

MAGNITUD REPRESENTATIVA

Alexander Caneva Rincón

Centro de Investigaciones Universidad Antonio Nariño

Asesor Instituto Geofísico Universidad Javeriana

alexander_caneva@hotmail.com

acaneva@andromeda.uan.edu.co

icaneva@javeriana.edu.co

Resumen: son presentados los resultados de la estimación de la magnitud representativa M_{min} del catálogo de sismos de Colombia, así como también sus variaciones en el espacio (tanto en superficie como con la profundidad) y en el tiempo. La estimación de M_{min} se lleva a cabo mediante el análisis de la concordancia entre los gráficos de recurrencia sísmica empírica (histograma) y la distribución teórica (ley de Gutenberg - Richter). Los valores de las pendientes de los gráficos de recurrencia b -value se obtienen por estimación de máxima verosimilitud. Los valores obtenidos de magnitud representativa son $M_{min} \approx 4,0$ para el intervalo de tiempo desde 1958 hasta 1993 y $M_{min} \approx 2,5$ de 1993 en adelante.

Palabras Clave: régimen sísmico, magnitud representativa, gráfico de recurrencia, b -value

REPRESENTATIVE MAGNITUDE

Summary: In this paper the results of the estimation of M_{min} of the catalogue of earthquakes of Colombia are presented, as well as its variations in space (on surface and with the depth) and in time. The estimation of M_{min} is carried out by means of the analysis of the agreement among the empirical graphic of seismic recurrence (histogram) and the theoretical distribution (law of Gutenberg - Richter). The values of the slopes of the graphics of seismic recurrence b -value are obtained by the method of maximum likelihood estimate. The obtained values of representative magnitude are $M_{min} \approx 4,0$ for the time interval since 1958 to 1993 and $M_{min} \approx 2,5$ since 1993.

Key Words: seismic regime, representative magnitude, graphic of seismic recurrence, b -value

INTRODUCCION

Los registros de la actividad sísmica de cualquier región se caracterizan por el alto grado de heterogeneidad tanto en el tiempo como en el espacio. En el caso de Colombia la heterogeneidad de los registros en el tiempo está relacionada, por ejemplo, con la ausencia de registros instrumentales antes del año 1923 [1, 2], así como también, con el lento proceso de introducción de nuevas estaciones sismológicas (nuevas tecnologías), es decir el lento desarrollo de la red sismológica en el país [3, 4]. Por ello es importante determinar la fiabilidad (en cuanto a precisión se refiere) de la información contenida en el catálogo de sismos de Colombia.

El desarrollo de la red sismológica en Colombia se ha caracterizado por períodos de avance y otros de estancamiento con intervalos de tiempo extensos entre los momentos de cambio y modernización de las estaciones y de la red misma [4]. La introducción en la red de instrumentos más sensibles, con el consiguiente incremento del poder de resolución de la misma, se refleja en la calidad de los datos que ingresan al catálogo de sismos. La calidad y la cantidad de datos obtenidos después de complementar la red sismológica con instrumentos nuevos son diferentes para antes y después de la innovación.

Respecto a la heterogeneidad espacial se deben considerar dos aspectos: primero, la calidad de las estaciones sismológicas y, segundo, su ubicación geográfica [5]. En referencia al primer aspecto cabe anotar

que los instrumentos utilizados en diferentes redes en el país (la red sismológica del Instituto Geofísico Universidad Javeriana (IGUJ), la red del Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano (OSSO), la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), etc.) se diferencian sustancialmente entre sí en cuanto a calidad y cantidad se refiere; del segundo aspecto se puede mencionar que han sido varias las fuentes que suministran información para conformar el catálogo general de sismos de Colombia (desde redes locales hasta redes internacionales) [4] lo que incrementa la heterogeneidad de los datos, pues las dimensiones de las regiones atendidas por estas redes son muy diferentes.

De esta manera, es necesario seleccionar aquellos datos que se caractericen por su homogeneidad en cuanto a calidad se refiere. No es lo mismo considerar válido un registro de $M = 6$ correspondiente a un evento de comienzos del siglo XIX y otro de finales del siglo XX. Es necesario determinar cuál es el valor mínimo fiable de magnitud para los eventos sísmicos en cierta región. Con el fin de analizar la fiabilidad de los reportes de magnitud es necesario determinar la *magnitud representativa*.

