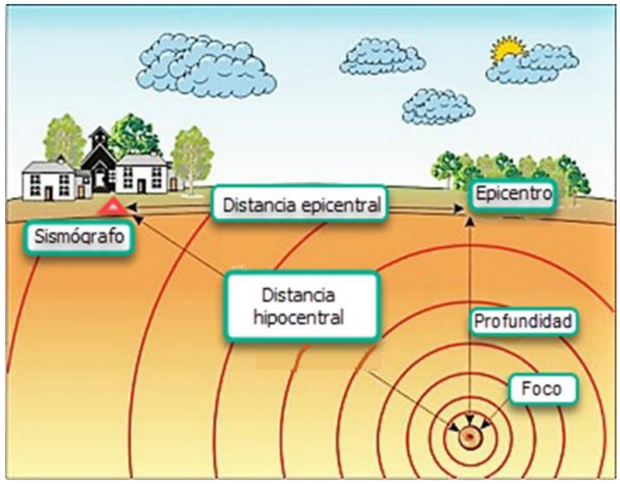
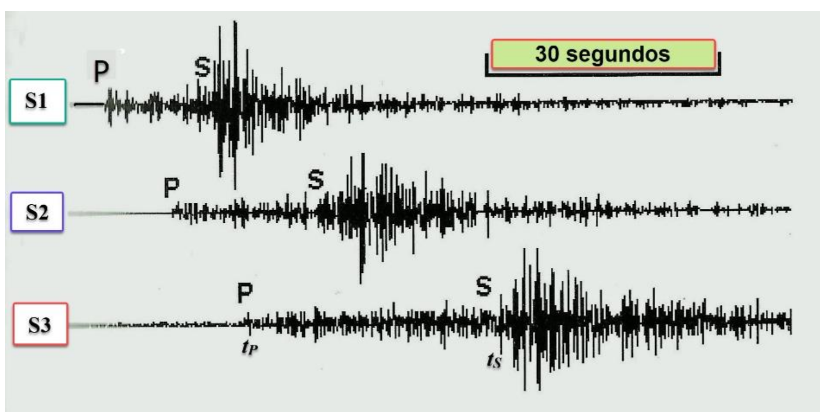
Localización del epicentro de un sismo

Vamos a explicar un método para encontrar la localización del epicentro de un terremoto. Para esto se necesita una red sísmica con sismógrafos como sensores.



Las señales se deben transmitir a tiempo real mediante cable, en forma inalámbrica por radio o internet a una estación central en donde se registran. Es muy importante que la medición de los tiempos de todos los instrumentos sea muy precisa.

Para usar un procedimiento que se conoce como el ***método del círculo*** se necesitan al menos tres sismógrafos separados entre sí por varios kilómetros. En cada registro como los que se muestran en la figura se necesita determinar el tiempo en que llegan las ondas P (las más rápidas y con menor energía) y S (más lentas, pero con mayor energía).



Supongamos que el tiempo en que llega la onda P a la estación S1 es t_P. Usando la fórmula de velocidad constante podemos escribir que:

$$V_P = \frac{\Delta x_1}{t_P} \tag{1}$$

donde Δx_1 es la distancia hipocentral (distancia directa del foco al sismógrafo). En teoría, de aquí podríamos calcular la distancia Δx_1 como:

$$\Delta x_1 = V_P\ t_P \tag{2}$$

El problema con esta ecuación es que el tiempo t_P no es absoluto sino relativo. Esto se debe a que los sismómetros están siempre midiendo y en consecuencia t_P no se mide a partir de un tiempo cero.

Por lo tanto, necesitamos usar otro tiempo más: el tiempo t_S en que llegan las ondas S a la estación. Usando las dos ecuaciones anteriores, pero para las ondas S tenemos que:

$$V_S = \frac{\Delta x_1}{t_S} \quad \Rightarrow \quad \Delta x_1 = V_S\ t_S \tag{3}$$

Esta segunda fórmula tiene el mismo problema que la (2). El tiempo t_S no es absoluto (no se mide a partir de un $t = 0$). Vamos a combinar las ecuaciones (2) y (3) para resolver este problema.

