

Estimación de Leyes de Escala del Movimiento Sísmico en el SE Español

Pablo Castro Álvarez
Tutores: Gerardo Alguacil de la Blanca
Francisco Vidal Sánchez

Abstract. This study presents ground motion prediction equations (GMPEs) as a function of epicentral and hypocentral distance. The equations are for Peak Ground Acceleration (PGA), Peak Ground Velocity (PGV), Arias Intensity (AI), Root Mean Square Acceleration (Arms), Spectral Intensity (SI), Peak Ground Power (PGP) and Peak Ground Energy (PGE). We used data from 735 records of 135 earthquakes with a distance range from 10 to 400km in the south of Spain. These equations show a stronger dependence on the distance than most previously published relations for Europe, Japan and the USA.

Keywords: leyes de escala, movimiento fuerte del suelo, atenuación sísmica, sur de España

Introducción

Los terremotos son un tipo de peligro natural que provoca efectos negativos o daños al ser humano, las construcciones y al medio ambiente. El análisis de los terremotos es necesario para minimizar los posibles daños y estar preparados para dar una respuesta rápida y efectiva. La estimación del movimiento del suelo esperado (y sus fenómenos asociados) puede usarse directamente en las medidas de prevención y en el desarrollo de sistemas de respuesta sísmica eficaces para cuando ocurra un terremoto.

Objetivos

El objetivo de este trabajo consiste en estudiar leyes de escala entre parámetros clave representativos del movimiento fuerte del terreno con la magnitud del sismo y la distancia entre el foco del terremoto y las estaciones sísmicas a través de expresiones matemáticas empíricas. Estas relaciones son imprescindibles en estudios de peligrosidad sísmica, y para la elaboración de escenarios sísmicos y mapas rápidos de sacudida (*shake map*) tras un terremoto.

Los parámetros del movimiento del suelo que se han estudiado en este trabajo son PGA, PGV, AI, SI, Arms. Estos parámetros se han relacionado con la magnitud, distancia hipocentral y distancia epicentral para obtener las correspondientes leyes de escala más probables.

Datos y metodología

La ventana geográfica para este trabajo es latitud (35;38) longitud (-9;-1). Esta área engloba la totalidad de Andalucía más el mar de Alborán y el Golfo de Cádiz. Se ha trabajado con una selección de datos compuesta por 735 registros de 163 terremotos con un rango de magnitudes de 3,7-6. Estos registros provienen de estaciones de banda ancha, cuyos registros son proporcionales a la velocidad del suelo en la banda de interés de ingeniería (0,2-20Hz) y únicamente se requiere obtener la aceleración del suelo por derivación numérica.

Todas las estaciones se encuentran en roca o suelo duro, por lo que se suponen libres en general de efectos de sitio. Estos datos fueron tratados en primera instancia con el programa SEISAN, el cual permite ver la forma de onda de cada terremoto y acceder a información sobre el mismo como localización, distancia a cada estación en la que se ha registrado, tiempos de llegada de ondas P y S, etc. Con este programa, se seleccionaron aquellos eventos de los que había registro en 3 componentes (N, E, Z) y una diferencia de tiempo entre las llegadas de P y S menor a $t_P - t_S < 20s$. A cada registro de esta selección se le pasó un filtro paso-banda entre 0,2 y 20Hz para eliminar tendencias de periodo largo y homogeneizar las señales a una misma banda de frecuencia, previo a la obtención del archivo de velocidad real del suelo. La obtención de acelerogramas se realiza por derivación numérica, con una interpolación no-lineal previa para eliminar en lo posible el ruido inherente a la derivación numérica.

Estos archivos de velocidad se transforman a formato MSeed y son procesados con rutinas Matlab. Una rutina lee los archivos MSeed, calcula los parámetros del movimiento fuerte del suelo (SGMP) y crea un archivo Excel con los resultados de todos los sismogramas.

