

PARÁMETRO DE CONCENTRACIÓN DE RUPTURAS

A. Caneva¹, C. Vargas²

¹ Grupo de Geofísica, Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia
alexander.caneva@uan.edu.co

² Grupo de Geofísica, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia
cavargasj@unal.edu.co

(Recibido 22 de Sep.2005; Aceptado 19 de Abr. 2006; Publicado 16 de Jun. 2006)

RESUMEN

El parámetro de concentración de rupturas χ permite caracterizar la distribución espacial de las rupturas sismogénicas. Según las variaciones de presión y temperatura a diferentes profundidades, es previsible que la distribución de dichas rupturas también varíe. Se asume que la distribución de rupturas es no-uniforme y corresponde a una distribución espacial fractal. Para la región del Nido del Bucaramanga los valores críticos obtenidos fueron $\chi^* \approx 4.1$ para la sismicidad somera y $\chi^* \approx 1.9$ para la profunda, lo cual indica una posible influencia de la temperatura y de la presión en el proceso de fusión de las grietas a diferentes profundidades.

Palabras clave: régimen sísmico, defectos sismogénicos, fuentes sismogénicas, dimensión fractal.

ABSTRACT

The parameter of concentration of ruptures χ allows to characterize the space distribution of sismogenic ruptures. According to the variations of pressure and temperature at different depths, it is foreseeable that the distribution of these ruptures also varies. It is assumed that the distribution of ruptures is not uniform and corresponds to a fractal space distribution. For the Nest of Bucaramanga the obtained critical values were $\chi^* \approx 4.1$ for shallow seismicity and $\chi^* \approx 1.9$ for the deep one, which indicates a possible influence of the temperature and the pressure in the process of fusion of the cracks at different depths.

Keywords: seismic regime, sismogenic defects, sismogenic sources, fractal dimension.

1. Introducción

Según la teoría cinética de la resistencia (mecánica), la destrucción de los sólidos no corresponde a un acto instantáneo sino a un proceso que se desarrolla en el tiempo y que depende de las características del material, de la carga aplicada, de la temperatura, entre otros. El proceso de destrucción definitiva del medio material, proceso relacionado con la aparición de una grieta principal, es precedido por una etapa de acumulación de microgrietas, seguida de un crecimiento de éstas y su posterior fusión con la aparición de una macrogrieta [1].

El criterio de destrucción consiste en la estimación de la concentración de rupturas en determinada región del espacio con base en el número y la energía de los eventos sísmicos que hayan tenido lugar allí anteriormente, esto es, se analiza un sistema de grietas en un campo de tensiones. Las grietas pierden “estabilidad”, crecen dinámicamente y, al encontrarse lo suficientemente cerca unas respecto a otras, se fusionan en grietas de dimensiones mayores.

2. Parámetro de concentración de rupturas χ

Consideremos una región sísmicamente activa. Dividamos esta región en celdas de tamaño L . Se define χ en una celda de tamaño L como [1, 2]:

$$\chi = \frac{\mu^{-1/r}}{l_{medio}} \tag{1}$$

donde μ es la concentración de rupturas en la celda; r es la dimensión del espacio euclidiano; l_{medio} es el tamaño promedio de las rupturas en la celda. El parámetro $R_{medio} = \mu^{-1/3}$ debe entenderse como el valor promedio de las distancias de separación entre los centros de las rupturas vecinas contenidas en una celda [3].

En vista de que las rupturas se encuentran distribuidas en el espacio de manera no-uniforme, a un estado crítico (pérdida de estabilidad) del sistema de rupturas le corresponden diferentes valores de χ . Si las rupturas se encuentran agrupadas, lo cual significa que las distancias entre las rupturas de un grupo son menores que la distancia media de separación entre las rupturas en toda la celda, entonces al estado crítico le corresponden valores menores de χ en comparación al caso de una distribución de rupturas uniforme. La influencia de la no-uniformidad de la distribución de las rupturas sobre el valor de χ puede ser tenida en cuenta asumiendo que esta no-uniformidad corresponde a una distribución espacial fractal de los sismos y respectivamente de las rupturas o defectos sismogénicos [3].

