



En estas expresiones M está en la escala M_s , R en kilómetros y la aceleración horizontal "a" resulta en cm/s^2 , evaluada en terreno firme. Cada uno de los autores le establece a su propia función una medida de la dispersión como criterio para cuantificar la incertidumbre asociada al fenómeno. En este estudio se emplean las funciones de atenuación presentadas, aunque debe anotarse que existen muchas más y que cada autor pretende que la suya resulte más apropiada que la de los otros. Conviene anotar aquí que el término $(R+25)$ corresponde a la distancia focal.

En la Figura 1.19, se aprecian gráficas de las ecuaciones 1.3, 1.4 y 1.5, respectivamente, en comparación con la información disponible de eventos recientes en Colombia.

La integración de la sismicidad pasada y la sismotectónica regional se puede lograr mediante cualquier modelo que permita transferir al sitio de interés las aceleraciones que se derivan de sismos regionales que ocurran en el futuro dentro del área de influencia. Para el estudio regional de Colombia se empleó el llamado modelo de la "Línea Fuente" (Der Kiureghian et al, 1975). En este modelo se involucran variables como las magnitudes máxi-

ma y mínima; distancia entre la fuente de actividad sísmica y el sitio de interés; sismicidad media pasada; características de la fuente; distribución de la sismicidad pasada y atenuación de la aceleración. Estas variables se introducen en el modelo geométrico a la vez que se les da un cubrimiento por las incertidumbres asociadas, para luego evaluar la probabilidad de que se iguale o sobrepase determinada aceleración en función de períodos de retorno prefijados.

El modelo de la "Línea Fuente" parte de la independencia física de los eventos, lo cual es aceptable tal como ya se ha analizado en este informe. Este modelo ha sido empleado por varios grupos de ingenieros desde 1.979 en numerosos estudios para obras del desarrollo nacional de Colombia. También es de amplio empleo internacional.

Introducidos los parámetros al modelo Línea Fuente con un cubrimiento por incertidumbre a la función de atenuación del 90% se generan las curvas de aceleración horizontal local máxima probable en terreno firme (para el caso se supone que es la roca base de la cuenca de Santafé de Bogotá).

