

Las leyes de atenuación

En un artículo anterior vimos que una herramienta esencial para diseñar una estructura es un gráfico que se llama **espectro de diseño sísmico**. A su vez, para definir este gráfico es muy conveniente conocer la máxima aceleración en la superficie del terreno en el sitio de nuestra estructura. Esta cantidad es una medida de la intensidad de un sismo y dijimos que los ingenieros diseñan para una cierta intensidad y no para una magnitud. Si un sismólogo nos informa cuál es la magnitud del sismo que se puede generar en una determinada falla, y conocemos la distancia de esta a nuestra estructura, sería muy útil poder usar esta información para estimar la aceleración del suelo en nuestro sitio debido a este terremoto. Para esto se usa una herramienta que se conoce como una **ley de atenuación** (o un modelo o relación de atenuación).

Una ley de atenuación es una herramienta usualmente expresada como una *fórmula matemática* que nos permite conocer cómo disminuye la intensidad de un sismo de magnitud M a medida que nos alejamos de la falla donde se originó el evento. A menudo estas leyes de atenuación incluyen otros parámetros asociados a la fuente como el tipo y geometría de la falla, etc. Aunque hay muchas ecuaciones propuestas, las más sencillas son, como se mencionó, solo función de la magnitud M del terremoto y de una medida de la distancia de la falla al sitio de la estructura.

La mayoría de estas leyes se obtienen de análisis estadísticos de datos de movimientos del suelo que ocurren durante varios terremotos de intensidad moderada a fuerte. Estas leyes de atenuación son específicas para cada región, vale decir que no se puede usar en Puerto Rico una que se desarrolló para California u otra región.

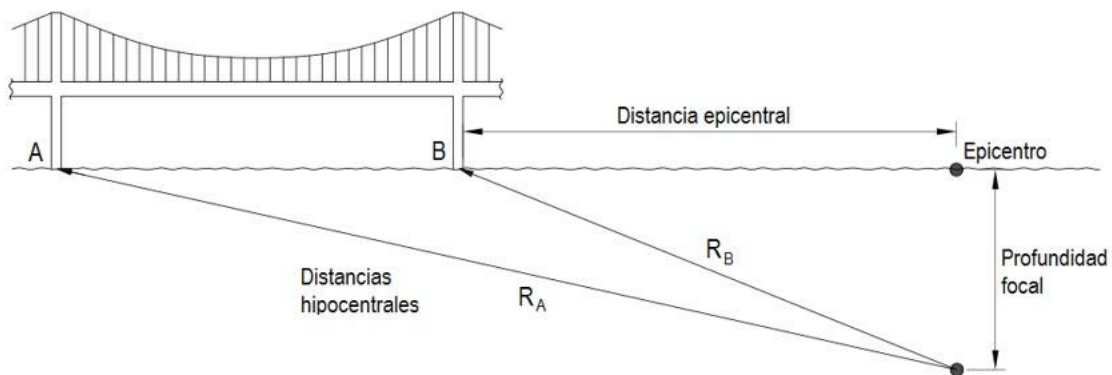
Solo para presentar un ejemplo vamos a mostrar una ley de atenuación sencilla, llamada la *ley de Campbell*. Esta está definida por la siguiente ecuación:

$$\log(PGA) = a e^{bM} [R + c e^{dM}]^f$$

donde PGA es la máxima aceleración del suelo en fracciones de g ("Peak Ground Acceleration") y a , b , c , d , y f son parámetros de ajuste. Campbell sugiere usar los siguientes valores para la región oeste de los Estados Unidos:

$$a = 0.0159 \quad , \quad b = 0.868 \quad , \quad c = 0.0606 \quad , \quad d = 0.7 \quad , \quad e = 1.09$$

