

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

En la década 1960-1970, la instalación de la red de sismógrafos *World Wide Standard Seismograph Network* (WWSSN) y la utilización de aparatos de detección y registro cada vez más sofisticados, permitió abordar el estudio fino de las heterogeneidades laterales en la corteza terrestre.

Estas heterogeneidades, que actúan como elementos dispersores de las ondas primarias para producir ondas secundarias, se notan en las variaciones laterales de los parámetros geofísicos obtenidos experimentalmente. Entre estos parámetros se encuentra la atenuación anelástica de las ondas sísmicas.

Hasta hace relativamente poco tiempo, a efectos ingenieriles, el tamaño de la acción sísmica se solía cuantificar mediante la intensidad que se atenúa con la distancia. En este proceso no interviene ningún dato instrumental, sólo datos provenientes de la observación de los efectos causados sobre la población, las estructuras y la naturaleza. La recopilación y tratamiento estadístico de esta información da lugar a las clásicas curvas isosistas que encierran o delimitan áreas con efectos parecidos tipificados en los grados de las diferentes escalas de intensidad sísmica. A pesar de su crudeza, estos datos, han permitido delinear las principales características de la atenuación macrosísmica. A partir del suavizado de las curvas isosistas y del análisis del decrecimiento de la intensidad con la distancia, se han ajustado leyes simplificadas de atenuación. Estos métodos han sido ampliamente utilizados en el siglo XX y siguen utilizándose en el diseño de mapas de peligrosidad sísmica.

El primer estudio global de atenuación sísmica de intensidades en España fue efectuado por Martín (1984), posteriores estudios han desarrollado modelos regionalizados para el Sur y

Sureste peninsulares (Muñoz, 1985) y, más recientemente, para Cataluña (Canas et al., 1996; Secanell, 1999). Todos estos estudios utilizan importantes simplificaciones para homogeneizar la diversidad de la información macrosísmica, haciendo desaparecer aspectos importantes como, por ejemplo, la anisotropía.

El problema de la determinación de la peligrosidad sísmica de un lugar, entendida como la probabilidad de ocurrencia de un sismo de características determinadas, dentro de un periodo de tiempo dado, requiere información sobre la distribución geográfica de las diferentes zonas generadoras de sismos y sobre la propagación y atenuación de la energía con la distancia. Los estudios citados más arriba, incorporan los avances científicos en la determinación hipocentral pero a menudo ignoran los avances producidos en el conocimiento de la atenuación sísmica a partir de datos instrumentales.

Los primeros estudios de atenuación sísmica a partir de información instrumental, en España, se efectuaron a partir del análisis de ondas de coda (Herraiz, 1982) y de la fase Lg, en diversos ambientes tectónicos de la Península (De Miguel y Vidal, 1983). Pujades (1987) puso de manifiesto, la consistencia de los valores de los parámetros de atenuación obtenidos a partir de las ondas de coda y de la fase Lg y efectuó el primer estudio global de atenuación sísmica a partir de datos instrumentales en el que se analizó también la dependencia frecuencial de los parámetros físicos que controlan la atenuación sísmica a frecuencias cercanas a 1 Hz. Los datos utilizados en estos trabajos provienen de sismogramas analógicos de periodo corto.

Actualmente el mundo de la sismología está inmerso en la modelización y comprensión del sismograma completo, tanto de corto como de largo periodo. La modelización de la parte final del sismograma, la coda, ha avanzado de forma notable durante las dos últimas décadas. Sin embargo, poco se han investigado las aplicaciones de estos avances científicos a la ingeniería sísmica. Hay tres aspectos particularmente importantes,

1. La dependencia frecuencial.
2. La separación de los factores de calidad (Q) intrínseco y dispersivo.
3. La disposición de datos de última generación: datos digitales.

El conocimiento detallado de qué frecuencias se atenúan más incide directamente en el análisis de respuesta local y efectos de sitio y en la detección de cuencas resonantes.

Diversos estudios (e.g. Pujades et al. 1997) han puesto de manifiesto la mayor sensibilidad del factor de calidad intrínseco a las características de los materiales del medio y a su edad, mientras que el factor de calidad dispersivo, depende de forma más intensa de la frecuencia o de la longitud de onda, siendo una medida del grado de fracturación del medio. La atenuación total sigue siendo un excelente indicador de las características geotectónicas del medio.

El esfuerzo económico efectuado en los últimos años, en lo que refiere a modernización de la infraestructura observacional de la red sísmica nacional, permite disponer de una gran cantidad de datos de alta calidad cuyo análisis, utilizando algoritmos y técnicas de modelización nuevas, permiten detectar la estructura fina de los parámetros de atenuación.