MAGNITUD REPRESENTATIVA

Al llevar a cabo el estudio de la sismicidad de determinada región es indispensable comparar los datos obtenidos en diferentes puntos del espacio y en distintos instantes de tiempo para lo cual es necesario determinar el nivel de homogeneidad de los datos con los que se cuenta. Las redes sismológicas cuentan con características que determinan la *representatividad* de los datos por ellas registrados, es decir, qué tan fiables son éstos. Entre estas características se tiene, por un lado, la *sensibilidad*, que es determinada justamente por la *magnitud representativa* M_{min} , la cual corresponde al valor mínimo de magnitud de los sismos que son registrados sin interrupción en una región dada del espacio, y, por otro lado, el *poder de resolución*, que está relacionado con la incertidumbre en la determinación de las coordenadas, del tiempo y de la magnitud del sismo [5].

La magnitud representativa M_{min} permite comparar los registros correspondientes a diferentes períodos de la historia del desarrollo de la red sismológica de una región determinada, así como también los registros correspondientes a diferentes regiones geográficas. La región en estudio en el presente trabajo corresponde al territorio de Colombia.

Para determinar el valor de M_{min} se asume que la distribución de los sismos según los valores de sus energías está dada por la ley de potencia, es decir, el número de sismos en función de su energía (o su magnitud) se expresa mediante la relación de Gutenberg - Richter llamada también *ley de recurrencia sísmica* [6]. Si cierto número de eventos de determinada magnitud M , por una u otra razón, no figuran en el catálogo (no fueron registrados), entonces el número total de eventos N , de dicha magnitud, no corresponderá al *valor esperado* según el gráfico de recurrencia (gráfico del número de sismos en función de su energía o de su magnitud) sino a un valor menor. En el gráfico de recurrencia esta situación se evidencia debido a que el valor de N no coincide con aquél que se esperaría encontrar según la regresión correspondiente a la relación de Gutenberg - Richter [7]:

$$\log N = bM + A, \quad (1)$$

donde b es la pendiente del gráfico de recurrencia (b -value), M la magnitud y A una constante relacionada con el nivel de actividad sísmica. En lugar de esto el valor de N se encuentra por debajo de dicha recta. Justamente esto es lo que se observa al trabajar con valores de magnitud bajos. En este caso, debido al grado de sensibilidad de los instrumentos, los eventos cuya magnitud es inferior a cierto valor umbral no son registrados, por lo cual se presenta una inflexión brusca del gráfico de recurrencia. Identificando esta inflexión se puede determinar la mínima magnitud registrada M_{min} por la red. La desviación (alejamiento) con respecto a la curva del gráfico de recurrencia (correspondiente a la ley de potencia), para valores pequeños de magnitud, es un indicador de la sensibilidad de los instrumentos que componen la red sismológica.

METODO DE ESTIMACION DE LA MAGNITUD REPRESENTATIVA

La estimación de M_{min} se efectúa siguiendo un algoritmo propuesto por Pisarenko V. [7] el cual se expone brevemente a continuación. Para llevar a cabo la estimación se utilizan histogramas de distribución de sismos según sus valores de magnitud desde M_{min} hasta M_{max} . Para determinar el valor de M_{min} (para valores $M \geq M_{min}$ el gráfico de recurrencia es lineal) se revisan todos los valores sucesivos de M_{min} . El valor inicial de M_{min} no debe sobrepasar el valor de magnitud M_0 al cual le corresponde el máximo del histograma de distribución. El valor M_{min_0} es seleccionado teniendo en cuenta la condición:

$$M_{min_0} = \max M : \begin{cases} M < M_0 \\ N(M_0) - N(M) \leq \Delta N(M_0) + \Delta N(M) \end{cases} \quad (2)$$

donde $N(M)$ es el número de eventos en cada barra del histograma; $\Delta N(M) = (N(M))^{1/2}$ es su error. Primero se revisa la concordancia entre la distribución empírica (histograma) y la distribución teórica (ley de Gutenberg - Richter, correspondiente a la relación (1)). Si encontramos concordancia para el valor seleccionado de M_{min} , entonces, éste es el valor buscado de la magnitud representativa. Si el gráfico se desvía respecto a la línea recta correspondiente a la distribución teórica (fórmula (1)), entonces, primero, aplicando el método de estimación de máxima verosimilitud [8] se estima, para los registros con valores $M \geq M + \Delta M$, la pendiente del gráfico de recurrencia y el valor del parámetro A , llamado *actividad sísmica* [9]. Tomando como base los valores obtenidos de estos dos parámetros se calcula el valor teórico del número de eventos N_T en el intervalo $[M_{min}, M_{min} + \Delta M]$ y se compara con el valor empírico (observado) del número de sismos N_E . Luego, estadísticamente se comprueba la condición $N_T > N_E$. Si esta condición se cumple, entonces la causa del alejamiento de la curva del gráfico de recurrencia respecto a la regresión teórica (línea recta) se considera la *no-representatividad* (baja fiabilidad del registro) de los eventos de magnitud M_{min} . El valor de M_{min} es incrementado en ΔM_{min} y todo el procedimiento se repite. Si la condición $N_T > N_E$ no se cumple, entonces se considera que el origen de la inflexión del gráfico de recurrencia es de carácter natural.

