

Atenuación del movimiento del suelo en Cataluña.

Ground motion attenuation in Catalonia (NE of Spain)

M. Tapia, T. Susagna and X. Goula and J. Irizarry.

Institut Cartogràfic de Catalunya. Parc de Montjuïc. 08038 Barcelona. mtapia@icc.es, tsusagna@icc.es, xgoula@icc.es, jirizarry@icc.es.

ABSTRACT

One of the critical elements in a Probabilistic Seismic Hazard Assessment is the use of proper attenuation relations of the ground motion with distances for different magnitudes.

Recent data obtained from continental western Mediterranean earthquakes with medium size magnitudes ($M_L < 6.0$), recorded at short distances by accelerometers and up to some hundred of kilometres by broad-band stations show lower PGA and SA values than those defined by current empirical attenuation relations deduced from european strong-motion data.

Recent data from some Spanish, French and Italian earthquakes ($M_L < 6.0$) have been collected from different seismological networks, in particular, the broad-band seismometers and strong motion accelerometers recently deployed in Catalonia. Selected sets of records are processed and analysed, showing in some cases that the attenuation used on the definition of original M_L scale seems to be not adapted to data recorded at long distances in the Northeastern of Spain. Magnitudes (on different scales) furnished by different agencies have been considered. They show scattered values, with M_L values resulting clearly greater than M_s . These differences could explain only a part of the differences between the observed PGA and SA values and those predicted by current attenuation relations.

1. INTRODUCCIÓN

La atenuación del movimiento del suelo en función de la distancia para diferentes magnitudes tiene gran importancia en los estudios de peligrosidad sísmica.

El análisis de acelerogramas recientes de la región Mediterránea correspondientes a terremotos de magnitudes inferiores a 6 muestran como los valores de PGA y SA son menores que aquellos predichos por curvas de atenuación deducidas a partir de movimientos fuertes europeos, comúnmente utilizadas.

Existen diferencias entre escalas de magnitud que podrían explicar sólo en parte estas diferencias.

La importancia del estudio de estos datos recientes radica además en el hecho de que se tiene disponibilidad de datos a distancias mayores de las que hasta ahora se tenían. El intervalo de magnitudes, alrededor de 5, es importante también ya que son los sismos de importancia en la región de estudio, Cataluña.

En este estudio la dependencia con el emplazamiento (suelo blando, roca,...) no es considerada.

2. DATOS

Una recopilación de datos recientes ha permitido disponer de acelerogramas correspondientes a 16 sismos. Sus respectivos epicentros se pueden ver en el mapa de la figura 1. Se pueden agrupar en tres regiones diferenciadas: Italia, Pirineos-Sur de Francia y Sur de España-Norte de África

Se han seleccionado 4 sismos italianos pertenecientes a la crisis sísmica de 1997 en Umbria-Marche. Los acelerogramas corresponden a sismos de magnitudes entre 5.4 y 6.0, con distancias epicentrales entre 4 y 126 Km. Para la región de los Pirineos y Sur de Francia disponemos de acelerogramas correspondientes a otros cuatro sismos de magnitudes de 4.5 a 5.2 y distancias epicentrales entre 8 y 295 Km. Se han seleccionado acelerogramas de 8 sismos del Sur de España y Norte de África con magnitudes entre 4.5 y 5.7 y distancias epicentrales de 8 a 270 Km. El número de registros y las características de los sismos seleccionados se muestran en la tabla 1.

En la selección de estos datos, además de las magnitudes de los sismos y rango de distancias epicentrales, se ha tenido en cuenta que no estuvieran utilizados en anteriores curvas de atenuación.

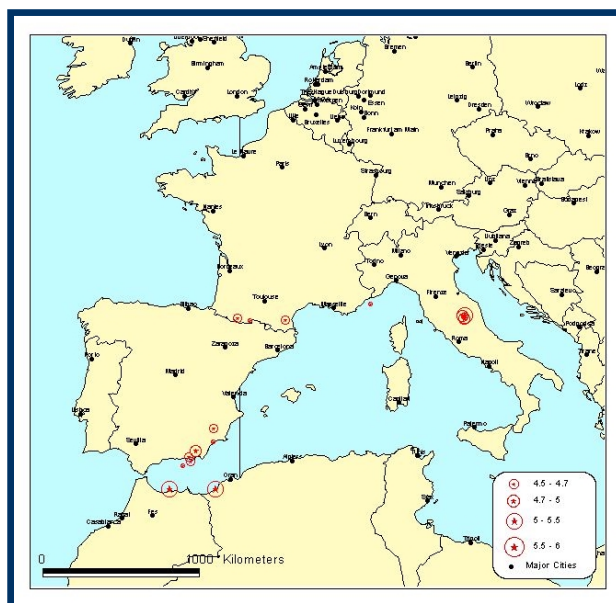


Figura 1. Epicentros de los acelerogramas analizados. (Epicenters of analysed accelerograms)

