

# Terremotos y Sismología

## Un terremoto a lo largo de una Falla

- plano de falla: zona de contacto entre dos bloques (o placas). El terremoto ocurre a lo largo del plano
- falla: expresión en superficie del plano de falla
- bloque colgante (hanging wall): bloque sobre plano de falla
- bloque yacente (foot wall): bloque bajo plano de falla
- hipocentro: el punto donde se inicia el terremoto
- epicentro: posición en superficie del hipocentro
- profundidad de fuente: profundidad del hipocentro
- tiempo de la fuente: tiempo de la ruptura inicial de un terremoto
- momento sísmico: cantidad de energía liberada durante un terremoto (medida en Nm)

## Parametros de la geometría de falla y tipo de terremoto

- rumbo (strike): dirección de la falla con respecto al N (sentido de las manecillas); el bloque colgante tiene que estar a mano derecha mirando en el sentido del rumbo para evitar ambigüedad (de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ )
- buzamiento (dip) ángulo de inclinación de una falla (medida de la horizontal); entre 0 y 90 grados
- ángulo de deslizamiento (rake): movimiento del bloque colgante relativo al rumbo; el tamaño del vector de la cantidad de desplazamiento, el ángulo su dirección. A veces se use *slip* en vez de *rake* pero es incorrecto.
- el ángulo de deslizamiento ayuda a clasificar el tipo de terremoto
  - lateral-izquierdo: rake cerca de  $0^\circ$
  - lateral derecho: rake cerca de  $180^\circ$
  - normal: rake cerca de  $-90^\circ$  ( o  $270^\circ$ )
  - inversa/de cabalgamiento: rake cerca de  $90^\circ$

Terremotos muy grandes pueden tener desplazamientos horizontales de metros. Por ejemplo el de Sumatra, Diciembre 26, 2004 tuvo desplazamientos de hasta 10 metros. Terremotos M8 pueden tener desplazamientos de hasta 5 metros

**P:** Como se si un terremoto es lateral-izquierdo o lateral-derecho?

**R:** Si uno se para en un bloque, de frente al otro bloque, la dirección a la el otro bloque se mueve, dice si es lateral-derecho o izquierdo

## **Analogía entre limite de placas y mecanismos de terremotos**

### 1. divergente

- régimen extensional de esfuerzos
- fallas normales
- bloque colgante (de arriba) se desliza hacia abajo, sobre el otro bloque
- puede provocar un tsunami en el oceano
- típicamente eventos pequeños
- generalmente eventos someros

### 2. convergente

- regimen compresional de esfuerzos
- eventos de falla inversa
- fallas de cabalgamiento, si el ángulo de buzamiento es menor a 45 grados
- bloque colgante se desliza hacia arriba sobre el bloque yacente
- capaz de generar un tsunami en el oceano
- eventos de todas las magnitudes; los terremotos mas grandes se presentan típicamente en zonas de subducción (ej. Chile 1960; Sumatra 2004)
- eventos a todas las profundidades (¡ 670km)
- en zonas de colisiones cont-cont, la zona Wadati-Benioff puede no estar sismicamente activa

### **Tipos de eventos peligrosos**

- eventos de cabalgamiento someros: bajo ángulo de buzamiento; puede producir grandes aceleraciones cerca de la punta del bloque colgante; las aceleraciones muchas veces se miden en términos de la aceleración de la gravedad terrestre ( $g$ )
- cabalgamientos ciegos: una falla de cabalgamiento cubierta por capas de sedimentos; la existencia de dichas fallas puede no ser conocida hasta que un terremoto sucede (ej. Northridge, 1994).

### 3. de Transformación

- regimen de esfuerzos puramente lateral
- eventos de rumbo
- lateral-derecha; el bloque de la derecha es el que se mueve hacia uno si se mira paralelo a la falla (ej. Falla de San Andres, la placa del Pacífico se mueve hacia el norte relativo a la placa de Norteamérica)
- lateral-izquierda; caso contrario
- solo presenta movimientos horizontales de bloques lado a lado
- no hay generación de tsunamis
- eventos de todos los tamaños; algunos de los terremotos más grandes (ej San Francisco 1906)
- típicamente eventos someros
- en zonas de colisión, geometría curva, regimen de esfuerzos complicados, puede generar terremotos de rumbo (ej Oceano Indico, Himalayas, Golfo de México)