Este archivo Excel se procesa de nuevo con Matlab, donde se ha creado una nueva rutina para aplicar nuestra ecuación de atenuación, basada en la de Sabetta y Pugliese (1996) y estimar por regresión los coeficientes de la misma para cada parámetro.

$$y = b(1) + b(2) * m + b(3) * \log R + b(4) * R \quad (1)$$

Donde y es el logaritmo del parámetro para el que se va a calcular la ley de escala, b son los coeficientes, m es la magnitud, y R es la distancia epicentral o hipocentral en km (se han obtenido ajustes para ambas). El rango de distancia es de entre 10-400km. La rutina se ejecuta de forma particular para cada parámetro. Se obtienen los coeficientes con su respectivo margen de error y la desviación estándar del ajuste, así como la gráfica con tres curvas predichas de atenuación: una para magnitud 4, otra para 5 y otra para 6, y un gráfico 3D con una superficie de ajuste entre los valores del parámetro, la magnitud y la distancia. Hay valores que se alejan mucho de la media (*outliers*). La función *robustfit* de Matlab utilizada da menos peso a estos valores evitando introducir sesgos en el cálculo de los coeficientes de ajuste.

Resultados

Se presentan, a modo de ejemplo, los gráficos de resultados obtenidos para PGA (figuras 1, 2 y 3) así como la tabla con los valores de los coeficientes y los errores obtenidos para todos los parámetros.

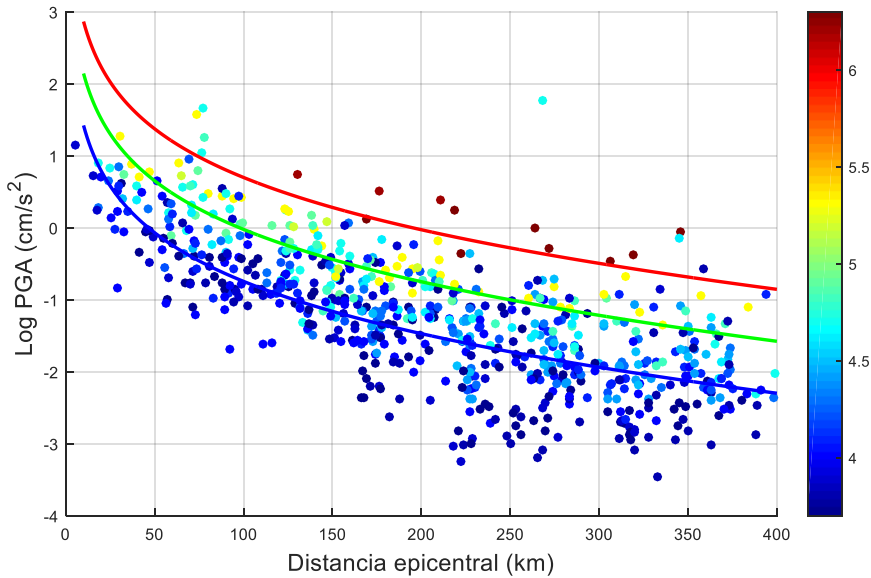


Figura 1. Ajuste obtenido para PGA frente a magnitud y distancia epicentral. Los puntos experimentales se representan en color dependiendo de su magnitud. Se dibujan las curvas obtenidas para magnitudes 4, 5 y 6.

