

LA MAGNITUD DEL TERREMOTO DE PISCO DEL 15/08/07

Isabel Bernal
Dirección de Sismología

RESUMEN

En este trabajo se presenta los valores de magnitud calculados para el terremoto de Pisco del 15 de Agosto de 2007 a partir de los diversos procedimientos establecidos internacionalmente para estimar este parámetro. Los valores de magnitud fueron reportados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), por el National Earthquake Information Center (NEIC) y por la Universidad de Harvard (CMT). Los resultados muestran que los valores de magnitud, dependiendo de la escala que se utilice, varían hasta en un grado; sin embargo, todos ellos definen adecuadamente la cantidad de energía liberada por el terremoto de Pisco.

INTRODUCCION

El último terremoto que afectó la zona sur de la región Central de Perú, ocurrió el 15 de Agosto de 2007 y de acuerdo a su duración y cantidad de energía liberada, es considerada como el mayor de los ocurridos durante la última centuria en esta región. El terremoto produjo intensidades máximas del orden de VII-VIII (MM) en las ciudades de Pisco, Ica y Chincha, además de un radio de perceptibilidad del orden de 600-700 km.

La magnitud del terremoto de Pisco, en función de su magnitud, fue reportada por el Instituto Geofísico del Perú y agencias internacionales con valores totalmente diferentes en virtud al uso de las diversas escalas existentes para expresar este parámetro. En general, la magnitud es calculada a partir de la amplitud máxima del registro del terremoto/sismo en un sismógrafo debidamente calibrado y sus variadas medidas son expresiones logarítmicas de la cantidad de energía liberada. En estas condiciones, para calcular la magnitud de un terremoto se debe corregir la amplitud de su registro en función del tipo de sismógrafo, por su distancia epicentro-estación, profundidad del foco y tipo de suelo en donde está ubicada la estación de registro. Así, el valor mínimo dependerá de la sensibilidad del sismógrafo y el máximo de la longitud de la fractura producida por el terremoto de un solo golpe. Existen diversas escalas de magnitud para estimar el tamaño de los terremotos y estas dependen de la distancia a la cual se registra el terremoto y al tipo de onda que se utiliza para su cálculo. De estas escalas, las más importantes son las que permiten estimar la Magnitud Local (ML), Magnitud Ondas de Volumen (mb), Magnitud Ondas Superficiales (Ms), Magnitud Tsunami (Mt), Magnitud Duración (MD), Magnitud Energía (Me) y Magnitud Momento (Mw).

Para el terremoto de Pisco del 15 de Agosto, el IGP y las agencias internacionales proporcionaron los valores de magnitud en cada una de las escalas antes indicadas, hecho que produjo confusión en los medios informativos y público en general debido a la facilidad con la cual se accede a internet. En este estudio se describe de manera resumida cada una de las escalas frecuentemente utilizadas (Tavera, 2001) y se consigna diversos valores de magnitud para el terremoto de Pisco. La información procede del Instituto Geofísico del Perú (IGP), del National Earthquake Information Center (NEIC) y de la Universidad de Harvard (CMT).

ESCALAS DE MAGNITUD

Magnitud local (M_L). La magnitud local hace referencia a la escala de Richter establecida para registros provenientes de una estación sísmica del tipo Wood-Anderson (WA) y es definida como:

$$M_L = \text{Log } A(\Delta) - \text{Log } A_0(\Delta)$$

donde, A representa la amplitud máxima en el registro del sismo para el cual se desea calcular su magnitud, A_0 a la amplitud para el sismo de magnitud cero y Δ la distancia epicentral. Para una estación diferente a WA y para una región en particular, se debe realizar la corrección en distancia contenida en el término A_0 antes de establecer una correspondencia entre el sismógrafo utilizado y el WA

Magnitud de Ondas de Volumen (m_b). Esta magnitud considera la relación existente entre la amplitud de las ondas P y S (ondas de volumen) y el periodo predominante en el registro del sismo en su componente vertical. Esta escala es válida para sismos ocurridos a diferentes profundidades y registrados a distancias comprendidas entre 5° y 90° . La relación que permite calcular m_b es conocida como la fórmula de Gutenberg,

$$m_b = \text{Log } (A/T) + Q(\Delta, h)$$

donde, A es la amplitud de la señal sísmica medida sobre la componente vertical de registro (micras), T el periodo (seg) y Q el factor de atenuación de la onda expresado en función de la distancia epicentral (Δ) y la profundidad del foco (h) según las tablas de Gutenberg y Richter (1956).

Magnitud de Ondas Superficiales (M_s). Esta magnitud es válida para sismos con foco superficial y se basa en la amplitud máxima del registro medido en el grupo de las ondas Rayleigh con periodos (T) entre 18 – 22 segundos. Las correcciones consideran la distancia epicentral y la profundidad del foco del sismo. La relación establecida para esta escala es:

$$M_s = \text{Log} (A/T) + 1.66 \text{ Log } \Delta + 3.3$$

donde, A es la amplitud del desplazamiento del suelo en micras y Δ la distancia epicentral en grados. La formula anterior es válida para sismos registrados a distancias comprendidas entre $20^\circ < \Delta < 90^\circ$ y para sismos con focos localizados a profundidades menores a 70 km.

Magnitud Duración (M_d). Magnitud que considera la duración del registro de la señal del sismo, desde la llegada de la onda P hasta cuando la amplitud de la señal se confunde con el ruido de fondo. Esta magnitud es definida con la siguiente relación:

$$M(d) = a + b \text{ Log}(t) + c \text{ Log} (t^2) + d \Delta$$

donde, t es la duración del registro del sismo en segundos; Δ la distancia epicentral en km; a , b y c son constantes a determinarse para cada estación.