Sea una región de tamaño Λ dividida en celdas de tamaño L . Si las rupturas se encuentran distribuidas en el espacio de manera no-uniforme (lo que corresponde a lo observado) y originan una estructura fractal de dimensión $d \leq r$, entonces no todas las celdas contendrán rupturas, y χ toma la forma:

$$\chi_L = \frac{\mu^{-1/r}}{l_{medio}} = \left(\frac{N}{\Lambda^d} \right)^{-1/r} \frac{L^{1-d/r}}{l_{medio}} \tag{2}$$

Esta expresión muestra que el parámetro de concentración de rupturas depende del tamaño L de las celdas en que se subdivide la región en estudio.

Sean χ_{L1} y χ_{L2} los parámetros de concentración de rupturas evaluados en celdas de tamaño L_1 y L_2 respectivamente. Suponiendo que l_{medio} no depende de L , de la Eq. (2) tenemos:

$$\chi_{L2} = \chi_{L1} \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^{1-d/r} \tag{3}$$

Si asumimos que la estructura fractal de la distribución espacial de las rupturas se conserva hasta niveles de grietas individuales, ya que un objeto fractal es no-uniforme a cualquier escala [4], entonces, conocida la concentración crítica de grietas χ_L^* en una región de cierto tamaño L , es posible, con base en la Eq. (3), calcular χ_l^* en una celda del tamaño l que se quiera:

$$\chi_i^* = \chi_L^* \left(\frac{l}{L} \right)^{1-\frac{d}{r}} \tag{4}$$

3. Resultados

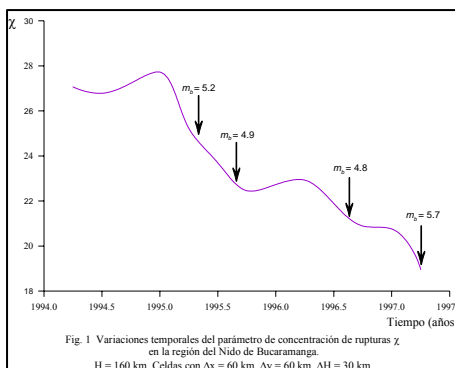
En el presente trabajo se utilizó el catálogo de sismos de Colombia suministrado por la Red Sismológica Nacional de Colombia de INGEOMINAS. De este catálogo se seleccionaron los eventos correspondientes a la región del Nido de Bucaramanga, eventos localizados en un cuadrante de dos grados de latitud por dos de longitud centrado en las coordenadas 7° de latitud norte y 73° de longitud occidental que incluía eventos desde junio de 1993. El valor crítico de χ_L^* se calculó en celdas de diferente tamaño L . Para determinar l_{medio} se usaron las expresiones:

$$\log E = 1,5M - 11,8 \tag{5}$$

$$\log l = 0,255 \log E - 2,266$$

donde E es la energía del sismo y M su magnitud [5]. Dividamos la región sismoactiva en volúmenes elementales V_i . Si cada uno de ellos pasa su propio ciclo sísmico, el cual concluye con un sismo fuerte, entonces, como resultado de esto, la actividad sísmica en este volumen elemental, durante cierto tiempo, disminuye sustancialmente (como resultado de la distensión). Escogeremos como momento del comienzo para la estimación de χ el momento cuando se presenta un sismo fuerte. En lo concerniente al tamaño de los volúmenes V_i partimos del hecho de que la distensión tiene lugar en una región del orden de tres o cuatro veces el tamaño del foco. De la Eq. (5) tenemos que para sismos con $M \approx 6$ se obtienen longitudes de ruptura del orden de $l \approx 10$ km. Con base en esto, el tamaño de los volúmenes V_i se tomaron desde 30 km×30 km hasta 60 km×60 km en superficie, y desde 20 km hasta 100 km en profundidad.

