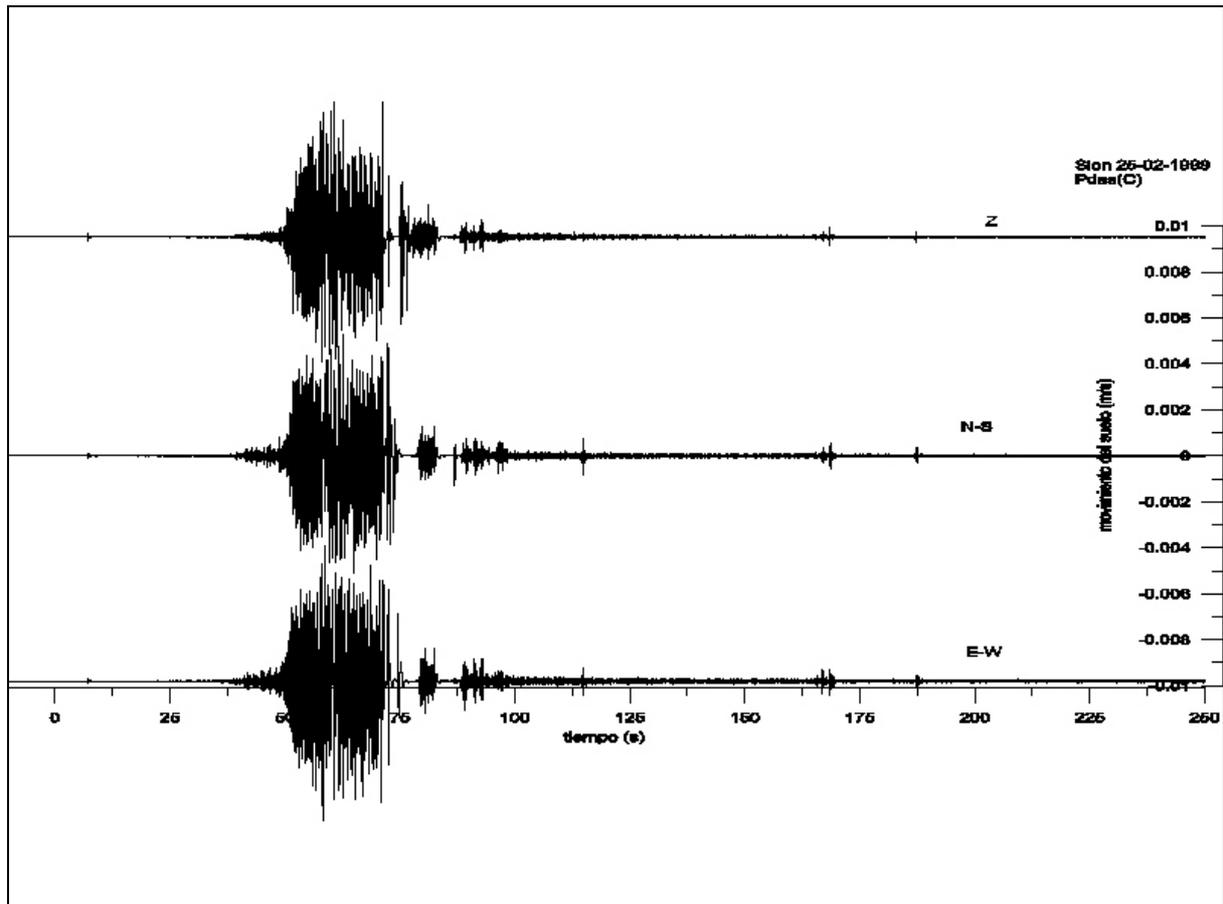


Figura 120. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el alud del 25 de febrero de 1999. El alud fue provocado por una explosión.

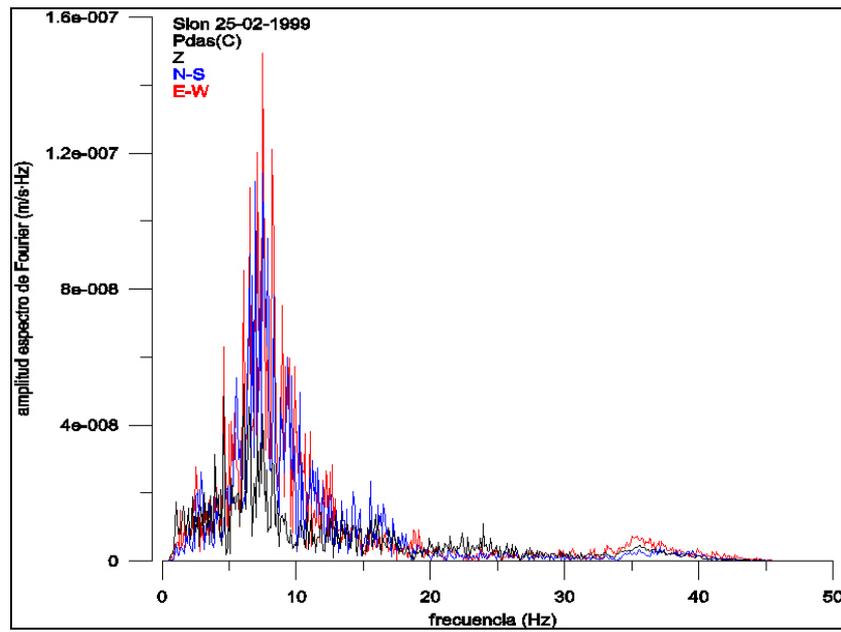


Figura 121. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el alud del 25 de febrero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 32.26s y 52.74s

A.9 Sionne 1999/2000

El 16 de noviembre de 1999 se instalaron dos estaciones Pdas en el Vallée de La Sionne, una en el emplazamiento B y otra en el emplazamiento C. Durante la campaña del invierno de 1999-2000 fueron registrados un total de diez aludes. Los dos primeros aludes registrados fueron naturales. Durante el mes de febrero se realizaron varias detonaciones durante los días 10 y 20 con el fin de provocar aludes artificialmente, en total se desencadenaron ocho aludes. La estación Pdas instalada en la caverna B tuvo problemas en el sistema de comunicación desde el centro de control y no pudo registrar ningún alud durante esta campaña. La estación Pdas del emplazamiento C registró los ocho aludes artificiales. El equipo suizo cedió los registros de los emplazamientos A y B de dos aludes naturales y dos artificiales.

A.9.1 Alud del 27-12-1999

El día 27 de diciembre se produjo un alud espontáneo por la noche. Los datos registrados por el equipo suizo en los emplazamientos A y B fueron cedidos para su estudio. No se dispone de ninguna cartografía (consultar *Figura 112* para ver situación de los emplazamientos).

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo que se desplazó a la zona en días posteriores.

- ❖ *Alud natural del 27 de diciembre de 1999, 22:07 UTC.*
- ❖ *El alud partió de Crêta Besse 1 y Crêta Besse 2.*
- ❖ *Longitud de la fractura ~700 m.*
- ❖ *Altura media de la fractura 110 cm.*
- ❖ *Tres cuartas partes del centro de control quedaron recubiertas.*
- ❖ *El lecho del río La Sionne quedó recubierto con 400 m.*

- Registros en el emplazamiento A

No se dispuso de señal de ruido de fondo, previa a la explosión, por lo que no pudo hacerse el estudio del ruido de fondo del emplazamiento. No obstante en el estudio de este emplazamiento del 25 de febrero de 1999 se obtuvieron amplitudes anómalamente amplificadas (*Figura 113*), las amplitudes de estos registros no se tuvieron en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

Los registros (*Figura 122*) obtenidos en la estación de la caverna A muestran una señal atribuible al alud que empieza en 8 s y dura ~57 s. Se calculó el espectro total (*Figura 123*) de la señal comprendida entre 2.5 s y 43.46 s. El resultado es un espectro donde las mayores amplitudes se reparten en [0-40] Hz. Esta señal se consideró una SSA en el análisis de los resultados.

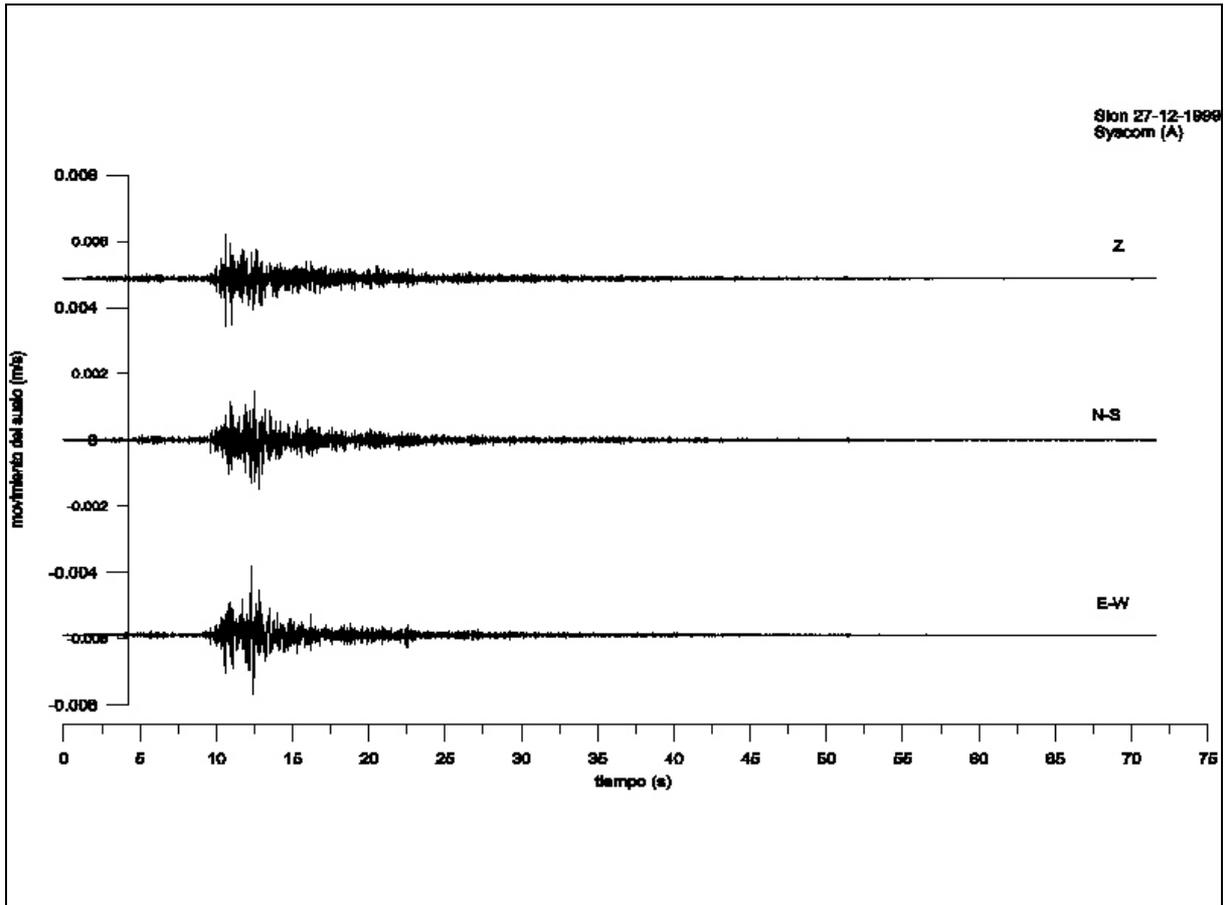


Figura 122. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 27 de diciembre de 1999.

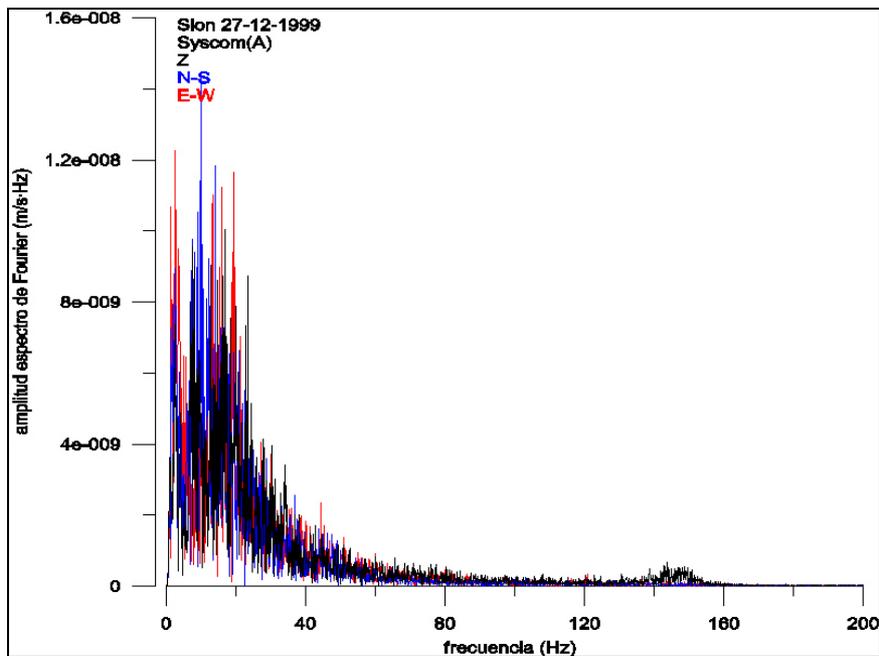


Figura 123. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 27 de diciembre de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 2.5 s y 43.46s.

- Registros en el emplazamiento B

No se dispuso del registro previo a la explosión por lo que no se pudo hacer el estudio del ruido de fondo. El equipo instrumental no fue controlado por nosotros, no obstante se hicieron estudios comparativos entre los registros de la estación Pdas y la estación Syscom del mismo emplazamiento B y se observó que las estaciones Syscom tienen señales fuertemente amplificadas respecto a las otras por lo que las amplitudes de este registro no se tuvieron en cuenta en el análisis de resultados.

Los registros (*Figura 124*) muestran una señal atribuible al alud que empieza en 3 s y dura ~36 s. Estos registros muestran una forma peculiar de señales con picos marcados. Se calculó el espectro total del registro comprendido entre 3.75 s y 44.71 s. El resultado (*Figura 125*) es un espectro con un pico centrado en [0-40] Hz. Esta señal fue tratada como una SSA en el análisis de resultados.

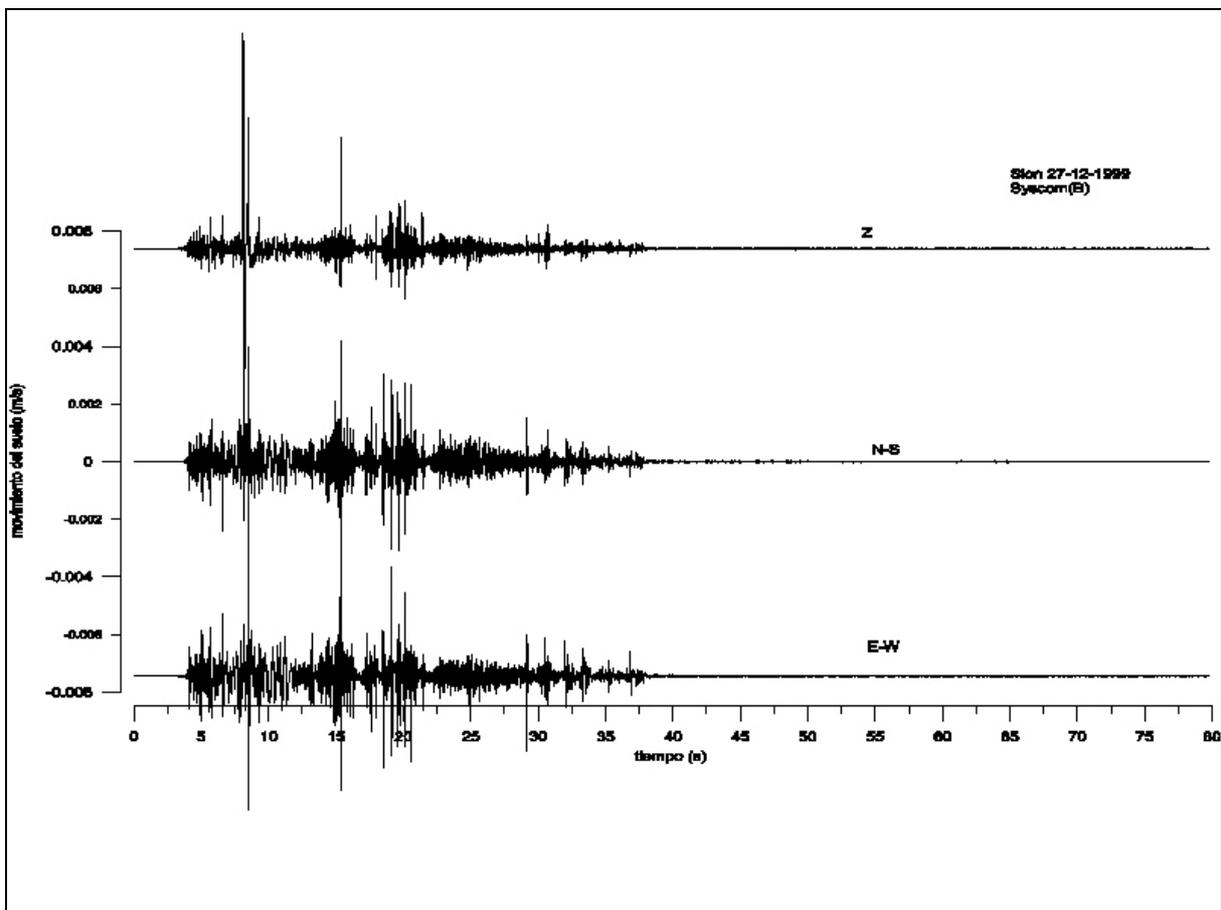


Figura 124. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento B durante el alud del 27 de diciembre de 1999.

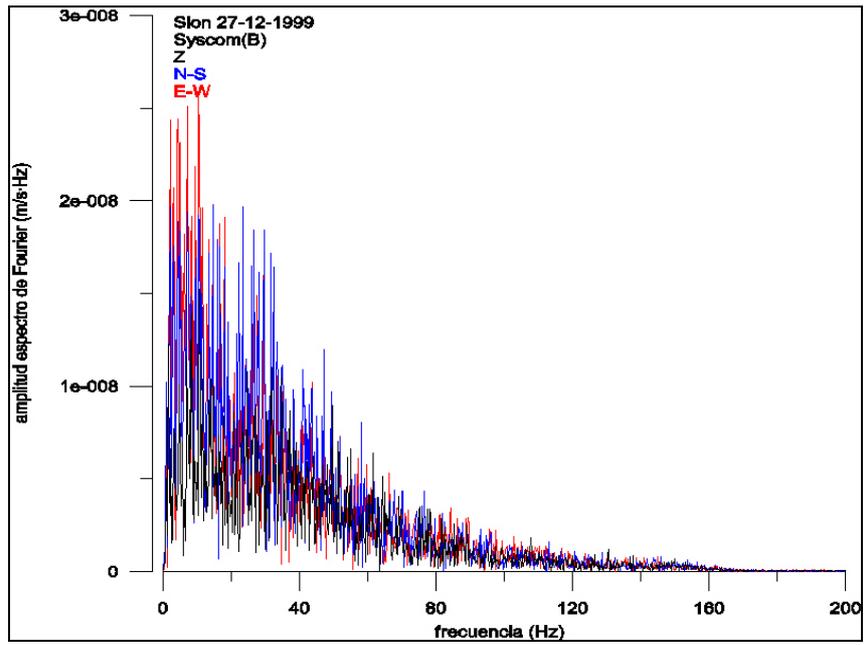


Figura 125. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento B durante el alud del 27 de diciembre de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 3.75 s y 44.71s.

A.9.2 Alud del 29-01-2000

A finales de enero se produjo un alud espontáneo. La estación del equipo suizo situada en el emplazamiento A registró el evento y nos cedieron los datos para su estudio. No se dispone de cartografía (consultar *Figura 138* para ver la situación del emplazamiento A).

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo que se desplazó a la zona en días posteriores.

- ❖ *Alud natural del 29 de enero de 2000, 21:25 UTC.*
- ❖ *El alud partió de Pra Roua.*
- ❖ *El alud llegó hasta el lecho del río La Sionne.*

- Registros en el emplazamiento A

No se pudo hacer el estudio de ruido de fondo de este emplazamiento por falta de señal previa a la explosión. En la campaña del año anterior se obtuvieron amplitudes anómalamente amplificadas para este emplazamiento (*Figura 113*), por este motivo las amplitudes de este registro no se tuvieron en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

Los registros (*Figura 126*) muestran una señal asociable al alud que empieza a distinguirse a los 2 s y dura ~34 s. El cálculo del espectro total (*Figura 127*) se hizo a partir del registro entre 2.5 s y 22.98 s. El resultado muestra un pico situado en la banda [5-40] Hz.

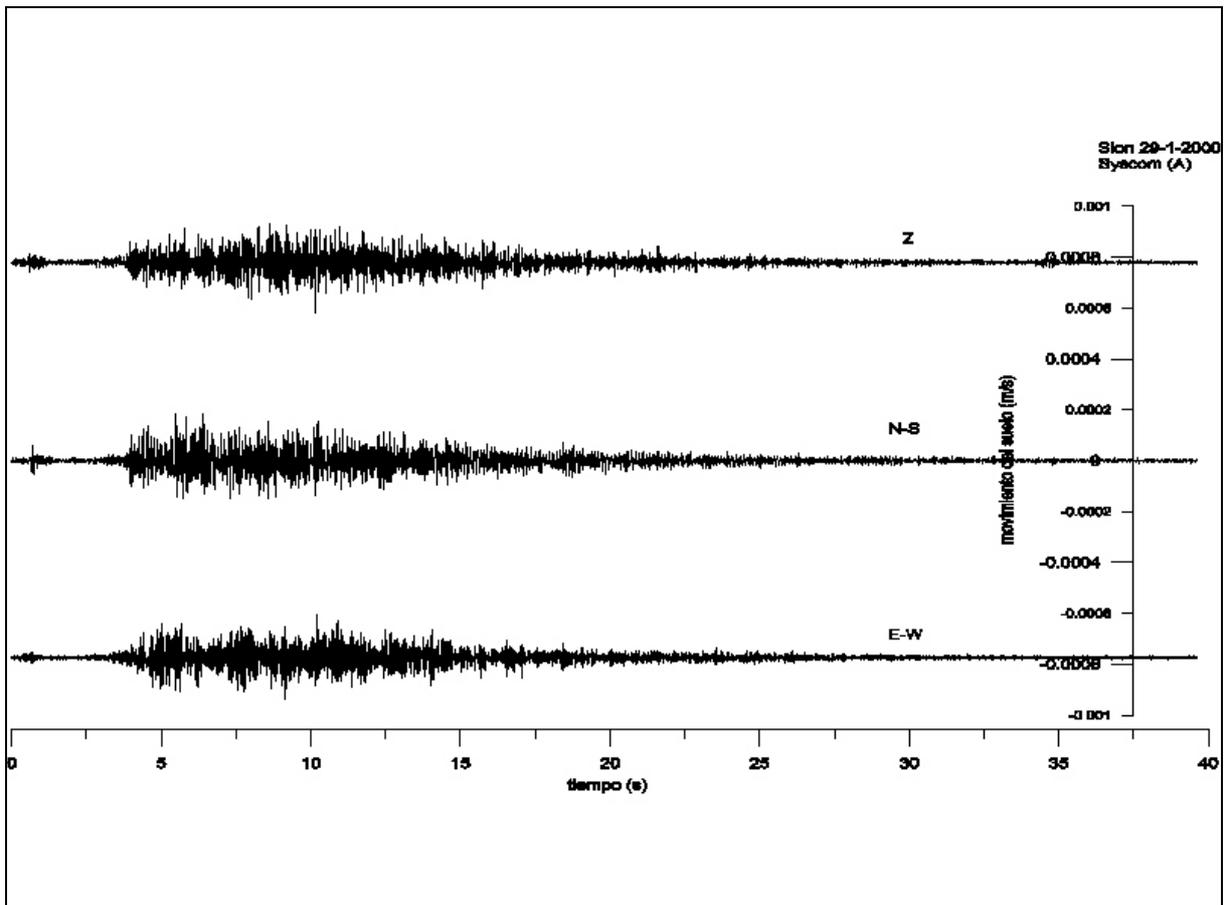


Figura 126. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 29 de enero de 2000.

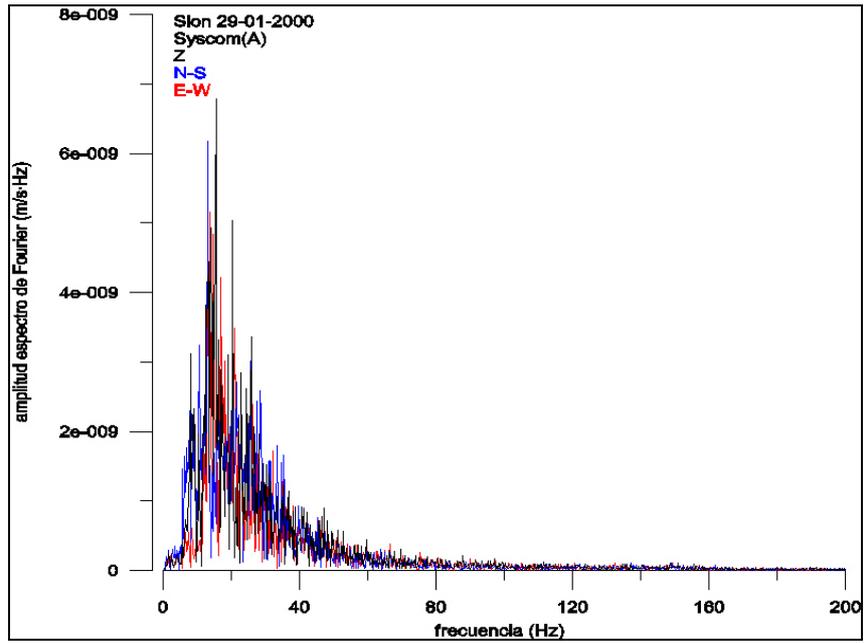


Figura 127. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 29 de enero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 2.5 s y 22.98 s.

A.9.3 Alud del 10-02-2000

El 10 de febrero se lanzaron cuatro cargas explosivas desde el helicóptero sobre la cornisa de Crêta Besse con el fin de provocar aludes. La primera carga y las dos últimas provocaron aludes de pequeñas dimensiones y la segunda carga provocó un alud de dimensión mediana. La estación Pdas del emplazamiento C registró las señales simultáneas a los aludes.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo presente en el centro de control en el momento del experimento.

Primer alud provocado el 10 de febrero de 2000, 8:05 UTC (Figura 128):

- ❖ *El alud partió de la derecha de Crêta Besse 1.*
- ❖ *Alud de flujo.*
- ❖ *El alud llegó hasta los 2300 m s.n.m.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~2130 m del emplazamiento C.*

Segundo alud provocado el 10 de febrero de 2000, 8:15 UTC (Figura 128):

- ❖ *El alud partió de la izquierda de Crêta Besse 1.*
- ❖ *Alud mixto.*
- ❖ *La longitud de la fractura fue de aproximadamente unos 150 m.*
- ❖ *La altura media de la fractura fue de aproximadamente unos 40 cm.*
- ❖ *El alud llegó hasta los 1700 m s.n.m.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~820 m del emplazamiento C.*

Tercer alud provocado el 10 de febrero de 2000, 8:30 UTC (Figura 128):

- ❖ *El alud partió de la izquierda de Crêta Besse 2.*
- ❖ *Alud de flujo.*
- ❖ *El alud llegó hasta los 2100 m s.n.m.*
- ❖ *El alud pasó por encima del emplazamiento A.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~1710 m del emplazamiento C.*

Cuarto alud provocado el 10 de febrero de 2000, 8:40 UTC (Figura 128):

- ❖ *El alud partió de la derecha de Crêta Besse 2.*
- ❖ *Alud de flujo.*
- ❖ *El alud llegó hasta los 2000 m s.n.m.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~1510 m del emplazamiento C.*

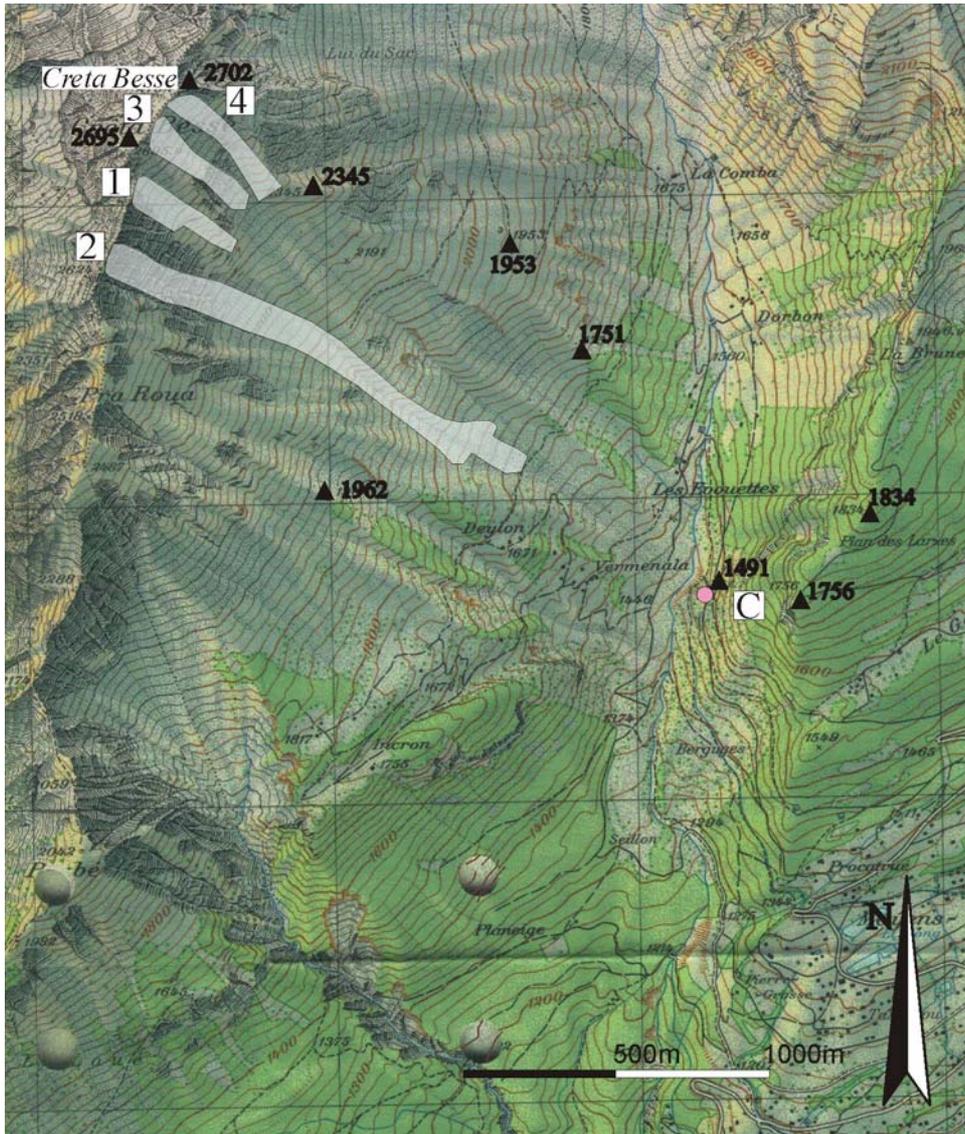


Figura 128. Cartografías de los aludes provocados artificialmente el 10 de febrero de 2000 en el Vallée de La Sionne. C: emplazamiento donde se registraron los aludes. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento C

El estudio del ruido de fondo de este emplazamiento se realizó a partir de 500 s del registro previo a la primera explosión. El resultado (Figura 129) muestra unas curvas de densidad de potencia espectral para las componentes Z y E-W que superan el nivel de la curva *Noisy* para frecuencias superiores a 6 Hz y en todo el espectro para la componente N-S. Además hay dos picos que destacan, uno centrado en [15-20] Hz y otro en 35 Hz. Estos picos se atribuyen al ruido del helicóptero que sobrevolaba la zona durante el experimento. Estos resultados son muy similares a los hallados para el mismo emplazamiento y con el mismo equipo en los registros del 30-01-1999.

- Primero, tercero y cuarto alud

En estos registros (Figura 130, Figura 134 y Figura 136) se observan las señales de las explosiones a 0s. Posteriormente se distinguen pequeñas señales pero en un primer estudio no se pueden asociar a los aludes. Se calcularon los espectros de Fourier (Figura 131, Figura 135 y Figura 137). En los resultados se observa unos picos centrados en 18 Hz y [30-40] Hz,

comunes para las tres componentes. Estos picos son similares (11) a los observados en el estudio del ruido de fondo. En el análisis de resultados se consideró que las SSA generadas por estos aludes no se podían diferenciar de la señal de ruido de fondo.

- Segundo alud

En estos registros (Figura 132) se observa la señal de la explosión a 0 s. A 25 s se distingue otra señal que podría asociarse al alud, esta señal dura ~39 s. Las amplitudes de las tres componentes son similares y del orden de los 10^{-6} m/s. Se calculó el contenido espectral (Figura 133) del registro entre 27.8 s y 68.76 s. Hay tres picos que destacan en el espectro, uno entre [5-10] Hz, otro entre [15-25] Hz y otro pico sobre los 45 Hz. Comparando (11) este resultado con el del ruido de fondo se puede asociar el primer pico a la señal del alud, y los otros dos a la señal del helicóptero. El segundo pico tiene amplitudes del mismo orden que el primero, por lo tanto, a la hora de interpretar los resultados se consideró que esta señal era una SSA con alto nivel de ruido superpuesto.

(11) Estas comparaciones están basadas en los cálculos de las densidades de potencia espectral de los registros para poderlas comparar con el estudio del ruido de fondo a pesar de que no se presenten en este trabajo.

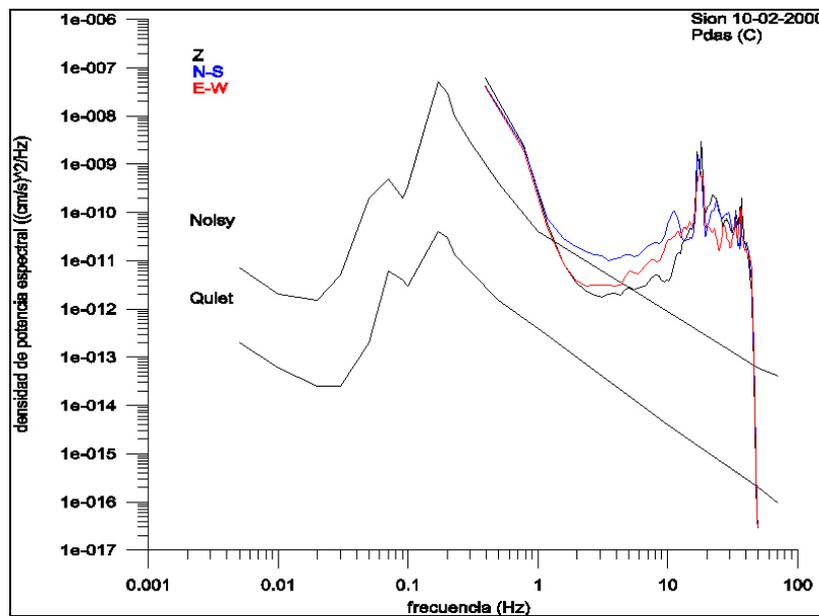


Figura 129. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 1500 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento C el 10 de febrero de 2000 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

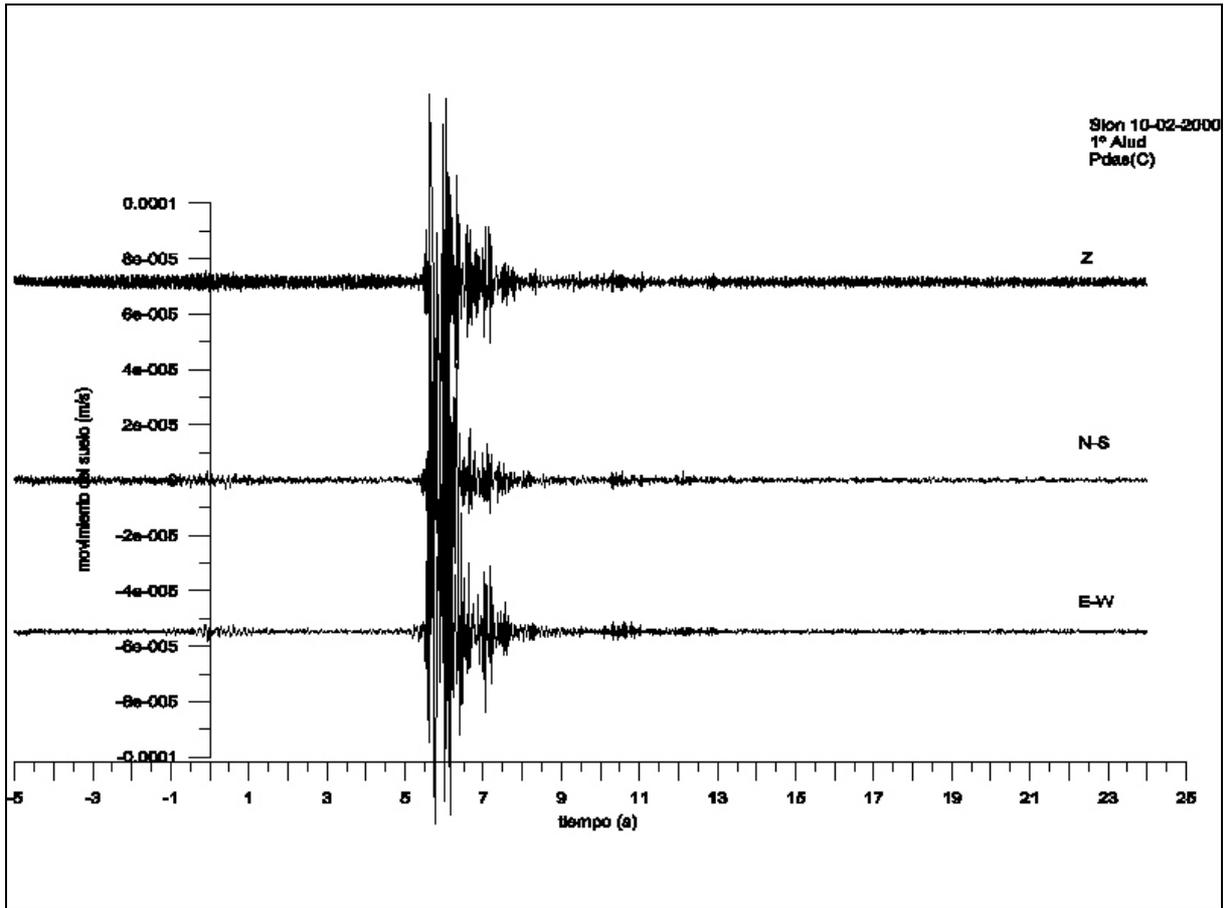


Figura 130. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 1º alud del 10 de enero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.

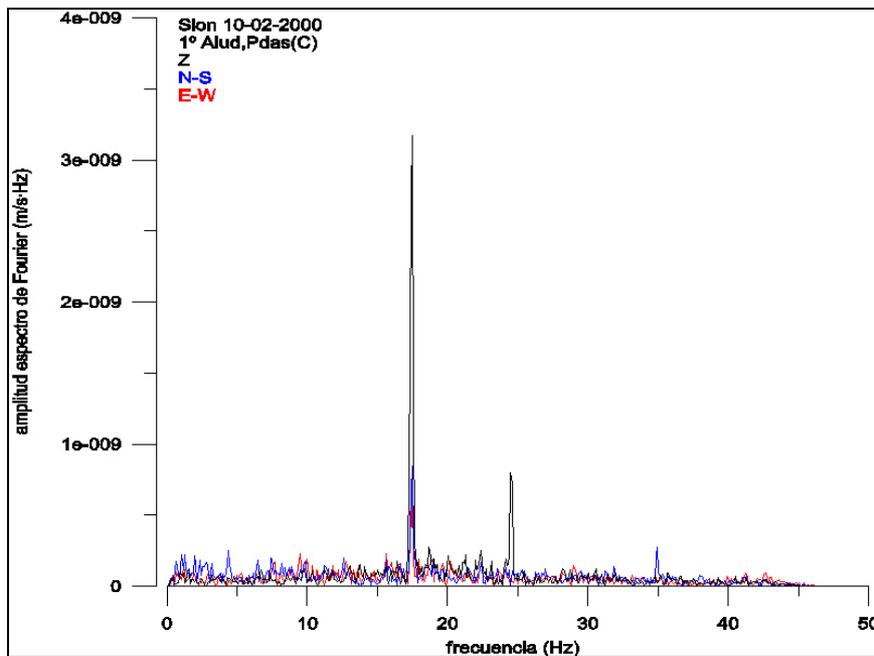


Figura 131. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 1º alud del 10 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 10s y 20.24s.

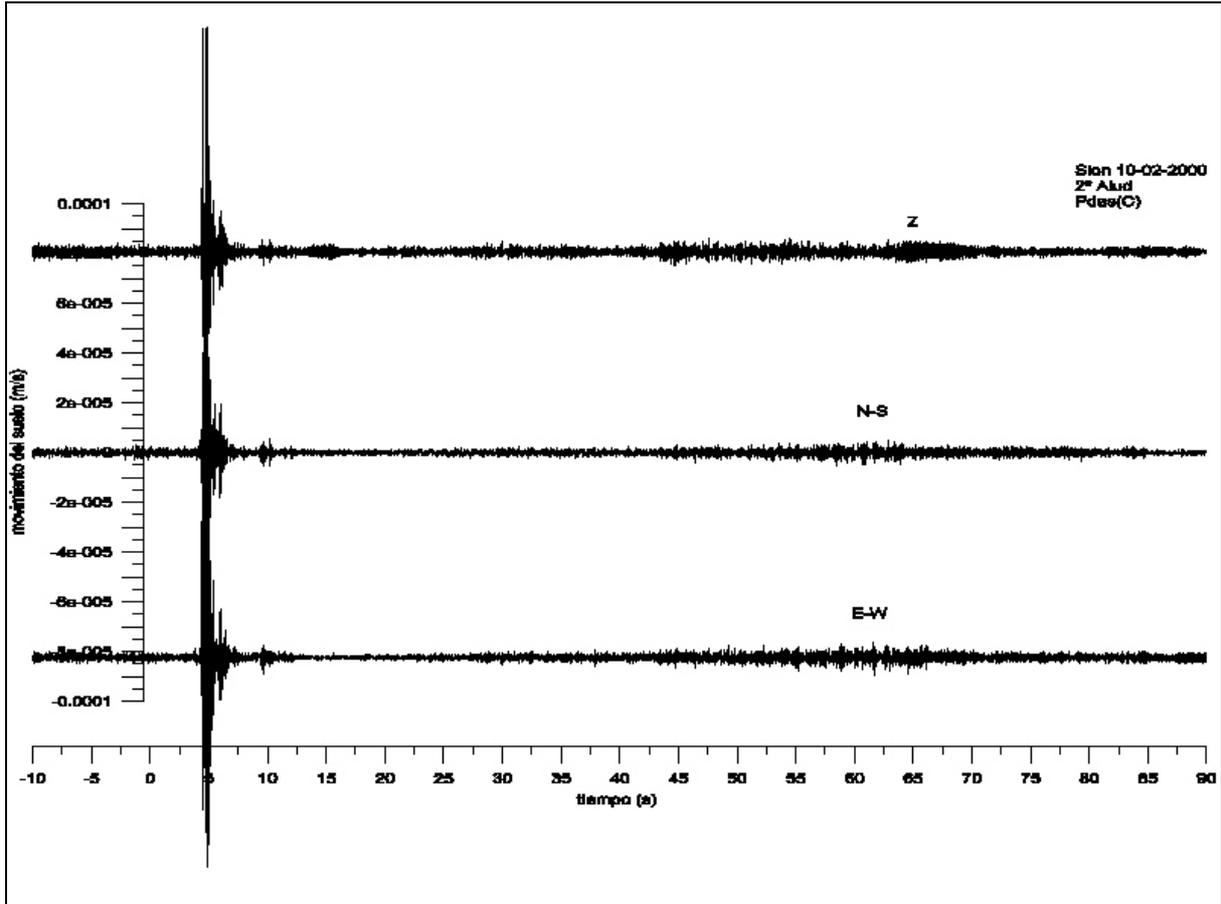


Figura 132. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 2º alud del 10 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.

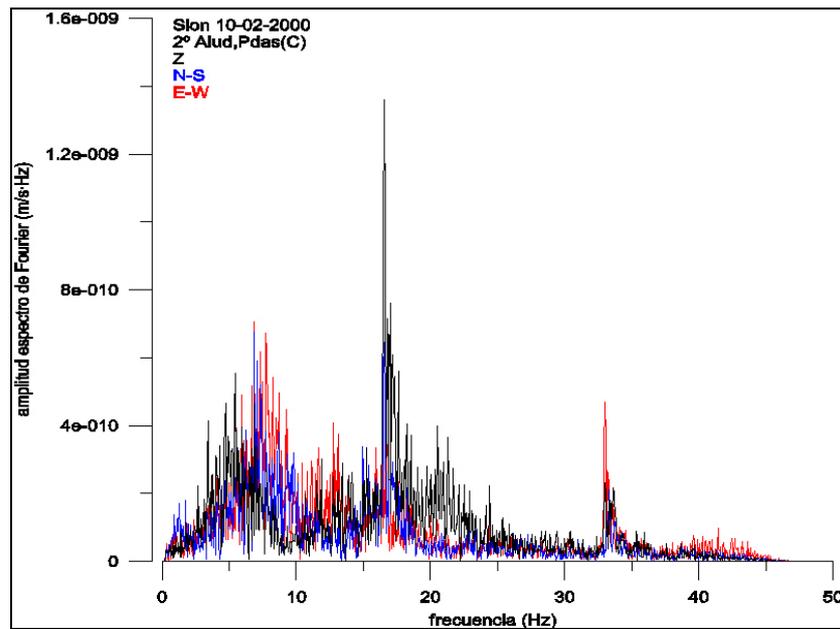


Figura 133. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 2º alud del 10 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 27.8 s y 68.76s.

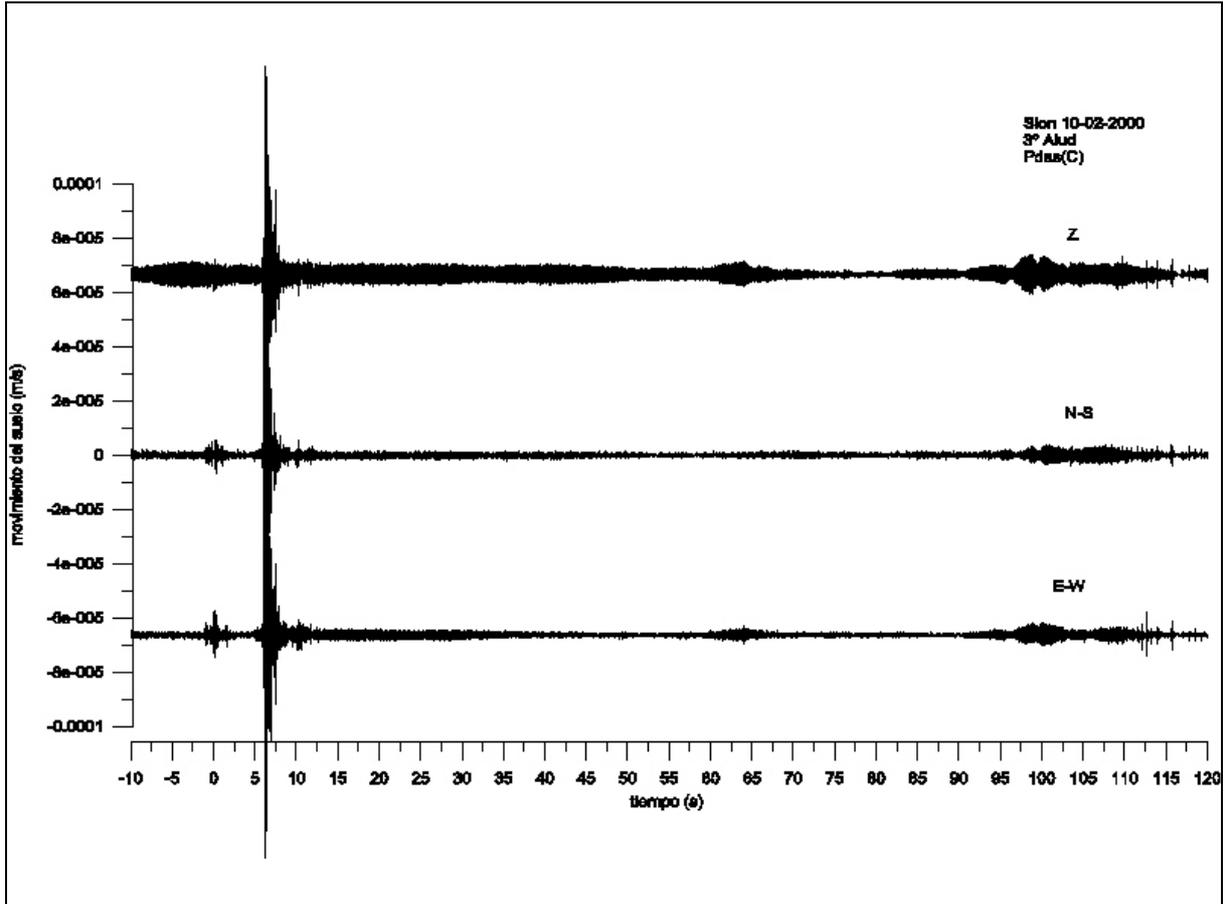


Figura 134. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 3º alud del 10 de febrero de 2000. Este alud fe provocado artificialmente

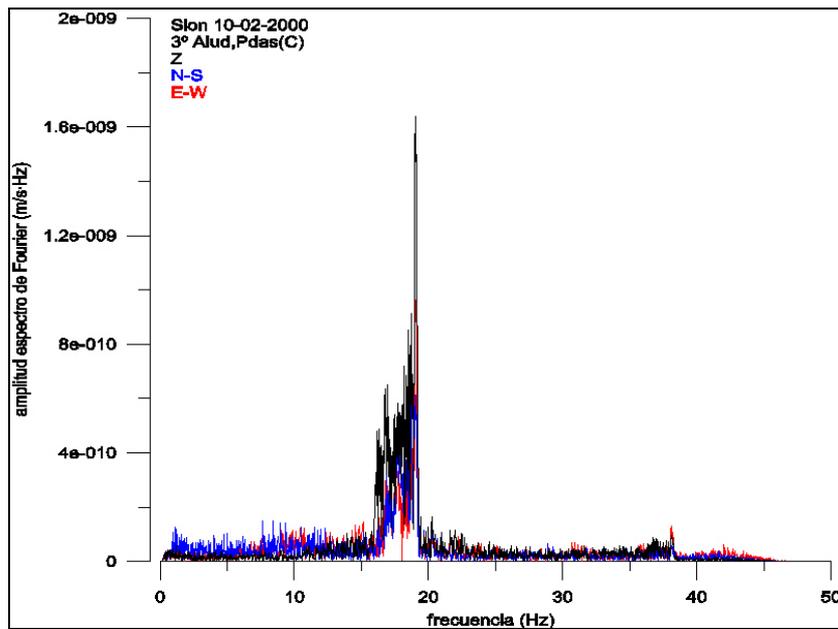


Figura 135. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 3º alud del 10 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 65.6 s y 147.52s.

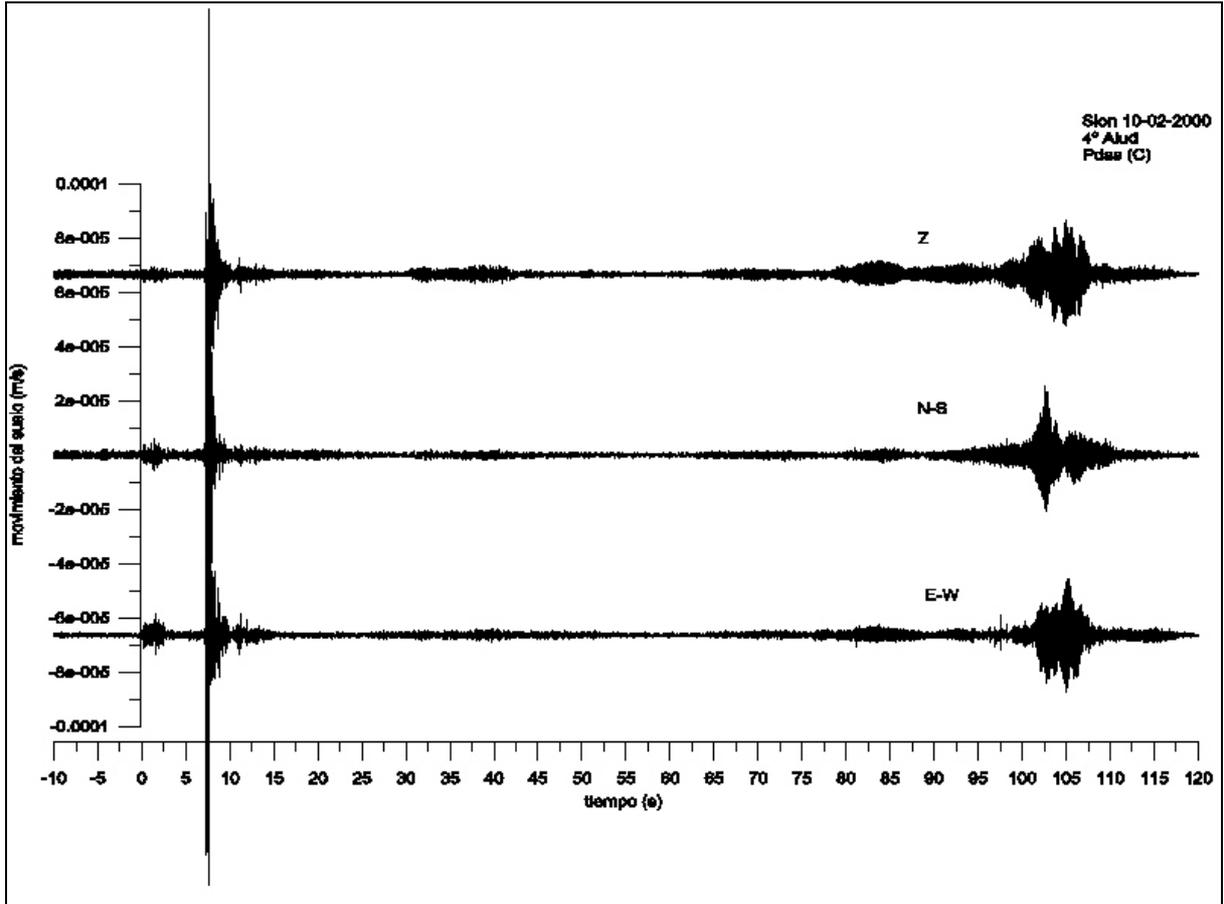


Figura 136. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 4º alud del 10 de febrero de 2000.

