

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 sísmo-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 sísmogénicas 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.

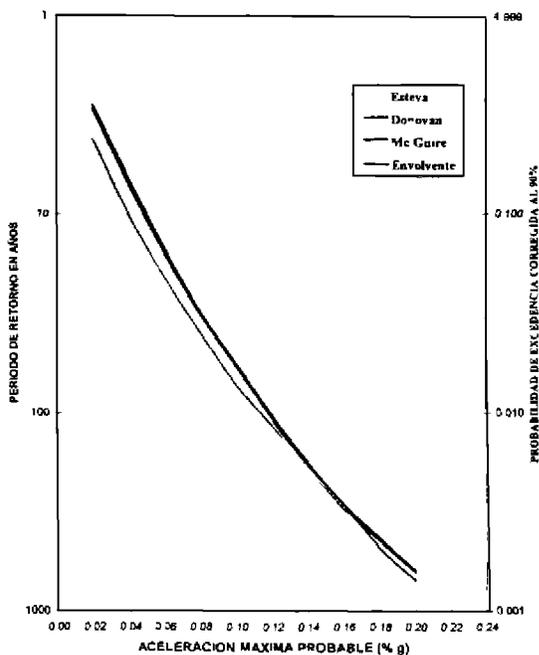


FIGURA 1.20 ACCELERACION LOCAL HORIZONTAL MÁXIMA PROBABLE OBTENIDA CON EL MODELO DE FUENTES DEL CSR

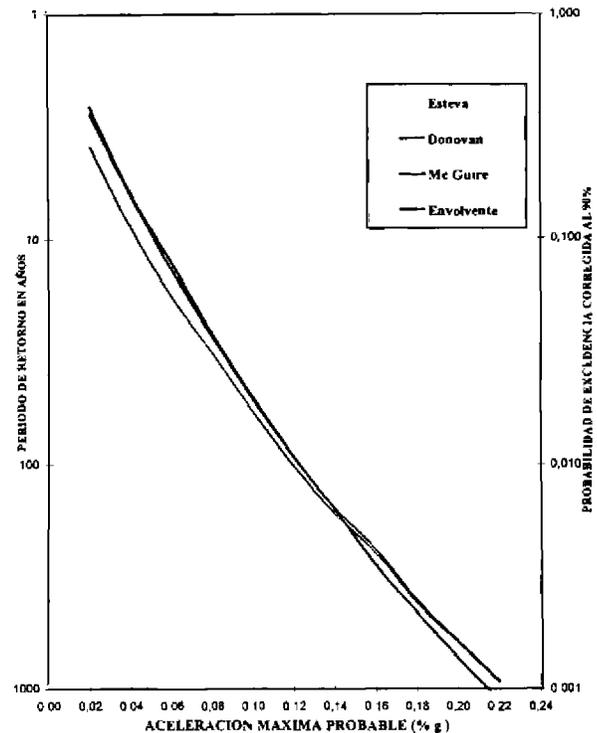


FIGURA 1.21 ACCELERACIÓN LOCAL HORIZONTAL MÁXIMA PROBABLE OBTENIDA CON EL MODELO NEOTECTÓNICO DE ESTE ESTUDIO

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 sismo 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 periodo 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 sismo 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 periodo 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 (Sarría, 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

ubicado el proyecto de la ciudad de Bogotá se podría tomar la aceleración como siete veces la velocidad  $a=7 \cdot v$  para el terreno firme. En este caso "a" está dado en cm/s/s y "v" en cm/s. Si se aplica una aceleración local máxima probable igual a 0.19g, equivalente a 186 gals, se obtendría una velocidad local máxima probable de las partículas del medio transmisor firme de aproximadamente 27 cm/s.

