

4 INSTRUMENTACIÓN

4.1 Introducción

En los estudios de atenuación desempeñan un papel fundamental las amplitudes y las frecuencias del movimiento del suelo, pues es sobre ellas que se notan los efectos de la atenuación inelástica. Por lo tanto es fundamental el conocimiento exacto de la respuesta instrumental con el objeto de recuperar el verdadero movimiento del suelo.

Con todo, frecuentemente, los procedimientos y técnicas para estimar los parámetros inelásticos, o se fundamentan en cambios relativos de amplitud, para una misma frecuencia, o introducen cocientes para así cancelar los efectos de la instrumentación sobre las amplitudes.

En este trabajo se ha estudiado la respuesta instrumental de forma cuidadosa para analizar los posibles efectos de la respuesta y verificar la dependencia o independencia de las técnicas empleadas.

Desde el elemento básico de medición del movimiento del suelo, sismómetro, hasta los filtros de salida de los discriminadores, elementos finales dentro de la cadena de procesado analógico-electrónico de los datos, se han tenido en cuenta, para cada uno de ellos, las funciones de transferencia que relacionan matemáticamente la señal de entrada y la de salida. Conocidas estas funciones, se pueden corregir de la influencia instrumental los datos numéricos registrados, y, de este modo, obtener el verdadero movimiento del suelo.

Tejedor y García Rodríguez (1993) describen con detalle las funciones de transferencia de las estaciones de la Red Sísmica Nacional, especificando tanto la función de respuesta del sensor como de todos los elementos electrónicos que componen el sistema de detección, amplificación y registro. Por completitud, en el Anexo 1 se recogen los valores de los parámetros que caracterizan la función de transferencia de todo el sistema de detección,

amplificación y registro correspondiente a todas las estaciones de la Red Sísmica Nacional (RSN).

Todo el proceso de corrección instrumental se resume, gráficamente, en el último apartado de este capítulo. Efectivamente, las Figuras presentadas al final de este capítulo permiten seguir, paso a paso, el procedimiento empleado para efectuar la corrección por instrumento, desde la señal original bruta (Figura 4.3) hasta la señal correspondiente a la velocidad del suelo al paso de las ondas sísmicas (Figura 4.9).

4.2 La red sísmica española

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) dispone de una red sísmica distribuida en todo el territorio español para el cumplimiento de las funciones asignadas en el Real Decreto R.D. 1886/1996 de 23 de Junio y en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico (Resolución de 5 de Mayo de 1995) y en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico (Resolución de 21 de Febrero de 1996).

En el momento de seleccionar los datos para este trabajo, la RSN constaba de 42 estaciones, 35 de ellas de corto período conectadas en tiempo real con el Centro de Recepción de Datos Sísmicos ubicado en Madrid.

El Centro Nacional de Información Sísmica (CNIS) tiene como principal misión encomendada, el servicio de vigilancia sísmica. Para ello cuenta con los datos suministrados en tiempo real por las estaciones sísmicas instaladas en el territorio que transmiten la señal por línea telefónica dedicada al centro instalado en Madrid. Las señales procedentes de las Islas Canarias son también monitorizadas con el fin de atender a la vigilancia de la actividad volcánica y tectónica en las Islas. Los datos procedentes del Dispositivo Sísmico de Sonseca son utilizados para asegurar la continuidad del servicio al realizar localizaciones de una manera autónoma a la Red Sísmica Nacional.

El Centro está atendido 24 horas 365 días al año por técnicos en sismología y sismólogos que están en conexión permanente con los centros encargados de la protección civil ya sea a nivel local, autonómico o estatal, a los que se comunica en menos de 15 minutos los parámetros

focales de cualquier terremoto ocurrido en el área. Cuando el terremoto es sentido por la población se lanza un comunicado oficial a todos los medios de información.

La comunidad científica puede acceder libremente al banco de datos que contiene localizaciones, fases y formas de onda (registro continuo de las estaciones de banda ancha PAB y TBT), utilizando el sistema estandarizado AUTODRM que ha sido instalado recientemente en el Centro Nacional de Información Sísmica (CNIS).

El CNIS es centro nodal junto con los de Francia (Laboratorio de Detección Geofísica) e Italia (Instituto Nacional de Geofísica) del Centro Euro-Mediterráneo de Sismología (CSEM) para las determinaciones rápidas de epicentros y la comunicación al Consejo de Europa. Aunque la responsabilidad de la difusión de los resultados reside únicamente en uno de los tres centros, el IGN realiza sistemáticamente el cálculo de todos los eventos ocurridos en el mundo que superan un umbral de magnitud y comunica estas localizaciones a las autoridades españolas interesadas. Cuando la responsabilidad CSEM reside en el IGN estas localizaciones son comunicadas desde el CNIS a las autoridades europeas y a la comunidad científica internacional. La base de datos en la que están contenidas todas las alertas enviadas por agencias de todo el mundo, localizaciones conjuntas, fases, mecanismos focales, etc..., está accesible dentro del sistema DRM instalado en el CNIS.