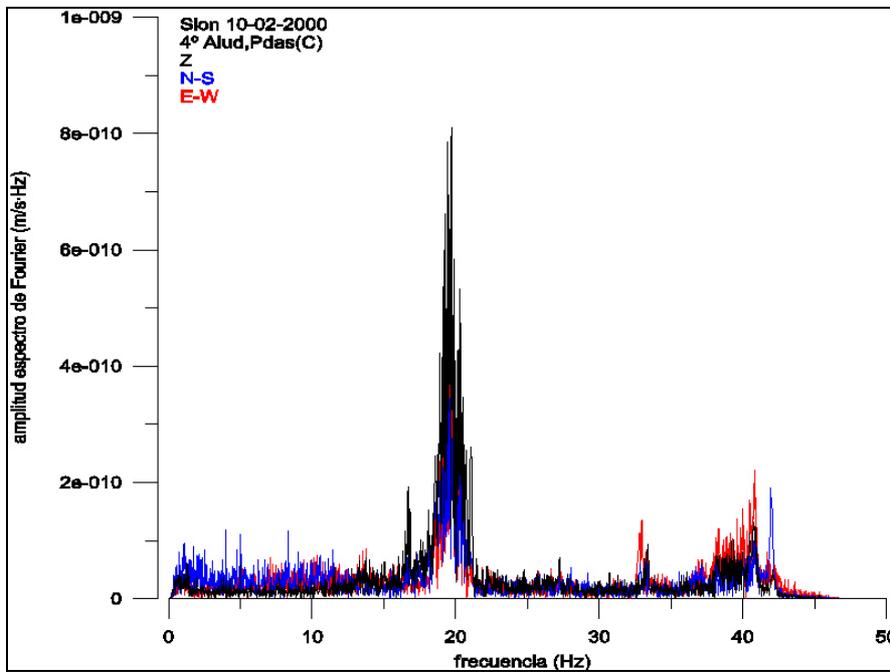


Figura 137. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 4º alud del 10 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 28.5 y 110.42s.

A.9.4 Aludes del 20-02-2000

El día 20 de febrero se lanzaron cuatro cargas explosivas desde el helicóptero. La primera y la tercera carga provocaron dos aludes pequeños. Las otras dos detonaciones provocaron dos aludes grandes que llegaron hasta el centro de control. La estación Pdas del emplazamiento C obtuvo los registros simultáneos a los cuatro aludes. El equipo suizo cedió los registros de los emplazamientos A y B de los dos aludes de mayor tamaño.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo que se encontraba en el centro de control en el momento del experimento.

Primer alud provocado el 20 de febrero de 2000, 9:20 UTC (Figura 138):

- ❖ *El alud partió de la derecha de Crêta Besse 1.*
- ❖ *Alud de flujo.*
- ❖ *El alud llegó hasta los 2200 m s.n.m.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~1910 m del emplazamiento C.*

Segundo alud provocado el 20 de febrero de 2000, 9:40 UTC (Figura 138):

- ❖ *El alud salió de la izquierda de Crêta Besse 2.*
- ❖ *Alud mixto.*
- ❖ *Longitud de la fractura del alud ~200 m.*
- ❖ *Altura media de la fractura del alud ~110 cm.*
- ❖ *La parte aerosol del alud llegó hasta el centro de control.*
- ❖ *El alud cubrió el lecho del río en ~200 m.*
- ❖ *El alud pasó por encima del emplazamiento A.*
- ❖ *El alud pasó por encima del emplazamiento B.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~80 m del emplazamiento C.*

Tercer alud provocado el 20 de febrero de 2000, 10:20 UTC (Figura 138):

- ❖ *El alud salió de la derecha de Crêta Besse 2.*
- ❖ *Alud de flujo.*
- ❖ *El alud llegó hasta los 2200 m s.n.m.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~1910 m del emplazamiento C.*

Cuarto alud provocado el 20 de febrero de 2000, 10:40 UTC (Figura 138):

- ❖ *El alud partió de la izquierda de Crêta Besse 1.*
- ❖ *Longitud de la fractura del alud ~200 m.*
- ❖ *Alud mixto.*
- ❖ *Altura media de la fractura del alud ~100 cm.*
- ❖ *La parte densa se detuvo en el lecho del río y la parte aerosol del alud paró delante del centro de control.*
- ❖ *El alud cubrió el lecho del río en ~150 m.*
- ❖ *El alud pasó a 150 m del emplazamiento A.*
- ❖ *El alud pasó por encima del emplazamiento B y C.*

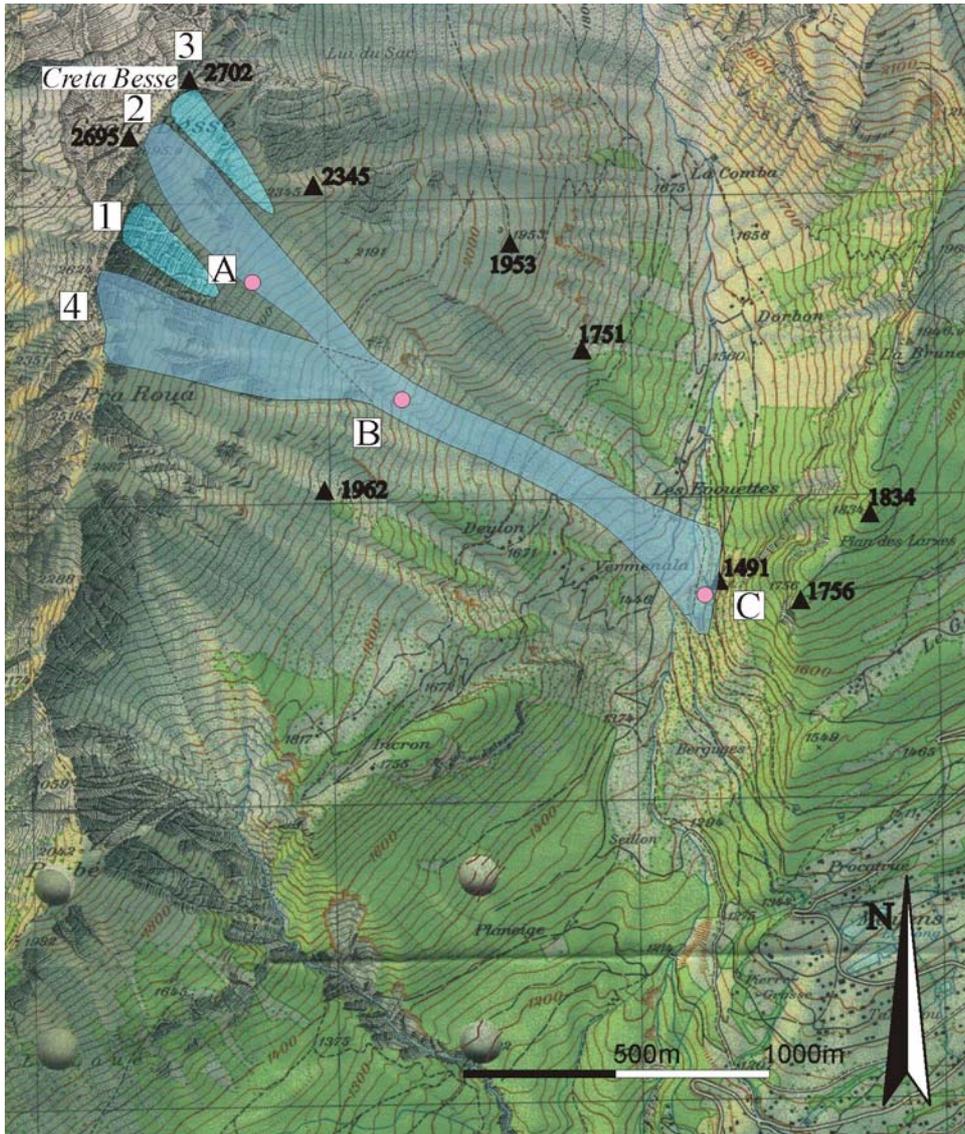


Figura 138. Cartografías de los aludes provocados artificialmente el 20 de febrero de 2000 en el Vallée de La Sionne. A,B y C: emplazamientos donde se registraron los aludes. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento A

No se disponía de suficiente señal previa a la explosión para poder hacer un estudio del ruido de fondo, no obstante hay que considerar que los estudios que se hicieron en la campaña anterior en este emplazamiento (Figura 113) con este equipo dieron un alto nivel de amplificación por lo que las amplitudes no se considerarán a la hora de analizar resultados.

- Segundo alud

El segundo alud pasó por encima de la caverna A. La duración de la señal (Figura 139) asociable al alud es de ~ 232 s. Se calculó el espectro (Figura 140) de la señal entre 2.5 s y 22.98 s. El resultado es un espectro en el que las mayores amplitudes se reparten en [0-40] Hz. Esta señal se consideró una SSA en el análisis de los resultados.

- Cuarto alud

Como se puede observar en la cartografía, este alud no pasó por encima de la caverna A. En estos registros (Figura 141) se observa la señal de la explosión y después una señal podría asociarse al alud que empieza sobre los 15 s y dura ~ 37 s. El espectro total (Figura 142) se

calculó a partir de la señal comprendida entre 20 s y 40.48 s. Las amplitudes de esta señal se concentran entre [0-20] Hz. Esta señal contribuyó como una SSA en el análisis de los resultados.

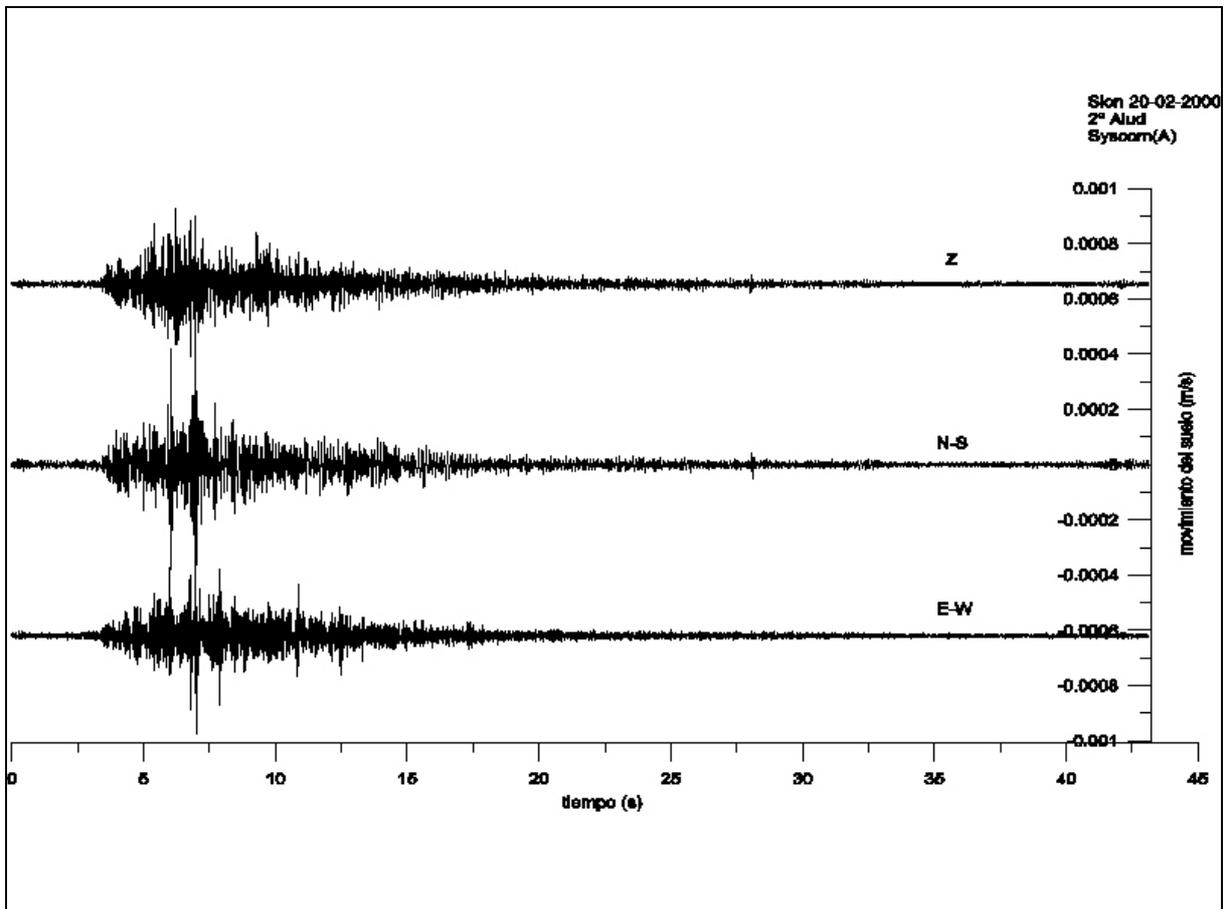


Figura 139. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el 2° alud del 20 de febrero de 2000

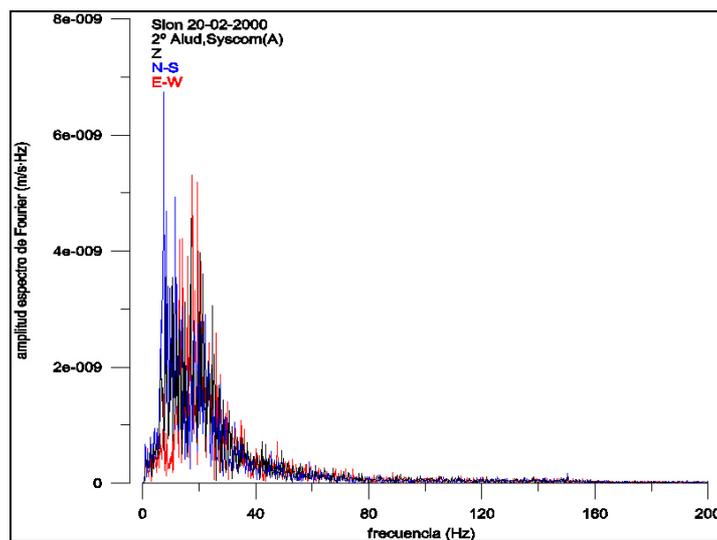


Figura 140. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el 2° alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 2.5 s y 22.98s.

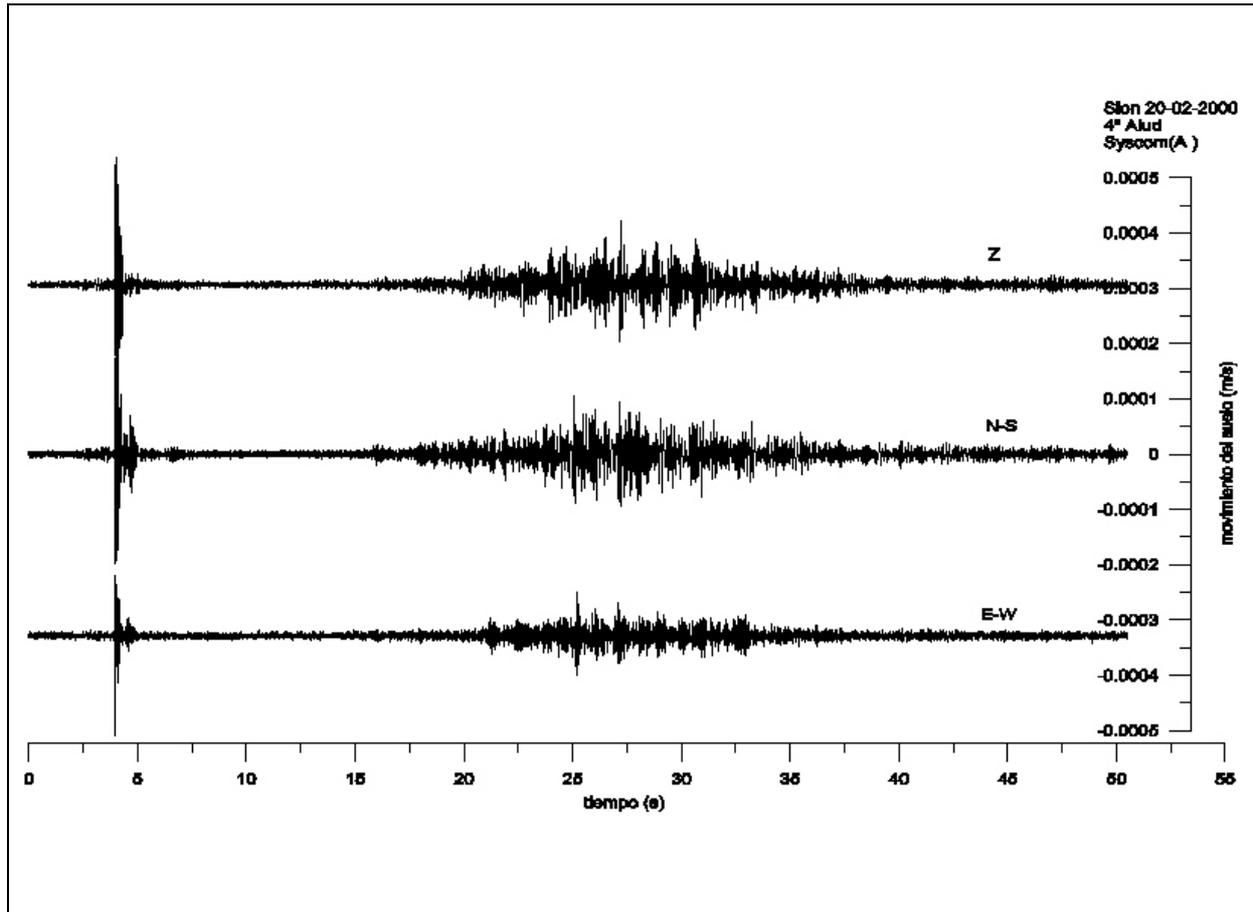


Figura 141. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el 4º alud del 20 de febrero de 2000

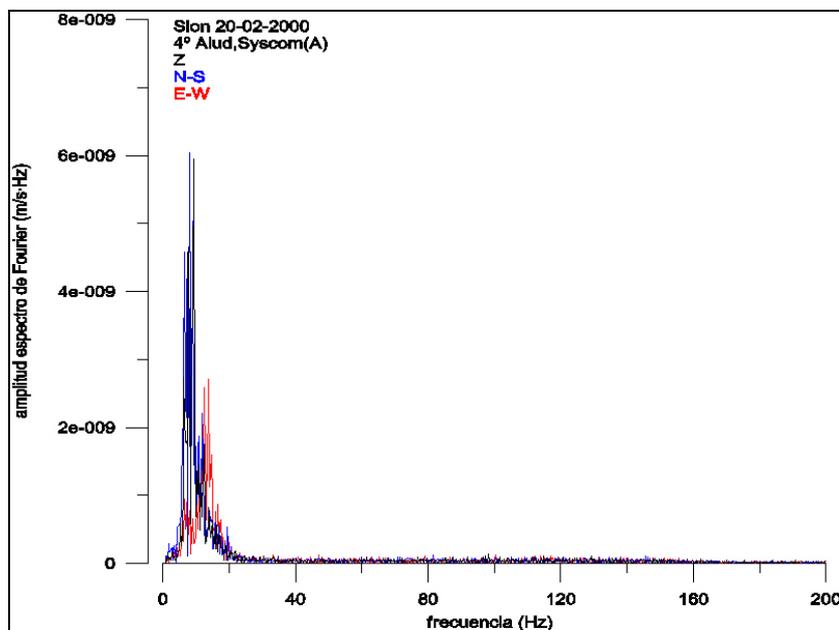


Figura 142. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el 4º alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 20 s y 40.48s.

- Registros en el emplazamiento B

No se disponía de suficiente señal previa a la explosión para poder hacer un estudio del ruido de fondo pero estudios comparativos entre los registros de la estación Pdas y la estación Syscom del mismo emplazamiento B indicaron que las estaciones Syscom tienen señales fuertemente amplificadas respecto a las otras por lo que las amplitudes de estas estaciones no se tuvieron en cuenta en el análisis de los resultados.

- Segundo alud

Este alud pasó por encima de la caverna en la que se encontraba el sensor. En estos registros (*Figura 143*) se distingue una señal que podría asociarse al alud, esta señal tiene una duración de ~26 s. Se calculó el espectro (*Figura 144*) de la señal comprendida entre 0 s y 20.48 s, el resultado son máximas amplitudes repartidas en todo el espectro [0-40] Hz. Esta señal contribuyó como SSA en el análisis de resultados.

- Cuarto alud

Este alud pasó por encima del emplazamiento B. La señal (*Figura 145*) que podría asociarse al alud tiene una duración de ~31 s. Se calculó el espectro de la señal entre 3.75 s y 24.23 s, el resultado (*Figura 146*) muestra una señal con frecuencias entre [0-40] Hz y un alto contenido en bajas frecuencias para las componentes horizontales. Esta señal contribuyó como SSA en el análisis de resultados.

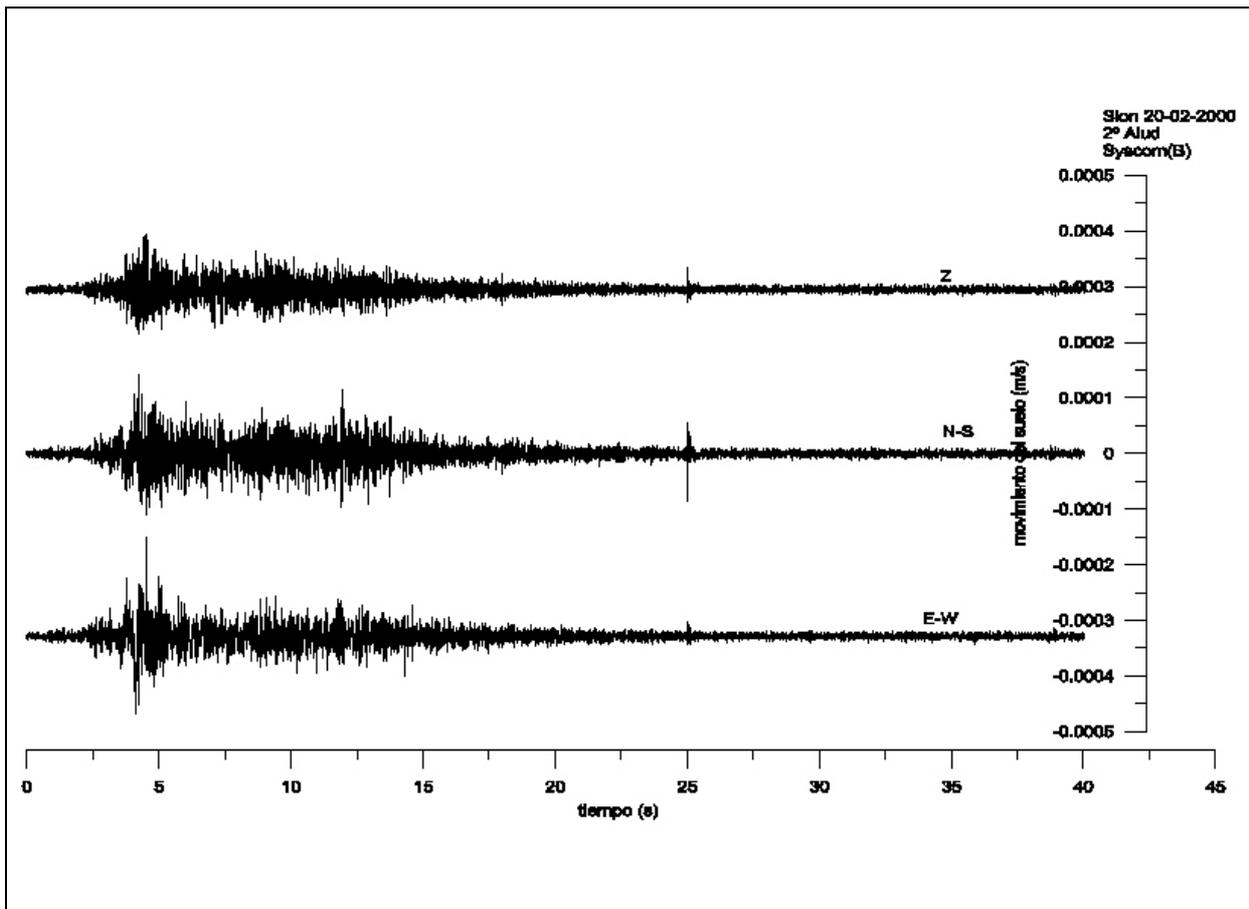


Figura 143. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento B durante el 2º alud del 20 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.

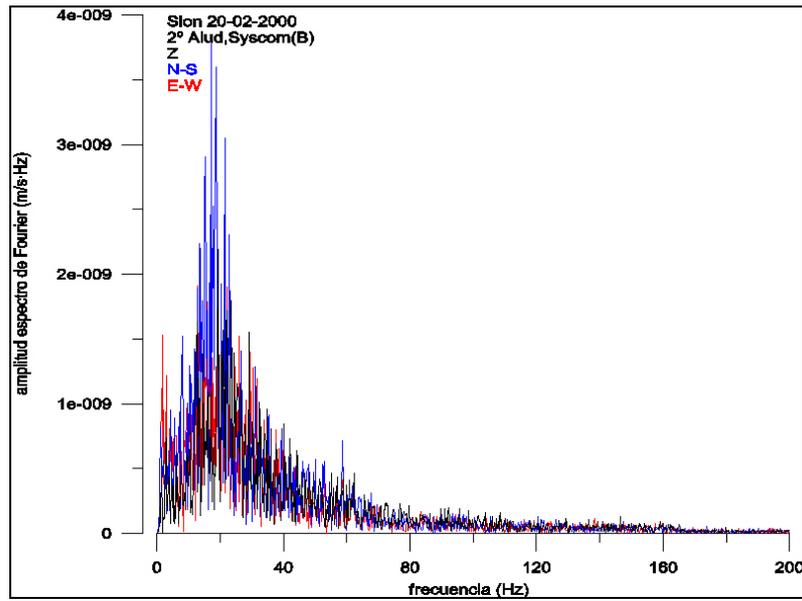


Figura 144. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento B durante el 2° alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 0 s y 20.48 s.

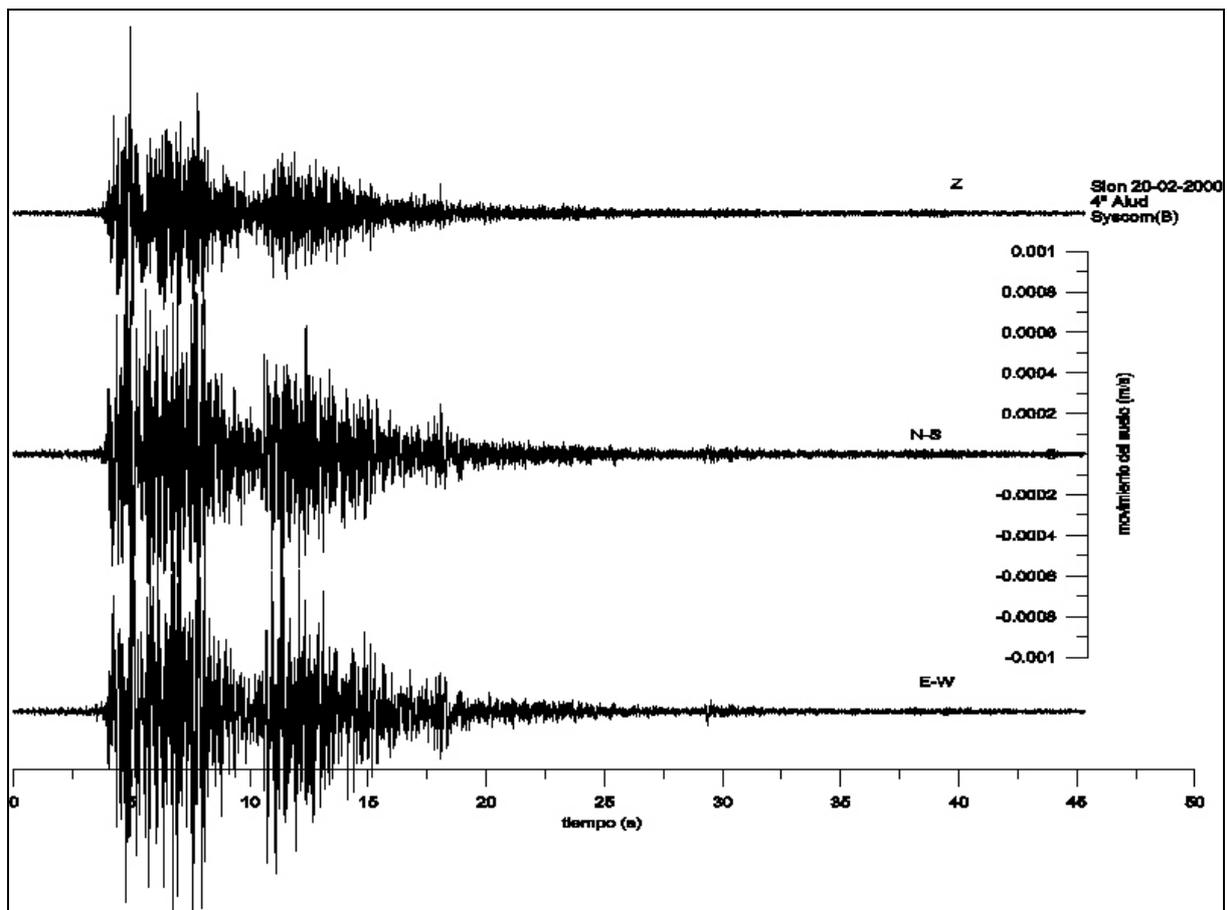


Figura 145. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento B durante el 4° alud del 20 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente

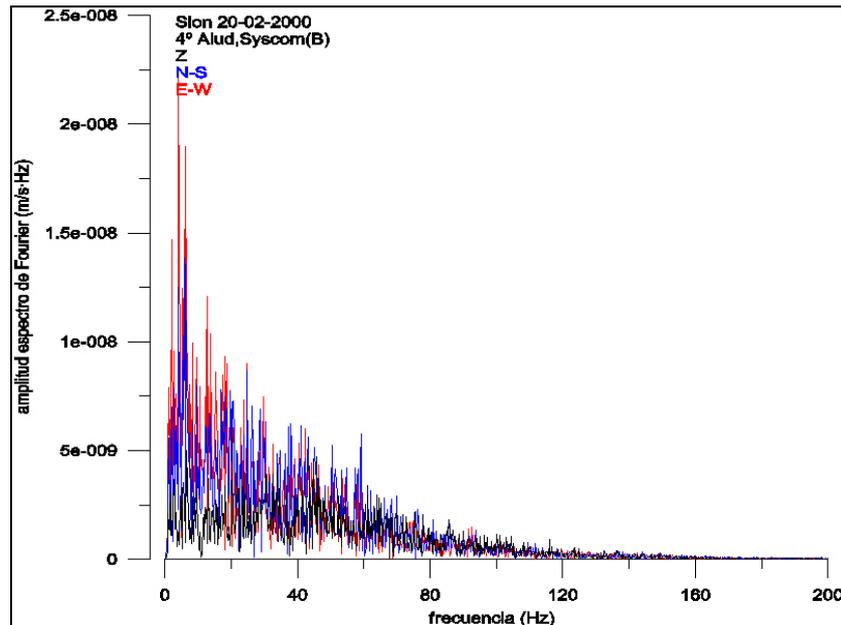


Figura 146. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento B durante el 4º alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 3.75s y 24.23s.

- Registros en el emplazamiento C

Las curvas de densidad de potencia espectral (*Figura 147*) se calcularon a partir de 30s previos a la explosión. Las tres componentes superan el nivel de ruido de la curva *Noisy* en todo el espectro. Hay que considerar que el helicóptero sobrevolaba la zona y que había un equipo de científicos trabajando en el centro de control.

- Primero y tercer alud

En estos registros (*Figura 148* y *Figura 152*) se distinguen las señales de las explosiones a 0 s. Seguidamente se observan señales de alta frecuencia. Se calcularon los espectros de Fourier (*Figura 149* y *Figura 153*), en ambos resultados se observa dos picos centrados sobre los 18 Hz y 35 Hz. Estos picos se atribuyen al ruido del helicóptero. En el análisis de los resultados se consideró que estas SSA no podían diferenciarse de la señal del ruido de fondo.

- Segundo alud

En estos registros (*Figura 150*) se puede observar la señal de la explosión a 0 s y posteriormente una señal atribuible al alud que empieza a los 20 s y dura ~ 223 s. Los registros obtenidos, con amplitudes máximas del orden de los 10^{-4} m/s, presentan mayores amplitudes en las componentes horizontales. El contenido frecuencial de la señal del alud se calculó a partir del registro comprendido entre 24.04 s y 105.96 s. El resultado (*Figura 151*) es una señal donde las mayores amplitudes se concentran entre los [5-15] Hz. También se distinguen otros picos para las componentes horizontales sobre [20-25] Hz y [30-40] Hz que se atribuyen al ruido del helicóptero que sobrevolaba la zona. Esta señal se consideró SSA al analizar los resultados.

- Cuarto alud

Estos registros (*Figura 154*) contienen la señal de la explosión a 0s y a 25 s empieza otra señal que podría asociarse al alud y que dura ~121 s. Los registros presentan mayores amplitudes en las componentes horizontales y las amplitudes máximas son del orden de 10^{-4} m/s. El espectro total de la señal del alud se calculó a partir del registro entre 21.08 s y 103 s. El resultado (*Figura 155*) es un espectro con varios picos, uno se centra en [5-15] Hz, otro

en [15-30] Hz y otro en [30-45] Hz, los dos últimos se atribuyen al ruido del helicóptero. Esta señal se consideró una SSA en el análisis de los resultados.

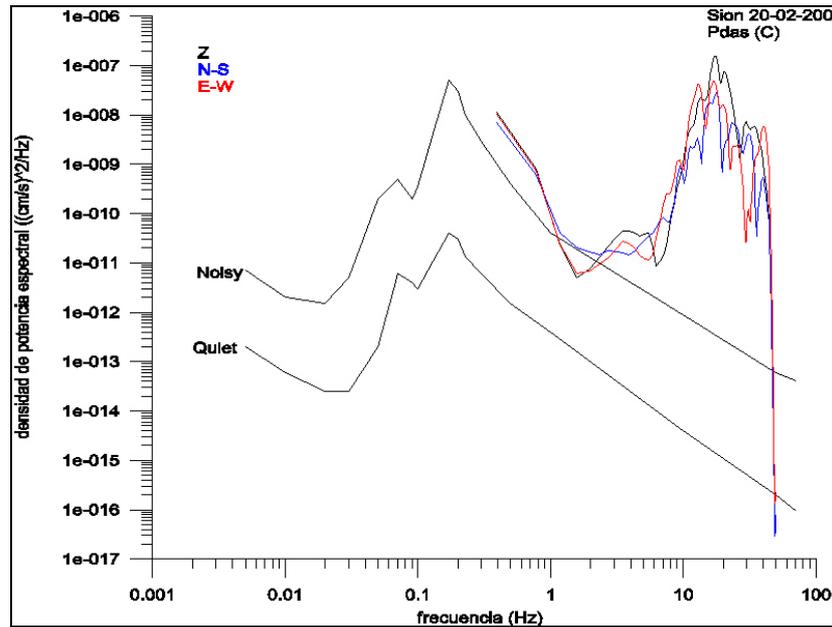


Figura 147. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 70 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento C el 20 de febrero de 2000 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

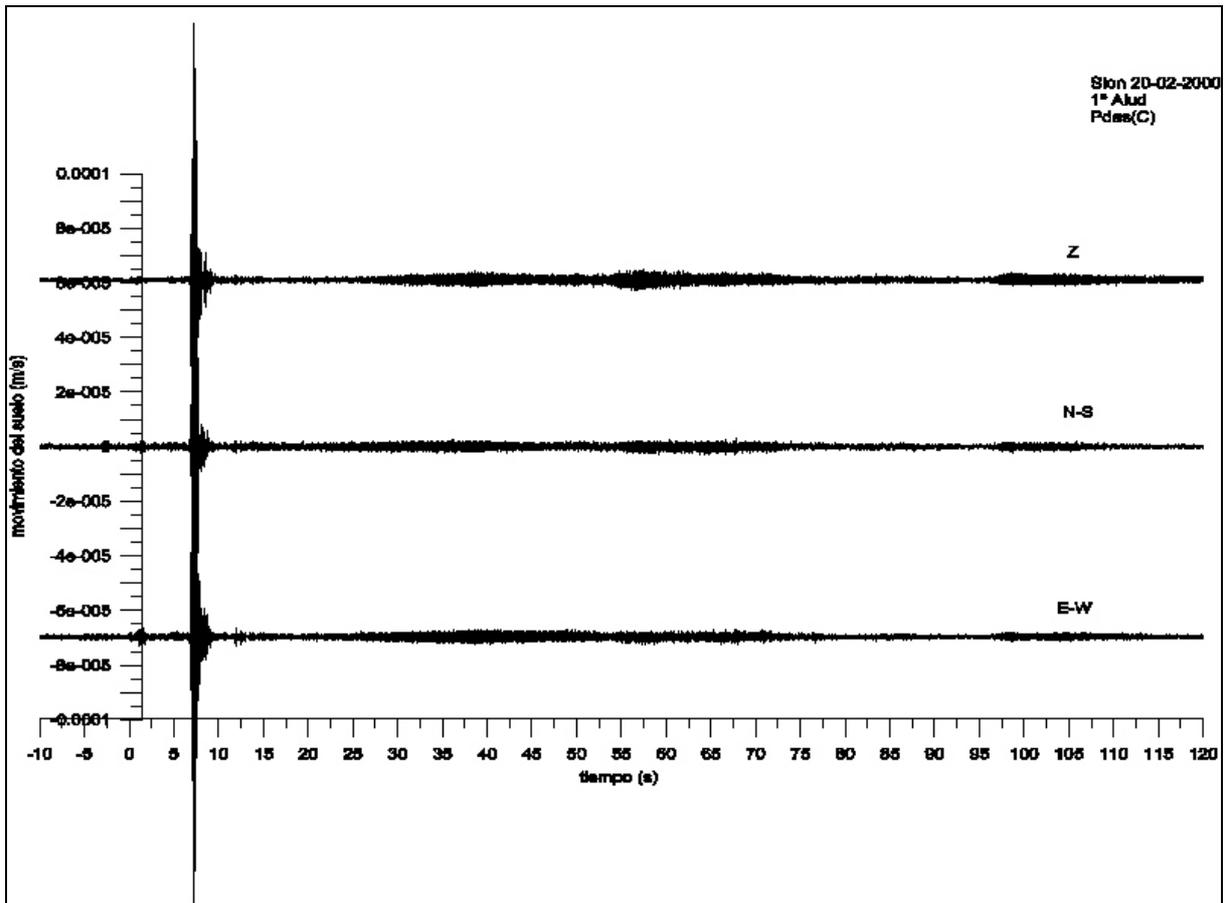


Figura 148. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 1º alud del 20 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente

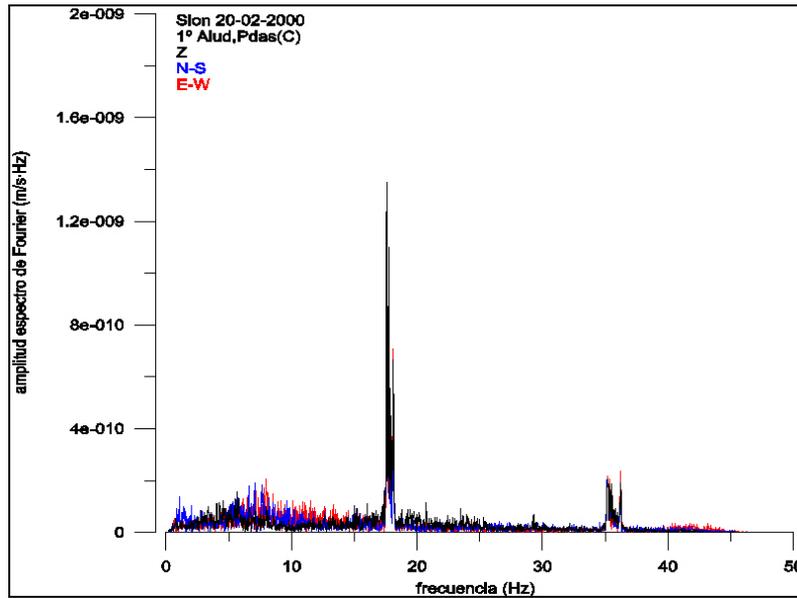


Figura 149. Espectro de Fourier de las se​ales registradas en la estaci​n Pdas del emplazamiento C durante el 1º alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calcul​ a partir de la se​al comprendida entre 23.97 s y 105.89 s.

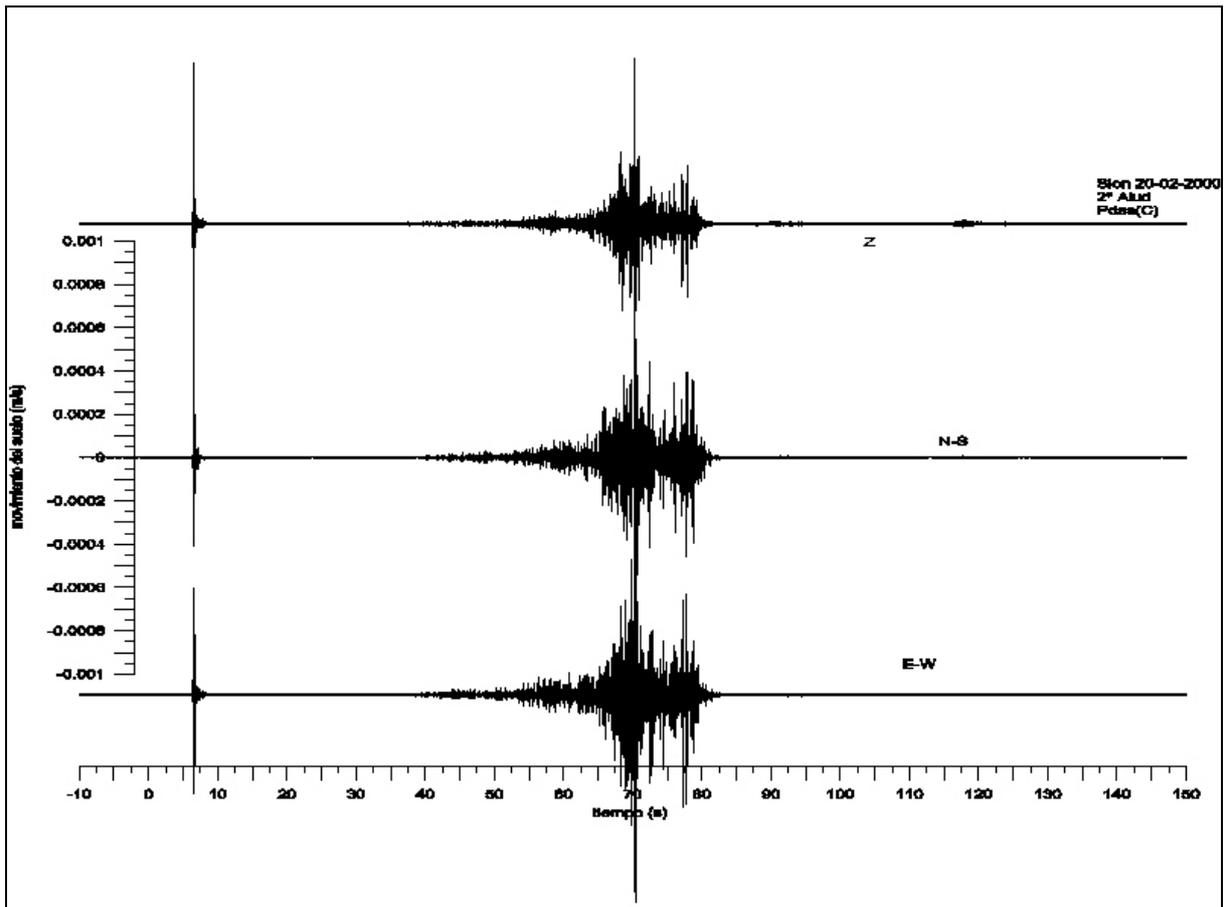


Figura 150. Se​ales registradas en la estaci​n Pdas del emplazamiento C durante el 2º alud del 20 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.

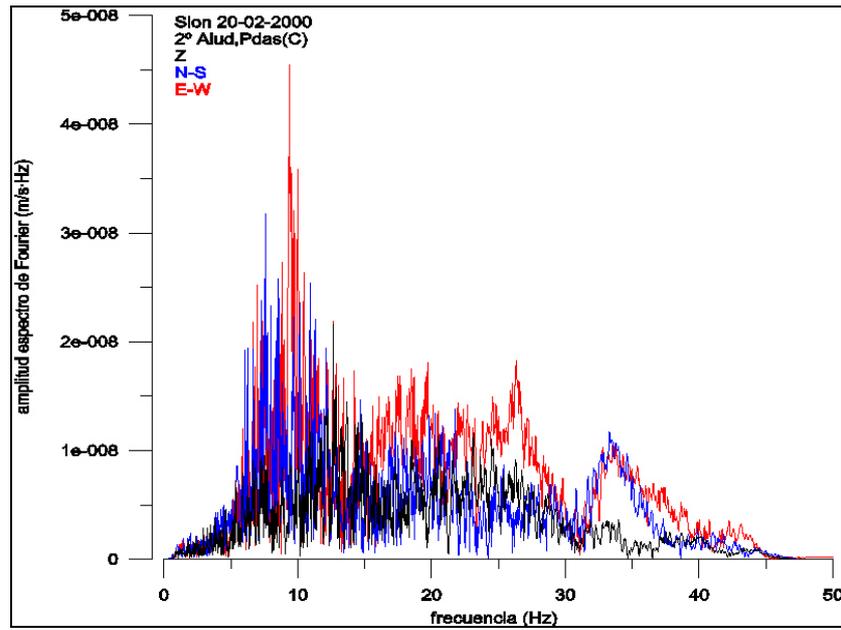


Figura 151. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 2º alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 24.04 s y 105.96 s.

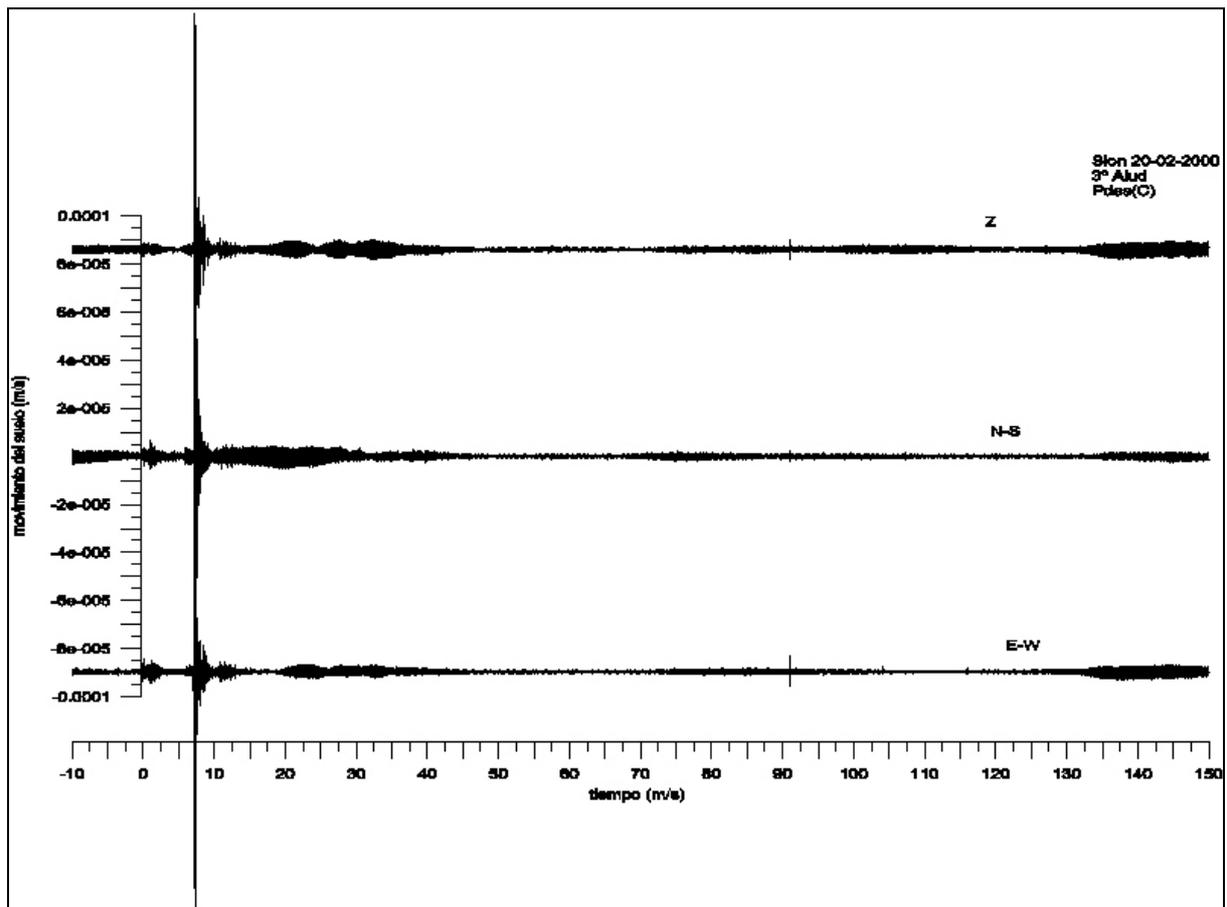


Figura 152. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 3º alud del 20 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.

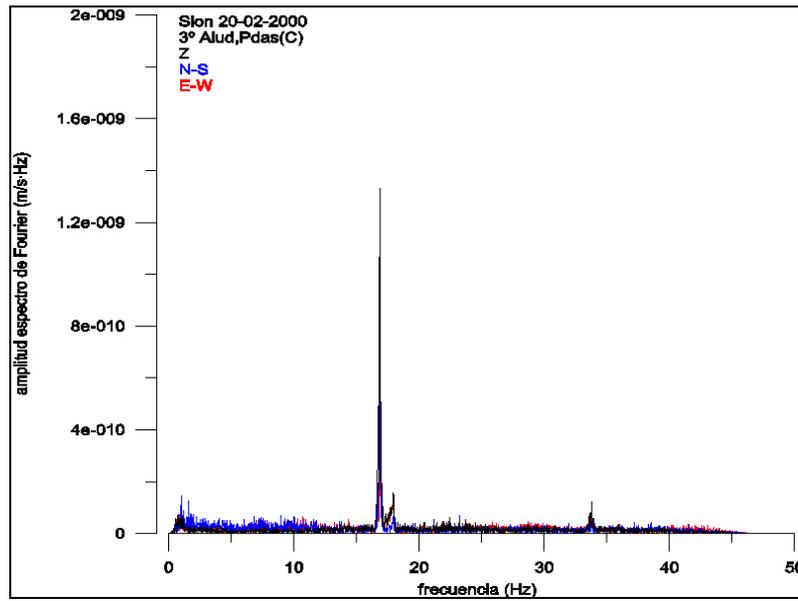


Figura 153. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 3° alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 65.68 s y 147.6s.

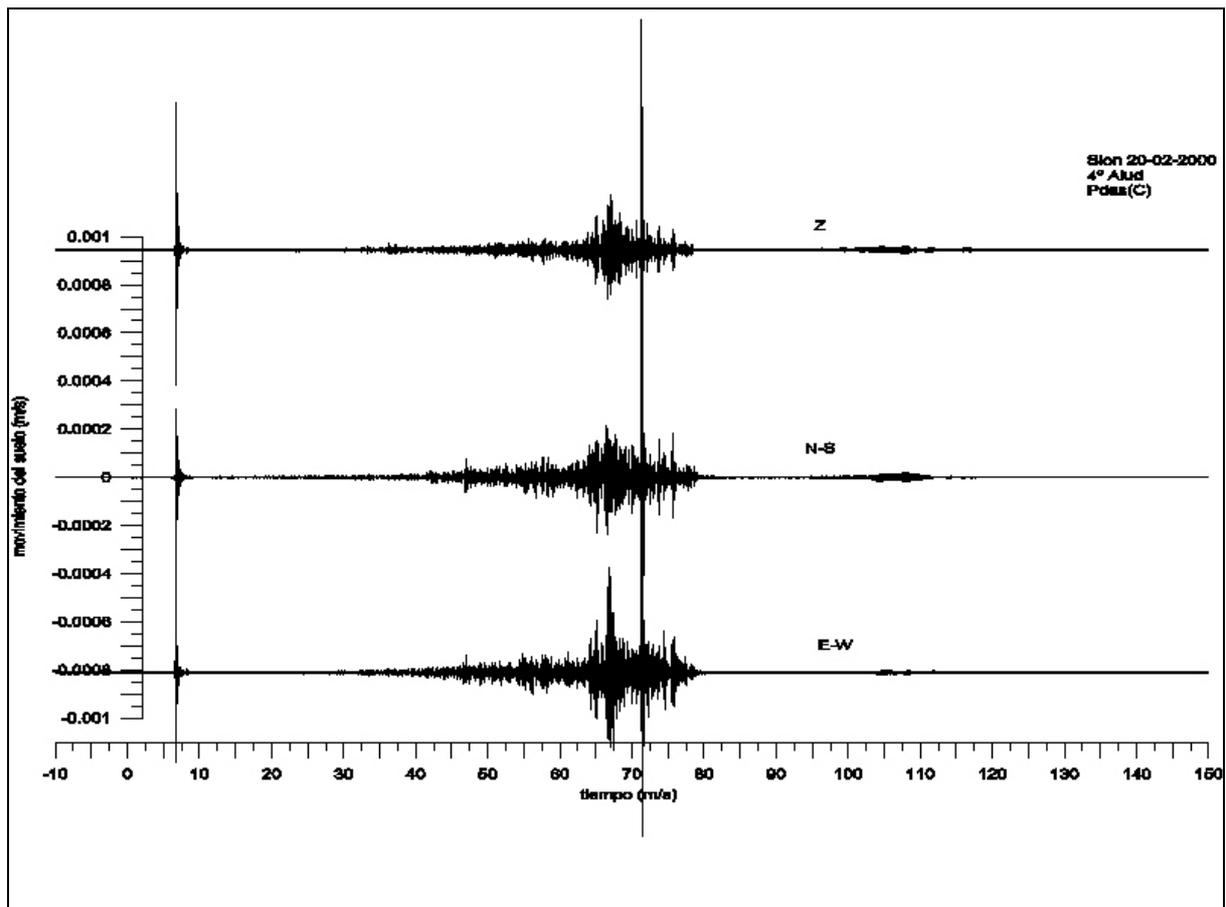


Figura 154. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 4° alud del 20 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.

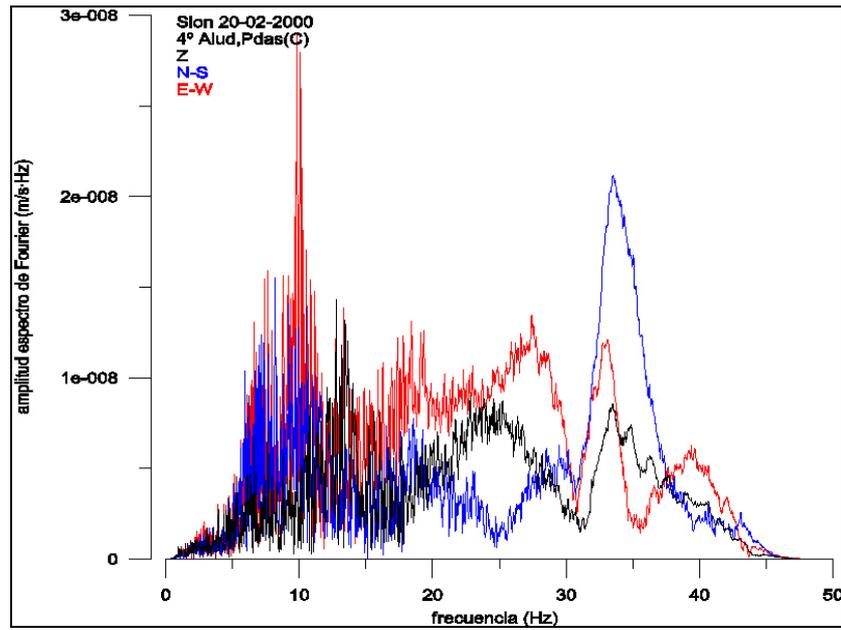


Figura 155. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 4° alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 21.08s y 103.

A.10 Sionne 2000/01

El 13 de noviembre de 2000 se instalaron dos estaciones sísmicas, una estación Pdas en el emplazamiento B y una estación Orion en el emplazamiento C del Vallée de La Sionne. A pesar de los intentos de mejora en el sistema de comunicación, la estación Pdas volvió a tener problemas y no registró nada en toda la campaña. La estación Orion quedó conectada a un módem que a través de la línea telefónica permitía la comunicación con la estación desde la Universitat de Barcelona (UB). La estación funcionó en modo continuo y después de cada evento conocido se capturaron los datos desde la UB.

