Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

CONCEPTO TECNICO No. CT- 4155 de 2005

Revisión de Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas Artículo 7 - Decreto 074 de 2001

1. INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE:	Dr. JAIME RODRIGUEZ AZUERO Curaduría Urbana No. 5
LOCALIDAD:	La Candelaria
BARRIO:	La Concordia
PROYECTO:	**Reforzamiento Estructural Subestación Concordia**
UPZ:	94 La Candelaria
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	Unión Temporal EVSC-Edgar E. Rodríguez G
FECHA DE EMISION:	Junio 22 de 2005

2. ANTECEDENTES

De acuerdo con el Decreto 074 del 30 de enero de 2001, por el cual se complementa y modifica el Código de Construcción de Bogotá, D.C., se identifican los límites de Microzonificación Sísmica de Bogotá, D.C. y se adoptan los espectros de diseño, se establece que las construcciones y edificaciones de cualquier índole que se levanten en Bogotá, D. C. o que sean ampliadas, adecuadas o modificadas en forma tal que conlleven intervención estructural, deberán diseñarse y construirse dependiendo de la zona en la cual se encuentren según la Microzonificación Sísmica, acogiendo al efecto los espectros de diseño y sus coeficientes espectrales adoptados para cada zona.

Por otra parte, el artículo 5 del Decreto antes mencionado establece que podrán utilizarse espectros sísmicos de diseño diferentes a los definidos en dicho decreto, siempre y cuando se definan unos efectos locales particulares para el lugar donde se encuentra localizada la

edificación, utilizando estudios de amplificación de las ondas sísmicas que se realicen de acuerdo con lo prescrito en los ordinales (e) a (i) de la sección A.2.9.3 del Decreto 33 de 1998, o estudios especiales referentes a efectos topográficos, cuando sea del caso. Adicionalmente, el parágrafo único del artículo 7 del Decreto 074 de 2001, establece que la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias realizará la revisión de los Estudios Particulares de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas y emitirá concepto sobre el cumplimiento de los términos de referencia establecidos para la ejecución de dichos estudios.

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, D.C. – FOPAE - y la Sociedad Colombiana de Geotecnia – SCG – han acordado la realización de una asesoría técnica por parte de la SCG al FOPAE, en la Revisión de Estudios y Metodologías de Evaluación de Riesgo Sísmico y por Fenómenos de Remoción en Masa.

El presente concepto técnico corresponde a la **segunda revisión** realizada por la Sociedad Colombiana de Geotecnia del Estudio de Suelos y Geotecnia, el cual incluye el Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas, para el Proyecto Reforzamiento Estructural Subestación Concordia, Carrera 1 este # 13-51 de la ciudad de Bogotá D.C., en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO SUBESTACIÓN CONCORDIA

El estudio entregado para revisión por esta sociedad indica que el lote esta localizado en la Carrera 1 este # 13-55 en la ciudad de Bogotá, D.C., en el lote actualmente opera la subestación Concordia. Según el informe el lote se encuentra totalmente desarrollado con las instalaciones de la subestación que incluyen cimentaciones superficiales para edificios, equipos de patio tales como torres y transformadores, cerramientos con cimientos y muros de contención. El perfil estratigráfico y la profundidad a roca son variables, dado que se encuentra ubicado en la zona de piedemonte.

El lote del proyecto corresponde a las siguientes coordenadas planas aproximadas:

100050 N
101003 E

El Estudio de Suelos y Geotecnia para el lote del proyecto fue realizado por la firma Unión Temporal E.V.S.C., los Ensayos de Down-Hole fueron realizados por Luis Guillermo Córdoba Guío., y el Análisis de Respuesta Sísmica, que incluye el estudio particular de respuesta local

de amplificación de ondas sísmicas fue elaborado por el Ing. Edgar Eduardo Rodríguez Granados.