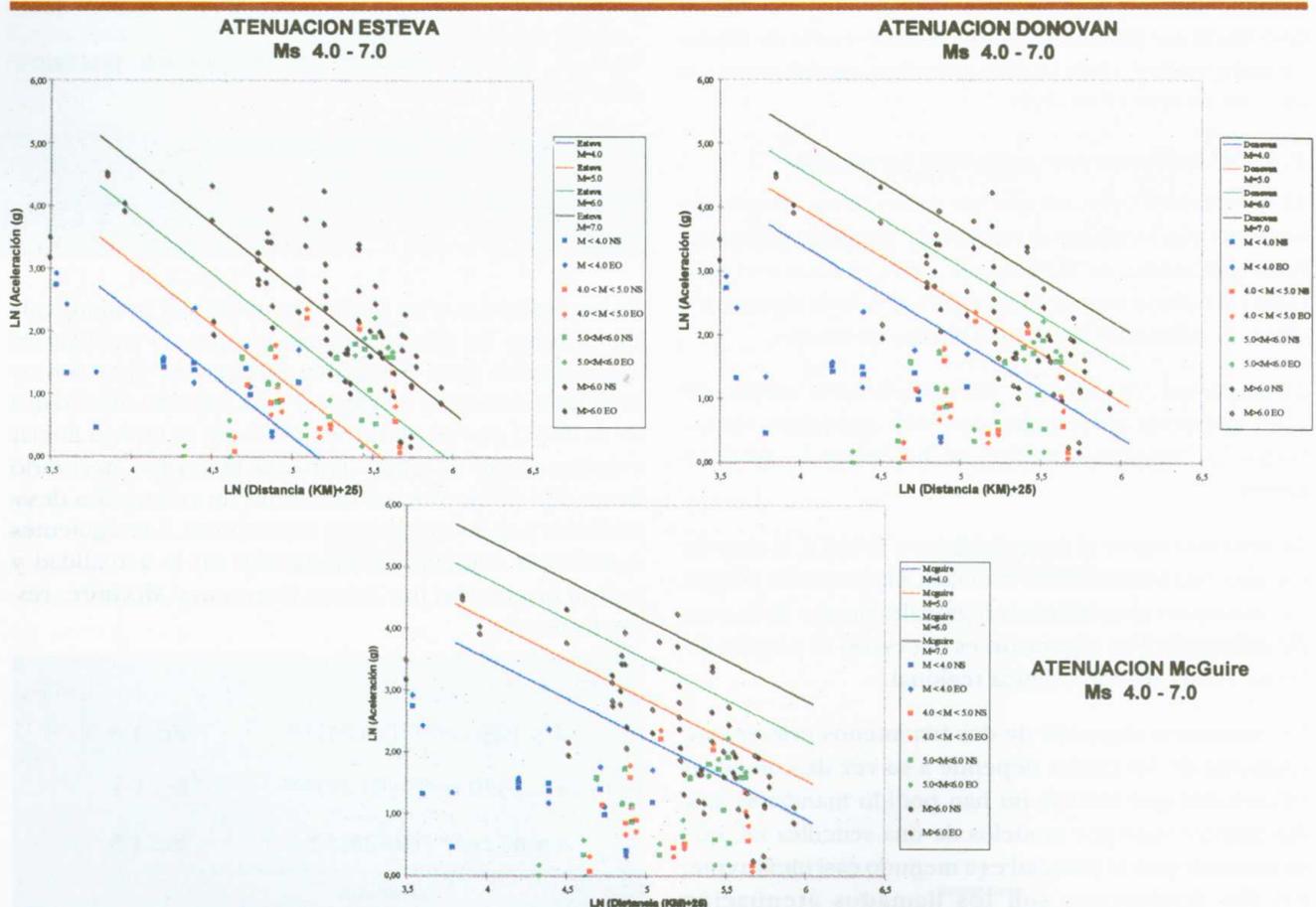


FIGURA 1.19 GRÁFICAS DE ATENUACIÓN DE LA ACCELERACIÓN DADAS POR ESTEVA, DONOVAN Y McGUIRE

En la Figura 1.20 se aprecia la aceleración horizontal máxima probable utilizando los datos estadísticos de la zona empleados en el presente estudio, pero correspondientes al modelo sismo-tectónico del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, CSR. En la Figura 1.21 se aprecia la aceleración horizontal máxima probable utilizando los datos estadísticos y las fuentes sismogénicas establecidas para este estudio.

El período de retorno T que aparece en las figuras debe entenderse más en términos probabilísticos que como el tiempo promedio de recurrencia de un sismo con aceleración horizontal máxima probable, tomado de la curva anterior. Según esto, debe entenderse T como un parámetro definido como $1/p$ donde p es la probabilidad que el valor de aceleración dado sea excedido en un año.

Para estructuras convencionales según el Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes (Presidencia de la República, 1984) el criterio de diseño consiste en aceptar una probabilidad de excedencia de $q_0 = 0.10$, por lo menos una vez en un lapso o tiempo de exposición de 50 años. Según esto el período de retorno de diseño para estructuras convencionales sería de 475 años.