En la figura 1 se muestran las variaciones temporales de χ en la región en estudio. El incremento del intervalo temporal seleccionado fue de $\Delta t = 0.25$ años. Se observa que en los intervalos de tiempo cuando no se presentan sismos fuertes el valor de χ permanece prácticamente invariable. Los valores de χ correspondientes a los momentos cuando se presentaron los sismos más fuertes (señalados con las flechas), corresponden a χ_L^* . El cálculo de χ_i^* (para regiones de tamaño del orden del tamaño del foco) se realizó con base en la Eq. (4). En el caso



más elemental dos rupturas de tamaño l , que se encuentran ubicadas a lo largo de una línea recta, pierden estabilidad cuando la distancia entre sus extremos es cercana a l . Tomando $L \approx l$, obtenemos de (4) $\chi_l^* \approx 2$ [6]. Para la estimación de χ_l^* se utilizaron los valores de χ_L^* estimados para el momento del segundo evento de una pareja de sismos fuertes (el primer evento de la pareja garantizaba la distensión en la región en estudio). Los valores de la dimensión fractal d para la región en estudio: para la sismicidad somera $d_s \approx 1.5$ y para la sismicidad profunda

$d_p \approx 1.6$ [7]. Los resultados se presentan en la tabla No. 1.

Tabla No.1. Valores críticos de χ_l^* para el Nido de Bucaramanga.

	Profundidad (km)	d	M	χ_l^*
Sismicidad profunda	160	1.6	5.6	1.9
Sismicidad somera	0	1.5	4.7	4.1

Para sismicidad profunda el valor de χ_l^* es cercano a 2, lo cual concuerda con lo expuesto anteriormente. De la Eq. (1) vemos que valores bajos de χ_l^* corresponden a valores bajos de R_{medio} (asumiendo que l_{medio} es independiente del tamaño de la región analizada). Desde el punto de vista físico es posible asumir que los bajos valores $\chi_l^* \approx 2$ en regiones de sismicidad profunda se deben a las condiciones de presión y temperatura características a estas profundidades. Las elevadas presiones a profundidades del orden de 160 km impiden el crecimiento de las grietas y su consiguiente fusión con sus vecinas, frenando el proceso de aparición de macrogrietas. Para el caso de la sismicidad somera el valor de χ_l^* es dos veces mayor que en la profundidad, lo cual en nuestro concepto significa que en el caso de profundidades del orden de 160 km para alcanzar la fusión de dos grietas, en promedio, la distancia de separación entre ellas debe ser dos veces menor que en el caso de las rupturas someras.

Agradecimientos: Este trabajo se ha llevado a cabo con el apoyo del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” – COLCIENCIAS (Proyecto código: 1233-05-13690), al cual los autores expresan sus más sinceros agradecimientos.

Referencias

- [1] Sobolev, G. & Zavyalov, A. (1980). The Criterium of Concentration of Seimogenic Ruptures. Dokl. AN USSR. T. 2523 No. 1. pp. 69 - 71.
- [2] Zavyalov, A. (1986). Parameter of Concentration of Ruptures for Forecasting Strong Earthquakes of Kamchatka. Vulcanology and Seismology. No. 3. pp. 58 - 71.
- [3] Smirnov, V. & Zavyalov, A. (1996). Criterion of Destruction Considering the Fractal Distribution of Faults. Vulcanology and Seimology. No. 4. pp. 75 - 80.
- [4] Crownower, R. (1995). Introduction to Fractals and Chaos. Jones and Barlett Publishers. 352 p.
- [5] Kasahara, K. (1981). Earthquakes Mechanics. Cambridge University Press. 264 p.
- [6] Caneva, A.; Vargas, C.; Alfaro, A.; Alvarez, S.; Chaparro, D. Y Vega, C. (2004). Evaluación del Parámetro de Concentración de Rupturas χ a Diferentes Profundidades para la Región Sismoactiva del Nido de Bucaramanga. Memorias Primer Congreso Latinoamericano de Sismología.
- [7] Caneva, A. & Smirnov, V. (2004). Using the fractal dimension of the distribution of the earthquakes and the slope of the recurrence curve to forecast earthquakes in Colombia. Earth Sciences Research Journal. V. 8, No. 1. pp. 3-9.