1.2 Objetivos

El objetivo de este trabajo es, a partir de eventos locales cuyos recorridos se hallan contenidos en el interior de las provincias geológicas de la Península Ibérica, analizar la atenuación sísmica para inferir valores locales y regionales de atenuación. También se pretende evaluar la dependencia frecuencial de Q , según una ley potencial en cada una de las regiones analizadas.

Se analizará la atenuación a partir de modelos de dispersión simple y de un modelo de dispersión múltiple. A partir de este último se pretende separar los términos intrínseco y dispersivo de la atenuación de modo que sea posible dar una medida local y regional de ambos parámetros para las regiones peninsulares en las que el volumen de datos disponibles lo permita. Al mismo tiempo se estudiará la dependencia frecuencial de ambos parámetros.

Se dispone de registros sísmicos referentes a dos crisis sísmicas ocurridas recientemente. A partir de esta información se evalúa la evolución temporal de la atenuación. La estrategia diseñada consiste en calcular los distintos parámetros utilizando los eventos inmediatamente anteriores a la crisis sísmica y comparar estadísticamente los resultados con lo obtenido a partir de los eventos inmediatamente posteriores a la crisis.

Las crisis sísmicas estudiadas para evaluar la evolución temporal de los distintos parámetros de atenuación son:

- Crisis sísmica de Mula (Murcia). Sismo principal 2 de Febrero de 1999.
- Crisis sísmica de Sarria, Becerreá y Triacastella de Lugo. Sismo principal 22 de Mayo de 1997.

Se emplearán datos relativos a sismos locales y regionales registrados con sismógrafos de período corto y diferentes características situados en la Península. Los parámetros de atenuación estudiados se obtendrán a partir de las medidas efectuadas sobre señales correspondientes a recorridos cortos que cubren la parte continental de Iberia.

Los resultados de este estudio, permitirán avanzar en otros aspectos como el conocimiento del medio por el que se propagan las ondas sísmicas, y la distribución geoespacial de los parámetros de atenuación.

1.3 Contenido de la memoria

La memoria consta de nueve capítulos y cuatro anexos. Seguidamente se describe brevemente el contenido de cada uno de ellos.

En el capítulo 2 se realiza una revisión de la evolución geotectónica y sísmica de la Península Ibérica. La revisión es amplia y se detiene especialmente en aquellas regiones en las que la sismicidad natural es más importante.

El capítulo 3 describe de forma cualitativa las características más notables de las ondas de coda. Estas características son la base de todos los modelos de atenuación desarrollados hasta hoy. El capítulo recoge las principales teorías y modelos sobre atenuación sísmica. Se describen, en primer lugar, los principales modelos y metodologías basados en la dispersión simple. A continuación se explican las teorías que permiten analizar la atenuación en base a modelos de dispersión múltiple. El capítulo también recoge los principales estudios sobre atenuación realizados en la Península Ibérica.

La metodología de este trabajo comienza a exponerse en el capítulo 4. Se explica el proceso de selección y análisis de los sismogramas. El proceso conduce a una amplia base de datos que ha sido elaborada cuidadosamente. A partir de los primeros sismogramas se genera un volumen muy importante de datos intermedios que conducen, al final del análisis, a los resultados.

El capítulo 5 se centra en la instrumentación. Todos los datos tratados en el estudio han sido debidamente corregidos por instrumento. En el capítulo se explican todas las fases de la corrección instrumental mediante un ejemplo completo. También se incluyen los detalles matemáticos necesarios para la formulación de la corrección instrumental. Las tablas con los parámetros instrumentales de todos los sismógrafos implicados en el trabajo se incluyen en un anexo.

El cálculo de la atenuación basado en modelos de dispersión simple se concreta en el capítulo 6. Se aplica la metodología de Aki-Chouet (1975), a eventos registrados en tres regiones peninsulares.

En el capítulo 7 se analiza la evolución temporal de los parámetros de atenuación en períodos de tiempo centrados en crisis sísmicas de relativa importancia pero sin efectos destructivos.

La separación de la atenuación intrínseca y dispersiva, se realiza en el capítulo 8. El método de Hoshiya (1991) es aplicado a las tres regiones peninsulares objeto de estudio. Se analiza la variación lateral de Q_i y Q_s en la península, así como sus respectivas dependencias frecuenciales.

En el capítulo 9 se resumen las conclusiones y se apuntan líneas de investigación futuras.

Así pues, en este estudio, después de analizar las principales características geotectónicas de la España Peninsular y resumir las principales teorías sobre atenuación sísmica de coda, se analiza la respuesta instrumental de las estaciones sísmicas de la Red Nacional y se obtienen las características más relevantes de la atenuación intrínseca y dispersiva en distintas áreas tectónicas de la España Peninsular.