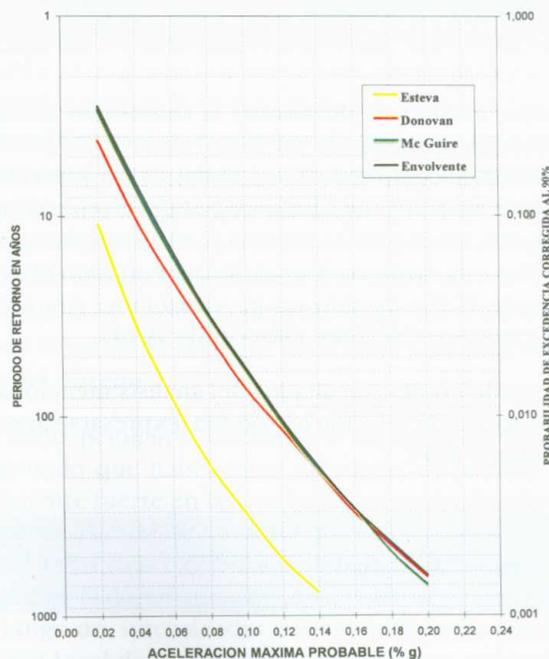


FIGURA 1.20 ACELERACIÓN LOCAL HORIZONTAL MÁXIMA PROBABLE OBTENIDA CON EL MODELO DE FUENTES DEL CSR

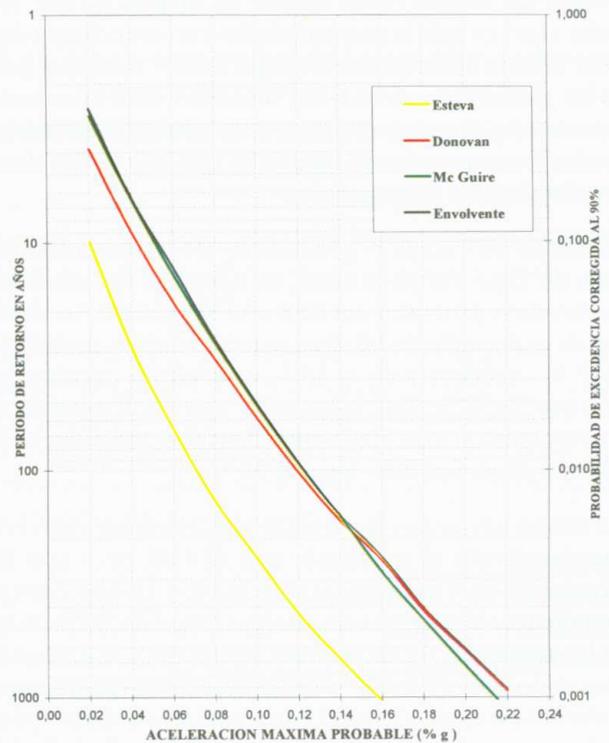


FIGURA 1.21 ACELERACIÓN LOCAL HORIZONTAL MÁXIMA PROBABLE OBTENIDA CON EL MODELO NEOTECTÓNICO DE ESTE ESTUDIO

Esto significa que la probabilidad de que el valor de a_0 correspondiente a un período de retorno $T = 475$ y leído de la curva a_0 contra T sea excedido en un año es de $1/475 = 0.0021$ o simplemente que el período de retorno de diseño es de 475 años. Lo anterior no debe confundirse con el concepto que cada 475 años en promedio va a ocurrir un sismo de aceleración máxima a_0 , lo cual es erróneo en términos precisos.

La escogencia del período de retorno apropiado para efectos de diseño o análisis exige gran criterio y es claro que lleva implícitas consecuencias económicas en el caso de diseños o importantes variaciones en el caso de análisis de edificaciones existentes. El tipo de obra, la vida útil, el peligro para las vidas humanas que implique su falla, el costo de repararla, el lucro cesante que se genera debido a que no sea operable y otros aspectos de igual importancia, son factores que deben tenerse en cuenta en la selección del período de retorno o de la probabilidad de excedencia que se desee aceptar para un lapso determinado.

No hay criterios claros al respecto del tiempo de exposición que se debe seleccionar para un estudio de microzonificación de una área urbana en vista de la enorme heterogeneidad de las construcciones que cubre una



investigación de esta naturaleza, en especial para una ciudad tan grande como Santafé de Bogotá. Lo que resulta claro es que la mayoría de las construcciones del área urbana corresponden a algo similar a las que podrían globalizarse dentro del término estructuras convencionales. No obstante, existen muchas plantas industriales y construcciones especiales que no cabrían dentro del término mencionado.

Teniendo en cuenta el predominio de las construcciones de tipo convencional se adoptan los mismos parámetros generales del CSR y se selecciona un tiempo de exposición de 50 años, manteniendo la probabilidad de excedencia en el 10 %, es decir un período de retorno de 475 años, asignando una confiabilidad al cubrimiento por incertidumbre de la función de atenuación de la aceleración igual al 90 %.

