

Mecanismo Focal

La solución de un mecanismo focal (SMF) es el resultado del análisis de las formas de ondas generadas por un terremoto y registradas por un número de sismómetros. Por lo general se toman al menos 10 registros para producir una SMF, pero sólo si las estaciones de los sismómetros están bien distribuidas geográficamente alrededor del epicentro. La caracterización completa de un mecanismo focal de un terremoto nos proporciona información importante, incluyendo el tiempo de origen, la ubicación del epicentro, la profundidad focal, el momento sísmico, y la magnitud y la orientación espacial de las 9 componentes del tensor de momento. Desde el tensor de momento, podemos resolver la orientación y sentido del manto (dip) de la falla.

Tal como el tensor de tensión y de deformación, el tensor de momento puede ser descrito en términos de 3 ejes ortogonales: **P** (para el eje de compresión), **T** (para el de tensión) y **N** (para el eje nulo). La orientación y magnitud de estos ejes, para un terremoto dado se resuelve utilizando datos registrados por una gran cantidad de sismómetros que están distribuidos alrededor del epicentro. La orientación de los ejes del tensor de momento es de gran interés debido a que el plano de falla en el cual un terremoto fue generado a lo largo de este, está a 45° desde los ejes P y T, y contiene al eje N.

Para cualquier tensor de momento existen dos posibles planos que cumplen estos criterios. Los dos planos son llamados *planos nodales* y están en ángulos rectos uno del otro y se intersectan a lo largo del eje N. Uno de los planos es el *plano de falla*, y el otro es llamado *plano auxiliar* y no tiene un significado geológico-estructural. Todo sismólogo puede decir con referencia sólo al tensor de momento de que un terremoto fue generado en uno o el otro plano nodal. Es necesario tener argumentos geológicos para diferenciar entre los dos soluciones de planos de falla.

Asumiendo que el plano de falla puede ser diferenciado del plano auxiliar, la SMF proporciona la orientación del plano de falla, la dirección del deslizamiento del techo (hanging-wall) y por lo tanto el tipo de falla involucrada en el terremoto: transcurrente, inversa, normal y oblicua. El análisis de la secuencia de un gran número de réplicas de un evento principal, nos permite mapear el parche de deslizamiento y evaluar ya sea más que los terremotos generados por una falla durante una secuencia. Un análisis cuantitativo más sofisticado de los mecanismos fuentes de terremotos pueden algunas veces identificar la dirección de propagación de la falla.

Los diagramas de pelotas de playas (beachball diagrams) de las SMF son proyecciones estereográficas que muestran dos cuadrantes negros y dos blancos, separados por un arco de un gran círculo orientado a 90° uno del otro. Los grandes círculos son los planos nodales. El rumbo de la falla está indicado por una línea que conecta dos puntos en el diagrama de las pelotas de playa, es decir, donde el plano de falla (un gran círculo) intersecta al círculo primitivo; la línea segmentada

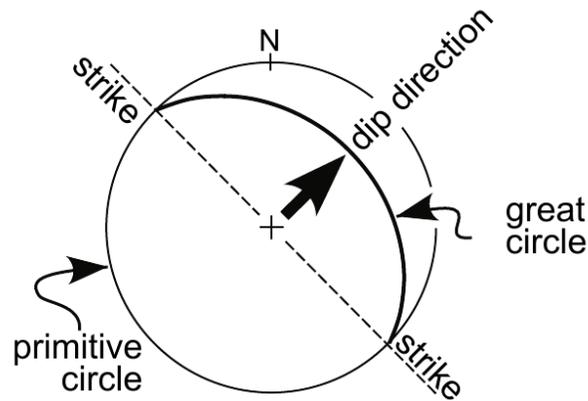


Figura 1: Proyección del rumbo y manteo.

en la figura 1. La dirección del manteo está 90° del rumbo, en la dirección indicada por la flecha negra desde el centro hacia la mitad del gran círculo.