## Esfuerzo, deformación y comportamiento Stick-Slip

- esfuerzos (stress): fuerzas (cizalla, tensión y compresión) actúan sobre los bloques a lo largo de la falla
- deformación (strain): bloques sufren deformación debido a esfuerzos que actúan; deformación a lo largo de una falla puede ser elástica hasta que un terremoto ocurre
- asperezas: protuberancias de la superficie de la falla incrementan la fricción de la falla; bloques están *anclados* entre sí hasta que la deformación es tan alta que los bloques se rompen libremente y un terremoto ocurre
- caída del esfuerzo: durante el terremoto los esfuerzos se liberan y se presenta una caída de éstos
- comportamiento stick-slip: acumulación repetida de deformación debido a incremento de esfuerzos entre terremotos, después se presenta la caída del esfuerzo durante el terremoto; los bloques primero se *pegan* (stick), y después se desplazan (slip). Explica la repetida ocurrencia de terremotos en una falla; si este modelo fuera correcto, un terremoto a lo largo de ciertas fallas tendría intervalos de ocurrencia, lo cual ayudaría a predecir el siguiente terremoto

## Escalas de Intensidad y Magnitud

- Escala de Intensidad de Mercalli
  - escala más antigua (introducida en 1902); modificada por Richter en 1956
  - usada para reconstruir los mapas de movimiento o sacudida de terremotos históricos
  - medida de daños / intensidad de la sacudida
  - no da información sobre el tamaño actual del terremoto
  - sacudida/daños dependen del tamaño y la distancia del terremoto, pero también de la geología local y tipo de construcción
  - dependiendo de los reportes de daños, el epicentro puede ser determinado aproximadamente
  - Intensidad de Mercalli varía entre I (no se siente), hasta XII (daños casi totales) donde las aceleraciones del suelo llegan hasta 1g (acel. gravitacional) o más
- Richter Magnitude Scale
  - introducido por Richter en California (1935)
  - basado en instrumentos; menos subjetivo que la escala de Mercalli
  - mide sacudida actual en vez de los daños
  - estima el movimiento del suelo debido al terremoto a partir de la amplitud máxima de los registros sísmicos
  - funciona mejor para terremotos someros hasta distancias de 500 km entre estaciones y fuente
  - la escala es logarítmica (un incremento de 1 en magnitud, representa un aumento de 10 en el movimiento del suelo)
  - sigue siendo usado mucho, especialmente por las noticias
  - La magnitud de Richter depende de la geología regional
  - la escala se satura en caso de terremotos grandes y no tiene en cuenta el prolongado movimiento en estos casos
- Escala de Magnitud de Momento
  - escala más reciente, introducida por Kanamori
  - mide la energía liberada por los terremotos (en unidades de Nm)
  - momento sísmico  $M_0$  es igual a la resistencia de cizalla (shear strength) de los bloques, por el área de ruptura y por el desplazamiento promedio de la falla
  - la magnitud de momento es  $M_W = 2/3 \log_{10}(M_0) - 6$
  - en esta escala, los terremotos más grandes en los últimos 100 años han sido: Chile 1960 (9.5); 1964 Alaska (9.2) | 1957 Alaska (9.1) | 2004 Sumatra-Andaman (9.0)

## Diferentes tipos de ondas sísmicas

- Ondas P
  - ondas primarias; las primeras en llegar a la estación sísmica
  - ondas compresionales
  - uno de los tipos de ondas de cuerpo (body waves) que viaja a través de la Tierra desde el EQ hasta la estación
  - movimiento de las partículas en la dirección de la propagación
  - equivale a ondas de sonido
- Ondas S
  - ondas secundarios, segundas en llegar a la estación sísmica
  - ondas de cizalla (shear waves)
  - uno de los tipos de ondas de cuerpo (body waves) que viaja a través de la Tierra desde el EQ hasta la estación
  - movimiento de las partículas perpendicular a la dirección de la propagación de las ondas
  - equivale a las ondas en una cuerda o ondas de luz
- Ondas Love (superficiales)
  - uno de los tipos de ondas superficiales que viajan a lo largo de la superficie de la Tierra entre terremoto y estación
  - superposición de ondas de cizalla (ondas S) multiple-reflejadas
  - mas lentas que ondas S
  - movimiento de las partículas perpendicular a la dirección de propagación
  - movimiento de partículas disminuye exponencialmente con la profundidad
- Ondas Rayleigh (superficiales)
  - uno de los tipos de ondas superficiales que viajan a lo largo de la superficie de la Tierra entre terremoto y estación
  - superposición compleja de ondas de cuerpo (P y S) reflejadas multiples veces
  - típicamente más lentas que las ondas Love
  - movimiento de partículas elíptica retrograda (orbitas en el sentido contrario a la propagación)
  - movimiento de partículas disminuye exponencialmente con la profundidad
  - equivale a olas en el agua, excepto que en el agua son progradante
  - típicamente la fase mas larga con las amplitudes más grandes → movimiento del suelo más dañino