Tabla 1. Información de los registros analizados. (Analyzed records information)

Fecha	Ml	Epicentro	nº reg.	dist. (km)
26/09/97	5.6	Umbria-Marche	17	4 -126
26/09/97	6.0	Umbria-Marche	23	6-126
06/10/97	5.4	Umbria-Marche	20	7 -87
14/10/97	5.5	Umbria-Marche	30	10 -126
16/05/02	4.8	H. Pyrénées	12	13 -248
25/02/01	4.7	Nice	19	26 -295
04/10/99	4.5	B de Luchon	1	20
18/02/96	5.2	Pyr. Orientales	3	8 -60
04/02/02	5.2	Gergal (España)	7	15
02/02/99	5.0	Mula (España)	6	21 -110
22/12/99	5.7	Beni Saf (Arg.)	1	224
02/07/97	4.6	Adra (España)	7	51- 102
02/09/96	4.5	Mazarrón (Esp.)	4	23-105
26/05/94	4.7	AlHoceima (M.)	3	167-206
04/01/94	4.9	Adra (España)	13	27 -270
23/12/93	5.0	Berja (España)	16	8 -252

3. CURVAS DE ATENUACIÓN PARA PGA

En la figura 2 se representan los PGA extraídos de los sismos seleccionados junto con las curvas de atenuación europeas más utilizadas actualmente (Ambraseys et al., 1996) para $M_s=5$ y $M_s=6$ y sus desviaciones estándar.

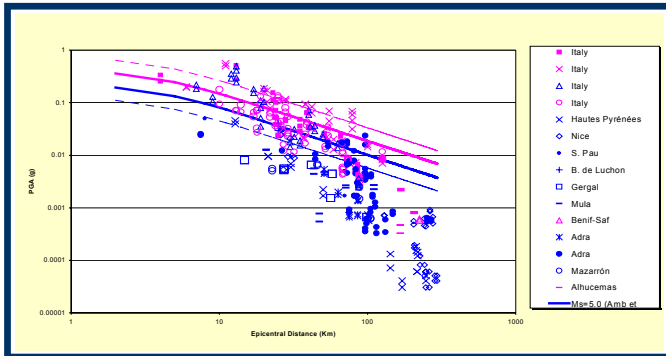


Figura 2. Valores de PGA de los registros seleccionados y curvas de atenuación (Ambraseys et al., 1996) para $M_s=5.0$ y 6.0 y sus desviaciones estándar. (PGA values vs epicentral distance with attenuation laws)

Se observa como los valores de PGA son inferiores a los previstos por las curvas de atenuación, especialmente a grandes distancias.

También se han comparado los datos con algunas otras relaciones, como por ejemplo Sabetta-Pugliese (1987), Theodulidis y Papazachos (1992) observando el mismo tipo de diferencias.

Esta diferencia puede ser debida al uso de diferentes escalas de magnitud, la ley Ambraseys et al (1996) usa la escala M_s y los datos seleccionados en este trabajo tienen sus magnitudes expresadas en M_I . Por esta razón se ve la necesidad de estudiar relaciones M_I - M_s ya que no se dispone de la magnitud M_s para estos sismos.

Comparación M_s - M_I

Se han recopilado datos de algunos sismos para los cuales estuvieran disponibles las magnitudes M_s y M_I simultáneamente.

Dufumier (2002) con algunos sismos recientes de regiones limítrofes francesas propone una relación entre M_s y m_b $M_s=1.75 \cdot m_b-4.3$. Para la región de estudio y el rango de magnitudes que se está considerando se hace la hipótesis de considerar m_b igual a M_I . En la figura 3 se muestra la relación entre ambas magnitudes a partir de los valores disponibles juntamente con la relación propuesta por Dufumier (2002).