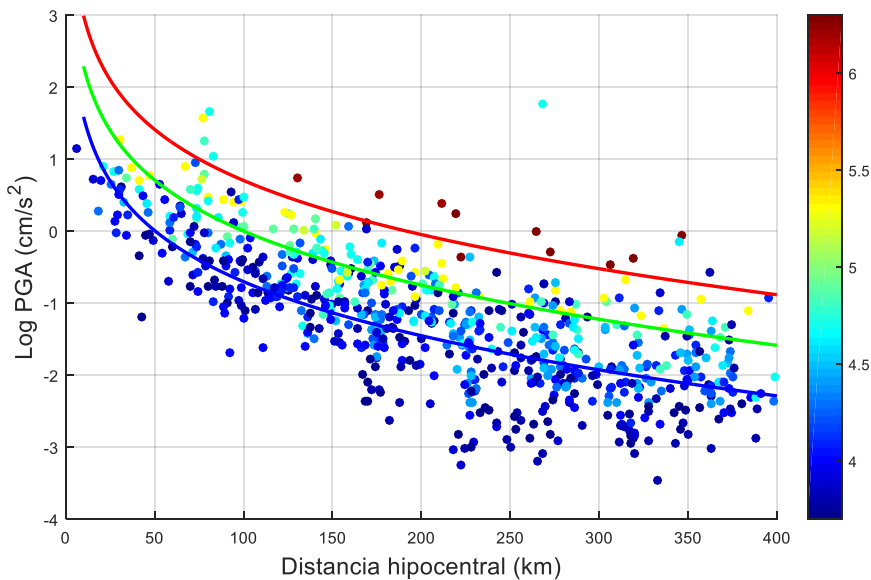


Figura 2. Ajuste obtenido para PGA frente a magnitud y distancia hipocentral. Los puntos experimentales se representan en color dependiendo de su magnitud. Se dibujan las curvas obtenidas para magnitudes 4, 5 y 6.

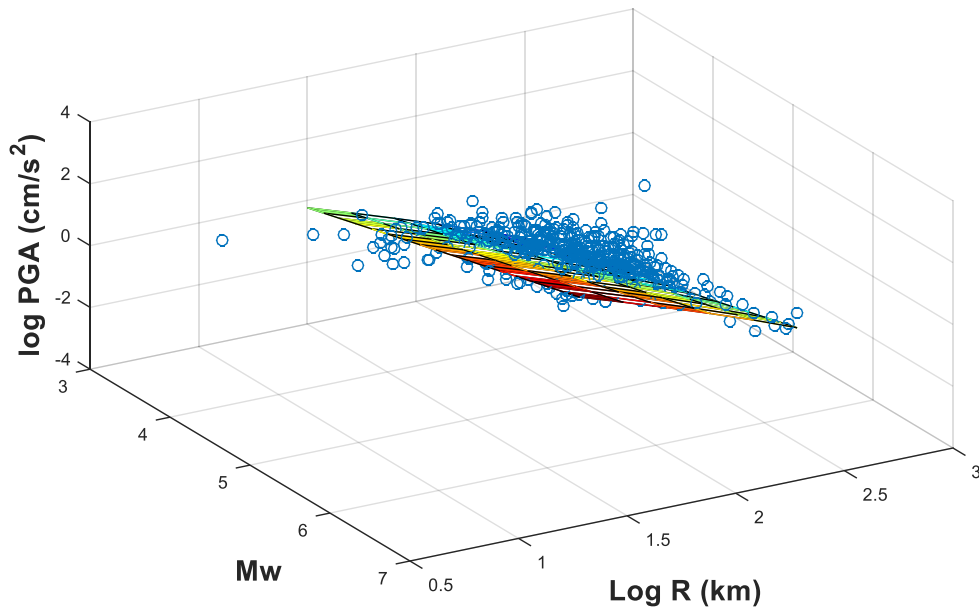


Figura 3. Representación 3D de los valores de PGA frente a la magnitud (M_w) y la distancia R y la superficie de ajuste entre las tres variables

Tabla I. Coeficientes de ajuste y márgenes de error estimados. Std es el error estándar del ajuste.

a) Distancia Epicentral

	b1	Err b1	b2	Err b2	b3	Err b3	b4 $\cdot 10^{-4}$	Err b4 $\cdot 10^{-4}$	Std
PGA	0,62	0,32	0,72	0,04	-2,07	0,17	-10	4	0,47
PGV	-2,63	0,29	1,01	0,03	-1,7	0,15	-15	4	0,44
AI	-3,15	0,56	1,52	0,06	-3,31	0,29	-25	8	0,85
SI	-2,72	0,29	1,03	0,03	-1,67	0,15	-17	4	0,44
Arms	0,15	0,31	0,75	0,03	-2,23	0,16	-9	4	0,46
Pmax	-2,17	0,6	1,71	0,07	-3,82	0,31	-25	8	0,9
Emax	-3,29	0,55	1,58	0,62	-3,31	0,29	-23	7	0,84