Este centro mediante la participación en diversos proyectos colabora en el intercambio de datos con otros centros similares a escala europea o mundial.

El Instituto Geográfico Nacional participa también en el *International Data Center* con una red sísmica especial: El Dispositivo Sísmico de Sonseca, un array de 19 estaciones de corto período, seis de largo período y una de banda ancha, todas de tres componentes. Esta antena sísmica es una Estación Primaria (entre 42) de la red sísmica global del sistema internacional de vigilancia (un sistema mundial enfocado a la verificación y control de explosiones nucleares requerido por la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (CTBTO)).

Desde la instalación de la primera estación sísmica telemétrica en la Sierra de Guadarrama (Madrid), en 1979, hasta la actualidad, el Instituto Geográfico Nacional ha ido incrementando

Los datos procedentes de cada estación son procesados y enviados directamente a unos registradores gráficos y a un sistema de adquisición de datos en donde la señal es digitalizada a una velocidad de 100 muestras por segundo. El sistema examina los datos adquiridos y, mediante un algoritmo de detección de eventos decide su grabación en cinta magnética. El tiempo del sistema se obtiene mediante un reloj que recibe las señales de sincronismo del satélite GOES, o bien por un nuevo sistema de tiempo basado en la tecnología GPS (*Global Position System*).

La instrumentación de la RSN se puede separar en dos bloques bien diferenciados: Las estaciones de campo y el Centro de Recepción de Datos.

4.3.1 Estaciones de campo

El equipo que constituye las estaciones de campo ha sido instalado en zonas seleccionadas en función de unas características concretas tales como: geología de la zona, bajo ruido cultural, facilidad de acceso, proximidad a un centro de telefonía, etc... .

Todas las estaciones se componen de un sismómetro y de un sistema de acondicionamiento de señal y telemetría compuesto por un amplificador de ganancia variable, unos filtros variables de tipo pasa-bajas y pasa-altas, un modulador de frecuencia que permite enviar la información a través de canales analógicos (UHF, VHF, líneas telefónicas y otros) y un módulo de calibración automático.

Sismómetros

Los sismómetros son sensores que traducen la velocidad del suelo en una señal eléctrica expresada en Volt y que es directamente proporcional a la velocidad relativa entre la masa oscilante y la carcasa del sensor que se mueve solidaria con el suelo, al que se halla rígidamente unida. Esta velocidad relativa, para frecuencias mayores que la frecuencia propia de oscilación (zona plana de la curva de respuesta), es proporcional a la velocidad del suelo y, por tanto, en esta zona la señal eléctrica de salida es proporcional a la señal de entrada (velocidad del suelo).

Los sismómetros empleados son del tipo electromagnético con bobina móvil, y tienen una frecuencia propia de 1 Hz y amortiguamiento nominal de 0.7. La mayor parte son de una

componente, si bien en algunas estaciones se dispone de sensores triaxiales. Estos sensores tienen unas constantes de transducción cuyo valor nominal es de 340 [V.s/m].

Todos los sismómetros disponen de una bobina de calibración que permite, al introducir en ella una corriente patrón, simular una aceleración del suelo que es función de dicha corriente.

Sistema acondicionador de señales y telemetría

Este sistema está compuesto de los siguientes módulos electrónicos:

- **Amplificador:** Es de tipo diferencial con una ganancia seleccionable en pasos de 6 dB desde un valor mínimo de 30 dB hasta un valor máximo de 90 dB.
- **Filtros:** Existen dos tipos de módulos (AOM1 y AM2) en el equipo, y para cada uno de ellos se dispone de filtros pasa-bajas y pasa-altas.
- **Modulador:** Se trata de un oscilador cuya frecuencia de oscilación $F(t)$ es una función lineal, en el tiempo, del voltaje de entrada $V(t)$. Ambas variables se relacionan mediante la expresión:

$$F(t) = F_0 + Q \cdot V(t)$$

Donde Q es una constante tal que la máxima desviación de $F(t)$ alrededor de la frecuencia central F_0 sea de ± 125 Hz, cuando $V(t)$ alcance su valor máximo. Para estaciones en que se dispone de sensores triaxiales es suficiente elegir distintos valores para F_0 para varios moduladores cuyas salidas se mezclan de modo que se pueden enviar varias señales al mismo tiempo y por el mismo canal de transmisión.

- **Módulo de calibración:** Este módulo introduce, cada 24 horas, un impulso de corriente continua, de valor conocido, en la bobina de calibración del sensor. La respuesta del sistema a esta señal es registrada en el CRD, y de un modo rápido se puede detectar la existencia de problemas en la estación remota, o bien realizar una calibración del sistema.
- **Alimentación:** Toda la electrónica de la estación sísmica es alimentada con baterías (12 V) cuya recarga se realiza a través de paneles solares durante las horas de insolación.

