

# Terremotos

## • Escala sismológica de magnitud de momento

La **escala sismológica de magnitud de momento** ( $M_w$ ) es una escala logarítmica usada para medir y comparar terremotos. Está basada en la medición de la **energía** total que se libera en un sismo. Fue introducida en 1979 por Thomas C. Hanks y Hiroo Kanamori como la sucesora de la **escala sismológica de Richter**.

Una ventaja de la escala de magnitud de momento es que no se satura cerca de valores altos.<sup>1</sup> Es decir, a diferencia de otras escalas, esta no tiene un valor por encima del cual todos los terremotos más grandes reflejen magnitudes muy similares.

Otra ventaja que posee esta escala es que coincide y continúa con los parámetros de la escala sismológica de Richter.

Por estas razones, la escala de magnitud de momento es la más usada por sismólogos para medir y comparar terremotos de grandes proporciones. El **Centro Nacional de Información Sísmica** (*National Earthquake Information Center*), dependiente del **Servicio Geológico de los Estados Unidos**, usa esta escala para la medición de terremotos de una magnitud superior a 6,9.

A pesar de lo anterior, la escala sismológica de Richter es la que goza de más popularidad en la prensa. Luego, es común que la prensa comunique la magnitud de un terremoto en «escala de Richter» cuando este ha sido medido en realidad con la escala de magnitud de momento.<sup>1</sup> En algunos casos esto no constituye un error, dada la coincidencia de parámetros de ambas escalas, aunque se recomienda indicar simplemente «magnitud» y evitar la coletilla «grados en la escala de Richter» para evitar errores.

## Magnitud de momento sísmico

La **magnitud de momento sísmico** ( $M_w$ ) resume en un único número la *cantidad de energía liberada por el terremoto* (llamada *momento sísmico*,  $M_0$ ). La "w" en el subíndice del símbolo « $M_w$ », proviene de la palabra inglesa «work», que significa «trabajo».

$M_w$  coincide con las estimaciones obtenidas mediante otras escalas, como por ejemplo la **escala sismológica de Richter**. Es decir,  $M_w$  permite entender la *cantidad de energía liberada por el terremoto* ( $M_0$ ) en términos del resto de las escalas sísmicas. Es por esto que se usa  $M_w$  en vez de  $M_0$  como parámetro de la escala.

Los **períodos de oscilación** de las **ondas sísmicas** grandes son proporcionales al *momento sísmico* ( $M_0$ ). Es por esto que se suele medir la *magnitud de momento*  $M_w$  a través de los períodos de oscilación por medio de **sismógrafos**.

La relación entre  $M_w$  y  $M_0$  está dada por una fórmula desarrollada por **Hiroo Kanamori** en el Instituto de Sismología de California, que es la que sigue:

$$M_w = \frac{2}{3} \left( \log_{10} \frac{M_0}{\text{N} \cdot \text{m}} - 9,1 \right) = \frac{2}{3} \left( \log_{10} \left( \frac{M_0}{\text{dina} \cdot \text{cm}} \right) - 16,1 \right)$$

Obsérvese que la *magnitud de momento sísmico* ( $M_w$ ) se obtiene a partir de una función logarítmica con argumento adimensional y por tanto, es una variable adimensional. En cambio, el *momento sísmico* ( $M_0$ ), al ser una variable que mide **energía** (**fuerza** x **desplazamiento**), tiene como unidad derivada la **N x m** o **dina x cm**. Más concretamente, el *momento sísmico* ( $M_0$ ) es una cantidad que combina el área de ruptura y la compensación de la **falla** con una medida de la resistencia de las rocas mediante la siguiente ecuación:

$$M_0 = \mu Au$$

donde:

$\mu$  es el **módulo de deformación** de las rocas involucradas en el terremoto. Usualmente es de **30 gigapascales**.<sup>2</sup>

A es el área de ruptura a lo largo de la falla geológica donde ocurrió el terremoto.  
u es el desplazamiento promedio de A.

---

## Comparación con la energía sísmica irradiada

---

La energía potencial es acumulada en el borde de la falla en la forma de tensión. Durante un terremoto la energía almacenada se transforma y resulta en:

- Ruptura y deformación de las rocas
- Calor
- Energía sísmica irradiada  $E_s$

El momento sísmico  $M_0$  es una medida de la cantidad total de energía que se transforma durante el terremoto. Solo una pequeña fracción del momento sísmico  $M_0$  es convertida en Energía Sísmica Irradiada  $E_s$ , que es la que los sismógrafos registran. Usando la relación estimada:

$$E_s = M_0 \cdot 10^{-4.8} = M_0 \cdot 1.6 \times 10^{-5}$$

Choy y Boatwright definieron en 1995 la *magnitud de energía*

$$M_e = \frac{2}{3} \log_{10}(E_s) - 2.9$$

---

## Comparación con explosiones nucleares

---

La energía liberada por [armas nucleares](#) es tradicionalmente expresada en términos de la energía almacenada en un [kilotón](#) o [megatón](#) del explosivo convencional [trinitrotolueno](#) (TNT).

Muchos académicos aseveran que una explosión de 1kt TNT es más o menos equivalente a un terremoto de magnitud 4 (regla de uso común en sismología). Esto lleva a la siguiente ecuación:

$$M_n = \frac{2}{3} \log_{10} \frac{m_{\text{TNT}}}{\text{Mt}} + 6.$$

Donde  $m_{\text{TNT}}$  es la masa del explosivo de TNT que es citado para fines comparativos.

