

DETERMINACION DE MECANISMOS FOCALES PARA TEMBLORES PEQUEÑOS/MODERADOS: REGION DEL CARIBE NORORIENTAL

Victor A. Huérfano Moreno

RED SISMICA DE PUERTO RICO
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO, RECINTO DE MAYAGEZ
GEOLOGIA
OCTUBRE 05, 2002

Resumen

La determinación del mecanismo focal de un terremoto contribuye considerablemente al entendimiento del comportamiento tectónico de la zona de generación, actualmente tenemos las soluciones globales CMT (Centroid Moment Tensor) y el USGS (United States Geological Survey). La metodología utilizada por estos métodos esta basada en el uso de periodos largos para determinar las características que ocurrieron durante el proceso de ruptura, además permiten determinar el valor de la energía liberada. Los catálogos mundiales son rutinariamente actualizados para terremotos moderados y/o mayores ($> 5.0/5.2$, Mb).

El objetivo de este trabajo es la aplicación a eventos locales del método de análisis de la Amplitud, Espectro y Polaridades (ASPO, J. Zahradnick, 2001) para calcular los parámetros focales de temblores moderados y/o pequeños para una red sísmica típica: unas pocas estaciones de banda ancha junto con una red mas densa de sismómetros de periodo corto. Se presentan las soluciones focales para dos eventos que ocurrieron en Puerto Rico; el primero en la zona suroeste con magnitud de 3.6 Ml (2002/09/06 02:19:48) y el segundo en la zona sureste con magnitud 3.5 Ml (2002/09/07 04:01:06).

Claves: Tectónica del Caribe, Mecanismo Focal, Catálogo Sísmico.

Introducción

Basándonos en los catálogos y documentación histórica (pre instrumental) así como en la información recolectada instrumentalmente, podemos concluir que la Esquina NorOriental de la Placa del Caribe (ENOPC) se comporta como una zona sísmicamente activa. El potencial sísmico y el transfondo tectónico de las fallas mayores de la ENOPC (por ejemplo: la Trinchera de Puerto Rico, el Cañón de la Mona y el Pasaje de Anegada) ha sido reconocido y estudiado por diversos grupos científicos. En los últimos dos siglos, en esta zona se han registrado los terremotos mayores de las Islas Vírgenes (7.4 Mb) y del Cañón de la Mona (7.3 Mb). En adición, se ha demostrado que zonas adyacentes tienen potencial de generación de eventos destructivos y maremotos.

En la ENOPC, los temblores moderados y pequeños son particularmente importantes debido a que constituyen la mayoría de la actividad sísmica y están distribuidos en toda

la región. En la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) aunque se mantiene un catálogo local/regional de datos paramétricos, no se calculan rutinariamente las soluciones focales. Este tipo de análisis a distancias locales/regionales es mucho más complicado que para aquellos eventos tectónicos (lejanos) debido a la fuerte contribución de los efectos de la corteza y las heterogeneidades de la parte superior de manto, lo cual aparece reflejado en los sismogramas; modelar este tipo de eventos es imposible utilizando las técnicas usadas por las redes globales. Estudios propuestos sugieren que se pueden analizar los mecanismos focales compuestos para un selecto grupo de eventos, sin embargo si esa aproximación es basada en registros tomados puramente en instrumentos de periodo corto podemos correr el riesgo de no estar considerando toda la información de la fuente lo que puede inducir incertidumbre en los resultados.

Area de estudio y Sismicidad

La ENOPC es una zona sísmicamente activa (figura 1); en Puerto Rico el promedio de sismicidad oscila entre 2 ± 1 sismos diarios con unos muy notorios eventos de enjambres típicos en las zonas sísmicas del Sombrero, 19°N y los Cañones de Mona e Islas Vírgenes. La tectónica de esta región está marcada por la convergencia de las placas mayores de Norte América y del Caribe; la primera en proceso de subducción a una razón de entre 10 a 20 mm/yr en la Trincheras de Puerto Rico y la segunda entre 1 y 3 mm/yr en la Trincheras de Muertos.

Existen zonas de extensión como es el caso de los Cañones de Mona, Islas Vírgenes y el Pasaje de Anegada. Zonas de movimientos laterales en la zona de fallas de los 19°N y en la parte más occidental de la Trincheras de Puerto Rico. Deformaciones verticales como en la zona sísmica del Sombrero (Ten Brink, 2002) y en el interior suroeste de Puerto Rico.