Obtenida la velocidad máxima probable, la intensidad máxima probable  $I_{mp}$ , en función del período de retorno se obtiene de la ecuación 1.6

$$I_{mp} = \log(14 v_{mp}) / \log(2) \quad \text{Ec. 1.8}$$

Aplicando  $v_{mp} = 27$  cm/s se obtendría una intensidad local máxima probable en terreno firme igual a 8.57. Este valor debe comentarse. En primer lugar, la escala de intensidades se expresa en grados enteros. En segundo lugar, el valor obtenido correspondería a terreno firme. Como de la globalidad del estudio de microzonificación del área urbana de Santafé de Bogotá resulta claro que existe una marcada amplificación de las ondas sísmicas desde el terreno rocoso hasta la superficie del terreno blando, el valor de 8.57 debe crecer.

Saber cuanto debe crecer  $I_{mp}$  entre el nivel de roca y el de la superficie del suelo blando es algo complejo de evaluar, si es que existieran los procedimientos para evaluar tal aumento. En este estudio se considera que ante la inexistencia de una relación de cualquier tipo entre la intensidad de un grado y otro en la escala de Mercalli Modificada y ante la diferenciación que debe existir entre la intensidad local máxima y la intensidad local dominante en una área urbana extensa como la de Santafé de Bogotá, el valor obtenido debe aproximarse al grado IX en la escala de Mercalli Modificada a nivel de superficie del terreno.

La concepción involucrada en la  $I_{mp}$  debe interpretarse pensando que habrá áreas sacudidas de manera especialmente fuerte en las cuales la intensidad local puede superar al grado IX, mientras que en otras áreas la intensidad local será más benigna resultando de grado más bajo que la dominante. En consecuencia, es posible que el rango de intensidades correspondiente a una aceleración local de 186 gals en la base rocosa, corresponda a una intensidad en la superficie del suelo que puede variar desde un grado superior al VIII hasta otro tal vez algo inferior al X, compatibles con una intensidad local dominante grado IX en la escala de Mercalli Modificada.

### 1.3.3 Componentes locales de la amenaza sísmica

#### 1.3.3.1 Generalidades de la amenaza sísmica en campo cercano

El problema de la amenaza sísmica aportada por fuentes sismogénicas locales continúa abierto, no existen metodologías exactas apropiadas para darle solución. Por ello, la aproximación debe hacer uso de conceptos un poco empíricos, que como es natural, pueden ser objeto de discrepancia.

Algunos factores que contribuyen a la imposibilidad de darle a la amenaza sísmica aportada por fuentes locales un tratamiento similar al de la aportada por fuentes sismogénicas regionales, aclarando que no son necesariamente los únicos ni se mencionan en orden de importancia, son los siguientes:

En primer lugar, si bien es cierto la traza y geometría de las fuentes locales puede ser conocida, generalmente su actividad reciente no admite estudios de recurrencia y en consecuencia, tal actividad no se puede introducir en un modelo probabilístico.

En segundo lugar, en el campo realmente cercano correspondiente a la distancia entre la fuente puramente local y el sitio de evaluación de la aceleración máxima en terreno firme, las ecuaciones de atenuación conocidas son inaplicables.

En tercer lugar, en el caso especial de fuentes locales relativamente menores como corresponde a Santafé de Bogotá y las fallas La Cajita, Mochuelo, Tunjuclito, Bogotá y Usaquen lo que para una porción del área urbana puede ser una contribución muy cercana, para otra porción del área urbana puede no ser así. La Cajita se considera activa, las otras potencialmente activas. La gran extensión de la ciudad de Santafé de Bogotá impone consideraciones muy particulares a fuentes locales con longitudes de falla relativamente menores.

En cuarto lugar, puede presumirse que los efectos de direccionalidad de una ruptura muy cercana sobre las construcciones resulten lo suficientemente importantes para tenerlos en cuenta al menos en las frecuencias de quiebre de los espectros de diseño, cosa que no ocurre con las fuentes regionales, más distantes.

Por último aunque una falla local origine un sismo moderado, podría implicar una ruptura en superficie que podría tener trascendencia sobre las construcciones a lo largo de la ruptura cosa que no ocurre con las fuentes regionales. Esta consideración puede tener mayor importancia en el caso de líneas vitales o servicios esenciales tendidos a través de la posible ruptura en superficie. El caso de tuberías de gas, oleoducto o poliductos es significativo.

