

5 Instrumentación

En este capítulo se describen las características técnicas de los diferentes equipos instrumentales con los que se obtuvieron los datos experimentales, el modo en que se hicieron funcionar y en qué campañas fueron utilizados. A lo largo de las campañas de adquisición de datos los equipos utilizados han ido variando según las condiciones de cada emplazamiento y según los equipos de los que se disponía. En algunas campañas se utilizaron simultáneamente dos equipos diferentes. En total se han utilizado cuatro equipos diferentes a lo largo de las campañas experimentales.

5.1 Estación de registro Lennartz con sismómetro Mark L4-3D

Los equipos utilizados durante las primeras campañas experimentales consistían en estaciones de registro analógicas Lennartz junto con sismómetros activos Mark L4-3D (*Figura 5-1*).

5.1.1 Sistema de adquisición analógico Lennartz

La estación de registro Lennartz consiste en una unidad de amplificación de tres canales cuya ganancia en tensión puede seleccionarse en potencias de 2 (6dB) entre 2^{-2} y 2^{11} (Córdoba, 1986). Estas estaciones permiten elegir una amplificación independiente para cada canal, sin embargo durante nuestras campañas experimentales se decidió aplicar la misma amplificación para los tres canales con objeto de facilitar la conversión de las señales a movimiento del suelo.

Cada canal está modulado en frecuencia usando portadoras de 0.86 Hz, 2.1 Hz y 4.4 Hz para la componente transversal, longitudinal y vertical del sismómetro respectivamente. A su vez se modula también una señal pilotada por un cuarzo de 6.4 Hz que sirve para corregir las irregularidades en la velocidad de arrastre del sistema de registro y permite reproducir en el laboratorio las condiciones de grabación en el campo. Las tres señales de las tres componentes más la señal de tiempo y la señal piloto se mezclan en una señal única. Esta señal resultante se graba en cinta magnética o cassette mediante un magnetófono. El arranque y la parada del registrador son manuales.

Con objeto de sincronizar los diferentes registros del conjunto de estaciones, cada equipo lleva un receptor horario que recibe las señales MSF (77.5 kHz) o DCF (60 kHz) según el receptor que utiliza.

La alimentación de todo el equipo se realiza mediante baterías secas (32 pilas de 4.5 V) con una duración de registro muy variable según las condiciones ambientales (humedad, precipitaciones, temperatura).

La señal analógica pasó por un proceso de digitalización con un muestreo de 100 m.p.s.



Figura 5-1. Fotografía de la estación Lennartz instalada en Vallée de La Sionne (Anzère) en 1996.

5.1.2 Sismómetro Mark L4-3D

El sismómetro utilizado en este equipo es el modelo Mark L4-3D. Este sismómetro activo tiene las siguientes características técnicas:

Sensibilidad: 128 Vs/m
Frecuencia propia: 2 Hz
Amortiguamiento: 0.8 * crítico
Dimensiones: 203 mm de diámetro y 182 mm de altura
Peso: 9.1 kg

La Universitat de Barcelona (UB) adquirió tres sismómetros de este tipo en 1974. Debido a su antigüedad se perdieron algunas de las fichas de las características técnicas de estos geófonos y por ello se hicieron calibraciones en el laboratorio para controlar las respuestas. Después de ese estudio se consideró tomar la sensibilidad y la frecuencia propia que se han indicado anteriormente para todos los componentes de todos los sensores a pesar de que había pequeñas variaciones.

5.2 Estación de registro Pdas (Teledyne-Geotech) con sensor Lennartz LE-3D/5s

A partir del año 1997 se fueron sustituyendo los equipos analógicos Lennartz por los equipos digitales Pdas. Las estaciones de registro Pdas funcionaron con sensores Lennartz LE-3D/5s. Se dispuso de tres equipos diferentes que se fueron instalando en las diferentes campañas según se consideró oportuno.

5.2.1 Sistema de adquisición digital Pdas (Teledyne-Geotech)

Las estaciones Pdas (Pdas User's Manual, 1989) son estaciones digitales con tres canales para las tres componentes del movimiento del suelo (*Figura 5-2*). Estas estaciones pueden funcionar según tres modos de registro: evento, continuo y ventana. En el momento de la instalación de los equipos no se podía saber con exactitud el día en el que se producirían los experimentos ni la amplitud de los registros que se obtendrían. Por estas razones las estaciones se programaron para grabar en modo continuo poniéndolas en marcha sólo antes de cada experimento. Con este modo de funcionamiento se requería que una persona pusiera en marcha manualmente el equipo antes de cada experiencia, lo que implicaba no poder registrar aludes naturales. A lo largo de las diferentes campañas se utilizaron tres equipos diferentes, dos de ellos con una memoria de 9 Mb (Pdas-279 y Pdas-280) y un equipo (Pdas-281) con una memoria de 6 Mb. Se utilizó un muestreo de 100 m.p.s. Con este muestreo las memorias son equivalentes a aproximadamente 3 horas y 30 minutos de registro y 2 horas y 10 minutos respectivamente. Una vez finalizados los registros se traspasaban los datos de la estación de registro a un PC y después se borraban de la estación para que quedara libre la memoria y preparada para el siguiente experimento.