El catálogo sísmico de la RSPR (PRSN, página electrónica) mantiene información paramétrica desde 1987, con sobre 10000 soluciones (figura 2) reflejando el grado de actividad para esta parte de la ENOPC; además se mantienen las series de tiempo en formato digital para estaciones de periodo corto desde 1992 y más recientemente (2001) se están registrando los temblores en estaciones de banda ancha. Sin embargo, soluciones focales solo han sido posibles mediante el análisis de las polaridades del primer arribo (onda P) y en algunos casos la razón de las amplitudes P, SH y SV (Huérffano, 1994). Soluciones para eventos registrados por las redes mundiales solo reportan 36 mecanismos desde 1976 (CMT, página electrónica), lo que representa una mínima parte de la actividad real.

Preparación de los Datos

Si el temblor ocurre en el punto focal F, tenemos que las ondas sísmicas viajan por la corteza hasta llegar a la estación E donde es registrada según las capacidades del sismómetro.

La señal que finalmente se obtiene $S(\vec{r}, t)$ mediante el sistema de adquisición de datos incluye la información de la fuente $F(\vec{r}, t)$, la interrelación de las ondas elásticas con la corteza $C(\vec{r}, t)$ y la parte que le corresponde al instrumento $I(\vec{r}, t)$, tal que:

$$S(\vec{r}, t) = F(\vec{r}, t) \otimes C(\vec{r}, t) \otimes I(\vec{r}, t) \quad (1)$$

si la respuesta instrumental es conocida mediante las tablas de calibración y el conjunto de polos y ceros, y teniendo un modelo realista de la velocidad de propagación de las ondas de cuerpo al menos en las capas superiores; la ecuación (1) es dependiente solamente de la función de la fuente. El problema puede ser dividido como sigue:

$$S(\vec{r}, t) \implies \begin{cases} 1. T \geq 1min : CMT, USGS \\ 2. T \geq 20seg. \rightarrow 1min : RMT, ASPO \\ 3. T \leq 20seg. \cdot ASPO \end{cases}$$

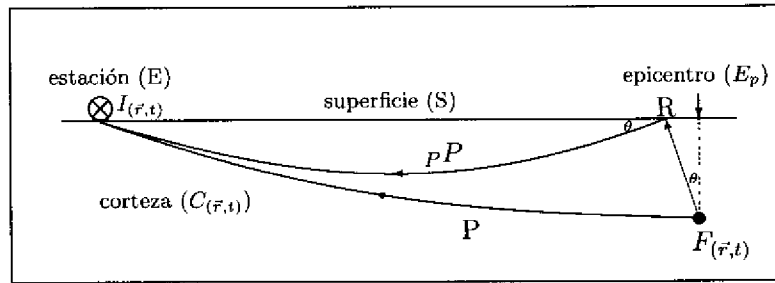


Diagrama esquemático de la propagación de un sismo

Se analizaron dos eventos sísmicos que fueron reportados como sentidos en Puerto Rico (tabla 1). Las señales de estos temblores se registraron en 5 de las estaciones BB de la RSPR (figura 3): MTP, CPD, CBY, AGP y MGP que están equipadas con 30seg. Guralps 3-ESP y 40T. Adicional, se utilizó el registro de la estación SJG que tiene un 120 seg. STS-1 (IRIS, página electrónica). Se aplicó la corrección instrumental para todas las señales, manteniendo las frecuencias en un rango de 0.1Hz - 2Hz y se rotaron las componentes $(X, Y, Z) \rightarrow (R, T, Z)$. Para continuar con el análisis, se requiere una localización epicentral preliminar, se deben leer cuidadosamente las polaridades de aquellas estaciones donde sean indudables y se debe disponer de un modelo detallado de velocidad en la corteza.

El espectro observado es entonces comparado con los espectros numéricos, los cuales se determinan mediante el método de discretización del número de onda (Bouchon, 1981) usando el modelo de velocidades para Puerto Rico (Huérffano, 1994). La diferencia es determinada paso a paso mediante la norma $L1^*$, que indica:

$$Error = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|obs_i - teo_i|}{\max(|obs_i|, |teo_i|)}}{n} \quad (2)$$

la suma se ejecuta sobre todas las estaciones (n), sobre todas las componentes y sobre todas las frecuencias utilizadas en la inversión.