Magnitud Tsunami (M_t). Magnitud estimada a partir de la altura máxima de la ola producida por el tsunami y el uso de la relación propuesta por Dorbath et al (1990) para terremotos que ocurren en el borde occidental de Perú. La relación que permite estimar esta magnitud es:

$$M_t = 1.1 \log(H_r) + 7.7$$

donde, H_r es la altura de la ola expresada en metros.

Magnitud Momento (M_w). Magnitud basada en el valor del momento sísmico (M_o), el mismo que es obtenido a partir de los parámetros que relacionan la geometría de la falla, la profundidad del foco y el desplazamiento máximo producido durante el

sismo. Según Aki (1966), el momento sísmico puede ser calculado a partir de la siguiente relación:

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot \Delta u$$

donde, μ es el módulo de rigidez, A el área de la falla y Δu el desplazamiento medio sobre el plano de falla.

El momento sísmico es una medida más consistente del tamaño de un sismo y hoy en día, es el parámetro más importante. Este factor a dado lugar a la definición de una nueva escala denominada magnitud momento (Kanamori, 1977):

$$M_w = (2/3) \text{Log} (M_0) - 6.0$$

donde, M_0 es expresado en Nm.

Magnitud Energía (Me). La magnitud energía permite medir el potencial del daño causado por el terremoto y es obtenido a partir del valor de la energía sísmica irradiada. La relación que permite estimar este parámetro es:

$$M_e = (2/3) \text{Log} (E_s) - 2.9$$

La energía total liberada por un sismo es difícil de calcular con precisión debido a que ella es la suma de la energía disipada en forma térmica por la deformación en la zona de ruptura y la energía emitida como ondas sísmicas (calculada a partir del registro del terremoto). La energía sísmica puede ser estimada desde el espectro de energía según la metodología desarrollada por Boatwright y Choy (1986) y a partir de la magnitud de los sismos (m_b , M_s , M_w) según las siguientes relaciones:

$$\text{Log } E = 5.8 + 2.4 m_b$$

$$\text{Log } E = 11.8 + 1.5 M_s (M_w)$$

LA MAGNITUD DEL TERREMOTO DE PISCO

En la Tabla 1 se presenta todos los valores de magnitud obtenidos para el terremoto de Pisco del 15 de Agosto de 2007. En general, los valores de magnitud obtenidos a escala regional por el IGP (ML y MD) y el NEIC (m_b) son menores a los reportados en otras escalas, siendo esto frecuentemente cuando los terremotos son

originados por procesos complejos de ruptura, tal como ocurrió con el terremoto de Pisco. Estas características permiten que se produzca, en muchos casos, la saturación de algunas escalas.

Tabla 1.- *Magnitudes para el terremoto de Pisco expresados en diferentes escalas.*

Tipo de Escala	Magnitud IGP	Magnitud NEIC
Magnitud Local (ML)	7.0	6.7-
Magnitud Ondas Volumen (mb)	-	6.8
Magnitud Ondas Superficiales (Ms)	7.9	7.9
Magnitud Duración (MD)	6.9	5.7
Magnitud Tsunami (Mt)	8.5	-
Magnitud Momento (Mw)	-	8.0
Magnitud Energía (Me)	-	7.5

El avance logrado en la sismometría ha permitido proponer y utilizar nuevos métodos y procedimientos para estimar el tamaño de los terremotos. Así, es posible separar del registro del terremoto, la influencia de la estación y del medio de propagación para disponer de una señal equivalente al desplazamiento real del suelo producido durante la ocurrencia del terremoto. En estas condiciones y con la señal disponible se elaborara el espectro de amplitud para estimar el momento sísmico escalar a partir de la cual se puede conocer la magnitud momento. Asimismo, a partir del espectro de energía se estima la cantidad de energía sísmica y la magnitud energía (Me). Estos valores de magnitud, debido a como fueron calculados, no producen saturación de escala y definen mejor la magnitud del evento sísmico.

Otro procedimiento utilizado frecuentemente para conocer el tamaño de los terremotos, es a partir de la altura máxima de la ola del tsunami, tal como lo propone Dorbath et al (1990). A partir de este procedimiento indirecto y asumiendo que el tsunami producido por el terremoto de Pisco presentó olas con una alturas medias de 6 metros, se estima un valor de magnitud ligeramente mayor que los obtenidos utilizando métodos directos (Tabla 1).

A partir de la inversión del tensor momento, la Universidad de Harvard obtiene un momento sísmico de $1.1E+21$ Nm (equivalente a una magnitud momento de 7.9Mw) y una cantidad de energía sísmica del orden de $3.8E+15$ Nm.

En cuanto a la magnitud, las diferencias entre cada grado solo puede ser considerada en escala logarítmica, así un terremoto de magnitud 8.5 es 100 millones de veces más grande que uno de 3.0. Por otro lado, una bomba atómica "A" libera la energía que liberarían 20,000 toneladas de TNT y sería proporcional a un terremoto de magnitud 6.0. La bomba atómica "H" de 20 megatones libera energía equivalente a un terremoto de magnitud 8.0. De acuerdo a estas comparaciones, el terremoto de Pisco de magnitud 7.0 ML habría liberado energía equivalente a 10,000 bombas atómicas similares a la que exploto en Hiroshima.

BIBLIOGRAFIA

Aki, K. (1966). Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo. 44, 73-88.

Dorbath et al (1990). Bull. Seism. Soc. Am., 80, 551-576.

Gutenberg, B. y Richter, F. (1956). Annali di Geofisica, 9, 1-15.

Kanamori, H. (1977). J. Geophys. Res., 82, 2981-2987.

Tavera, H. (2001). Revista Geonoticias, N°4, Año VII, 22-24.

Tavera et al (2007). Informe Técnico sobre el terremoto de Pisco, IGP, 34 pag.