b) Distancia hipocentral

	B1	Error B1	B2	Error B2	B3	Error B3	B4 $\cdot 10^{-4}$	ErrB4 $\cdot 10^{-4}$	Std
PGA	1	0,34	0,7	0,04	-2,2	0,18	-8	4	0,49
PGV	-2,33	0,31	1	0,03	-1,8	0,16	-14	4	0,44
AI	-2,49	0,59	1,49	0,06	-3,56	0,3	22	8	0,85
SI	-2,42	0,31	1,02	0,03	-1,78	0,16	-15	4	0,44
Arms	0,6	0,32	0,73	0,03	-2,39	0,17	-7	4	0,46
Pmax	-1,52	0,63	1,67	0,07	-4,05	0,33	-22	8	0,91
Emax	-2,61	0,58	1,55	0,06	-3,57	0,3	-19	8	0,83

Discusión

La PGA es el parámetro más estudiado por otros autores y sobre la que más ecuaciones de predicción de movimiento del suelo se han hecho. En nuestro trabajo comparamos los resultados obtenidos con los resultados de otros autores para zonas más amplias, incluyendo una comparación con un estudio de PGV (Kanno, 2006) y uno de AI (Travasarou et al., 2003). Casi todos los estudios del movimiento intenso del suelo (SGMP) se han basado en registros de aceleración. En este estudio se han aprovechado los registros de banda ancha de estaciones en roca con alta sensibilidad debido a que en nuestra zona el número de registros de aceleración es escaso hasta el presente.

Es de notar los amplios márgenes de variabilidad de los parámetros, puestos de manifiesto en las desviaciones estándar obtenidas. Esto es así en todos los estudios realizados por otros autores y, por tanto, hay que tener en cuenta que las sacudidas pueden presentar valores del movimiento del suelo muy dispares del más probable. Sin embargo, estas leyes de escala son imprescindibles para elaborar mapas de peligrosidad, mapas de sacudida rápidos (Shake map) y para estudios específicos en caso de construcciones de especial importancia.

Conclusiones

- Se han analizado 735 sismogramas de banda ancha correspondientes a 161 terremotos de magnitud entre M_w 3.7 y 6.3 para calcular los parámetros característicos del movimiento fuerte del suelo (*strong-ground motion parameters, SGMP*) en sitios de roca o suelo duro. Entre ellos, se han elegido PGA, PGV, AI, SI y Arms como más representativos en este rango de magnitudes.
- Se han obtenido mediante técnicas de ajuste robusto leyes de escala (predictivas) para estos parámetros en función de la distancia epicentral o hipocentral y de la magnitud.
- En general, las relaciones obtenidas para la zona del Sur de España elegida muestran una disminución de la amplitud más rápida que las obtenidas por otros autores para Europa, Japón, o EEUU, lo que se explica por la alta heterogeneidad y fracturación de la zona, que produce una alta atenuación sísmica por diferentes mecanismos.
- Este trabajo complementa el realizado por Méndez (2011) con acelerogramas de terremotos de pequeña magnitud a distancias cercanas en Granada, ya que utiliza terremotos hasta M_w 6,3 y distancias hasta 400km en el Sur de España.
- Los ajustes de los parámetros Arms, Pmax y Emax siguen tendencias similares a los otros con dispersiones parecidas a los parámetros cinemáticos en el caso de Arms y a los relacionados con la energía (AI) en el caso de Pmax y Emax.

Bibliografía

Kanno, T., 2006. A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 96, 879–897. doi:10.1785/0120050138

Méndez, V. 2011. *Leyes de atenuación de parámetros del SGM en la provincia de Granada*. Tesis de Máster. Máster de Estructuras. Universidad de Granada.

Sabetta, F. y Pugliese, A. 1996, Estimation of Response Spectra and Simulation of Nonstationary Earthquake Ground Motions, *Bull. Seism. Soc. Am.* 86(2), pp. 337-352.

Travasarou, T., Bray, J.D., Abrahamson, N. A. 2003. Empirical attenuation relationship for Arias Intensity. *Earthquake Engng Struct. Dyn.* 2003; 32:1133–1155 (DOI: 10.1002/eqe.270)