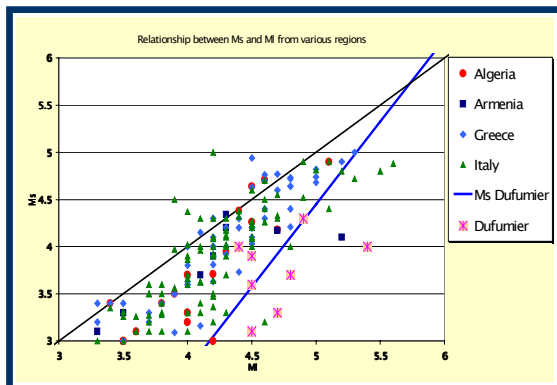


Figura 3. Valores M_s - M_I . (M_s vs M_I values)

Se observa como la mayoría de puntos queda por debajo de la bisectriz indicada en la figura. Se considera que los puntos se adaptan suficientemente bien alrededor de magnitud 5 como para adoptar la relación propuesta por Dufumier. Con esta relación se han modificado las curvas de atenuación de Ambraseys et al (1996) para poder comparar puntos y curvas de forma coherente.

Una vez se ha evaluado el efecto que pudieran tener la utilización de diferentes escalas de magnitudes se sigue con el análisis propuesto separándolo por regiones.

Región italiana:

Se han comparado los datos pertenecientes a los sismos italianos con las curvas de atenuación correspondientes a las magnitudes 5 y 6, además de los márgenes de error. En este caso los datos parecen adaptarse a las curvas de atenuación europeas, teniendo en cuenta que un alto porcentaje de los PGA caen dentro de los márgenes de error.

Región Pirenaica y Sur de Francia:

Se representa en la figura 4 la curva de Ambraseys et al (1996) para $M_s=5.0$ y para $M_I=5.0$. Además se muestra esta última curva modificada con coeficientes de extensión geométrica iguales a 1.2 y 1.5 en lugar de 0.9 de la curva original. Se ha representado también la curva propuesta para España por Cabañas et al. (1999).

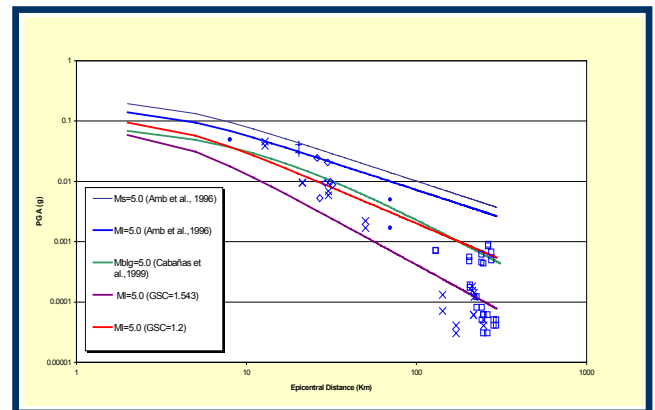


Figura 4. Valores de PGA para la región Pirenaica y Sur de Francia junto con distintas curvas de atenuación. (PGA values vs epicentral distance for Pyrenees and South of France.

Las estaciones más cercanas parecen ajustarse suficientemente bien a las curvas originales, pero pocos puntos están disponibles en este intervalo de distancias. Para las estaciones más lejanas los valores son más bajos que los valores previstos por la curva original de Ambraseys et al (1996).

Las leyes que han sido modificadas en sus coeficientes de extensión geométrica ajustan mejor los valores de PGA. También se observa como la curva Cabañas et al (1999) es similar a la curva Ambraseys et al (1996) con un coeficiente de extensión geométrica modificado de 0.9 a 1.2.

Para esta región, en conclusión, parece que la atenuación propuesta por Cabañas et al (1999) ajusta bien los nuevos datos. Las curva Ambraseys et al (1996) modificada en su extensión geométrica por 1.2 también ajusta los nuevos datos. Esta observación ya fue mencionada en el análisis preliminar de los acelerogramas del sismo de Niza de 2001 (RAP, 2001).

Para los datos más lejanos una atenuación adicional parece ser necesaria para explicar los bajos valores que se presentan. Un término de atenuación anelástica, atenuación

que no se considera ni en la ley europea de Ambraseys et al (1996) ni en la española de Cabañas et al (1999), podría explicar este hecho.

Región del Sur de España y Norte de África

La gráfica que se muestra para esta región (figura 5) es análoga a la presentada para la región Pirenaica y Sur de Francia. Se observa como los PGA correspondientes a los sismos de Adra (círculos llenos) tienen una gran dispersión para distancias similares. Si se considera los PGA correspondientes al resto de sismos se observa básicamente lo mismo que para la región pirenaica a