Resultados

Este método nos permite determinar cinco parámetros: la profundidad focal, el momento escalar y la geometría de la falla (azimuth, ángulo de hechado y ángulo de desgarre) En la tabla 1, se detallan los resultados de la inversión, donde se incluye la profundidad focal la cual fue la que reportó el mínimo error. En la figura 4. se muestran los resultados de este estudio además de los resultados para la zona local de Puerto Rico y reportados por el grupo de Harvard (CMT) y por Mendoza (2002) para el caso de las soluciones utilizando RMT.

No	Centroide		Localización			Plano de Falla			Desplazamiento	
	Fecha	Ml	Lat ₁	Long ₁	Z* (km)	Azi.	Hec.	Des.	Azi.	pl.
1"	2002/09/07	3.5	18 079	-66.074	4	294	60	168	120	10
2"	2002/09/06	3.6	18.135	-66 808	10	280	82	96	152	80

Tabla 1 Parámetros focales obtenidos, la profundidad del evento es dada por la inversión

Los mecanismos focales obtenidos coinciden con estudios previos de la tectónica local, para el caso del evento (1") se sabe que existe en esa zona un movimiento mas bien lateral en dirección ONO-ESE lo que indica que este sismo esta relacionado con este tipo de deformación: azimuth del vector desplazamiento = 120° con una inclinación de 10° ; para un plano de falla $O24^\circ N$. Para el caso del evento (2"), en esta zona se presentan patrones complejos que van desde desgarres laterales (GSPRFZ) hasta movimiento con una fuerte componente vertical en la esquina suroeste de Puerto Rico (Huérfino, et al, 2001), siendo este último el posible causante del evento modelado; tenemos un ángulo $E62^\circ S$ para el vector de desplazamiento con una inclinada componente vertical de 80° .

Conclusiones

Dos eventos pequeños fueron modelados usando una red local de estaciones de banda ancha. El método **ASPO** también conocido como LMT (Local Moment Tensor) fue aplicado en la inversión de los espectros para las señales completas. Los resultados obtenidos por este estudio coinciden con estudios previos de la tectónica de las zonas de generación.

De manera general podemos concluir del método lo siguiente:

1. Es un método rápido para determinar los parámetros focales. profundidad, momento escalar y la geometría (azimuth, hechado y desgarre)

- 2 Es una herramienta util en aquellas regiones donde la distribución de estaciones sísmicas consta de unos pocos sismómetros BB junto con una red mas densa de SP.
3. Bajo condiciones favorables permite solucionar eventos de magnitud $M_l \geq 3.5$
4. Sirve para la implementación de un catálogo local de soluciones focales, en adición a los catálogos mundiales.
- 5 Provee información valiosa para un mejor entendimiento de la tectónica local en base a los registros BB.

Referencias

- 1 Bouchon, M., 1981. A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media Bull. seism. Soc. Am., 71, 959-971.
2. Centroid Moment Tensor (CMT). Página Electrónica: www.seismology.harvard.edu
- 3 Huérfano, V and Bataille K. (1994), Crustal Structure and Stress Regime Near Puerto Rico, EOS Supplements, AGU.
- 4 Huérfano, V. Hillebrandt C and Báez-Sánchez G., (2001), Microseismic activity reveals two stress regimes in southwestern Puerto Rico. submitted to: Tectonophysics.
5. Huérfano, V. (2002), Earthquake local sources in the Puerto Rico region: Puerto Rico Tsunami Mitigation and Warning Program. Prepared for. University of Puerto Rico.
6. Mendoza, C. (2002), Earthquake sources in the Caribbean region: Puerto Rico Tsunami Mitigation and Warning Program. Prepared for: University of Puerto Rico.
7. Red Sísmica de Puerto Rico. Página Electrónica: rmsismo.uprm.edu
8. Ten Brink, U , Martin J.L., Gurrola, H , Dillon, W. and Huérfano V., (2002), Dynamic topographic in the Puerto Rico Trench. Submitted to: JRL.
9. Zahradnik, J., Jansky, J. and Papadimitriou, N. (2001) Focal mechanism of weak earthquakes from amplitude spectra and polarities (ASPO). Pure and Appl. Geophys., 158, 647-665.