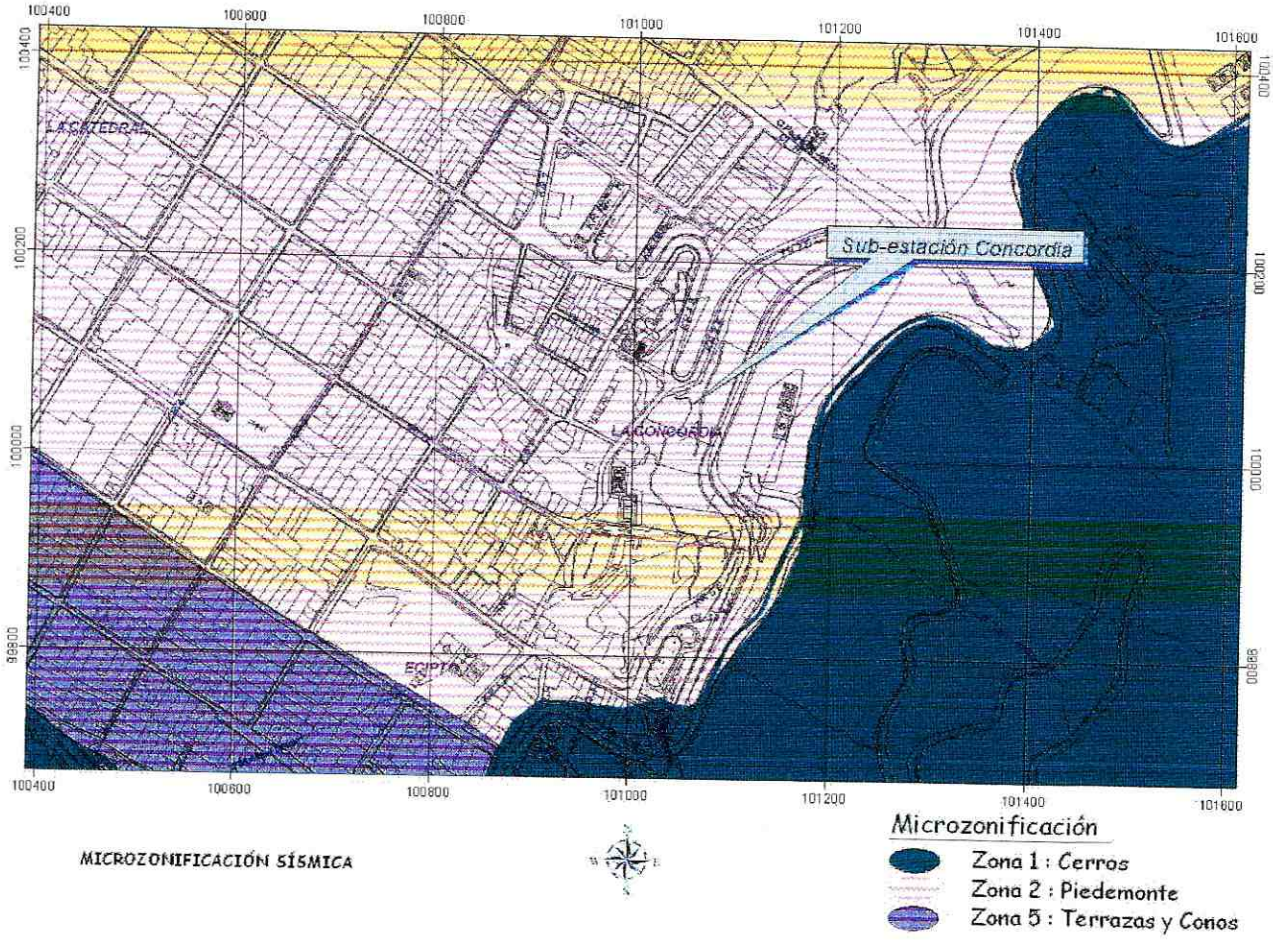


Figura 1 Localización General del Proyecto Sub-estación Concordia

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO DE FECHA ABRIL DE 2005

La revisión del informe Vulnerabilidad sísmica para líneas vitales (Subestaciones de Alta Tensión) Subestación Concordia, se hIzo a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 074 de 2001 para este tipo de estudios.

Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Sociedad Colombiana de Geotecnia

El propósito de la revisión es verificar que el estudio cumpla con los requerimientos del decreto, de manera que se pueda verificar de manera razonable la validez del espectro de diseño recomendado, cuando dicho espectro es diferente al espectro de diseño definido por el Decreto 074.

El concepto técnico No. 4122 de abril 22 de 2005 relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo se transcribe a continuación, con referencia a los requerimientos pertinentes del decreto antes mencionado.

