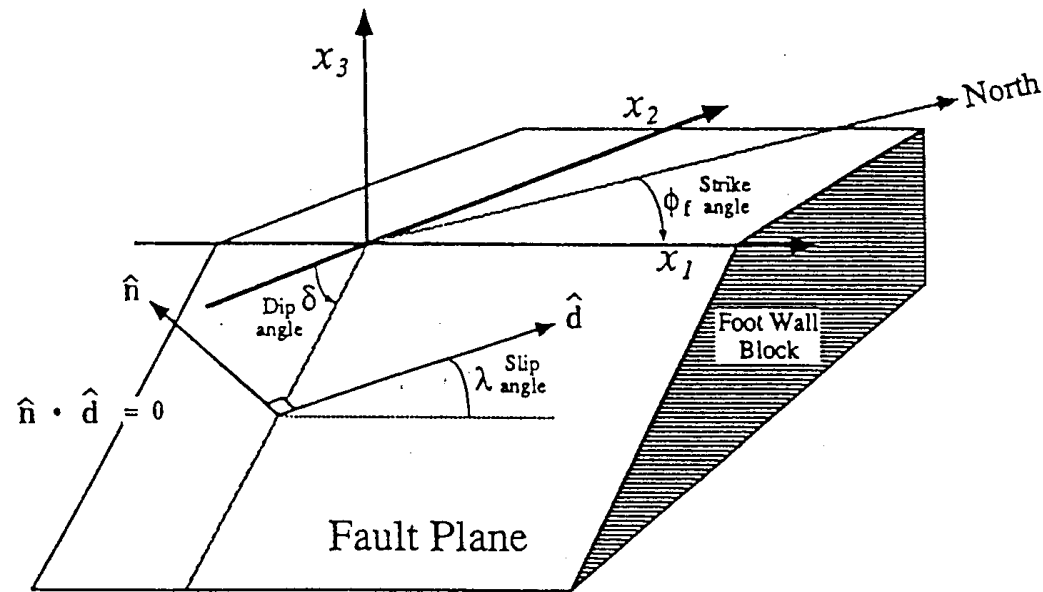


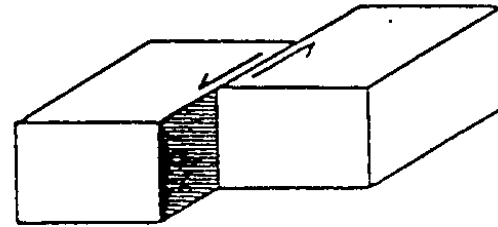
5.1 Fallas



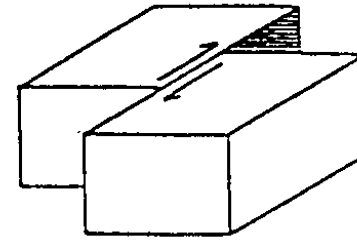
- \hat{n} - el vector normal al plano de la falla
- \hat{d} - el vector de deslizamiento
- ϕ_f - el rumbo (strike) de la falla que se mide en sentido horario desde el Norte ($0 - 360^\circ$)
- δ - el manteo/buzamiento (dip)
- λ - el ángulo de deslizamiento (rake), entre el eje x_1 y \hat{d} en el plano de la falla ($0 - 360^\circ$)



