

FIGURA 1.17 SISMOS NO ASIGNADOS PARA BOGOTÁ R=200 KM

ción de la amenaza sísmica local, modelación dentro de la cual dos parámetros básicos son la frecuencia media de ocurrencia y la magnitud última  $M_u$ .

La simplificación del modelo a partir de las fallas del estudio neotectónico (Vergara et al, 1996), conduce a las fuentes sismogénicas siguientes: Romeral, Palestina, Chapetón, Mulatos, Trigo-Bituima, Vianí, Ibagué, Cucuana-Rio Bogotá, Cambao-Cambras, El Chocho, Servitá-Santa María, Guaicáramo, Yopal, Soapaga.

### 1.3.1.3 Aspectos generales sobre la sismicidad

Puede encontrarse una clara correlación entre el número de sismos  $N$ , que ha igualado o superado una magnitud  $M$  en una fuente sismogénica y la magnitud (Richter, 1958). Richter empleó este concepto usando datos en su investigación que provenían de varias fuentes alrededor del mundo. Gran número de estudios posteriores, hechos ya para diferentes fuentes sismogénicas, han mostrado la validez de este concepto y a menudo se habla de la ley de Richter, la cual se puede expresar así:

$$M = A - B \log N \quad \text{Ec. 1.1}$$

En esta expresión,  $N$  es el número de sismos que dentro de la muestra estudiada, igualan o superan a una magnitud de referencia  $M$ , mientras que  $A$  y  $B$  son parámetros

ligados a la magnitud máxima a que puede conducir la muestra y a la distribución relativa de las magnitudes de ésta entre grandes y pequeñas.  $A$  y  $B$  se evalúan por regresión.

El catálogo de 4516 eventos ha sido revisado por INGEOMINAS a la luz de la posible conversión de sus datos que la entidad estima se asemejan a la noción de magnitud  $M_L$  y la magnitud  $M_s$ . Luego de tal análisis se ha llegado a un factor de conversión que permite pasar de  $M_L$  a  $M_s$ , que es lo más apropiado para homogenizar la muestra y darle así la mayor consistencia posible. En consecuencia, para el estudio de la amenaza sísmica local se han empleado los valores  $M_s$  corregidos por INGEOMINAS de acuerdo con el procedimiento anotado.

Con respecto a la ecuación de Richter, la caracterización de los parámetros  $A$  y  $B$  para cada fuente sismogénica no siempre es posible. A veces el tramo de la fuente cubierto por el área de influencia de interés resulta muy corto y por tanto el número de sismos es muy pequeño. A menudo simplemente no se detecta un sismo dentro del tramo fuente. Otras veces puede resultar que la información disponible no cuente con datos sobre profundidad o que las magnitudes sean muy pequeñas.



Sobre la noción de magnitud última creíble, la cual desempeña un papel trascendental en la evaluación de la amenaza sísmica local, puede haber fuertes discrepancias en especial cuando se trata de evaluar dicho parámetro fuera de un contexto regional. En el presente caso se han utilizado conceptos generados a partir del parámetro A de las correlaciones y a partir de las observaciones y recomendaciones neotectónicas y de acuerdo con las condiciones locales y regionales.

### 1.3.1.4 Análisis de magnitudes

La primera aproximación para el estudio de Amenaza Sísmica local del área urbana de Santafé de Bogotá D.C. consistió en estudiar las fuentes sísmogénicas de la actualización del CSR aplicándoles la información del catálogo depurado que contiene 4516 eventos. La segunda, consistió en formular un modelo a partir de los estudios neotectónicos (INGEOMINAS-Universidad de los Andes, 1996-a) al cual se le aplicó la misma información de catálogo. Como se verá más adelante, los resultados de los dos modelos tienden a ser muy similares.

La Figura 1.18 muestra a título ilustrativo la recurrencia para toda la región, de los sismos no asignados, para la fuente Benioff Intermedia y para la fuente Benioff Profunda. Análisis similares se realizaron para todas las fuentes activas de la región.

De manera análoga se estableció la correlación de las magnitudes de los registros con el número de eventos ocurridos, para el modelo correspondiente al sistema de fallas geológicas del estudio neotectónico pero simplificado a la concepción de fuentes sísmogénicas antes explicado y de acuerdo con la ecuación 1.1.