Combinando los valores de las frecuencias de corte y el valor de la amplificación se puede adaptar el equipo a las condiciones particulares del ruido sísmico del emplazamiento. No obstante, es aconsejable tener la mayor homogeneidad posible de frecuencias de corte de los

filtros en todas las estaciones con el fin de simplificar las correcciones instrumentales de los datos registrados.

4.3.2 Centro de Recepción de Datos (CRD)

El CRD recibe, en tiempo real, la información enviada por el conjunto de las estaciones de la RSN. El conjunto de señales recibidas son debidamente demoduladas y digitalizadas mediante un conversor analógico-digital (Tejedor y García-Rodríguez, 1993).

Los principales equipos de trabajo de que dispone el CRD son los siguientes:

- Demoduladores: Cada estación sísmica implica un modulador por cada canal que es enviado desde la estación. La entrada a un demodulador viene directamente de la línea telefónica, y una vez filtrada para separar cada uno de los canales recibidos, realiza el proceso inverso al realizado por el modulador asociado en la estación. Esta operación permite recuperar la misma señal existente en el modulador remoto.
- Registradores helicoidales: Tienen como misión proporcionar, de un modo rápido, una visión de los eventos registrados por cada estación. Los registros se dibujan, de modo continuo, sobre papel termosensible lo que permite una rápida inspección de todo lo registrado. En definitiva, estos registradores gráficos siguen siendo una herramienta muy útil al operador sismológico.
- Sistemas de adquisición de datos: El sistema de toma de datos (DataSeis) empleado es un sistema de registro digital diseñado por la empresa Kinematics Inc. Este sistema permite realizar, en tiempo real, la digitalización de cada una de las salidas de los demoduladores y la detección de eventos sísmicos sobre las mismas por medio de un algoritmo de promediado en el tiempo. Un segundo algoritmo de votación mayoritaria, que tiene en cuenta el número y clase de estaciones que han registrado el evento, proporciona mayor seguridad para declarar la ocurrencia de un terremoto. Cuando el sistema decide que se ha producido un evento sísmico, se graba en cinta magnética los datos procedentes de las estaciones. La grabación incluye un tiempo prefijado (pre-evento) que evitará la pérdida de las primeras llegadas en algunas estaciones.
- Sistema de tiempo: Este módulo, en definitiva un reloj, proporciona las señales de tiempo con una precisión mejor que la décima de segundo. Se trata de un sistema de

tiempo sincronizado por medio de los satélites GOES. Este sistema también proporciona señales de sincronismo a los registradores helicoidales. Actualmente este módulo se está sustituyendo por otro basado en un oscilador atómico sincronizado por las señales emitidas por los satélites de posicionamiento GPS. La recepción de estas señales mejora sensiblemente la obtenida a través de los satélites GOES. Además se garantiza disponer de señal de sincronismo las 24 horas del día, e incluso queda mejorada la precisión que alcanza la milésima de segundo.

4.4 Formulación de la corrección instrumental

El conocimiento detallado de las funciones de transferencia (FT) de todos los subsistemas electrónicos que conectados en cascada intervienen en el funcionamiento de cualquier sistema de tratamiento de datos, es fundamental para poder realizar un adecuado análisis de los datos proporcionados por el mismo.

Para un sistema analógico lineal y causal si designamos por $V_1(t)$ y $V_2(t)$ las señales de entrada y salida respectivamente, se puede demostrar que la ecuación que relaciona ambas funciones depende de la denominada función de respuesta a un impulso del sistema $g(t)$. La ecuación integral que relaciona estas tres funciones viene dada por la expresión,

$$V_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t-\tau) \cdot V_1(\tau) \cdot d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} g(\tau) \cdot V_1(t-\tau) \cdot d\tau \quad (4.1)$$

Introduciendo como función de entrada, $V_1(t)$, una exponencial compleja cuya frecuencia angular es ω , se obtiene la siguiente respuesta resultante del sistema,

$$V_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega(t-\tau)} \cdot g(\tau) \cdot d\tau = e^{j\omega t} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega\tau} \cdot g(\tau) \cdot d\tau = e^{j\omega t} \cdot G(\omega) \quad (4.2)$$

donde el factor $G(\omega)$ se denomina función de transferencia, y es la transformada de Fourier de la función respuesta impulso $g(t)$. En general $G(\omega)$ es una función compleja con una amplitud $A(\omega)$ y una fase $\Phi(\omega)$,

$$G(\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\Phi(\omega)} \quad (4.3)$$

Las expresiones (4.1) y (4.2) permiten determinar $G(\omega)$ para cualquier sistema analógico, ya que $G(\omega)$ es el coeficiente de $e^{j\omega t}$ en la respuesta resultante $V_2(t)$.

Conocidas las funciones de transferencia de todos los módulos que constituyen un sistema de medición y transmisión de señales, la función de transferencia de todo el sistema será el producto de cada una de las funciones de transferencia, siempre que los módulos se hallen conectados en serie.

