

## **PERU**

### **A. CATALOGO DE TERREMOTOS - DATOS DE HIPOCENTROS E INTENSIDADES (Proyecto SISRA)**

Dr. Daniel Huaco

#### **Introducción**

El catálogo sísmico del Perú (versión 85 1) tiene dos secciones: el catálogo de Hipocentros y el de Intensidades, ambas partes constituyen un catálogo integrado donde se conjuga, con formato uniforme, la información histórica e instrumental disponible, homogenizada y adecuadamente clasificada.

Los Catálogos, tanto para los parámetros focales como intensidades, son el resultado de una combinación y selección de los catálogos de Daniel Huaco (1983) y de Leonidas Ocola (1984), preparados, respectivamente, para los Proyectos SISRA y SISAN.

El Proyecto SISAN, cuyo principal objetivo fue preparar catálogos sísmicos para Bolivia, Colombia, Ecuador y el Perú, bajo la dirección del Dr. L. Ocola, fue iniciado en 1973 en el Instituto Geofísico del Perú, bajo los auspicios de la Organización de Estados Americanos (OEA) y la coordinación administrativa del Centro Regional de Sismología para América del Sur-CERESIS. Los criterios generales, la organización y otros detalles de la composición del catálogo SISAN, pueden ser encontrados en Ocola (1983). H. Alemán, J. Shikiya, P. Huaco, W. Lescano, G. Espejo y Alcides Garro del Instituto Geofísico del Perú, han trabajado en la compilación de datos y su procesamiento. La Sra. Ursula Torres ha contribuido en la evaluación de intensidades

Independientemente, con el apoyo del Proyecto SISRA, se inició un nuevo catálogo para el Perú en 1982, cuando el catálogo SISAN aún no estaba disponible. Dado que la literatura histórica sólo describe los grandes eventos y sin mucho detalle para poder extraer información que permita cuantificar los parámetros focales, la primera tarea, y posiblemente la más importante, fue la de obtener más datos para el período de 1500-1900. Los señores L. Rodríguez y P. Huaco hicieron importantes contribuciones en la búsqueda de bibliografía histórica. Luego se preparó nomenclatura normalizada para propósitos del proyecto. Huaco (1984) cuantificó la información histórica dando énfasis a los parámetros de intensidad y magnitud macro sísmica. Fueron desarrolladas por Huaco, fórmulas para la magnitud macro sísmica.

El presente catálogo ha sido preparado con el aporte económico del proyecto SISRA de CERESIS y las contribuciones del presupuesto propio del Instituto Geofísico del Perú (1982-1983) y de la Institución Carnegie de Washington (Departamento de Magnetismo Terrestre). Una ayuda invaluable fue dada por los señores Rodolfo Alvarez, Efraín Fernández y María Esther Sebastián para programar la computadora e implementar el catálogo en el Sistema de Procesamiento Sísmico en Tiempo Real del IGP

### **Materiales usados**

Para el período histórico de 1500 a 1900, un número de fuentes que aparecen en las referencias han sido investigadas. La mayoría de los grandes eventos están descritos por más de un autor y no se puede identificar a un sólo autor de un catálogo organizado. Para dar crédito o identificar la fuente principal se ha escogido al autor cuya contribución ha sido la más importante para la evaluación de los parámetros hipocentrales. Considerando que el espacio asignado para el factor de calidad del tiempo de ocurrencia no tiene mucho valor, para este período, en la columna 40 aparece una letra que identifica la fuente-autor con una cita en el código de Fuentes al final de este informe

Para el período instrumental, varias fuentes han sido usadas. Ellas están identificadas en las columnas 14-16, conforme al Código de Fuentes. Para poder identificar un evento le ha sido asignado un número, precedido por las letras PE, que significan PERU. Este número es el nexos entre los catálogos de hipocentros y de intensidades

### **Métodos usados para desarrollar el Catálogo**

#### ***Parámetros Hipocentrales***

##### **a** Tiempo de origen -

El tiempo de origen ha sido dado por uno o más autores que describen los efectos del terremoto. En la mayoría de los casos, el tiempo tiene aproximación de un minuto, para el período histórico; las estimaciones del tiempo tales como "un cuarto de hora" fueron traducidos a minutos, y todos los tiempos de origen están dados en GMT. En los casos que están en conflicto respecto a la fecha y a la hora, se ha seleccionado la hora dada por el autor que ha proporcionado más información útil al describir el terremoto.