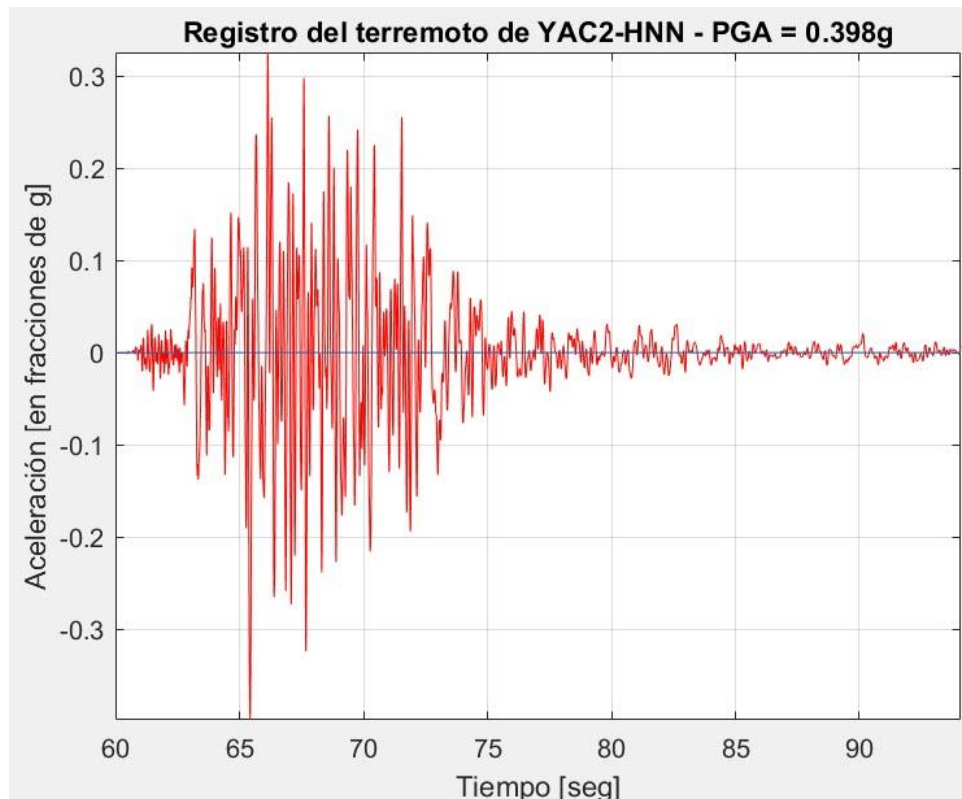
EL parámetro R es lo que se conoce como la **distancia hipocentral** medida en kilómetros. La siguiente figura muestra la *distancia hipocentral* y otra más llamada *distancia epicentral*:



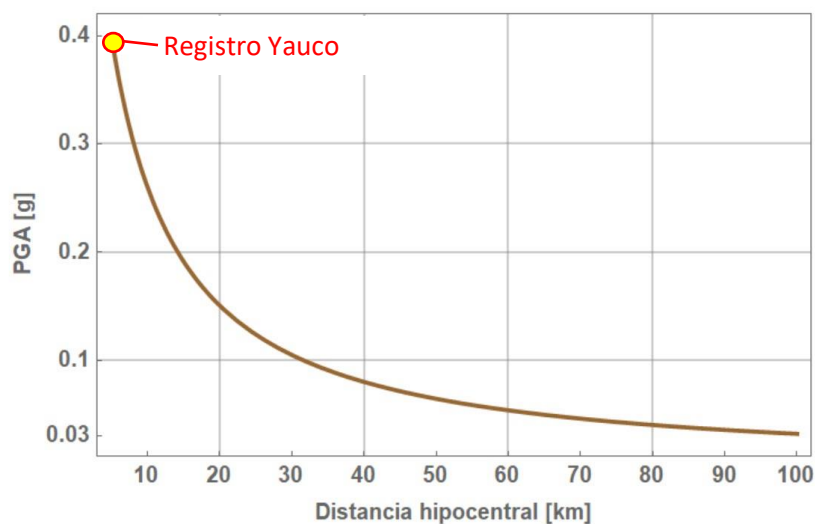
Ejemplo:

Vamos a ver un ejemplo del uso de una ley de atenuación. Solo por simplicidad, vamos a usar la anterior, aunque dijimos que rigurosamente esta ley no aplica a Puerto Rico. Para los que tienen curiosidad, hay una ley desarrollada para Puerto Rico por dos sismólogos en Canadá, Motazedian y Atkinson, en el 2005 pero la de Campbell es mucho más sencilla y por esto la adoptaremos en este ejemplo.