### 1.3.3.2 Aspectos particulares de la amenaza sísmica por fuentes locales

En el numeral de actividad neotectónica, se aprecia la posición relativa de las fuentes locales que pueden afectar el área urbana de Santafé de Bogotá. Las fuentes La Cajita, Mochuelo y Tunjuelito tienen trazas con dirección aproximada norte-sur y quedan ubicadas al sur de la ciudad mientras que la fuente Usaquén, que tiene dirección inclinada con respecto a las otras, se desarrolla en la parte norte de la ciudad. La fuente Bogotá se extiende por el piedemonte de los cerros orientales con dirección aproximada norte-sur.

Durante un sismo ocurrido en 1645 se reportó la ocurrencia de licuación de suelos a lo largo del río Tunjuelo. Durante la década 1960-1970 ocurrió un sismo con intensidades locales en el sur de Bogotá que difícilmente superaron el grado VII en la escala de Mercalli, también se reportaron algunos casos de licuación aislada en el sur de la ciudad. Estos son factores importantes en cuanto a la amenaza sísmica local generada por los sismos someros y de epicentro muy cercano como los que se derivarían de rupturas de las fuentes La Cajita, Mochuelo y Tunjuelito.

La posición de las fuentes locales anotadas, muy cercana o en el área urbana de la ciudad, se convierten en un significativo elemento de riesgo. Afortunadamente, si su posición resulta muy negativa, sus dimensiones hacen pensar que las magnitudes máximas creíbles, difícilmente podrían superar el valor de 6.0. El no tener registros de la actividad de las fuentes bajo consideración no permite estimar una profundidad focal apropiada para una posible ruptura. No obstante, se podría pensar que tal profundidad focal oscila entre 10 y 20 kilómetros. La magnitud anotada y la profundidad focal estimada conlleva a pensar que de ocurrir una ruptura, las aceleraciones puramente locales resultarían elevadas.

La poca profundidad focal y su consecuente pequeña distancia epicentral para una construcción localizada cerca de la traza, permite pensar que el contenido frecuencial de las ondas que le llegarían a la construcción tendrían una alta frecuencia relativa. Esto produce

aceleraciones elevadas, aunque no necesariamente velocidades elevadas, y desplazamientos de las partículas relativamente bajos.

La posición relativa de las fuentes y las características frecuenciales posiblemente dominantes, deben generar espectros de respuesta de alta aceleración en períodos que casi seguramente variarían entre 0.2 y 0.6 segundos. Estos períodos no excitarían de manera especial suelos blandos y gruesos. Si lo harían sobre los terrenos de piedemonte, más delgados y firmes.

Como una microzonificación no puede incluir detalles tan inciertos como las posibles aceleraciones en la zona de falla, la aceleración local dominante por la posible ruptura de cualquiera de las fuentes sismogénicas de la zona urbana podría resultar en el orden de 0.25g o tal vez un poco superior. Obsérvese que no se habla de la aceleración local máxima si no de la aceleración local máxima dominante.

### 1.3.4 Acelerogramas de diseño

A pesar de que no existe una definición aceptada internacionalmente, se podría postular que un acelerograma de diseño corresponde a la mayor estimación de un registro de aceleraciones contra el tiempo y el contenido frecuencial de las partículas, que provendrían de las rupturas correspondientes a los sismos máximos creíbles en las fuentes sismogénicas que contribuyen a la amenaza sísmica local de una área urbana.

El mencionar las rupturas en plural, significa que una localidad puede ser sacudida por diferentes acelerogramas de diseño correspondientes a las fuentes sismogénicas dominantes desde el punto de vista de la contribución de la amenaza sísmica local.