El tiempo de origen durante el período instrumental está dado por el Centro que informa del evento

b. Localizaciones (coordenadas epicentrales)

Para los eventos que ocurrieron durante el período histórico, las coordenadas epicentrales han sido estimadas en base a la distribución de intensidades, el área de percepción y, en particular, los daños y otros efectos. En algunos casos, una aproximación para el epicentro ha sido lograda con una precisión comparable a la de los epicentros anteriores a 1960.

c. Profundidad

Para grandes terremotos, no fue difícil estimar la profundidad de la fuente en base a la distribución del daño. Se supuso que las profundidades focales características no han cambiado, a escala macroscópica, durante los 400 años de la etapa histórica, en comparación con el siglo presente. En consecuencia, las profundidades observadas, desde 1960 a la fecha, son similares para aquellos eventos que ocurrieron desde 1500 hasta 1900. Para una interpretación física de profundidad, fue de mucho valor la descripción de ciertos recientes eventos grandes y el Mapa de Sismicidad para el Perú, para el período 1900-1977

En el caso donde la información existente corresponde a un solo lugar, las coordenadas epicentrales dadas son aquellas del lugar donde se observó la intensidad

Durante el período instrumental anterior a 1963 sólo se puede confiar en la profundidad para el caso de eventos destructivos. Todavía hay mucho que investigar en relación con este parámetro.

### ***Magnitud***

Las magnitudes sísmicas aparecen en cuatro columnas. La magnitud  $m_b$  representa la magnitud calculada con las ondas de cuerpo. La magnitud  $m_b$  identificada por IGP o DH ha sido calculada, usando sismogramas de Huancayo y La Paz (Bolivia) para estimar la función de calibración (.) y las Tablas dadas por Duda (1970). Los eventos para los cuales aparece IGP como fuente fueron publicados en varios informes, Huaco et al. (1973) y aquellos identificados por DH, corresponden a una serie de datos calculados por el autor y no publicados. Para las fechas después de 1963, el valor dado por el CGS ha sido usado.  $M_s$  corresponde a la magnitud calculada con ondas superficiales. En la columna MAG 1 está la magnitud de ondas de cuerpo que tienen un valor menos

confiable que  $m_b$  o que han sido estimados haciendo uso del nivel de detección (AND) En la columna MAG 2 la magnitud  $m_s$  es dada para propósitos de ingeniería La información puede ser derivada de  $M_s$ ,  $m_b$  o la magnitud macro sísmica  $M_m$ . Si la fuente es la columna  $M_s$ , una mayor precisión, con dos decimales, es dada. Si es una conversión de  $m_b$  a  $M_s$ , esto ha sido realizado usando la fórmula de Huaco (1980)  $m_b = 3.303 + 423 M_s$  Se ha dado preferencia a esta fórmula porque la de Richter, especialmente para eventos fuertes no da como resultado un valor de  $M_s$  que esté de acuerdo con aquel que se obtiene midiendo directamente las ondas superficiales. Por ejemplo, para un evento destructivo como aquel del Perú, el 31 de Mayo 1970, las magnitudes calculadas son  $m_b$  6.6 y  $M_s$  7.8 Con la fórmula de Richter el valor para  $m_b$  6.6 resulta en  $M_s$  6.5, mientras que con la fórmula de Huaco se obtiene  $M_s$  7.794, que es prácticamente igual a aquella observada.

Para el propósito de cuantificar los eventos históricos, la magnitud macro sísmica  $M_m$  ha sido introducida, en base a la intensidad y al área de observación. Para calcular  $M_m$  y para discriminar entre los eventos superficiales y de profundidad intermedia, la fórmula de Huaco-Rodríguez (1983) ha sido usada:  $M_m = 0.0896 I_o + 4.14712 \log(h) = 0.75156$  para profundidades  $0 < h < 33$  km y  $M_m = 0.47184 I_o - 5.36147 \log(h) + 13.02316$  para profundidades  $33 < h < 100$  km, ambas fórmulas para  $I \geq 6$ . Para  $I$  entre 2 y 6,  $M_m = 0.28145 I - 4.22306 \log(h) - 4.14673$ , para profundidades de  $33 < h < 130$  km, y  $M_m = 0.28707 I_o + 1.2003 \log(h) + 1.70319$  para profundidad  $0 < h < 33$  km. Para el período 1500-1900, la magnitud macro sísmica aparece en la columna MAG 2.

### *Intensidad*

La intensidad epicentral  $I_o$  en la escala MM ha sido determinada para la mayoría de los eventos destructivos, con la información macro sísmica que existe en la literatura. En casos donde la intensidad está expresada en otras escalas: Rossi-Fore, MSK, estas han sido convertidas a MM. En la interpretación y evaluación de efectos, en términos de intensidad, se ha considerado el material y tipo de construcción típica para el período cuando ocurrió el evento. Una buena referencia para las características de la construcción colonial es la ciudad de Popayán (Colombia) El terremoto que destruyó parte de Popayán en marzo, 1983, ha sido un evento de calibración que ha contribuido a mejorar la técnica para la evaluación de varios eventos históricos.