El día 5 de marzo se provocaron tres aludes artificialmente, la estación Orion los registró y se pudieron adquirir los datos desde la UB.

A.10.1 Aludes del 5-03-2001

El 5 de marzo de 2001 el equipo suizo consideró que las condiciones nivometeorológicas eran buenas para la realización de un experimento. Se lanzaron 3 cargas explosivas que desencadenaron 3 aludes de mediana dimensión. Los tres aludes pudieron ser registrados en la estación Orion del emplazamiento C.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo que se encontraba en el centro de control en el momento del experimento.

Primer alud provocado el 5 de marzo de 2001, 8:12 UTC (Figura 156):

- ❖ *El primer alud partió de la zona derecha de Crêta Besse 1.*
- ❖ *El alud se paró sobre 1700 m s.n.m.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~820 m del emplazamiento C.*

Segundo alud provocado el 5 de marzo de 2001, 8:18 UTC (Figura 156):

- ❖ *El segundo alud partió de la zona izquierda de Crêta Besse 2.*
- ❖ *El alud llegó hasta 1700 m s.n.m.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~820 m del emplazamiento C.*

Tercer alud provocado el 5 de marzo de 2001, 8:25 UTC (Figura 156):

- ❖ *El tercer alud partió de la zona derecha de Crêta Besse 2.*
- ❖ *El alud llegó hasta 1600 m s.n.m.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~550 m del emplazamiento C.*

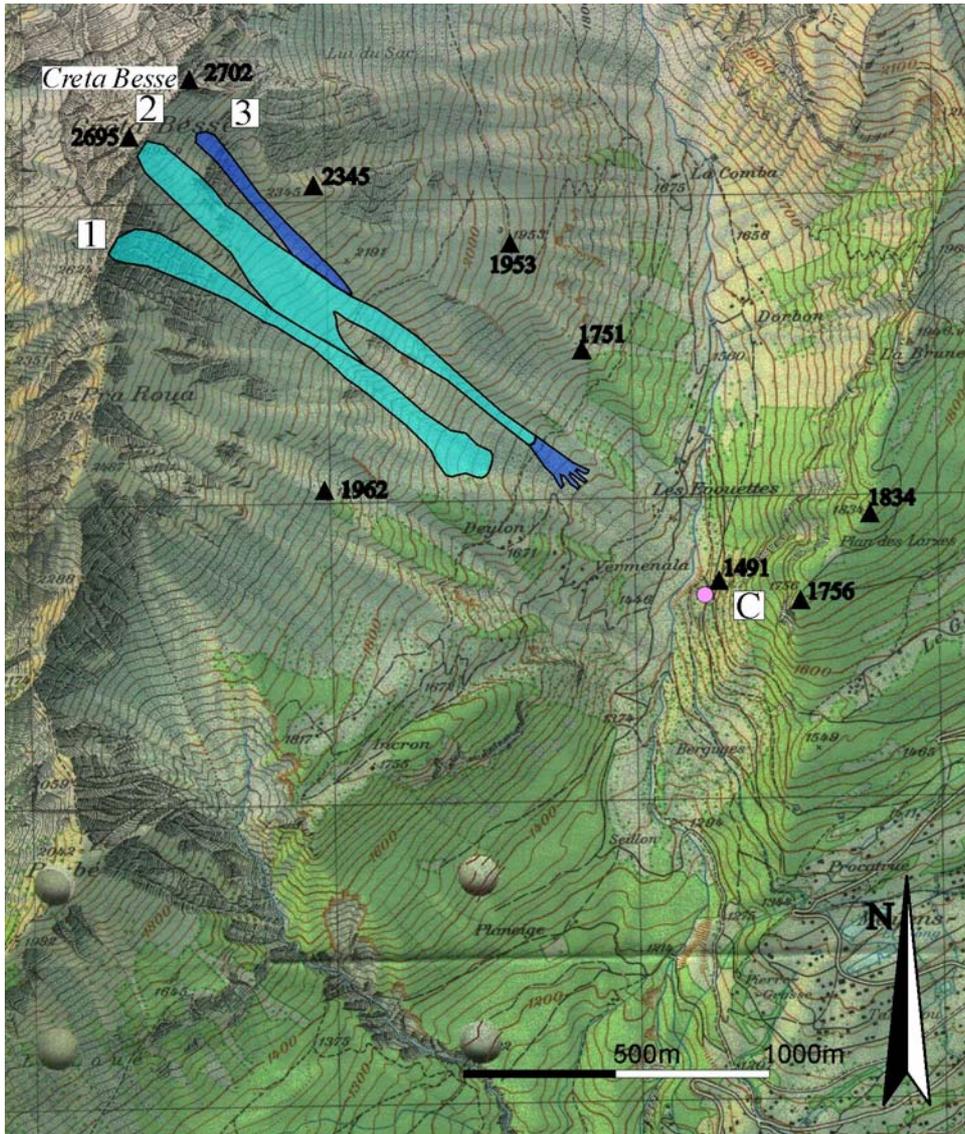


Figura 156. Cartografía de los aludes provocados artificialmente el 5 de marzo de 2001 en el Vallée de La Sionne. C: emplazamiento donde se registraron los aludes. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento C

Las curvas de densidad de potencia espectral (Figura 157) se calcularon a partir de los primeros 140 s del registro. Las componentes horizontales superan el nivel de ruido de la curva *Noisy* para frecuencias superiores a 6 Hz y la componente vertical lo supera a partir de 10 Hz. En el resultado se observan dos picos comunes uno en [10-20] Hz y otro en 35 Hz. Ambos picos se atribuyen al ruido causado por el helicóptero que sobrevolaba la zona en el momento del experimento.

- Primer alud

En los registros (Figura 158) se observa la señal de la explosión a 0 s y posteriormente una señal que podría asociarse al alud. Las tres componentes de la señal tienen amplitudes máximas del orden de 10^{-6} m/s y la componente E-W es superior a las otras dos. Se calculó el espectro de la señal comprendida entre 59.5s y 100.46 s. El resultado (Figura 159) muestra dos picos relevantes en 20 Hz y 40 Hz que coinciden (12) con los observados en el estudio del

ruido de fondo. Al analizar los resultados se consideró que esta SSA no podía diferenciarse de la señal del ruido de fondo.

- Segundo alud

En los registros (*Figura 160*) se observa la señal de la explosión a 0s y posteriormente una señal que podría asociarse al alud. Se calculó el espectro del registro comprendido entre 70.9 s y 111.86 s. El resultado del espectro de la señal (*Figura 161*) muestra dos picos predominantes que coinciden (12) con los observados en el ruido de fondo. A la hora de analizar los resultados se consideró que esta SSA no podía diferenciarse de la señal del ruido de fondo.

- Tercer alud

En los registros (*Figura 162*) se observa la señal de la explosión a 0 s y posteriormente una señal atribuible al alud. Esta señal presenta una duración de ~ 76 s y unas amplitudes máximas del orden de 10^{-5} m/s. Se calculó el espectro total de la señal comprendida entre 116.24 s y 157.20 s. El resultado (*Figura 163*) muestra un pico situado entre [5-15] Hz y otro a 30 Hz. El pico situado sobre 30 Hz es similar (12) al observado en el ruido de fondo pero el otro podría contener la señal generada por el alud. En este caso se consideró que esta señal era una SSA a la hora de analizar los resultados.

(12) Se calcularon las curvas de densidad de potencia espectral con el fin de poder comparar los registros con el ruido de fondo, estos cálculos sin embargo, no se presentan en este trabajo.

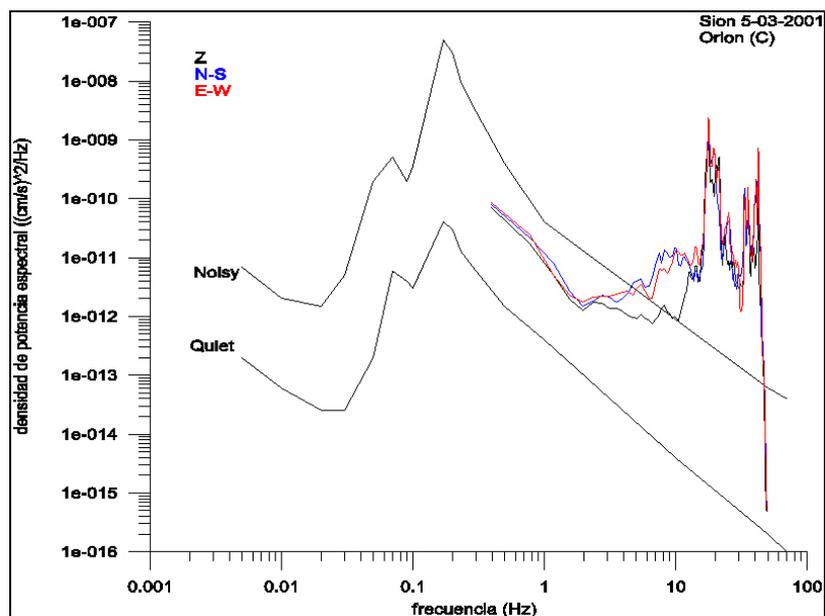


Figura 157. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 140 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento C el 5 de marzo de 2001 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

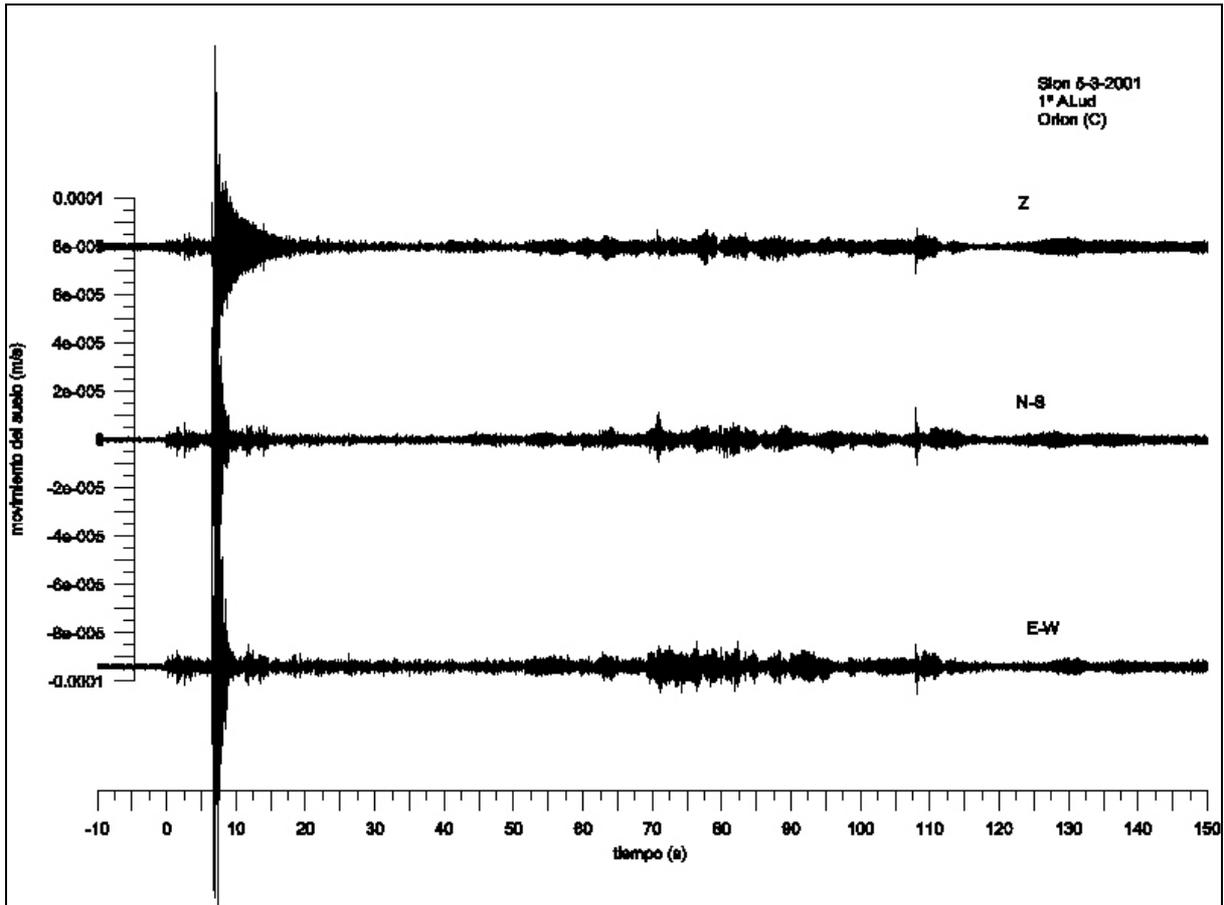


Figura 158. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 1º alud del 5 de marzo de 2001. El alud fue provocado por una explosión

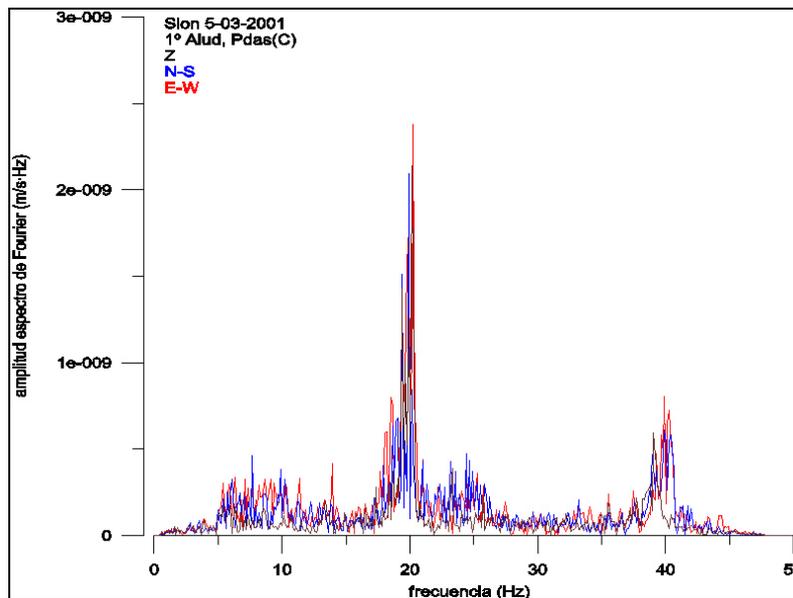


Figura 159. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 1º alud del 5 de marzo de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 59.5 s y 100.46s.

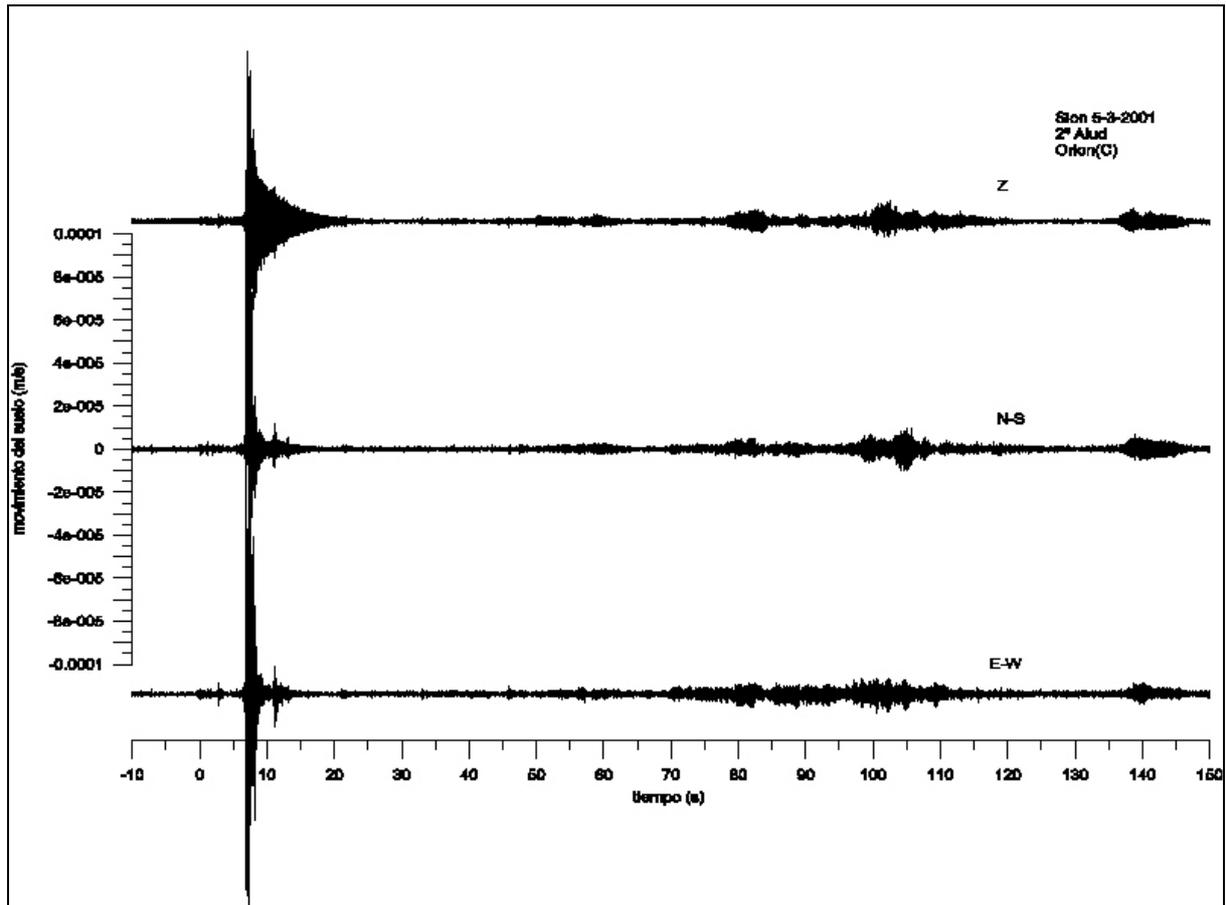


Figura 160. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 2° alud del 5 de marzo de 2001. El alud fue provocado por una explosión

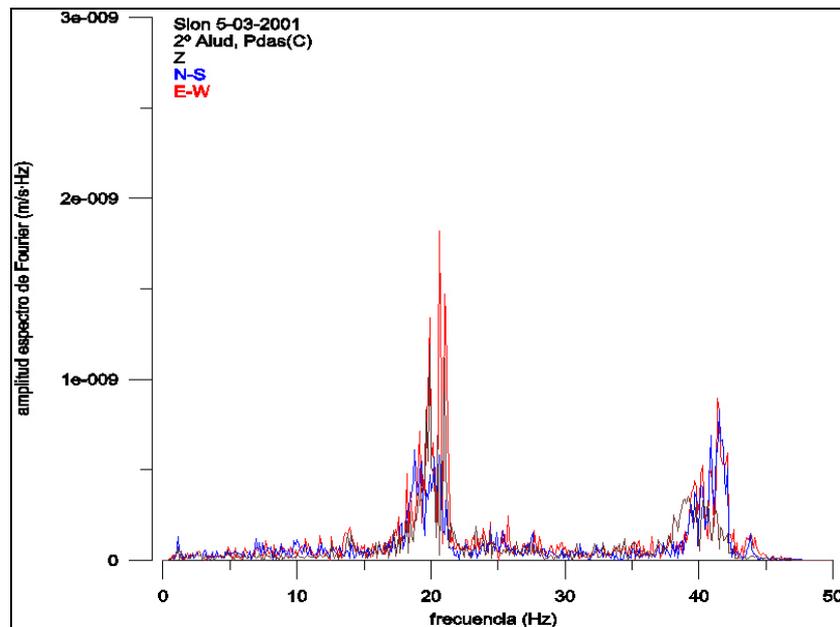


Figura 161. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 2° alud del 5 de marzo de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 70.9 s y 111.86s.

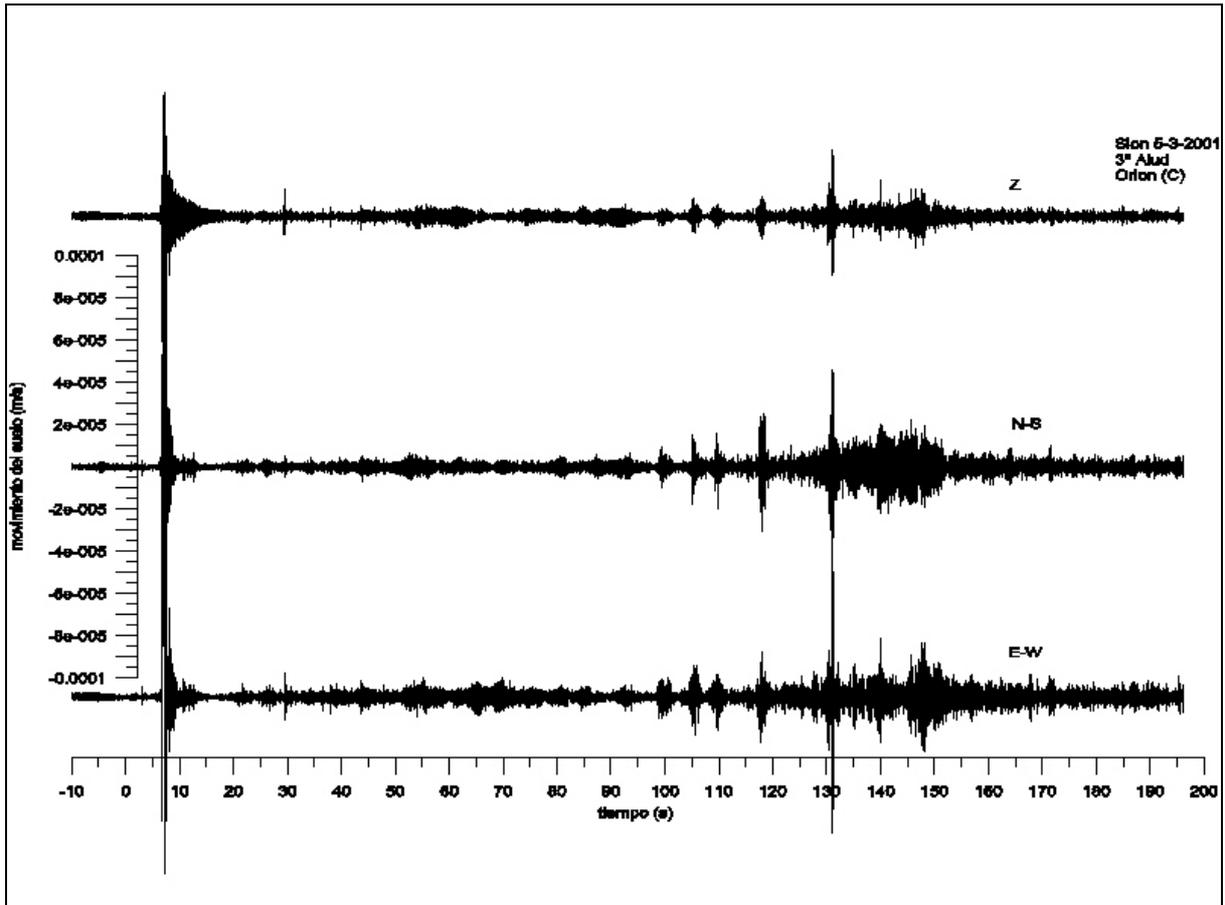


Figura 162. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 3º alud del 5 de marzo de 2001. El alud fue provocado por una explosión

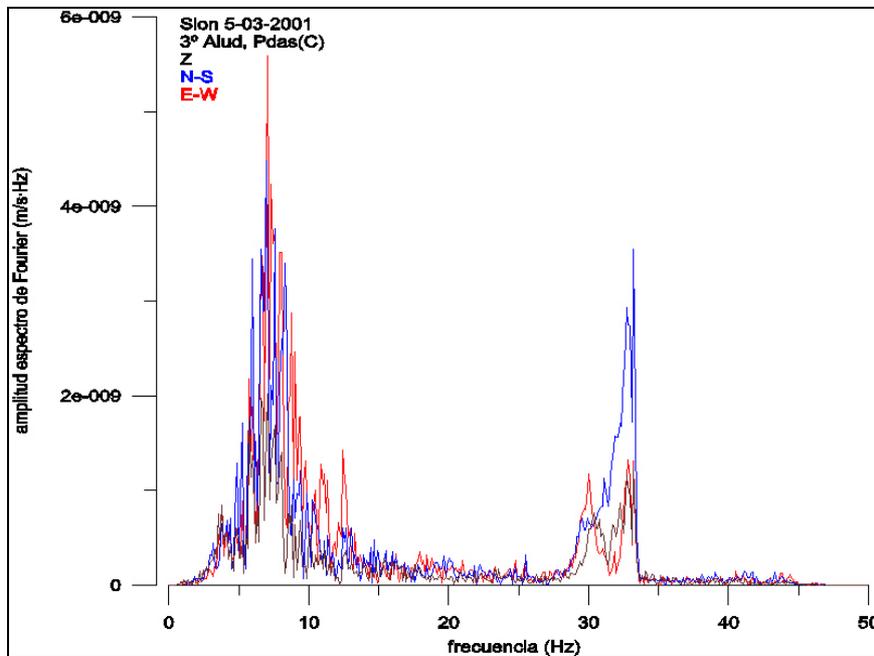


Figura 163. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 3º alud del 5 de marzo de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 116.24 s y 157.2s.

A.11 Sionne 2001/02

En el mes de noviembre de 2001 se instalaron las estaciones para la siguiente campaña invernal. Ese año se instalaron dos estaciones Orion, una en el emplazamiento B sustituyendo a la estación Pdas de los años anteriores, y otra en el emplazamiento C. Ambas estaciones estuvieron conectadas a módems que permitían controlar el estado de salud de las estaciones y adquirir los datos desde la UB a través de la línea telefónica. Este año se pudieron registrar nueve aludes naturales y dos artificiales en ambos emplazamientos. Se registraron cinco aludes naturales el 29 de diciembre de 2001, un alud natural el 13 de febrero de 2002, un alud natural el 21 de febrero de 2002, otro el 13 de marzo de 2002 y otro más el 20 de marzo de 2002. El día 22 de febrero se provocaron tres explosiones en la cornisa de Crêta Besse, la primera explosión desencadenó un alud de tamaño medio, la segunda provocó un alud de tamaño pequeño y la última no hizo bajar ningún alud, estos experimentos también pudieron ser registrados sin problemas en ambas estaciones.

A.11.1 Aludes del 29-12-2001

El 29 de diciembre se produjeron cinco aludes naturales. Las estaciones Orion de los dos emplazamientos B y C registraron las señales simultáneas a estos aludes. Las observaciones posteriores permitieron cartografiar el tercer alud (*Figura 164*), de todas formas se quiere dejar constancia de que la cartografía de este día es dudosa debido a que se produjeron 5 aludes durante el mismo día.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo que se desplazó a la zona en días posteriores.

Primer alud natural del 29 de diciembre de 2001, 00:59 UTC:

- ❖ *El alud no llegó a los obstáculos.*
- ❖ *Altura fractura 40-80 cm.*

Segundo alud natural del 29 de diciembre de 2001, 2:33 UTC:

- ❖ *El alud no llegó a los obstáculos.*
- ❖ *Altura fractura 40-80 cm.*

Tercer alud natural del 29 de diciembre de 2001, 8:21 UTC (Figura 164):

- ❖ *Alud aerosol puro.*
- ❖ *Zona de salida en Crêta Besse 1.*
- ❖ *El alud se detuvo 150 m por debajo de los obstáculos.*
- ❖ *Al pasar por los obstáculos el alud dejó señales a 4 m de altura.*
- ❖ *Altura fractura 40-80 cm.*
- ❖ *El alud pasó por encima del emplazamiento B.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~700 m del emplazamiento C.*

Cuarto alud natural del 29 de diciembre de 2001, 8:24 UTC:

- ❖ *Alud de flujo.*
- ❖ *El alud se detuvo 50 m por debajo de los obstáculos.*
- ❖ *Al pasar por los obstáculos el alud tenía 3 m de altura y una velocidad aproximada de 2 m/s.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~800 m del emplazamiento C.*

Quinto alud natural del 29 de diciembre de 2001, 10:43 UTC:

- ❖ *Alud de flujo.*
- ❖ *Altura fractura 40-80 cm.*
- ❖ *El alud pasó por encima del emplazamiento B.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo ~800 m del emplazamiento C.*

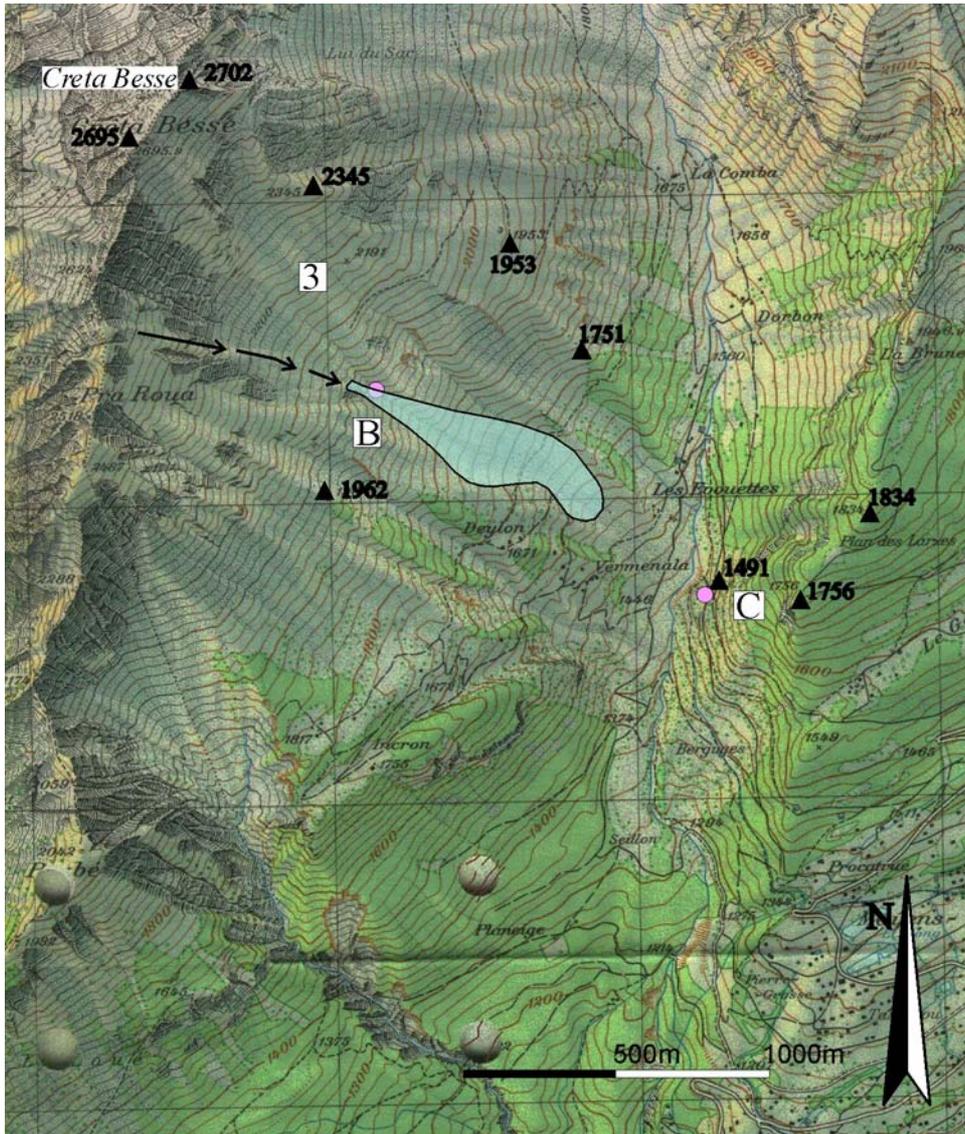


Figura 164. Cartografía de los aludes naturales del 29 de diciembre de 2001 en el Vallée de La Sionne. Sólo pudo cartografiarse el tercer alud. B y C: emplazamientos donde se registraron los aludes. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento B

El estudio del ruido de fondo (Figura 165) muestra unos registros de muy buena calidad para las componentes horizontales ya que ambas se encuentran entre las curvas *Quiet* y *Noisy*. La componente vertical se encuentra anómalamente por debajo del nivel de la curva *Quiet* para frecuencias menores de 6 Hz.

- Primer alud

En estos registros (Figura 166) se observa una anómala baja amplitud en la componente Z, este problema ya se detectó en el estudio del ruido de fondo por lo que se descartó a la hora de interpretar los resultados. La señal asociable al alud empieza a distinguirse sobre los 85 s y dura ~63 s y las amplitudes máximas son del orden de 10^{-5} m/s. El espectro (Figura 167) se calculó a partir de la señal comprendida entre 110 s y 191.92 s. Las componentes horizontales se reparten a lo largo de todo el espectro [0-45] Hz con amplitudes similares. Esta señal se consideró una SSA al analizar los resultados.

- Segundo alud

En los registros (*Figura 168*) se sigue observando el problema en la componente Z por lo que esta componente no se tuvo en cuenta a la hora de interpretar los resultados. Las componentes horizontales presentan unas amplitudes máximas del orden de 10^{-5} m/s. La señal que podría asociarse al alud empieza a distinguirse sobre los 245 s y dura ~ 76 s. El contenido espectral de esta señal se estudió a partir de la señal comprendida entre 240 s y 321.92 s. En el resultado (*Figura 169*) las componentes horizontales presentan amplitudes similares en todo el espectro. Esta señal se consideró una SSA al analizar los resultados.

- Tercer alud

En estos registros (*Figura 170*) se sigue apreciando el problema de atenuación en la componente vertical. La señal que podría asociarse con el alud aerosol empieza en los 90 s. Las amplitudes registradas son relativamente bajas, del orden de 10^{-6} m/s. El contenido espectral se calculó a partir del registro comprendido entre 90 s y 130.96 s. Las componentes horizontales (*Figura 171*) se concentran en un pico situado entre [0-5] Hz. Esta señal se trató como una SSA en el análisis de resultados.

- Cuarto alud

Estos registros (*Figura 172*) siguen mostrando una componente vertical con problemas y a la hora de interpretar los resultados no se consideró. El principio de la señal atribuible al alud se distingue sobre los 220 s y tiene una larga duración, de ~ 196 s. Las componentes horizontales tienen unas amplitudes máximas del orden de 10^{-3} m/s. Se calculó el contenido frecuencial de la señal entre 200 s y 527.68 s (*Figura 173*). Las componentes horizontales se concentran en un pico situado en [0-10] Hz. Esta señal se trató como una SSA en el análisis de resultados.

- Quinto alud

En estos sismogramas (*Figura 174*) parece que la componente Z registró con normalidad. La señal que podría asociarse al alud se aprecia sobre los 290 s y tiene una larga duración de ~ 320 s. Las amplitudes máximas son del orden de 10^{-4} m/s. El contenido frecuencial (*Figura 175*) de la señal comprendida entre 280 s y 443.84 s se reparte en todo el espectro [0-45] Hz. Esta señal se trató como una SSA en el análisis de resultados.

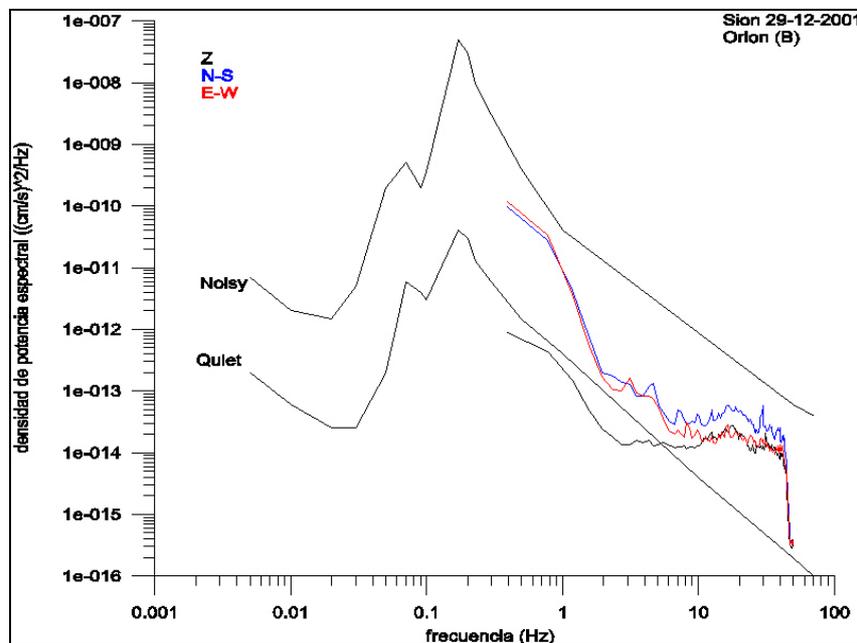


Figura 165. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 150 s de registro previo al primer alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 29 de diciembre de 2001 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

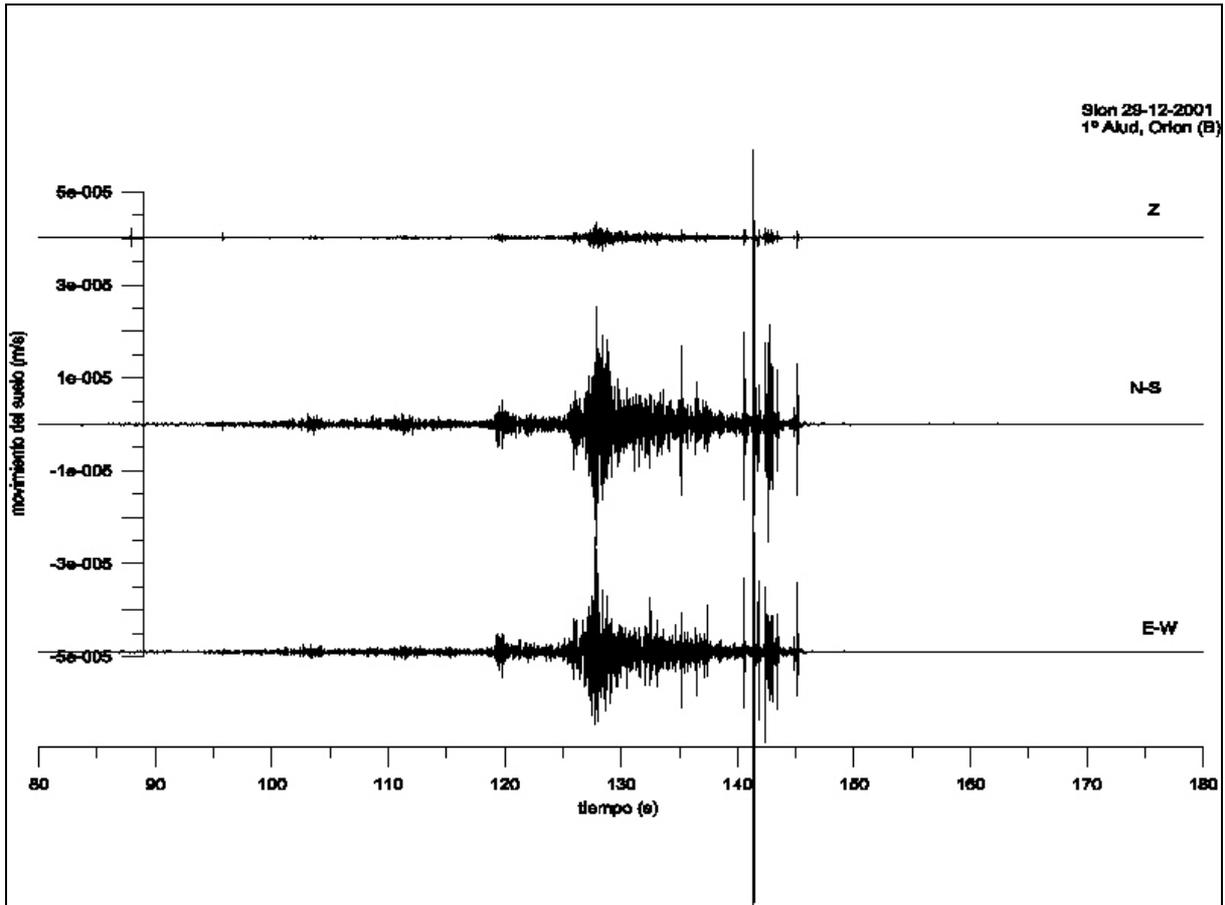


Figura 166. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 1º alud del 29 de diciembre de 2001

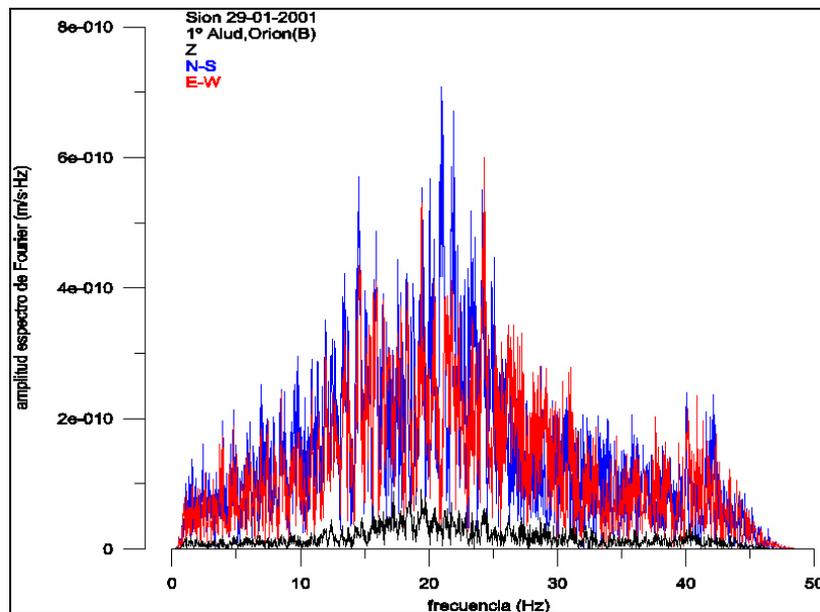


Figura 167. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 1º alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 110 s y 191.92 s.

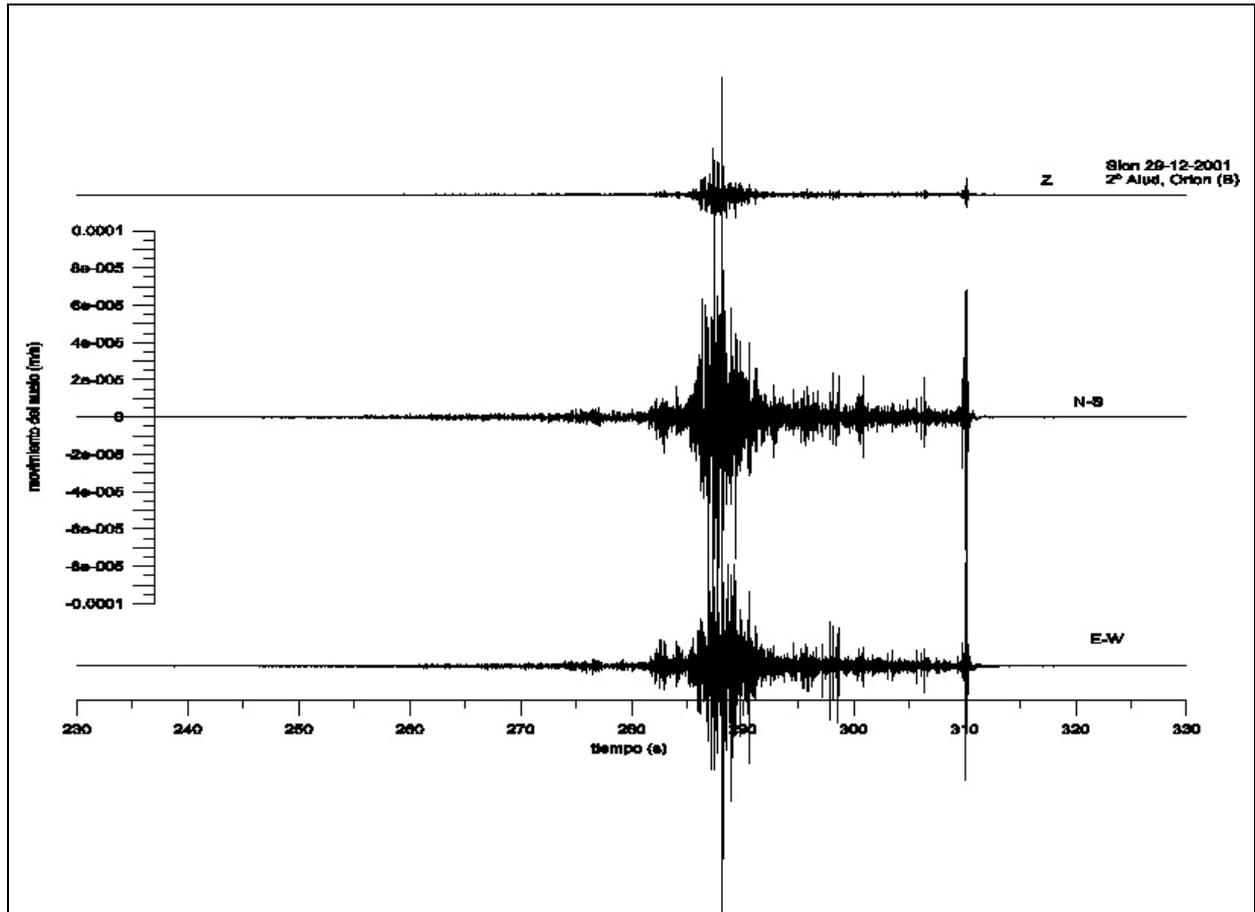


Figura 168. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2° alud del 29 de diciembre de 2001

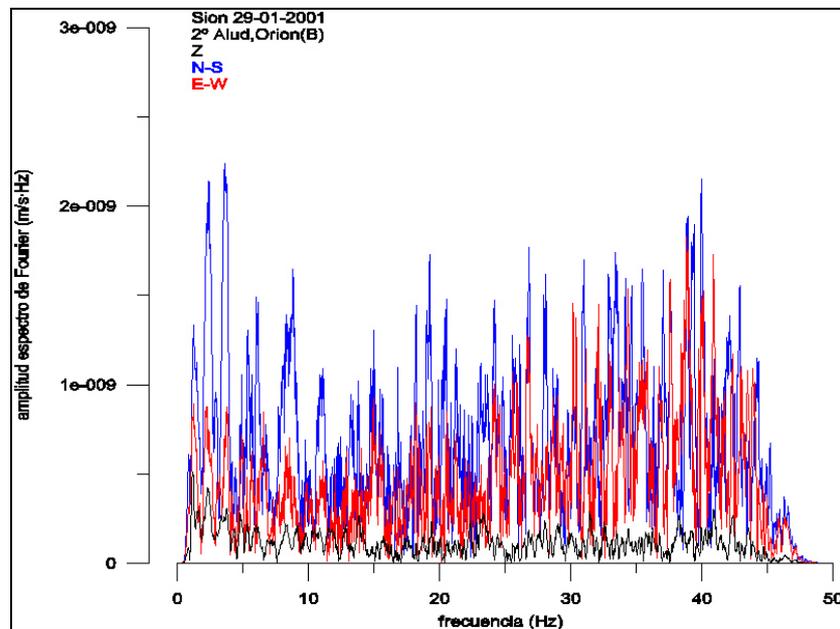


Figura 169. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 240 s y 321.92 s.

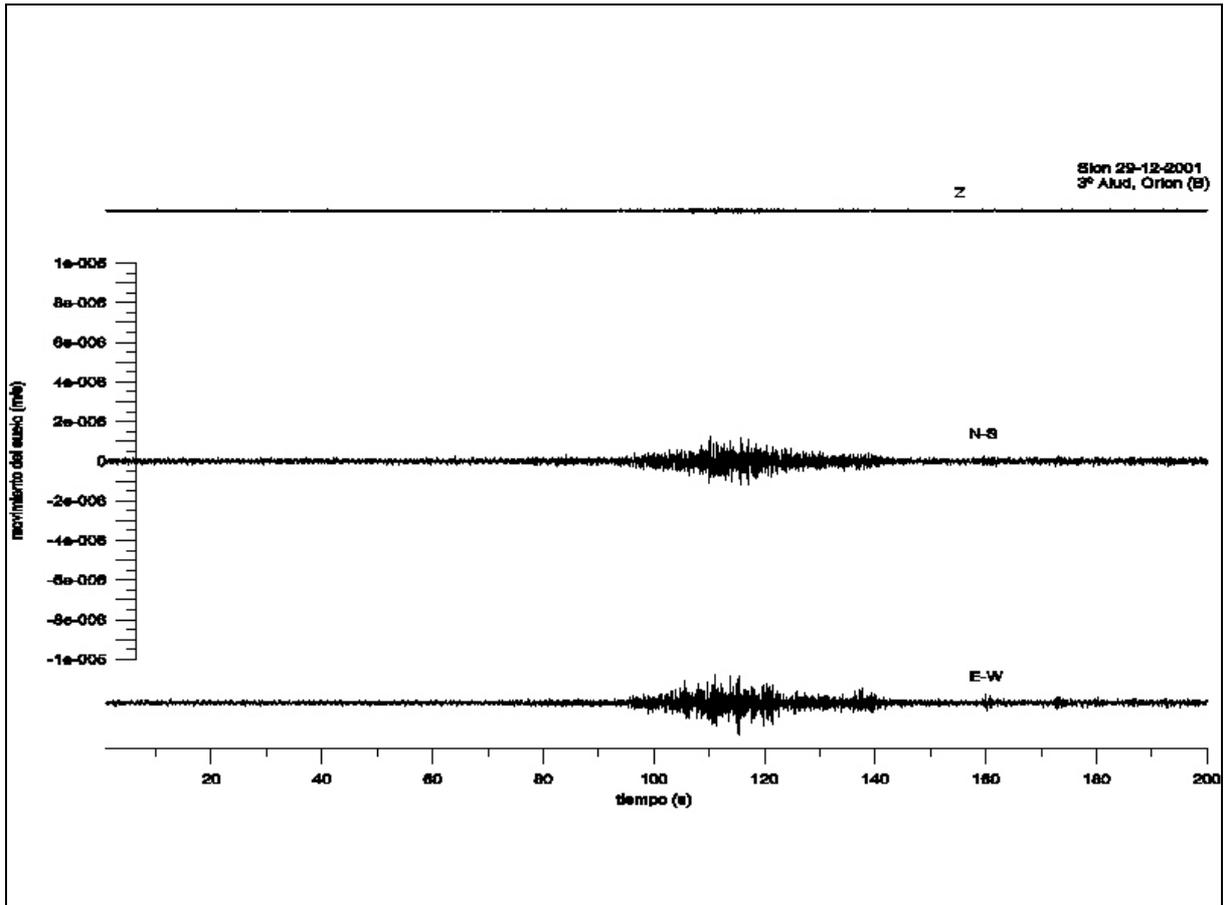


Figura 170. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 3° alud del 29 de diciembre de 2001

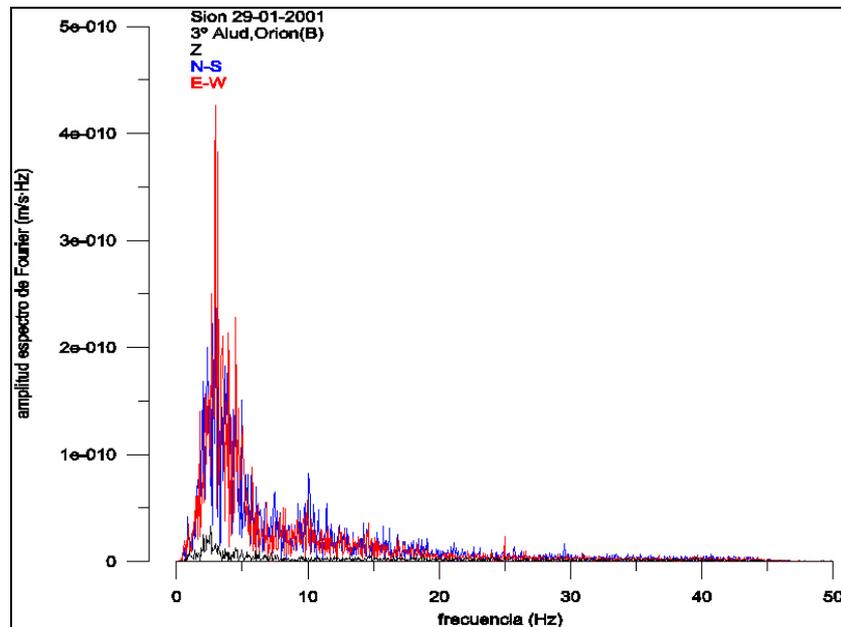


Figura 171. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 3° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 90 s y 130.96s.

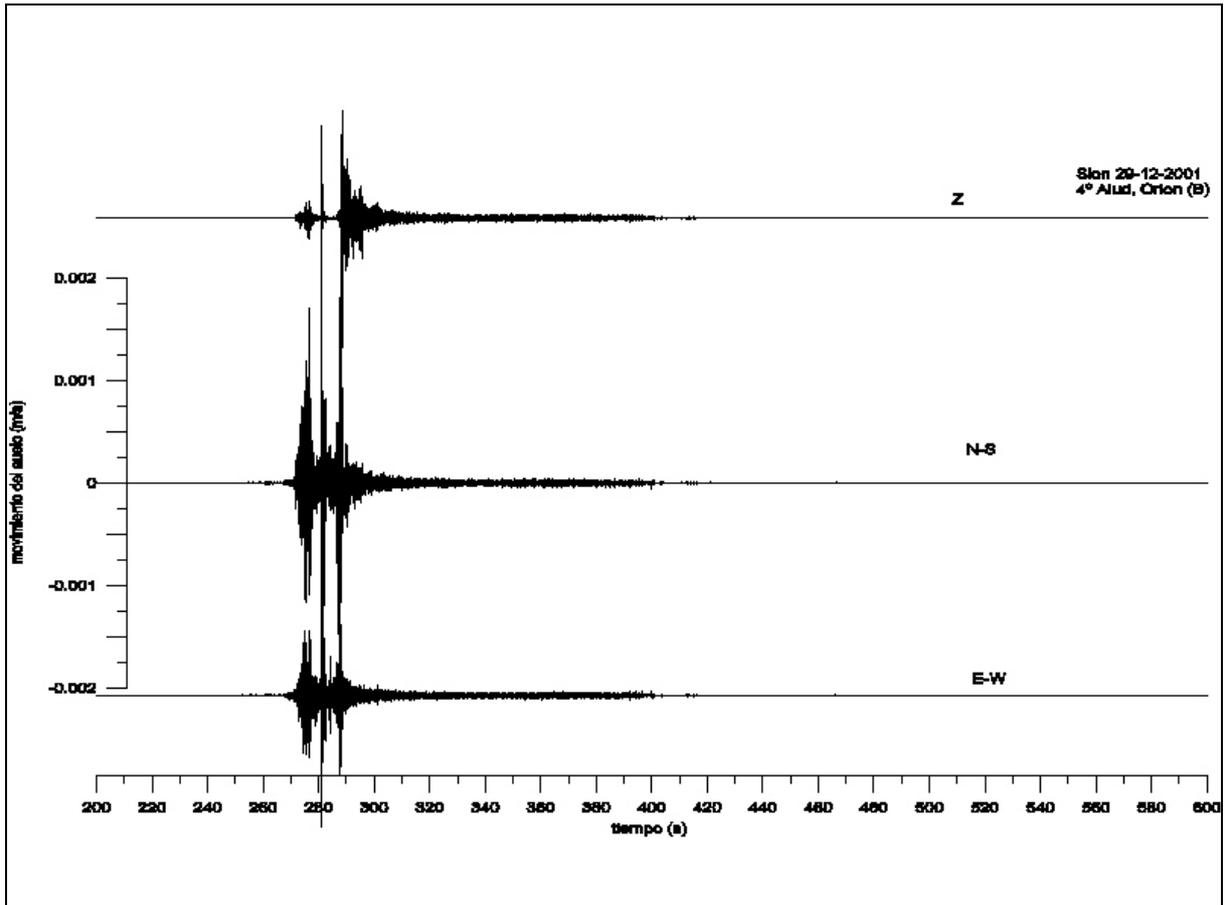


Figura 172. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 4° alud del 29 de diciembre de 2001

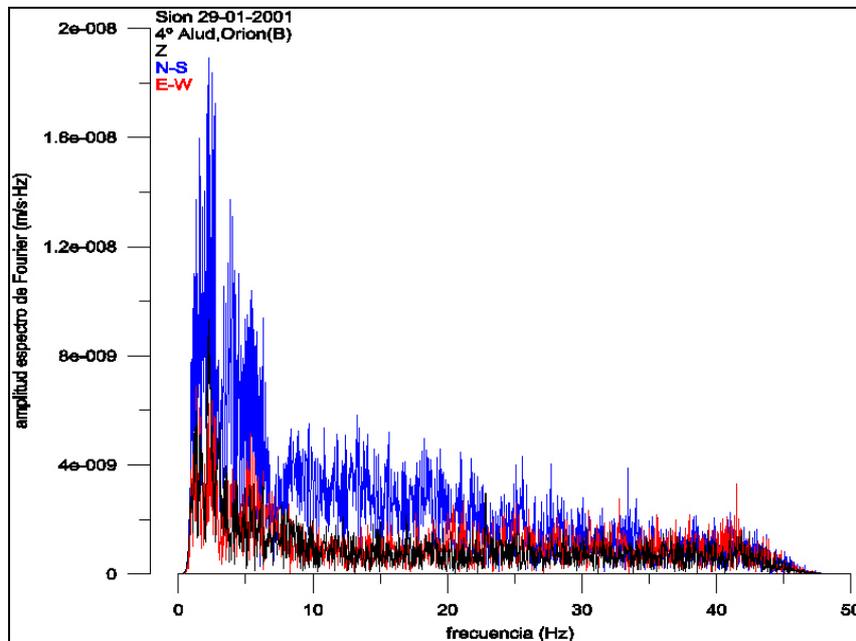


Figura 173. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 4° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 200 s y 527.68 s.