Se eligió el modo de ganancia variable (*gain range*) para que se pudieran registrar señales en el máximo rango de amplitud posible. Este modo de registro utiliza el formato 14/2. Este formato almacena los datos con 16 bits: en los dos bits menores se guarda la información de la ganancia y en los otros 14 se almacena el valor digitalizado.

Las estaciones Pdas tienen un reloj interno. Estos equipos tienen también una conexión para antena GPS. El tiempo de estos equipos se ajustó con el GPS al principio de cada campaña. En ninguna campaña se dejó la antena del GPS conectada a la estación por el peligro que implican durante las tormentas eléctricas. A lo largo de las campañas la deriva que se detectó era despreciable en comparación con la longitud de nuestros registros.

Las estaciones Pdas pueden funcionar conectadas a baterías o directamente a una toma de corriente. Estos equipos funcionaron con baterías de 12 V en los emplazamientos en los que no había ninguna toma de corriente próxima. En estos casos las baterías se recargaban antes de cada experimento y se llevaban junto a la estación en el momento en que se iba a poner en marcha debido a que la descarga se aceleraba por las condiciones de humedad y frío en las que se encontraban habitualmente los equipos. En los emplazamientos de Vallée de La Sionne estos equipos estaban en recintos con toma de corriente y por ello los equipos pudieron funcionar conectados a la corriente.

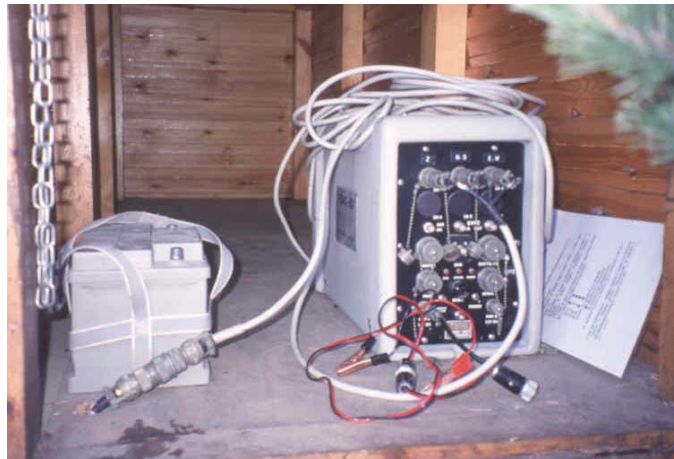


Figura 5-2. Estación Pdas (Teledyne-Geotech) instalada en la caseta de 'Les Camilles' en Núria. A la izquierda de la estación se encuentran las baterías utilizadas para su funcionamiento. Fotografía realizada por Glòria Furdada Bellavista.

5.2.2 Sismómetro Lennartz LE-3D/5s

Junto con las estaciones Pdas se utilizaron sensores activos Lennartz del modelo LE-3D/5s. La curva de respuesta se presenta en la *Figura 5-3*. Las especificaciones técnicas son:

Sensibilidad: 400 Vs/m
 Frecuencia propia: 0.2 Hz (5 s)
 Amortiguamiento: 0.7 * crítico
 Rango de temperaturas: -15°C - +35°C
 Dimensiones: 195 mm de diámetro y 165 mm de altura
 Peso: 6 kg aprox.
 Consumo de potencia: 10-15 V / 100 mW aprox. (12 V/8 mA)