Con base en los estudios sismológicos, neotectónicos y de amenaza se establecen las eventuales posibilidades de ruptura de fuentes sismogénicas que controlarían la respuesta sísmica de la zona bajo estudio, cada una de las cuales se asocia con un acelerograma de diseño. Estas rupturas hipotéticas provendrían de las siguientes fuentes (Tabla 1.6)

CLASIFICACIÓN	FUENTE	DISTANCIA (Km)
Lejana	Subducción	400
Regional o Frontal	Frontal de la Cordillera Oriental	60
Cercana	Local en el área de la ciudad	15 - 20

TABLA 1.6 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES ANALIZADAS

El acelerograma de diseño es una función en el dominio del tiempo que mediante técnicas de propagación de ondas se propaga desde una roca base previamente establecida, hasta la superficie o profundidades intermedias del subsuelo, para el cual estudios geotécnicos previos han permitido establecer sus características de estratificación, rigidez y amortiguamiento. La aceleración cambia con la profundidad y características mecánicas del suelo, y éste magnifica las amplitudes de la señal que son similares a las de los modos de vibración dominantes del subsuelo en su conjunto

### **1.3.5 Aproximación al establecimiento de los acelerogramas de diseño**

Seleccionar un acelerograma de diseño no deja de ser algo arriesgado. Si no se han estudiado lo suficiente la fuente que lo originará, la distancia entre la fuente y el área donde se desea establecer la respuesta sísmica y no se conocen las características de respuesta local del área bajo consideración, la selección del acelerograma puede resultar con diferentes errores, tanto más significativos cuanto menos sea la consideración de la integralidad del problema.

En el pasado y en la actualidad se han empleado fundamentalmente tres aproximaciones para establecer un acelerograma de diseño. La primera consiste en emplear acelerogramas registrados que se consideren adecuados previo análisis integrado de las variables principales envueltas; en este caso el registro se emplea intacto. La segunda consiste en modificar en duración, en contenido frecuencial o en amplitud, acelerogramas previamente registrados, se pueden modificar los tres parámetros, dos de ellos o uno solo. El tercer procedimiento general consiste en emplear acelerogramas sintéticos para lo cual hay diferentes técnicas

En el caso del estudio de la microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá D.C. se han establecido tres fuentes sismogénicas principales. La primera corresponde a la Zona de Subducción del Pacífico Colombiano, la cual es significativa únicamente por las características de respuesta de algunas partes del subsuelo de la ciudad. La segunda corresponde a la fuente Frontal de la Cordillera Oriental la cual resulta dominante en el caso de la ciudad. La tercera corresponde a las fuentes locales

#### **1.3.5.1 Acelerograma correspondiente a la fuente Lejana - Zona de Subducción**

El sismo de México, ocurrido en Septiembre de 1985, tuvo una magnitud del orden de 8 en la escala Ms. La distancia entre la zona de subducción que lo originó y Ciudad de México es cercana a 400 Km.

Las características de la zona de subducción colombiana y su posición relativa con respecto a la ciudad de

Santafé de Bogotá, son muy similares a las existentes entre la zona de subducción mejicana y Ciudad de México. Por otra parte, aunque existen diferencias significativas entre los estimativos sobre las características de respuesta sísmica del subsuelo de Bogotá y las respuestas sísmicas medidas en Ciudad de México, puede decirse que hay similitudes evidentes. Dadas las similitudes antes mencionadas, se consideró que el sismo de diseño a emplear en el caso de la evaluación de la respuesta sísmica del subsuelo en Santafé de Bogotá sería el correspondiente al acelerograma del sismo del 19 de Septiembre de 1985, registrado en la Ciudad Universitaria (UNAM)

El sismo de México fue registrado en un gran número de instrumentos. Algunos localizados relativamente cerca del epicentro y otros bastantes distantes. Entre estos últimos, los registrados en el área urbana de Ciudad de México son de enorme importancia porque corresponden a un sismo muy distante y extraordinariamente destructor sobre una muestra más o menos concentrada de edificios de la ciudad capital, cuyas alturas variaron entre ocho y veinte pisos

En Ciudad de México el sismo fue registrado en instrumentos colocados en suelo duro y en suelos blandos. Para el estudio de microzonificación del área urbana de Santafé de Bogotá, el registro que interesa es el obtenido en roca o suelo muy firme porque no ha sido afectado por las propiedades del suelo que lo pueden alterar de tal forma que sólo contienen las características geotécnicas locales, más no las de la señal en su viaje por la roca.