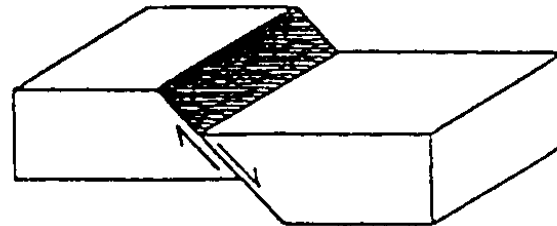
5.1 Fallas



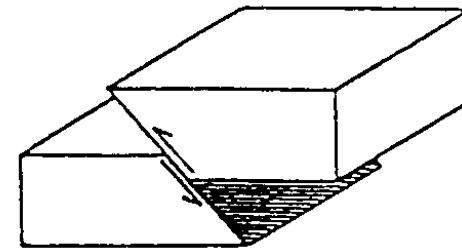
Left-lateral strike-slip fault



Right-lateral strike-slip fault



Normal dip-slip fault

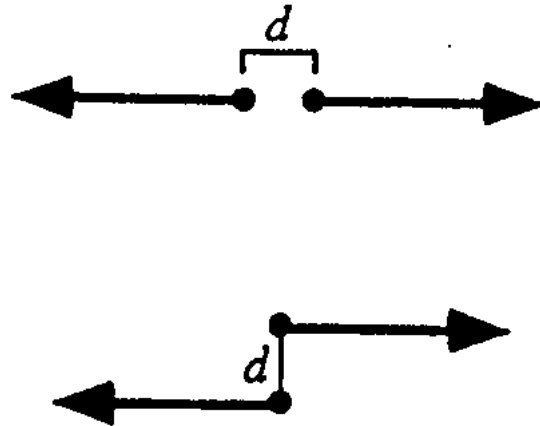


Reverse dip-slip fault

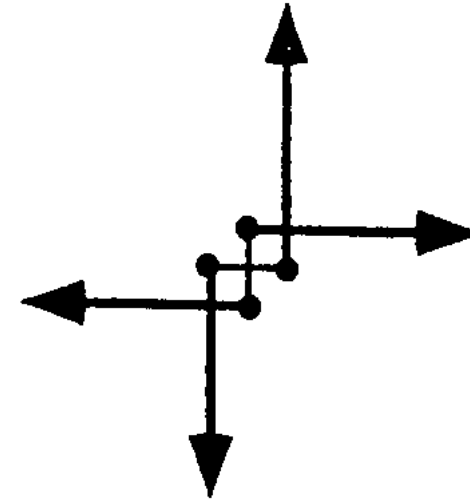
- Falla de desgarre (strike-slip). $\lambda = 0$: lateral-izquierda; $\lambda = 180$: lateral-derecha.
- Falla normal $\lambda = 270$.
- Falla inversa $\lambda = 90$.



5.2 El tensor de momento sísmico



Force Couples



Double Couple

- Fuentes sísmicas están representadas por un par de fuerzas.
- Por la conservación de momento angular, requerimos un par de fuerzas complementarias - una dobla cupla.



5.2 El tensor de momento sísmico

- Un par de fuerzas es anotado por M_{ij} , donde i representa la dirección en que apuntan las fuerzas, y j representa la dirección en que están separadas las fuerzas.
- Con esta anotación, podemos escribir el tensor de momento como

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

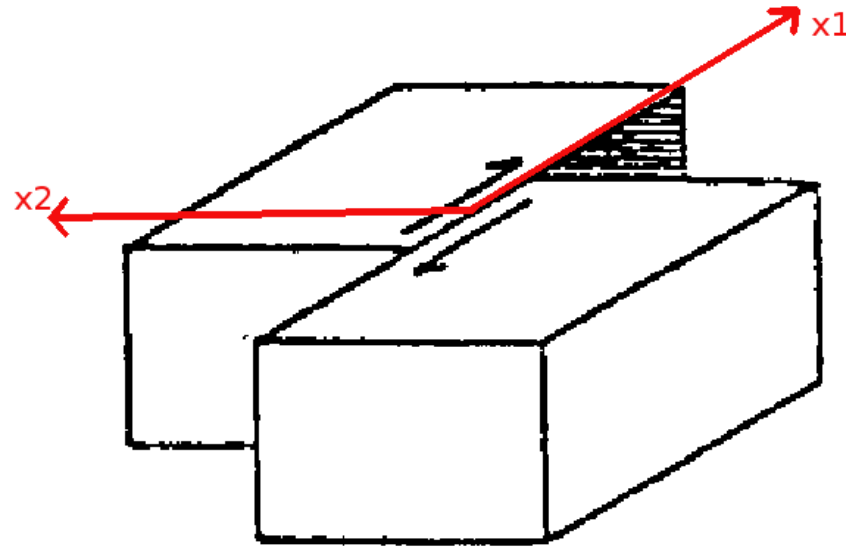
con $|M_{ij}| = fd|_{d \rightarrow 0}$

- M_{ij} representa las fuerzas que pueden actuar en un punto en el medio, los elementos del tensor representan torques de fuerza por distancia.
- Note que M_{ij} es simétrico por la conservación de momento angular.