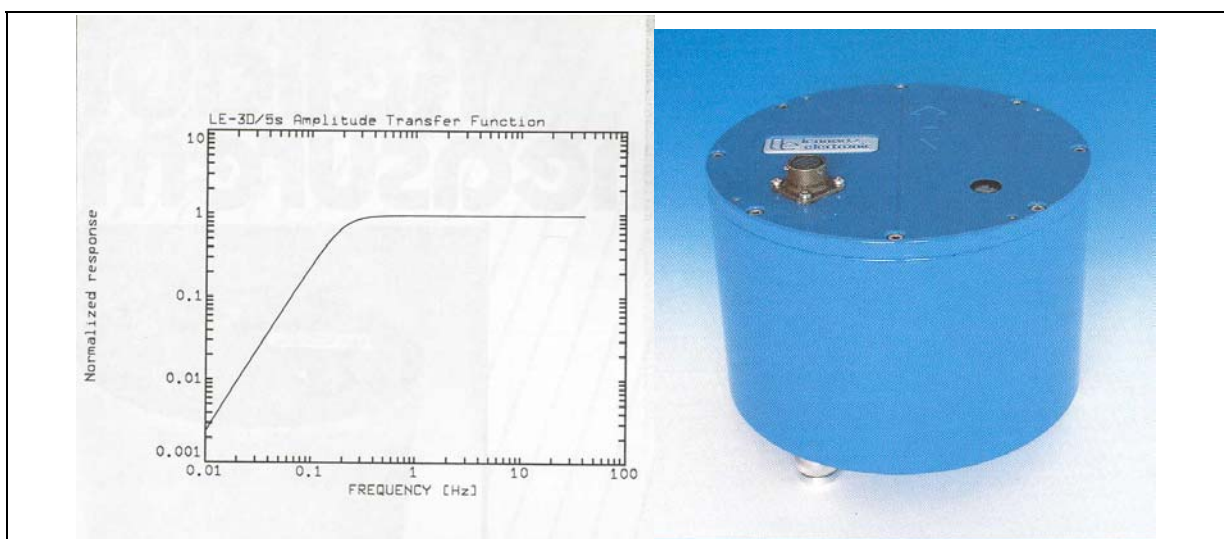


Figura 5-3. Curva de respuesta (según datos de constructor) del sensor Lennartz LE-3D/5s (izquierda). Sensor Lennartz LE-3D/5s utilizado junto a la estación de registro Pdas (derecha).

5.3 Estación de registro Orion (Nanometrics) con sensor Mark L-4C-3D

En el año 1998 la Universitat de Barcelona adquirió dos estaciones digitales Orion de la casa canadiense Nanometrics con el objetivo específico de utilizarlas para el registro de señales de aludes de nieve. Estas estaciones presentaban una mejora en el rango dinámico, la capacidad de memoria respecto a las estaciones Pdas y además permitían un sistema de comunicación y de transmisión de datos a distancia vía línea telefónica.

5.3.1 Sistema de adquisición digital Orion (Nanometrics)

Las estaciones digitales Orion (Orion Manual, 1999) (*Figura 5-4*) pueden funcionar con 3 canales de entrada de 24bits de resolución. Los datos se graban en un disco duro extraíble de 1200Mb.

El sistema Orion, al igual que el de las Pdas ofrece tres modos de grabación: continuo, evento y programado. Debido a las características de nuestros experimentos, la magnitud de los eventos y que la fecha y la hora no pueden conocerse con suficiente antelación, se eligió el modo de grabación continuo. Las estaciones funcionaron siempre con un muestreo de 100 m.p.s. El disco duro tiene un sistema de registro continuo cíclico (*ringbuffer*) que consiste en que una vez se ha llenado completamente sigue registrando sobrescribiendo los datos más antiguos. La capacidad del disco con estas características de funcionamiento es de aproximadamente 30 días de registro antes de que se empiecen a sobrescribir los datos.

En las estaciones no se instaló ninguna resistencia de ganancia por lo que la sensibilidad es de $2.55 \mu\text{V/bit}$.

Las estaciones Orion tienen un reloj interno y una antena GPS con la que se referencia el tiempo UTC. En el momento de la instalación se conectaba la antena GPS y se ajustaba el tiempo UTC. En ninguna campaña se dejaron conectadas las antenas GPS por el peligro que implican durante las tormentas eléctricas. Si las estaciones se desconectaban por alguna razón a mitad de la campaña (por ejemplo un corte de corriente) el reloj perdía la referencia temporal. En estos casos se controló el *decalaje* temporal conectando con la estación vía módem una vez por semana pero los resultados no mostraron un *decalaje* importante en comparación con la duración de nuestros registros.

Las estaciones Orion tienen unas baterías internas y la posibilidad de conectarse a la corriente. En todas las campañas funcionaron conectadas a la corriente ya que las instalaciones lo permitían.

Estas estaciones ofrecen la posibilidad de instalar un módem externo que conectado a una línea telefónica permite controlar el estado de la estación, cambiar su configuración y adquirir los datos de interés desde otro PC con módem. Para establecer la comunicación con las estaciones se utilizaron unos módems 56K Faxmodem modelo N. 5630 de la casa 3Com U.S. Robotics. Los módems se aislaron térmicamente y de la humedad dentro de cajas junto con bolsas antihumedad. El módem instalado en la caverna B de la zona experimental (capítulo 5) se dejó dentro de una caja metálica hermética con conexiones antihumedad fabricada especialmente para su protección por el Servei Científic- Tècnic de la UB.