El acelerograma de México, como se lo denomina de aquí en adelante, corresponde a un registro con una aceleración máxima de 0.038g y una duración del orden de ochenta segundos. El acelerograma es extraordinariamente limpio en el sentido de que se asemeja a una función monocromática con período dominante en el orden de dos segundos. En la Figura 1.22 se aprecia el acelerograma de México seleccionado como representativo para la zona de subducción colombiana en referencia a la ciudad de Santafé de Bogotá D.C.

#### **1.3.5.2 Acelerograma correspondiente a la fuente Frontal de la Cordillera Oriental**

La fuente Frontal de la Cordillera Oriental puede dar origen a sismos de magnitud elevada, aunque algo menores que los de la fuente lejana. El plano de falla tiene las dimensiones apropiadas para que la magnitud máxima creíble llegue a un valor del orden de 7.2 en la escala Ms. La distancia focal entre el plano y una región hipo-

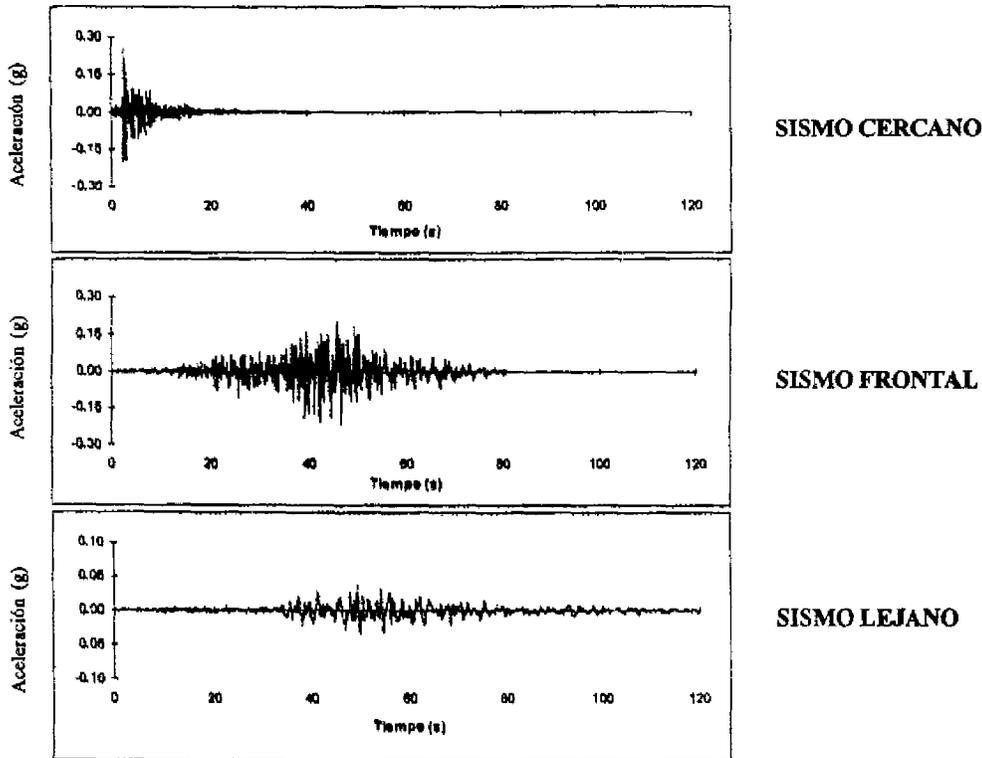


FIGURA 1.22 REGISTROS DE LOS TRES SISMOS DE DISEÑO ESTABLECIDOS

tética similar a un centro de gravedad de la ciudad de Santafé de Bogotá es de unos 60 Km

Para este caso se analizó el sismo de Tauramena que se originó por una ruptura de la fuente Frontal de la Cordillera Oriental, unos cien kilómetros al norte de Santafé de Bogotá. La magnitud del sismo de Tauramena fue de 6.5 en la escala Ms, con una profundidad focal de unos 20 kilómetros. Se consideró que la fuente Frontal debía tener tal homogeneidad que permitiera generar un acelerograma sintético para simular el sismo frente a Santafé de Bogotá, con una magnitud mayor, a partir del registro de Tauramena con magnitud inferior.