El mecanismo focal (a) siguiente tiene sus planos auxiliares verticales norte-sur y este-oeste. En el instante en que ocurre un terremoto, el movimiento de la onda-P a través del material alrededor del foco cause que las partículas que están en el cuadrante negro, se alejen del foco, mientras que las partículas que están en los cuadrantes blancos se acercan al foco (b). (c) y (d) son las dos posibles fallas. (ver figura 2)

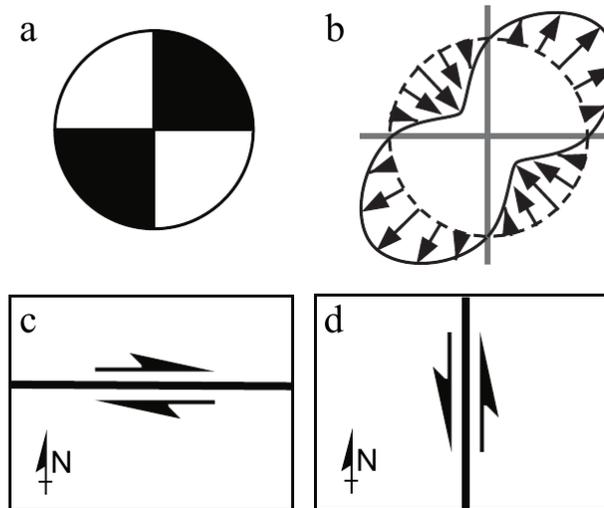


Figura 2: a) Mecanismo focal, b) Patrón de radiación, c-d) fallas posibles.

Para poder interpretar el sentido de deslizamiento a lo largo de un plano de falla particular utilizamos (como ejemplo) un mecanismo transcurrente (también conocido como mecanismo con deslizamiento en el rumbo) (figura 3), asumiendo el plano de falla es la línea gris. Luego nos ubicamos en uno de los dos hemisferios que divide el plano de falla (mirando perpendicular al plano de falla)

e imaginemos que el cuadrante negro equivale a la punta de una flecha lo cual nos indicará el sentido del deslizamiento. Para este caso si la flecha apunta hacia la derecha, el mecanismo focal representará una falla transcurrente-dextral y si la flecha es hacia la izquierda, este representará una falla transcurrente-sinistral.

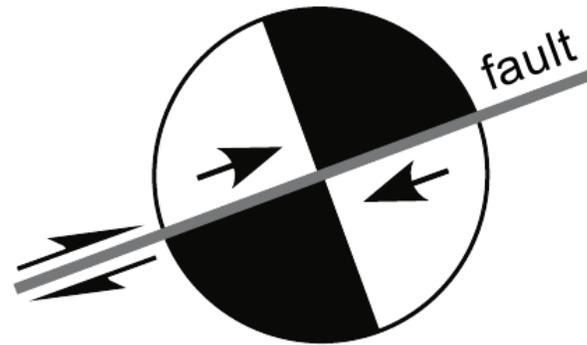


Figura 3: Mecanismo focal de una falla transcurrente-dextral.

Para mecanismos normales e inversos (mecanismos con deslizamiento puro en el manteo), sólo tres cuadrantes de los cuatros se pueden observar el diagrama SMF, tal como se observa en la figura 4. El centro de un mecanismo es blanco para una falla normal y es negro para una falla inversa (ver figura 4).

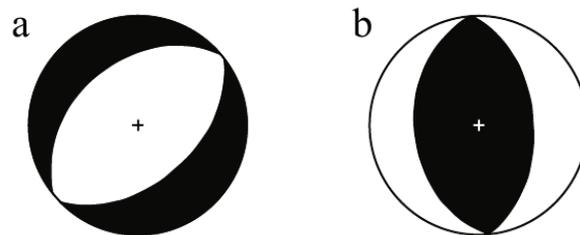


Figura 4: a) Mecanismo focal normal y b) Mecanismo focal inverso.

Los mecanismo oblicuos tienen aporte de las dos componentes de deslizamiento, es decir, deslizamiento en el rumbo y deslizamiento en el manteo. Los cuatro cuadrantes son apreciables en el diagrama SMF. Si el centro del mecanismo está en un cuadrante blanco, diremos que es un mecanismo oblicuo con componente normal, sin tener en cuenta de cual de los dos planos nodales es el plano de falla; si el centro del mecanismo está en un cuadrante negro, este será un mecanismo oblicuo con componente inversa (ver figura 5).

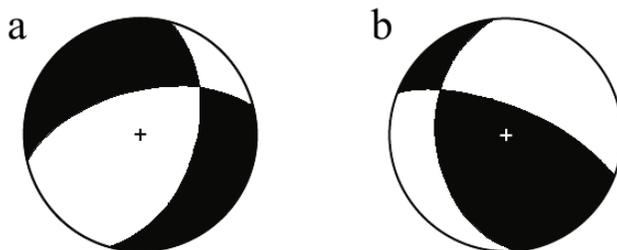


Figura 5: a) Mecanismo focal oblicuo con componente normal y b) Mecanismo focal oblicuo con componente inversa.