En la figura 4.2 se muestra el diagrama de bloques en el que se representan cada uno de los componentes que intervienen en el procesado electrónico de las señales sísmicas registradas por el sensor de una estación sísmica cualquiera de la Red Sísmica Nacional. Por simplicidad, no se incluyen los sistemas de alimentación electrónica de las estaciones, ni el sistema de adquisición y procesado de datos instalado en el CRD.

Las variables utilizadas en la figura son las siguientes:

- $z(t)$ Movimiento absoluto del suelo expresado en [m/s]
- $y(t)$ Salida del sensor electromagnético expresada en [V]
- $e(t)$ Salida del filtro discriminador expresada en [V]
- $c(t)$ Salida del conversor A/D expresada en [bit]
- $F_n(\omega)$ Función de transferencia normalizada a la unidad que comprende las curvas de respuesta del amplificador, los filtros pasa-bajas y pasa-altas y el filtro de salida del discriminador.
- $H_v(\omega)$ Función de transferencia del sismómetro, expresada en [V.s/m]
- $y(t)$ Cualquiera de las tres posibles componentes del sensor.

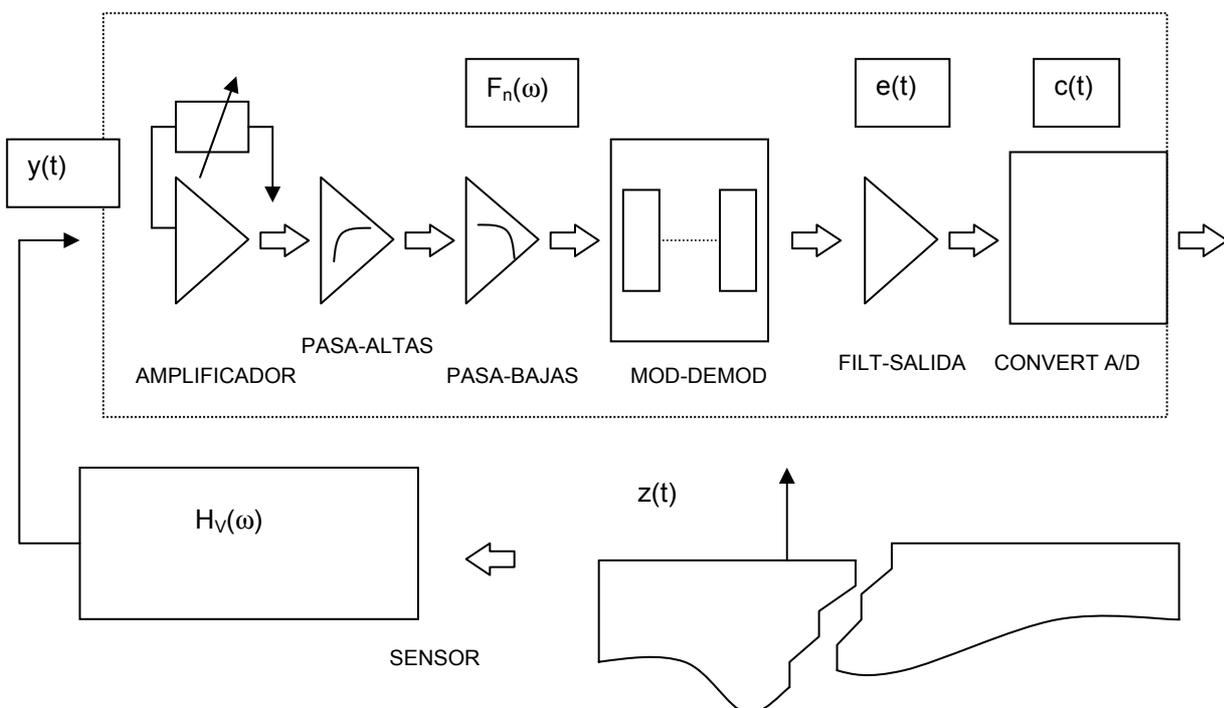


Figura 4.2 Esquema general de una estación sísmica. (A partir de Tejedor y García-Rodríguez, 1993. Cortesía IGN)

Con estas variables es posible escribir la función de transferencia denominada sensibilidad en velocidad, $S_v(\omega)$, expresada en [bit · s/m], como,

$$S_v(\omega) = K \cdot H_N(\omega) \quad (4.4)$$

Siendo $H_N(\omega)$ la función de transferencia global normalizada a la unidad y K una constante de normalización que depende de los parámetros del sensor (frecuencia propia, amortiguamiento, constante de transducción) y del valor de atenuación usado en el amplificador de campo. Esta constante de normalización será descrita más adelante.

La función $H_N(\omega)$ se puede descomponer en el producto de dos funciones $H_V(\omega)$ y $F_N(\omega)$ según la ecuación,

$$H_N(\omega) = H_V(\omega) \cdot F_N(\omega) \quad (4.5)$$

La función $F_N(\omega)$ no incluye la influencia de las curvas de respuesta del modulador de la estación de campo, ni del canal de transmisión empleado, ni tampoco del discriminador, ya que estos efectos son insignificantes en el rango frecuencial de 0.1 a 20 Hz sobre la curva de respuesta global del sistema.