Para generar acelerogramas sintéticos existen varios procedimientos, desde establecer un espectro de diseño y formular la suma de muchas funciones circulares desfasadas en el tiempo, hasta emplear un registro real y establecer una función de Green empírica que se puede aplicar al plano de ruptura desde el cual arrancaría el acelerograma sintético produciendo registros elementales que se propagan desfasados en el tiempo hasta conformar el registro del acelerograma de diseño

En el presente caso se utilizó el método de FGE para generar un acelerograma sintético en "El Rosal", correspondiente a un sismo de magnitud 7.2 (longitud de ruptura, 80 Km), sobre el sistema de fallas del Piedemonte Llanero, a la altura de Santafé de Bogotá. El registro utilizado como base para la "reconstrucción" es el registro del sismo de Tauramena del 19 de Enero de 1995 (Ms ~ 6.5) en "El Rosal".

Parece razonable pensar que si un sismo de magnitud 7.2, sucede en esta zona, su mecanismo focal sea en falla inversa, como en el caso de Tauramena. En efecto, la deformación presente a lo largo de todo el Piedemonte Llanero colombiano es relativamente homogénea y corresponde esencialmente a un acortamiento perpendicular al eje de la cordillera, con una componente dextral menor.

La distancia entre el sitio del Rosal y los dos sismos no es la misma: 150 Km para el sismo de Tauramena y 100 Km para el reconstruido (en promedio). Para corregir parcialmente este efecto, se consideró la atenuación geométrica y se corrigió cada registro elemental según la distancia entre la fuente respectiva y el sitio de registro. La Figura 1.22 muestra el acelerograma de diseño generado por el método de la FGE.

### 1.3.5.3 Acelerograma correspondiente a la fuente local

La fuente local resultó la más complicada de caracterizar mediante un acelerograma de diseño. En el caso de Santafé de Bogotá se llegó a la conclusión de que el registro de Corralitos durante el sismo de Loma Prieta de 1989 se puede convertir en una muy buena base para establecer el diseño de fuentes locales

El sismo de Loma-Prieta (California) que dio origen al registro de Corralitos tuvo una magnitud aproximada de 7.0 Ms. El registro se obtuvo en un instrumento localizado a unos 10 kilómetros de la ruptura y tuvo una aceleración máxima en terreno firme un poco superior a 0.60g, con una duración total de fase intensa de unos 40 segundos. El mecanismo dominante fue de desplazamiento horizontal.

Después de varias discusiones con el grupo sismológico y tectónico, se llegó a la conclusión de que el contenido frecuencial de la señal mencionada se puede conservar y se debe reducir la aceleración máxima hasta 0.25g man-

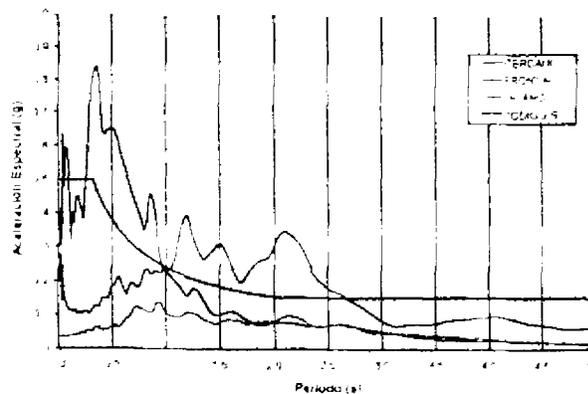
teniendo la duración. Haciendo estas modificaciones, el registro de Corralitos se tomó como acelerograma de diseño de las fuentes locales que se desarrollan en el área urbana de Santafé de Bogotá, las cuales corresponderían a las fallas La Cajita, Mochuelo, Bogotá y Usaquén. En la Figura 1.22 se aprecia el acelerograma modificado correspondiente