El programa de comunicación que proporciona la casa Nanometrics es el *dialup.exe*. Con este programa se realizaban dos tareas, una de control de estado de la estación cada 7 o 15 días y otra de extracción de datos cada vez que llegaba el aviso de que había habido un alud en la zona experimental. A continuación se detalla la rutina referente al control de estado de la estación:

```
Dialup
Dial (número de teléfono al que estaba conectada la estación)
Password
***** (Introducción del password de la estación)
Menu (con esta orden se reproduce la pantalla de la estación y se puede
navegar por el menu para controlar el estado de la estación (tiempo,
capacidad del disco duro, último registro almacenado, etc.))
Hangup
Exit
```



Figura 5-4. Fotografía de la estación Orion de la casa Nanometrics instalada en el centro de control de Vallée de La Sionne. Sobre la estación de registro se puede ver la caja blanca en la que se colocaba el módem.

5.3.2 Sensor Mark L-4C-3D

Junto con las estaciones Orion se utilizaron los sensores pasivos Mark L-4C-3D (Figura 5-5). Se utilizaron tres sensores diferentes, se presentan sus características técnicas en la Tabla 5-1.

MARK L-4C-3D			
Número de serie	2037	2038	2039
Sensibilidad vertical	274.5 Vs/m	269.9 Vs/m	279.8 Vs/m
Sensibilidad longitudinal	278.2 Vs/m	283 Vs/m	275.9 Vs/m
Sensibilidad transversal	278.5 Vs/m	277.5 Vs/m	278 Vs/m
Frecuencia propia vertical	0.96 Hz (1.04 s)	0.98 Hz (1.02 s)	1.00 Hz (1.00 s)
Frecuencia propia longitudinal	1.00 Hz (1.00 s)	0.99 Hz (1.01 s)	0.99 Hz (1.01 s)
Frecuencia propia transversal	0.97 Hz (1.03 s)	0.98 Hz (1.02 s)	0.98 Hz (1.02 s)
Amortiguamiento vertical	0.284 * crítico	0.281 * crítico	0.279 * crítico
Amortiguamiento longitudinal	0.264 * crítico	0.273 * crítico	0.263 * crítico
Amortiguamiento transversal	0.275 * crítico	0.265 * crítico	0.269 * crítico
Rango de temperaturas: -29°C - +60°C			
Dimensiones: 203 mm de diámetro y 182 mm de altura			
Peso: 9.1 kg aprox.			

Tabla 5-1. Características técnicas de los sensores Mark-4C-3D utilizados.

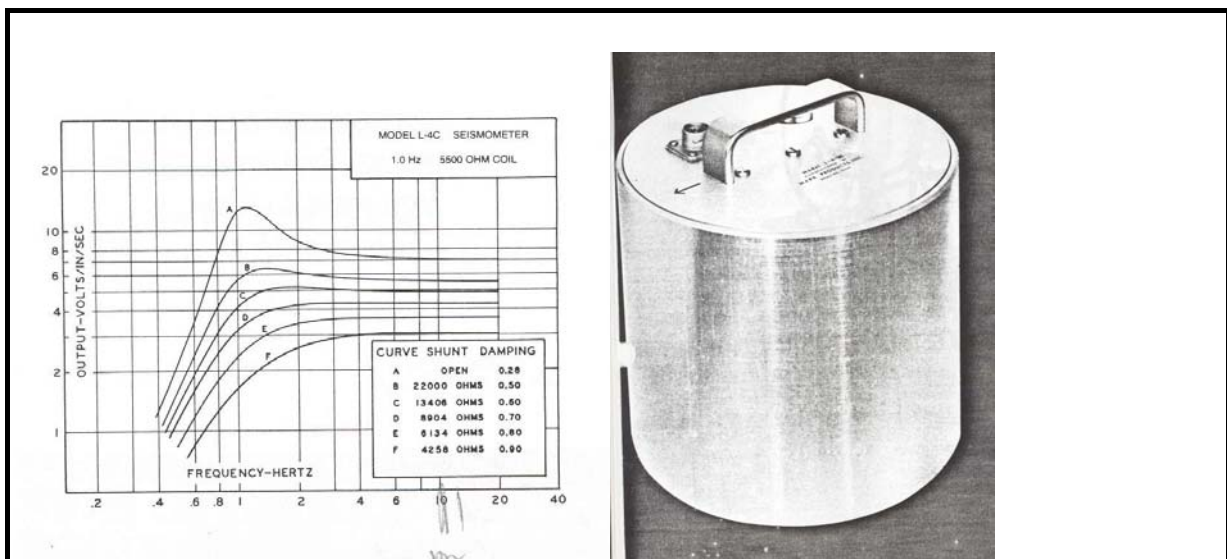


Figura 5-5. Curva de respuesta del sensor Mark L-4C-3D (según datos de constructor) (izquierda). Sensor Mark L-4C-3D utilizado junto a la estación de registro Orion (derecha).