1. Solución de un mecanismo focal (SMF).

En la practica es común obtener una SMF basado en la derivación del tensor de momento desde el análisis de un conjunto de datos de las formas que tienen las ondas. Hay muchos métodos para encontrar las componentes de un tensor de momento que mejor se ajuste a los datos disponibles de un terremoto dado. La solución del plano de falla o diagrama de pelota de playa es producto de la inversión del tensor de momento. El diagrama de pelota de playa se puede obtener igualmente de técnicas gráficas al estudiar el primer movimiento de la onda-P, como se verá mas adelante; sin embargo, la técnica gráfica no proporciona información suficiente para definir el tensor de momento del terremoto.

De la determinación preliminar del epicentro, sabemos la ubicación y tiempo de origen del terremoto. Vamos a suponer que 14 estaciones geográficamente separadas, registraron el evento. Ya que conocemos bien las ubicaciones de las estaciones, computamos la distancia entre cada estación y el epicentro. Luego utilizamos un modelo simple de velocidades sísmicas de la Tierra para definir el tiempo (t) exacto en la que la onda-P del terremoto debió haber llegado en cada estación. Observando el registro de la componente vertical en cada estación, evaluamos si el primer movimiento detectado en la estación fue un movimiento “up”, un movimiento “down” o sin señal aparente en el tiempo estimado (ver figura 6)

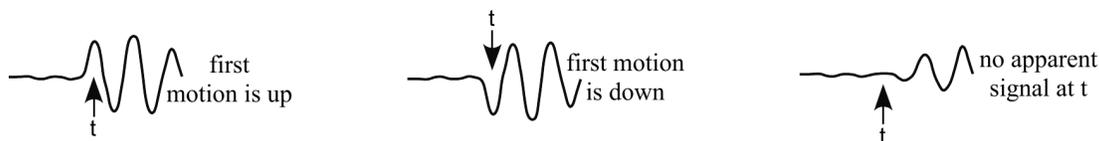


Figura 6: Registro del primer movimiento de la onda-P.

La porción de energía recibida por cada sismómetro, que libera el foco del terremoto en forma de una onda-P compresional, puede ser pensada como el viaje a lo largo de la trayectoria de un rayo, desde el foco al sismómetro. Necesitamos aprender dos cosas de este rayo para cada estación: el azimut a lo largo el cual este viajó desde el foco del terremoto a la estación y su ángulo de despegue (take-off angle), conocido también como ángulo emergente. El ángulo de despegue es el aquel entre el rayo, ya que sólo emerge desde el foco, y una línea vertical imaginaria extendida hasta el foco.

Para representar los datos de los sismogramas hacemos uso de la red estereográfica de Schmidt. Cada dato de cada sismograma estará representado con uno de los 3 símbolos: un círculo (○) si el primer movimiento de la onda-P es down, un círculo negro (●) si el primer movimiento es up o una x (×) si el primer movimiento es muy débil para diferenciarlo. Para cada estación, el símbolo es colocado a lo largo de una línea que se extiende desde el centro hacia el azimuth de la estación relativa al foco del terremoto, y el ángulo de despegue define la distancia angular desde el centro al símbolo. En el siguiente ejemplo el símbolo asociado con la estación A está a 60° del centro, a lo largo de una línea dirigida hacia el azimuth 50° (ver figura 7).