Debido a la importancia que tiene la frecuencia de la actividad sísmica en la evaluación del peligro sísmico, ningún evento para el cual hay alguna información, respecto a la intensidad, ha sido omitido, no obstante el grado de incertidumbre. Para los casos donde la intensidad ha sido observada los lugares han sido identificados con las respectivas coordenadas en el catálogo de intensidades

Algunos eventos tienen intensidades asignadas que no concuerdan con las observaciones y descripciones históricas; tales eventos se están re-evaluando. La intensidad máxima es el parámetro más difícil de correlacionar para los valores dados en los catálogos de Ocola (1984) y de Huaco (1983). Hay casos, especialmente para sismos fuertes, de discrepancias hasta de dos grados. Dado que la intensidad es subjetiva por definición, aún más considerando que su valor resulta de una descripción histórica, uno tiene que respetar la opinión de otro experto en materia de evaluación. Para informar al usuario del significado cualitativo de la intensidad, se han adoptado los siguientes criterios y códigos:

1. Si el autor es una sola persona, dos letras lo identifican.
2. Si son dos los autores y coinciden, cada cual está identificado con una letra, separado por una coma.
3. Si los dos autores están en desacuerdo, ambos autores son identificados cada cual por una letra, separada una de la otra por un asterisco.

## **B. CERESIS-91.H**

Ernesto Deza M

### **Introducción**

La actualización del Catálogo de terremotos del Perú para el período 1981-1991, para el proyecto SISRA, se ejecutó manteniendo el formato usado para el catálogo del período 1500-1980.

El personal que participó en la elaboración de la actualización, perteneció al Instituto Geofísico del Perú (algunos todavía laboran en dicha Institución); son los siguientes:

Coordinador: Ernesto Deza M.

Investigadores:  
L. Rodríguez  
P. Huaco  
M. Vásquez  
S. Rodríguez  
G. Marín  
I. Pérez-Pacheco  
E. Deza

El aporte económico para la actualización del Catálogo fue proporcionado por CERESIS. El Instituto Geofísico del Perú colaboró con personal y apoyo computacional.

### **Materiales usados**

Las fuentes de información Hipocentral y de Intensidades, han sido fundamentalmente: los Boletines Sismológicos del Servicio Sismológico del IGP, los Boletines EDR del USGS, los Boletines del International Seismological Centre (ISC), y, las referencias que se señalan al final.

### **Parámetros Hipocentrales**

Los parámetros hipocentrales de los sismos para el período 1981-1991, fueron escogidos considerando la ubicación del epicentro, si el epicentro se encuentra muy próximo o dentro de la red local (en el centro del Perú), se prefirieron los parámetros determinados por el IGP; salvo aquellos sismos cuyas magnitudes estuvieron por encima de 5.5, en este caso se consideraron, además de los parámetros determinados por el IGP, los parámetros determinados por el NEIC (USGS) y los determinados por ISC; de manera que para un solo sismo, se consignaron de ser posible, las tres determinaciones.

Las magnitudes  $m_b$ , consignadas en los boletines del IGP fueron calculadas en base al procedimiento estándar del cociente  $A/T$  de la máxima amplitud del primer grupo de ondas P, utilizando los registros de la estación NNA; para los últimos años, se utilizó una curva calibrada entre duración del sismo y la magnitud

## **VENEZUELA**

### **A. CATALOGO DE TERREMOTOS - DATOS DE HIPOCENTROS E INTENSIDADES (Proyecto SISRA)**

José Grases G.

#### **Introducción**

La preparación del catálogo para Venezuela, se inició con una cuidadosa revisión de los listados, las referencias bibliográficas y las fuentes documentales en las cuales pudiesen encontrarse datos confiables. En relación a los listados o catálogos de hipocentros registrados instrumentalmente se da información en el Reporte General.

Sobre los movimientos sísmicos que en tiempos históricos han ocasionado algún tipo de daño en localidades de Venezuela, existe una abundante literatura, aún dispersa, que proviene tanto de narraciones hechas por testigos presenciales como de noticias publicadas por terceros, informes oficiales, boletines sismológicos, noticias de prensa local y foránea, etc. Destaca en esa literatura la obra de Centeno Grau (1969), la cual contiene una muy completa compilación de relatos sobre los terremotos destructores, temblores sentidos y efectos secundarios acaecidos en Venezuela desde 1530 hasta 1949

Incluidas las áreas cubiertas por el mar, las cuales representan entre una tercera y una cuarta parte del total, la extensión del área sísmicamente activa que se ha estudiado es algo mayor que un millón de kilómetros cuadrados. En buena parte de ella, la historia política y la acción colonizadora desde los años del descubrimiento, estuvieron influenciados por España, Inglaterra, Francia y, en menor grado, Holanda, lo cual ha hecho más laborioso el trabajo de recopilación de datos.