Para esto debemos conocer la relación entre las velocidades de las ondas S y P. Cuando se estudia la propagación de ondas en un medio homogéneo se encuentra que la relación entre ambas es:

$$V_S = \sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}}V_P = \alpha\, V_P \tag{4}$$

donde ν es la razón de Poisson del medio por el cual se propagan las ondas.

La distancia a la fuente Δx_1 calculada usando la velocidad de las ondas S es:

$$\Delta x_1 = \alpha\, V_P\ t_S \tag{5}$$

La diferencia entre el tiempo en que llegan las S y P ondas al sensor, $t_S - t_P$, se puede obtener del sismograma. De las ecuaciones (3) y (5) se puede escribir:

$$t_S - t_P = \frac{\Delta x_1}{\alpha\, V_P} - \frac{\Delta x_1}{V_P} = \frac{\Delta x_1}{V_P}\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)$$
$$t_S - t_P = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)\frac{\Delta x_1}{V_P} \tag{6}$$

De aquí podemos calcular la distancia hipocentral como:

$$\Delta x_1 = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)V_P\left(t_S - t_P\right)_1 \tag{7}$$

Vamos a asignar valores a las constantes en esta ecuación.

- Como la estación donde está el sismógrafo se supone que esté sobre roca, se puede estimar la velocidad con la cual viajan las ondas P desde la falla al sismógrafo. Por ejemplo, un valor típico para la velocidad V_P de las ondas P es 7.3 km/seg (23,950 ft/s).

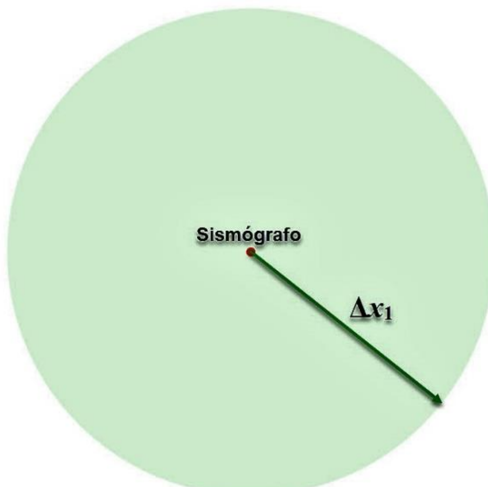
- Para el granito la razón de Poisson ν varía de 0.2 a 0.3 pero se puede tomar igual a 0.25 como un valor promedio. En este caso el valor de la constante α es:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}} = \sqrt{\frac{1-2\times 0.25}{2(1-0.25)}} = 0.577 \tag{8}$$

Y la ecuación (7) queda como:

$$\Delta x_1 = \left(\frac{0.577}{1-0.577}\right) 7.3 (t_S - t_P)_1 = 9.972\,(t_S - t_P)_1 \tag{9}$$

Parecería que hemos resuelto el problema, pero no es así: si bien esta es la distancia a la estación S1, no conocemos *en qué dirección medirla*. En realidad, Δx_1 solo se puede considerar como el *radio de un círculo que tiene un centro en donde está el sismógrafo*:



¿Y qué hacemos ahora? Usamos más estaciones: necesitamos al menos dos más y repetimos el proceso anterior.

Vamos a obtener ahora otras dos distancias hipocentrales Δx_2 y Δx_3, o en otras palabras los radios de otros dos círculos. Los centros de los círculos son, por supuesto, distintos porque coinciden con la posición de las estaciones sísmicas:

$$\Delta x_2 = 9.972\,(t_S - t_P)_2 \tag{10}$$

$$\Delta x_3 = 9.972\,(t_S - t_P)_3 \tag{11}$$

Ahora dibujamos los tres círculos con radios sobre un mapa:

El epicentro del sismo debe estar en algún punto en la intersección de los tres círculos dentro de la zona naranja en la siguiente figura. Si queremos aumentar la precisión de la localización, debemos usar más estaciones.