

RELACION FRECUENCIA SISMICA-MAGNITUD DEL ENJAMBRE SISMICO  
 DE CUYAGUA, EDO ARAGUA, NOV. 1980-FEB. 1981  
 ( Relationship between the Seismic Frequency and the  
 Magnitude of the Serie of Earthquakes of Cuyagua,  
 Aragua State )

Henry Salas Ramírez. Departamento de Geofísica, Facultad de  
 Ingeniería, U.C.V.

RESUMEN

Entre noviembre de 1980 y febrero de 1981, en la región norte-central de Venezuela, muy cerca de la población de Cuyagua, (Edo. Aragua), se generó un enjambre de temblores. Un total de 207 sismos fueron registrados por los sismógrafos del Observatorio Cagigal. En este trabajo de progreso sobre la sismicidad local, se presentan los resultados del valor "b" de la relación Gutenberg-Richter:  $\log_{10} N = a + b M$  también conocida como la Ley de Ishimoto y Iida para dicha región, usando los datos disponibles. El rango de magnitudes de la secuencia fue desde 1.7 a 4.1 y la relación frecuencia-magnitud se determinó como,

$$\log_{10} N (\geq MC) = 6.076 (\pm 0.592) - 1.473 (\pm 0.045) MC$$

donde MC denota magnitud local Caracas.

Como resultados adicionales, se presentan las gráficas de la relación frecuencia sismica-magnitud con un estudio detallado del parámetro "b", en relación a los sismos premonitores y réplicas del evento principal de magnitud MC=4.1 que ocurrió el día 2 de diciembre de 1980

INTRODUCCION

Un enjambre de temblores de pequeña y mediana magnitud se generaron entre noviembre de 1980 y febrero de 1981 en la región cercana a la población de Cuyagua, Edo. Aragua, en el centro-norte del país. Esta secuencia sismica se inició muy intensa a las 19:07 GMT del día 25-11-80. La estación CAR del Observatorio Cagigal, ubicada a 80 kilómetros al este de

la zona epicentral, registró 207 eventos pertenecientes a la secuencia en un rango de magnitudes entre MC=1.7 y MC=4.1 hasta el 27-02-81. Ocurrió un sismo principal el día 02-12-80 a las 07:45 GMT con una magnitud MC=4.1

Es bien conocido que la relación frecuencia-magnitud de una secuencia sismica, cumple con la relación estadística genérica de Gutenberg-Richter (1954):

$$\log_{10} N (\geq M) = a - b M \quad (1)$$

donde N es el número acumulado de sismos con magnitudes M o mayores y los coeficientes a y b son constantes positivas. El valor de a depende del periodo de observación y del nivel de detección de la sismicidad de cada región; esto puede ser considerado como un índice de la actividad sismica.

Por otra parte, el valor de b no depende del periodo de observación, pero si es un parámetro que difiere significativamente de una región a otra, y está directamente relacionado con las características tectónicas de cada región; de la misma manera, puede ser considerado como un parámetro representativo de la sismotectónica (Mogi, 1962 y Miyamura, 1962 en P. Welkner, 1965), esto es, el valor de b parece representar las propiedades del medio sismico en algunos aspectos. Sin embargo, ocasionalmente se observan desviaciones muy significativas en ciertos tipos de actividad sismica, tales como enjambres, antes o después de eventos principales y en terremotos de origen volcánico.

ENJAMBRES SISMICOS

Enjambres sismicos, se les ha definido como una secuencia de sismos de magnitud pequeña, agrupados en el tiempo y en el espacio. Algunos enjambres han sido observados en regiones volcánicas y zonas de acresión del fondo oceánico, y esa actividad ha sido asociada a los mecanismos focales de estos lugares. (Casertano y otros, 1979; Klein y otros, 1977; Sykes, 1970). Pero también han sido registrados en áreas definitivamente no volcánicas (Richter, 1958); ejemplo de ello, son los estudios de Talwani y otros, (1979) en Carolina del Sur, USA; Michael and Toksöz (1982) en Turquía. En California y México, se han realizado interesantes estudios por Malone y otros (1975), Bolt y otros (1977), Reichle and Reid, (1977) y Rebollar y otros (1982), todos estos asociados a fallas de transformación.