4.5 Funciones de transferencia

La función de transferencia global normalizada a la unidad $H_N(\omega)$ se puede expresar como el producto de dos funciones $H_1(\omega)$ y $H_2(\omega)$ de modo que la primera incluye todas las funciones del tipo filtro pasa-altas y la segunda aquellas del tipo pasa-bajas.

$$H_N(\omega) = H_1(\omega) \cdot H_2(\omega) \quad (4.6)$$

Las expresiones analíticas de $H_1(\omega)$ y $H_2(\omega)$ se obtienen a partir de los polos correspondientes y para cada uno de los valores posibles de las frecuencias de corte de los filtros. Todos estos

datos corresponden a los dos tipos de módulos AOM1 y AM2 que utilizan las estaciones de la red (Tejedor y García-Rodríguez, 1993). Se han reproducido las citadas tablas en el Anexo 1.

Las expresiones que describen $H_1(\omega)$ y $H_2(\omega)$ son las siguientes:

$$H_1(\omega) = \frac{s^5}{\prod_{i=1}^5 (s - s_i)} \quad (4.7)$$

$$H_2(\omega) = \frac{10^8 \cdot A_0}{\prod_{i=1}^5 (s - s_i)} \quad (4.8)$$

Siendo A_0 una constante que depende de la frecuencia de corte del filtro pasa-bajas empleado en las estaciones de campo y s la variable compleja que se describe a continuación,

$$s = \sqrt{-1} \cdot \omega = j \cdot \omega = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \quad (4.9)$$

En esta expresión f es la frecuencia expresada en Hz, y los valores s_i son los distintos polos complejos de las funciones $H_1(\omega)$ y $H_2(\omega)$ tabulados en las tablas del Anexo 1.

En la expresión (4.4) se introducía una constante de normalización K que pasamos a describir seguidamente. Esta constante depende de las constantes del sensor G_0 , R_C y R_x , de la atenuación A utilizada en el amplificador de campo, y del factor C_{PV} del convertor analógico-digital.

El significado de cada una de estas constantes así como sus unidades son los siguientes,

- K Constante de normalización [bit . s/m].
- C_{PV} Constante de conversión de bit a Volt correspondiente al convertor analógico-digital. Para el convertor empleado en el sistema de adquisición de datos de la empresa Kinometrics el valor es 409.6 [bit / V].
- G_0 Constante de transducción electromagnética del sismómetro [V . s/m].

- R_C Resistencia de la bobina sensora [Ω].
- R_X Resistencia de amortiguamiento [Ω].
- A Atenuación del amplificador [dB].

La expresión matemática que relaciona todos estos parámetros viene dada por:

$$K = C_{PV} \cdot G_0 \cdot \frac{R_X}{R_C + R_X} \cdot 10^{\frac{90-A}{20}} \quad (4.10)$$

El valor 90-A de esta expresión corresponde a la ganancia.

El cálculo de la constante K, así como el de la función $H_N(\omega)$ a partir de los polos y ceros correspondientes, permiten evaluar la velocidad del suelo utilizando los datos numéricos registrados por la estación sísmica con la que se está trabajando.

La ecuación integral que describe la relación entre el movimiento del suelo $z(t)$ y los valores numéricos $c(t)$ registrados en soporte magnético se puede deducir de la ecuación (4.2), teniendo en cuenta que, en este caso, la señal de entrada $V_1(t)$ es igual a $z(t)$ y $V_2(t)$ es $c(t)$. Por tanto, substituyendo estos términos en (4.2) se obtiene

$$c(t) = K \cdot \int h_N(t - \tau) \cdot z(\tau) \cdot d\tau = K \cdot h_N(t) * z(t) \quad (4.11)$$

siendo $h_N(t)$ la función temporal, respuesta a un impulso de la estación sísmica. Cabe señalar que en el último miembro de (4.11) aparece el producto de convolución entre las funciones $h_N(t)$ y $z(t)$.

Aplicando la transformada de Fourier a ambos miembros de la ecuación (4.11) se obtiene

$$C(\omega) = K \cdot H_N(\omega) \cdot Z(\omega) \quad (4.12)$$

Donde $C(\omega)$ es la transformada de Fourier de la serie temporal $c(t)$, $Z(\omega)$ la transformada de Fourier de la serie temporal $z(t)$, y $H_N(\omega)$ la función de transferencia global normalizada.

Esta última ecuación indica el método a seguir para obtener la serie temporal $z(t)$ a partir de un registro sísmico $c(t)$, en forma digital. Para ello es necesario determinar la función de transferencia $H_N(t)$ y la constante de normalización K , por los métodos ya descritos, calcular $Z(\omega)$ a partir de la ecuación (4.12) y calculando su transformada inversa de Fourier obtener, finalmente, la serie temporal $z(t)$.