En las áreas colindantes con la frontera occidental del país, resultó de particular utilidad el catálogo de terremotos colombianos del padre Ramírez s.J., en su segunda edición (1975) De igual modo, el catálogo de Robson (1964) sobre la actividad sísmica en el Caribe Oriental, fue de utilidad en el estudio de eventos sísmicos con epicentros ubicados en el Oriente del país

La preparación del catálogo estuvo a cargo de J. Grases. Los criterios de selección fueron discutidos con L. Ocola y V. Winkler. Los listados de hipocentros corrieron a cargo de O. Pérez, y la revisión y cotejo de la versión final fue realizada por M. Lugo. La iniciativa y el reconocimiento

de la importancia de este catálogo son de G Fiedler, iniciador de la sismología instrumental en Venezuela

## **Material utilizado**

### **1. Fuentes documentales**

Si alguna observación cabe a la obra pionera de Centeno Grau, es la ausencia de una indicación precisa sobre las fuentes de información que sustentan la compilación presentada en forma de catálogo; seguramente Centeno utilizó otros catálogos locales como los de Ibarra (1862), Ugueto (1935), Soto (1931), Febres Cordero (1929), etc.; reseñas sobre sismos destructores ocurridos en Venezuela, como las de Ahrensburg (1901), Ernst (1878, 1887, 1889), Franquiz Jiménez (1981), Ibarra (1862), Rojas (1879), Sievers (1905), etc., descripciones de testigos, informaciones hemerográficas, relatos de testigos presenciales y observaciones personales.

El cotejo sistemático de esas y otras fuentes de información, como son los trabajos publicados en el extranjero es una tarea pendiente que puede arrojar resultados promisoros. Es sabido que destacados venezolanos del siglo XIX fueron corresponsales de investigadores europeos interesados en los problemas sismológicos y ese flujo de información permite entender la riqueza documental sobre eventos venezolanos en catálogos como los de Perrey (publicados en Bélgica entre 1844 y 1872), el de Mallet (1852) y el de Milne (1911) aparecidos en Inglaterra y los de Rockwood (publicados en Norteamérica entre 1872 y 1886). Ocasionalmente se describen en ellos fenómenos peculiares de sismos venezolanos que no siempre figuran en las narraciones más conocidas de autores locales (véase Grases 1971). Por ejemplo, en el libro sobre predicción de sismos publicado por Rikitake (1976) se cita como caso de perturbaciones premonitoras captadas por los animales una descripción publicada en New York por Milne (1886, p. 303) del bien conocido episodio según el cual minutos antes del terremoto que destruyó Caracas el año de 1812, en un establo situado al Este de la ciudad un caballo enloquecido rompió las cercas y escapó hacia la parte alta del valle, hecho éste que fue interpretado como precursor del terremoto principal.

A partir del mes de febrero del año 1959 comienzan a aparecer en forma sistemática los Boletines Mensuales del Instituto de Sismología del Observatorio Cajigal bajo la certera dirección de G Fiedler; ellos constituyen el registro más completo de la actividad sísmica del país, con datos instrumentales e informaciones macro sísmicas relevantes de lo acontecido durante los 20 años siguientes. Sobre los registros del Cajigal hechos con anterioridad a 1959 sólo se conocen los listados de Ugueto (1935), Soto (1931), referencias ocasionales de Centeno (1969), noticias en la prensa local

generalmente asociadas a temblores sentidos y, más recientemente, la recopilación de notas hechas por Salas (1981) sobre movimientos sísmicos registrados y anotados en el Observatorio Cajigal entre 1891 y 1953.

Interesa señalar aquí que este Observatorio tiene sus inicios en septiembre de 1888. Paralelamente a las observaciones astronómicas y meteorológicas, se realizaban anotaciones de movimientos sísmicos sentidos en el área de Caracas. Según Salas (1981), en 1931 el Cajigal obtiene un sismógrafo Wiechert que, sin estar debidamente calibrado, registra esporádicamente sismogramas. En su catálogo, Centeno cita a partir de 1914 el Observatorio Cajigal (O.C.) como fuente de información de temblores sentidos en Caracas; a partir de 1933 añade información sobre duraciones tan cortas como 2 segundos, lo cual hace presuponer que fueron leídas en registros sismográficos. Sobre la interpretación de éstos queda mucho por hacer

## 2. *Precauciones en su Interpretación*

Información descriptiva como la anotada en el acápite anterior debe ser usada con extrema cautela, especialmente en los eventos más antiguos, pues la interpretación de descripciones imprecisas no es siempre inmediata; el descubrimiento de nuevas evidencias documentales puede facilitar una mejor comprensión del hecho\* Tal es el caso de la bien conocida narrativa en verso de Juan de Castellanos sobre importantes daños en la Isla de Cubagua a mediados del siglo XVI, que fue interpretada durante muchos años como un "terremoto desastroso", nuevas evidencias documentales dejan escaso margen de duda de que en realidad se trató de un huracán con lo cual se confirma la sospecha adelantada por Montessus de Ballore en 1915.