### 1.3.2 Aceleración e intensidad local máximas probables

Para completar el estudio de amenaza sísmica para el área urbana de Santafé de Bogotá fué necesario hacer estimativos sobre las aceleraciones e intensidades máximas probables, así como de las probabilidades de ocurrencia de niveles máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento en terreno firme.

La aceleración local máxima probable se evaluó en terreno firme siguiendo procedimientos establecidos en la bibliografía. Para ello se hizo uso del modelo sísmo-tectónico y las fuentes sísmogénicas que se integran en un modelo que evalúa la aceleración local máxima probable anotada.

La intensidad local máxima probable dominante en el área urbana se evalúa a partir de la aceleración local máxima probable en terreno firme. Este estudio demuestra que existe un importante efecto local producido por el terreno blando y grueso en gran parte del área urbana.

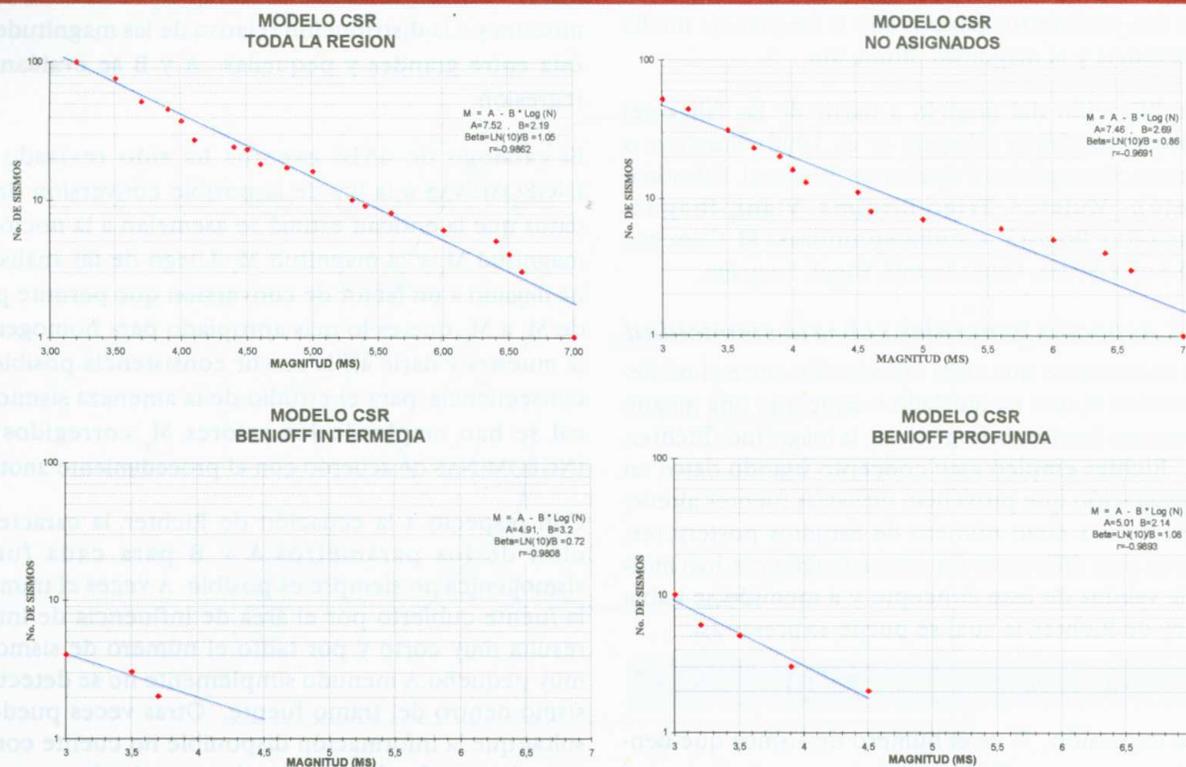


FIGURA 1.18 RECURENCIA PARA LA REGIÓN ESTUDIADA EN LOS SISMOS NO ASIGNADOS



En consecuencia, la intensidad local máxima probable dominante obtenida a partir de terreno firme se debe incrementar de alguna manera concordante con los efectos de amplificación encontrados durante la investigación.