4.1 Asignación de la zona del proyecto con respecto a la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

En el capitulo 3 del Anexo C del informe se define la localización del lote del proyecto de acuerdo con el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la zona de piedemonte, zona 2.. Esta ubicación esta de acuerdo con el Decreto 074 de 2001.

4.2 Para estos estudios, todos los datos de campo deben provenir de mínimo una perforación de 50 m en suelos blandos y se debe realizar un número suficiente de ensayos para caracterizar el perfil. Para complementar la información del perfil del subsuelo, cuando la profundidad de sedimentos sea mayor a 50 m, se puede consultar: estudios geofísicos, estudios geotécnicos, ensayos de campo y laboratorio y los estudios de zonificación incluidos en el proyecto de Microzonificación Sísmica de Bogotá.

Al respecto, los autores del estudio hicieron las siguientes actividades de exploración:

- *Geología*
- *Perforaciones y ensayos de laboratorio*
- *Refracción sísmica*

Es decir, utilizaron exploración directa como lo es la geología y las perforaciones y exploración indirecta como es la refracción sísmica.

Los resultados obtenidos por los diferentes métodos no son concordantes y no se hacen explicaciones al respecto. En otras palabras, no se explica porqué por ejemplo, el modelo geofísico (refracción sísmica) no es el mismo que el obtenido con las perforaciones ni el de éstas con la geología . Tampoco las perforaciones penetraron 5 metros en roca.

Veamos el detalle:

Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

El capítulo de Geología describe que " La subestación de Concordia se encuentra ubicada en el pie de una ladera de tipo denudacional-coluvial con inclinación de aproximadamente 10 a 15 grados..... y está constituida por suelos transportados recientes, no litificados y correspondientes a coluviones arcillosos y a rellenos antrópicos". (pag 8)

Los depósitos coluviales se describen en la página 6 como " suelos no cementados, compuestos por gravas y bloques arenosos embebidos en una matriz arcillosa de colores pardos y abigarrados. La fracción pétrea está compuesta por areniscas cuarzosas. Su espesor es menor de 4 metros. El comportamiento geomecánico está dado por la matriz".

En la misma página, en el párrafo anterior, se dice que " los sondeos llevados a cabo en el proyecto encontraron esta formación (Se refieren a la Formación Bogotá) como una arcillolita gris con moteados violáceos a una profundidad de 5 a 7 metros. El material arcilloso encontrado se clasificó predominantemente como arcillas de baja plasticidad (CL)".

Ahora bien las perforaciones realizadas fueron tres. Un sondeo mecánico a 12.7 metros de profundidad y dos sondeos manuales a 6.7 y 8 metros de profundidad.

La descripción de la perforación S-1 presentada en las páginas A-17 y A-18 indica que la arcillolita (roca como tal) se encontró a partir de los 10.75 metros de profundidad y no entre 5 y 7 metros. Si la roca empieza a los 10.75 y se llegó hasta 12.7, se tiene un espesor 1.95 metros en roca y no de 5 metros.

En el sondeo 2 (página A-19) se indica que la arcillolita inicia a partir de los 6 metros aproximadamente y el barreno llegó a 6 metros con lo cual se tiene un metro en roca y no 5.

En el sondeo 3 (página A-20) sucede algo similar, es decir, se encuentra la arcillolita a 6 ` metros y la perforación termina en 8 metros teniendo una penetración en la roca de 2 metros y no de 5.

En el anexo del " Estudio de Refracción Sísmica en las Subestaciones de Circo y Concordia", se afirma que " se detectaron 3 capas, la superficial que tiene una velocidad..... se correlaciona con suelos alterados y su espesor oscila entre 2.5 y 5.1 metros. La segunda capa correlacionable con guijos y bloques en matriz limo arcillosa tiene una velocidad ..... La capa mas profunda correlacionable con arcillositas de la

Formación Bogotá presenta velocidad.. con una profundidad de tope de 8.7 a 13.7 metros.

Así las cosas, la geología de superficie dice que el espesor del depósito coluvial es menor de 4 metros, las perforaciones indican que la roca está a profundidades entre 6 y 11 metros aproximadamente y encontraron entre la roca y el coluvial una zona que puede ser de roca meteorizada de un espesor de por lo menos 3 metros; o es coluvial?