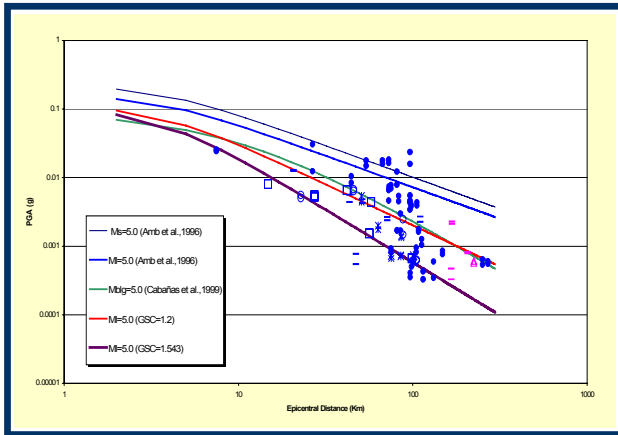


Figura 5. Valores de PGA para la región del Sur de España y Norte de África junto con distintas curvas de atenuación. (PGA values vs epicentral distance for South Spain and Nord Africa).

diferencia que aquí las estaciones más cercanas dan PGA más bajos y no quedan bien ajustados por la ley europea original.

4. CURVAS DE ATENUACIÓN PARA ORDENADAS ESPECTRALES.

Se han analizado datos espectrales deducidos del espectro de respuesta al 5% de amortiguamiento de algunos acelerogramas seleccionados para cada una de las regiones de entre los 16 sismos presentados inicialmente. Estos sismos seleccionados, los más significados, son para la región de Italia los cuatros sismos de la crisis sísmica de Umbria-Marche; para la región pirenaica y de Niza se han seleccionado el reciente sismo de los Hautes Pyrénées de 2002 y el sismo de Niza de 2001; para la región de sur de España, los sismos de Mula de 1999 y Gérgal de 2002.

Se analizan las ordenadas espectrales de los periodos 0.1, 0.3, 0.6, 1.0 y 2.0 segundos del espectro calculado.

Se ha procedido a un análisis similar al realizado para PGA, es decir, para cada región se comparan, para cada periodo, los valores espectrales de los acelerogramas seleccionados con distintas curvas de atenuación. En la figura 6 se muestra este análisis para la región Pirenaica y Sur de Francia.