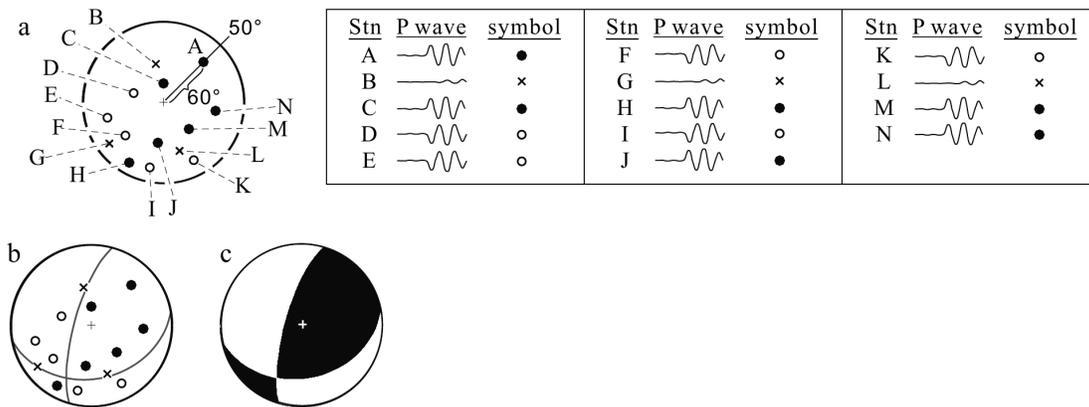


Figura 7: a) Representación estereográfica de los datos sísmicos, b) Trazados del gran círculo en una red estereográfica, c) Identificación de los cuadrantes.

Después de representar todos los datos sísmicos (figura 7a), identificamos dos arcos de dos grandes círculos en una red estereográfica, representando dos planos que están en ángulo recto uno del otro, y que además separan los círculos negros de los círculos blancos y pasa cerca o a través de los símbolos x (ver figura 7b). Estos son los planos nodales, uno el cual coincide con el plano de falla que produce el terremoto. Finalmente rellenamos los cuadrantes de acuerdo a la convención de los círculos negros o blancos (ver figura 7c). Claramente la solución no es única, pero es útil debido a la información que nos proporciona sobre el tipo y orientación de la falla que produce un terremoto.

2. Datos para especificar la solución geométrica de un mecanismo focal

Solo tres datos son necesarios para obtener especificado completamente la orientación de un diagrama SMF, es decir, dos elementos para especificar la orientación del plano de falla y un elemento para especificar la orientación del vector de deslizamiento en este plano. Comúnmente se reportan el azimuth del manto y el ángulo del manto del plano de falla inferido, y el barrido (rake) del vector de deslizamiento del bloque colgante (hanging-wall) en el plano.

El rake del vector de deslizamiento del bloque colgante es medido en el plano de falla, relativo a la referencia del rumbo del plano de falla. La referencia del rumbo es definida, utilizando el método

de la mano derecha. Un ángulo positivo se mide en dirección antihoraria y uno negativo en sentido horario desde la referencia del rumbo. Un vector de deslizamiento que está dirigido hacia arriba relativo al rumbo, tiene un barrido (rake) positivo y tiene un barrido negativo si este está dirigido hacia abajo del plano. El rango de valores permitidos para el barrido es entre 180° a -180° .

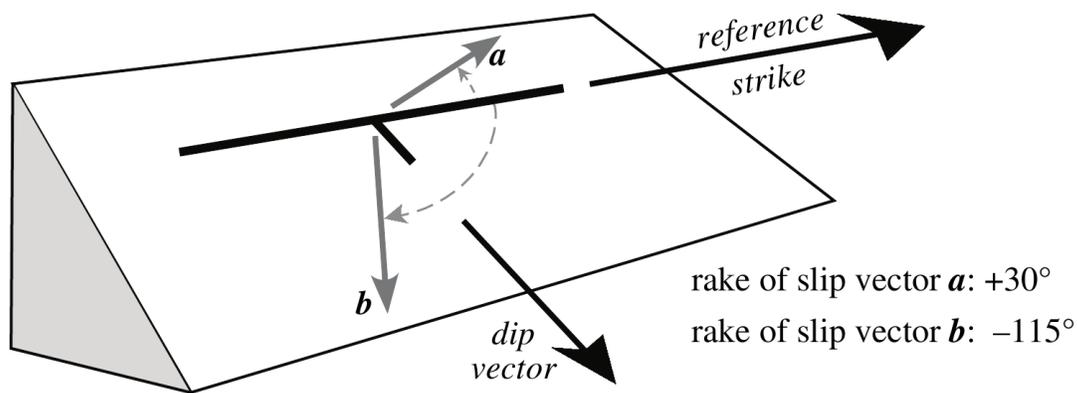


Figura 8: Parámetros geométricos.

Tabla 1: Valores permitidos para el Rake y el tipo de falla correspondiente.

Rake	Tipo de falla
0° o 180°	Transcurrente
90°	Inversa pura
-90°	Normal pura
-20° a 20°	Transcurrente sinestral
20° a 70°	Oblicua-inversa-sinestral
70° a 110°	Inversa
110° a 160°	Oblicua-inversa-dextral
-160° a 160°	Transcurrente dextral
-110° a -160°	Oblicua-normal-dextral
-70° a -110°	Normal
-20° a 70°	Oblicua-normal-sinestral.