La geofísca describe la segunda capa de tal manera que coincide con la descripción del coluvial pero en este caso llega a profundidades entre 8.7 y 13,7 metros.

Al fin de cuentas queda la gran duda de cuál es la profundidad a roca o entre qué rangos varía y en qué sitios y si esto se tuvo o no en cuenta para la propagación de ondas en el modelo. En la página A-47 se indica el perfil tomado para dicho modelo el cual indica que la roca está de 10.5 m en adelante. Pero dada la aparente variabilidad de la profundidad a roca, es esto correcto para todas las construcciones y en todos los sitios? Además las perforaciones no penetraron 5 metros en roca y no estando claro el espesor del coluvión puede ser que sean bloques y no roca.

Por lo anteriormente expuesto, la exploración realizada para obtener el perfil y propiedades del suelo NO CUMPLE con los requerimientos .

4.3 Realizar ensayos de velocidad de onda de corte, Vs, por medio de métodos de campo como down hole, cross hole y otros equivalentes.

Se presenta una anexo titulado " Ensayos downhole en las estaciones de Energía Eléctrica Concordia Y Circo"

Se menciona un capítulo titulado "Especificaciones Técnicas" el cual inicia:
" Los ensayos de crosshole...." lo cual no es cierto puesto que se hicieron ensayos downhole y ambos tipos de ensayos son completamente diferentes.

Lo que se puede inferir es que se hizo UN (1) ensayo downhole en la perforación de 12 metros compuesto de 7 mediciones a las profundidades 1.5,3,5,7,9,11 y 12 y no es cierto que se hayan realizado 15 ensayos como se dice anteriormente.

Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Sociedad Colombiana de Geotecnia

Se presentan dos tablas de resultados una indicando la " velocidad media" a las profundidades mencionadas anteriormente pero no se aclara si estas velocidades son compresionales (Vp) o de corte (Vs).

Luego se presenta otra tabla titulada "Perfil de velocidades de la subestación Concordia " en la cual se indican unos rangos de espesores o profundidades,, con sus correspondientes velocidades, las cuales son diferentes a las anteriores. Finalmente se presentan las conclusiones en donde se aclara que la primera tabla tiene las velocidades de corte y la segunda las "velocidades de perfil"

Posteriormente en el anexo de exploración geofísica ya mencionado se indican otros valores diferentes de velocidades de corte, en este caso 330 , 660 y 1340 en lugar de 380,520,560,580,600 y 780 m/seg.

Al parecer, pero esto no se aclara, el modelo geofísico asigna una velocidad de corte a la capa superficial hasta unos 2 metros de 330 a 380, al coluvión velocidades del orden de 500 a 660 y a la roca entre 780 y 1340 m/seg No se entiende cómo se obtuvieron velocidades para la roca si no se está seguro de haber penetrado en ella.

En conclusión aunque se hizo un ensayo downhole, no son claras las recomendaciones en cuanto a las velocidades que deben tomarse; se hace notar que en la página A-49 cuando se toman los valores de Vs para modelar, éstos son diferentes a los que se obtuvieron del ensayo downhole.

Los ensayos realizados no cubren el intervalo de profundidades necesarias para lograr una completa y correcta caracterización de los perfiles de los suelos, los ensayos deben alcanzar profundidades mayores para lograr tal fin. El estudio NO CUMPLE con este requerimiento.

4.4 Realizar ensayos dinámicos para determinar módulos de corte, G, y relaciones de amortiguamiento, D, sobre muestras inalteradas que cubran todo el intervalo de deformaciones (Velocidad de onda de corte en laboratorio, columna resonante, corte simple cíclico, triaxial cíclico, etc.).

No hay observaciones. Se hicieron ensayos de columna resonante y triaxial cíclico sobre una muestra inalterada localizada entre 8.5 y 9.10 m de profundidad. El estudio CUMPLE con este requerimiento.

Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Sociedad Colombiana de Geotecnia

4.5 Utilizar todos los acelerogramas del proyecto de microzonificación sísmica de Bogotá, en la obtención del espectro de respuesta en superficie.

Lo que contempla este criterio de verificación es que se utilicen los acelerogramas del proyecto de microzonificación de Bogotá con la obtención del espectro de respuesta en superficie y hacer análisis bidimensional para las zonas de cerros y piedemonte como es el caso que nos ocupa.