5.2.1 Ejemplo: falla de desgarre

Falla de desgarre, lateral derecha:



• $M_{12} = M_0$ (lo que implica $M_{21} = M_0$).

•

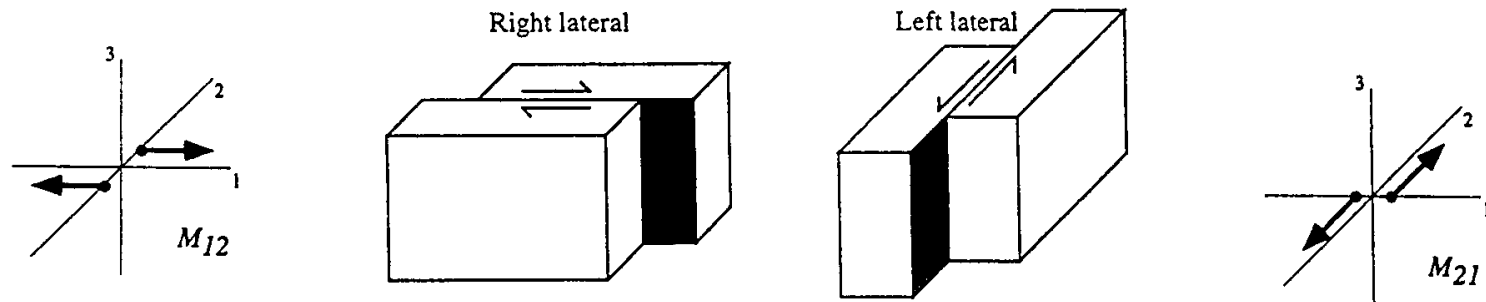
$$\therefore \mathbf{M} = \begin{pmatrix} 0 & M_0 & 0 \\ M_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (5.2)$$

• $M_0 = \mu D A$, el momento sísmico.



5.2.1 Ejemplo: falla de desgarre

- Note que dos diferentes tipos de fallas corresponden a la misma doble cupla.
- Entonces, las dos situaciones producen exactamente el mismo movimiento/oscilación del medio (en el campo lejano).



- Se nota que el mismo tensor de momento puede representar la falla lateral-derecha, o igualmente una falla lateral-izquierda con una diferente orientación.



5.2.1 Ejemplo: falla de desgarre

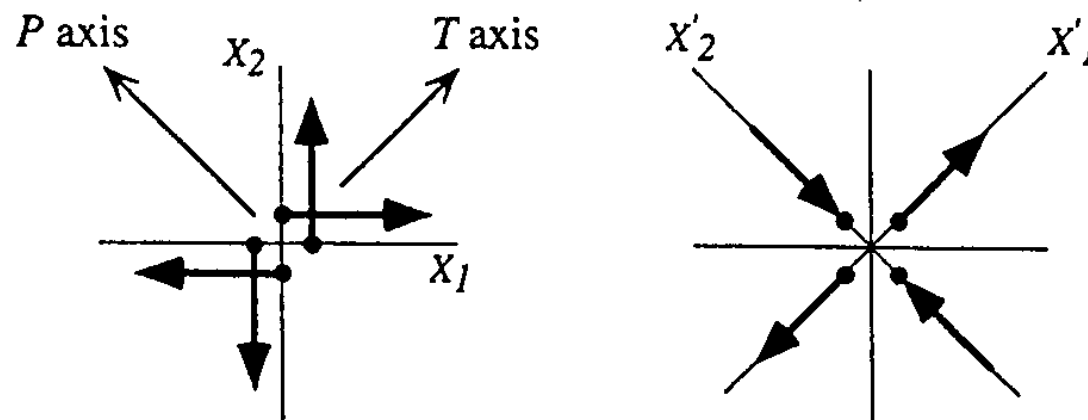
Podemos diagonalizar el tensor M .



$$M = \begin{pmatrix} M_0 & 0 & 0 \\ 0 & -M_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (5.4)$$

En este ejemplo, es una rotación del sistema de coordenadas por 45° en el plano horizontal.