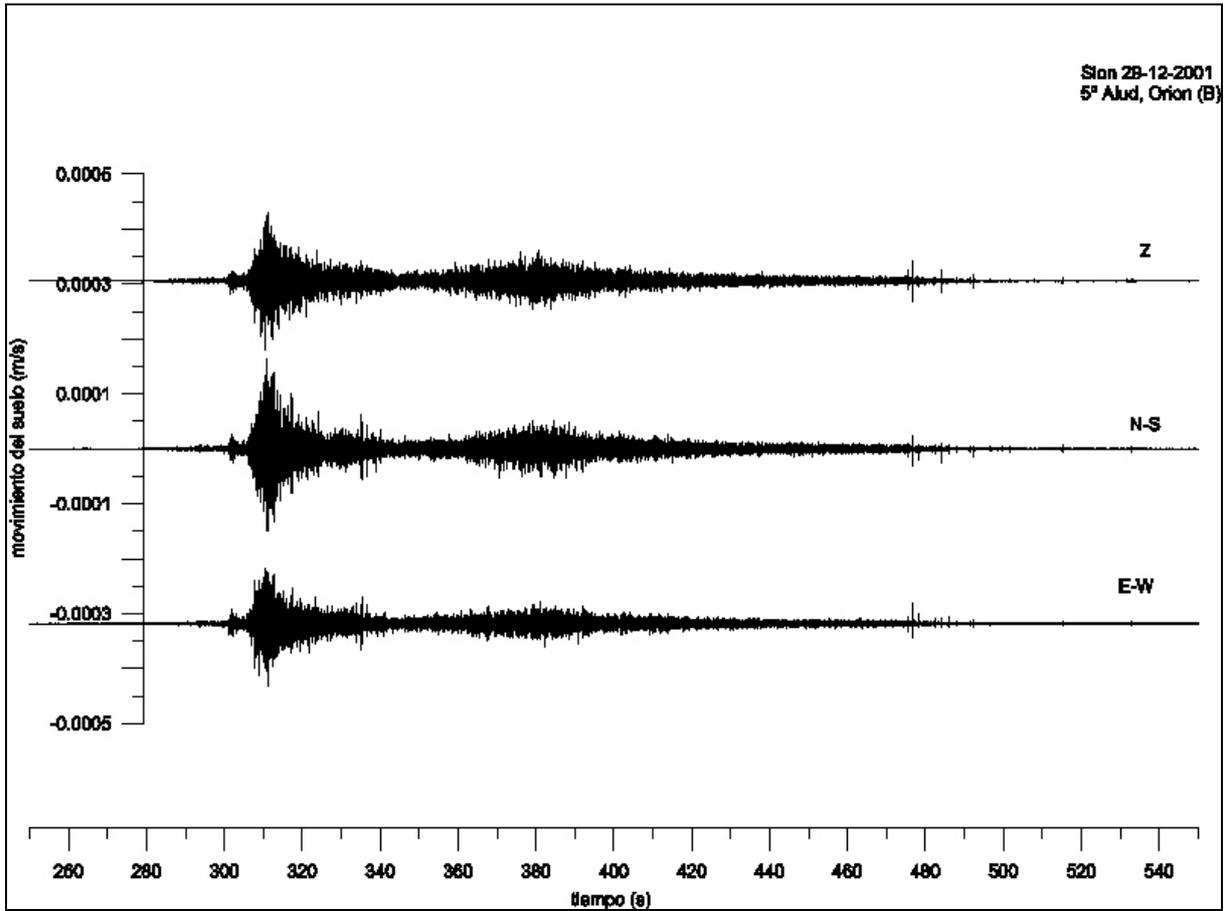


Figura 174. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 5° alud del 29 de diciembre de 2001

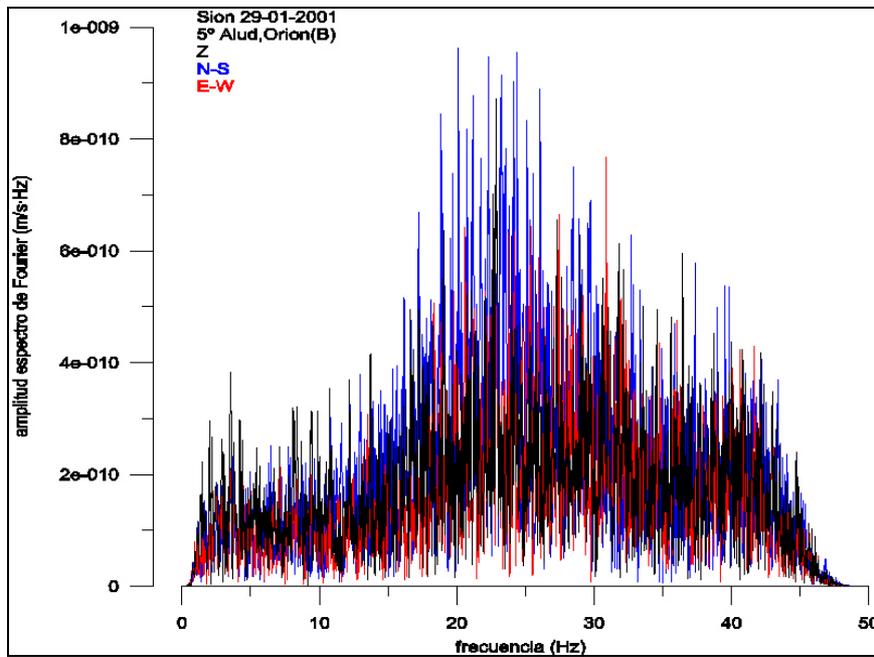


Figura 175. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 5° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 280 s y 443.84 s.

- Registros en el emplazamiento C

El estudio del ruido de fondo (*Figura 176*) de este emplazamiento muestra unas curvas de densidad de potencia espectral que superan el nivel de ruido de la curva *Noisy* para frecuencias superiores a 6 Hz en el caso de las componentes verticales y para frecuencias superiores a 10 Hz para la componente vertical. Las tres componentes presentan un pico en [40-50] Hz. El alto nivel de ruido de este emplazamiento se atribuye a problemas electrónicos.

- Primer alud

En estos registros (*Figura 177*) se distingue una baja señal que podría asociarse al alud entre 120 s y 140 s, no obstante debido a las bajas amplitudes de la señal y el alto nivel de ruido es difícil discernir donde empieza y cuál es su duración. Las amplitudes máximas son del orden de 10^{-6} m/s en las tres componentes. Se calculó el espectro total de la señal entre 120 s y 140.48 s. El espectro (*Figura 178*) presenta 3 picos diferenciados, un pico situado entre [5-15] Hz, otro en [15-30] Hz y otro en [35-45] Hz. Los dos últimos son similares (13) a los picos detectados en el ruido de fondo. Esta señal contribuyó como SSA en el análisis de resultados.

- Segundo alud

En la estación del emplazamiento C se registró una señal (*Figura 179*) con amplitudes máximas del orden de los 10^{-6} m/s. En un primer estudio podría asociarse la señal del alud a la señal que se observa entre 255 s y 300 s. Se calculó el espectro total de la señal entre 240 s y 321.92 s. El espectro (*Figura 180*) se distribuye en 4 picos diferenciados. El primer pico se centra sobre los [5-10] Hz, hay dos en [10-25] Hz y otro a [35-45] Hz. Los dos últimos son similares (13) a los observados en el ruido de fondo. Esta señal contribuyó como SSA en el análisis de resultados.

- Tercer alud

Los registros (*Figura 181*) simultáneos al alud aerosol en el emplazamiento C tienen amplitudes máximas del orden de 10^{-6} m/s. Dado el bajo nivel de la señal es difícil discernir donde empieza y cuál es su duración. Se calculó el contenido espectral de la señal comprendida entre 90 s y 130.96 s. El resultado (*Figura 182*) es un espectro con dos picos diferenciados, uno en bajas frecuencias [0-10] Hz y otro en altas frecuencias [35-45] Hz asociado (13) a un ruido de fondo del emplazamiento. Esta señal contribuyó como SSA en el análisis de resultados. Esta señal contribuyó como SSA en el análisis de resultados.

- Cuarto alud

En estos registros (*Figura 183*) se distingue una señal del orden de 10^{-5} m/s que podría asociarse al alud. Esta señal empieza a distinguirse sobre los 220 s pero el final queda muy difuso y difícil de determinar. El espectro total de la señal comprendida entre 200 s y 527.68 s (*Figura 184*) se concentra en un pico centrado entre [0-15] Hz, los dos otros picos que se observan coinciden (13) con los observados en el ruido de fondo. Esta señal contribuyó como SSA en el análisis de resultados.

- Quinto alud

Estos registros (*Figura 185*) tienen amplitudes del orden de 10^{-5} m/s para las tres componentes. Se observan varias señales pero, a priori, no se puede asociar ninguna en concreto al alud, el análisis del contenido frecuencial (*Figura 186*) tampoco ayudó a discernir entre las señales por lo que se descartaron a la hora de analizar los resultados.

(13) Estas comparaciones se hicieron a partir de los cálculos de densidad de potencia espectral de los registros a pesar de que no se presentan en este trabajo.

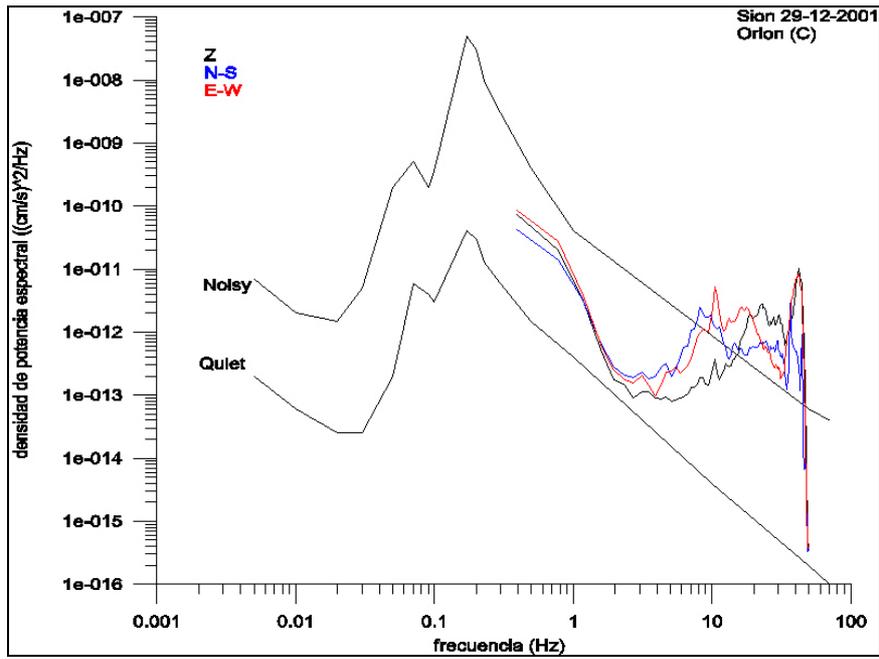


Figura 176. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 430 s de registro previo al primer alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 29 de diciembre de 2001 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

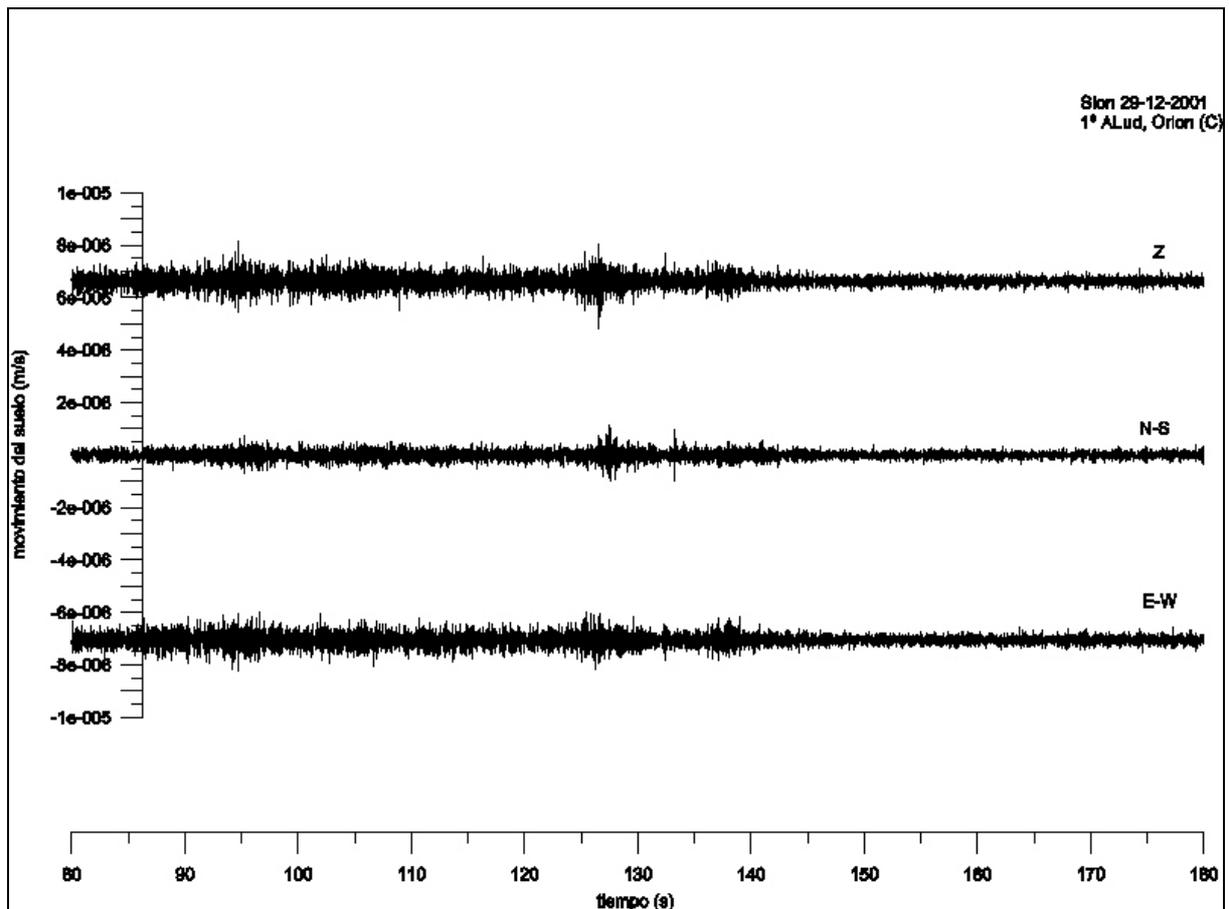


Figura 177. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 29 de diciembre de 2001

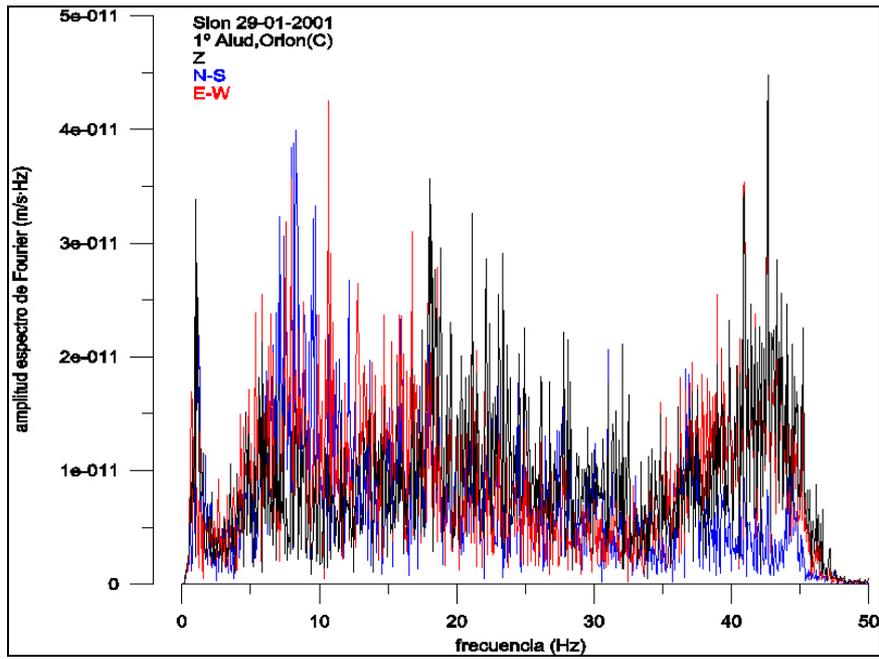


Figura 178. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre los 120 s y los 140.48 s.

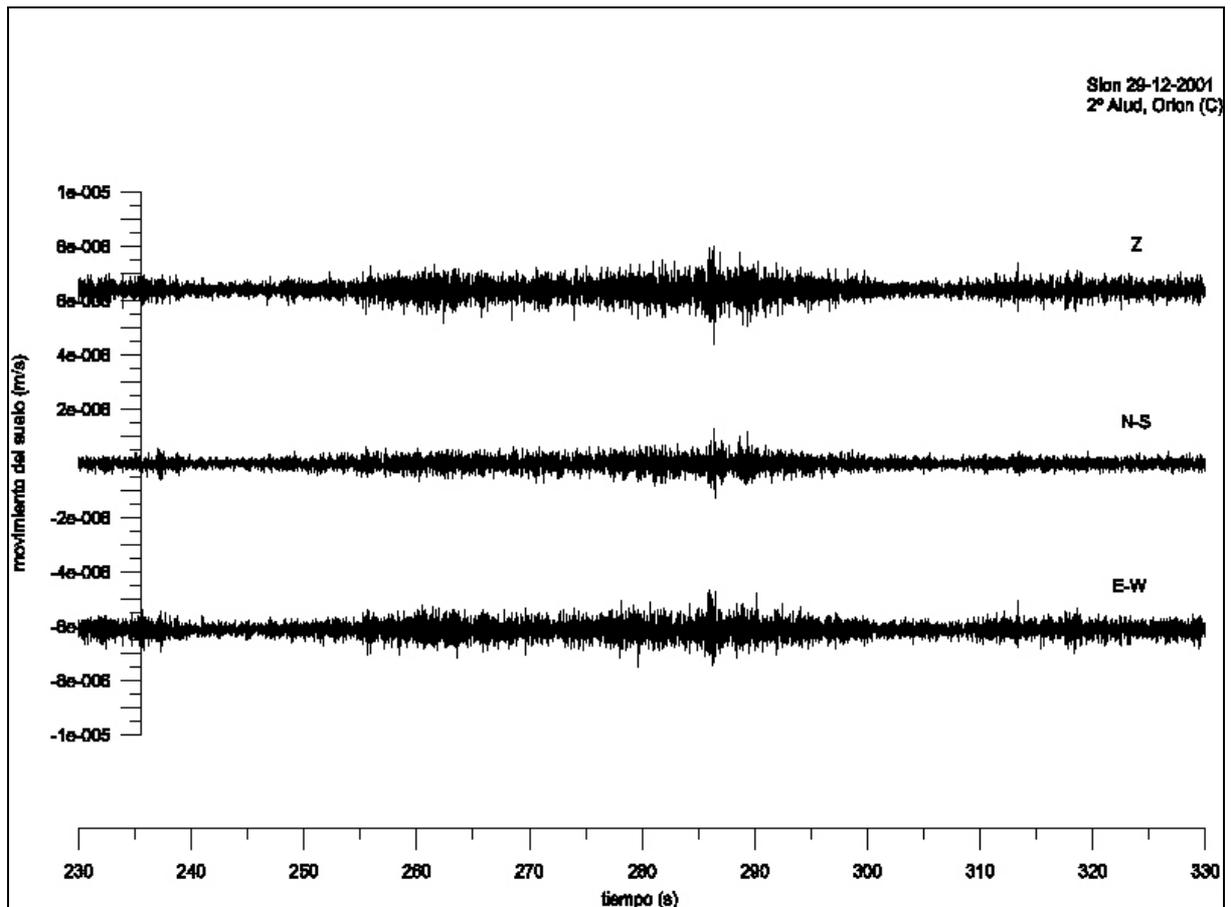


Figura 179. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 2º alud del 29 de diciembre de 2001

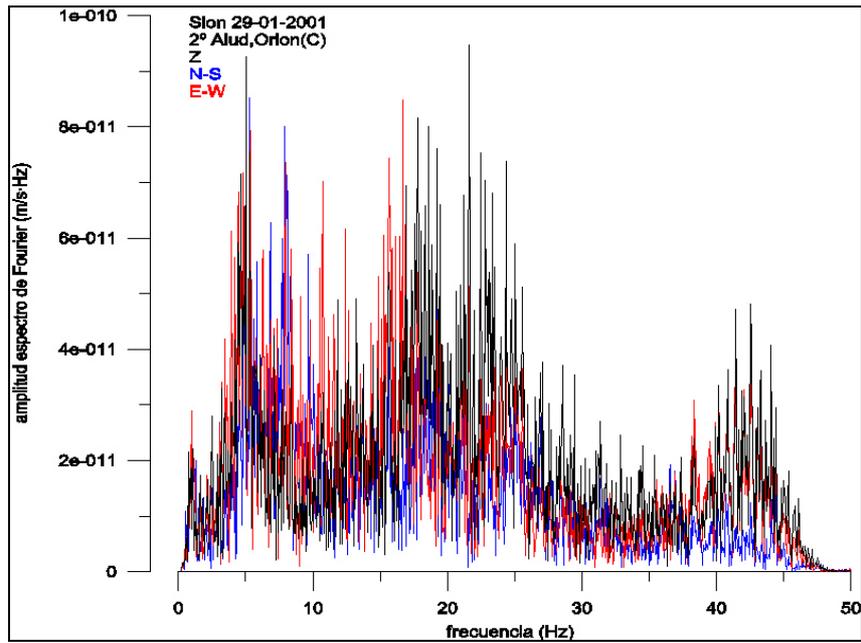


Figura 180. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estaci3n Orion del emplazamiento C durante el 2 alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calcul3 a partir de la señal comprendida entre 240 s y 321.92 s.

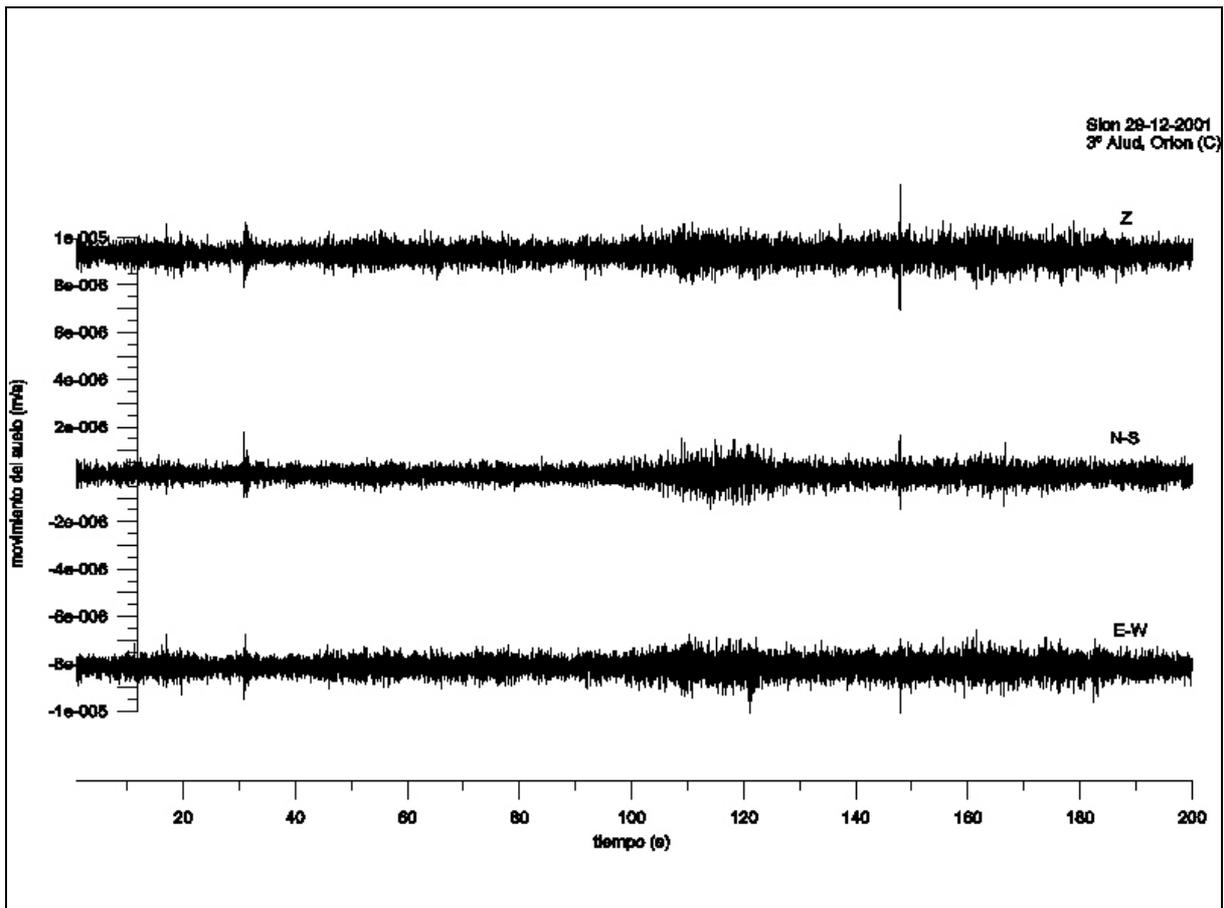


Figura 181. Señales registradas en la estaci3n Orion del emplazamiento C durante el 3 alud del 29 de diciembre de 2001

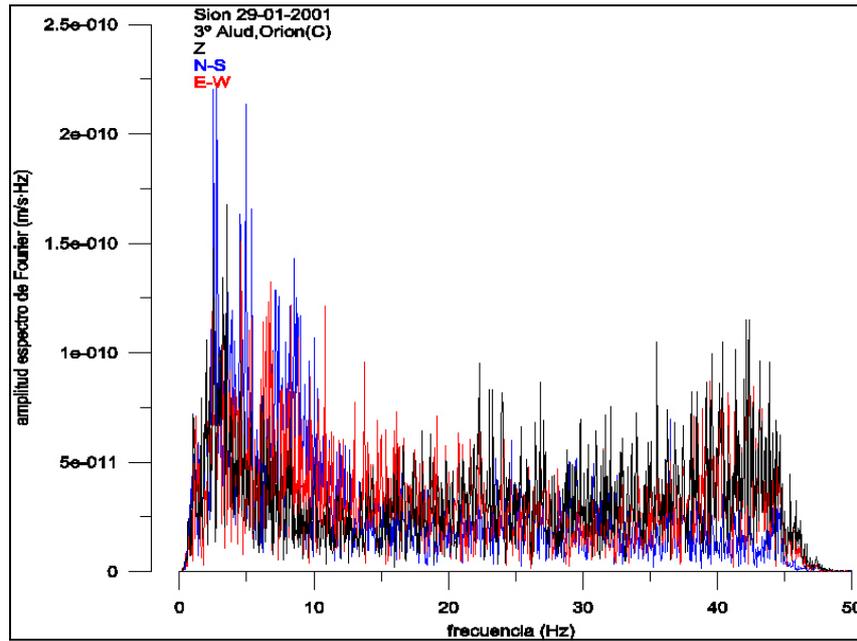


Figura 182. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 3° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 90 s y 130.96 s.

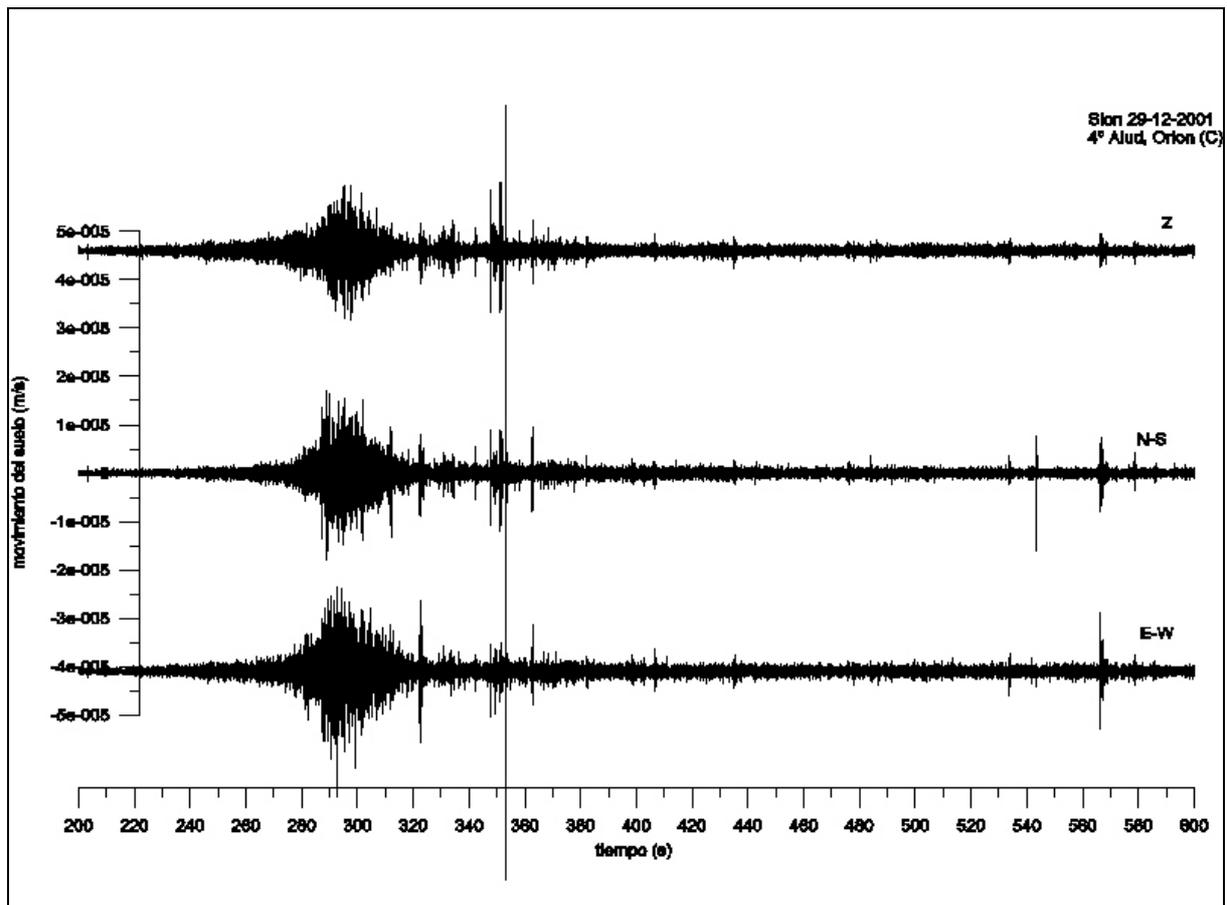


Figura 183. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 4° alud del 29 de diciembre de 2001

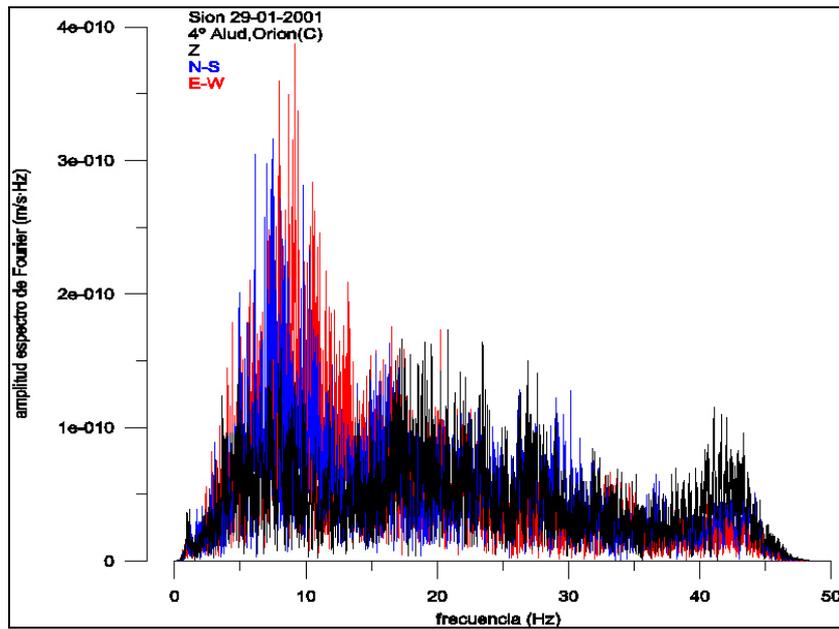


Figura 184. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 4º alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 200 s y 527.68 s.

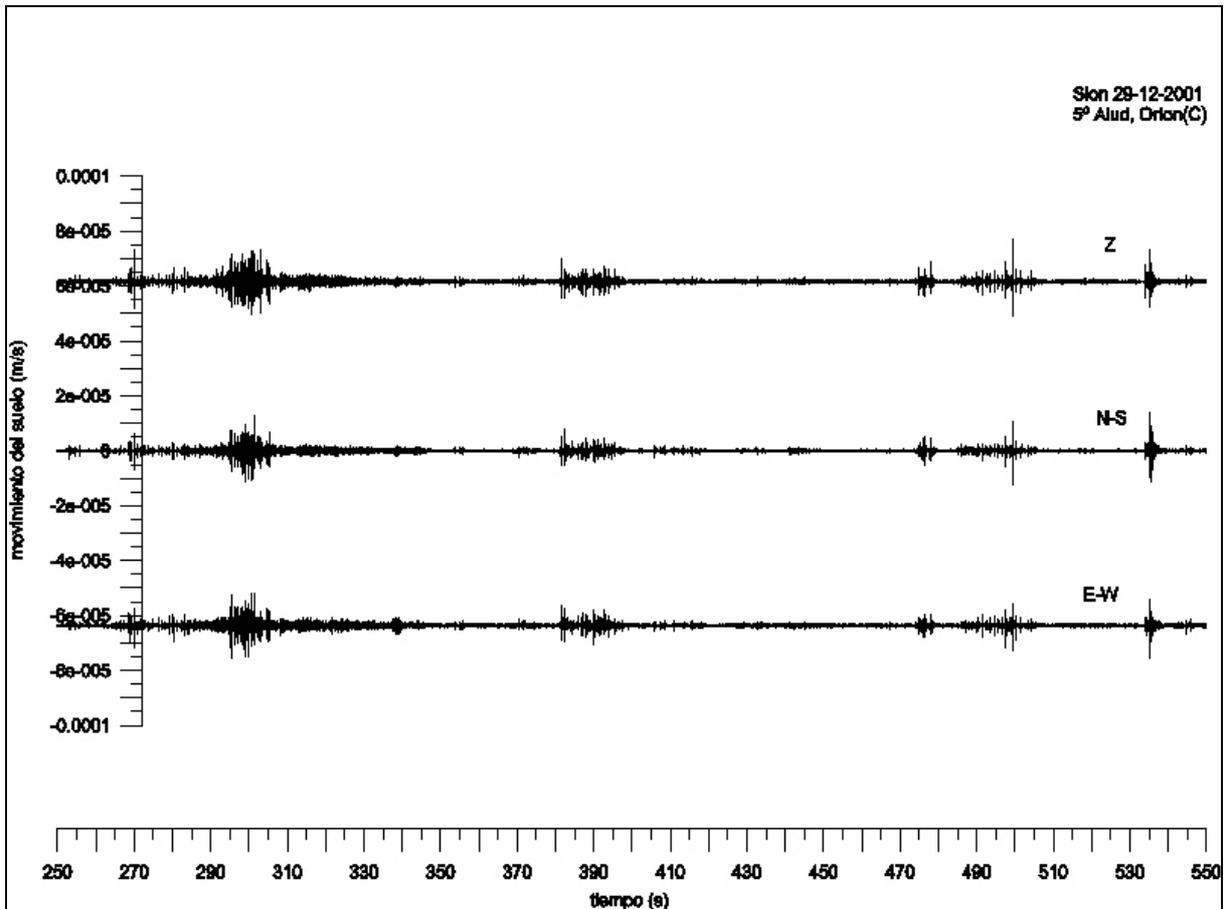


Figura 185. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 5º alud del 29 de diciembre de 2001

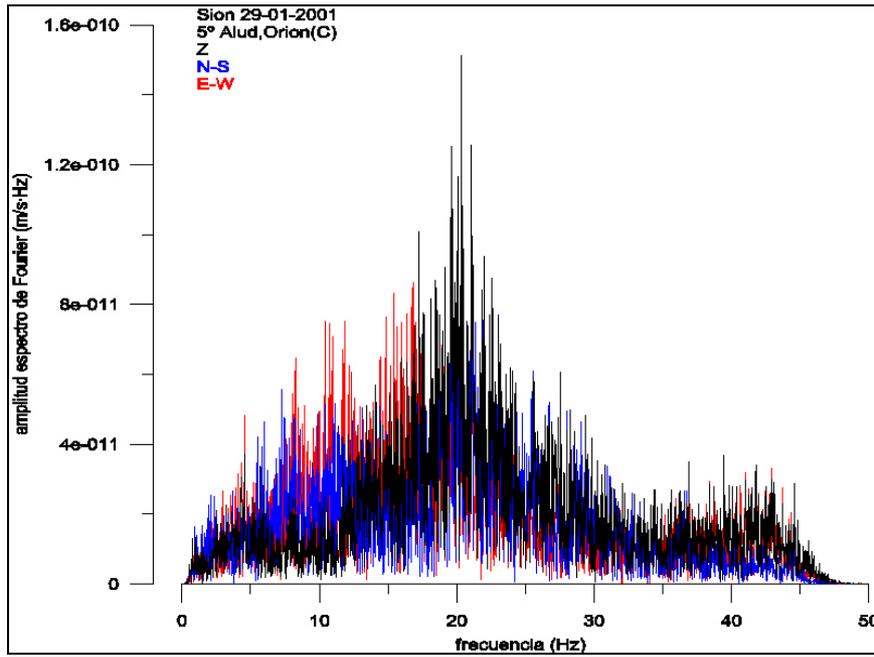


Figura 186. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 5° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 280 s y 443.84 s.

A.11.2 Alud del 13-2-2002

El 13 de febrero del 2002 se produjo un alud natural. Las dos estaciones Orion registraron las señales simultáneas al alud en los emplazamientos B y C.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo que se desplazó a la zona en días posteriores:

- ❖ Alud natural del 13 de febrero de 2002, 11:13 UTC (Figura 187).
- ❖ Alud de flujo y de nieve húmeda.
- ❖ El alud salió de Crêta Besse 1 sobre ~2450 m s.n.m.
- ❖ El alud se paró a ~10 m de distancia del mástil.
- ❖ El depósito sobre el mástil era de 2 m a 2.5 m.
- ❖ El alud pasó por encima del emplazamiento B.
- ❖ El frente del alud se detuvo a ~ 820 m del emplazamiento C.

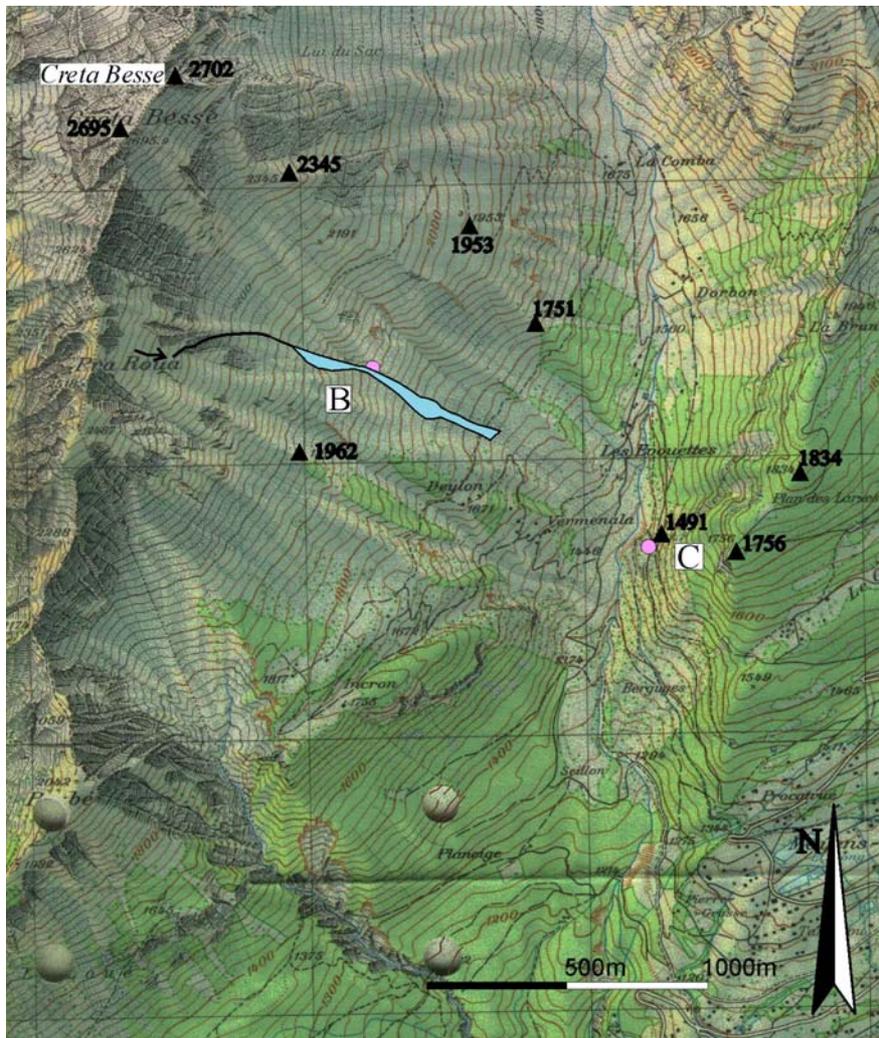


Figura 187. Cartografía del alud natural del 13 de febrero de 2002 en el Vallée de La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento B

El estudio del ruido de fondo (*Figura 188*) presenta una buena calidad de registro en las tres componentes, tan solo se observa un pico común que supera el nivel de ruido de la curva *Noisy* en [40-50] Hz.

Tal como se observa en la cartografía, este alud denso pasó por encima de la caverna donde se encontraba el sensor. El registro (*Figura 189*) en este emplazamiento presenta amplitudes máximas del orden de 10^{-3} m/s. La señal que empieza sobre los 330 s podría asociarse al alud, esta señal tiene una larga duración, de ~ 260 s. El contenido frecuencial (*Figura 190*) de la señal del alud comprendida entre 330 s y 493.84 s no presenta ningún pico destacado. Las amplitudes se reparten en todo el espectro [0-45] Hz con amplitudes similares. Esta señal fue considerada una SSA en el análisis de los resultados.

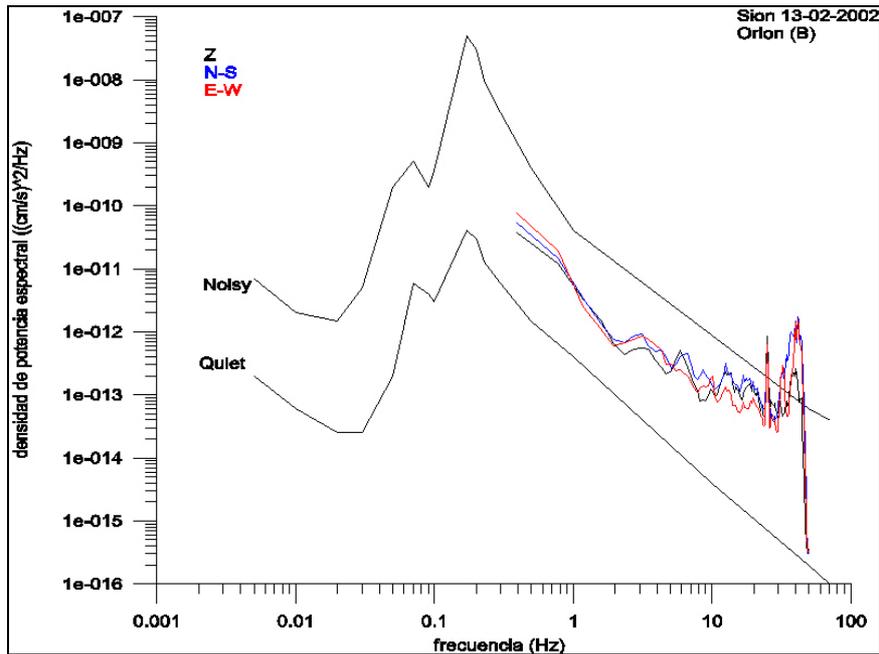


Figura 188. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 300 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 13 de febrero de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

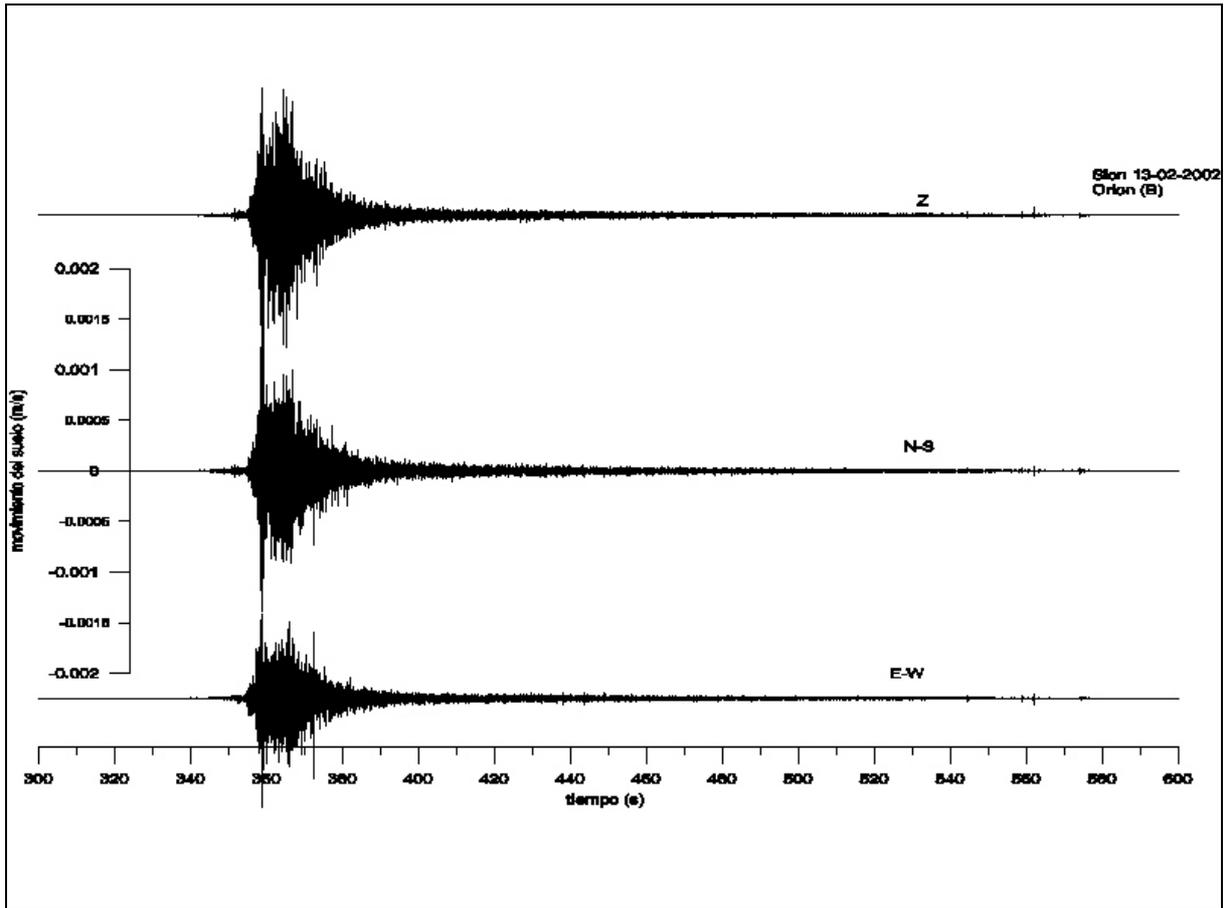


Figura 189. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 13 de febrero de 2002.

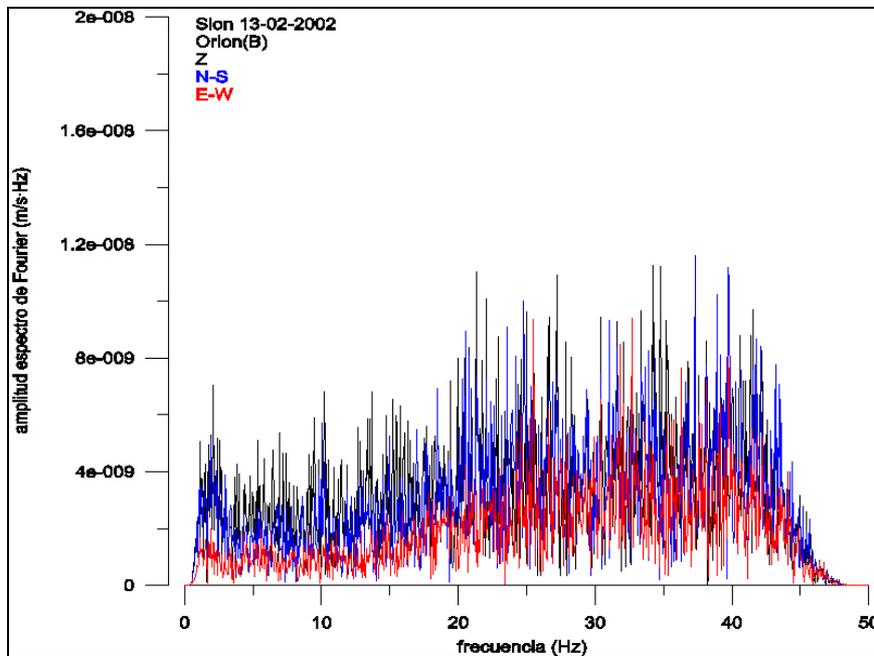


Figura 190. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 13 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 330s y 493.84 s

- Registros en el emplazamiento C

El estudio del ruido de fondo (*Figura 191*) de este emplazamiento evidenció un problema en el registro de la componente N-S por lo que esta componente no se tuvo en cuenta a la hora de interpretar los resultados. Las otras dos componentes superan la curva Noisy para frecuencias superiores a 8 Hz, el ruido de este emplazamiento se asoció a un problema electrónico. La señal (*Figura 192*) que empieza a distinguirse sobre los 160 s podría asociarse al alud, las amplitudes máximas son del orden de los 10^{-5} m/s y tiene una larga duración de ~ 360 s. El contenido frecuencial (*Figura 193*) de la señal comprendida entre 150 s y 477.68 s se concentra en los [5-15] Hz. Esta señal se consideró una SSA al analizar los resultados.

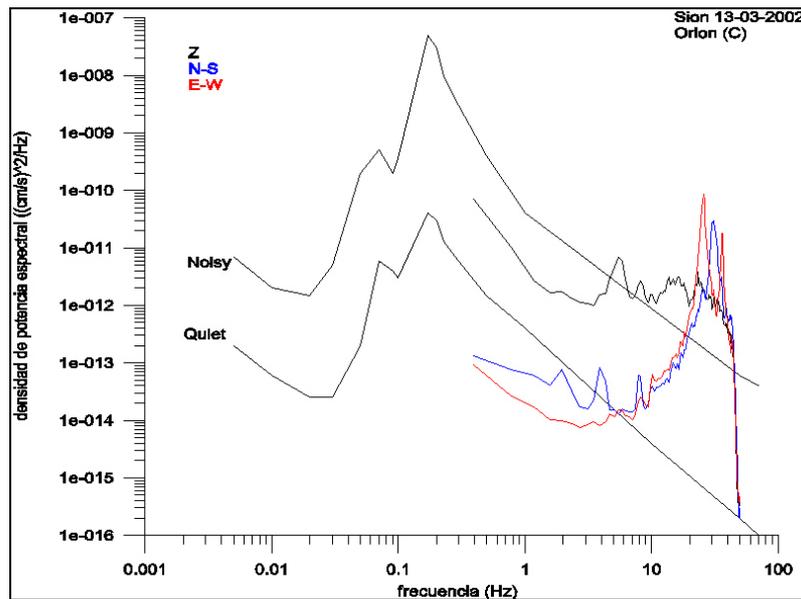


Figura 191. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 100 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 13 de febrero de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

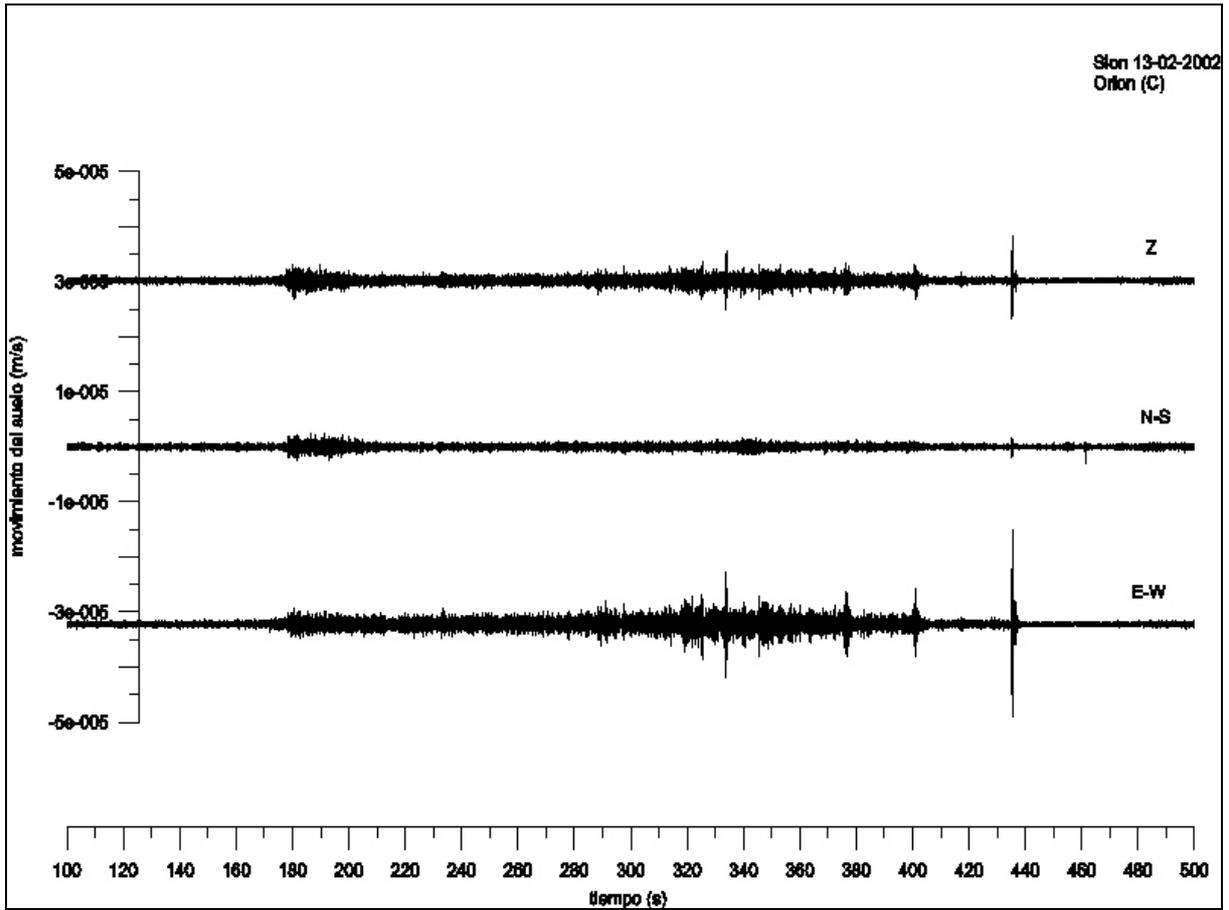


Figura 192. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 13 de febrero de 2002.