En Japón, por supuesto, se han realizado innumerables investigaciones al respecto. Uno de los principales ha sido el realizado por Suyehiro y otros (1964) en Lee and Stewart (1979) con relación a la secuencia ocurrida cercana a la región de Matsushiro. Otro autor japonés, Mogi (1963) en Rebollar y otros (1982) clasificó los enjambres de sismos como función del tiempo en secuencia, estructura y esfuerzos en tres tipos principales:

- 1) Un sismo principal claramente definido acompañado por réplicas.
- 2) Una secuencia de precursores, sismo principal y réplicas.
- 3) Una asociación de sismos, caracterizada por muchos eventos de aproximadamente la misma magnitud sin uno principal.

La secuencia que se trata en este estudio, según la clasificación de Mogi (1963), corresponde a una del tipo 2.

Por otra parte, muchos autores destacan la importancia del estudio de la sismicidad en la predicción de terremotos (McNally, 1982) y han sugerido criterios y patrones muy interesantes (Keilis-Borok y otros, 1980). Uno de los enjambres más ejemplarizantes que se hace referencia en la bibliografía, es el ocurrido cerca de Liaoyang (a 70 km. al noreste del epicentro de Haicheng, República Popular China) el 22 de diciembre de 1974, justo 45 días antes del terremoto de magnitud 7.3. La máxima magnitud registrada en la secuencia fue de 4.8

#### ENJAMBRE SISMICO DE CUYAGUA

##### Localización de los hipocentros

La figura No 1 muestra la distribución de los epicentros de los eventos que fue posible determinar una vez instalada una red de estaciones portátiles y telemétricas por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), el Instituto Sismológico del Observatorio Cagigal y el Departamento de Geofísica de la

Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela.

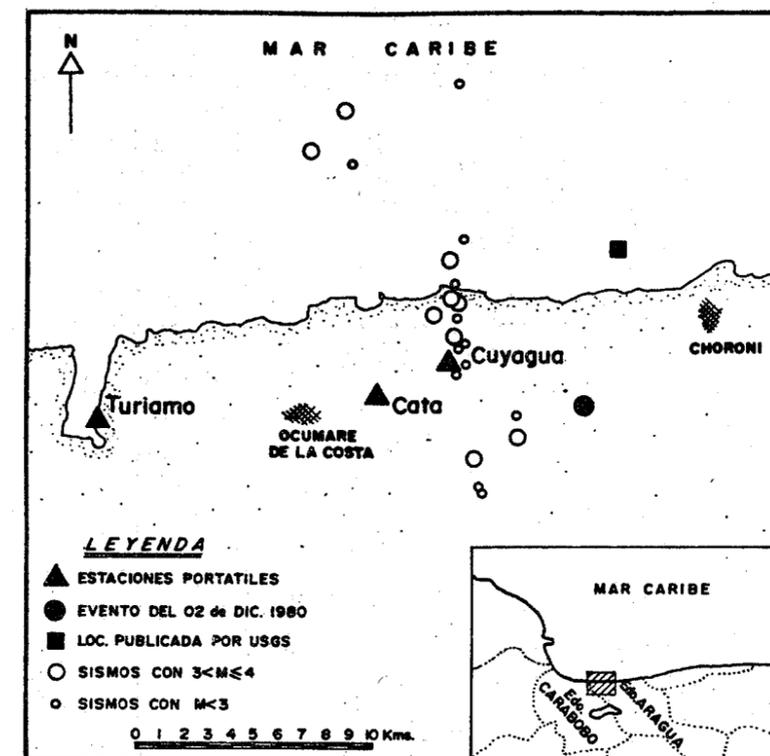


Figura No. 1. Localización de los eventos del enjambre y relocalización del sismo de magnitud 4.1, ocurrido el 02-12-80

Para la determinación hipocentral se utilizó el programa de computación FASTHYPO de R.B. Herrmann (1979) adaptado a un minicomputador Apple y los datos de todas las estaciones sismográficas disponibles. El modelo de corteza utilizado en el programa para el cálculo hipocentral, se muestra en la Tabla No. 1.