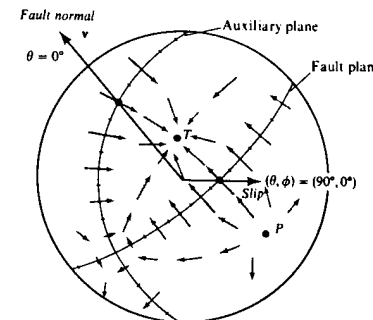
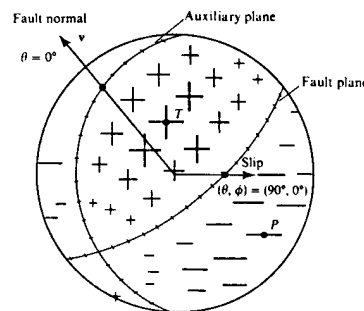
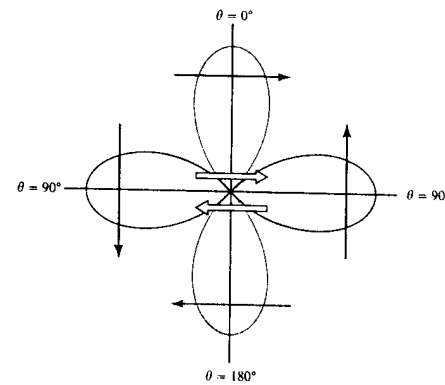
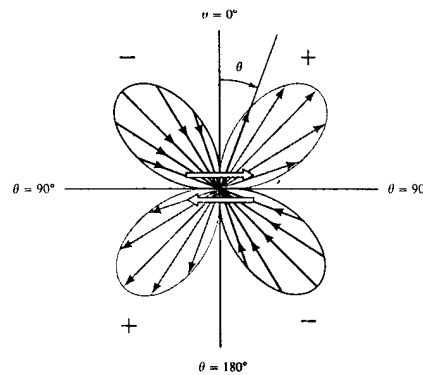
El sistema de coordenadas ahora estará alineados por las direcciones de compresión (P) y tensión (T) máximas.





5.2.2 Patrón de radiación

- El patrón de radiación de la energía sísmica, para la onda P, está alineado a lo largo de los ejes de compresión y tensión. El plano de la falla, y el plano auxiliar, son planos nodales.
- El patrón de radiación de las ondas S tiene su mayor amplitud en estos planos nodales.





5.2.3 Relación entre M y la falla

- El vector unitario normal al plano de la falla es $\hat{n} = (n_x, n_y, n_z)$.
- El vector unitario de deslizamiento es $\hat{d} = (d_x, d_y, d_z)$.
- Podemos escribir el tensor de momento como

$$M_{ij} = M_0(n_i d_j + n_j d_i) \quad (5.5)$$

o

$$M = M_0 \begin{pmatrix} 2n_x d_x & n_x d_y + n_y d_x & n_x d_z + n_z d_x \\ n_y d_x + n_x d_y & 2n_y d_y & n_y d_z + n_z d_y \\ n_z d_x + n_x d_z & n_z d_y + n_y d_z & 2n_z d_z \end{pmatrix} \quad (5.6)$$

- Note que el tensor de momento es simétrico.
- La traza del tensor es $\text{Tr}M_{ij} = 2M_0 n_i d_j \delta_{ij} = 2M_0 \hat{n} \cdot \hat{d} = 0$; el deslizamiento esta en el plano de la falla con vector normal \hat{n} .
- La traza representa un cambio en volumen del medio. Para terremotos, este esta cero; pero podría estar distinto de cero para otras fuentes (explosiones etc.).