Supongamos que queremos calcular la máxima aceleración del suelo en la ciudad de San Juan debido al sismo de magnitud $M6.4$ del 7 de enero de 2020. Dado los pocos días que han pasado desde este evento, a la fecha nuestra información disponible es el registro más cercano a la falla medido por el Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico, en Yauco (en el parque de bombas específicamente). La siguiente figura muestra la parte importante de este registro. La máxima aceleración del suelo en la dirección horizontal (PGA) es aproximadamente $0.4g$.

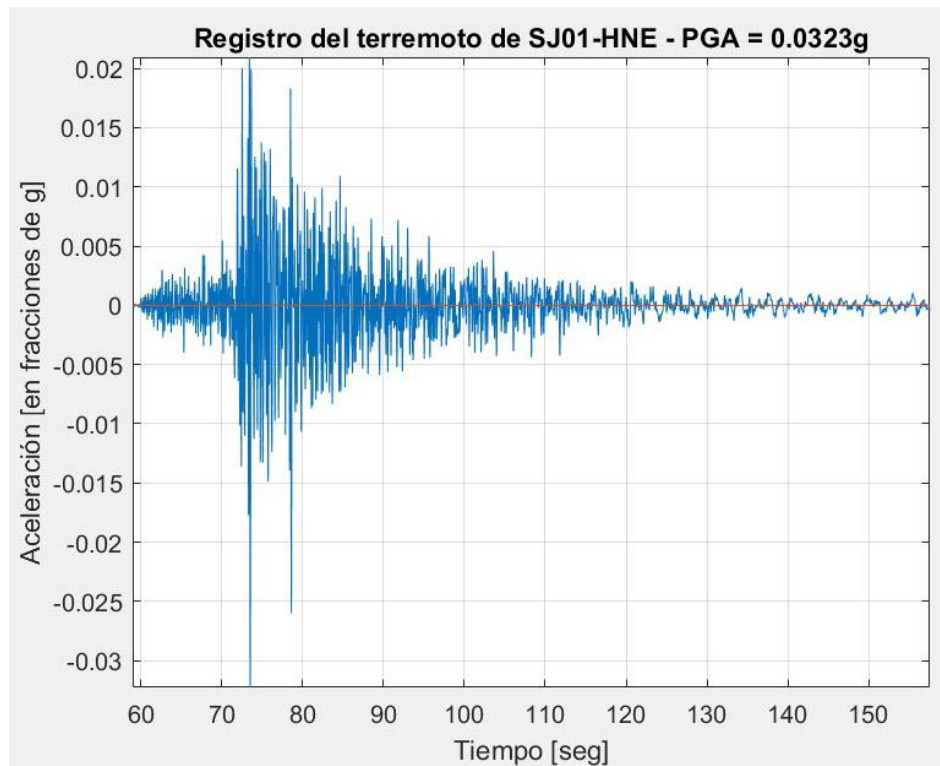


Si graficamos la fórmula anterior de la ley de Campbell y la normalizamos para que comience con una aceleración del suelo de $0.4 g$ se obtiene la siguiente curva:



Según la información provista por el Programa de Movimiento Fuerte (PRSMF de Ingeniería Civil del RUM), la distancia R es aproximadamente $93 km$. Si sustituimos nuestros valores $R = 93$ y $M = 6.4$ en la ley de atenuación y despejamos para PGA se obtiene que para San Juan la máxima aceleración del suelo debería ser $PGA = 0.0343 g$. Este valor se puede verificar aproximadamente entrando al gráfico anterior desde el eje inferior con una distancia de $93 km$.

Ahora bien, ¿estará correcta esta predicción? Por suerte tenemos un registro de aceleraciones del sismo del 7 de enero medido en San Juan, más específicamente en el Instituto de Neurobiología de la Universidad de Puerto Rico. A continuación, se presenta este acelerograma:



El valor medido del *PGA* es **0.0323 g** que es muy parecido al estimado por la ley de atenuación. Esto no siempre es así, más bien tuvimos un poquito de suerte, pero los resultados sirven para verificar la utilidad de estas leyes.