Tabla No. 1  
Modelo de corteza

Profundidad (Km)	Velocidad (Km/s)
0.0	4.5
0.5	5.7
10.0	6.6
35.0	8.1

##### Los eventos con respecto del tiempo

Utilizando únicamente los datos registrados por la estación CAR, del Observatorio Cagigal, se aprecia que la secuencia sísmica se inició a las 19:07 GMT del día 25

de noviembre. En las próximas 24 horas se registraron 53 sismos y en total 98 sismos desde el inicio hasta la ocurrencia del evento principal, siete días después (02-12-80) a las 07:45 GMT, el cual obtuvo una magnitud MC=4.1. Otro evento de magnitud MC=4.0 ocurrió el 01-01-81.

La figura No. 2, muestra el número de eventos en los cuatro meses de adquisición de datos. En ella también se encuentra indicada la ubicación de los sismos principales con su magnitud correspondiente. Otros aspectos de la distribución con respecto del tiempo se han tratado de analizar en Salas (1989).

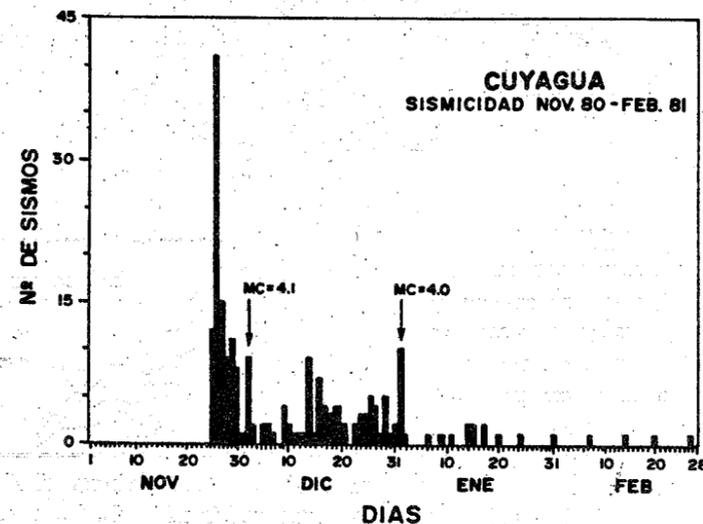


Figura No 2. Histograma del número de eventos registrados en la estación CAR, durante el enjambre de Cuyagua 1980-1981.

#### Calculo de la magnitud

Para el cálculo de la magnitud se utilizó la relación de Fiedler G. en Lee W.H.K. and R.J. Wetmiller (1978)

$$MC = 0.82 ( Q_v + \text{Log}_{10} V_z )$$

donde MC es la magnitud Richter para el caso de ondas corpóreas P registradas en la componente vertical,  $Q_v$  es un factor función de la distancia y la profundidad del hipocentro y  $V_z$  es la velocidad de oscilación de las partículas del suelo originadas por las primeras ondas P.

En Salas (1989) se presenta un listado completo de magnitudes calculadas durante toda la historia sísmica instrumental de la región de Cuyagua, parte de la cual fue utilizada para este trabajo.