Cuidado especial debe guardarse igualmente con narraciones de segunda mano. Viene al caso citar la supuesta destrucción de Caracas, enriquecida con descripciones detalladas del número de víctimas, construcciones dañadas, etc dada por el Prof. Rockwood en el Journal of Science de 1883 como consecuencia del terremoto destructor que afectó Panamá y Colombia el 7 de septiembre de 1882, esto no se ajustó a la realidad ya que la información anterior fue negada por el naturalista Ernst, a la sazón radicado en Caracas, en carta publicada en la siguiente aparición de la misma revista. Estos y otros errores que no vienen al caso, pueden distorsionar las evidencias disponibles de un fenómeno donde las mismas son muy escasas

---

\*Por razones políticas de la época, el terremoto que destruyó Caracas el 26 de marzo de 1812 fue negado en Inglaterra; el periódico londinense "The Times" del 29 de mayo de 1812 desmintió la negatía, publicando relatos de testigos presenciales en la Guaira, que hoy en día constituyen valiosos testimonios (véase Grases 1970).

Apartando los eventos ocurridos en los últimos decenios, la evaluación cuantitativa de terremotos destructores es fruto de un estudio detenido de los efectos conocidos refiriéndolos a alguna de las escalas de intensidad de daños. Esta asignación de intensidades es altamente subjetiva, por lo cual resulta difícil mantener una uniformidad u homogeneidad de criterios sobre la severidad de las sacudidas que afectan una determinada área a lo largo de varios siglos. Sin embargo, en el estudio de terremotos pasados, salvo que existan registros instrumentales, éstas son las únicas evidencias que se conocen hasta el momento y es en base a ellas que se han podido adelantar evaluaciones cuantitativas (Fiedler 1961) y las que se indican en la Sección 3.2.1.

## **Métodos utilizados en la preparación del Catálogo**

### **3.1 Criterios para la Selección de eventos**

Los principales criterios que se adoptaron para la compilación del catálogo de Venezuela fueron los siguientes.

- i) Todo evento registrado instrumentalmente para el cual se poseían, por lo menos: fecha, hora GMT y coordenadas geográficas del epicentro. Por tanto, se incluyeron, entre otros, eventos de magnitud desconocida, así como aquellos reportados por una sola estación, poco confiables; igualmente, del catálogo se incluyeron eventos dados por la estación Cajigal (CAG) con azimut y distancia. Conjuntamente con los parámetros del hipocentro, se sintetizó la información macro sísmica conocida
- ii) Todo evento de origen sísmico cuya intensidad asignada de acuerdo a Brazee sea  $\geq VI$  y para el cual por lo menos se conocía el año, el mes y las coordenadas de localidades afectadas, en su casi totalidad también se conocía el día y la hora con aproximación de minutos, excepcionalmente esta aproximación fue de segundos (eventos sísmicos con información macro sísmica, reportada por CAG). En adición a estos, se listaron eventos sísmicos con intensidades asignadas de menor grado en la escala MM; algunos de estos resultaron estar relacionados con sismos de fuerte distancia (epicentros en países vecinos), habiéndose incorporado al respectivo catálogo.

La información preparada con los criterios anteriores dio lugar a un total aproximado de 5.000 entradas entre epicentros y localidades. Esta fue contrastada con los listados de epicentros de NOAA, ISC y otros, a fin de preparar dos catálogos: a) uno con los parámetros hipocentrales exclusivamente (una línea de información por sismo) y con indicación de la intensidad máxima y, b) otro donde sólo

se anotan aquellos eventos sentidos y/o destructores con indicación tanto de los parámetros del hipocentro como de las intensidades asignadas en las localidades afectadas por cada sismo

En lo que sigue se da información relevante sobre los datos contenidos en cada uno de esos catálogos.

### **3.2 *Catálogo de Hipocentros***

#### **3.2.1 Magnitud y Coordenadas Focales**

Los hipocentros contenidos en el catálogo pueden dividirse en 2 grupos. El primero, correspondiente a eventos del siglo XX, para los cuales el hipocentro, el tiempo de origen y la magnitud provienen de registros instrumentales. La selección de la fuente de información más confiable se atuvo a los criterios indicados en el reporte general, y que para el caso de Venezuela pueden resumirse en la forma siguiente:

- Para la región se estableció una lista con prioridades de confiabilidad en la asignación de epicentros; esta fue la siguiente: DEW; SYK; G-R; ISS (ISC); CGS (GS), todas las demás. Este criterio general fue mantenido, salvo casos en los cuales se dispusiese de información más confiable (estudios especiales sobre sismos individuales)
- Los eventos que se encuentran en un catálogo (por ejemplo, CGS-NOAA) y no en ISC, fueron incorporados.
- Los eventos que sólo son dados por LASA (LAD) se suprimieron, debido a que a menudo dan epicentros alejados de redes más amplias; se evita así el peligro de duplicaciones.
- El redondeo de centésimas en las magnitudes se hizo hacia la décima superior.

Cuando hubo más de una fuente y hubo discrepancias en las magnitudes y coordenadas focales, se siguieron criterios de selección discutidos con los sismólogos locales. Ocasionalmente fue inevitable anotar la magnitud dada por la fuente de autoría A, junto con las coordenadas focales dadas por la fuente de autoría B; de igual modo se retuvo la magnitud señalada por ISC como "minimum likely" con un asterisco (\*).