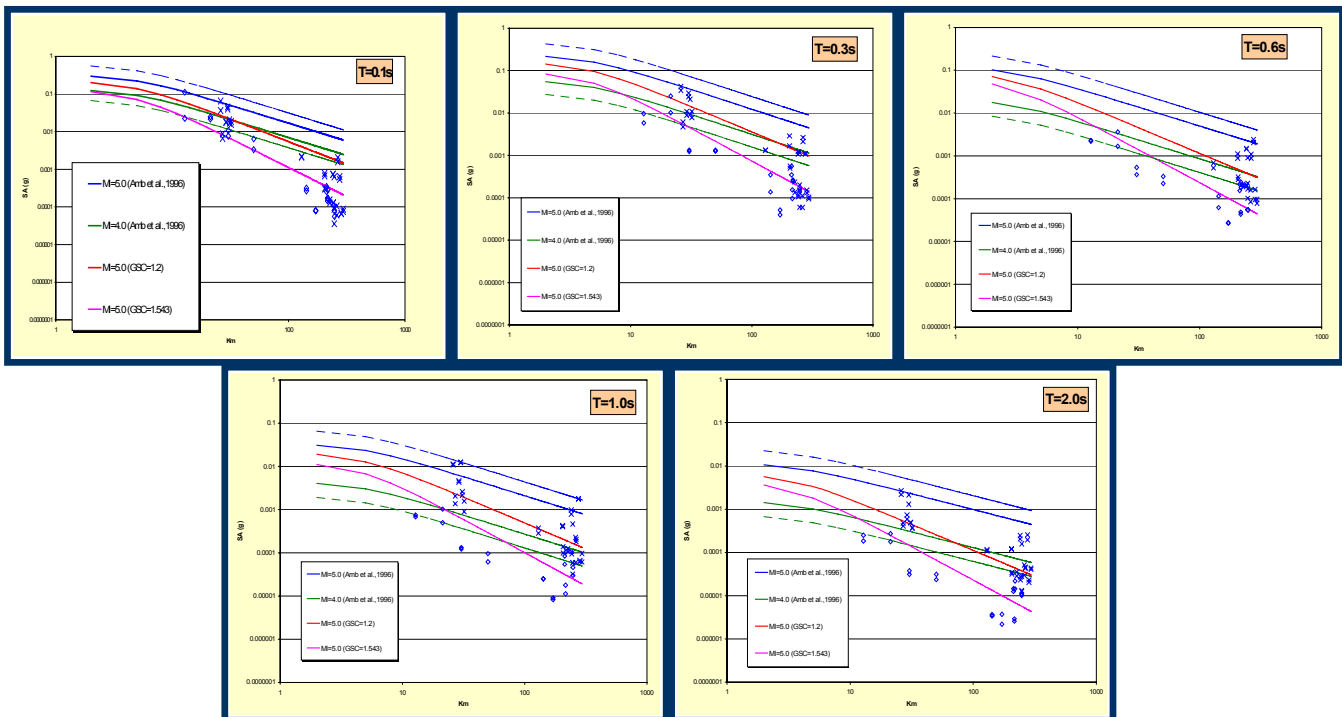


Figura 6. Valores espectrales (SA) para distintos periodos, en función de la distancia epicentral para la región pirenaica y Sur de Francia. Se incluyen distintas curvas de atenuación:

- Ambraseys et al (1996) para MI 4.0 y 5.0
- Ambraseys et al (1996) para MI 4.0 y 5.0 con desviación estándar
- Ambraseys et al (1996) para MI 5.0 modificada por coeficientes de extensión geométrica 1.2 y 1.54

(SA values vs epicentral distance for different periods for Pyrenees and South of France. Different attenuation relationships are included)

Se pueden enumerar las siguientes observaciones:

- tal como se observó para el PGA los valores obtenidos para todos los períodos están por debajo de la curva de Ambraseys et al (1996) para $M_I=5.0$.

- se observa una mayor dispersión de los valores espectrales para los períodos más largos (1 y 2 s).

- esta observación puede ponerse en relación con la mayor dependencia de los valores espectrales para períodos largos con la magnitud, como se pone de manifiesto en la separación entre las curvas representativas de $M_I= 5.0$ y $M_I= 4.0$.

- tal como se observó para el PGA los valores obtenidos para todos los períodos y todas las distancias se ajustan mejor a las curvas de atenuación modificadas de Ambraseys et al (1996) con coeficientes de extensión geométrica de 1.2 y 1.5.

- Para períodos largos los datos se ajustan a las curvas originales para $M_I=4.0$ (ver figura 6) lo cual podría indicar que las magnitudes han sido sobreestimadas.

Estas observaciones realizadas para la región Pirineos-Sur de Francia son igualmente válidas para los datos del Sur de España. No ocurre lo mismo para los datos de la región de Italia para los que se observa una mayor coincidencia de los valores espectrales con los previstos por las curvas de Ambraseys et al (1996) originales.

5. CONCLUSIONES

Los datos analizados correspondientes a sismos recientes de Italia, Pirineos-Sur de Francia y Sur de España muestran diferencias importantes de unas regiones a otras.

Los valores de PGA y de PSA para distintos períodos para los sismos de Italia analizados muestran un comportamiento acorde con las curvas de atenuación de datos europeos (Ambraseys et al.,1996)

Los valores de PGA y de PSA para distintos períodos para los sismos seleccionados de Pirineos-Sur de Francia y Sur de España muestran son inferiores a los previstos en las curvas citadas. Estas diferencias pueden explicarse con valores mayores de extensión geométrica o también, en parte por una sobre valoración de la magnitud de estos sismos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a los datos obtenidos por las redes de acelerógrafos ENEL-ENEA (Italia), RAP(Francia), IGN e ICC (España), que han sido amablemente facilitados por Raniero Berardi (ENEL), Pascal Dominique (BRGM), Philippe Gueguen (LGIT) y Emilio Carreño (IGN).

REFERENCIAS

- Ambraseys, N. N., Simpson , K. A., and Bommer, J. J. (1996).** Prediction of horizontal response spectra in Europe. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol. 25, 371-400.
- Cabañas, L., Benito, B., Cabañas, C., López, M., Gómez, P., Jiménez, M. E., y Álvarez, S. (1999).** Banco de Datos de Movimiento Fuerte del Suelo. Aplicaciones. Física de la Tierra, 11, 113-139.
- Dufumier, H. (2002).** Synthesis of magnitude and local mechanism computations for the $M \geq 4.5$ earthquakes in France for the period 1995-2000. Journal of Seismology. (in press).
- RAP (2001).** Analyse Preliminaire des accelerogrames du seisme de Nice, Febrier,2001. www-rap.obs.ufj-grenoble.fr
- Sabetta , F and Pugliese, A. (1987).** Attenuation of peak horizontal acceleration and and velocity from Italian strong-motion records.Bull. Seism.Soc. Am. 77, 1491-1513.
- Theodulidis, N. and Papazachos, (1992).** Dependence of strong motion on magnitude-distance, site geology and macroseismic intensity for shallow earthquakes in Greece:I, Peak horizontal