4.6 Tratamiento de sismogramas

La Figura 4.3 presenta el espectro de amplitudes de Fourier correspondiente a un sismograma original tal como ha sido leído de la base de datos del IGN. Para determinar los límites frecuenciales razonables en los que puede analizarse la atenuación, se ha analizado la curva de respuesta, suponiendo que la señal disponible es físicamente aceptable, esto significa un decaimiento máximo de la curva de amplificación de 10 db, esto es,

$$10 = 20 \cdot \log \frac{A_1}{A_2} \quad (4.13)$$

donde A_1 es la máxima amplificación y A_2 es la amplitud correspondiente a 10 dB respecto al máximo. Computacionalmente, esta condición se reduce a buscar aquellas amplificaciones menores que $0.32 A_1$, es decir, aproximadamente un tercio de la amplificación máxima.

Al aplicar este criterio al caso del instrumento en funcionamiento en la estación de ERUA el día del registro del sismograma de la Figura 4.4, las frecuencias que definen el rango de operación han resultado ser de 0.5 y de 9 Hz.

Estas dos frecuencias han sido utilizadas para definir el intervalo de banda de filtrado. La Figura 4.6 representa la curva de respuesta en amplitud de la estación ERUA y la Figura 4.7 muestra el espectro de la señal filtrada. Las Figuras 4.8 y 4.9 presentan respectivamente, en los dominios frecuencial y temporal, la señal corregida.

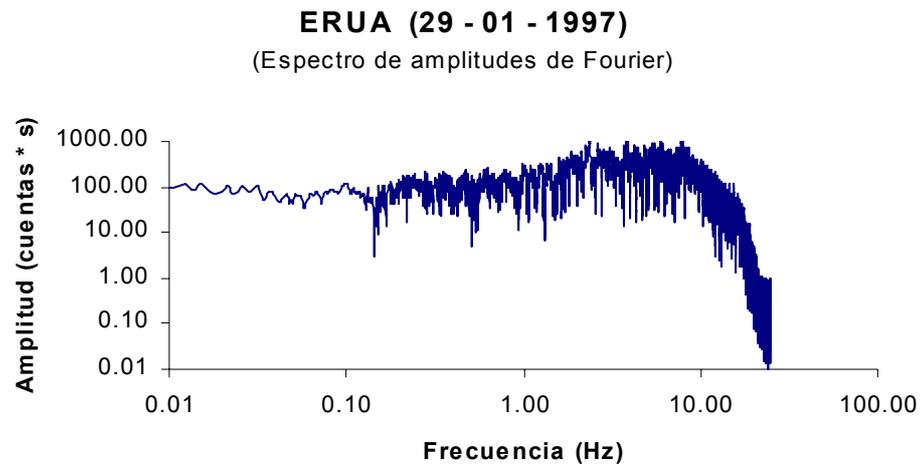


Figura 4.3 Espectro de amplitudes de Fourier correspondiente al sismograma registrado por la estación ERUA (29-01-1997).

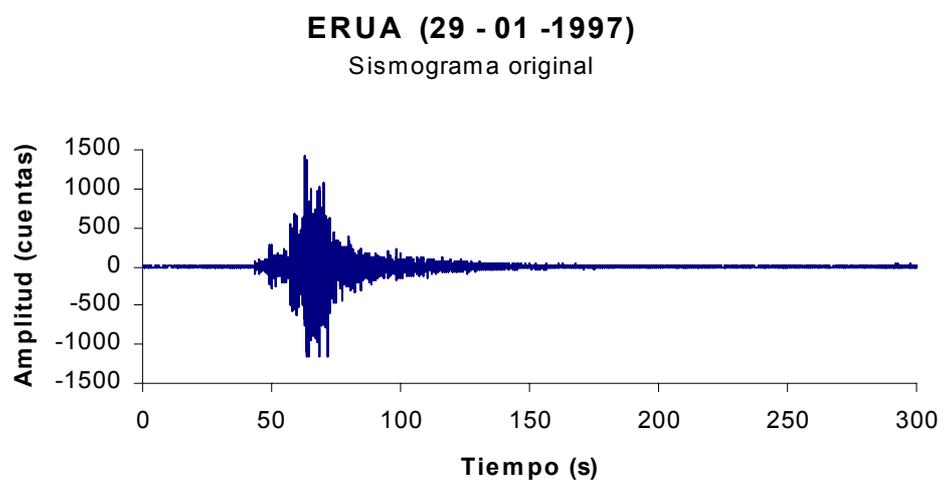


Figura 4.4 Sismograma original correspondiente a la estación ERUA. El origen de tiempos se ha tomado en la primera muestra. El intervalo de muestreo es de 0.02 segundos y se han representado 15000 puntos.