Las magnitudes  $M_C$  (magnitudes Caracas) dadas por Cajigal se anotaron como  $m_b$  ya que en general se trata de eventos cercanos y no se hizo distinción en el catálogo para  $M_L$ .

Para los eventos utilizados en 3.22 sin indicación de profundidad focal, ó con indicación "SUP", se les asignó una profundidad focal de 33 km.

El segundo grupo corresponde a eventos para los cuales no se dispone de registros instrumentales, tales como todos los anteriores al siglo XX y algunos del presente siglo. Para la determinación de  $M_s$  y  $h$  se analizó una muestra con isosistas bien definidas, midiéndose en ellas las áreas  $A_i$  ( $\text{km}^2$ ) en las cuales la intensidad es por lo menos igual a  $i$ . El radio  $r$  ( $\text{km}$ ) de una circunferencia de igual área, denominado radio equivalente, es

$$r_i = \frac{\sqrt{A_i}}{\pi} \quad (1)$$

Se admitió que la atenuación se puede describir por relaciones del tipo:

$$I_0 - I = C_1 + C_2 r + C_3 \log_{10} r \quad (2)$$

donde

$I_0$  = Intensidad en la región epicentral, generalmente desconocida;

$I$  = Intensidad a una cierta distancia epicentral  $r$  (km),

$C_1, C_2, C_3$  = Coeficientes de correlación ( $C_1 \approx -2.60$  a  $-1.20$ ;

$C_2 \approx 0.0041$  a  $0.0063$ ;  $C_3 \approx 2.2$  a  $1.68$ ) que dependen de las diferentes regiones del país y de la profundidad focal

Igualmente se determinaron los valores de  $B_1$  y  $B_2$  que relacionan  $I_0$  con  $h$  y la magnitud  $M_s$  según la expresión

$$I_0 = B_1 M_s^{1/2} - (h^{1/3} + B_2) \quad (3)$$

y los de  $B'_1$  y  $B'_2$  en la expresión aproximada

$$I_0 = B'_1 M_s + B'_2 \quad (3a)$$

donde  $B'_2$  es un valor que depende del rango de profundidades focales  $h$  (km) que se adopte

De las ecuaciones (2) y (3a) se obtiene la relación:

$$M_s = C'_2 r + C'_3 \log_{10} r + K_1 \quad (4)$$

donde.

$$C'_2 = C_2/B'_1 ; C'_3 = C_3/B'_1$$

$$K_1 = (C_1 - B'_2 + I)/B'_2$$

En gráficos que representan la ecuación (4) para diferentes rangos de profundidad focal e intensidades, se verificó el mejor ajuste del conjunto de parejas ( $i$ ;  $r_i$ ) correspondientes a un determinado sismo; este trabajo no fue hecho de forma sistemática y requiere revisión. Obsérvese que una vez conocida la ecuación (4), este procedimiento no requiere la asignación de  $I_0$ , parámetro generalmente incierto, y con lo cual se simplifica la tarea de los sismos que tienen epicentros submarinos.

De una manera general, se decidió asignar un epicentro, aún cuando sólo fuese de carácter tentativo, para cada uno de los eventos de esta historia de sismos; si no se dispone de epicentro instrumental, ni se han estudiado mapas de isosistas, se asignó como epicentro las coordenadas de la localidad con mayor intensidad.

### 3.2.2 Hora origen

La hora fue uniformada a G.M.T. Se estimó importante respetar las diferencias inevitables entre tiempos "instrumentales" y "macro sísmicos", estas diferencias usualmente son de unidades de minutos, aún cuando pueden ser de decenas de minutos (en especial, cuando se trata de sismos sentidos en horas de la madrugada y, particularmente, si la información proviene de centros rurales).

La hora origen sólo es conocida en aquellos eventos registrados instrumentalmente.

### 3.2.3 Intensidad Máxima y Tsunamis

A cada localidad mencionada como afectada por un sismo, se le asignó una Intensidad según la escala Modificada de Marcela (versión Brazeo). Aún cuando las incertidumbres en la asignación de intensidades son grandes, se considera más conveniente indicar un valor utilizando el mejor criterio posible con la información que se tenga a mano en el momento de hacer tal asignación y que indique cuál fue, como mínimo, la intensidad alcanzada.

El valor indicado como Intensidad maxima es el correspondiente al mayor valor de Intensidad asignado, es decir, no se intentó en ningún caso inferir Intensidades epicentrales

Los cuatro sismos que, de acuerdo a las descripciones conocidas, han generado olas marinas importantes en el Oriente de Venezuela (alturas de 2 a 7 metros, recesión e inundaciones del orden de 200 metros), sólo han afectado a Cumaná y parte de la región Sur del Golfo de Cariaco. Las áreas epicentrales de dos de estos eventos (15-VII-1853 y 17-I-1929) se sitúan en el Golfo de Cariaco y un tercero (1-IX-1530) en sus cercanías; del cuarto evento (fines del siglo XVI) no hay información suficiente.