RESULTADOS

Para llevar a cabo la estimación de la magnitud representativa M_{min} , fue desarrollado un software que se aplicó al catálogo de sismos de Colombia correspondiente al intervalo de tiempo 1958 – 1999. El catálogo (suministrado por el Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear “Ingeominas”) [10] contenía 21008 registros con información estándar de coordenadas, tiempo, magnitud, etc. Este catálogo fue procesado eliminando los registros dobles (repetidos) mediante la aplicación de un filtro. Luego fueron eliminadas las replicas aplicando un algoritmo de limpieza de réplicas [11]. El catálogo depurado pasó a ser de 13747 registros. Con este catálogo depurado se llevó a cabo la estimación de la magnitud representativa.

El catálogo fue unificado de tal manera que los diferentes tipos de magnitud que figuraban para eventos de diferentes partes del catálogo (el catálogo final resultó de la reunión de información de diversas fuentes que indicaban diferentes tipos de magnitud), fueron convertidos a un solo tipo de magnitud: m_b . Así que al estimar la magnitud representativa el tipo de magnitud con que se trabaja es m_b .

La estimación de M_{min} se llevó a cabo “recorriendo” el catálogo con una *ventana temporal móvil* que contenía un número determinado de eventos (se tomaron 1000 eventos por ventana) y que era desplazada en el tiempo sin superposiciones. En la fig. 1 se muestran las variaciones en el tiempo de la magnitud representativa en Colombia en el intervalo de tiempo estipulado. Aquí se muestra también el gráfico de recurrencia para Colombia. Se puede observar el proceso de desarrollo de la red sismológica en el país. Para el intervalo 1958 – 1993 el valor de la magnitud representativa oscila en torno al valor $M_{min} \approx 4$ (magnitud m_b), lo cual corresponde a un nivel *regular* de representatividad de la red (en comparación con las redes existentes en otros países a comienzos de la década de los 90-s).

De esta manera para este intervalo de tiempo son fiables, en cuanto a magnitud se refiere, los registros con $m_b \geq 4$. La disminución de M_{min} , con respecto al valor mencionado, comenzando aproximadamente en 1987 (alcanzando un valor de $M_{min} \approx 3,5$) probablemente está relacionada con la inclusión en el catálogo utilizado en este estudio de datos de redes locales nuevas como, por ejemplo, del Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano (OSSO), así como también del International Seismological Center (ISC). La adición de estos datos a los procedentes de las redes que operaban hasta esa fecha en el país, incrementa la precisión de los datos en comparación con los que se tenían hasta 1987 con lo cual se puede esperar que el valor de la magnitud representativa disminuya lo cual, efectivamente, se observa en la fig. 1.

Aquí mismo se observa que a mediados de 1993 tiene lugar una disminución brusca de la magnitud representativa hasta alcanzar un valor medio de $M_{min} \approx 2,1$. Esta disminución indica un mejoramiento sustancial de la infraestructura sismológica en el país (entra en funcionamiento la RSNC). El valor $M_{min} \approx 2,1$ es característico para redes altamente sensibles (recordemos que estamos trabajando con el tipo de magnitud m_b). Aun cuando a mediados de los años 90-s en la RSNC entran en funcionamiento algunas estaciones adicionales no se observan cambios sustanciales del comportamiento de la magnitud representativa en el tiempo. Probablemente esto está relacionado con la baja densidad de estaciones en el país.

A continuación analizaremos las variaciones de la magnitud representativa en el espacio. En esta parte del trabajo nos limitamos a los registros correspondientes al intervalo de tiempo 1993 – 1999, es decir los datos suministrados por la RSNC sin incluir los procedentes de otras redes locales o internacionales. Esta decisión se tomó debido a que los datos suministrados por una sola fuente (en este caso la RSNC) se caracterizan por ser homogéneos y por lo cual, como se acaba de mostrar, los datos de la RSNC son altamente fiables.