5.4 Equipos Syscom

En el valle experimental de La Sionne están instalados dos geófonos del equipo científico suizo. En seis experimentos el equipo suizo nos cedió sus datos para que los pudiéramos estudiar y comparar con los nuestros. Los sismómetros del equipo son de la casa suiza Syscom. El sensor y la estación de registro de estos equipos se encuentran dentro de una misma estructura roja (*Figura 5-6*). Son dos sensores de tres componentes, activos y del modelo MS2003 con las siguientes características:

Sensibilidad: 39 Vs/m
Frecuencia propia: 1 Hz (1 s)
Rango de temperaturas: -30°C - +60°C
Dimensiones: 122 × 120 × 80 mm
Peso: 1.55 kg aprox.
Consumo de potencia: < 10 mA (por componente)

Estos equipos transmiten los datos a través de un módem que controla el equipo suizo y sirven como activadores de otras instalaciones mediante un sistema de *triggering*. Los equipos funcionaron con un muestreo de 400 m.p.s.



Figura 5-6. Estación sísmica Syscom MS2003.

5.5 Mantenimiento de los equipos

Las condiciones meteorológicas bajo las que funcionaron los equipos fueron generalmente muy duras. Instaladas en lugares cercanos a las zonas de aludes, las estaciones sísmicas y los sensores estaban siempre a bajas temperaturas y con altos grados de humedad. Estas condiciones podían producir graves deterioros en los equipos. Por estos motivos cada final de temporada se desinstalaban los equipos y se llevaban al laboratorio donde se hacía una supervisión. Antes de la siguiente campaña se hacían pruebas en el laboratorio y en terrenos cercanos a la Facultat de Geologia (UB). Estas pruebas consistían en comparar el registro de una misma señal en los diferentes equipos y comprobar que las diferencias no eran significativas.

5.6 Instrumentación utilizada durante las campañas experimentales

A continuación se presenta una relación por experimentos, de los instrumentos que registraron las señales de los aludes que posteriormente han servido para realizar esta tesis. En esta sección no aparecen los equipos que por problemas técnicos o de otro tipo no permitieron registrar datos útiles para un posterior análisis.

* BOÍ TAÜLL 1995/1996

11-01-1996

Cerví de Durro: 2 equipos Lennartz + Mark

Raspes Roies: 1 equipo Lennartz + Mark

* NÚRIA 1995/1996

24-01-1996: 3 equipos Lennartz + Mark

1-02-1996: 3 equipos Lennartz + Mark

* NÚRIA 1998/1999

10-01-1999: 1 equipo Pdas + Lennartz

* NÚRIA 2000/2001

23-12-2000: 1 equipo Pdas + Lennartz

* SIONNE 1995/1996

15-02-1996: 1 equipo Lennartz + Mark

* SIONNE 1996/1997

16-02-1997

1 equipo Pdas + Lennartz

* SIONNE 1998/1999

30-01-1999: 2 equipos Pdas + Lennartz y 1 equipo Syscom

10-02-1999: 2 equipos Pdas + Lennartz y 1 equipo Syscom

25-02-1999: 2 equipos Pdas + Lennartz y 1 equipo Syscom

* SIONNE 1999/2000

27-12-1999: 2 equipos Syscom

29-01-2000: 1 equipo Syscom

10-02-2000: 1 equipo Pdas + Lennartz

20-02-2000: 1 equipo Pdas + Lennartz y 2 equipos Syscom

* SIONNE 2000/2001

5-03-2001: 1 equipo Orion + Mark

* SIONNE 2001/2002

29-12-2001: 2 equipos Orion + Mark

13-02-2002: 2 equipos Orion + Mark

21-02-2002: 2 equipos Orion + Mark

22-02-2002: 2 equipos Orion + Mark

13-03-2002: 2 equipos Orion + Mark

20-03-2002: 2 equipos Orion + Mark

* SIONNE 2002/2003

22-12-2001: 2 equipos Orion + Mark

2-01-2003: 2 equipos Orion + Mark

31-01-2003: 2 equipos Orion + Mark

4-02-2003: 2 equipos Orion + Mark