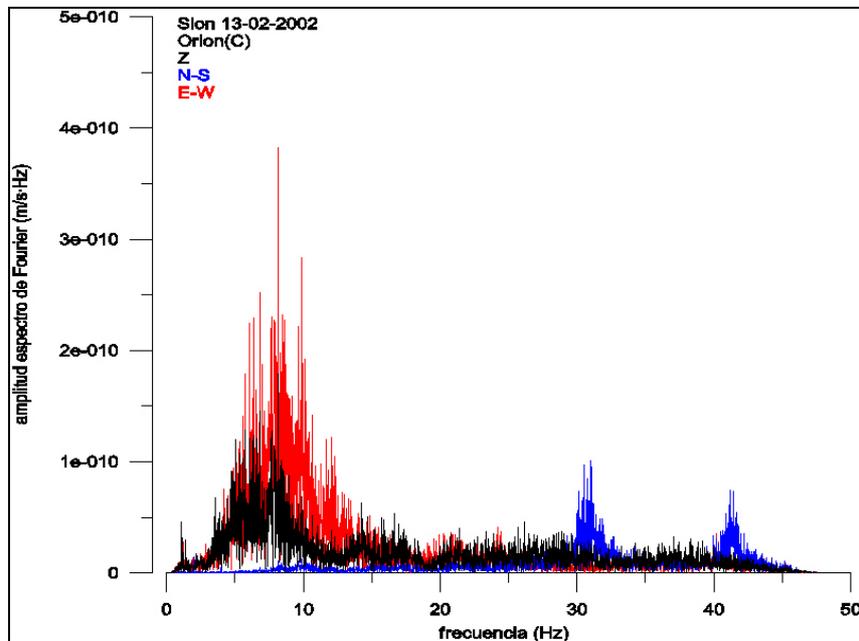


Figura 193. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 13 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 150s y 477.68 s.

A.11.3 Alud del 21-02-2002

El 21 de febrero del 2002 se produjo un alud natural por la noche. Las dos estaciones Orion obtuvieron los registros simultáneos al alud.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo que se desplazó a la zona en días posteriores.

- ❖ Alud natural del 21 de febrero de 2002, 20:45 UTC (Figura 194).
- ❖ El alud partió de la parte derecha de Crêta Besse 1, sobre los 2650 m s.n.m.
- ❖ El alud se paró ~100 m antes de llegar a los obstáculos.
- ❖ El alud pasó pro encima del emplazamiento B.
- ❖ El frente del alud se detuvo a ~1090 m del emplazamiento C.

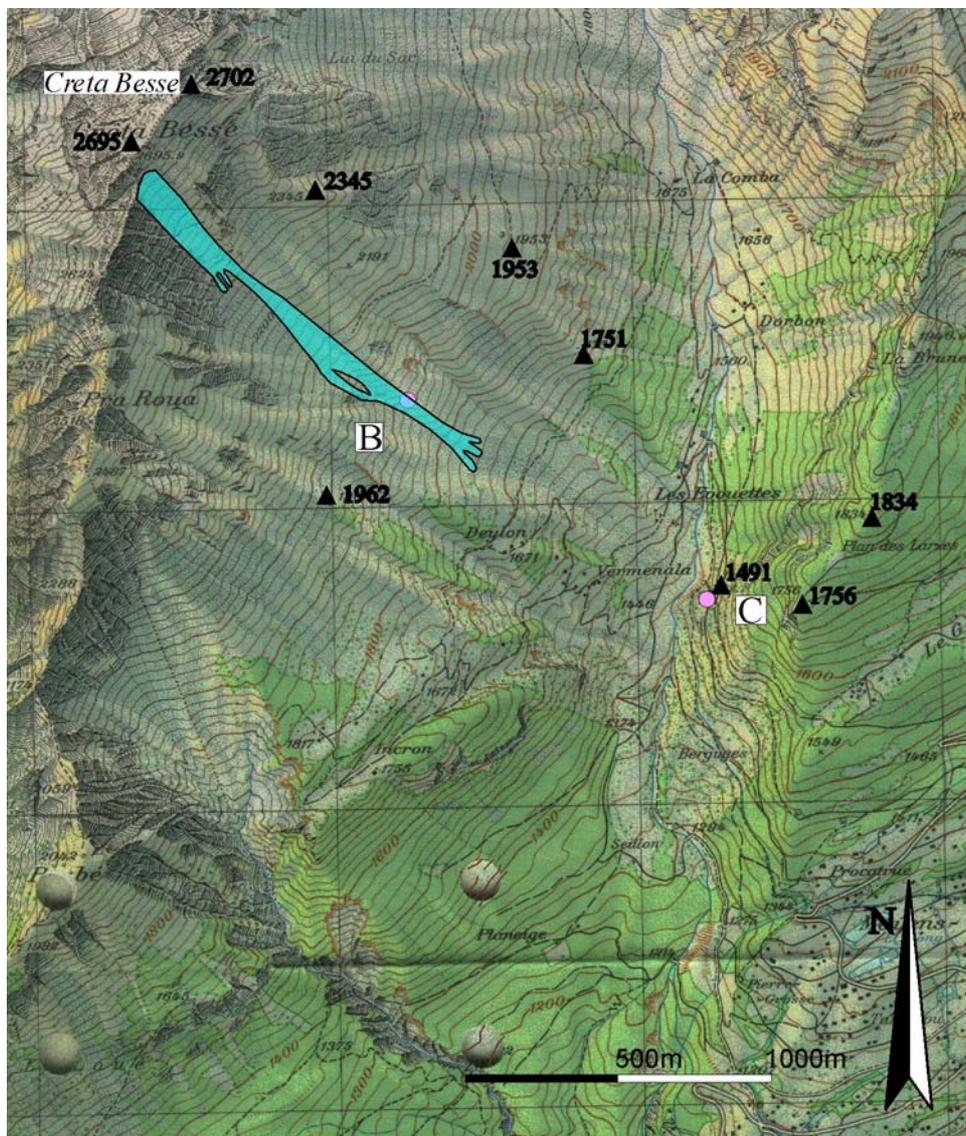


Figura 194. Cartografía del alud natural del 21 de febrero de 2002 en el Vallée La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento B

El estudio del ruido de fondo (*Figura 195*) muestra unos registros de buena calidad.

La señal (*Figura 196*) generada durante este alud en el emplazamiento B tiene amplitudes máximas del orden de 10^{-4} m/s. Este alud pasó por encima de la caverna donde estaba el sensor. La señal que podría asociarse al alud empieza a 340 s y tiene una duración de ~ 114 s. Se calculó el espectro total de la señal comprendido entre 340 s y 380.96 s. El resultado (*Figura 197*) muestra unas amplitudes similares repartidas en todo el espectro [0-45] Hz. Esta señal contribuyó como una SSA en el análisis de los resultados.

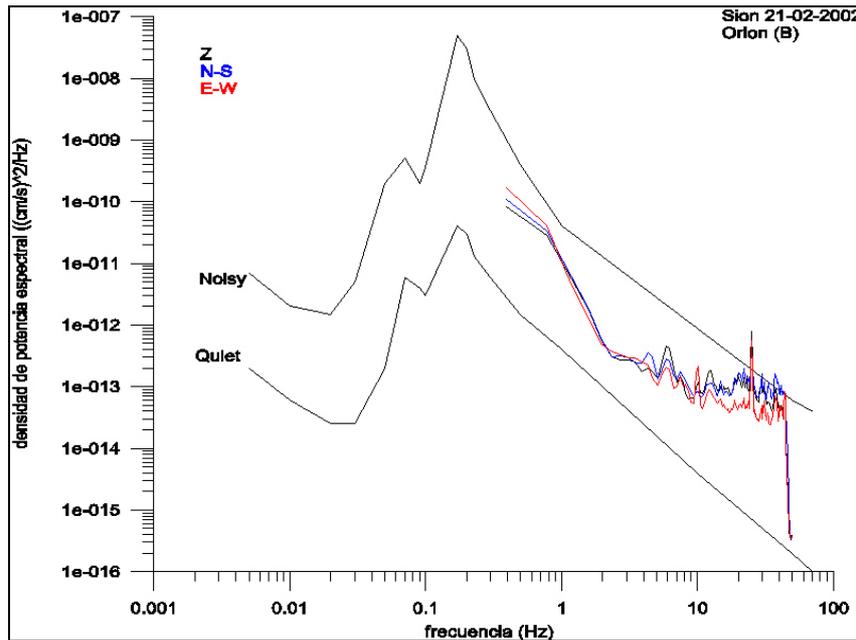


Figura 195. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 200 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 21 de febrero de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

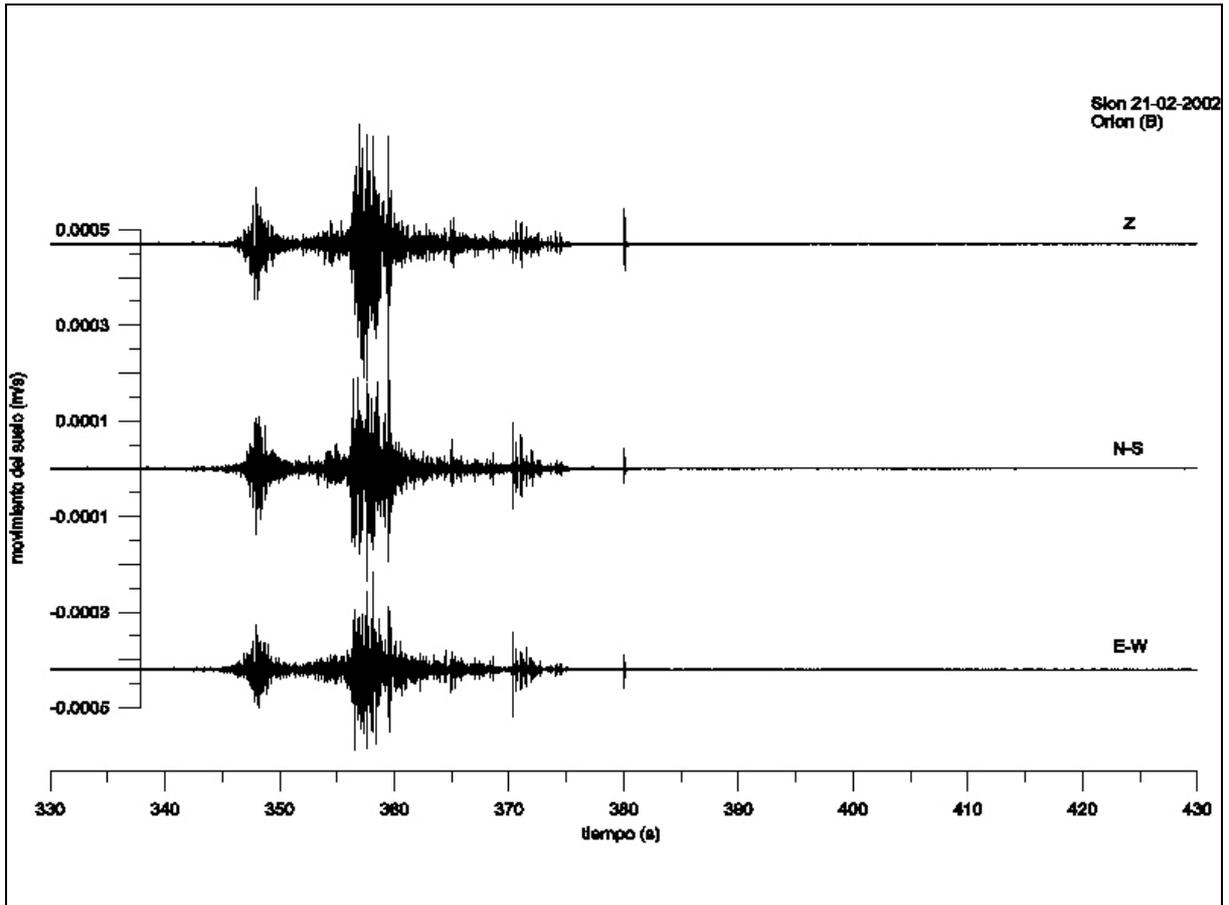


Figura 196. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 21 de febrero de 2002.

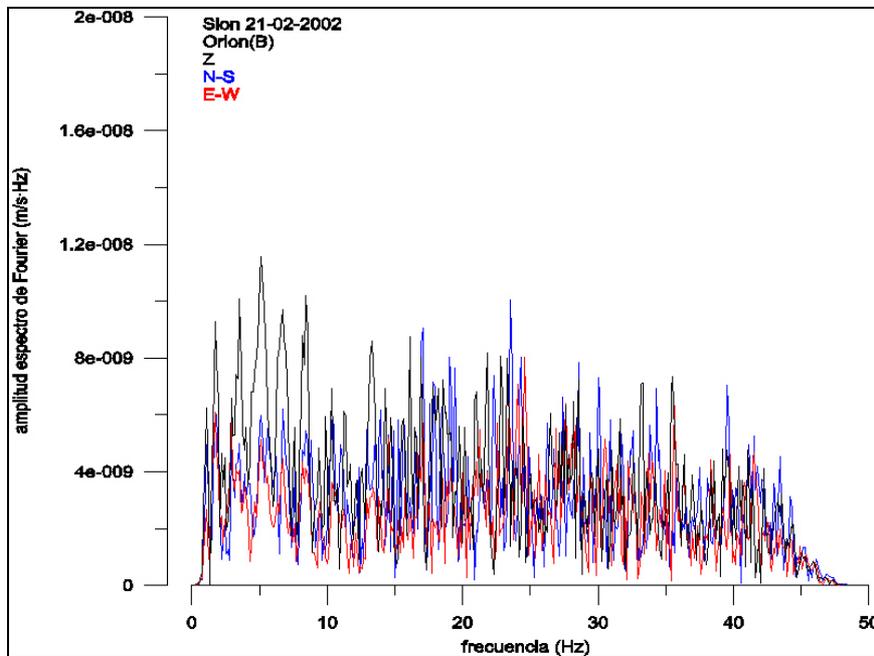


Figura 197. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 21 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 340 s y 380.96 s.

- Registros en el emplazamiento C

El estudio del ruido de fondo (*Figura 198*) de este emplazamiento mostr3 una anomalía grave en el registro de la componente N-S por lo que esta componente no se tendr3 en cuenta a la hora de interpretar los resultados. Las otras componentes E-W y Z superan la curva Noisy en frecuencias superiores a 8 Hz y 15 Hz respectivamente. El ruido de este emplazamiento se atribuy3 a un problema de tipo electr3nico.

Los registros (*Figura 199*) de las otras dos componentes son del orden de 10^{-6} m/s. Dado la baja amplitud de los registros y el alto nivel de ruido es difícil discernir el principio y la duraci3n de la señal que podría haber sido generada por el alud. El espectro total (*Figura 200*) de la señal entre 350 s y 390.96 s muestra máximas amplitudes en [0-25] Hz. La componente Z no se concentra en ningún pico en concreto. Esta señal contribuy3 como una SSA al analizar los resultados.

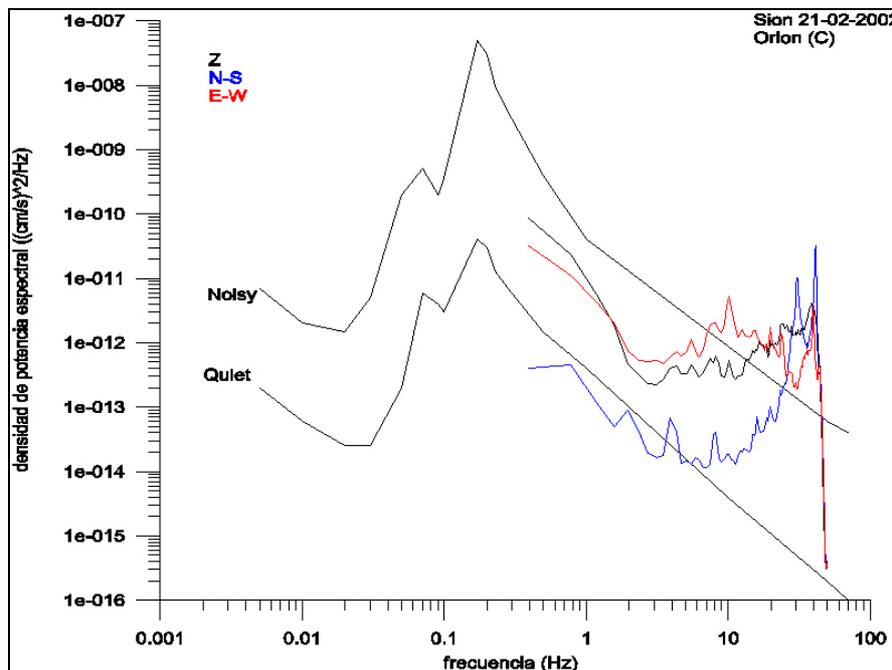


Figura 198. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 200 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estaci3n Orion en el emplazamiento C el 21 de febrero de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

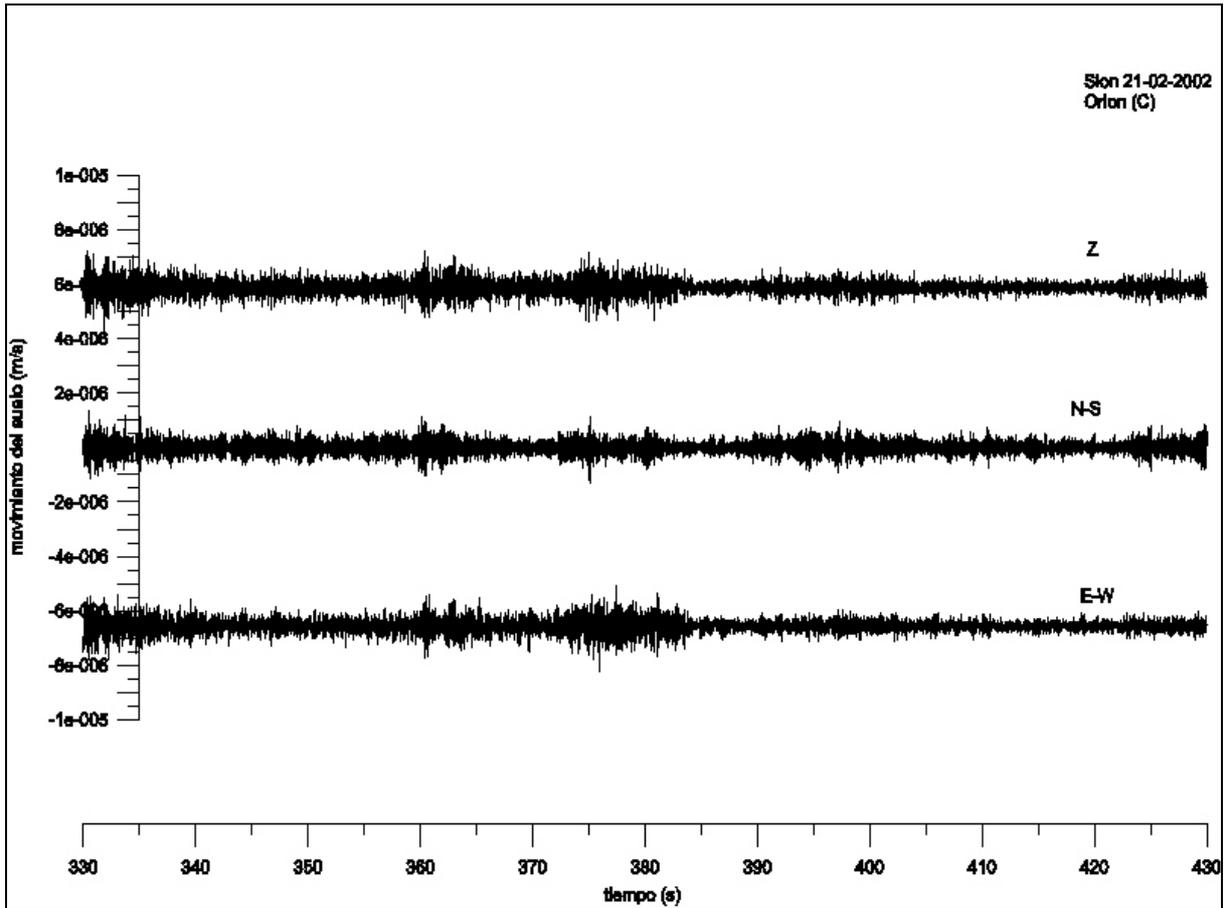


Figura 199. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 21 de febrero de 2002.

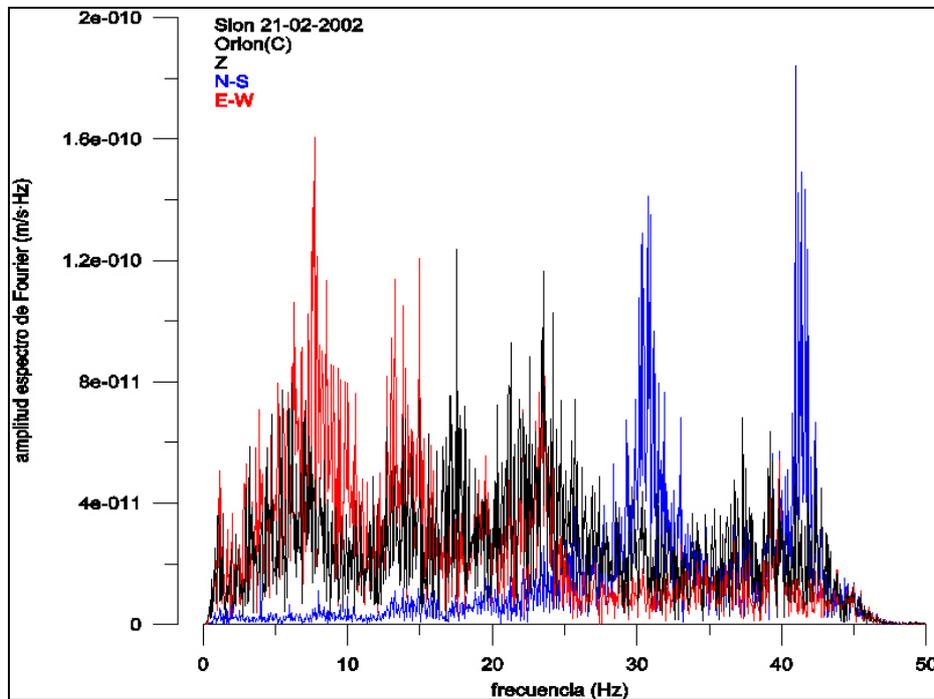


Figura 200. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 21 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 350 s y 390.96 s

A.11.4 Aludes del 22-02-2002

El 22 de febrero de 2002 el equipo científico suizo se desplazó hasta el centro de control para realizar unos experimentos provocando aludes. Se provocaron tres explosiones de las cuales la primera desencadenó un alud de mediana dimensión, la segunda desencadenó un alud pequeño y la tercera no desencadenó ningún alud. Los dos aludes fueron registrados en las dos estaciones Orion de los emplazamientos B y C.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo que se encontraba en el centro de control en el momento del experimento.

Primer alud provocado el 22 de febrero de 2002, 7:52 UTC (Figura 201):

- ❖ *El alud salió de la parte izquierda de Crêta Besse 1.*
- ❖ *Alud mixto.*
- ❖ *El alud se paró al llegar a los 1800 m s.n.m.*
- ❖ *La altura de la fractura es de ~40 cm.*
- ❖ *El alud pasó por encima del emplazamiento B.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~1080 m del emplazamiento C.*

Segundo alud provocado el 22 de febrero de 2002, 7:58 UTC (Figura 201):

- ❖ *El alud salió de la parte izquierda de Crêta Besse 2.*
- ❖ *El alud llegó hasta los 2300 m s.n.m.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~740 m del emplazamiento B.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~2130 m del emplazamiento C.*

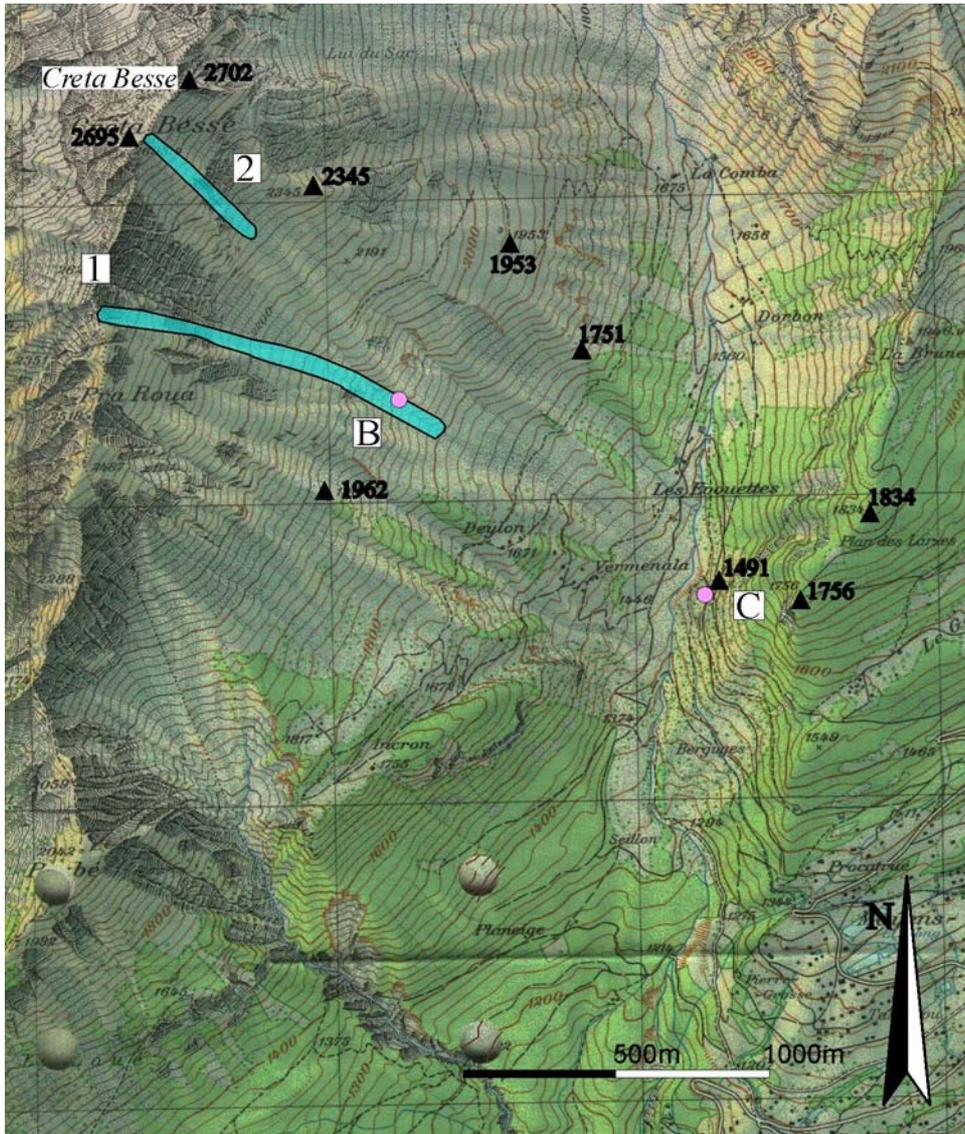


Figura 201. Cartografías de los aludes artificiales del 22 de febrero de 2002 en el Vallée de La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento B

El estudio del ruido de fondo (Figura 202) muestra que las tres componentes superan el nivel de ruido de la curva *Noisy* para frecuencias superiores a 10 Hz, también destacan dos picos a 20 Hz y a 40 Hz. Hay que considerar que durante los experimentos un helicóptero sobrevolaba la zona.

- Primer alud

En los registros (Figura 203) se distinguen la señal de la explosión a 0 s y a continuación una señal que podría atribuirse al alud a 60 s y que dura ~105 s. Las amplitudes máximas de estos registros son del orden de 10^{-4} m/s. La componente vertical presenta amplitudes algo mayores que las componentes horizontales. Se calculó el espectro (Figura 204) de la señal comprendida entre 30.14 s y 112.06 s. Las amplitudes se distribuyen en todo el espectro con valores similares. Esta señal contribuyó como una SSA en el análisis de resultados.

- Segundo alud

El segundo alud fue de dimensiones menores. Se registró una señal asociable al alud (*Figura 205*) de amplitudes máximas del orden de 10^{-6} m/s. Dado las bajas amplitudes es difícil discernir el principio y el final de la señal que podría pertenecer al alud. El espectro (*Figura 206*) del registro entre 38.83 s y 120.75 s es similar (14) al del ruido de fondo. Al analizar los resultados se consideró que la SSA generada por este alud no podía distinguirse de la señal del ruido de fondo.

(14) Para hacer esta comparación se calculó la densidad de potencia espectral de esta señal a pesar de que no se presenta este cálculo.

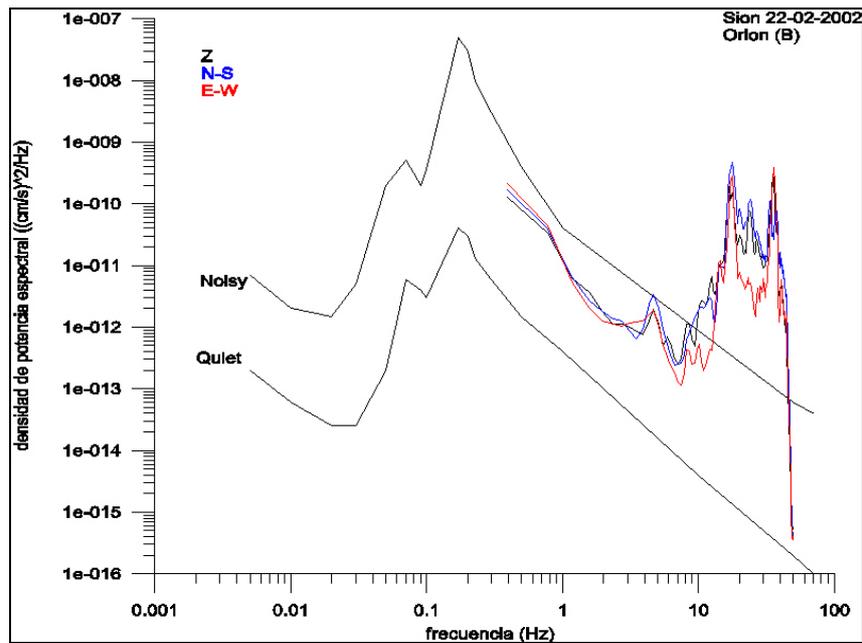


Figura 202. Curvas de densidad de potencia espectral. Estas curvas se calcularon a partir de 100 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 22 de febrero de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

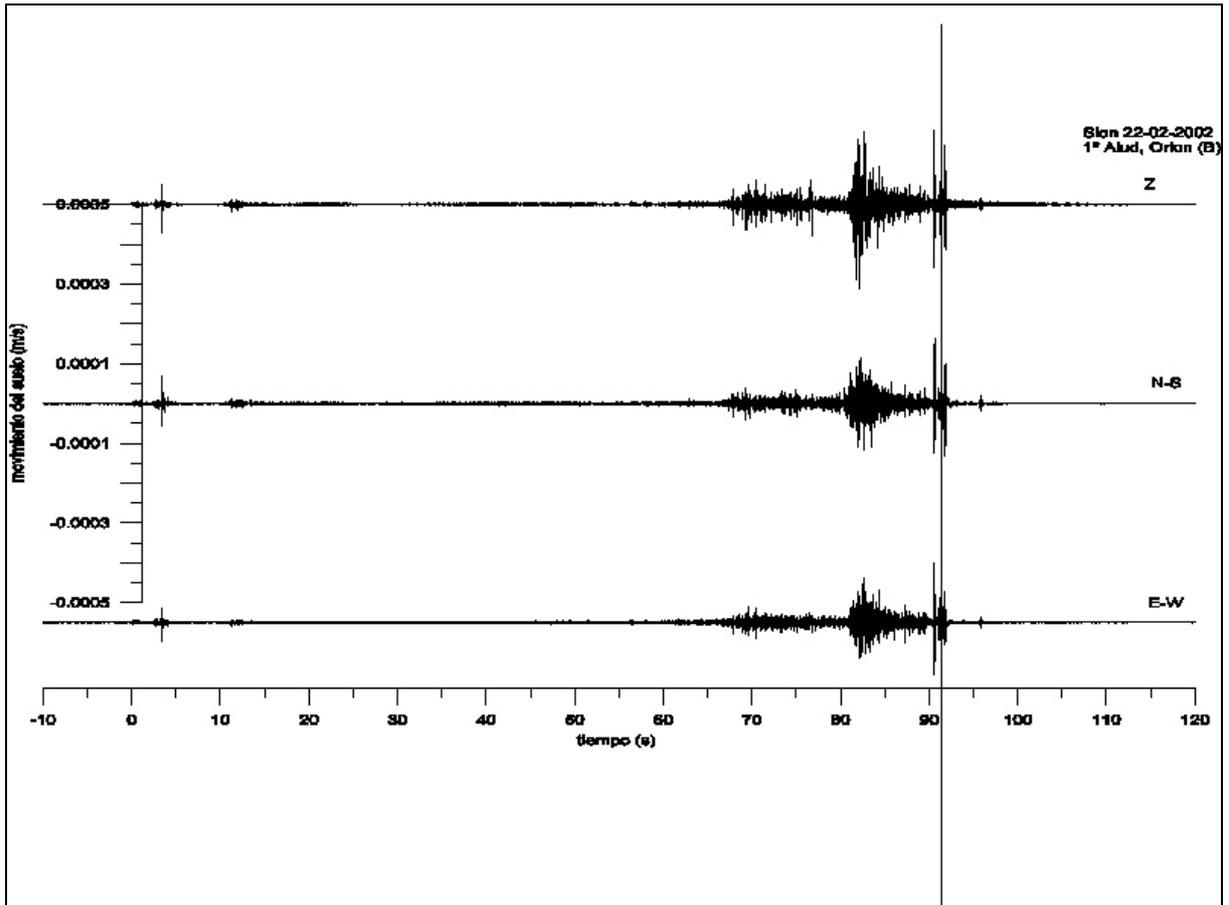


Figura 203. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 1° alud del 22 de febrero de 2002. El alud fue provocado por una explosión

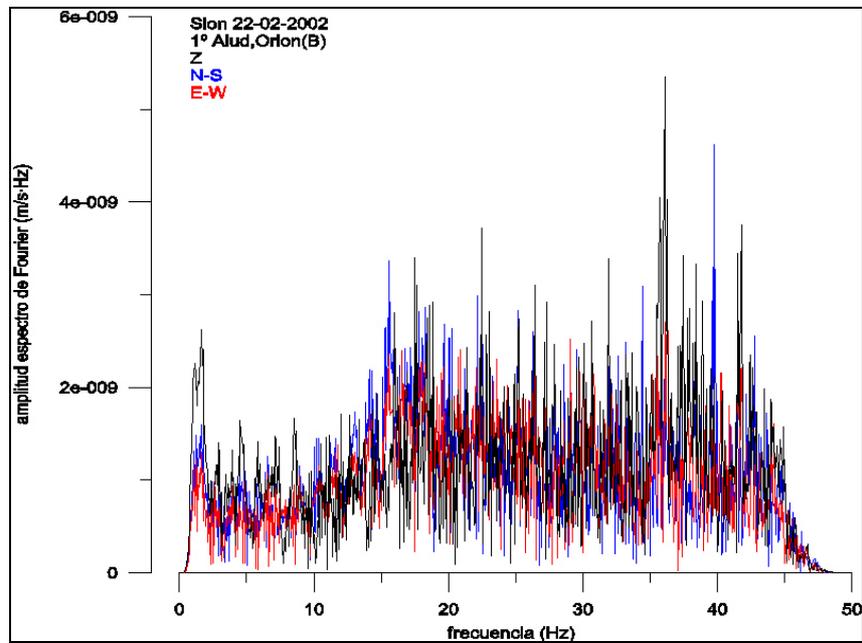


Figura 204. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 1° alud del 22 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 30.14 s y 112.06s.

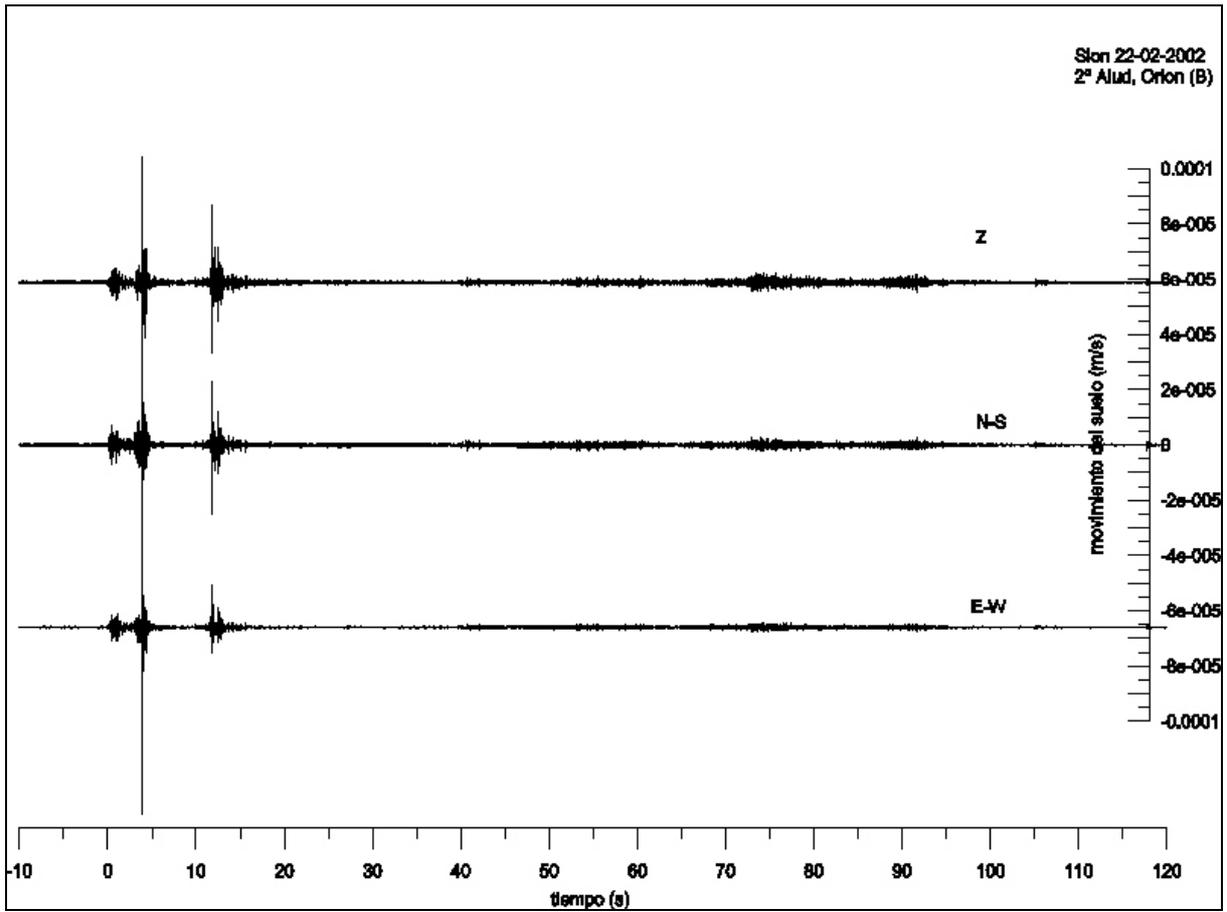


Figura 205. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2º alud del 22 de febrero de 2002. El alud fue provocado por una explosión.

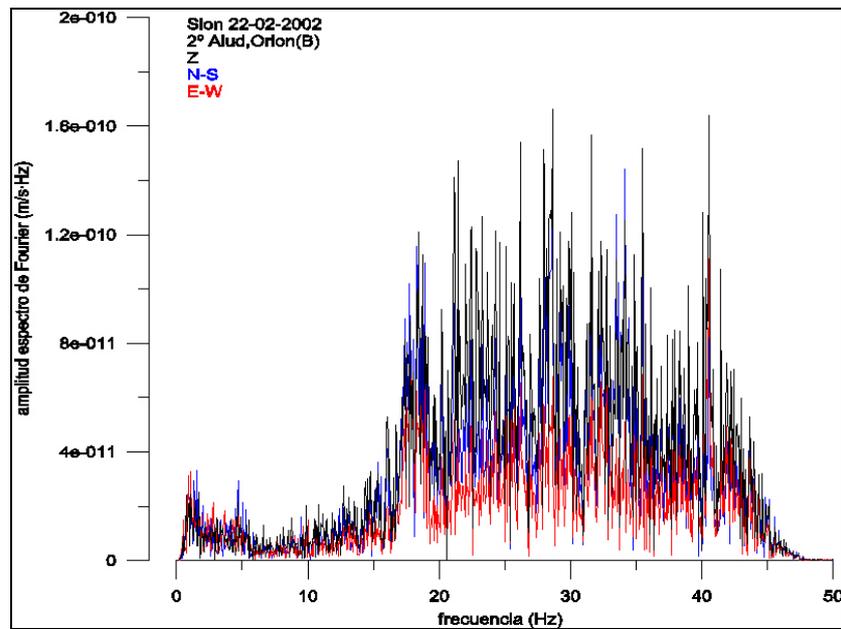


Figura 206. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2º alud del 22 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 38.83 s y 120.75s.

- Registros en el emplazamiento C

El ruido de fondo (*Figura 207*) muestra una componente N-S con graves anomalías al igual que en los resultados de días anteriores, esta componente no se tuvo en cuenta a la hora de analizar los resultados. En las otras dos componentes se aprecian dos picos, a 20 Hz y a [30-40] Hz que podrían atribuirse al ruido del helicóptero que sobrevolaba la zona durante el experimento.

- Primer alud

Durante el desarrollo de este alud mediano se generó una señal (*Figura 208*) del orden de 10^{-6} m/s y ~ 40 s de duración. A 20 s y a 100 s se aprecian unas señales que podrían estar asociadas al alud. Los contenidos frecuenciales (*Figura 209*) de estos registros son similares (15) a los del ruido de fondo. Al analizar los resultados se consideró que la SSA generada por este alud no podía diferenciarse de la señal del ruido de fondo.

- Segundo alud

En los registros (*Figura 210*) sólo se distingue la señal de la explosión a 0 s. Se calculó el espectro de la señal comprendida entre los 82.29 s y los 128.25 s, en el resultado (*Figura 211*) se observa un pico estrecho centrado sobre 18 Hz similar (15) al observado en el ruido de fondo. Al analizar los resultados se consideró que la SSA generada por este alud no podía diferenciarse de la señal del ruido de fondo.

(15) Para hacer estas comparaciones se calculó la densidad de potencia espectral de estos registros a pesar de que no se presentan los cálculos.

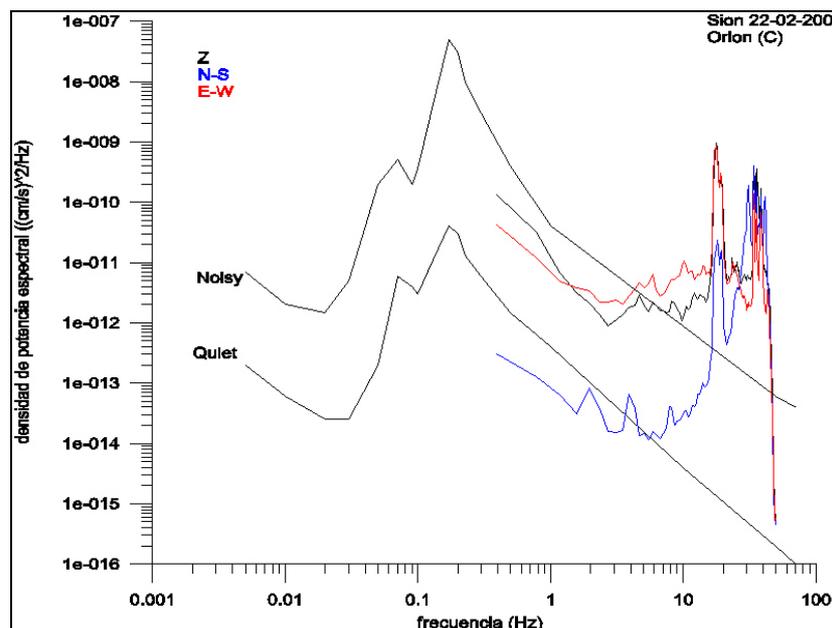


Figura 207. Curvas de densidad de potencia espectral. Estas curvas se calcularon a partir de 120 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 22 de febrero de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

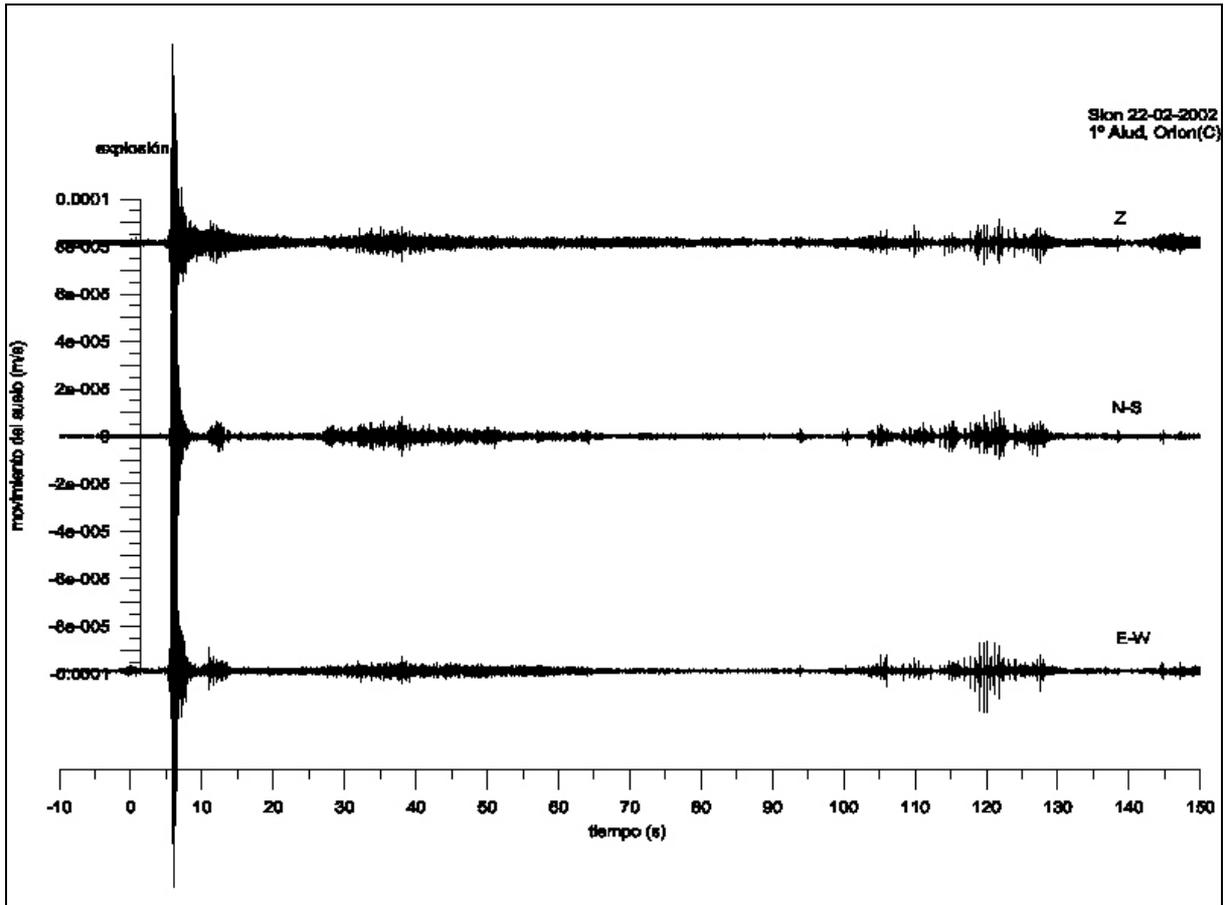


Figura 208. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 22 de febrero de 2002. El alud fue provocado por una explosión

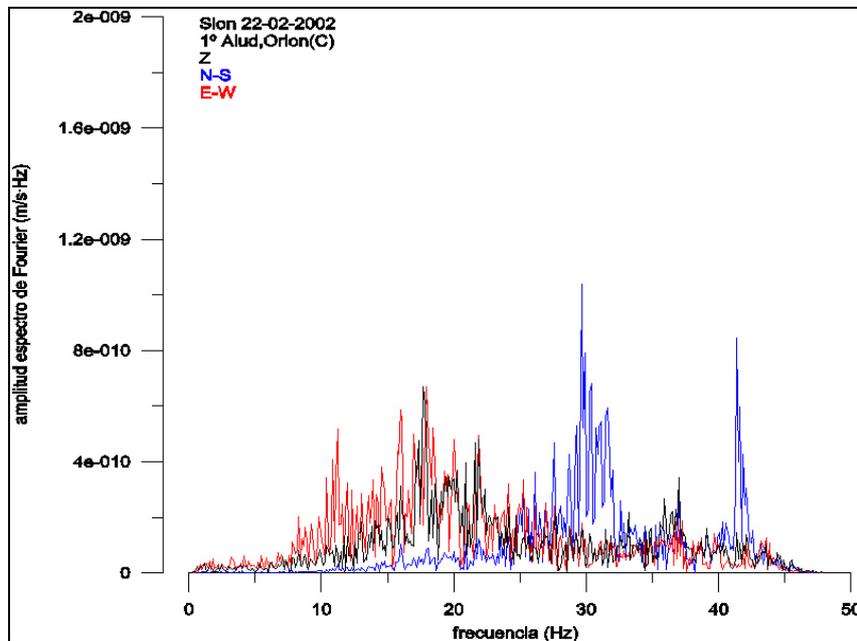


Figura 209. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 22 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 92.6 s y 133.56s.

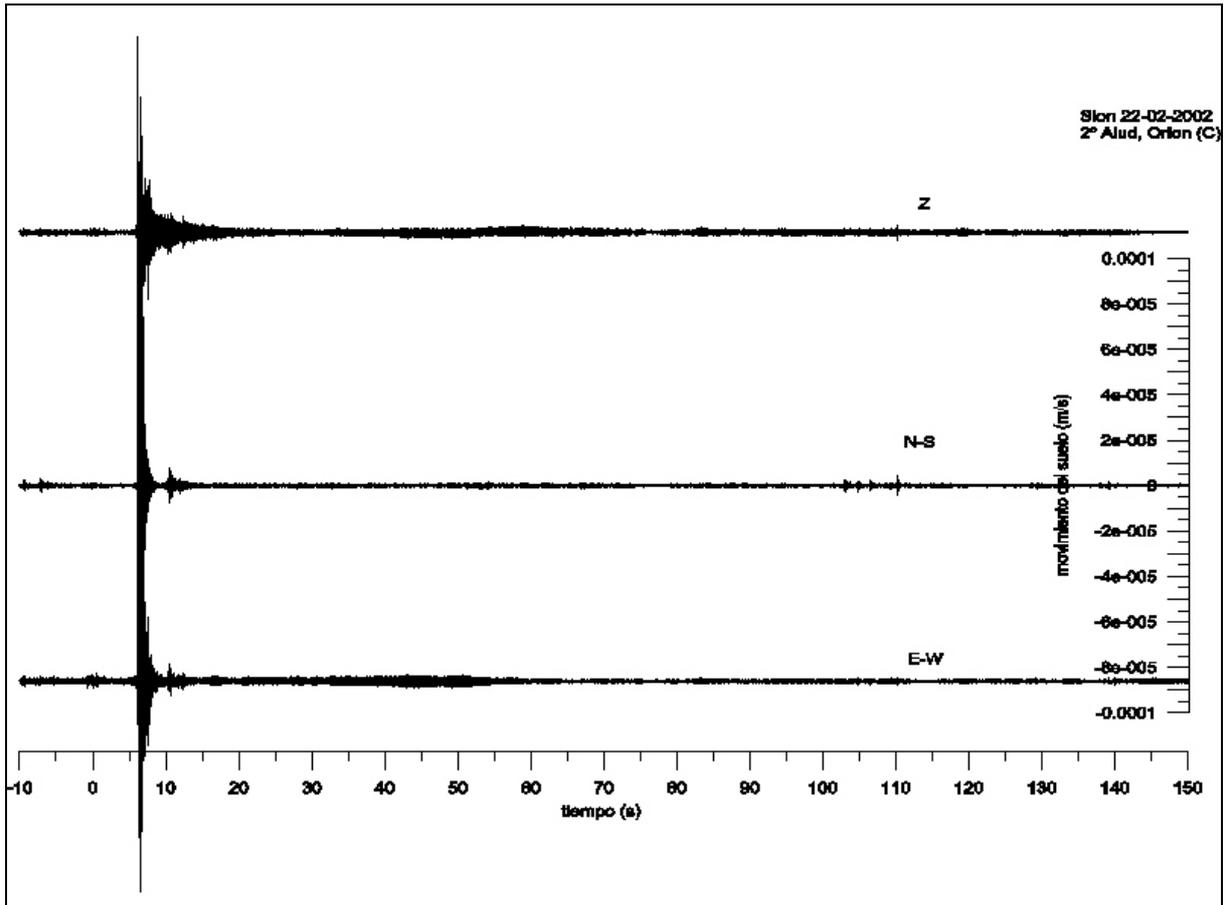


Figura 210. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 2º alud del 22 de febrero de 2002. El alud fue provocado por una explosión.