Tal comparación no es muy significativa. En los terremotos, al igual que las explosiones de armas nucleares subterráneas, solo una pequeña fracción de la cantidad total de energía transformada termina siendo radiada como energía sísmica. Luego, una eficiencia sísmica debe ser elegida para una bomba que es citada como comparación. Usando la [energía específica](#) del TNT (4.184 MJ/kg), la fórmula indicada anteriormente implica el asumir el hecho de que alrededor del 0,5% de la energía de la bomba es convertida en energía sísmica

irradiada  $E_s$ . Para verdaderas pruebas nucleares subterráneas, la actual eficiencia sísmica obtenida varía significativamente y depende de los parámetros de diseño y el lugar de la prueba llevada a cabo.

---

## • Escala sismológica de Mercalli

---

La **escala sismológica de Mercalli** es una escala de doce grados desarrollada para evaluar la intensidad de los **terremotos** a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras. Así, la intensidad de un terremoto no está totalmente determinada por su magnitud, sino que se basa en sus consecuencias, empíricamente observadas. Debe su nombre al físico italiano **Giuseppe Mercalli**

## Historia

La escala de Mercalli se basó en la simple escala de diez grados formulada por **Michele Stefano Conte de Rossi** y **François-Alphonse Forel**. La **escala de Rossi-Forel** era una de las primeras escalas sísmicas para medir la intensidad de eventos sísmicos. Fue revisada por el vulcanólogo italiano Giuseppe Mercalli en 1884 y 1906.

En 1902, el físico italiano **Adolfo Cancani** amplió la escala de Mercalli de diez a doce grados. Más tarde la escala fue completamente reformulada por el geofísico alemán **August Heinrich Sieberg** y se conocía como la **escala de Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS)**. La escala de Mercalli-Cancani-Sieberg fue posteriormente modificada por **Harry O. Wood** y **Frank Neumann** en 1931 como la **escala de Mercalli-Wood-Neumann (MWN)**. Finalmente fue mejorada por **Charles Richter**, también conocido como el autor de otra escala sismológica, la **escala de Richter**, que mide la magnitud de la energía liberada durante un sismo.

En la actualidad, la escala se conoce como la **escala de Mercalli modificada (MM)**.

## Escala de Mercalli modificada

Los niveles bajos de la escala están asociados por la forma en que las personas sienten el temblor, mientras que los grados más altos se relacionan con el daño estructural observado. La tabla siguiente es una guía aproximada de los grados de la escala de Mercalli modificada.<sup>12</sup>

Grado	Descripción <sup>3 4</sup>
I - <i>Muy débil.</i>	Imperceptible para la mayoría excepto en condiciones favorables. Aceleración menor a 0,5 Gal. <sup>3 4</sup>
II - <i>Débil.</i>	Perceptible solo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios. Los objetos colgantes suelen oscilar. Aceleración entre 0,5 y 2,5 Gal. <sup>3 4</sup>
III - <i>Leve.</i>	Perceptible por algunas personas dentro de los edificios, especialmente en pisos altos. Muchos no lo perciben como un terremoto. Los automóviles detenidos se mueven ligeramente. Sensación semejante al paso de un camión pequeño. Aceleración entre 2,5 y 6,0 Gal. <sup>3 4</sup>
IV - <i>Moderado.</i>	Perceptible por la mayoría de personas dentro de los edificios, por pocas personas en el exterior durante el día. Durante la noche algunas personas pueden despertarse. Perturbación en cerámica, puertas y ventanas. Las paredes suelen hacer ruido. Los automóviles detenidos se mueven con más energía. Sensación semejante al paso de un camión grande. Aceleración entre 6,0 y 10 Gal. <sup>3 4</sup>
V - <i>Poco fuerte.</i>	Sacudida sentida casi por todo el país o zona y algunas piezas de vajilla o cristales de ventanas se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos

	inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen los relojes de péndulo. Aceleración entre 10 y 20 Gal. <sup>3 4</sup>
VI - <i>Fuerte.</i>	Sacudida sentida por todo el país o zona. Algunos muebles pesados cambian de sitio y provoca daños leves, en especial en viviendas de material ligero. Aceleración entre 20 y 35 Gal. <sup>3 4</sup>
VII - <i>Muy fuerte.</i>	Ponerse de pie es difícil. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables en estructuras pobremente construidas. <b>Mampostería</b> dañada. Perceptible por personas en vehículos en movimiento. Aceleración entre 35 y 60 Gal. <sup>3 4</sup>
VIII - <i>Destruyivo.</i>	Daños leves en estructuras especializadas. Daños considerables en estructuras ordinarias bien construidas, posibles derrumbes. Daño severo en estructuras pobremente construidas. <b>Mampostería</b> seriamente dañada o destruida. Muebles completamente sacados de lugar. Aceleración entre 60 y 100 Gal. <sup>3 4</sup>
IX - <i>Muy destruyivo.</i>	Pánico generalizado. Daños considerables en estructuras especializadas, paredes fuera de plomo. Grandes daños en importantes edificios, con derrumbes parciales. Edificios desplazados fuera de las bases. Aceleración entre 100 y 250 Gal. <sup>3 4</sup>
X - <i>Desastroso.</i>	Algunas estructuras de madera bien construidas quedan destruidas. La mayoría de las estructuras de <b>mampostería</b> y el marco destruido con sus bases. Vías ferroviarias dobladas. Aceleración entre 250 y 500 Gal. <sup>3 4</sup>
XI - <i>Muy desastroso.</i>	Pocas estructuras de <b>mampostería</b> , si las hubiera, permanecen en pie. Puentes destruidos. Vías ferroviarias curvadas en gran medida. Aceleración mayor a 500 Gal. <sup>3 4</sup>
XII - <i>Catastrófico.</i>	Destrucción total con pocos <b>supervivientes</b> . Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados. Imposibilidad de mantenerse en pie.