El capítulo 3 se trata el análisis dinámico de una forma completa. Se explica claramente cuáles acelerogramas se tomaron y porqué así como se utilizó un modelo bidimensional apropiado para la zona de estudioy se especifica el software empleado.

También se explica cómo se utilizaron las curvas de degradación de G y con qué criterios se usó la información de los ensayos dinámicos así como la de las curvas de Seed y Dobry.

En este sentido este criterio de evaluación SI CUMPLE con los requerimientos haciendo la salvedad que las velocidades de corte que se tomaron así como las relaciones de Poisson NO ESTAN plenamente justificadas toda vez que son diferentes a las obtenidas del ensayo Downhole.

4.6 Realizar mínimo un análisis unidimensional (SHAKE, EERA, etc), para todas las zonas de la microzonificación, siempre y cuando la pendiente del terreno sea inferior a 10 grados.

Dado que la ubicación del lote esta en la zona de piedemonte, se hace necesaria la utilización de modelos bidimensionales, los cuales son usados en el informe presentado..

El estudio SI CUMPLE con este requerimiento.

4.7 Para todas las zonas, el espectro de diseño obtenido no puede ser menor que el espectro mínimo establecido para cada zona en la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

Se presenta un dibujo (Figura 3-20) en donde se comparan los diferentes espectros obtenidos entre sí y con los de la microzonificación, haciendo los comentarios y recomendaciones pertinentes.

Visto lo anterior y aceptando el comentario sobre el acelerograma frontal que no debe tenerse en cuenta así como revisados los sismos tomados se considera que este requerimiento SI CUMPLE.

Sin embargo,la validez de los espectros de respuesta en superficie está condicionada a aclarar las inconsistencias y dudas planteadas en relación con la exploración y los valores de velocidad Vs adoptados para los análisis.

5. SEGUNDA REVISIÓN DEL ESTUDIO DE FECHA MAYO 18 DE 2005

5.1 Asignación de la zona del proyecto con respecto a la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

En el capitulo 3 del Anexo C del informe se define la localización del lote del proyecto de acuerdo con el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la zona de piedemonte, zona 2.. Esta ubicación esta de acuerdo con el Decreto 074 de 2001.

5.2 Para estos estudios, todos los datos de campo deben provenir de mínimo una perforación de 50 m en suelos blandos y se debe realizar un número suficiente de ensayos para caracterizar el perfil. Para complementar la información del perfil del subsuelo, cuando la profundidad de sedimentos sea mayor a 50 m, se puede consultar: estudios geofísicos, estudios geotécnicos, ensayos de campo y laboratorio y los estudios de zonificación incluidos en el proyecto de Microzonificación Sísmica de Bogotá.

La nueva revisión realizada se permite ratificar que efectivamente el estudio presentado NO CUMPLE con la exigencia de penetrar 5 metros en roca. De hecho las explicaciones que dan en la comunicación de Mayo 12 de 2005 los Ingenieros Edgar Rodríguez y Alfonso Amézquita cuando afirman que (página 2, último párrafo) "se logró investigar las características del subsuelo a profundidades mayores a la alcanzada con la exploración directa, para asegurar que la capa inferior sí correspondía a la roca arcillolita y no a bloques aislados. Este procedimiento se consideró en ese momento por los especialistas como de mayor utilidad que avanzar 3 m adicionales en el sondeo s1 para completar los 5 m de perforación en roca. Es claro que no penetraron 5 m en roca y que se acogieron a la interpretación sísmica; lo que sucede es que esa explicación no está en el texto principal y debe estar para que se sustenten los resultados.

5.3 Realizar ensayos de velocidad de onda de corte, Vs, por medio de métodos de campo como down hole, cross hole y otros equivalentes.

Se presenta una anexo titulado " Ensayos downhole en las estaciones de Energía Eléctrica Concordia Y Circo.