La definición de dos modelos sísmo tectónicos, uno correspondiente al empleado por el CSR pero con la sismicidad más actualizada disponible y el otro correspondiente a la misma sismicidad, pero tomando en cuenta los resultados de los estudios neotectónicos adelantados con motivo de este estudio, ofrecen las bases para estimar la aceleración local horizontal local máxima probable en la base rocosa de la cuenca de Santafé de Bogotá, la cual puede obtenerse de las Figuras 1.20 y 1.21. Sobre las abscisas se lee la aceleración y sobre las ordenadas el período de retorno el cual se obtiene a partir del tiempo de exposición aplicable.

En las condiciones anotadas de tiempo de exposición y confiabilidad del 90% en las funciones de atenuación de la aceleración, de la Figura 1.20 se obtiene una aceleración local máxima probable del orden de 0.185 g, mientras que de la Figura 1.21 se obtiene un valor igual a 0.19g. En consecuencia, la aceleración local horizontal máxima probable sobre la cuenca rocosa de Santafé de Bogotá se puede tomar igual a 0.19 g. Para efectos de análisis posteriores se decidió tomar un valor igual a 0.20g.

Los resultados anteriores muestran la robustez del modelo matemático empleado, en vista de que dos condiciones sísmo tectónicas regionales con significativas diferencias dan resultados prácticamente iguales.

1.3.2.2 Intensidades locales y regionales

La escala de intensidades pretende comparar sismos entre sí, con base en los efectos producidos en zonas determinadas. Es presumible entonces que un sismo de gran magnitud pero que ocurre lejos de una ciudad puede tener una intensidad similar a la producida por uno de menor magnitud pero que ocurra mucho más cerca. Este razonamiento cualitativo adolece de la falta de consideración del contenido frecuencial y de la duración

del sismo. El de mayor magnitud y más distante casi seguramente durará más y tendrá frecuencias dominantes más bajas.

En la actualidad los sismos mejor documentados son el de Popayán (INGEOMINAS, 1986) ocurrido el 31 de marzo de 1983, el de Murindó del 18 de octubre de 1992, el de Páez el 6 de junio de 1994, el de Tauramena el 19 de enero de 1995 y el de Calima en febrero 8 de 1995, también han sido objeto de estudios preliminares de zonificación por intensidades.

Es bastante lógico suponer que exista una correlación entre la aceleración producida por un sismo en una determinada localidad y la intensidad allí mismo; este tipo de correlaciones ha sido estudiada por muchos autores.

Puede decirse que si se logra evaluar la aceleración local en función del período de retorno, también puede evaluarse la intensidad local máxima probable. Debe anotarse además que Newmark y Rosenblueth (Newmark et al, 1971), estiman que la intensidad local presenta una mejor correlación con la velocidad de las partículas del medio que con la aceleración y proponen la siguiente expresión como correlación entre la intensidad local "I" en la escala de Mercalli Modificada y la velocidad "v" en cm/s de las partículas del medio:

$$I = \log(14v)/\log(2) \quad \text{Ec. 1.6}$$

La mejor manera de desarrollar la intensidad máxima probable sería siguiendo en forma directa un modelo probabilístico como el de "Línea Fuente" (Der Kiureghian et al, 1975). Desafortunadamente, la información de que se dispone en el país es mínima y no puede llevarse a cabo. Por esta razón aquí se emplea un método indirecto (Sarria, 1990), basado en las ecuaciones empíricas propuestas por McGuire (MacGuire, 1974).

De acuerdo con los resultados del análisis mencionado se deduce que la relación a/v podría expresarse aproximadamente por:

$$a/v = 7.6 \text{ (rango de 6.4 a 8.7)} \quad \text{Ec. 1.7}$$

donde a y v son la aceleración y velocidad de las partículas en el medio, respectivamente.

Ante las grandes incertidumbres presentes en relaciones del tipo analizado, para la zona donde se encuentra