5.2.3 Relación entre M y la falla

- Podemos escribir \hat{n} y \hat{d} en términos del rumbo (ϕ_f), manteo (δ) y ángulo de deslizamiento (λ):

$$\hat{n} = \begin{pmatrix} -\sin \delta \sin \phi_f \\ \sin \delta \cos \phi_f \\ -\cos \delta \end{pmatrix} \quad (5.7)$$

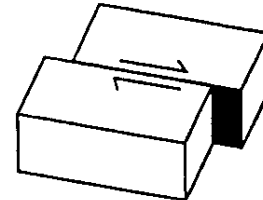
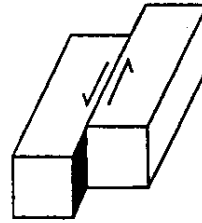
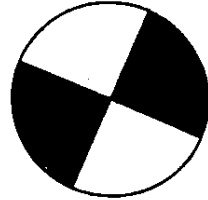
$$\hat{d} = \begin{pmatrix} \cos \lambda \cos \phi_f + \sin \lambda \cos \delta \sin \phi_f \\ \cos \lambda \sin \phi_f - \sin \lambda \cos \delta \cos \phi_f \\ -\sin \lambda \sin \delta \end{pmatrix} \quad (5.8)$$

- Las propiedades de la falla entonces determinan M .
- El tensor del momento, es decir el mecanismo de un terremoto, puede estar representado por un mecanismo focal.

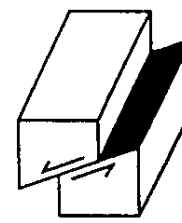
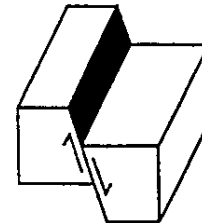
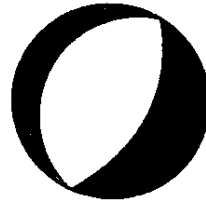


5.2.4 Mecanismos focales

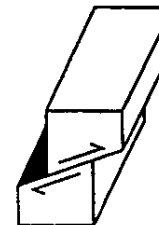
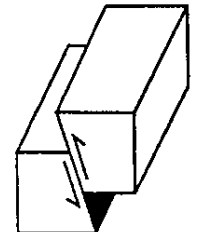
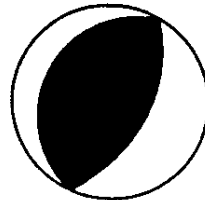
Strike Slip



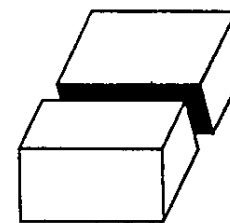
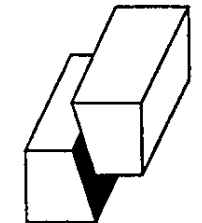
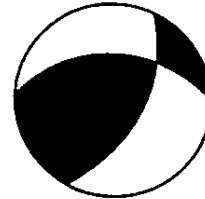
Normal