El rango de magnitudes que registró la estación CAR con el equipo Benioff en su componente de periodo corto vertical (SPZ) fue entre 1.7 y 4.1. Es de hacer notar la ocurrencia de dos eventos mayores; en primero con magnitud MC=4.1 el día 02-12-80 y el segundo con magnitud MC=4.0 el día 01-01-81. Estos dos sismos con intensidades epicentrales de 6 en la escala de Mercalli-Modificada, alarmaron a la población y sus efectos se sintieron además en Maracay, Valencia, Puerto Cabello y Caracas.

#### Calculo del valor de "b"

Una vez determinadas las magnitudes de los 207 eventos registrados en la región de Cuyagua, se calculó el valor de b de la gráfica del número acumulado de eventos de toda la secuencia contra magnitud MC, dada por la expresión (i).

Los parámetros de la relación frecuencia sísmica-magnitud se determinaron por el método de los mínimos cuadrados. Para los datos sísmicos del enjambre de Cuyagua (nov 80-feb 81), utilizando sismos con MC mayores de 3.0 y con intervalo de clase de 0.1, se obtuvo la relación:

$$\text{Log}_{10} N (\geq MC) = 6.076 (\pm 0.592) - 1.473 (\pm 0.045) MC$$

La figura No. 3 muestra la disposición del número acumulado de eventos contra magnitud.

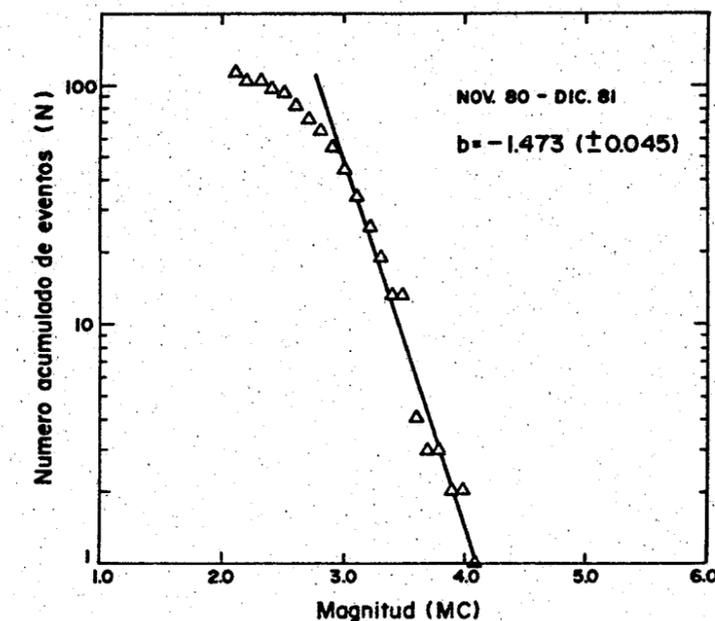


Figura No. 3. Gráfica del número acumulado de sismos vs Magnitud.

Tomando el evento del 02-12-80 de magnitud 4.1 como referencia a las características de la sismicidad del enjambre, se determinó la relación frecuencia sísmica-magnitud para antes y después de este evento principal; los resultados fueron los siguientes:

Antes del evento del 02-12-80 :

$$\text{Log}_{10} N (\geq \text{MC}) = 7.407 (\pm 1.431) - 1.951 (\pm 0.254) \text{ MC}$$

Después del evento :

$$\text{Log}_{10} N (\geq \text{MC}) = 5.331 (\pm 0.910) - 1.373 (\pm 0.112) \text{ MC}$$

Las figuras No. 4 y No. 5 muestran la disposición del número acumulado de sismos contra magnitud de las secuencias antes y después, respectivamente, del sismo principal del 02-12-80.