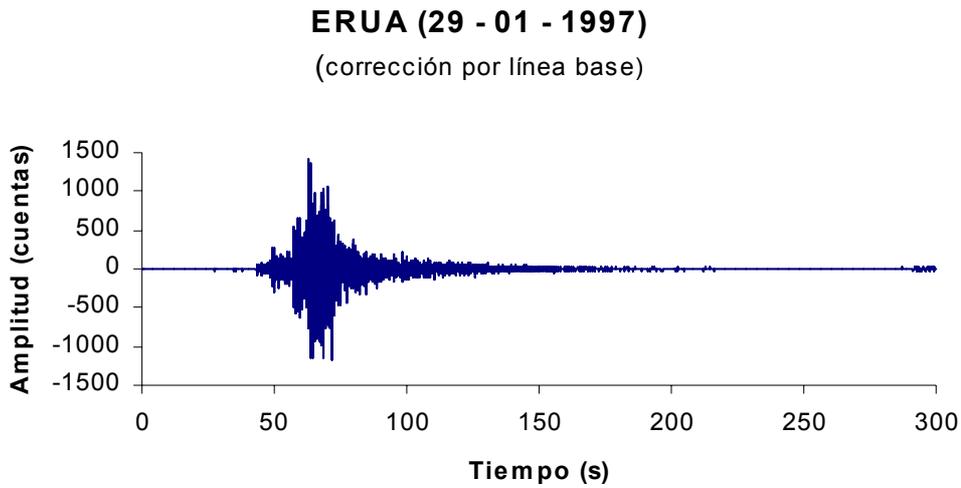


Figura 4.5 Sismograma correspondiente a la estación ERUA incluyendo la corrección por media nula.

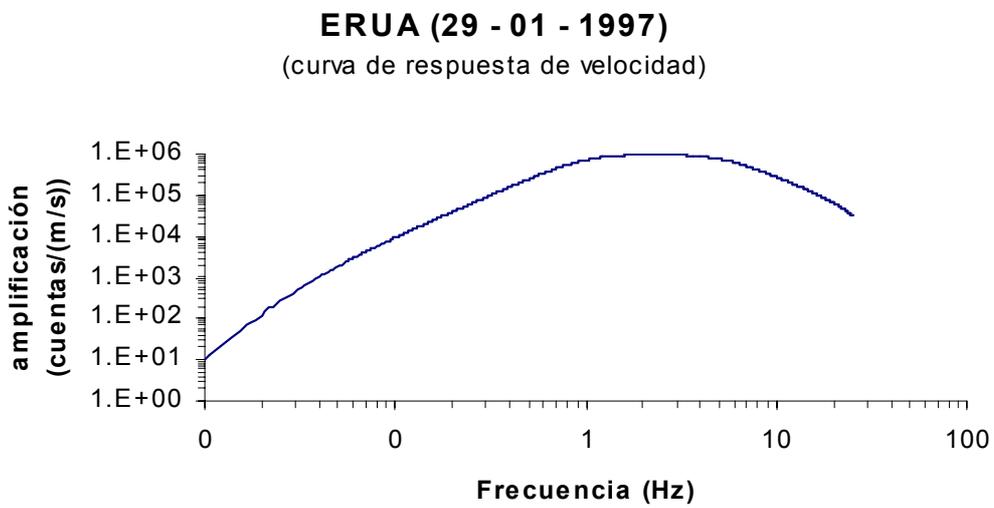


Figura 4.6 Curva de respuesta de velocidad del sismógrafo de la estación sísmica de ERUA (Enero 1997).

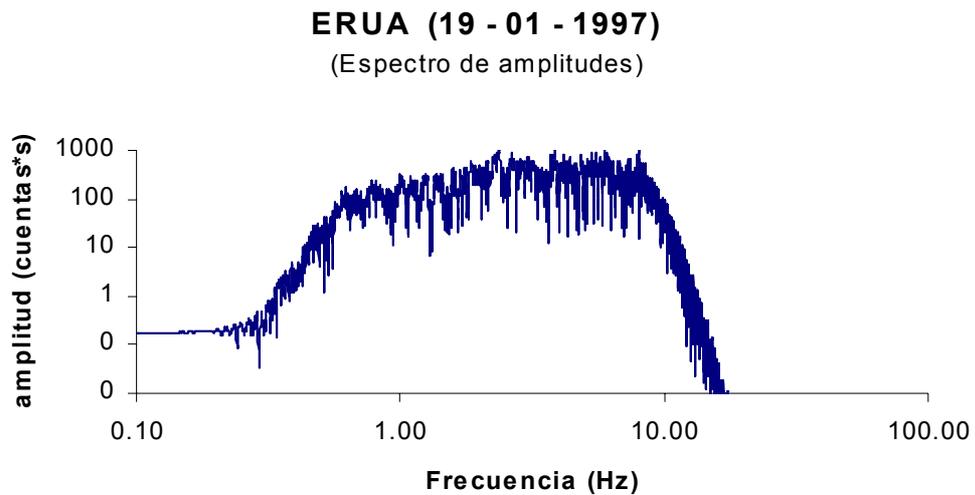


Figura 4.7 Espectro de amplitudes de Fourier de la señal original tras un filtrado antialiasing. El filtro aplicado es un filtro paso-banda entre 0.5 y 9 Hz. Las frecuencias de corte se han elegido en función de la curva de respuesta de la Figura 4.6 .