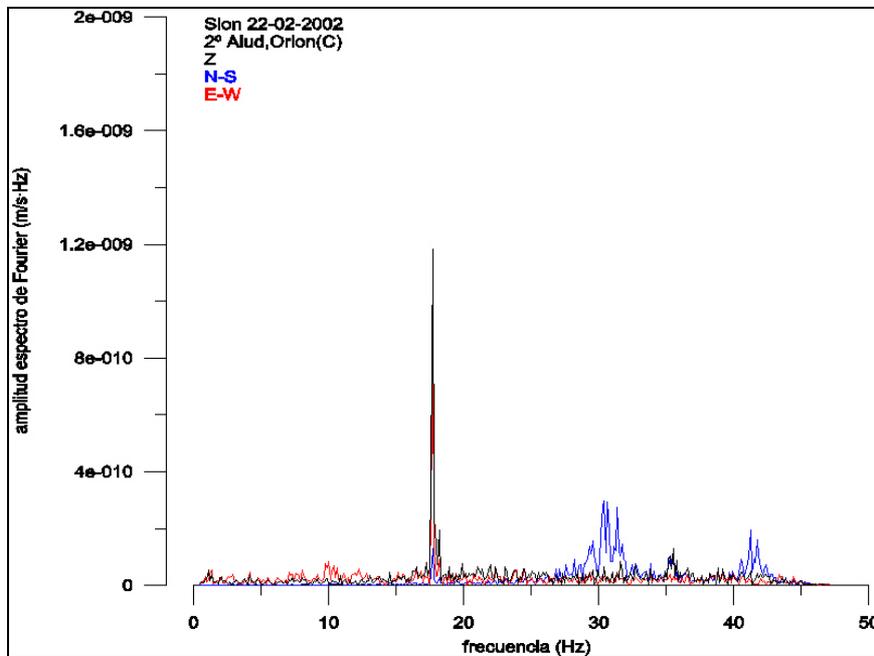


Figura 211. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 22 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 82.29 s y 128.25 s.

A.11.5 Alud del 13-03-2002

El día 13 de marzo de 2002 se registró un alud espontáneo por la mañana. Las estaciones de los emplazamientos B y C realizaron los registros durante el desarrollo del alud.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo que se desplazó a la zona en días posteriores.

- ❖ *Alud natural del 13 de marzo de 2002, 8:05 UTC (Figura 212).*
- ❖ *El alud salió de la parte izquierda de Crête Besse 1, y su zona de salida se encuentra ~2600 m s.n.m.*
- ❖ *El alud paró ~150 m después de los obstáculos.*
- ❖ *Alud de flujo y nieve húmeda.*
- ❖ *El alud pasó por encima del emplazamiento B.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~680 m del emplazamiento C.*

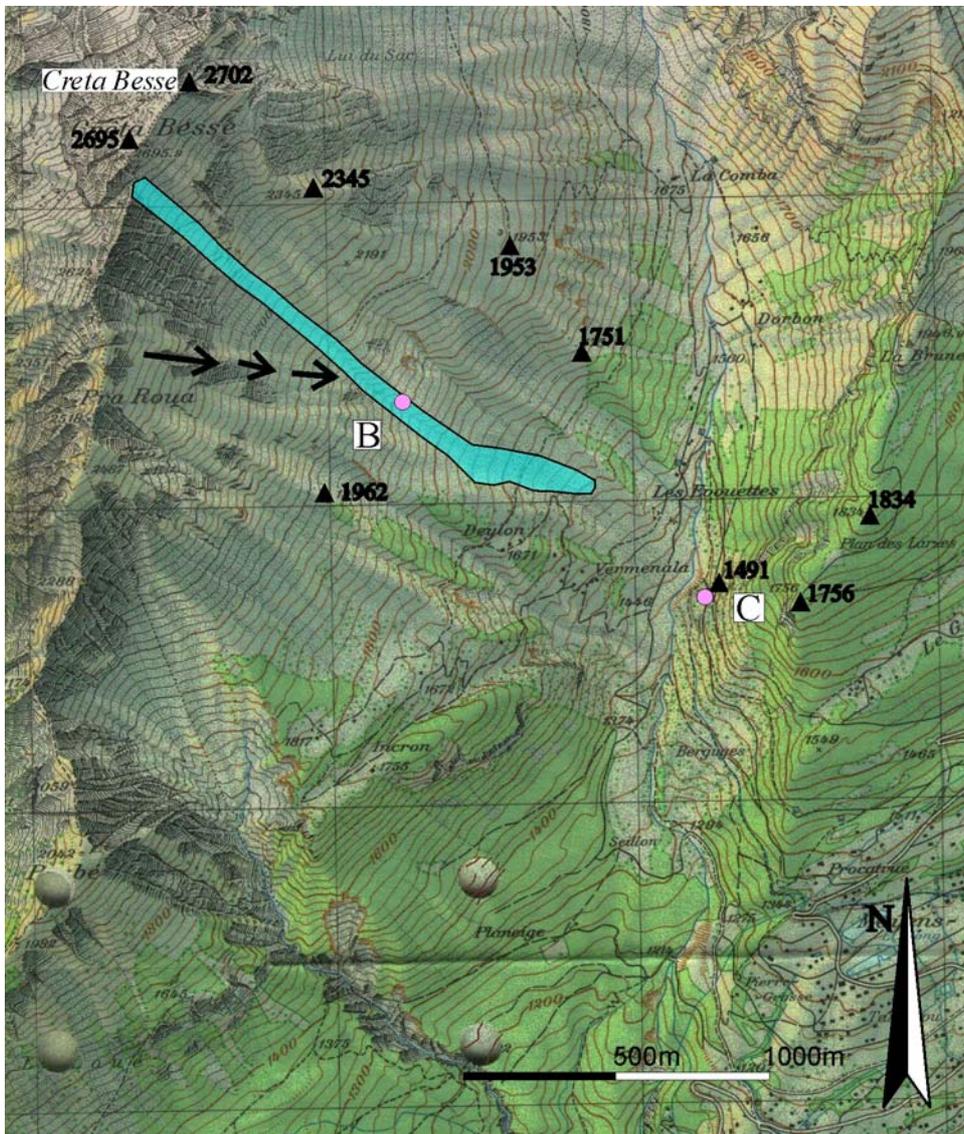


Figura 212. Cartografía del alud del 13 de marzo de 2002 en el Vallée de La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento B

El estudio del ruido de fondo (*Figura 213*) de este emplazamiento muestra como la componente E-W supera el nivel de ruido *Noisy* para frecuencias superiores a 2 Hz y la componente Z lo supera en un pico entre [10-25] Hz.

Este alud denso pasó por encima de la caverna B. Las amplitudes máximas registradas (*Figura 214*) en este emplazamiento son del orden de 10^{-3} m/s. El principio de la señal que podría asociarse al alud se distingue sobre los 80 s y tiene una larga duración de ~ 338 s. El espectro de la señal comprendida entre 60 s y 387.68 s (*Figura 215*) muestra amplitudes similares repartidas a lo ancho de todo el espectro [0-45] Hz. Esta señal contribuyó como una SSA en el análisis de los resultados.

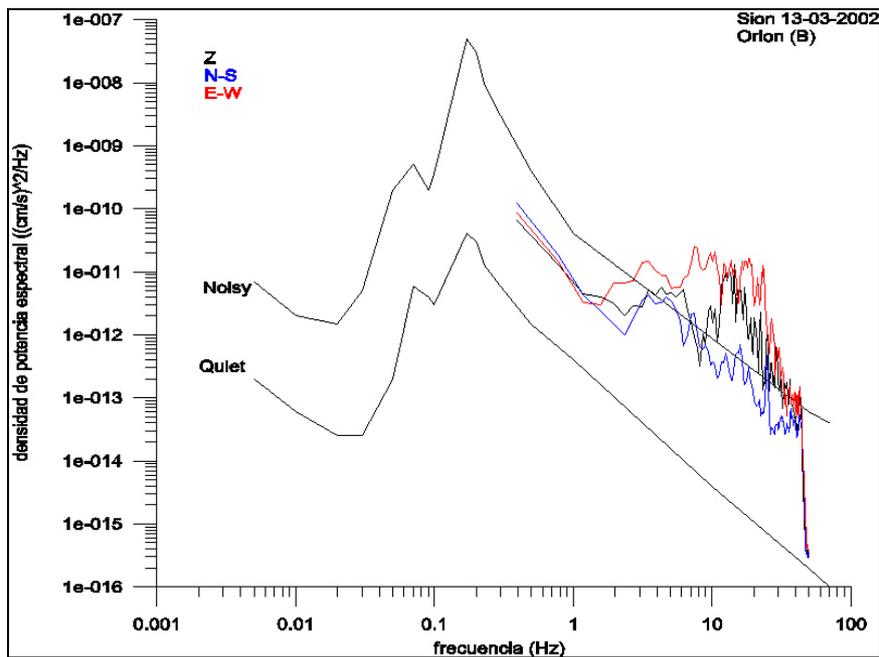


Figura 213. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 80 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 13 de marzo de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

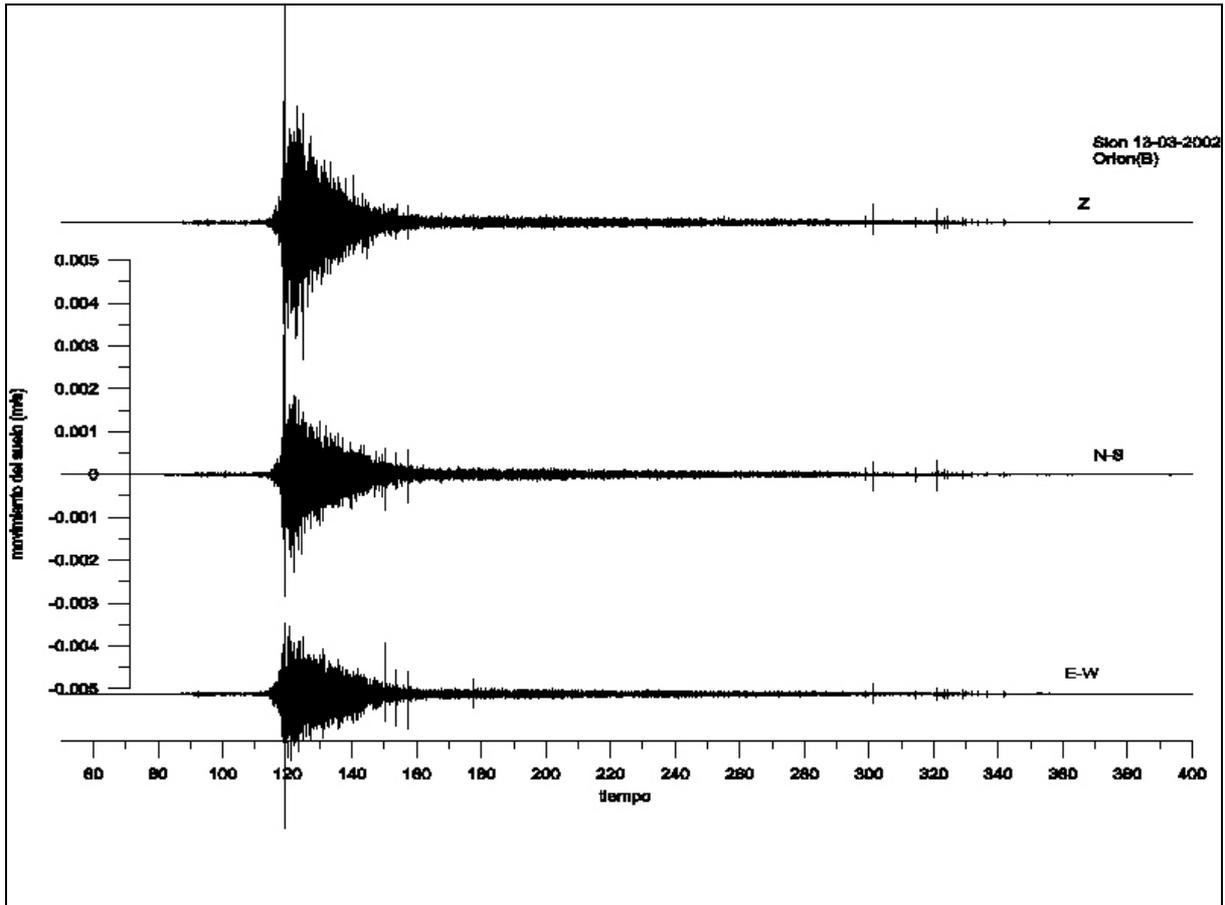


Figura 214. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 13 de marzo de 2002.

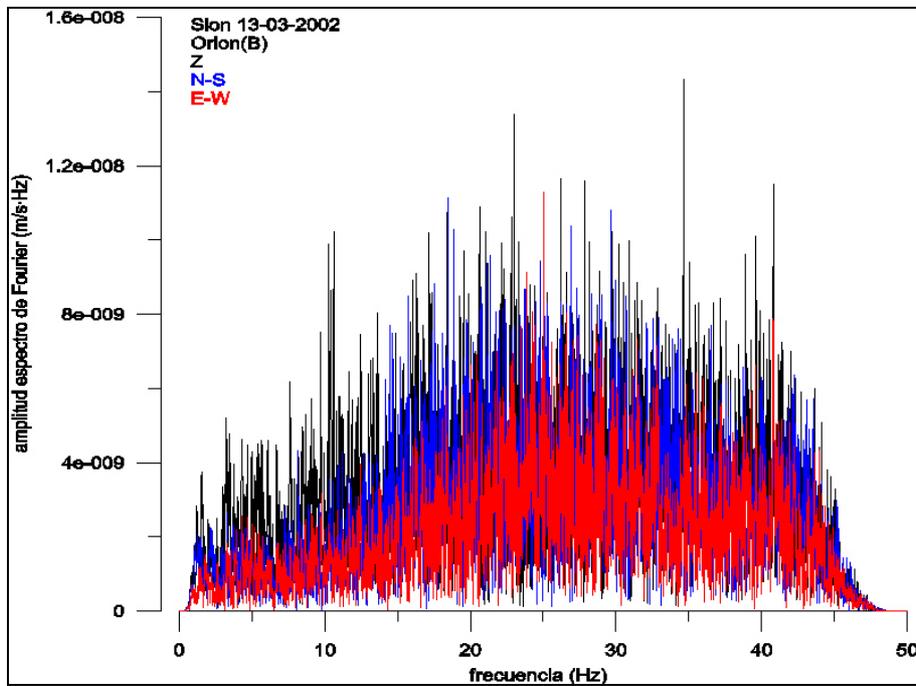


Figura 215. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 13 de marzo de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 60 s y 387.68 s.

- Registros en el emplazamiento C

El estudio de ruido de fondo (*Figura 216*) de este emplazamiento mostró unos registros anómalos en las dos componentes horizontales y por tanto éstas no se tuvieron en cuenta a la hora de interpretar los resultados. La componente vertical presenta unas amplitudes máximas (*Figura 217*) del orden de 10^{-5} m/s. El principio de la señal que podría atribuirse al alud se distingue sobre los 80 s y tiene una larga duración de ~ 335 s. El espectro (*Figura 218*) de la señal entre 90 s y 417.68 s presenta una componente vertical con un pico predominante entre [0-15] Hz. Esta señal contribuyó como una SSA en el análisis de los resultados.

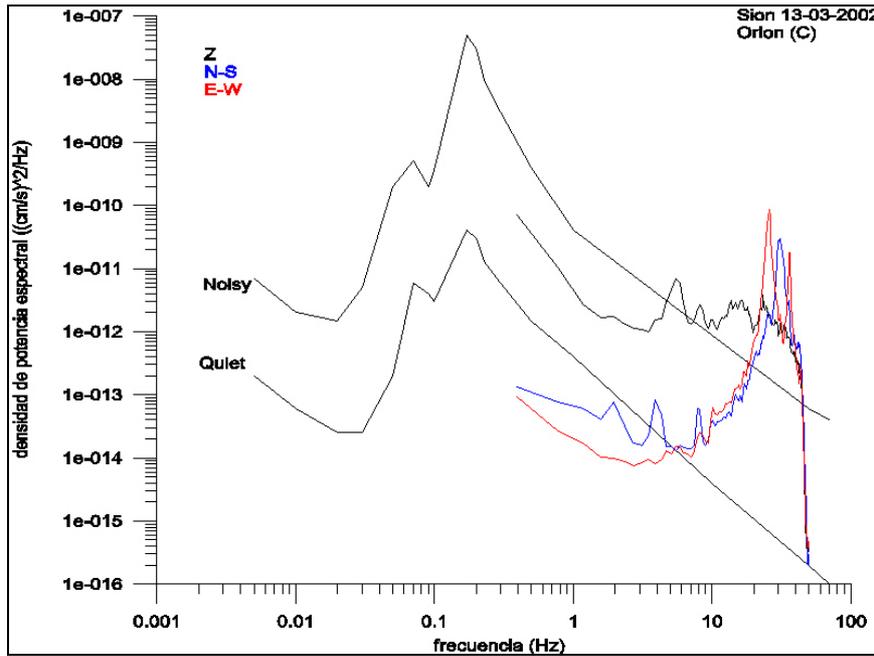


Figura 216. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 80 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 13 de marzo de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

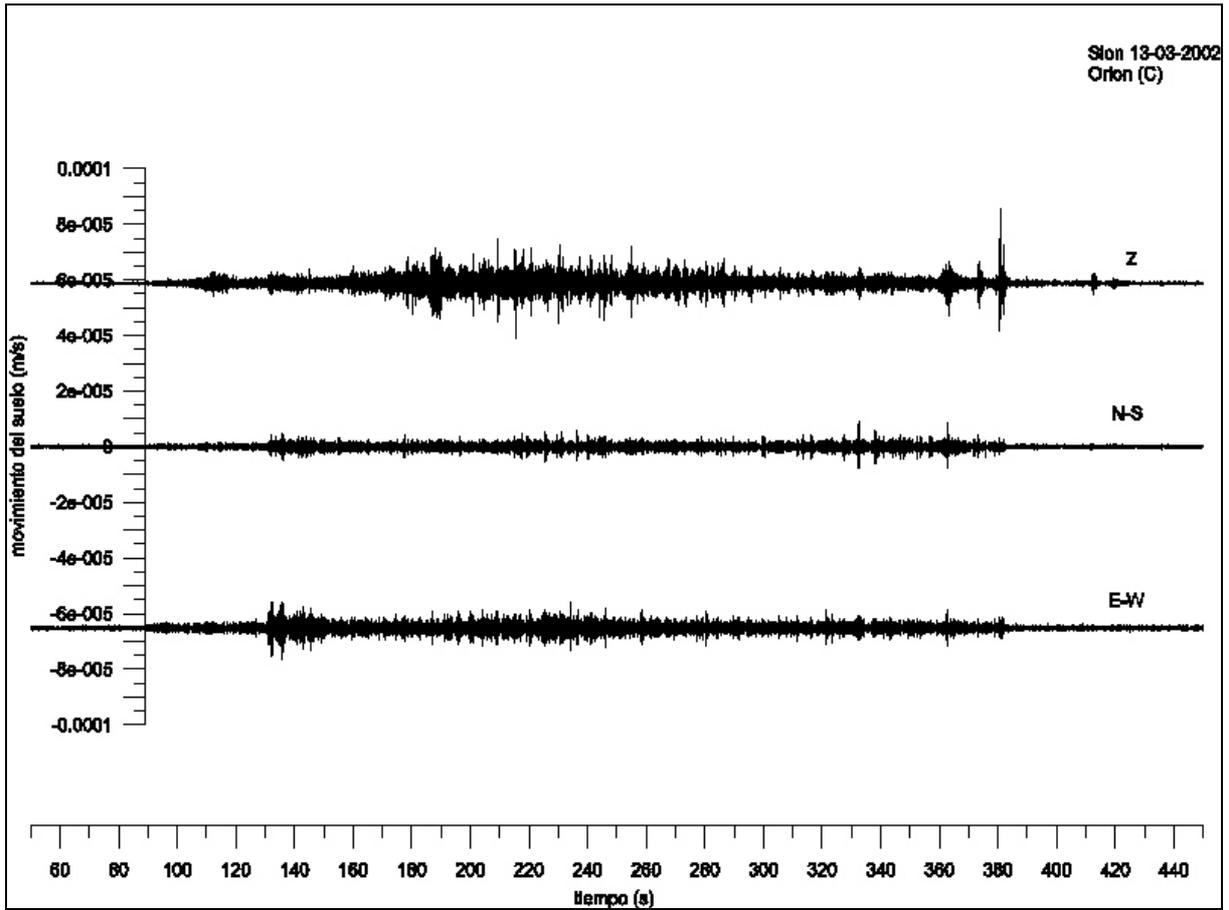


Figura 217. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 13 de marzo de 2002.

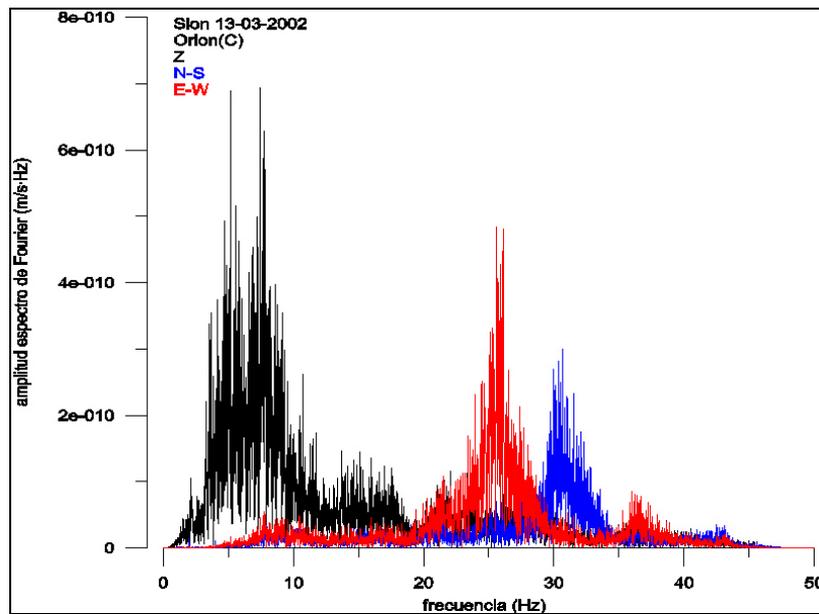


Figura 218. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 13 de marzo de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 90 s y 417.68 s.

A.11.6 Alud del 20-03-2002

El 20 de marzo del 2002 se produjo un alud natural sobre las 12 del medio día. Las dos estaciones Orion obtuvieron los registros durante el desarrollo del alud.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo que se desplazó a la zona en días posteriores.

- ❖ Alud natural del 20 de marzo 2002, 11:51 UTC (Figura 219).
- ❖ El alud empezó en la parte de Crêta Besse 1 y Crêta Besse 2, a las alturas de 2600 m s.n.m. y 2400 m s.n.m. respectivamente.
- ❖ El primer brazo se paró ~200 m por debajo de los obstáculos y el segundo brazo se paró 100 m por debajo de los obstáculos.
- ❖ Altura fractura 20-50 cm.
- ❖ Alud de flujo y nieve húmeda.
- ❖ El primer brazo del alud pasó por encima del emplazamiento B.
- ❖ Los frentes del alud se detuvieron a ~ 200 m del emplazamiento C.

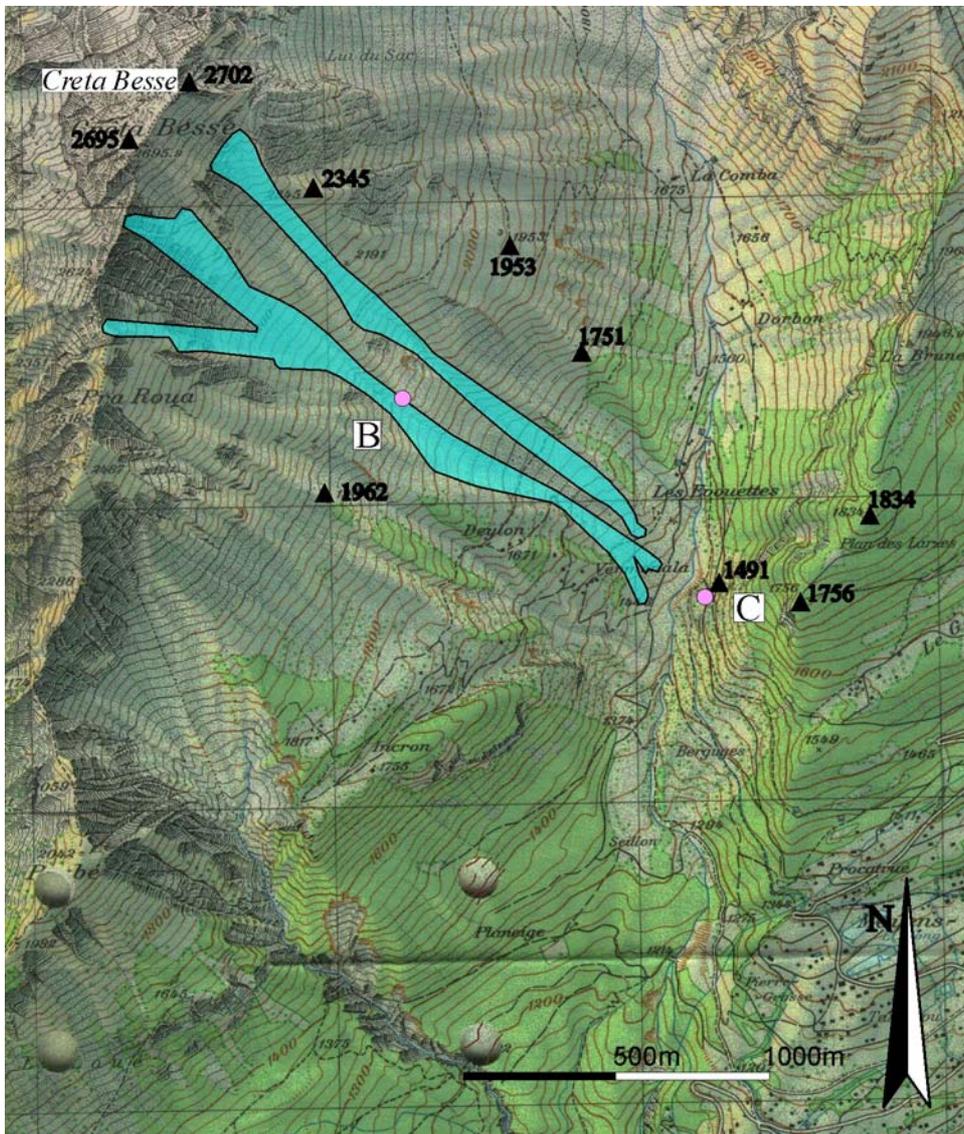


Figura 219. Cartografía del alud del 20 de marzo de 2003 en el Vallée de La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento B

El estudio del ruido de fondo (*Figura 220*) muestra unos registros de buena calidad. Este alud denso pasó por encima de la caverna donde estaba el sensor. Las amplitudes máximas registradas (*Figura 221*) en este emplazamiento son del orden de 10^{-3} m/s. La señal asociable al alud empieza a distinguirse sobre los 80 s y tiene una duración muy larga de ~ 506 s. El espectro de la señal comprendida entre 100 s y 427.68 s (*Figura 222*) muestra amplitudes similares repartidas a lo ancho de todo el espectro [0-45] Hz. Esta señal se consideró una SSA en el análisis de los resultados.

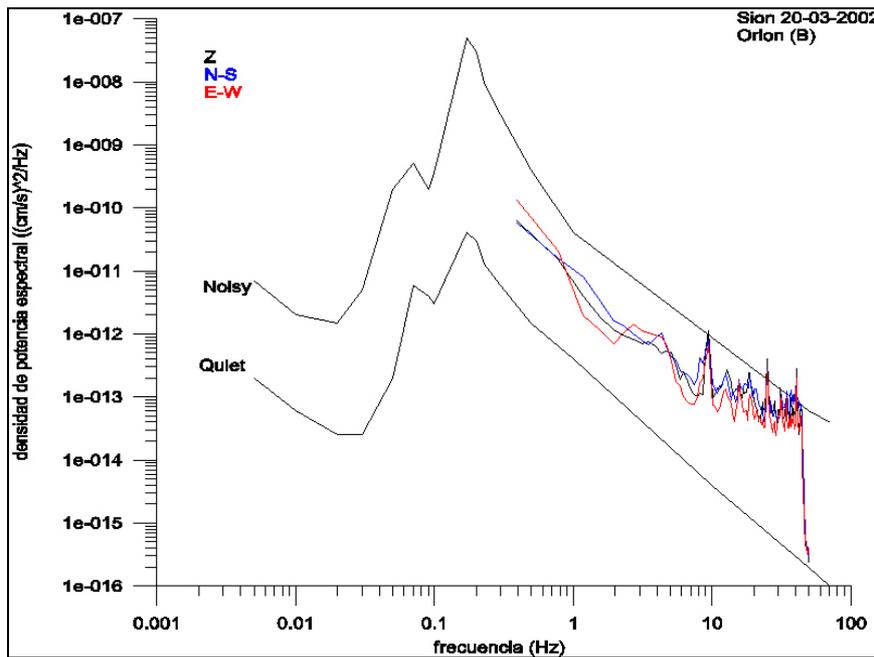


Figura 220. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 40 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 20 de marzo de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

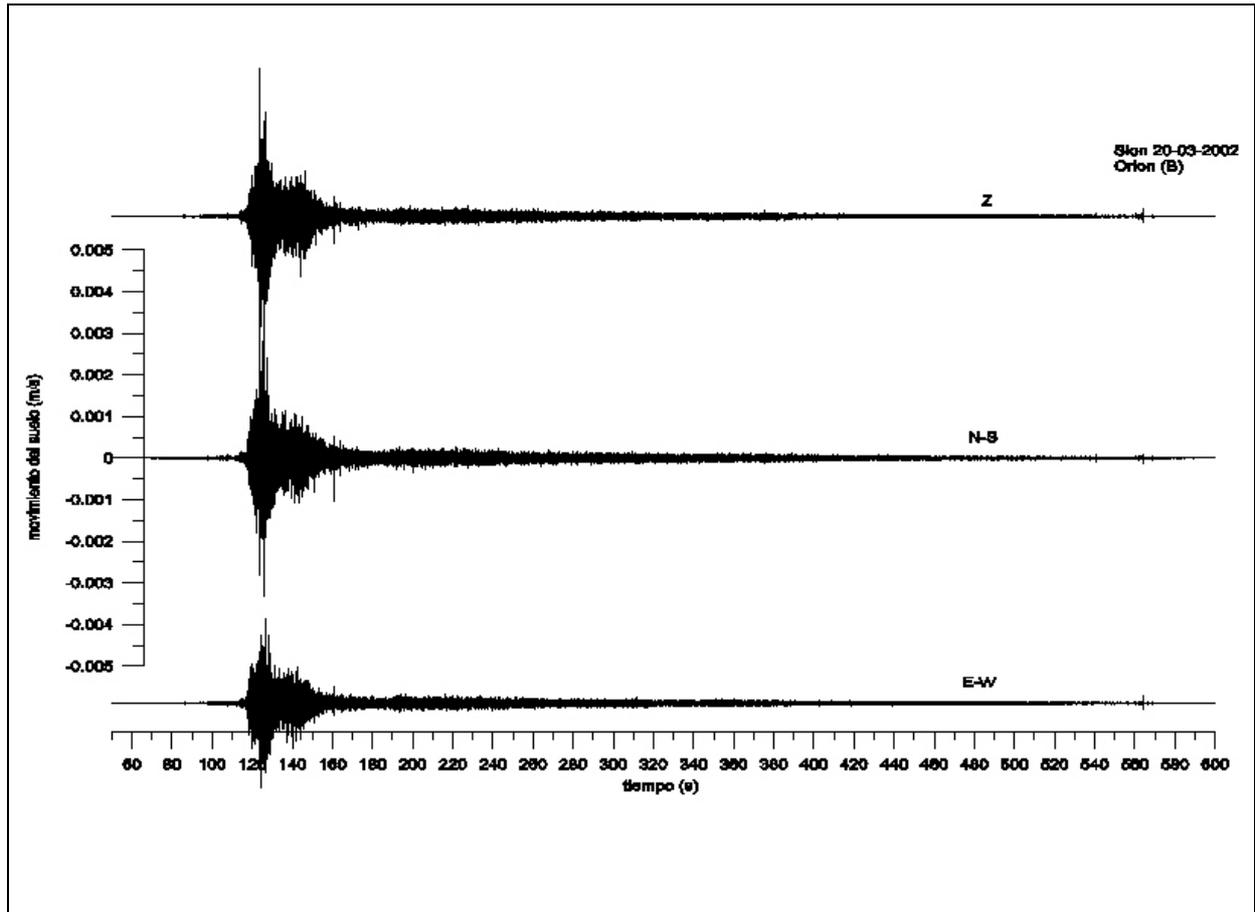


Figura 221. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 20 de marzo de 2002.

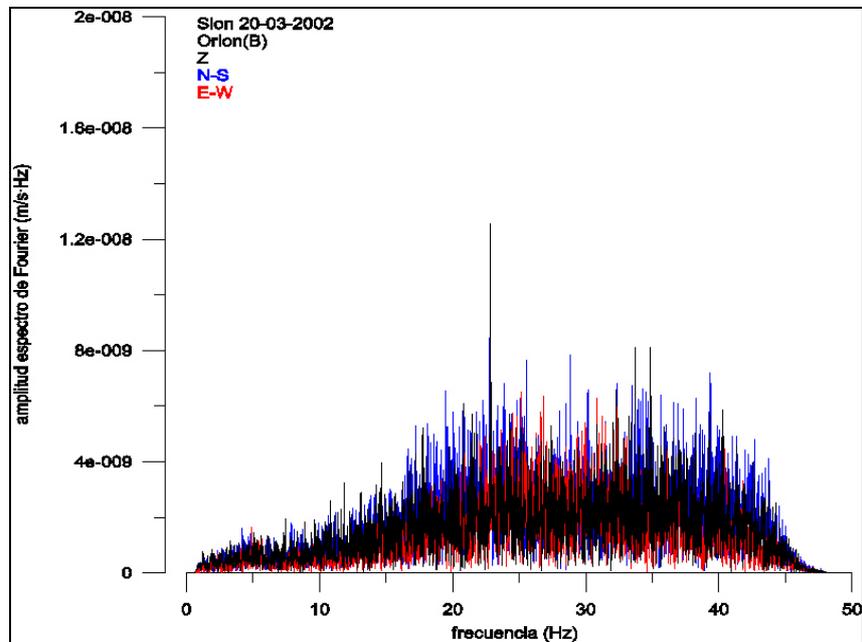


Figura 222. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 20 de marzo de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 100 s y 427.68 s.

- Registros en el emplazamiento C

El estudio de ruido de fondo (*Figura 223*) de este emplazamiento mostró unos registros anómalos en las dos componentes horizontales al igual que el día anterior de este mes. A la hora de interpretar los resultados sólo se tuvo en cuenta la componente vertical. La componente Z también presenta un alto nivel de ruido que se atribuyó a problemas electrónicos.

La señal Z (*Figura 224*) presenta unas amplitudes máximas del orden de 10^{-5} m/s. El principio de la señal atribuible al alud se distingue sobre los 120 s y tiene una larga duración de ~410 s. El espectro (*Figura 225*) de la señal entre 170 s y 497.68 s presenta una componente vertical con un pico predominante entre [5-15] Hz. Esta señal contribuyó como una SSA en el análisis de resultados.

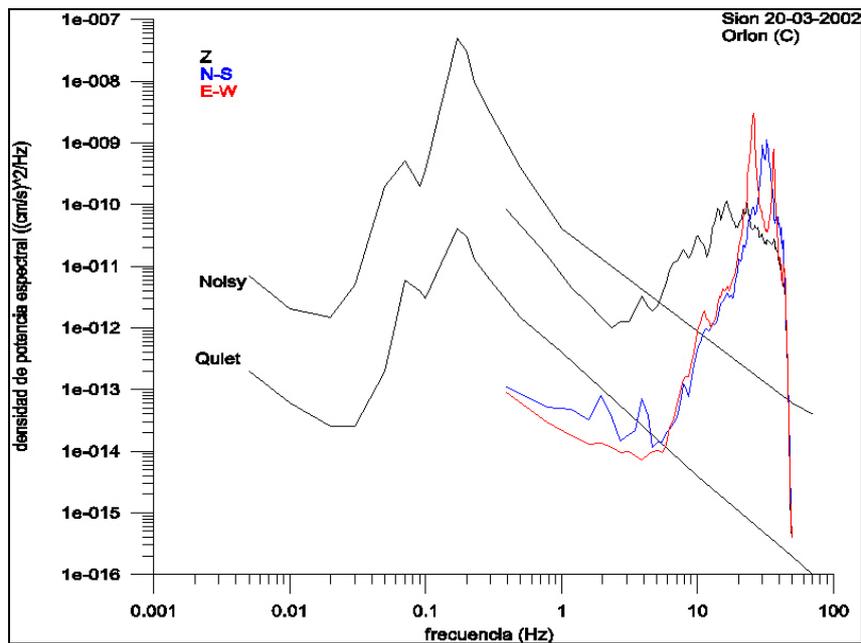


Figura 223. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 80 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 20 de marzo de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

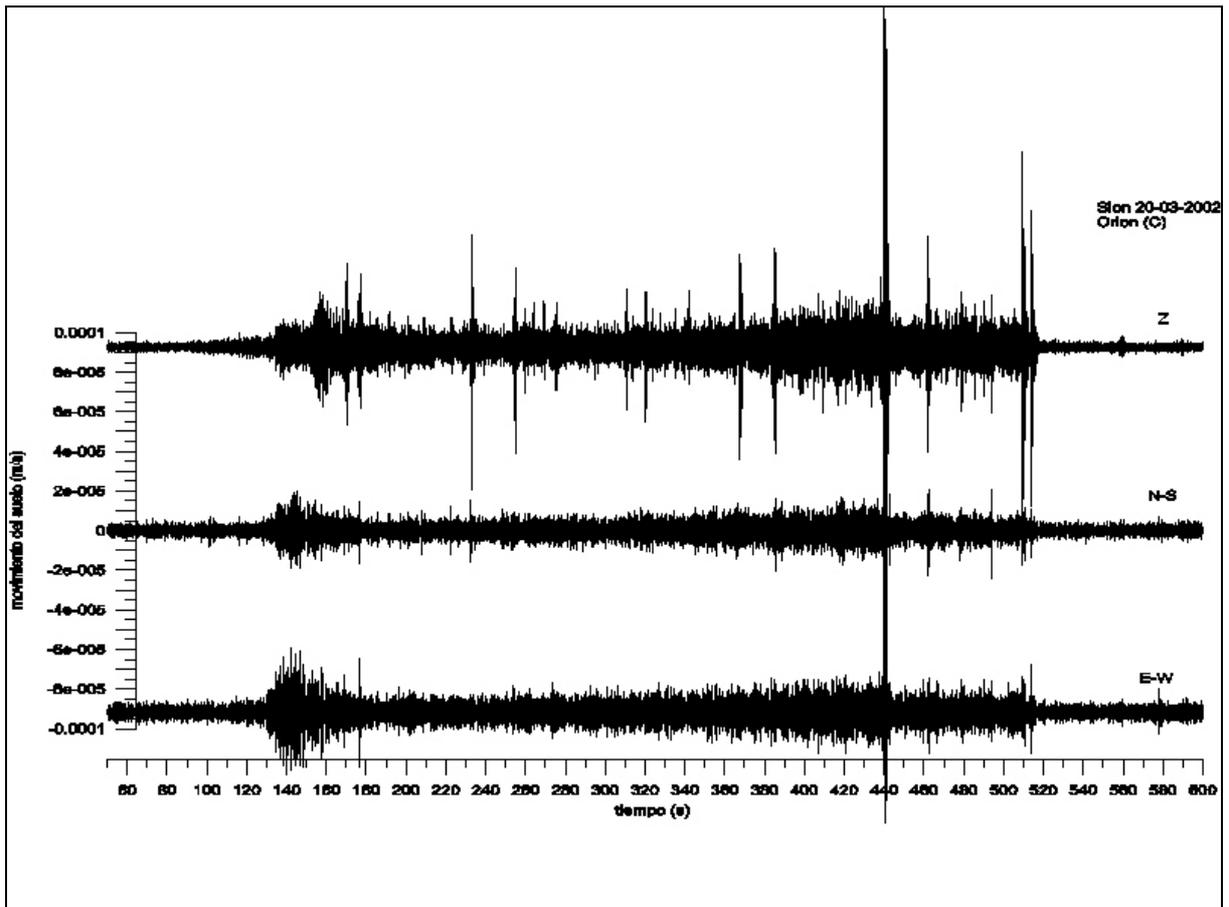


Figura 224. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 20 de marzo de 2002.

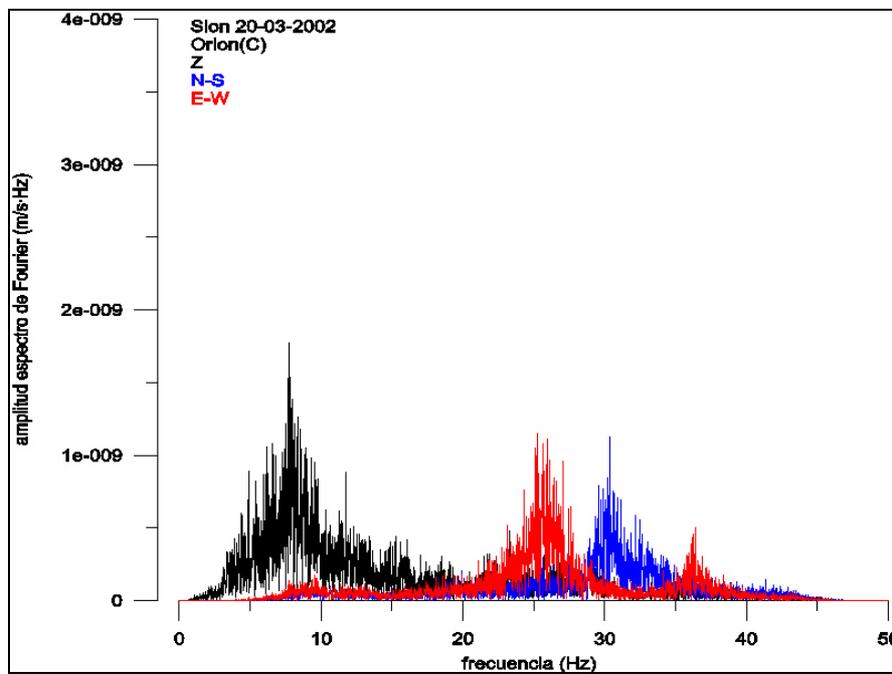


Figura 225. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 20 de marzo de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 170 s y 497.68 s.

A.12 Sionne 2002/03

El 7 de octubre de 2002 se instalaron dos estaciones Orion en la zona experimental de La Sionne. Se instaló una estación en el emplazamiento B y otra en el emplazamiento C igual que en la campaña anterior. Estas estaciones estuvieron controladas vía línea telefónica desde la Universitat de Barcelona (UB). En total en esta campaña se registraron siete aludes, un alud natural el 22 de diciembre, otro el 2 de enero y dos el 4 de febrero y tres aludes artificiales, el día 31 de enero.

A.12.1 Alud del 22-12-2002

El 22 de diciembre de 2002 se produjo el primer alud natural de la campaña. Desde la UB solo se pudo adquirir el registro del emplazamiento C.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo que se desplazó a la zona en días posteriores.

- ❖ *Alud natural del 22 de diciembre de 2002, 18:45 UTC (Figura 226).*
- ❖ *El alud partió de la derecha de Crêta Besse 1.*
- ❖ *Alud de flujo.*
- ❖ *El alud empezó con una placa y luego se convirtió en alud de nieve húmeda a partir de los 2400 m s.n.m. A esta altura estaba lloviendo.*
- ❖ *Grosor de la fractura entre 40 cm y 60 cm.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~150 m del emplazamiento C.*

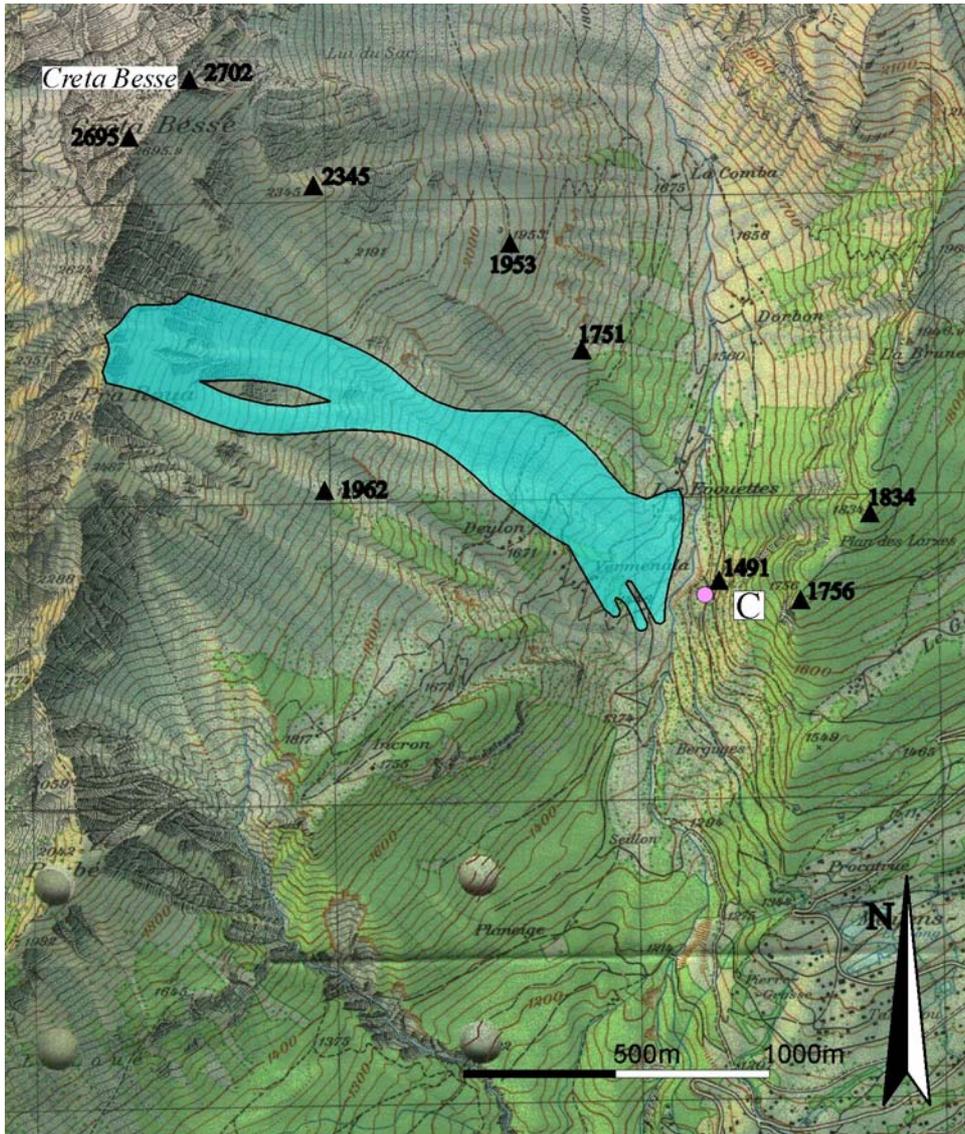


Figura 226. Cartografía del alud del 22 de diciembre de 2002 en el Vallée de La Sionne. C: emplazamiento donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento C

El estudio del ruido de fondo de este emplazamiento (Figura 227) presenta un alto nivel de ruido. Las tres componentes superan el nivel de ruido de la curva *Noisy* para frecuencias superiores a 7 Hz. Este alto nivel de ruido en el emplazamiento C se observó a lo largo de esta campaña, los técnicos suizos lo atribuyeron a un problema de alta humedad en una de las conexiones de los cables del sensor.

En los registros (Figura 228) se observa una señal a 40 s que podría atribuirse al alud. Esta señal presenta unas amplitudes máximas del orden de 10^{-4} m/s, las componentes horizontales son mayores que la componente vertical pero esto también se observa en el ruido de fondo. La duración de la señal es de ~ 490 s. Se calculó el espectro de Fourier (Figura 229) de la señal comprendida entre 125 s y 452.18 s. El espectro muestra un pico dominante en las tres componentes en [5-15] Hz. Esta señal contribuyó como una SSA en el análisis de los resultados.

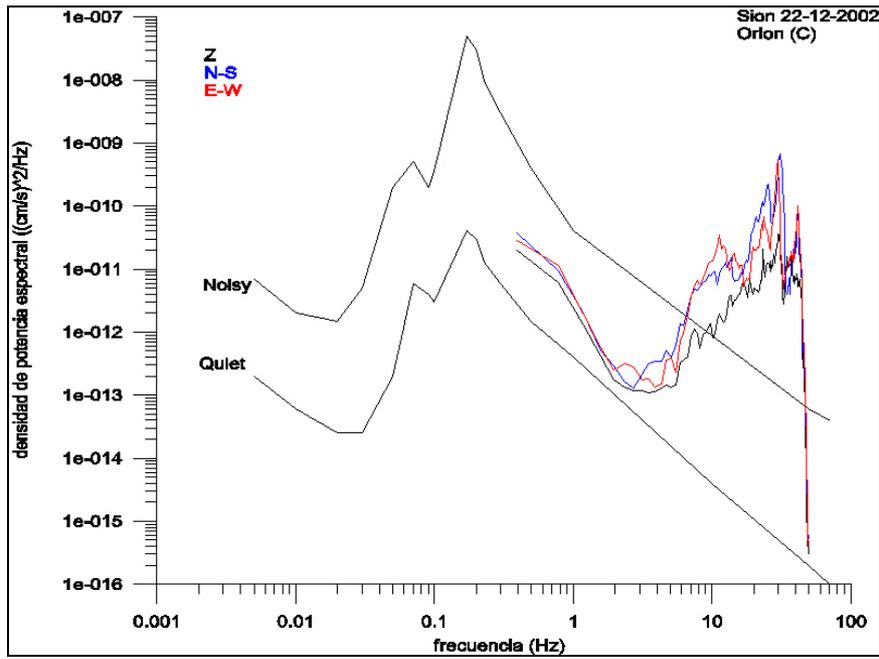


Figura 227. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 30 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 22 de diciembre de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

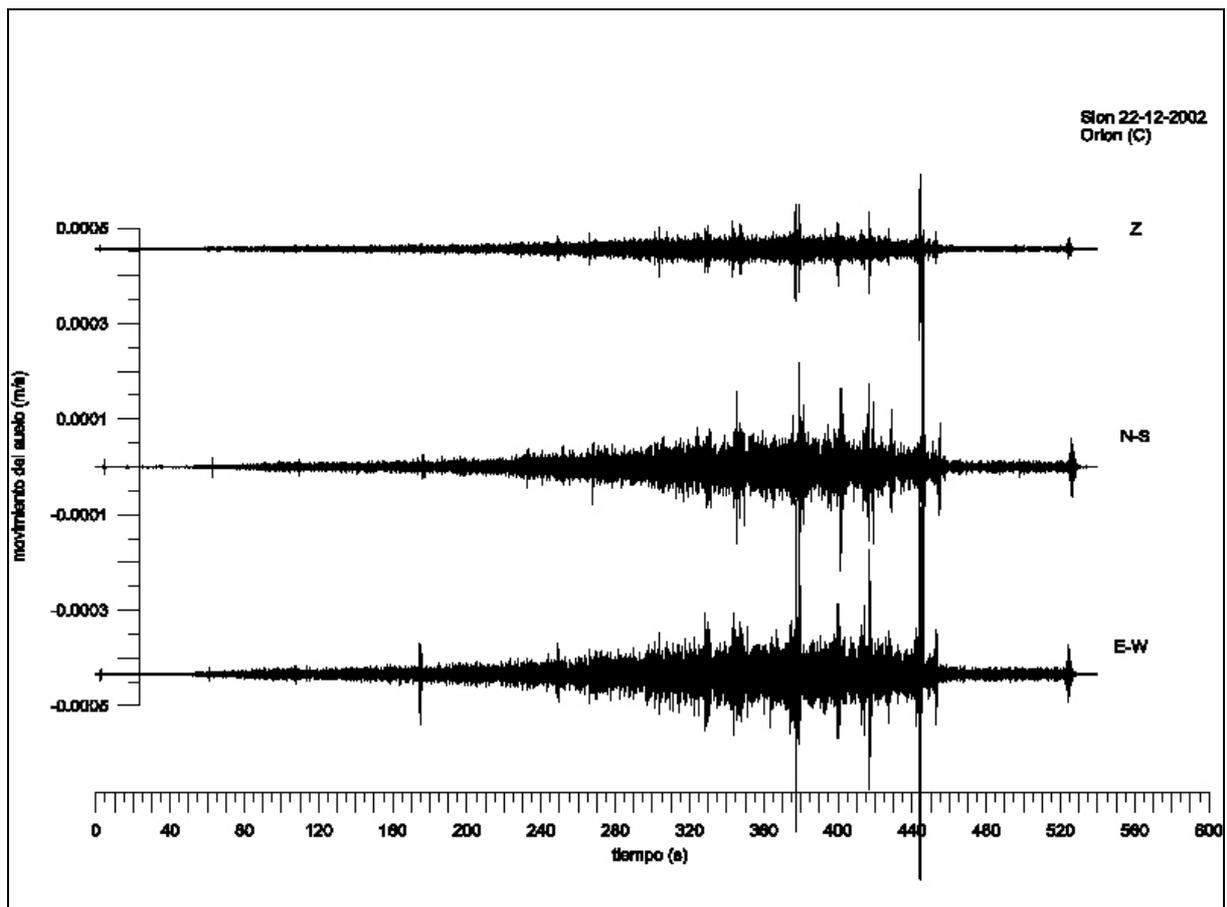


Figura 228. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 22 de diciembre de 2002

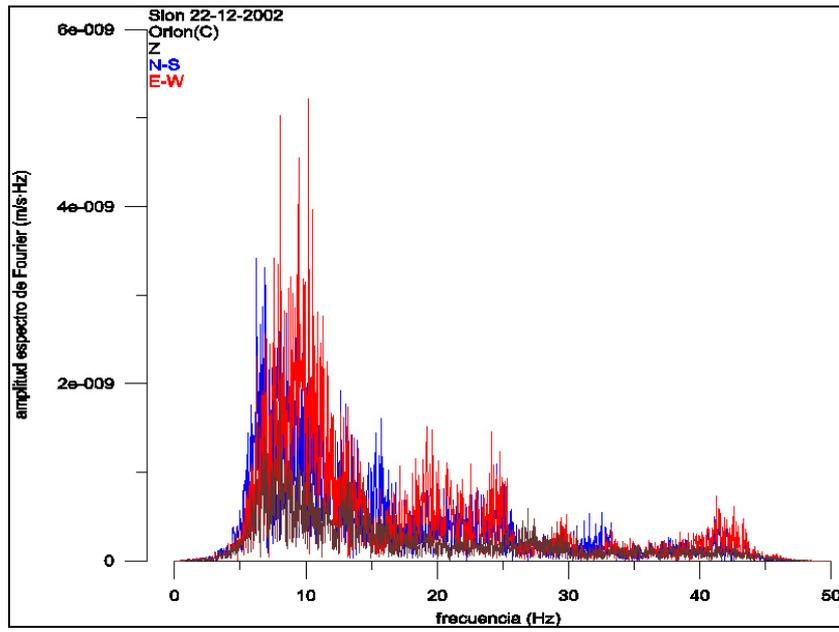


Figura 229. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 22 de diciembre de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 125 s y 452.18s.

A.12.2 Alud del 2-01-2003

El 2 de enero de 2003 se produjo un alud espontáneo. Las dos estaciones Orion pudieron registrar las señales que se generaron en los emplazamientos B y C durante el desarrollo del alud.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo que se desplazó a la zona en días posteriores.

