

## Sismos y el Interior de la Tierra

### Teoría de Restauración Elástica

Las rocas son elásticas, y en la medida que son comprimidas, se deforman elásticamente. Cuando se supera el límite elástico, o bien cuando la presión es tanta como para producir un desplazamiento de uno de los sectores rocosos, se produce el sismo, con lo cual se libera la energía potencial absorbida por la roca en la forma de deformación.

### Registro Sísmico

A principios de la última década del siglo XIX se desarrolló el sismógrafo. Éste consiste, básicamente en una masa de buen tamaño que está sujeta a su posición en forma tal que ante un movimiento de la estructura soportante, la masa tienda a permanecer en el mismo lugar, con lo cual se genera un movimiento entre la masa y su soporte que es igual al movimiento generado por las ondas sísmicas. Este movimiento es grabado de diferentes formas, de tal modo que queda un registro del movimiento.

En estricto rigor para poder medir la totalidad de un sismo es necesario medir los movimientos en los tres ejes coordenados, dos horizontales y uno vertical.

Para tener certeza que se está midiendo efectivamente el movimiento real del sismo es imprescindible que el sismógrafo esté sólidamente unido a la roca madre. De lo contrario las características del suelo amplificarían o modificarían el registro.

### Sismos

La posición de un sismo normalmente se expresa indicando el epicentro, que es el lugar en el cual la vertical que pasa por el hipocentro (lugar en el cual se produce la rotura, y por lo tanto el sismo) es cortada por la superficie de la tierra. En otros términos el epicentro es un punto situado en la superficie de la corteza terrestre que se sitúa exactamente sobre el lugar en el que se produjo el sismo, que se encuentra en el interior de la Tierra (incluso más abajo que la corteza).

La profundidad a la cual se produce un sismo, o lo que es lo mismo, la distancia entre el epicentro y el hipocentro se denomina profundidad focal. Con respecto a la profundidad focal se distinguen tres tipos de sismos:

Superficiales: Profundidad focal menor a 70 Km.  
Intermedios: Profundidad focal entre 70 y 300 Km.  
Profundos: Profundidad focal mayor a 300 Km.

En general los sismos que ocurren en los límites de placas divergentes o transformantes son superficiales, en tanto que en los márgenes convergentes los sismos suelen ser intermedios o profundos.

Muy pocos sismos ocurren en los centros de las placas. Estos podrían deberse a esfuerzos deformantes transmitidos desde los bordes de las placas, y que eventualmente activan antiguas fallas, aparentemente soldadas.

En la Tierra, anualmente se producen alrededor de un millón de sismos, de los cuales sólo un 15% son lo suficientemente fuertes como para poder ser percibidos por las personas.

Básicamente los sismos generan tres tipos de ondas: "P" de primarias, "S" de secundarias y "L" de carácter superficial.

Las ondas P son longitudinales, y parecidas a las ondas sonoras, y se propagan con mucho mayor velocidad que las ondas S. Se propagan en sólidos, líquidos y gases.

Las ondas S son ondas transversales, esto es que la dirección del movimiento de las partículas es ortogonal a la dirección de propagación. Debido a ello sólo se propagan en materiales sólidos.

Las ondas L sólo viajan por la superficie de la tierra

La velocidad de las ondas depende de la elasticidad de las rocas más que de la densidad. En promedio, la velocidad de las ondas P es casi el doble de las ondas S.

Las velocidades promedio de las ondas P y S son las que se muestran:

Velocidad promedio de la Onda P	11,350 m/s =	41,000 km/h
Velocidad promedio de las Onda S	6,250 m/s =	22,500 Km/h

Para determinar la distancia entre el sismógrafo y el epicentro es fácil deducir la siguiente expresión:

$$Dis\ tan\ cia\ Epicentral = \frac{(T_S - T_P) \cdot V_P \cdot V_S}{V_P - V_S}$$

Donde:  $\Delta T = T_S - T_P$  es el tiempo entre la llegada de las ondas P y las ondas S;  $V_P$  es la velocidad de las ondas P; y  $V_S$  es la velocidad de las ondas S.

Si se cuenta con tres distancias epicentrales, desde tres puntos de medición, es posible determinar el lugar del epicentro, que corresponde al punto en el cual se intersectan los círculos de radio igual a la distancia epicentral medida desde cada estación.

### Intensidad y Magnitud

La intensidad, en estricto rigor, debería corresponder a la densidad de energía (Erg/cm<sup>2</sup> de superficie de suelo, sin embargo ello no es simple de medir.

En subsidio de esta medición, se determina una aproximación de la intensidad sobre la base de la Escala de Mercalli. Esta escala, en vez de la energía/unidad de área aportada por el sismo, pretende medir los efectos de un sismo sobre las construcciones y geografía. Naturalmente influirán entonces otros factores, como por ejemplo la naturaleza del suelo. La escala de Mercalli tiene doce niveles de intensidad, que se expresan en números romanos, como forma de establecer que no hay intensidades intermedias entre V y VI, por ejemplo.

La Escala de Mercalli modificada es la que actualmente se emplea. Es evidente que la intensidad será diferente en diferentes lugares, y en general cuanto más lejos se encuentre un punto del epicentro, menor será la intensidad. Esto se modifica por las características del terreno, por lo cual los puntos con igual intensidad no generan círculos concéntricos en torno al epicentro.