Las fuentes sismogénicas que involucran una o varias fallas geológicas activas, conforman anchos corredores que para el estudio analítico se deben convertir en abstracciones caracterizadas por un eje hipotético de la traza, su longitud, la frecuencia y profundidad de los eventos asignados a la fuente, la magnitud última que se ha deducido para cada una de las fuentes y la posición y forma de la traza con respecto al área urbana de la capital de Colombia.

Establecidas las características geométricas y físicas del modelo, se introduce la noción de atenuación de las aceleraciones y se producen rupturas ficticias en las diferentes fuentes del modelo. Estas rupturas envían señales hacia el área urbana de Santafé de Bogotá, las cuales se van debilitando.

El modelo integra las señales provenientes de cada una de las fuentes y las adiciona en términos de la probabilidad de que generen determinado nivel de aceleración local; se llega a la aceleración local máxima probable en terreno firme producida como consecuencia de rupturas independientes de las diferentes fuentes sismogénicas que conforman el modelo.

### 1.3.2.1 Aceleración máxima probable

La aceleración máxima que un sismo futuro puede generar en una localidad determinada, depende de la magnitud del sismo, de la distancia entre el foco y el sitio bajo consideración, de la atenuación con la distancia y de las condiciones locales en el sitio de interés.

La magnitud máxima que puede generarse en una región depende esencialmente del ambiente sismotectónico regional, tal como se ha discutido anteriormente.

La distancia entre el foco del futuro sismo y el sitio de estudio está íntimamente asociada a la posición relativa de las fuentes sismogénicas regionales dentro de la zona de influencia. Por esta razón es necesario el estudio detallado de la sismotectónica regional.

La atenuación depende de dos fenómenos principales, cada uno de los cuales depende a su vez de complejas situaciones que todavía no han podido manejarse analíticamente sino por modelos de una sencillez tal, que su parecido con la realidad es a menudo casi inexistente; los dos fenómenos son los llamados atenuación geométrica y atenuación mecánica.

La atenuación geométrica condiciona la energía intrínseca del estado de esfuerzos que se desplaza ya que se refiere al proceso de dispersión de la energía a medida que se aleja de la fuente. La misma cantidad de energía pasa por áreas cada vez mayores a medida que las ondas viajan.

La atenuación mecánica condiciona el contenido frecuencial del tren ondulatorio puesto que involucra un proceso de fricción intergranular que se origina en la transmisión del estado de esfuerzos.

Ante las formidables dificultades físico-matemáticas que impone el proceso de atenuación, los ingenieros han recurrido a la interpretación semi-empírica de datos de aceleración registrados a diferentes distancias focales para magnitudes conocidas. En esta forma se ha establecido la aceleración  $a$  en función de la distancia por la expresión siguiente:

$$a = b_1 e^{b_2 M} (b_3 + R)^{b_4} \quad \text{Ec. 1.2}$$

En la cual :

$a$  = aceleración horizontal máxima local en cm/s/s (gals)

$b_1, b_2, b_3, b_4$  son constantes que se obtienen por regresión

$R$  = distancia epicentral en kilómetros

$M$  = magnitud  $M_s$  del sismo

Se ha anotado que en Colombia no se han podido realizar estudios de esta naturaleza porque no existían los acelerógrafos para el registro, aunque en épocas muy recientes comenzó a aparecer una información básica de la RSNC que permitirá en el futuro al menos iniciar estudios sobre el tema. Por esta razón fué necesario hacer uso de las muchas funciones de atenuación desarrolladas por investigadores extranjeros. Las siguientes ecuaciones son las más empleadas en la actualidad y fueron propuestas por Esteva, Donovan y McGuire, respectivamente.

$$a = 1230 e^{0.80M} (R+25)^{-2.00} \quad \text{Ec. 1.3}$$

$$a = 1320 e^{0.58M} (R+25)^{-1.52} \quad \text{Ec. 1.4}$$

$$a = 472 e^{0.64M} (R+25)^{-1.30} \quad \text{Ec. 1.5}$$