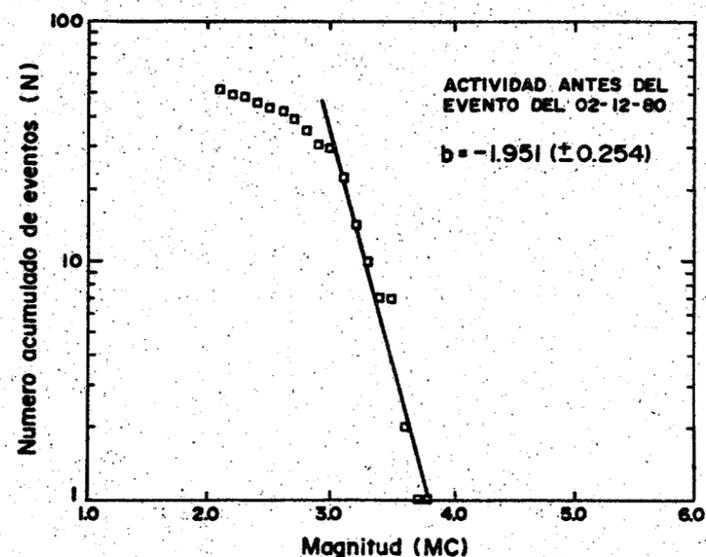


Figura No. 4. Número acumulado de sismos vs magnitud, antes del evento del 02-12-80

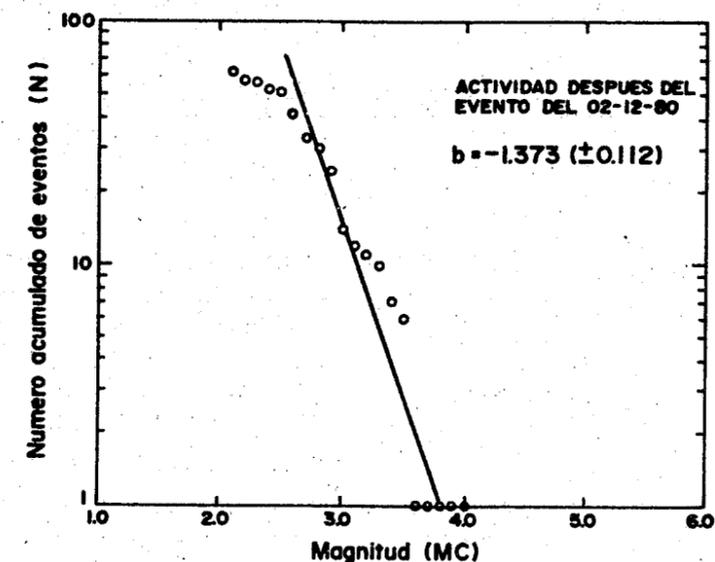


Figura No. 5. Número acumulado de sismos vs magnitud después del evento del 02-12-80

#### CONCLUSIONES

Se determinaron los valores de los parámetros de la relación frecuencia sísmica-magnitud para el número acumulado de sismos del enjambre de Cuyagua ocurrido entre noviembre de 1980 y febrero de 1981.

El valor del parámetro  $a$  es considerado como un índice de la actividad sísmica. El valor de  $b$  está directamente relacionado a las características sismotectónicas de la región.

	$a$	$b$
Enjambre	6.1 ( $\pm 0.59$ )	1.5 ( $\pm 0.05$ )
Antes del evento de MC= 4.1	7.4 ( $\pm 1.43$ )	1.9 ( $\pm 0.25$ )
Después del evento de MC= 4.1	5.3 ( $\pm 0.91$ )	1.4 ( $\pm 0.11$ )