La magnitud de un sismo es una medida de la cantidad de energía que se liberó en el sismo. La escala es logarítmica de base 10, y se mide la amplitud de la onda mayor del sismo. Así, un sismo cuya amplitud es 10 veces mayor que la de otro sismo cualquiera, tiene una magnitud mayor en 1.0. Con respecto a la energía, La escala resulta logarítmica de base 31.6, esto significa que la diferencia de energía entre un sismo de magnitud X y uno de magnitud X -1 es 31.6 veces. Consecuente con ello, la diferencia de energía entre dos grados, es  $31.6 \cdot 31.6 = 1000$  veces. Entre cuatro grados es 1.000.000 de veces y entre ocho grados es de  $1.000.000.000.000 = 10^{12}$  veces.<sup>1</sup>

### Predicción de Terremotos

Hasta el momento no existe ninguna tecnología confiable para la predicción de grandes sismos. Sin embargo se ha podido determinar la existencia de diversos posibles indicadores de la cercanía de un evento de importancia, entre ellas: Cambios en la inclinación del suelo (muy pequeños), fluctuaciones en el nivel de agua de los pozos, cambios en el campo magnético y la resistencia eléctrica del suelo, y cambios en la conducta de diversos animales, entre otros. Posiblemente de la confluencia de varios de ellos o del descubrimiento de algún otro indicador más confiable, es posible que en algún futuro sea posible la predicción certera y científica de los sismos de gran energía.

### Exploración del interior de la Tierra

La densidad media de la Tierra es de 5.52 gr/cm<sup>3</sup>, lo que significa que dado que las rocas de la corteza terrestre tienen una densidad media de 2.5 a 3.0 gr/cm<sup>3</sup> el interior de la Tierra es mucho más denso que las rocas que conocemos.

<sup>1</sup> Esto invalida la popular creencia acerca de que es bueno que tiemble porque así se libera la energía y disminuyen las posibilidades de un terremoto. Como se puede apreciar, por ejemplo se requerirían 33.000 sismos de magnitud 5 para que se liberara la energía de un sismo grado 8. Si la queremos liberar más suavemente, por ejemplo con sismos grado 4, necesitaríamos 1.000.000 de sismos para ello. En otras palabras, un sismo grado cuatro disipa una millonésima parte de la energía de un sismo grado 8.

La velocidad de las ondas sísmicas aumenta con la profundidad. En general la velocidad disminuye con el aumento de densidad, pero aumenta con el incremento de elasticidad. Si bien ambos parámetros se incrementan a medida que aumenta la profundidad, el efecto de la elasticidad supera el efecto contrario del efecto de la densidad, con lo cual la velocidad de las ondas sísmicas aumenta con la profundidad. Por otra parte, existen bruscas discontinuidades en la velocidad, una de ellas es la discontinuidad de Mohorovic, que separa la corteza del manto. Debajo de los continentes en promedio tiene unos 35 Km; sin embargo puede alcanzar hasta 90 Km. Como máximo y 20 como mínimo. Bajo el suelo marino fluctúa entre 5 y 10 Km,

Más abajo, entre los 100 Km. y los 250 Km. Se extiende una capa de baja velocidad, que corresponde a la astenósfera, una zona en que las rocas están cerca del punto de fusión, y por ello son menos elásticas. Esta capa fluye plásticamente y probablemente es la zona en la que se mueve la rígida litosfera externa.

Al llegar al límite del manto con el núcleo, (a una profundidad de 2.900 Km.) las ondas S simplemente desaparecen, lo que es indicativo de la calidad líquida de esta parte del núcleo, en tanto que las ondas P sufren una brusca disminución desde cerca de 14 Km/s hasta 8 Km/s, y luego continúan aumentando su velocidad. En torno a los 5.100 Km. de profundidad se produce otra discontinuidad en la velocidad, esta vez con un aumento de la velocidad aproximadamente de 10Km/s a 11 Km/s, velocidad que se mantiene relativamente estable hasta el centro de la Tierra. El núcleo interno es sólido, o a lo menos tiene, desde el punto de vista de la propagación de las ondas, características de sólido. Probablemente ello sea un resultado de la altísima presión existente (que en el centro de la Tierra llega hasta 3,57 veces la presión atmosférica)

Probablemente, en los inicios de la historia de la Tierra, el núcleo estaba completamente fundido, y desde entonces se ha enfriado hasta el grado de la cristalización del núcleo, el que sigue creciendo mientras la Tierra continúa su lento enfriamiento.

El núcleo no es simplemente una esfera, tiene relieve, con valles y elevaciones.

### **Temperatura**

La temperatura en la corteza aumenta a un ritmo inicial de unos 25°C/Km. Este gradiente térmico más profundo es menor, y la temperatura en la base de la corteza debe fluctuar entre 8000°C y 1200°C. A una profundidad de 100 a 300 Km. la temperatura se estabiliza en torno a 1.200°C, y continúa aumentando hacia el interior a razón a aproximadamente 1°C/Km; en el límite entre el manto y el núcleo la temperatura es del orden de 3.500°C a 5.000°C y la temperatura en el centro del núcleo se estima que puede alcanzar a unos 6.500 °C, temperatura comparable con la de la superficie del Sol.