Thrust

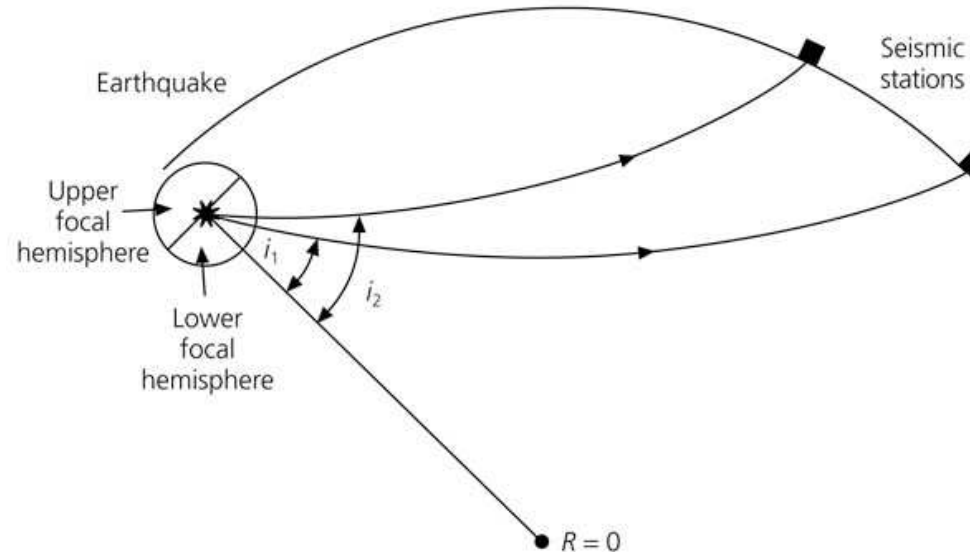


Oblique





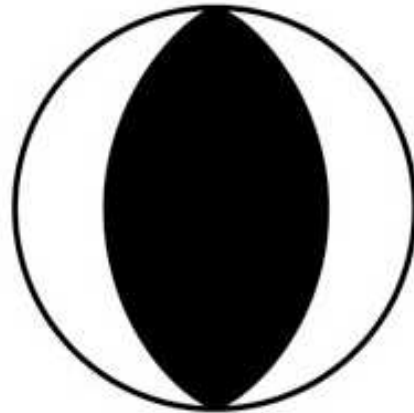
5.2.4 Mecanismos focales



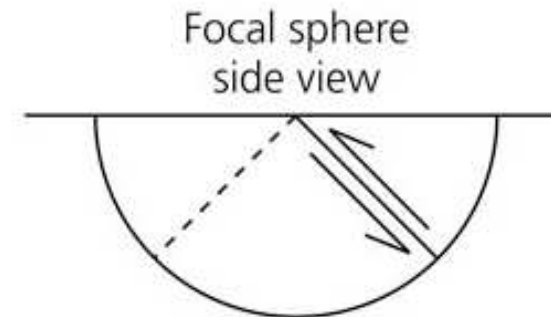
- La esfera focal es una esfera imaginaria que envuelve el hipocentro.
- Se puede dividir la esfera en cuadrantes compresionales y dilatacionales.
- Para terremotos “telesísmicos”, podemos relacionar los primeros movimientos de sismómetros al hemisferio inferior de esta esfera, tomando en cuenta el camino del rayo.
- (Note que para sismos locales el rayo sale del hemisferio superior).



5.2.4 Mecanismos focales



Thrust
fault



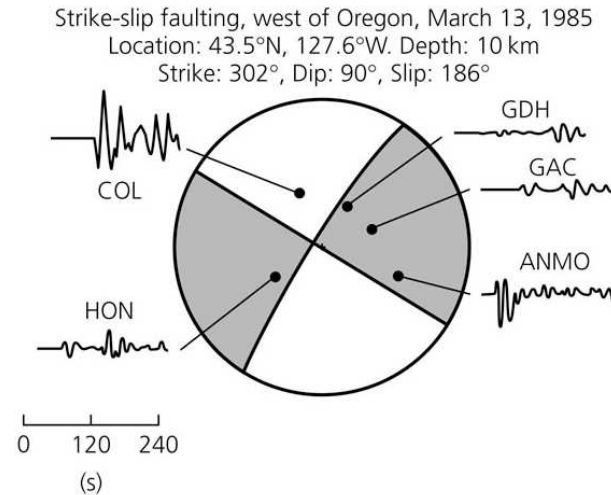
Focal sphere
side view

Para dibujar un mecanismo focal:

- Dibuja la falla, y una esfera alrededor del hipocentro.
- La esfera se corta por 2 planos perpendiculares (entonces en 4 secciones). Los planos están los nodos con desplazamiento vertical cero.
- Los sectores de dilatación (T) están en color. Los sectores de compresión (P) están blancas.
- La proyección del hemisferio inferior de la esfera es el mecanismo focal (en la vista de mapa).