### 1.3.6 Espectros de respuesta de acelerogramas de diseño

Para efectos de comparación de los contenidos frecuenciales y amplitudes de los tres acelerogramas de diseño definidos se han calculado y graficado los espectros elásticos de respuesta correspondientes a un coeficiente de amortiguamiento con respecto al crítico del 5%

La Figura 1.23 presenta los espectros correspondientes los cuales se utilizan más adelante en el estudio mismo de respuesta dinámica del subsuelo y en el establecimiento de los espectros de diseño en las diferentes zonas de la ciudad.

ESPECTROS DE RESPUESTA PARA LOS TRES SISMOS DE DISEÑO



ESPECTROS NORMALIZADOS AL NIVEL DE LA ACCELERACION DEL TERRENO PARA LOS TRES SISMOS DE DISEÑO

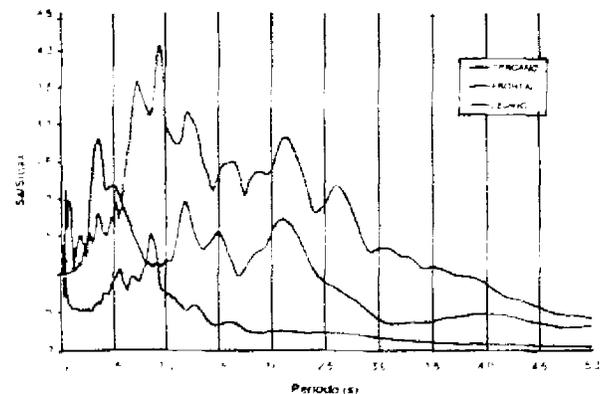


FIGURA 1.23 ESPECTROS DE RESPUESTA CORRESPONDIENTES A LOS ACCELEROGRAMAS DE DISEÑO

#### 1.4 REFERENCIAS

- Acosta J., Hernández O., 1991. "Fotointerpretación neotectónica al oriente del municipio de Pasca, Cundinamarca". Artículo presentado para publicación en la revista geológica de la UIS, Bucaramanga, 18 p.
- Aggarwal, 1983. "Presentday boundary and the motion of the Caribbean Plate relative of the South America". 10a Conferencia Geológica del Caribe, Cartagena (resumen), P. 156.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 1996. "Actualización del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes". Estudio presentado al Congreso Nacional para su aprobación.
- Bonilla M., Mark R., Lienkaemper J., 1984. "Statistical relations among earthquake magnitude, surface rupture length and surface fault displacement" BSSA, 74, 6, 2379, 2379-2411.
- Bullen K. E., 1985. "An Introduction to the Theory of Seismology". 4th ed. Cambridge University Press, 499 p. USA.
- CERESIS, 1985. "Catálogo de Terremotos para América del Sur". Ed. Askew, B., Algermissen, S.T., CERESIS, Vol.4., 269 p..
- Costa C., 1990. "Integración analítica y gráfica para el análisis del riesgo sísmico". MIC-89-II-04. Departamento de Ingeniería Civil Uniandes, Bogotá.
- Der Kiureghian A., Ang H. S., 1975. "A line source model for seismic risk analysis". Civil Engineering Studies, Structural Research No 419. University of Illinois. Urbana, USA.
- Espinosa A., 1993. "Actualización del Catálogo Colombiano de Sismicidad Histórica". Informe Interno, INGEOMINAS, Cali.
- Etchecopar A., Vasseur G. & Daigneres M., 1981. "An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault striation analysis" Jour. Struct. Geol., V. 3, 1, pp 51 - 65.
- INGEOMINAS, 1986. "El Sismo de Popayán". Estudio preparado por un comité técnico científico por recomendación de la Presidencia de la República de Colombia. Publicado por INGEOMINAS. Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS, 1995. "Estudios Sismológicos". Proyecto Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá, Subproyecto No 5. Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS - Universidad de los Andes, 1996-a. "Estudios tectónicos y neotectónicos", Proyecto Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá, Subproyecto No. 3. Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS - Universidad de los Andes, 1996-b. "Amenaza sísmica regional dentro de la microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá". Proyecto Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá, Subproyecto No. 14. Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS, 1996. "Proyecto CASA (Central and Southamerican, GPS Project)" Santafé de Bogotá.