### 3.3 *Catálogo de Intensidades*

#### 3.3.1 Asignación de Intensidades

La asignación de Intensidades se hizo en base a la escala modificada de Marcela (versión no resumida, "unabridged", de acuerdo a la ordenación de BRAZEE). Los criterios siguientes se aplicaron en forma sistemática

- a) A toda localidad mencionada en las descripciones conocidas se le asigna Intensidad, por insuficiencia de información este criterio puede conducir a errores, pero evita la omisión de localidades cuya importancia relativa no puede ser juzgada "a priori",
- b) En adición al comentario anterior, el criterio (a) es relevante cuando la indicación de "sentido", ó "fuertemente sentido", ó "daños", u otro, se extiende a más de una localidad; en estos casos, ocasionalmente se han asignado valores de Intensidad más probable con  $\pm \Delta I = 1$  en forma alterna, para reflejar las incertidumbres propias de información escasa y/o escueta;
- c) No se han interpolado, ni extrapolado efectos;
- d) En lo posible, se ha hecho la consideración de que las construcciones rurales son de calidad inferior a las urbanas, en este aspecto y siempre que se dispuso de datos estadísticos sobre los efectos en construcciones similares, se tuvieron presentes los criterios de la escala MSK en la versión del año 1964,

- e) La influencia que las condiciones locales tienen en la intensidad no siempre son de fácil identificación, los efectos secundarios (deslizamientos, inundaciones, etc.) identificados, no fueron incorporados en la asignación de la Intensidad,
- f) A los valores de intensidad afectados del signo (+) se les sumó un grado; si están afectados del signo (-), este fue ignorado.

### **3.3.2 Incertidumbres en la Asignación de Intensidades**

El empleo de las escalas de Intensidad debe ser hecho con extrema cautela, debido a la subjetividad en la asignación de Intensidades de daño. Esto quedó demostrado una vez más en el terremoto de Caracas, tanto en edificaciones singulares como en áreas densamente pobladas; en ambos casos se constataron diferencias importantes de apreciación entre especialistas en la materia.

Si se revisa con detenimiento la escala de Intensidades, incluso la versión reordenada de Brazeo, es fácil encontrar casos dudosos. En la Tabla N° 1 se ejemplifican algunos tomados al azar y sirven para ilustrar la incertidumbre que se presenta en el momento de asignar intensidades. Recuérdese que la asignación de Intensidades en una determinada localidad es hecha por asociación con observaciones o descripciones del tipo de la Tabla N° 1. En la reordenación de Brazeo (1978) se cuantificó cuán correlacionado se encuentra cada observación con el respectivo grado de Intensidad ("significante factor"  $\alpha$ ). El valor de  $\alpha$  es tanto menor cuanto mayor haya sido la correlación entre la observación y el grado de intensidad  $i$  al cual pertenece. Según Brazeo, las observaciones con valores de  $\alpha$  menores que la unidad, son importantes y su simple ocurrencia ya permite asignar la intensidad como consecuencia de la acción sísmica; cuando los valores de  $\alpha$  excedan la unidad, las correspondientes observaciones son corroborativas o caen entre dos grados de Intensidad.

De modo que estos ejemplos y otros muchos fáciles de encontrar, explican la duda explícita que representan asignaciones del tipo "VII ½", ó "entre VIII y IX", ó "VI", ó "X", etc., todas ellas de frecuente aparición en la literatura que trata las Intensidades de terremotos pasados e incluso esperados en el futuro. La solución propuesta por algunos autores consiste en efectuar un gran número de observaciones y asignaciones (con uno o más observadores) y asignar como intensidad del sitio o localidad, el valor medio. Esta proposición, eventualmente a considerar en futuros sismos, deja pendiente el problema en todos los sismos pasados donde esto no fue hecho en forma sistemática. Por otra parte, aun en casos donde se pueda reconstruir esa incertidumbre, como por ejemplo, en la distribución acumulada de las Intensidades asignadas por observadores diferentes en áreas de la región de Caracas afectadas por el terremoto del 29 de julio de 1967, el uso del valor medio ignora una información valiosa que es la dispersión de esa distribución; es decir, cuán incierta

fue la asignación de Intensidades en una determinada localidad y por tanto cuanto "peso" le corresponde en el momento de trazar las isosistas