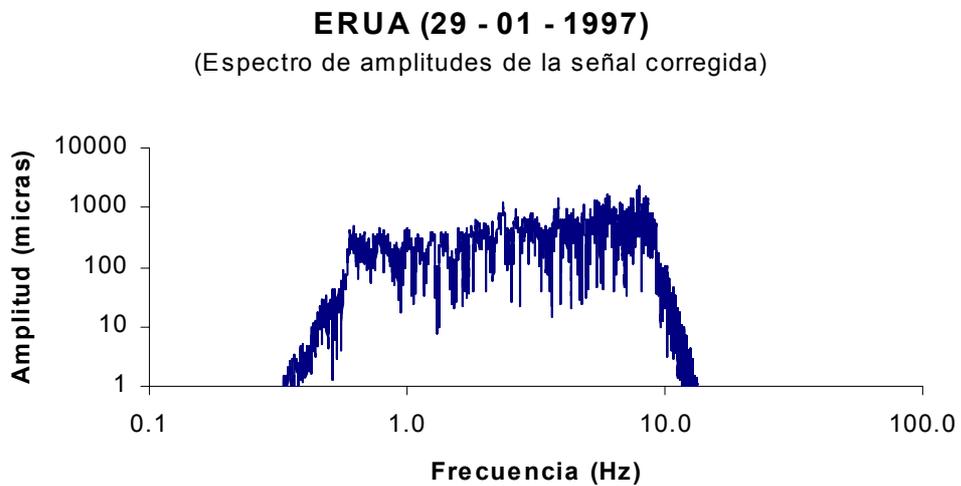


Figura 4.8 Espectro de amplitudes de Fourier de la señal ya corregida por respuesta instrumental

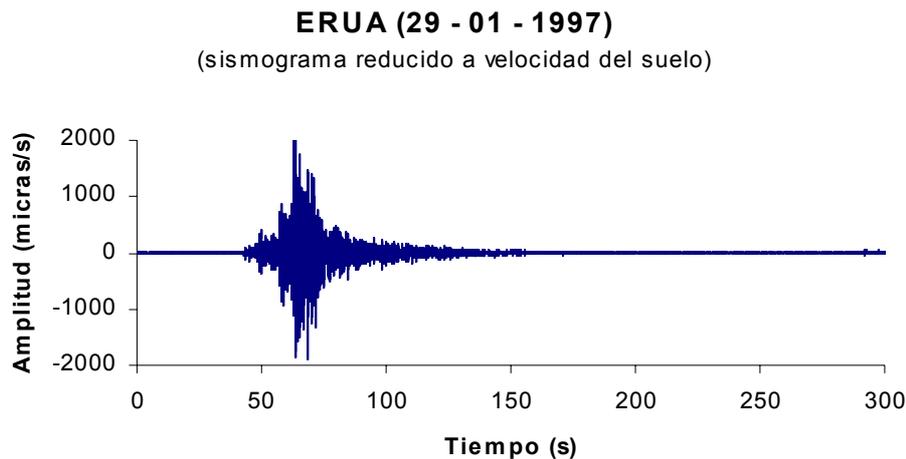


Figura 4.9 Sismograma corregido por respuesta instrumental. Representa la velocidad del suelo medida en micras/s.

4.7 Resumen y conclusión

En este capítulo se describe la red sísmica española ya que para el presente trabajo se han utilizado datos recogidos en ella. Esta descripción se efectúa a nivel global y a nivel de detalle del funcionamiento de las estaciones, desde la instrumentación de campo y acondicionamiento de la señal hasta el tratamiento en el centro de recepción de datos. Pero la parte más importante del capítulo, consiste en la preparación de las señales para su tratamiento mediante programas de análisis de coda. Un aspecto fundamental en este tipo de estudios es el ancho de banda útil que viene condicionado tanto por el contenido frecuencial de la señal como por la curva de respuesta. Se incluye, por tanto, un ejemplo del modo en que se determina el rango de frecuencias útiles para una curva de respuesta dada y, finalmente, se muestra un ejemplo de corrección por respuesta instrumental de un sismograma completo.

La técnica aquí presentada ha sido fundamental para establecer las frecuencias útiles en cada estación. Las frecuencias óptimas son las centrales a la banda que corresponden a la parte plana de la curva de amplificación.

Por otra parte, la reducción a movimiento del suelo ha permitido comprobar cómo los resultados obtenidos con la técnica de análisis de coda utilizadas no dependen de esta

reducción puesto que disponen de elementos correctores que permiten trabajar sin necesidad de conocer la respuesta instrumental.

En conclusión, la aplicación más importante de este capítulo es el establecimiento automático de los anchos de banda útiles de cada estación, y , por tanto, las frecuencias en las que tiene sentido el análisis de coda para estas señales.