- ITEC - ISA, 1988 "Actualización de la Información Sísmica de Colombia". ITEC Ltda., Ingenieros Consultores, Bogotá.
- McGuire R. K., 1974. "Seismic structural response risk analysis incorporating peak response regression on earthquake magnitude and distance". MIT Department of Civil Engineering, Research Report
- Newmark N.; Rosenblueth E., 1971. "Fundamentals of earthquake engineering". Prentice Hall.
- París G., Romero J., 1994. "Fallas Activas en Colombia". Boletín Geológico No 34 (1-3), INGEOMINAS, Santafé de Bogotá. Bogotá.
- Pennington W., 1981. "La subducción de la cuenca oriental de Panamá y sismotectónica del noroeste de Sur América". Proyectos Nariño II y III. Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, Bogotá.
- Presidencia de la Republica, 1984 "Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes". Decreto 1400 de 1984.
- Renzoni G., 1975 "Geología del Macizo de Quetame". Geología Colombiana, Universidad Nacional, Bogotá.
- Restrepo J J., Toussaint H F, 1989. "Terrenos alóctonos en los Andes Colombianos; explicación de algunas para-dojas Geológicas". V Congreso Colombiano de Geología; Bucaramanga. Memorias publicadas por INGEOMINAS.
- Richter C. F., 1958. "Elementary Seismology". W.H. Freeman and Company.
- Ritz J.F., 1991. "Evolution du champ de contraintes dans les Alpes du sud depuis la fin de l'Oligocène" Implications sismotectoniques Tesis de Doctorado, Univ Montpellier II, Francia
- Ritz J.F., Taboada A., 1993. "Revolution stress ellipsoids in brittle tectonics resulting from an uncritical use of inverse methods". Bull Soc. Geol., Francia.



Sarria A, 1990. *"Ingeniería Sísmica"*. Editorial Uniandes. Santafé de Bogotá.

SISRA I, 1986. *"Sismicidad Regional Andina"* Proyecto del Centro Regional de Sismología Para América del Sur, Ceresis-USGS.

Slemmons D., 1977. *"Faults and Earthquake Magnitude: State of Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States"*. Mackay Schools of Mines, University of Nevada, Reno.

Stepp J. C. 1972. *"Analysis of Completeness of the Earthquake Sample in the Puget Sound Area and Its Effect in Statistical Estimates of Earthquake Hazard"*. Proceedings of the Microzonation Conference, V.2. Washington University, Seattle.

Taboada A. 1993. *"Stress and strain from striated pebbles Theoretical analysis of strations on a rigid spherical body linked to a symmetrical tensor"*. Jour. Struct. Geol., V 15.

Toussaint H. F.; Restrepo J. J., 1989. *"Acreciones sucesivas en Colombia. Un nuevo modelo de evolución geológica"*. V congreso colombiano de geología; Bucaramanga, Colombia 1989. Memorias publicadas por INGEOMINAS.

Vergara H., 1989. *"Tectónica cuaternaria de la Falla de Ibagué: edad y algunos aspectos sedimentológicos del Abanico de Ibagué"*. INGEOMINAS, Ibagué

Vergara H.; Taboada A.; Romero J.; París G.I., 1996. *"Estudios neotectónicos para la microzonificación de Santafé de Bogotá"*. VI Congreso Colombiano de Geología. Sociedad Colombiana de Geología - INGEOMINAS Santafé de Bogotá.

Wells D., Coppersmith K., 1994. *"New empirical relationships among magnitude, rupture, rupture width, rupture area and surface displacement"*. Bull. of Seismological Society of America, Vol. 84.