Tabla N° 1

Grado de Intensidad		Descripción de la Observación	$\alpha$
IV	(r)	Bumping sounds were reported	1,6703
V	(a)	Rumbling thunderous, or subterranean sounds were reported	0,0069
VI	(b)	Roaring sounds were reported	0,0707
VII	(k)	Sound was reported similar to a sonic boom or an explosion	1,3717
IV	(m)	Trees and bushes were shaken slightly	0,3854
V	(d)	Trees and bushes were shaken moderately	0,1032
VI	(p)	Trees and bushes were shaken strongly	0,0707
VII	(n)	Trees and bushes were shaken violently. Trunks and branches were broken off	1,8798
II	(a)	Felt by few or some	0,0029
III	(d)	Felt by several. Felt quite noticeably on upper floors; by several or many indoors. Many people did not recognize it as an EQ at first	0,4877
IV	(e)	Felt by many. Felt by all in home or all in building	0,1446
IV	(f)	Felt outdoors by few or some	0,1504
V	(g)	Felt by practically all .	0,1930
VI	(i)	Felt by all ..	0,2396
III	(a)	Delicately suspended objects swing	0,0287
IV	(a)	Objects were disturbed	0,0184
IV	(d)	Hanging objects swing (no qualifying adjective)	0,1165
V	(b)	Hanging objects swing in numerous instances. Hanging objects or doors swing generally or considerably	0,0278
V	(e)	Small objects were shifted from position...	0,1479
V	(f)	Pictures were knocked against the wall or swung out of position	0,1788

El tema anterior representa un posible tema de fonde en discusiones futuras

### 3.3.3 Nombres y Coordenadas de Localidades

Se retuvo el nombre actual de las localidades, en algunos casos de nombres compuestos fue necesario abreviar por razones del campo limitado. No se siguieron reglas especiales en las abreviaturas; pero, si fue necesario distinguir localidades de nombre idéntico situadas en estados (división política) diferentes ya que esto dió lugar a confusiones enexcusables en otras

investigaciones. En cualquier caso, las coordenadas geográficas resuelven adecuadamente este problema.

Cada una de las localidades citadas debe ir acompañada de sus respectivas coordenadas geográficas. En el catálogo preparado para SISRA se considera probable la existencia de errores debidos, por lo menos, a las siguientes razones. (i) el problema de la repetición de nombres (por ejemplo, hay localidades en Venezuela cuyo nombre se repite más de 30 veces como: San José, San Pablo, Coroza, Las Mercedes, etc.); (ii) cambios de grafías; (iii) errores en la lectura de las coordenadas en los mapas

Las coordenadas geográficas de localidades pertenecientes a países vecinos fueron dejadas en blanco, a posteriori esta información se recabó de cada país.

Las principales fuentes de información consultadas han sido: Atlas de Venezuela (1971, 1979); The Times Atlas of the World (1973); Gacetilla de Nombres Geográficos, N° 5 (1977), Mapa de Carreteras de Venezuela, Lagovén (1977) Sin embargo, existen algunas lagunas de información en cuanto a las coordenadas geográficas de localidades mencionadas

Se han identificado varios casos de sinonimia, con frecuencia asociados a cambios de asentamiento, precisamente por el efecto de sismos. Por ejemplo, en el Estado Táchira, CAPACHO VIEJO fue destruido por el terremoto de 1875 y posteriormente reconstruido bajo el nombre de LIBERTAD, inmediatamente después de ese sismo, se fundó INDEPENDENCIA 3 km al Este de CAPACHO VIEJO, subsistiendo hasta hoy en día las dos poblaciones. Algo similar ocurre en el mismo Estado a raíz del terremoto de 1849 cuando, debido a la destrucción de LOBATERA, se funda en el sitio de LA SABANA GRANDE el actual MICHELENA. En el Estado de Mérida, SANTO DOMINGO existía a mediados del siglo XVIII y, a consecuencia del terremoto local de 1834, se traslada en 1838 al sitio de BELLA VISTA que hoy ocupa.

### PLANES PARA LA ACTUALIZACION, MODIFICACION Y EXPANSION DEL CATALOGO

La experiencia demuestra que compilaciones como las de este Catálogo no pueden considerarse definitivas, ya que es muy probable la existencia de otras fuentes documentales con información desconocida hasta el presente. Por otra parte, la calidad de la información es susceptible

de mejoras Los planes para la actualización del catálogo se pueden dividir en las tres partes siguientes

- a) Recuperación de información que contempla: (i) acopio de narrativas sobre los efectos de sismos pasados, (ii) revisar ordenadamente los registros existentes en el Cajigal; (iii) incorporar al catálogo eventos sísmicos de los últimos años,
  
- b) Complementación de información en lo cual está prevista (i) evaluar sismos históricos, particularmente del siglo XIX, que aún no se han incorporado al catálogo; (ii) contrastar los catálogos de países vecinos con información no contenida en el actual catálogo de Venezuela, con fines de complementar la información; (iii) efectos secundarios concomitantes;
  
- c) Mejorar la Calidad de la información, lo cual requiere. (i) la reevaluación sistemática de los parámetros hipocentrales de sismos históricos, por procedimientos diferentes al descrito en la

Sección 3.2 1 (correlación con áreas sentidas y relaciones diferentes a la ecuación 4), (ii) verificar las coordenadas de las localidades.