- ❖ *Alud natural del 2 de enero de 2003, 07:00 UTC (Figura 230).*
- ❖ *El alud partió de Crêta Besse 1.*
- ❖ *También se observó un pequeño brazo que partió de Crêta Besse 2.*
- ❖ *Alud de flujo.*
- ❖ *El alud empezó con una placa y luego se convirtió en alud de nieve húmeda a partir de los 2200 m s.n.m. A esta altura estaba lloviendo.*
- ❖ *El alud pasó por encima del emplazamiento B.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a ~150 m del emplazamiento C.*

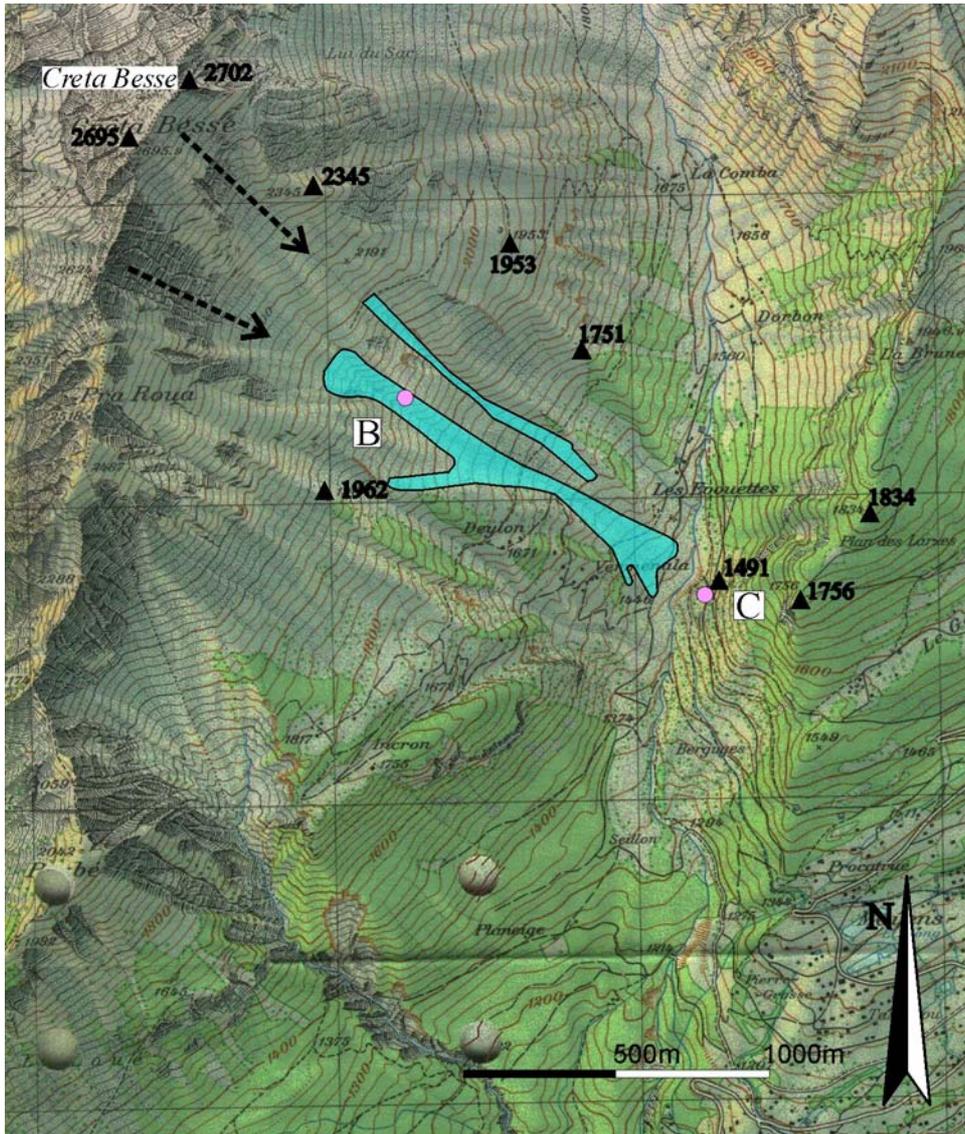


Figura 230. Cartografía del alud del 2 de enero de 2003 en el Vallée La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento B

El estudio del ruido de fondo (Figura 231) de este emplazamiento muestra unas señales de buena calidad para las tres componentes, cuyo nivel se encuentra entre los niveles de referencia de las curvas *Quiet* y *Noisy*.

Los registros (Figura 232) simultáneos al alud muestran una señal que empieza a 50 s que podría atribuirse al alud. Esta señal presenta amplitudes máximas del orden de 10^{-4} m/s y una duración de ~ 382 s. El cálculo del contenido frecuencial se hizo a partir del registro comprendido entre 0s y 327.18 s. El resultado (Figura 233) es un espectro de similares amplitudes entre [15-45] Hz. Nótese que el alud pasó por encima del emplazamiento B. Esta señal se consideró una SSA a la hora de analizar los resultados.

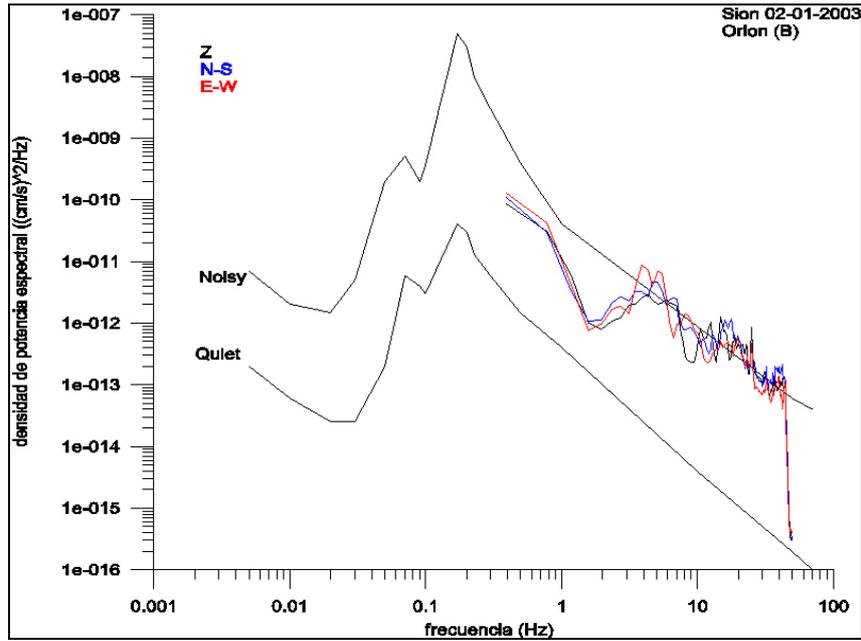


Figura 231. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 100 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 2 de enero de 2003 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

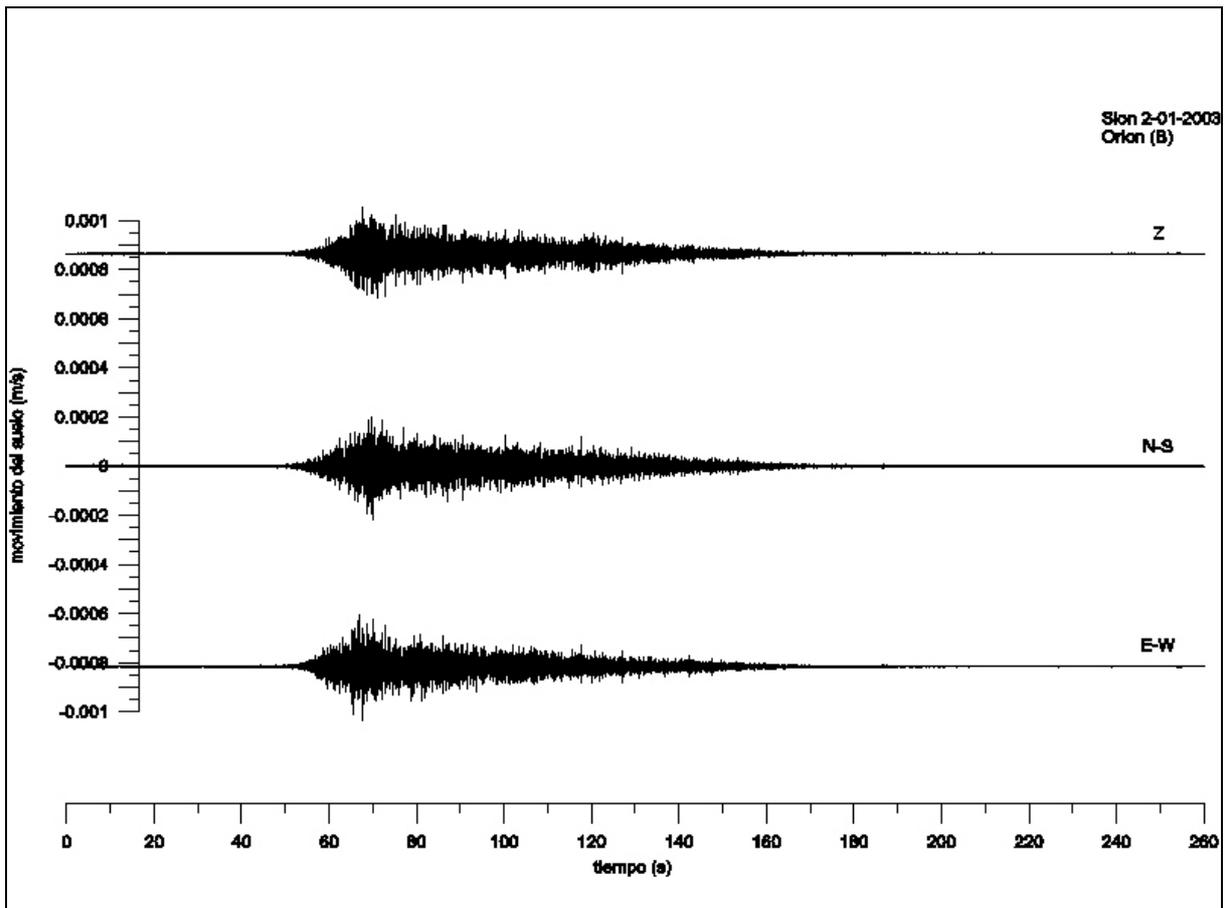


Figura 232. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 2 de enero de 2003.

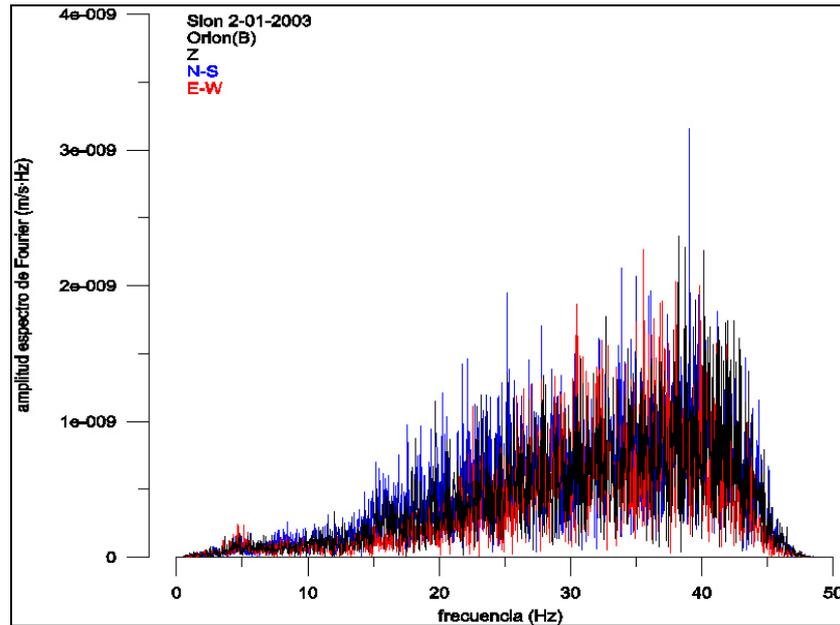


Figura 233. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 2 de enero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 0 s y 327.18 s.

- Registros en el emplazamiento C

El estudio del ruido de fondo (*Figura 234*) muestra un emplazamiento con alto nivel de ruido tal como se comentó en los registros del día 22 de diciembre.

Los registros (*Figura 235*) presentan una señal que comienza a 0 s que podría asociarse al alud. Esta señal tiene amplitudes máximas del orden de 10^{-4} m/s y una duración de ~ 390 s. El estudio del contenido espectral se hizo a partir de la señal comprendida entre 70 s y 397.18 s, el resultado (*Figura 236*) es un pico situado en [5-15] Hz para las tres componentes. Esta señal fue considerada como una SSA en el análisis de los resultados.

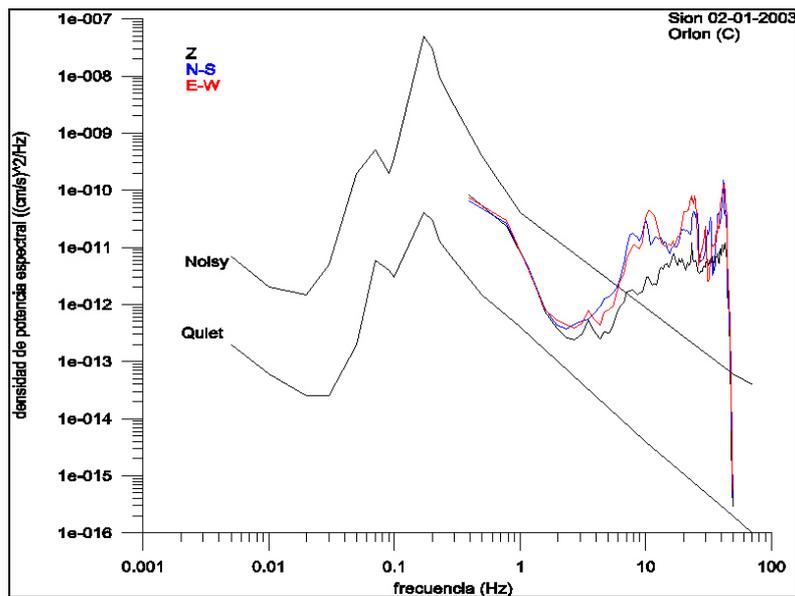


Figura 234. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 100 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 2 de enero de 2003 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

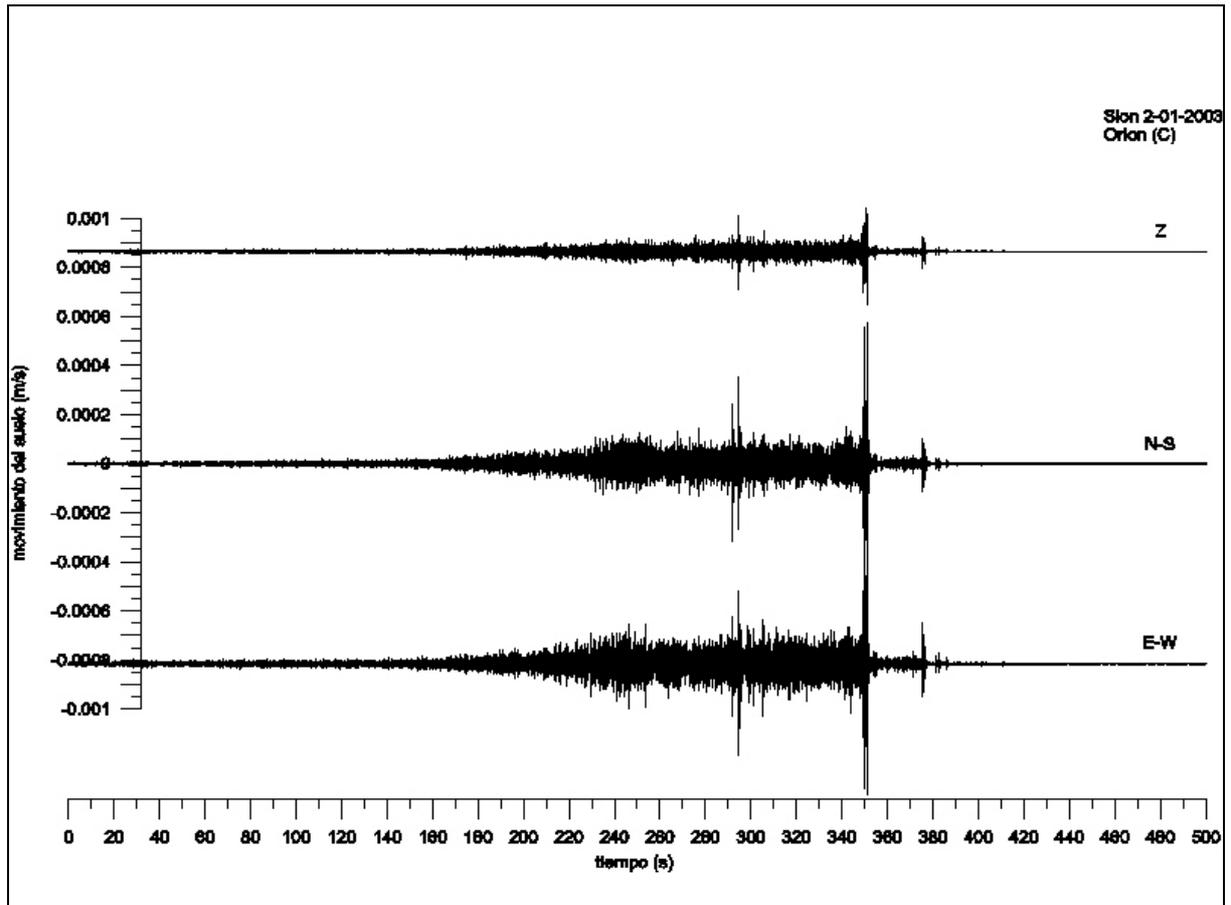


Figura 235. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 2 de enero de 2003.

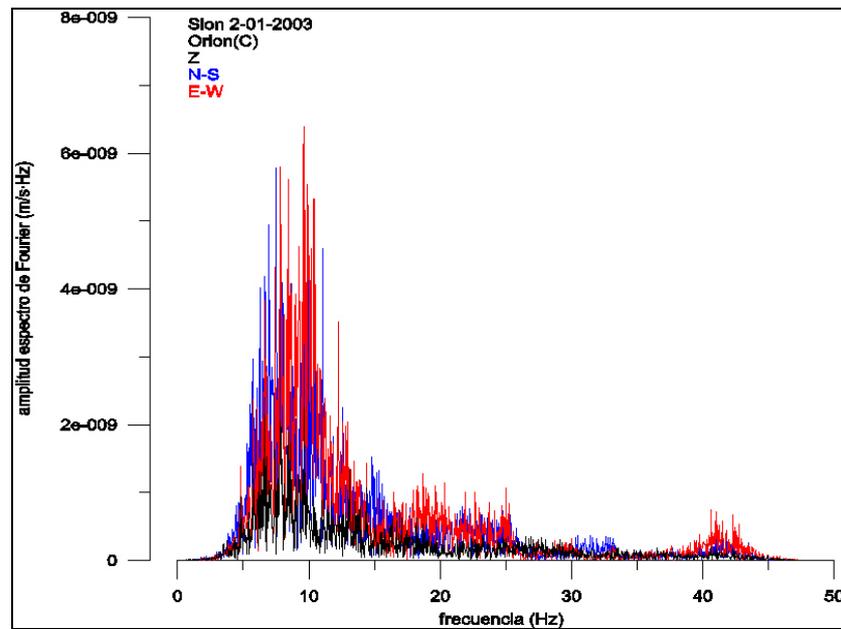


Figura 236. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 2 de enero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 70 s y 397.18 s.

A.12.3 Aludes del 31-01-2003

El 31 de enero de 2003 el equipo de científicos suizo realizó unos experimentos provocando aludes artificialmente mediante explosivos lanzados desde un helicóptero. Se lanzaron tres cargas que provocaron tres aludes. El primero y el tercer alud fueron de grandes dimensiones y el segundo fue un alud de pequeñas dimensiones. Los tres fueron registrados por las estaciones Orion de los emplazamientos B y C.

Datos de campo obtenidos a partir de: equipo suizo presente en los experimentos.

Primer alud provocado el 31 de enero de 2003, 08:08 UTC (Figura 237):

- ❖ *El alud partió de la izquierda de Crêta Besse 1.*
- ❖ *El alud se desarrolló fuera del canal de ensayo y se extendió hacia la parte izquierda de Deylon.*
- ❖ *Alud mixto.*
- ❖ *La parte densa del alud llegó hasta el río Sionne y la parte aerosol llegó hasta el centro de control.*
- ❖ *Altura fractura ~80 cm.*
- ❖ *Longitud fractura ~150 m.*
- ❖ *El alud pasó por encima de los emplazamientos B y C.*

Segundo alud provocado el 31 de enero de 2003, 08:25 UTC (Figura 237):

- ❖ *El alud partió de la derecha de Crêta Besse 1.*
- ❖ *Alud mixto.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a 1800 m s.n.m.*
- ❖ *Altura fractura ~60 cm.*
- ❖ *Longitud fractura ~70 m.*
- ❖ *El alud pasó por encima del emplazamiento B.*
- ❖ *El frente del alud se detuvo a 1130 m del emplazamiento C.*

Tercer alud provocado el 31 de enero de 2003, 08:34 UTC (Figura 237):

- ❖ *El alud partió de Crêta Besse 1.*
- ❖ *Alud mixto.*
- ❖ *La parte densa del alud llegó hasta el río Sionne y la parte aerosol llegó hasta el centro de control.*
- ❖ *Altura fractura ~ 80 cm.*
- ❖ *Longitud fractura ~ 450 m.*
- ❖ *El alud pasó por encima de los emplazamientos B y C.*

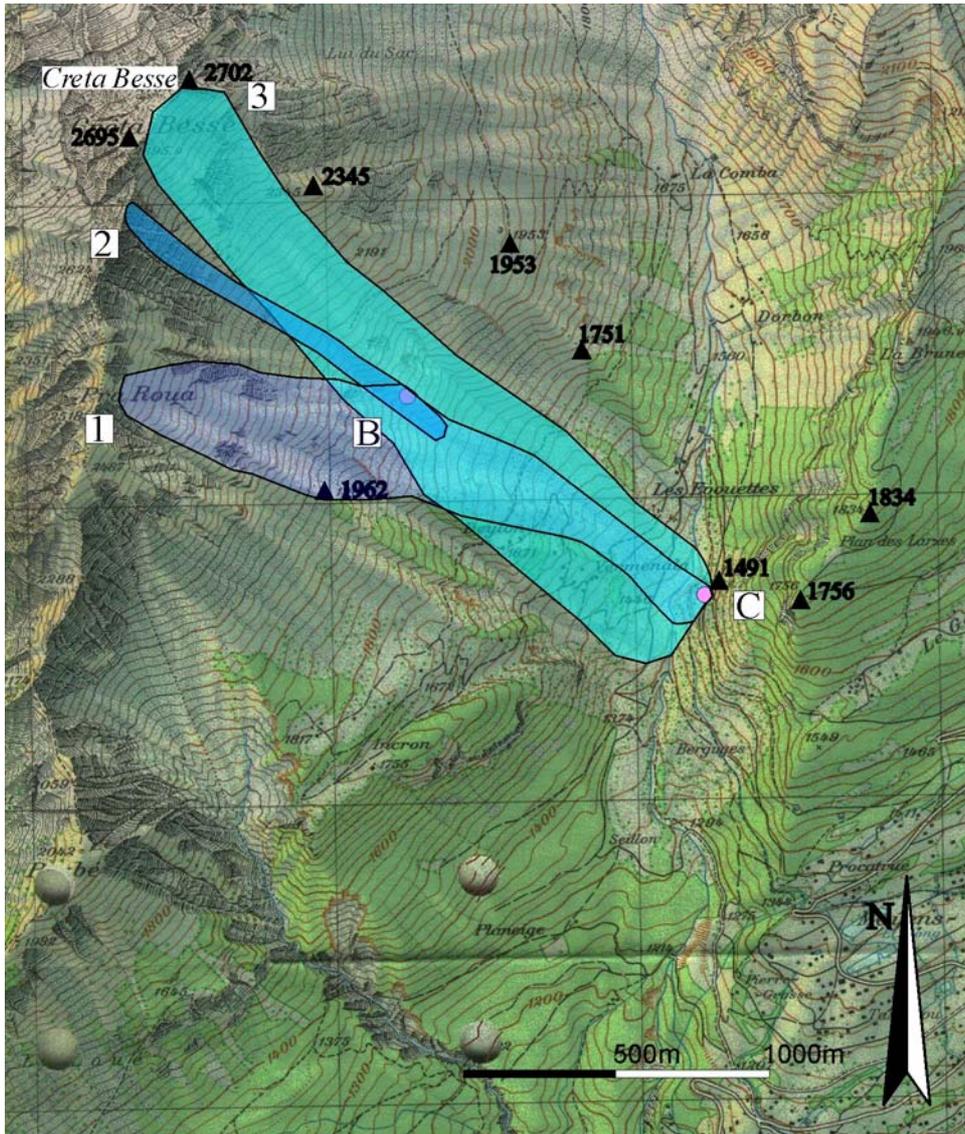


Figura 237. Cartografía de los aludes provocados artificialmente el 31 de enero de 2003 en el Vallée de La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registraron los aludes. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

- Registros en el emplazamiento B

El estudio del ruido de fondo (Figura 238) de este emplazamiento muestra dos picos comunes a las tres componentes que superan el nivel de ruido de la curva *Noisy*, estos picos están centrados en [20-30] Hz y [40-50] Hz y se atribuyen al ruido generado por el helicóptero que sobrevolaba la zona durante el experimento.

- Primer alud

Los registros (Figura 239) obtenidos durante este alud presentan la señal de la explosión a 0s y una señal a 20 s que podría asociarse al alud. Esta señal tienen amplitudes máximas del orden de 10^{-3} m/s y una duración de ~ 267 s. Se calculó el espectro (Figura 240) del registro comprendido entre 9.8 s y 173.64 s. El resultado es un espectro con máximas amplitudes en bajas frecuencias [0-5] Hz para las componentes Z y N-S. La componente E-W presenta amplitudes menores en todo el espectro, esta característica anómala también se observa en el registro temporal por lo que se deduce que esta componente tuvo problemas en el registro y

no se tendrá en cuenta a la hora de analizar los resultados. Las otras dos componentes contribuyeron como SSA en los resultados.

- Segundo alud

Los registros (*Figura 241*) obtenidos durante el segundo alud muestran la señal de la explosión a 0 s y a 30 s empieza una señal que podría atribuirse al alud. Esta señal dura ~184 s y tienen unas amplitudes máximas del orden de 10^{-4} m/s. El espectro de la *señal* (*Figura 242*) comprendida entre 27.5 s y 109.42 s presenta un pico predominante entre [10-20] Hz. Esta señal se consideró una SSA en los resultados.

- Tercer alud

Las amplitudes máximas de estos registros (*Figura 243*) son de 10^{-3} m/s. La señal asociable al alud empieza sobre los 5 s y dura ~185 s. Se calculó el espectro (*Figura 244*) de la señal comprendida entre 8.53 s y 172.37 s. Las amplitudes son muy similares en todas las frecuencias [0-45] Hz. Recuérdese que este alud pasó por encima de este emplazamiento. Esta señal fue tratada como una SSA en los resultados.

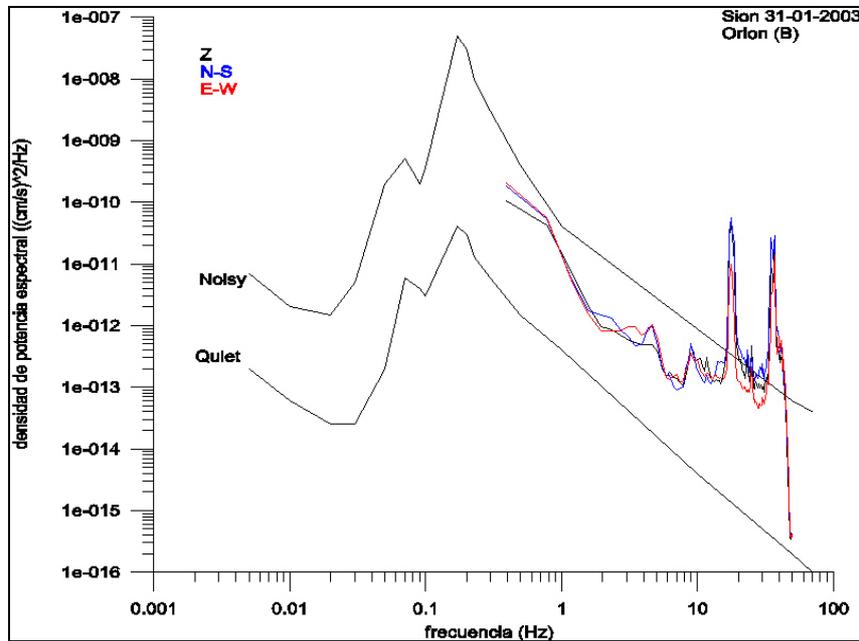


Figura 238. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 150 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 31 de enero de 2003 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

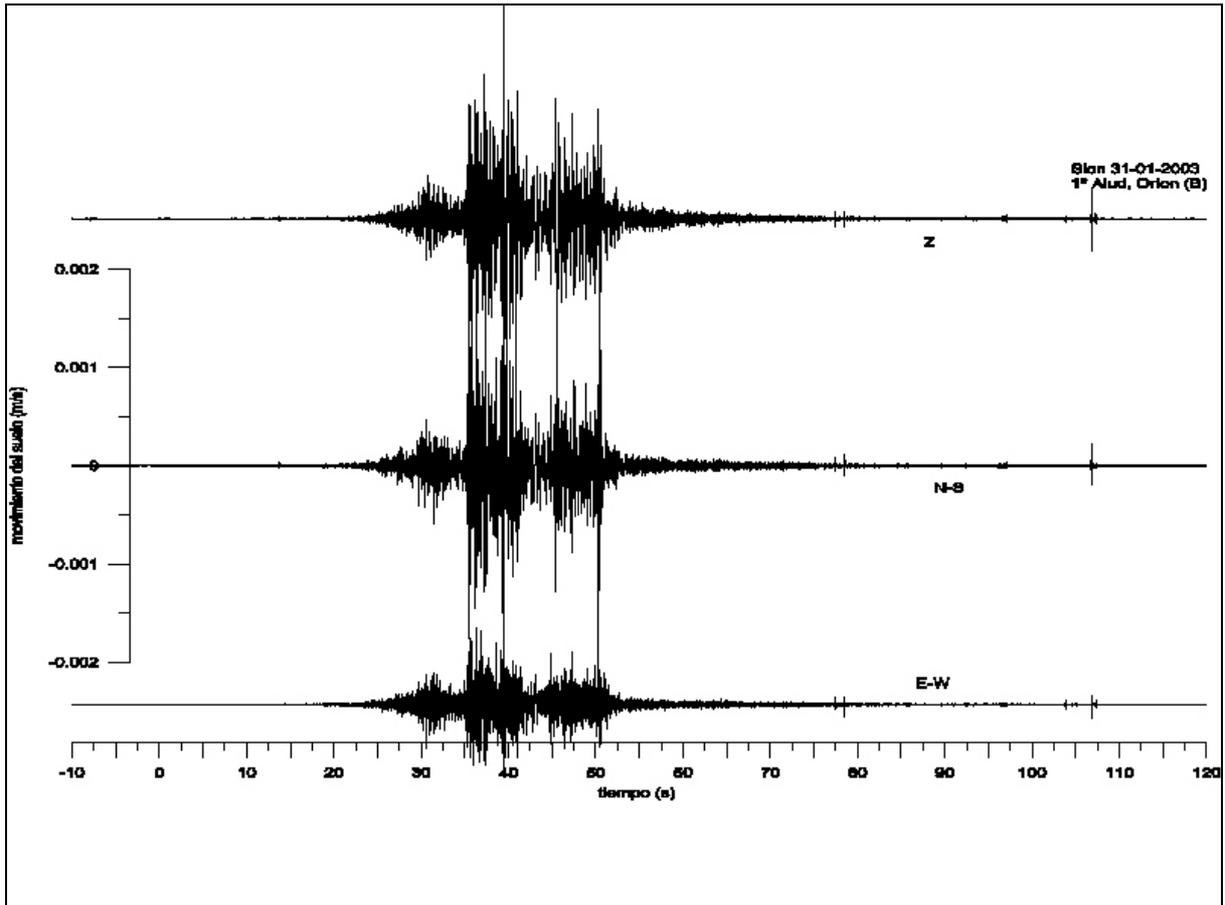


Figura 239. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 31 de enero de 2003. El alud fue provocado por una explosión

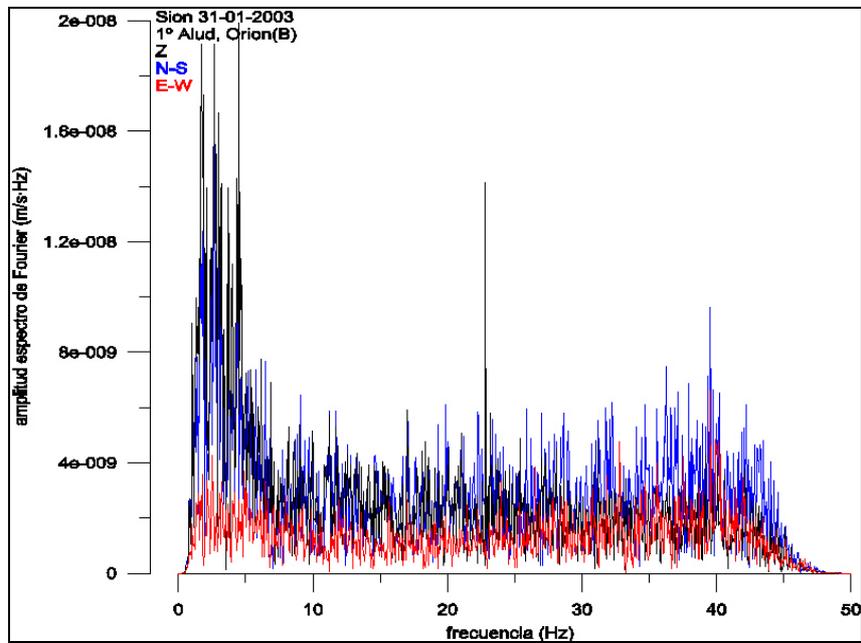


Figura 240. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 1º alud del 31 de enero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 9.8s y 173.64s.

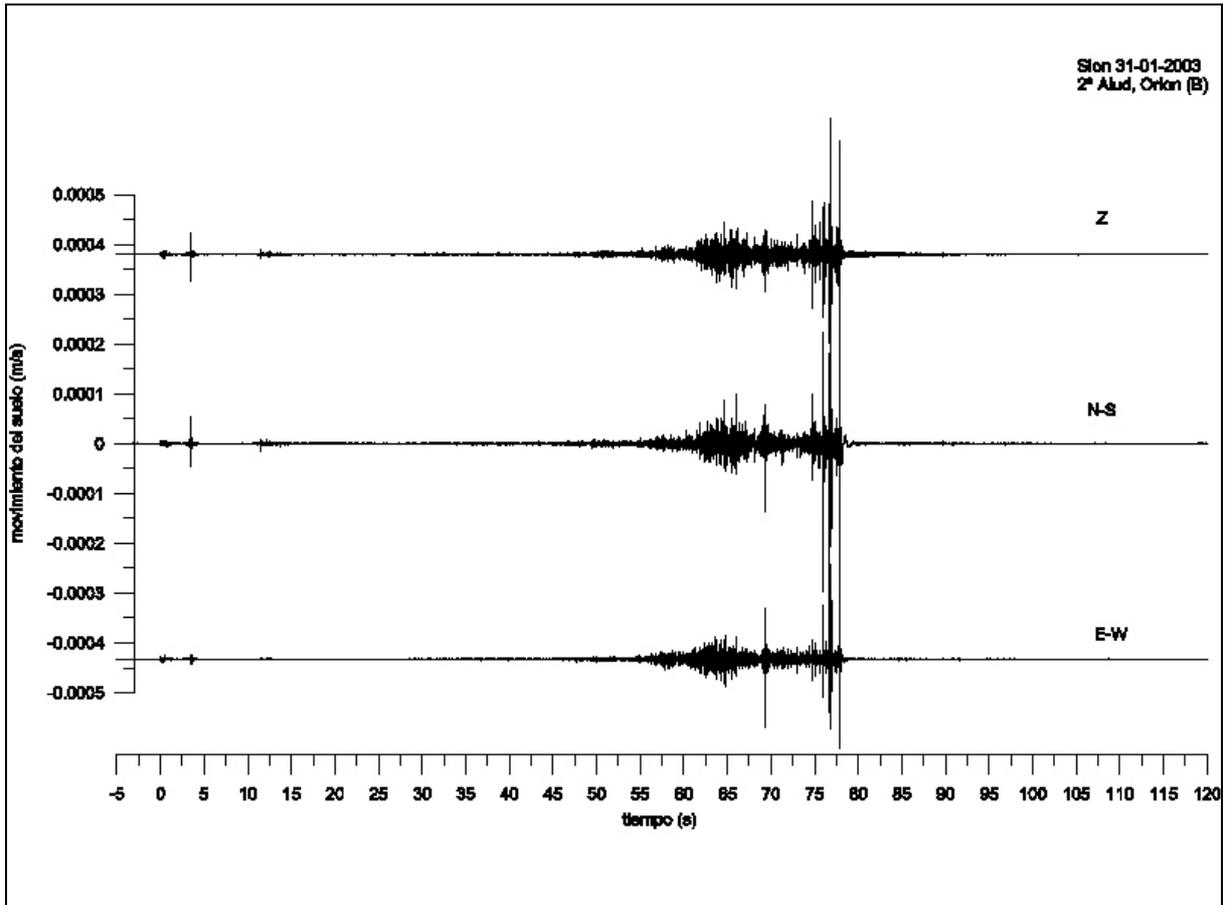


Figura 241. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2º alud del 31 de enero de 2003. El alud fue provocado por una explosión.

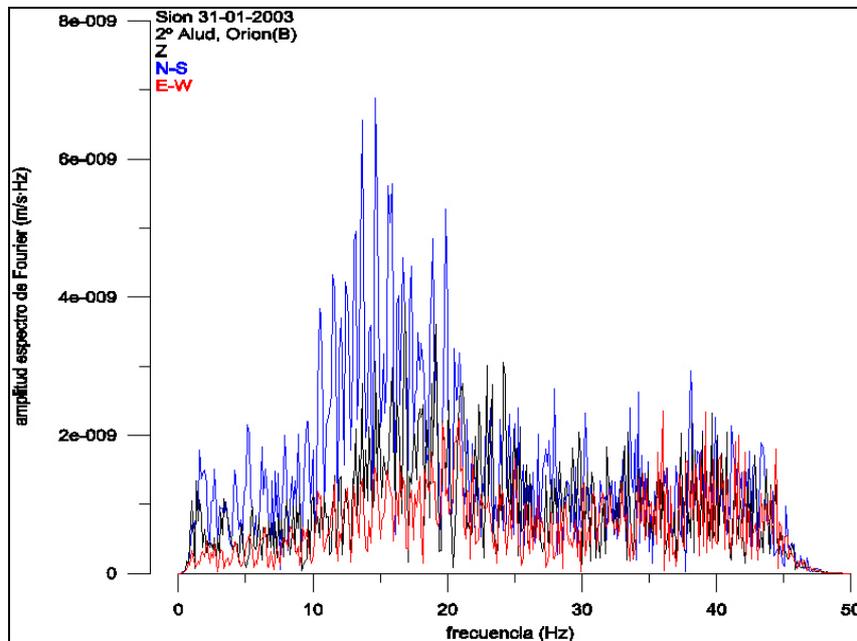


Figura 242. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2º alud del 31 de enero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 27.5 s y 109.42s.

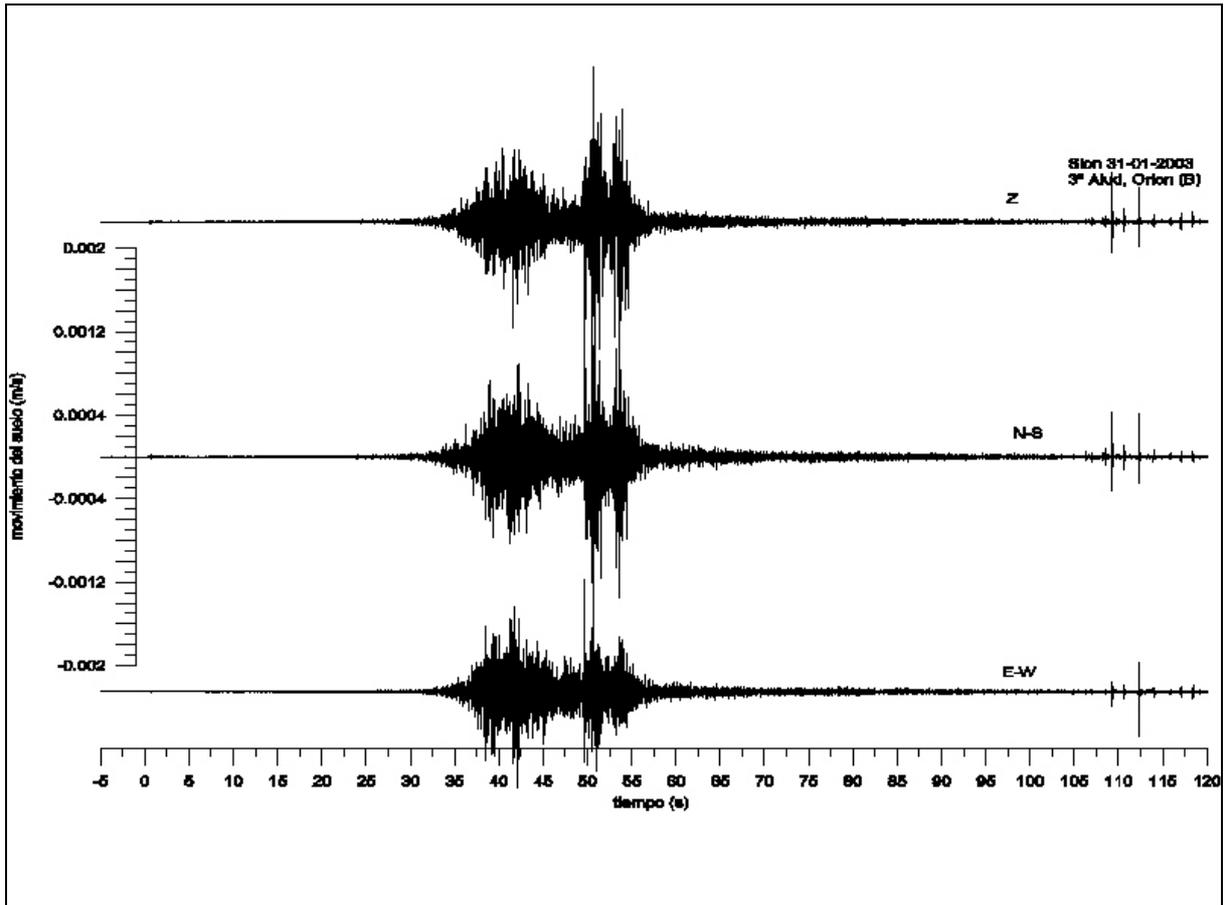


Figura 243. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 3° alud del 31 de enero de 2003. El alud fue provocado por una explosión

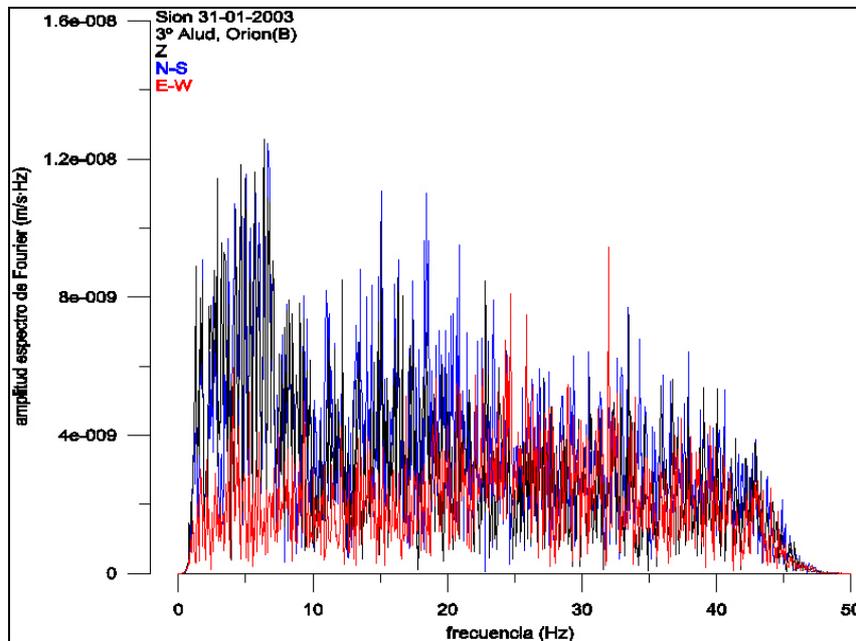


Figura 244. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 3° alud del 31 de diciembre de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 8.53 s y 172.37 s.

- Registros en el emplazamiento C

Las curvas de densidad de potencia espectral (*Figura 245*) de este emplazamiento muestran un alto nivel de ruido para las tres componentes y dos picos superpuestos a [20-30] Hz y [40-50] Hz que se atribuyen al ruido del helicóptero que sobrevolaba la zona durante el experimento.

- Primer alud

En los registros (*Figura 246*) se observa las señales de dos explosiones, a 0 s y a 22 s. El principio de la señal que podría asociarse al alud coincide con la de la segunda explosión. Esta señal presenta amplitudes máximas del orden de 10^{-4} m/s. La duración de la señal es ~ 68 s. Se calculó el espectro de la señal comprendida entre 30.3 s y 71.26 s, el resultado (*Figura 247*) es un pico predominante en [5-15] Hz. Esta señal contribuyó como SSA en el análisis de resultados.

- Segundo alud

Las componentes horizontales de este registro (*Figura 248*) no pudieron obtenerse por coincidir con un *gap* del registro de la estación. La señal de la explosión puede observarse a 0 s. La señal vertical presenta unas amplitudes máximas del orden de 10^{-6} m/s. La señal atribuible al alud podría ser la comprendida entre 40 s y 70 s. Se calculó el espectro de la señal comprendida entre 51.5 s y 133.42 s, el resultado (*Figura 249*) muestra dos picos que coinciden (16) con los observados en el ruido de fondo. En este caso se consideró que la SSA generada por el alud no podía distinguirse de la señal del ruido de fondo.

- Tercer alud

Estos registros (*Figura 250*) presentan amplitudes máximas del orden de 10^{-3} m/s. A 0 s se puede observar la señal de la explosión. La señal atribuible al alud empieza a 30 s y dura ~ 154 s. Las componentes horizontales son mayores que la vertical. El espectro (*Figura 251*) de la señal comprendida entre 20.55 s y 102.47 s muestra un pico a [10-25] Hz y otro en [30-45] Hz.

Esta señal contribuyó como SSA al analizar los resultados.

(16) Para realizar esta comparación se calculó la densidad de potencia espectral de este registro a pesar de que el cálculo no se presenta.

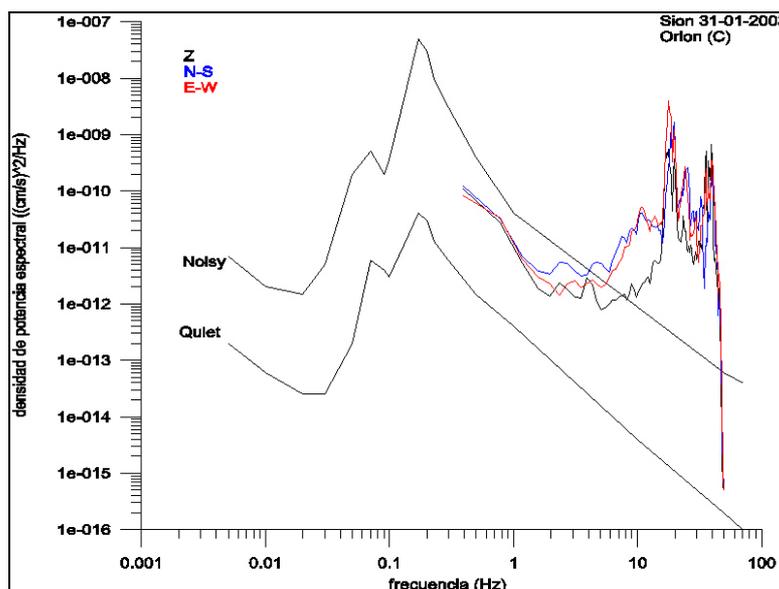


Figura 245. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 60 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 31 de enero de 2003 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

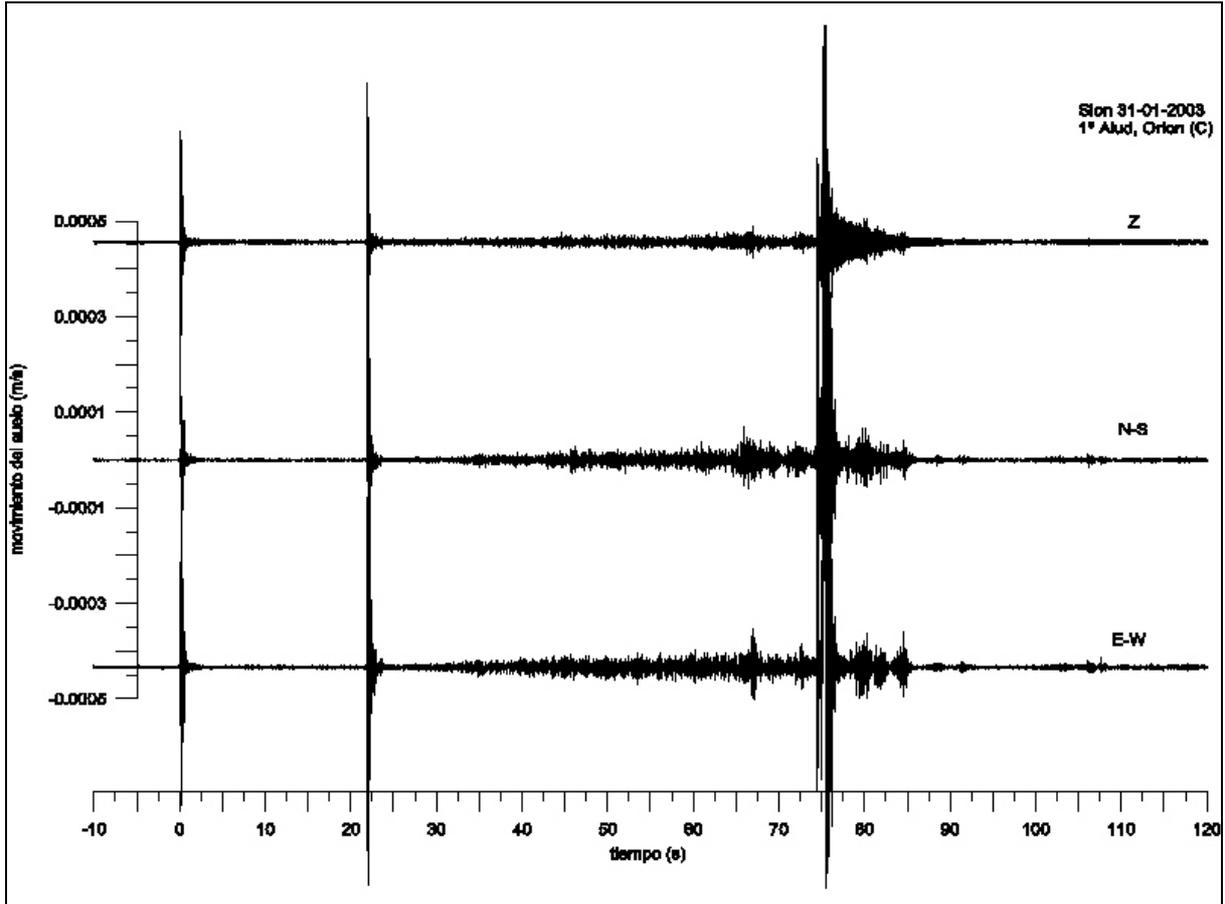


Figura 246. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 31 de enero de 2003. El alud fue provocado por una explosión

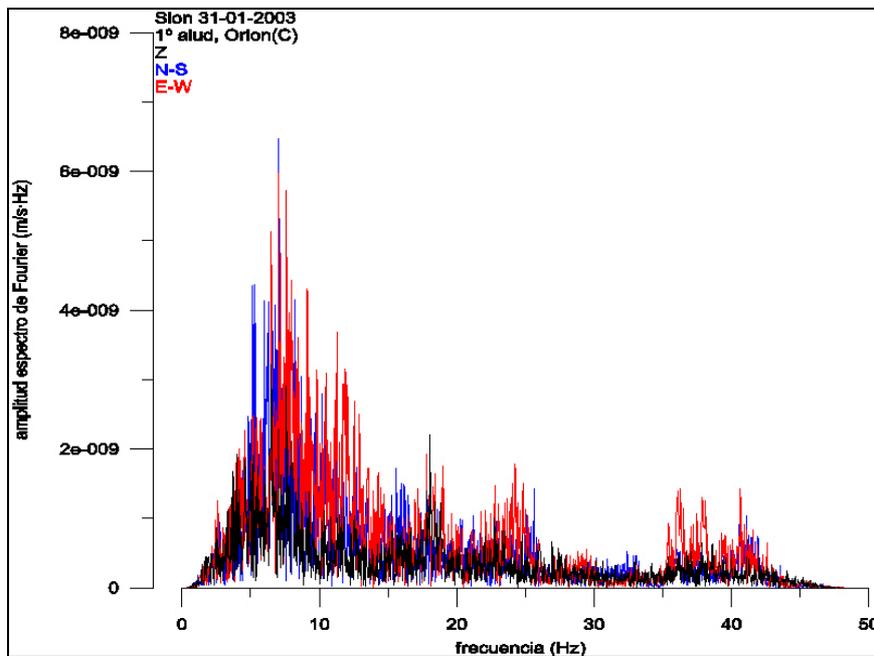


Figura 247. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 31 de diciembre de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 30.3 s y 71.26s.

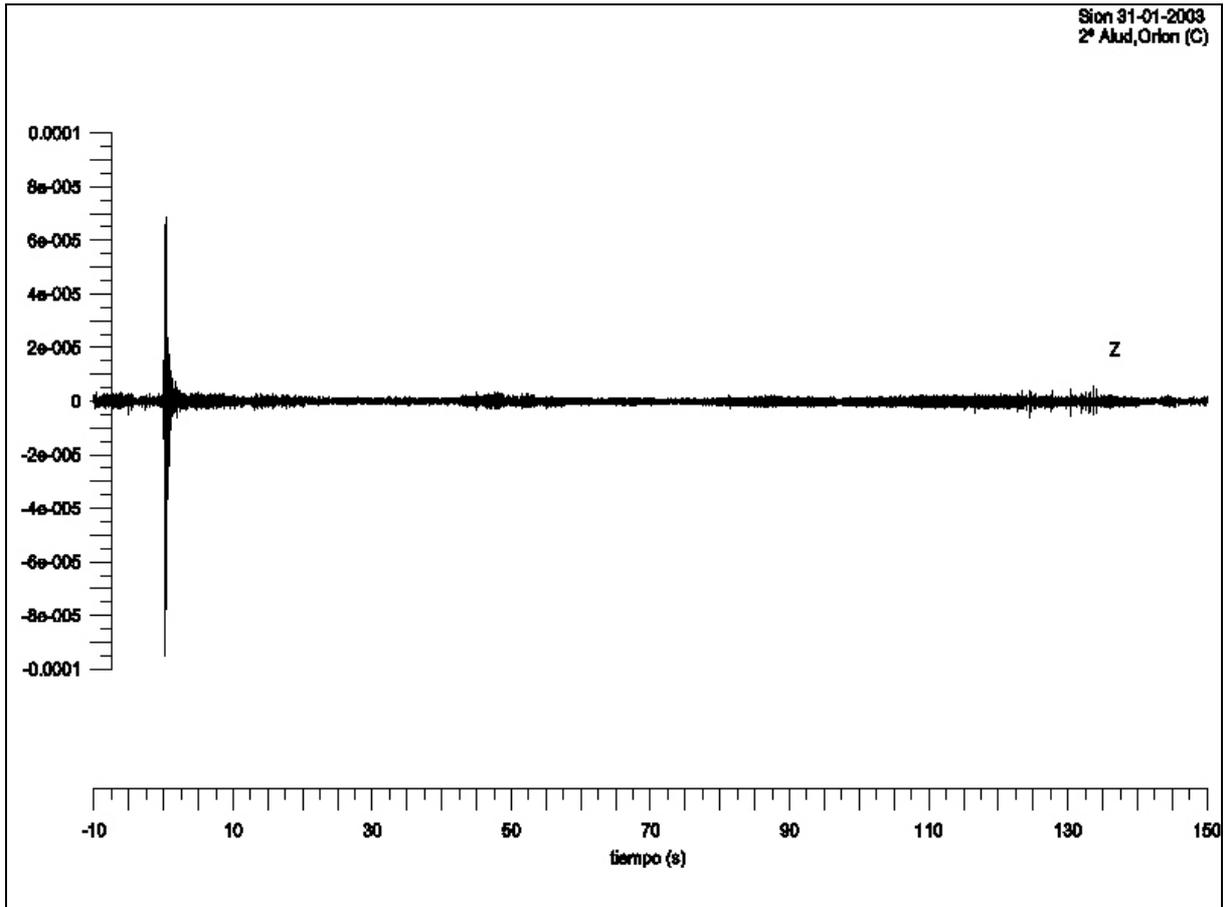


Figura 248. Señal registrada en la estación Orion del emplazamiento C durante el 2º alud del 31 de enero de 2003. El alud fue provocado por una explosión.