5.2.4 Mecanismos focales

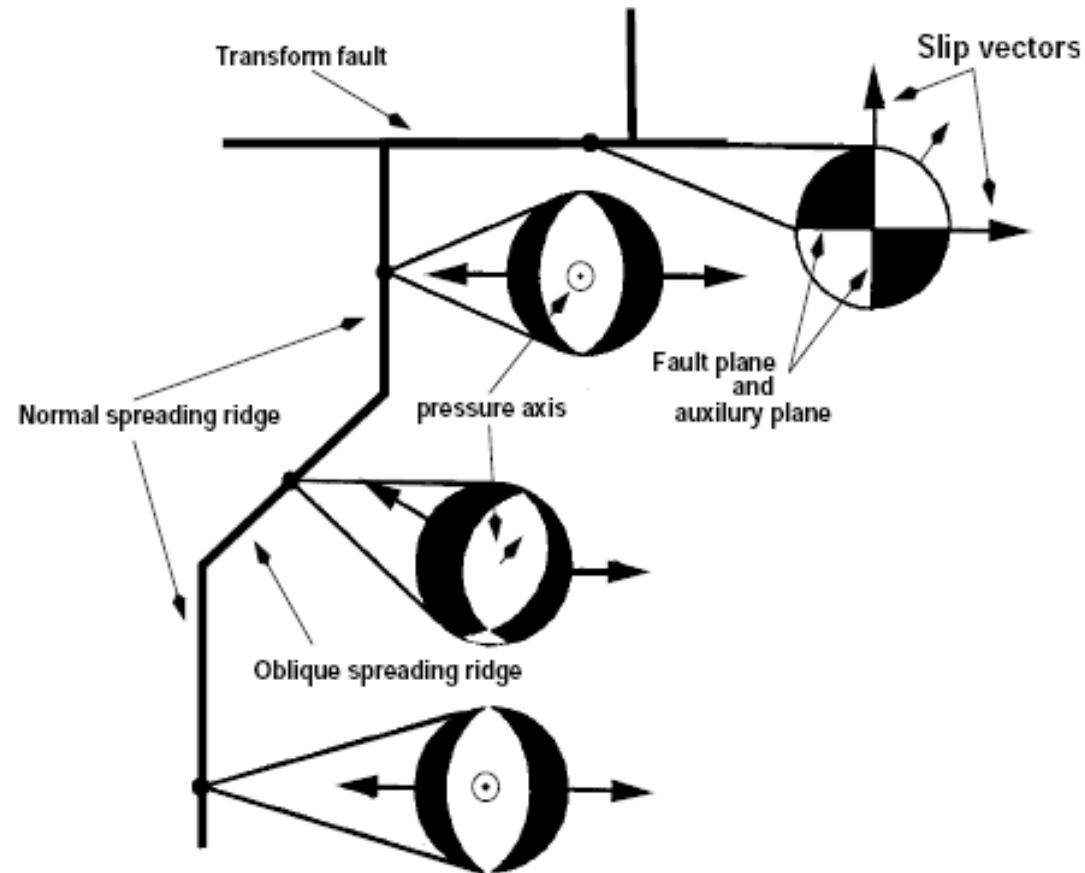


Inicialmente, las propiedades de la falla en que se origina un terremoto no están conocidos. Para obtener un mecanismo focal, y entonces las propiedades del terremoto, hay que usar datos sísmicos.

- Se puede usar la polarización de la onda P, registrada en estaciones a distancias telesísmicas. La polaridad de la onda P indica si el rayo sale de la esfera focal de un cuadrante dilatacional o compresional.
- Se puede encontrar 2 planos que separan los cuadrantes de la esfera focal. Uno será el plano de la falla, uno será el plano auxiliar.
- Para conocer cuál es el plano de la falla, es necesario obtener mas información (geología de la zona, etc.).



5.2.4 Mecanismos focales



Se puede apreciar los diferentes tipos de mecanismos asociados con la tectónica en dorsales oceánicas (la figura esta en vista de mapa). ¿Qué está pasando aquí?