## BIBLIOGRAFIA y REFERENCIAS CITADAS

- BOLT, B.A., J. STIFLER and R. UHRHAMMER (1977) "The Briones Hills Earthquake Swarm of January 8, 1977, Contra Costa County, California" Bull. Seism. Soc. Am., 67 (6): 1555-1564
- CASERTANO, I., R. CHAVES, A. BORGIA Y C. CIGOLINI (1979) "La crisis sísmica de abril-mayo 1930 en el área de Ciudad Quesada" Revista Geofísica IPGH, México, (10-11): 99-103
- GUTENBERG, B. and C.F. RICHTER (1954) Seismicity of the Earth and Associated Phenomena. Princeton Univ. Press., Princeton 310 p.
- HERRMANN, R.B. (1979) "FASTHYPO - A Hipocenter location program". Earthquake Notes 50 (2): 25-37
- KEILIS-BOROK, V.I., L. KNOPOFF, I.M. ROTVAIN and T.M. SIDORENKO (1980) "Bursts of Seismicity as Long-Term Precursors of Strong Earthquakes". Jour. Geophys. Res. 85 (B2): 803-811
- KLEIN, F.W., P. EINARSSON and M. WYSS (1977) "The Reykjanes Peninsula, Iceland, earthquake swarm of september 1972 and its tectonic significance". Jour. Geophys. Res. 82 (5): 865-888
- LEE W.H.K. and S.W. STEWART (1979) Principles and Applications of Microearthquakes Network. S.W. Smith (editor), "Avances in Geophysics... Methods of Experimental Geophysics", Academy Press, 345 p.
- LEE W.H.K. and R.J. WETMILLER (1978) Survey of Practice in determining magnitudes of near earthquakes. Part. 1. North, Central, and South America. World Data Center a Solid Earth Geophysics, NOAA. Report SE-9 : 91-93
- MALONE S.D., G.H. ROTHE and S.W. SMITH (1975) "Details of Microearthquake swarms in the Columbia Basin, Washington" Bull. Seism. Soc. Am. 64(4): 855-864
- Mc NALLY, K.C. (1982) "Variations in seismicity as a fundamental tool in Earthquake Prediction" Bull. Seism. Soc. Am. 72 (6): S 351-S 366
- MICHAEL A.J. and M.N. TOKSÖZ (1982) "Earthquake swarm as a long-range precursor to long earthquakes in Turkey". Geophys. Jour. Astron. Soc. 68: 459-476

- MIYAMURA, S. (1962) "Seismicity and Geotectonics. Zishin S 2 , 15 (1): 1-24
- MOGI, K. (1962) "Experimental studies on the occurrence of earthquakes" Bull. Earthq. Res. Inst. 40-41 :1-68
- MOGI, K. (1963) "Some discussions of aftershocks, and earthquake swarms - The fracture of a semi-infinite body caused by and inner stress origin and it relations to the earthquake phenomena", Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo Univ. 41:615-658
- REBOLLAR, C.J., A. REYES Y M. REICHLÉ (1982) "Estudio del enjambre de San Quintín, Baja California, México, ocurrido durante 1975". Geofísica Internacional 21 (4): 331-358
- REICHLÉ, M. and I. REID (1977) "Detailed study of earthquake swarms from the Gulf of California, Bull. Seism. Soc. Am. 67 (1): 159-171
- RICHTER, C.F. (1958) Elementary Seismology Ed. W.H. Freeman and Co., San Francisco. 768 p.
- SALAS R., H. (1989) "Estudio del enjambre sísmico de Cuyagua, Edo. Aragua, Venezuela, ocurrido durante 1980-1981. Departamento de Geofísica, Universidad Central de Venezuela. Trabajo de ascenso. Caracas. (en preparación)
- SUYEHIRO, S., T. ASADA and M. OHTAKE (1964) "Foreshocks and aftershocks accompanying a perceptible earthquake in Central Japan - on the peculiar nature of foreshocks" Papers in Meteor & Geophys. 15: 71-88
- SYKES, L. (1970) "Earthquake swarms and sea-floor spreading" Jour. Geophys. Res. 75 (32): 6598-6611
- TALWANI P.; D. STEVENSON; D. AMICK and J. CHIANG (1979) "An Earthquake swarm at lake Keowee, South Carolina" Bull. Seism. Soc. Am. 69 (3): 825-841
- WELKNER, P. (1965) "Statistical Analysis of Earthquake Occurrence in Japan, 1926-1956". Bull. Inter. Inst. Seism. Earthq. Eng. 2 : 1-27