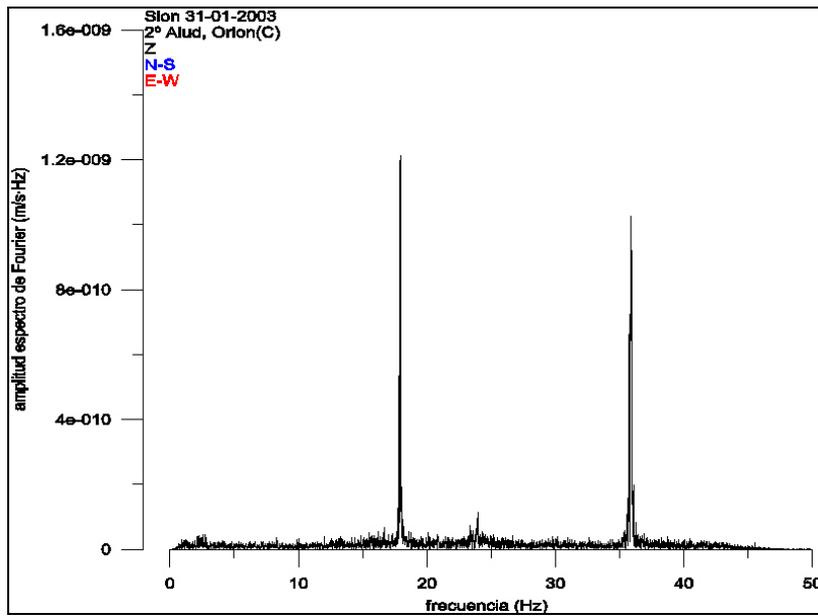


Figura 249. Espectro de Fourier de la señal registrada en la estación Orion del emplazamiento C durante el 2º alud del 31 de diciembre de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 51.5 s y 133.42s.

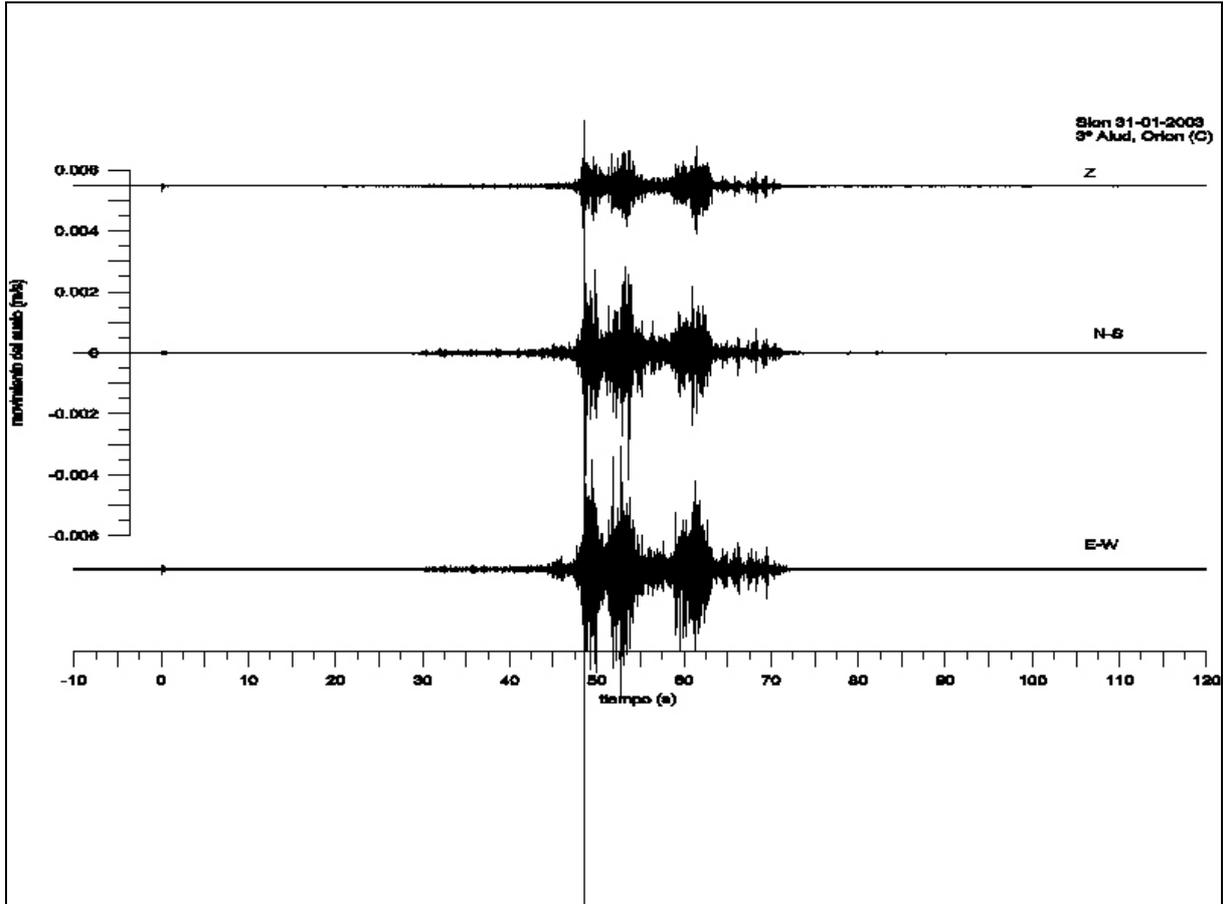


Figura 250. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 3° alud del 31 de enero de 2003. El alud fue provocado por una explosión.

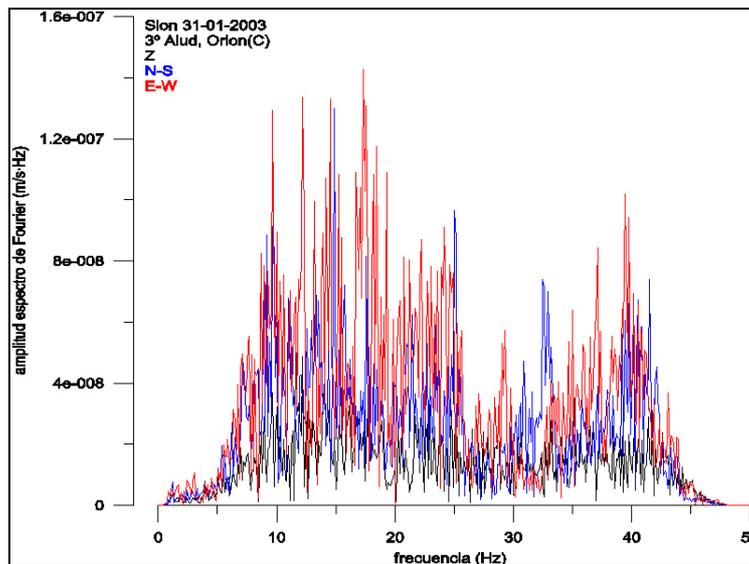


Figura 251. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 3° alud del 31 de enero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 20.55 s y 102.47s.

A.12.4 Aludes del 4-02-2003

El 4 de febrero de 2003 se produjeron dos aludes naturales con muy poca diferencia de tiempo entre ellos. Las dos estaciones Orion registraron estos eventos. No se obtuvieron datos de campo ni cartografía.

- Registros en el emplazamiento B

El estudio del ruido de fondo (*Figura 252*) de este emplazamiento dio unas señales de buena calidad cuyo nivel de ruido se encuentra entre los márgenes establecidos por las curvas *Quiet* y *Noisy*.

Los registros (*Figura 253*) muestran dos señales diferenciadas, la señal comprendida entre 315 s y 345 s podría atribuirse al primer alud y la señal comprendida entre 390 s y 440 s podría atribuirse al segundo alud. Ambas señales son de amplitudes máximas del orden de 10^{-4} m/s y presentan unas duraciones temporales de ~ 76 s y ~ 99 s respectivamente. El espectro (*Figura 254*) de la señal comprendida entre 280 s y 361.92 s muestra un pico en bajas frecuencias [0-10] Hz para las componentes Z y N-S. El espectro (*Figura 255*) de la señal comprendida entre 380 s y 461.92 s no muestra ningún pico diferenciado pero las mayores amplitudes están en bajas frecuencias. En ambos espectros se observa que la componente E-W es menor que las otras dos componentes. Estas señales fueron consideradas SSA en los resultados.

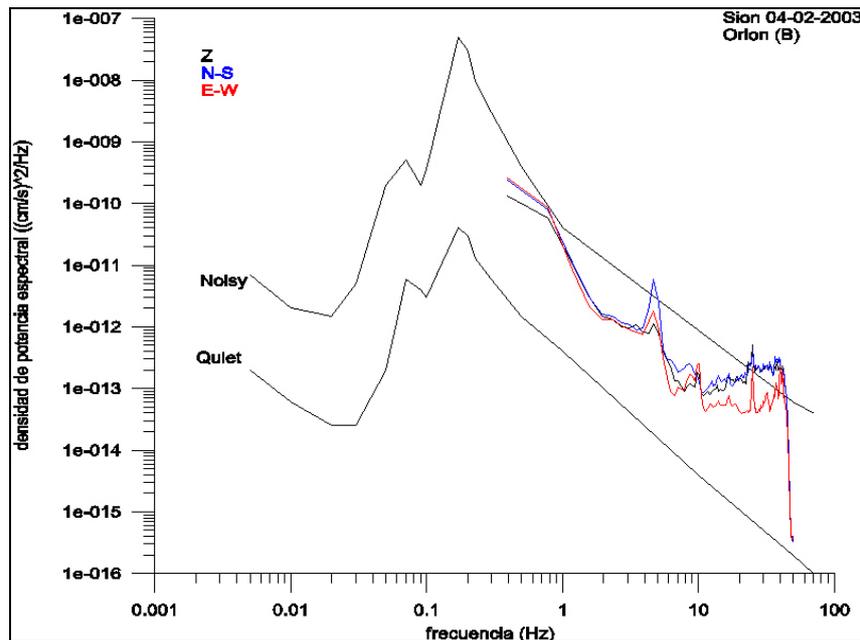


Figura 252. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 250 s de registro previo al primer alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 4 de febrero de 2003 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

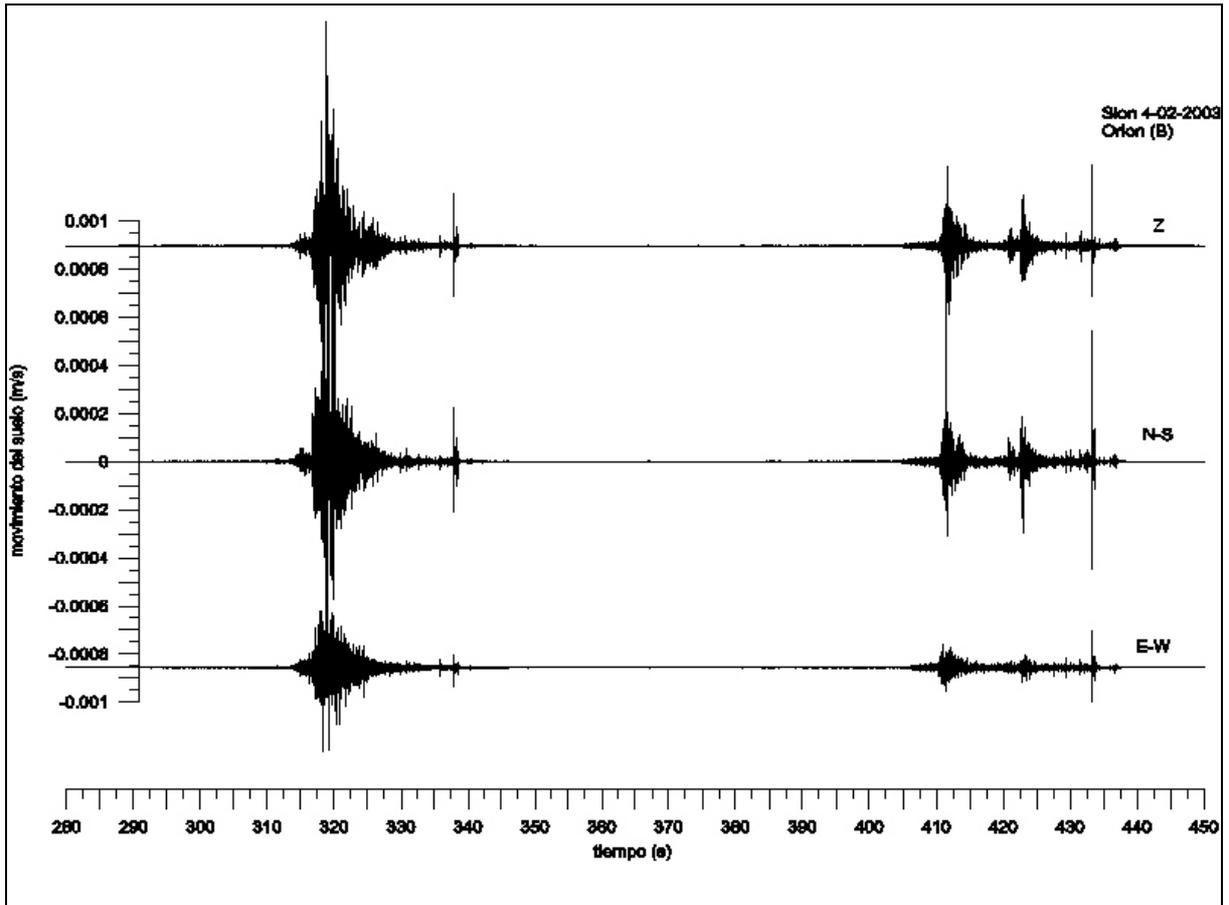


Figura 253. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante los aludes del 4 de febrero de 2003

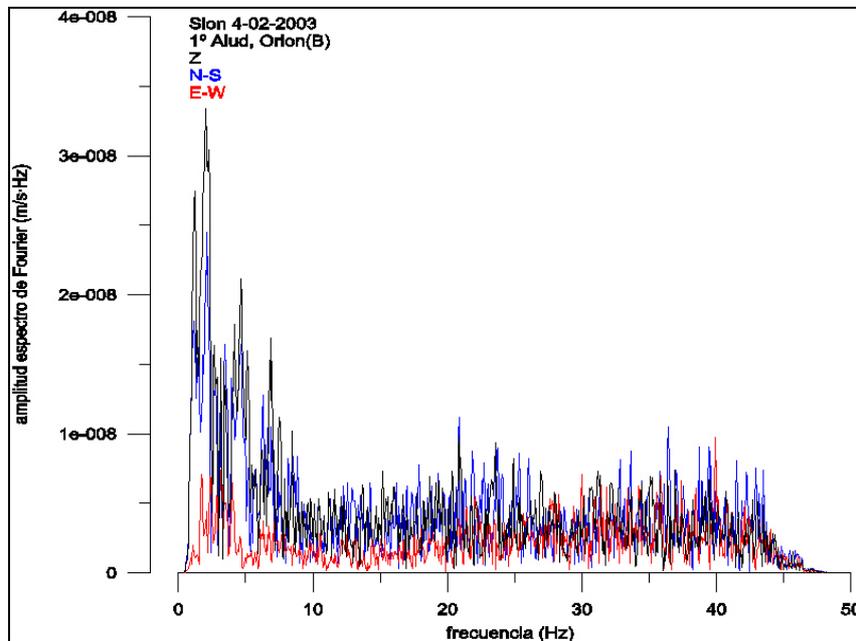


Figura 254. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 1º alud del 4 de febrero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 280 s y 361.92 s.

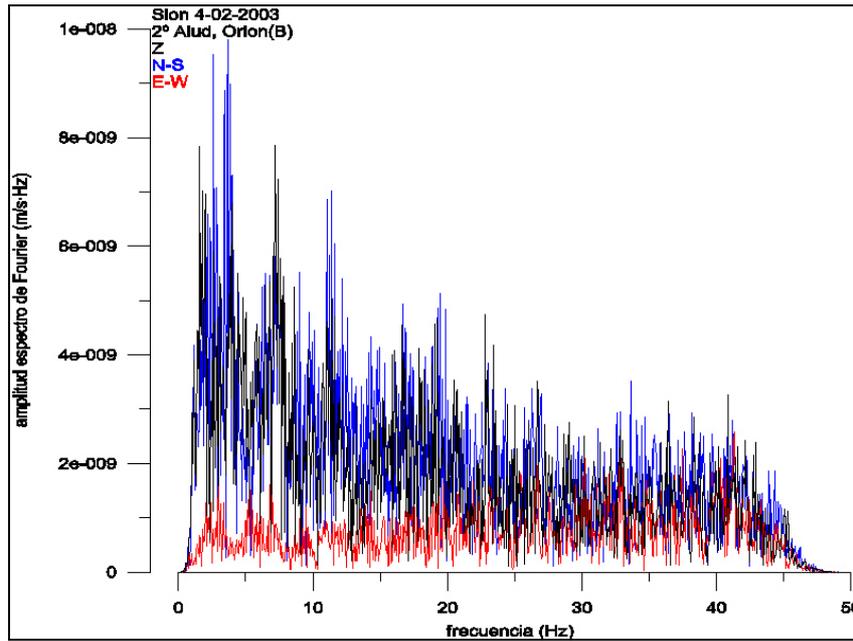


Figura 255. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2º alud del 4 de febrero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 380 s y 461.92s.

- Registros en el emplazamiento C

El estudio del ruido de fondo (Figura 256) de este emplazamiento supera la curva *Noisy* en frecuencias superiores a 4 Hz para las componentes horizontales y 10 Hz para la vertical.

Los registros (Figura 257) obtenidos por esta estación muestran dos señales que podrían asociarse a los dos aludes naturales, la primera a 130 s y la segunda a 240 s. La primera señal presenta amplitudes máximas del orden de 10^{-5} m/s y ~ 90 s de duración. La segunda señal presenta amplitudes máximas del orden de 10^{-6} m/s y ~ 70 s de duración. El espectro (Figura 258) de la señal comprendida entre 140 s y 221.92 s muestra un pico dominante en [5-15] Hz y dos picos menores centrados a 25 Hz y a 40 Hz de mayores (17) amplitudes que los del ruido de fondo. El espectro (Figura 259) calculado a partir del registro entre 230 s y 311.92 s muestra dos picos a 20 Hz y a 40 Hz, el segundo pico coincide (17) con el observado en el ruido de fondo. Ambas señales contribuyeron como SSA en los resultados.

(17) Para hacer estas comparaciones se calcularon las densidades de potencia espectral de los registros a pesar de que no se presentan los cálculos en este trabajo.

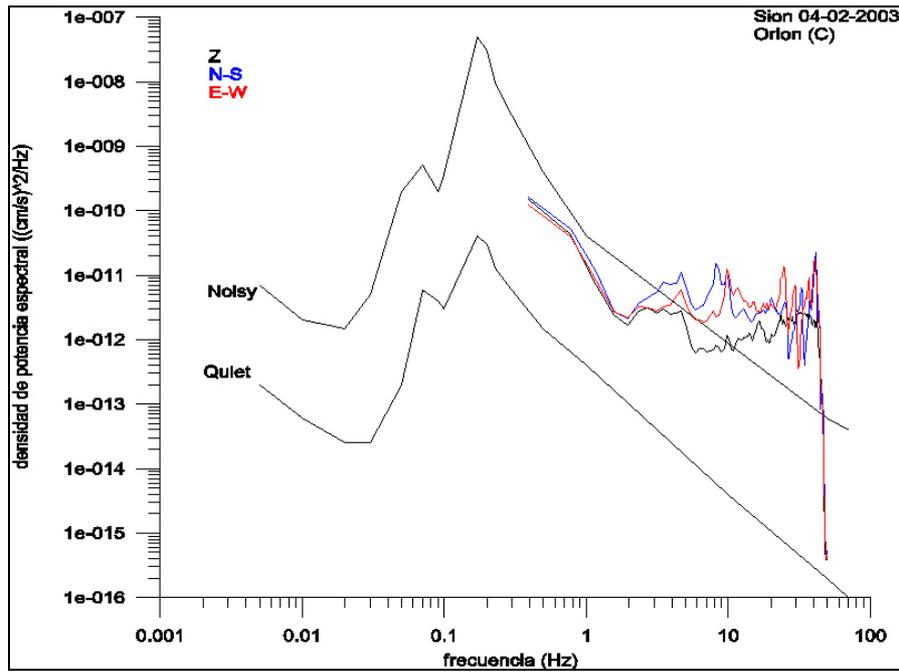


Figura 256. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 200 s de registro previo al primer alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 4 de febrero de 2003 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).

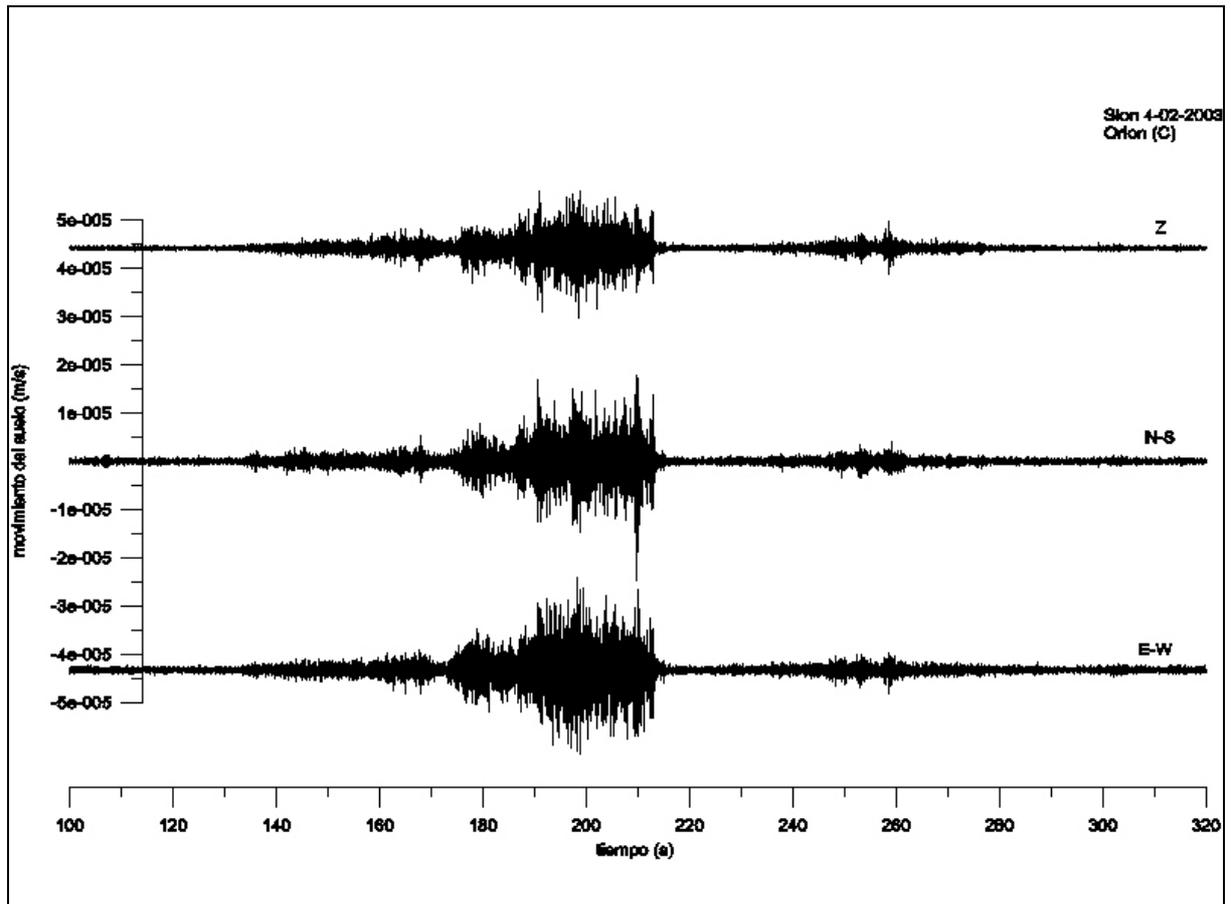


Figura 257. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante los aludes del 4 de febrero de 2003

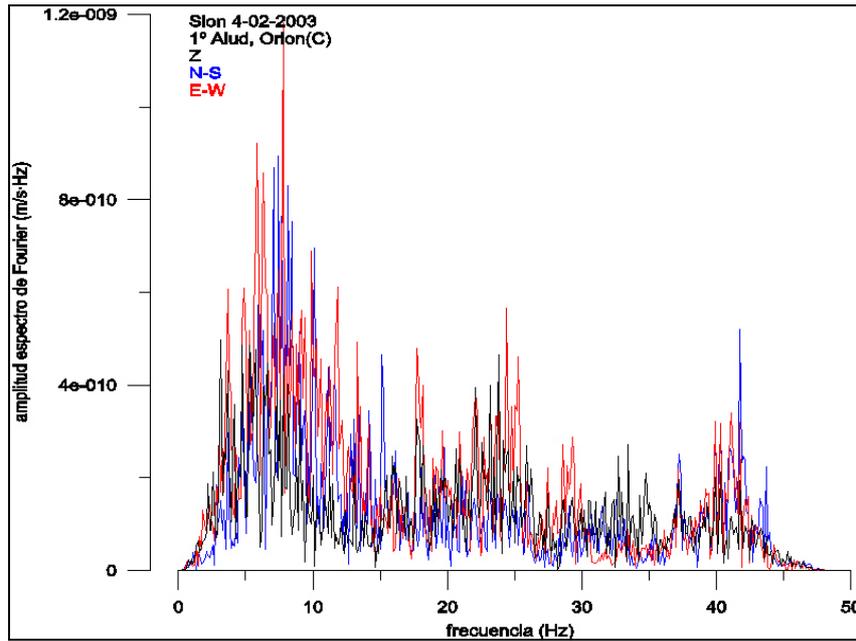


Figura 258. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 4 de febrero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 140 s y 221.92 s.

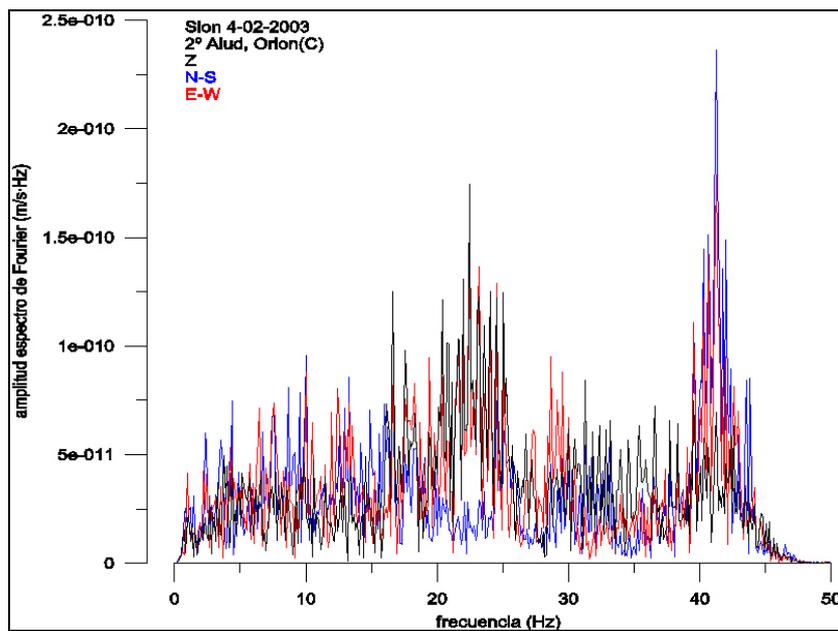


Figura 259. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 2º alud del 4 de febrero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 230 s y 311.92 s.

Índice de figuras

- Figura 1. Cartografía del alud de Cerví de Durro provocado el 11 de enero de 1996 en la estación de esquí de Boí Taüll. E: localización de la explosión que provocó el alud. UB1 y UB3: estaciones sísmicas que registraron el alud. 1,2,3,4 y 5: postes del telesilla. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista _____ 6
- Figura 2. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 9.95 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación UB1 el 11 de enero de 1996 en la estación de esquí de Boí Taüll. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980). _____ 7
- Figura 3. Señales registradas en la estación UB1 durante el alud de Cerví de Durro del 11 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión. La componente vertical no se registró por problemas técnicos en la estación. _____ 7
- Figura 4. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el alud de Cerví de Durro del 11 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 19.16 s y 60.12 s. _____ 8
- Figura 5. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 9.95 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación UB3 el 11 de enero de 1996 en la estación de esquí de Boí Taüll. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980). _____ 9
- Figura 6. Señales registradas en la estación UB3 durante el alud de Cerví de Durro del 11 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión. La componente horizontal N-S tuvo anomalías durante el registro. _____ 9
- Figura 7. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el alud de Cerví de Durro del 11 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 16.4 s y 57.36 s. _____ 10
- Figura 8. Cartografía del alud de Raspes Roies provocado artificialmente el 11 de enero de 1996 en la estación de esquí de Boí Taüll. E: localización de la explosión que provocó el alud. UB3: estación sísmica que registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista. _____ 11
- Figura 9. Señales registradas en la estación UB3 durante el alud de Raspes Roies del 11 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión. _____ 12
- Figura 10. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el alud de Raspes Roies del 11 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 18.12 s y 59.08 s. _____ 13
- Figura 11. Cartografía de los tres aludes provocados artificialmente el 24 de enero de 1996 en la estación de esquí Vall de Núria. ★ 1,2 y3: Localización de las explosiones que provocaron los aludes. UB1, UB2 y UB3: estaciones sísmicas que registraron los aludes. Cartografías realizadas por Glòria Furdada Bellavista. _____ 16
- Figura 12. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 19 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB1 el 24 de enero de 1996 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980). _____ 17
- Figura 13. Señales registradas en la estación UB1 durante el 1º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión. _____ 18
- Figura 14. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 1º alud en Vall de Núria en 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 10.27 s y 51.23s. _____ 18
- Figura 15. Señales registradas en la estación UB1 durante el 2º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión. _____ 19
- Figura 16. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 2º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 11 s y 31.46 s _____ 19
- Figura 17. Señales registradas en la estación UB1 durante el 3º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión _____ 20

- Figura 18. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 3º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 10.93 s y 51.89 s.* 20
- Figura 19. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 5.12 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB2 el 24 de enero de 1996 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).* 21
- Figura 20. Señales registradas en la estación UB2 durante el 1º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.* 22
- Figura 21. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 1º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 14 s y 54.96 s.* 22
- Figura 22. Señales registradas en la estación UB2 durante el 2º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.* 23
- Figura 23. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 2º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 17.3 s y 58.26 s.* 23
- Figura 24. Señales registradas en la estación UB2 durante el 3º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.* 24
- Figura 25. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 3º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 0 s y 20.48 s.* 24
- Figura 26. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 5.12 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB3 el 24 de enero de 1996 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).* 25
- Figura 27. Señales registradas en la estación UB3 durante el 1º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.* 26
- Figura 28. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 1º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 18.4 s y 59.36 s.* 26
- Figura 29. Señales registradas en la estación UB3 durante el 2º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.* 27
- Figura 30. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 2º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 17.2 s y 58.16 s.* 27
- Figura 31. Señales registradas en la estación UB3 durante el 3º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.* 28
- Figura 32. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 3º alud en Vall de Núria el 24 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 16.47 s y 57.43 s.* 28
- Figura 33. Cartografía de los cuatro aludes provocados el 1 de febrero de 1996 en la estación de esquí de Vall de Núria. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.* 30
- Figura 34. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 5.12 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB1 el 1 de febrero de 1996 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).* 31
- Figura 35. Señales registradas en la estación UB1 durante el 1º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.* 31
- Figura 36. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 1º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 19.18 s y 39.66 s.* 32

<i>Figura 37. Señales registradas en la estación UB1 durante el 2º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.</i>	32
<i>Figura 38. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 2º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 11.92 s y 52.88 s.</i>	33
<i>Figura 39. Señales registradas en la estación UB1 durante el 3º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.</i>	33
<i>Figura 40. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 3º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 16.91 s y 57.87 s.</i>	34
<i>Figura 41. Señales registradas en la estación UB1 durante el 4º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.</i>	34
<i>Figura 42. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB1 durante el 4º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 17.87 s y 58.83 s.</i>	35
<i>Figura 43. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 5.12 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB2 el 1 de febrero de 1996 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	36
<i>Figura 44. Señales registradas en la estación UB2 durante el 1º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.</i>	36
<i>Figura 45. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 1º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 17.56 s y 58.52 s.</i>	37
<i>Figura 46. Señales registradas en la estación UB2 durante el 2º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.</i>	37
<i>Figura 47. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 2º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 25.17 s y 45.65 s.</i>	38
<i>Figura 48. Señales registradas en la estación UB2 durante el 3º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.</i>	38
<i>Figura 49. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 3º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 14.82 s y 55.78 s.</i>	39
<i>Figura 50. Señales registradas en la estación UB2 durante el 4º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.</i>	39
<i>Figura 51. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB2 durante el 4º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 20.77 s y 61.73 s.</i>	40
<i>Figura 52. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 5.12 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB3 el 1 de febrero de 1996 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	41
<i>Figura 53. Señales registradas en la estación UB3 durante el 1º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.</i>	41
<i>Figura 54. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 1º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 13.88 s y 54.84 s.</i>	42
<i>Figura 55. Señales registradas en la estación UB3 durante el 2º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.</i>	42

- Figura 56. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 2º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 19.63 s y 60.59 s.* 43
- Figura 57. Señales registradas en la estación UB3 durante el 3º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.* 43
- Figura 58. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 3º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 19.44 s y 60.4 s.* 44
- Figura 59. Señales registradas en la estación UB3 durante el 4º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.* 44
- Figura 60. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el 4º alud en Vall de Núria el 1 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 19.05 s y 60.01 s.* 45
- Figura 61. Cartografía de los tres aludes provocados artificialmente el 3 de enero de 1997 en la estación de esquí de Vall de Núria. En estos casos los límites del alud no pudieron distinguirse. Pdas: estación que registró los aludes. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.* 48
- Figura 62. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 40 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas el 3 de enero de 1997 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).* 49
- Figura 63. Señales registradas en la estación Pdas durante el 1º alud en Vall de Núria el 3 de enero de 1997. El alud fue provocado por una explosión.* 50
- Figura 64. Espectros de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el 1º alud en Vall de Núria el 3 de enero de 1997. Los espectros se calcularon a partir de las señales comprendidas entre 16 s y 36.48 s (izquierda) y 66 s y 86.48s (derecha).* 50
- Figura 65. Señales registradas en la estación Pdas durante el 2º alud en Vall de Núria el 3 de enero de 1976. El alud fue provocado por una explosión.* 51
- Figura 66. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el 2º alud en Vall de Núria el 3 de enero de 1997. El espectro se calculó a partir de las señales comprendidas entre 44.9 s y 65.38 s.* 51
- Figura 67. Señales registradas en la estación Pdas durante el 3º alud en Vall de Núria el 3 de enero de 1976. El alud fue provocado por una explosión.* 52
- Figura 68. Espectros de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el 3º alud en Vall de Núria el 3 de enero de 1997. Los espectros se calcularon a partir de las señales comprendidas entre 21.5 s y 41.98 s (izquierda) y 56.5s y 76.98 s (derecha).* 52
- Figura 69. Efectos del alud aerosol provocado el 10 de enero de 1999 en Vall de Núria. Fotografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.* 54
- Figura 70. Depósitos del alud de placa provocado el 10 de enero de 1999 en Vall de Núria. Fotografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.* 55
- Figura 71. Cartografía de los dos aludes provocados el 10 de enero de 1999 en la estación de esquí de Vall de Núria. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.* 55
- Figura 72. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 200 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas el 10 de enero de 1999 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).* 57
- Figura 73. Señales registradas en la estación Pdas durante el 1º alud en Vall de Núria el 10 de enero de 1999. El alud fue provocado por una explosión.* 57

<i>Figura 74. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el 1º alud en Vall de Núria el 10 de enero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 13.52 s y 54.48 s.</i>	58
<i>Figura 75. Señales registradas en la estación Pdas durante el 2º alud en Vall de Núria el 10 de enero de 1999. El alud fue provocado por una explosión</i>	58
<i>Figura 76. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el 2º alud en Vall de Núria el 10 de enero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 21.68 s y 62.64 s.</i>	59
<i>Figura 77. Los puntos 1,2 y 3 indican las posiciones de los tiros que se lanzaron el 23 de diciembre de 2000 en la estación de esquí de Vall de Vall de Núria. Las condiciones meteorológicas impidieron hacer una cartografía de los aludes.</i>	61
<i>Figura 78. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 50 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas el 23 de diciembre de 2000 en la estación de Vall de Núria. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	63
<i>Figura 79. Señales registradas en la estación Pdas en el 1º tiro en Vall de Núria el 23 de diciembre de 2000.</i>	63
<i>Figura 80. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas en el 1º tiro. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 70 s y 151.92 s.</i>	64
<i>Figura 81. Señales registradas en la estación Pdas en el 2º tiro en Vall de Núria el 23 de diciembre de 2000</i>	64
<i>Figura 82. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas en el 2º tiro en Vall de Núria el 23 de diciembre de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 70.69 s y 111.65 s.</i>	65
<i>Figura 83. Señales registradas en la estación Pdas en el 3º tiro en Vall de Núria el 23 de diciembre de 2000.</i>	65
<i>Figura 84. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas en el 3º tiro en Vall de Núria el 23 de diciembre de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 80 s y 120.97 s.</i>	66
<i>Figura 85. Cartografía del alud provocado artificialmente el 15 de febrero de 1996 en el Vallée de La Sionne. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.</i>	68
<i>Figura 86. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 5.12 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación UB3 el 15 de febrero de 1996 en la estación de esquí de Anzère. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	69
<i>Figura 87. Señales registradas en la estación UB3 durante el alud de Pointe de Tsarmettes en La Sionne el 15 de febrero de 1996. El alud fue provocado por una explosión.</i>	69
<i>Figura 88. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación UB3 durante el alud de Pointe des Tsarmettes el 15 de febrero de 1996. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 12.03 s y 32.51s.</i>	70
<i>Figura 89. Cartografía de los dos aludes provocados artificialmente el 16 de febrero de 1997 en el Vallée de La Sionne. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.</i>	72
<i>Figura 90. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas fueron calculadas a partir de 50 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas el 16 de febrero de 1997 en la estación de esquí de Anzère. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	73
<i>Figura 91. Señales registradas en la estación Pdas durante los aludes de Pointe des Tsarmettes y Lui du Sac el 16 de febrero de 1976. Los aludes fueron provocados por una explosión.</i>	74
<i>Figura 92. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el alud de Pointe des Tsarmettes en La Sionne el 16 de febrero de 1997. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 20 s y 60.69 s.</i>	74

<i>Figura 93. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas durante el alud de Lui du Sac en La Sionne el 16 de febrero de 1997. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 129.22 s y 170.18 s.</i>	75
<i>Figura 94. Cartografía del alud provocado artificialmente el 30 de enero de 1999 en el Vallée de La Sionne. A, B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.</i>	78
<i>Figura 95. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 30 de enero de 1999. El alud fue provocado por una explosión.</i>	79
<i>Figura 96. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 30 de enero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 5 s y 15.24 s.</i>	79
<i>Figura 97. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 150 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento B el 30 de enero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	80
<i>Figura 98. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento B durante el alud del 30 de enero de 1999. El alud fue provocado por una explosión.</i>	81
<i>Figura 99. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento B durante el alud del 30 de enero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 36.51 s y 118.43 s</i>	81
<i>Figura 100. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 200 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento C el 30 de enero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	82
<i>Figura 101. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el alud del 30 de enero de 1999. El alud fue provocado por una explosión. Estos registros presentan saturación</i>	83
<i>Figura 102. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el alud del 30 de enero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 32.18 s y 52.66 s.</i>	83
<i>Figura 103. Cartografía del alud provocado artificialmente el 10 de febrero de 1999 en el Vallée de La Sionne. A, B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.</i>	85
<i>Figura 104. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 10 de febrero de 1999. El alud fue provocado por una explosión.</i>	86
<i>Figura 105. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 10 de febrero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 17.5 s y 37.98 s.</i>	86
<i>Figura 106. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 300 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento B el 10 de febrero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	87
<i>Figura 107. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento B durante el alud del 10 de febrero de 1999. El alud fue provocado por una explosión. Estos registros presentan saturación.</i>	88
<i>Figura 108. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento B durante el alud del 10 de febrero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 60.36s y 80.84s</i>	88
<i>Figura 109. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 100 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento C el 10 de febrero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	89
<i>Figura 110. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el alud del 10 de febrero de 1999. El alud fue provocado por una explosión. Estos registros presentan saturación</i>	90

<i>Figura 111. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el alud del 10 de febrero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 31.98s y 52.46s.</i>	90
<i>Figura 112. Cartografía del alud provocado artificialmente el 25 de febrero de 1999 en el valle experimental de La Sionne. A, B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.</i>	91
<i>Figura 113. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 15 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Syscom en el emplazamiento A el 25 de febrero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	92
<i>Figura 114. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 25 de febrero de 1999. El alud fue provocado por una explosión</i>	93
<i>Figura 115. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 25 de febrero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 20 s y 40.78 s.</i>	94
<i>Figura 116. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 150 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento B el 25 de febrero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	95
<i>Figura 117. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento B durante el alud del 25 de febrero de 1999. El alud fue provocado por una explosión</i>	95
<i>Figura 118. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento B durante el alud del 25 de febrero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 62.6 s y 83.08 s.</i>	96
<i>Figura 119. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 150 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento C el 25 de febrero de 1999 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	97
<i>Figura 120. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el alud del 25 de febrero de 1999. El alud fue provocado por una explosión.</i>	97
<i>Figura 121. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el alud del 25 de febrero de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 32.26s y 52.74s</i>	98
<i>Figura 122. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 27 de diciembre de 1999.</i>	100
<i>Figura 123. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 27 de diciembre de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 2.5 s y 43.46s.</i>	100
<i>Figura 124. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento B durante el alud del 27 de diciembre de 1999.</i>	101
<i>Figura 125. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento B durante el alud del 27 de diciembre de 1999. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 3.75 s y 44.71s.</i>	102
<i>Figura 126. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 29 de enero de 2000.</i>	103
<i>Figura 127. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el alud del 29 de enero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 2.5 s y 22.98 s.</i>	104

<i>Figura 128. Cartografías de los aludes provocados artificialmente el 10 de febrero de 2000 en el Vallée de La Sionne. C: emplazamiento donde se registraron los aludes. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.</i>	106
<i>Figura 129. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 1500 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento C el 10 de febrero de 2000 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	107
<i>Figura 130. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 1º alud del 10 de enero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.</i>	108
<i>Figura 131. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 1º alud del 10 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 10s y 20.24s.</i>	108
<i>Figura 132. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 2º alud del 10 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.</i>	109
<i>Figura 133. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 2º alud del 10 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 27.8 s y 68.76s.</i>	109
<i>Figura 134. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 3º alud del 10 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.</i>	110
<i>Figura 135. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 3º alud del 10 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 65.6 s y 147.52s.</i>	110
<i>Figura 136. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 4º alud del 10 de febrero de 2000.</i>	111
<i>Figura 137. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 4º alud del 10 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 28.5 s y 110.42s.</i>	111
<i>Figura 138. Cartografías de los aludes provocados artificialmente el 20 de febrero de 2000 en el Vallée de La Sionne. A,B y C: emplazamientos donde se registraron los aludes. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.</i>	113
<i>Figura 139. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el 2º alud del 20 de febrero de 2000</i>	114
<i>Figura 140. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el 2º alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 2.5 s y 22.98s.</i>	114
<i>Figura 141. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el 4º alud del 20 de febrero de 2000</i>	115
<i>Figura 142. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento A durante el 4º alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 20 s y 40.48s.</i>	115
<i>Figura 143. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento B durante el 2º alud del 20 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.</i>	116
<i>Figura 144. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento B durante el 2º alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 0 s y 20.48 s.</i>	117

<i>Figura 145. Señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento B durante el 4° alud del 20 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente</i>	117
<i>Figura 146. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Syscom del emplazamiento B durante el 4° alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 3.75s y 24.23s.</i>	118
<i>Figura 147. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 70 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento C el 20 de febrero de 2000 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	119
<i>Figura 148. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 1° alud del 20 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente</i>	119
<i>Figura 149. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 1° alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 23.97 s y 105.89 s.</i>	120
<i>Figura 150. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 2° alud del 20 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.</i>	120
<i>Figura 151. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 2° alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 24.04 s y 105.96 s.</i>	121
<i>Figura 152. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 3° alud del 20 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.</i>	121
<i>Figura 153. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 3° alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 65.68 s y 147.6s.</i>	122
<i>Figura 154. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 4° alud del 20 de febrero de 2000. Este alud fue provocado artificialmente.</i>	122
<i>Figura 155. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 4° alud del 20 de febrero de 2000. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 21.08s y 103.</i>	123
<i>Figura 156. Cartografía de los aludes provocados artificialmente el 5 de marzo de 2001 en el Vallée de La Sionne. C: emplazamiento donde se registraron los aludes. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.</i>	126
<i>Figura 157. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 140 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Pdas en el emplazamiento C el 5 de marzo de 2001 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	127
<i>Figura 158. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 1° alud del 5 de marzo de 2001. El alud fue provocado por una explosión</i>	128
<i>Figura 159. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 1° alud del 5 de marzo de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 59.5 s y 100.46s.</i>	128
<i>Figura 160. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 2° alud del 5 de marzo de 2001. El alud fue provocado por una explosión</i>	129
<i>Figura 161. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 2° alud del 5 de marzo de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 70.9 s y 111.86s.</i>	129

<i>Figura 162. Señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 3° alud del 5 de marzo de 2001. El alud fue provocado por una explosión</i>	130
<i>Figura 163. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Pdas del emplazamiento C durante el 3° alud del 5 de marzo de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 116.24 s y 157.2s.</i>	130
<i>Figura 164. Cartografía de los aludes naturales del 29 de diciembre de 2001 en el Vallée de La Sionne. Sólo pudo cartografiarse el tercer alud. B y C: emplazamientos donde se registraron los aludes. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.</i>	132
<i>Figura 165. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 150 s de registro previo al primer alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 29 de diciembre de 2001 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	133
<i>Figura 166. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 1° alud del 29 de diciembre de 2001</i>	134
<i>Figura 167. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 1° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 110 s y 191.92 s.</i>	134
<i>Figura 168. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2° alud del 29 de diciembre de 2001</i>	135
<i>Figura 169. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 240 s y 321.92 s.</i>	135
<i>Figura 170. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 3° alud del 29 de diciembre de 2001</i>	136
<i>Figura 171. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 3° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 90 s y 130.96s.</i>	136
<i>Figura 172. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 4° alud del 29 de diciembre de 2001</i>	137
<i>Figura 173. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 4° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 200 s y 527.68 s.</i>	137
<i>Figura 174. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 5° alud del 29 de diciembre de 2001</i>	138
<i>Figura 175. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 5° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 280 s y 443.84 s.</i>	138
<i>Figura 176. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 430 s de registro previo al primer alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 29 de diciembre de 2001 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	140
<i>Figura 177. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1° alud del 29 de diciembre de 2001</i>	140
<i>Figura 178. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre los 120 s y los 140.48 s.</i>	141

<i>Figura 179. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 2° alud del 29 de diciembre de 2001</i>	141
<i>Figura 180. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 2° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 240 s y 321.92 s.</i>	142
<i>Figura 181. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 3° alud del 29 de diciembre de 2001</i>	142
<i>Figura 182. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 3° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 90 s y 130.96 s.</i>	143
<i>Figura 183. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 4° alud del 29 de diciembre de 2001</i>	143
<i>Figura 184. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 4° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 200 s y 527.68 s.</i>	144
<i>Figura 185. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 5° alud del 29 de diciembre de 2001</i>	144
<i>Figura 186. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 5° alud del 29 de diciembre de 2001. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 280 s y 443.84 s.</i>	145
<i>Figura 187. Cartografía del alud natural del 13 de febrero de 2002 en el Vallée de La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.</i>	146
<i>Figura 188. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 300 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 13 de febrero de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	147
<i>Figura 189. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 13 de febrero de 2002.</i>	148
<i>Figura 190. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 13 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 330s y 493.84 s</i>	148
<i>Figura 191. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 100 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 13 de febrero de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	149
<i>Figura 192. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 13 de febrero de 2002.</i>	150
<i>Figura 193. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 13 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 150s y 477.68 s.</i>	150
<i>Figura 194. Cartografía del alud natural del 21 de febrero de 2002 en el Vallée La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.</i>	151
<i>Figura 195. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 200 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 21 de febrero de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	152

<i>Figura 196. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 21 de febrero de 2002.</i>	153
<i>Figura 197. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 21 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 340 s y 380.96 s.</i>	153
<i>Figura 198. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 200 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 21 de febrero de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	154
<i>Figura 199. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 21 de febrero de 2002.</i>	155
<i>Figura 200. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 21 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 350 s y 390.96 s</i>	155
<i>Figura 201. Cartografías de los aludes artificiales del 22 de febrero de 2002 en el Vallée de La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.</i>	157
<i>Figura 202. Curvas de densidad de potencia espectral. Estas curvas se calcularon a partir de 100 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 22 de febrero de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	158
<i>Figura 203. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 1º alud del 22 de febrero de 2002. El alud fue provocado por una explosión</i>	159
<i>Figura 204. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 1º alud del 22 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 30.14 s y 112.06s.</i>	159
<i>Figura 205. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2º alud del 22 de febrero de 2002. El alud fue provocado por una explosión.</i>	160
<i>Figura 206. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2º alud del 22 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 38.83 s y 120.75s.</i>	160
<i>Figura 207. Curvas de densidad de potencia espectral. Estas curvas se calcularon a partir de 120 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 22 de febrero de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	161
<i>Figura 208. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 22 de febrero de 2002. El alud fue provocado por una explosión</i>	162
<i>Figura 209. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 22 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 92.6 s y 133.56s.</i>	162
<i>Figura 210. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 2º alud del 22 de febrero de 2002. El alud fue provocado por una explosión.</i>	163
<i>Figura 211. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 22 de febrero de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 82.29 s y 128.25 s.</i>	163

- Figura 212. Cartografía del alud del 13 de marzo de 2002 en el Vallée de La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista. _____ 164
- Figura 213. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 80 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 13 de marzo de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980). _____ 165
- Figura 214. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 13 de marzo de 2002. _____ 166
- Figura 215. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 13 de marzo de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 60 s y 387.68 s. 166
- Figura 216. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 80 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 13 de marzo de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980). _____ 167
- Figura 217. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 13 de marzo de 2002. _____ 168
- Figura 218. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 13 de marzo de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 90 s y 417.68 s. 168
- Figura 219. Cartografía del alud del 20 de marzo de 2003 en el Vallée de La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista. _____ 169
- Figura 220. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 40 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 20 de marzo de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980). _____ 170
- Figura 221. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 20 de marzo de 2002. _____ 171
- Figura 222. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 20 de marzo de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 100 s y 427.68 s. _____ 171
- Figura 223. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 80 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 20 de marzo de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980). _____ 172
- Figura 224. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 20 de marzo de 2002. _____ 173
- Figura 225. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 20 de marzo de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 170 s y 497.68 s. _____ 173
- Figura 226. Cartografía del alud del 22 de diciembre de 2002 en el Vallée de La Sionne. C: emplazamiento donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista. _____ 176
- Figura 227. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 30 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 22 de diciembre de 2002 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980). _____ 177
- Figura 228. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 22 de diciembre de 2002 _____ 177

Figura 229. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 22 de diciembre de 2002. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 125 s y 452.18s. _____ 178

Figura 230. Cartografía del alud del 2 de enero de 2003 en el Vallée La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registró el alud. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista. _____ 180

Figura 231. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 100 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 2 de enero de 2003 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980). _____ 181

Figura 232. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 2 de enero de 2003. _____ 181

Figura 233. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el alud del 2 de enero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 0 s y 327.18 s. _ 182

Figura 234. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 100 s de registro previo al alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 2 de enero de 2003 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980). _____ 182

Figura 235. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 2 de enero de 2003. _____ 183

Figura 236. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el alud del 2 de enero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 70 s y 397.18 s. _ 183

Figura 237. Cartografía de los aludes provocados artificialmente el 31 de enero de 2003 en el Vallée de La Sionne. B y C: emplazamientos donde se registraron los aludes. Cartografía realizada por Glòria Furdada Bellavista. _____ 185

Figura 238. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 150 s de registro previo a la explosión. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 31 de enero de 2003 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980). _____ 186

Figura 239. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1º alud del 31 de enero de 2003. El alud fue provocado por una explosión _____ 187

Figura 240. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 1º alud del 31 de enero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 9.8s y 173.64s. _____ 187

Figura 241. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2º alud del 31 de enero de 2003. El alud fue provocado por una explosión. _____ 188

Figura 242. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2º alud del 31 de enero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 27.5 s y 109.42s. _____ 188

Figura 243. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 3º alud del 31 de enero de 2003. El alud fue provocado por una explosión _____ 189

Figura 244. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 3º alud del 31 de diciembre de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 8.53 s y 172.37 s. _____ 189

Figura 245. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 60 s de registro previo a la primera explosión. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 31 de enero de 2003 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980). _____ 190

<i>Figura 246. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1° alud del 31 de enero de 2003. El alud fue provocado por una explosión.</i>	191
<i>Figura 247. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1° alud del 31 de diciembre de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 30.3 s y 71.26s.</i>	191
<i>Figura 248. Señal registrada en la estación Orion del emplazamiento C durante el 2° alud del 31 de enero de 2003. El alud fue provocado por una explosión.</i>	192
<i>Figura 249. Espectro de Fourier de la señal registrada en la estación Orion del emplazamiento C durante el 2° alud del 31 de diciembre de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 51.5 s y 133.42s.</i>	192
<i>Figura 250. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 3° alud del 31 de enero de 2003. El alud fue provocado por una explosión.</i>	193
<i>Figura 251. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 3° alud del 31 de enero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 20.55 s y 102.47s.</i>	193
<i>Figura 252. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 250 s de registro previo al primer alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento B el 4 de febrero de 2003 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	194
<i>Figura 253. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante los aludes del 4 de febrero de 2003</i>	195
<i>Figura 254. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 1° alud del 4 de febrero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 280 s y 361.92 s.</i>	195
<i>Figura 255. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento B durante el 2° alud del 4 de febrero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 380 s y 461.92s.</i>	196
<i>Figura 256. Curvas de densidad de potencia espectral. Las curvas se calcularon a partir de 200 s de registro previo al primer alud. El registro fue obtenido por la estación Orion en el emplazamiento C el 4 de febrero de 2003 en La Sionne. Estas curvas se comparan con las curvas de referencia de Aki y Richards (1980).</i>	197
<i>Figura 257. Señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante los aludes del 4 de febrero de 2003</i>	197
<i>Figura 258. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 1° alud del 4 de febrero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 140 s y 221.92 s.</i>	198
<i>Figura 259. Espectro de Fourier de las señales registradas en la estación Orion del emplazamiento C durante el 2° alud del 4 de febrero de 2003. El espectro se calculó a partir de la señal comprendida entre 230 s y 311.92 s.</i>	198