Esencialmente se dan explicaciones que tienen como conclusión el hecho que el sitio presenta variabilidad geológica y no es homogéneo lo cual es cierto pero tiene que ser explícita la redacción del texto en ese sentido. Es mas normal o común en nuestro país que haya situaciones de complejidad geológica que estratos homogéneos, horizontales e isotrópicos pero, se reitera una vez mas, hay que escribir claramente las razones por las cuales se toman determinaciones para llegar a un modelo matemático, que en últimas les permitió bajar el valor máximo del espectro de diseño con relación al de la microzonificación. Si la exploración llegara a ser insuficiente (no es ese el caso) o si la interpretación de los datos no es suficientemente clara, el modelo simplifica la realidad y podríamos estar sujetos a un resultado erróneo. Deben incluirse la explicaciones y justificaciones dadas en el texto principal. Mientras ello no suceda la calificación es

INCOMPLETO.

5.4 Realizar ensayos dinámicos para determinar módulos de corte, G, y relaciones de amortiguamiento, D, sobre muestras inalteradas que cubran todo el intervalo de deformaciones (Velocidad de onda de corte en laboratorio, columna resonante, corte simple cíclico, triaxial cíclico, etc.).

No hay observaciones. Se hicieron ensayos de columna resonante y triaxial cíclico sobre una muestra inalterada localizada entre 8.5 y 9.10 m de profundidad.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

5.5 Utilizar todos los acelerogramas del proyecto de microzonificación sísmica de Bogotá, en la obtención del espectro de respuesta en superficie.

Lo que contempla este criterio de verificación es que se utilicen los acelerogramas del proyecto de microzonificación de Bogotá con la obtención del espectro de respuesta en superficie y hacer análisis bidimensional para las zonas de cerros y piedemonte como es el caso que nos ocupa.

En el capítulo 3 se trata el análisis dinámico de una forma completa. Se explica claramente cuáles acelerogramas se tomaron y porqué, así como se utilizó un modelo bidimensional apropiado para la zona de estudio y se especifica el software empleado.

También se explica cómo se utilizaron las curvas de degradación de G y con qué criterios se usó la información de los ensayos dinámicos así como la de las curvas de Seed y Dobry.

En este sentido este criterio de evaluación SI CUMPLE con los requerimientos haciendo la salvedad que las velocidades de corte que se tomaron así como las relaciones de Poisson NO ESTAN plenamente justificadas toda vez que son diferentes a las obtenidas del ensayo Downhole.

5.6 Realizar mínimo un análisis unidimensional (SHAKE, EERA, etc), para todas las zonas de la microzonificación, siempre y cuando la pendiente del terreno sea inferior a 10 grados.

Dado que la ubicación del lote esta en la zona de piedemonte, se hace necesaria la utilización de modelos bidimensionales, los cuales son usados en el informe presentado..

El estudio SI CUMPLE con este requerimiento.

5.7 Para todas las zonas, el espectro de diseño obtenido no puede ser menor que el espectro mínimo establecido para cada zona en la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

Se presenta un dibujo (Figura 3-20) en donde se comparan los diferentes espectros obtenidos entre sí y con los de la microzonificación, haciendo los comentarios y recomendaciones pertinentes.
Visto lo anterior y aceptando el comentario sobre el acelerograma frontal que no debe tenerse en cuenta así como revisados los sismos tomados se considera que este requerimiento SI CUMPLE.

Sin embargo,la validez de los espectros de respuesta en superficie está condicionada a aclarar las inconsistencias y dudas planteadas en relación con la exploración y los valores de velocidad Vs adoptados para los análisis.

Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Sociedad Colombiana de Geotecnia

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de la presente revisión, se concluye que el estudio de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas del proyecto en referencia está incompleto a la luz de los requerimientos mínimos consignados en el Decreto 074 de 2001. Para poder conocer con certeza la validez de los espectros de respuesta obtenidos y del recomendado en el estudio evaluado, primero deben aclararse y corregirse los puntos antes mencionados, ya que existen algunas dudas sobre la confiabilidad de dichos resultados.

Una vez realizadas las correcciones y aclaraciones solicitadas, se recomienda enviar el estudio nuevamente a la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, con el fin de emitir concepto de cumplimiento, de acuerdo con lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

Revisó y Aprobó: **ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN** Presidente y Representante Legal Sociedad Colombiana de Geotecnia	
Revisó: **ING. JUAN CARLOS PADILLA R.** Grupo de Riesgo Sísmico DPAE	VoBo: **ING. DIANA AREVALO SANCHEZ** Coordinadora Técnica DPAE