Secretaría
**GOBIERNO**

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Sociedad Colombiana de Geotecnia

**CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA**

# CONCEPTO TECNICO No. CT- 4017 de 2004

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

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

| | |
|---|---|
| **ENTIDAD SOLICITANTE:** | Juan Diego Avella Valderrama<br>Arquitectura y Concreto S.A. |
| **LOCALIDAD:** | Usaquén |
| **BARRIO:** | Santa Ana Occidental |
| **PROYECTO:** | **ALTOS DE SANTA ANA** |
| **UPZ:** | Usaquén 14 |
| **FECHA DE EMISIÓN:** | Septiembre 3 de 2004 |
| **TIPO DE RIESGO:** | Sísmico |

## 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

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia



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 celebrado un convenio que tiene por objeto realizar una asesoría técnica 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 Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas del proyecto urbanístico Altos de Santa Ana, en el barrio Santa Ana Occidental de la localidad de Usaquén, en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

## 3. GENERALIDADES DEL PROYECTO ALTOS DE SANTA ANA

El estudio entregado a esta entidad indica que en el lote localizado en la manzana norte de la Calle 106 entre carreras 8B y 8 de BOGOTÁ, D.C., barrio Santa Ana Occidental de la localidad de Usaquén (Figura 1), se contempla el desarrollo de un proyecto con 4 torres de 2 a 3 sótanos y 17 pisos, en estructura convencional de concreto reforzado, con luces entre ejes de columna hasta de 8 m y cargas al nivel de cimentación hasta de novecientas toneladas.

Según el Decreto 074 de 2001, el cual adopta los límites de la Microzonificación Sísmica, el predio donde se construirá el proyecto se encuentra ubicado en la Zona 3.- Lacustre A, Figura 1, la cual está conformada principalmente por depósitos de arcillas blandas con profundidades mayores que 50 m. Pueden aparecer depósitos ocasionales de turbas o arenas de espesor intermedio a bajo. Presentan una capa superficial preconsolidada de espesor variable y no mayor a 10 m

El estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas fue elaborado por la firma Espinosa y Restrepo y Cia Ltda y ajustado por la misma firma, según comunicación EYR-S 5725 de Agosto 13 de 2004.

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

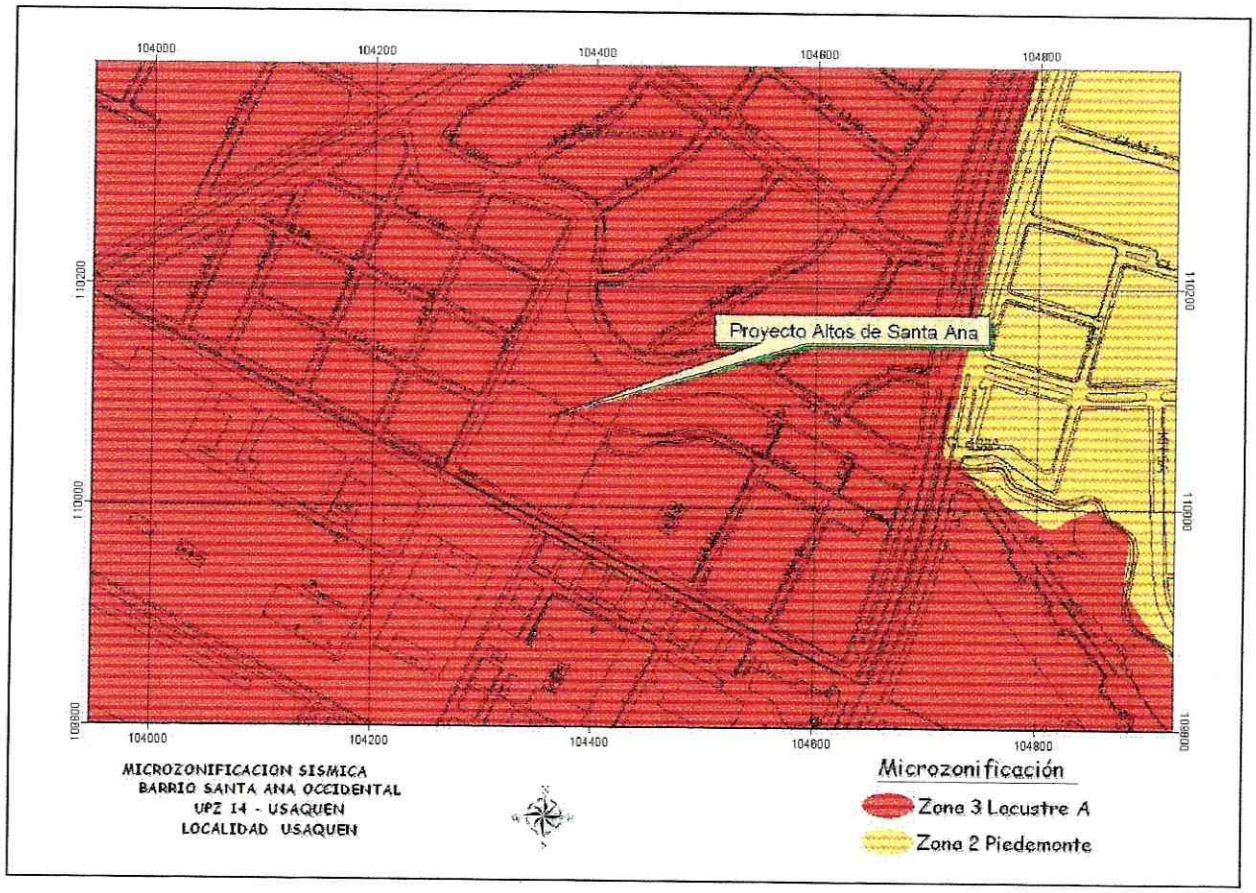



**Figura 1** Ubicación del Proyecto Altos de Santa Ana

## 4. REVISIÓN INICIAL DEL ESTUDIO

La primera revisión del informe EYR-S 5725 "Estudio de suelos y análisis de microzonificación local para el proyecto Altos de Santa Ana a construirse en la Calle 106 No. 8B-50 con Carrera 8A de Bogotá", se hizo a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 074 de 2001 para este tipo de estudios. El concepto técnico 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 cuerpo y anexos del informe se incluye la localización del proyecto en el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la Zona 3 Lacustre A, lo cual está de acuerdo con lo establecido en el Decreto 074 de 2001. Sin embargo, en el informe no se hace referencia a las implicaciones que tiene esta ubicación en el estudio de respuesta local y en el comportamiento de la interacción sísmica suelo-cimentación-estructura, ni se hace la revisión del potencial de licuación a pesar de que la mayor parte del subsuelo está constituido por capas arenosas.*

**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.**

*No se presenta el perfil de análisis dinámico completo y detallado hasta la roca, se asume que la profundidad total del depósito es de 60 m, pero puede resultar mucho mayor. Solo se presenta el perfil hasta los 60m de profundidad, aunque sin detallar parámetros índice ($\gamma t$, IP, gradación, contenido de materia orgánica), y tipos de suelo de acuerdo a su diferente comportamiento dinámico (curvas de comportamiento dinámico características obtenidas a partir de los ensayos dinámicos, ya que las presentadas para arenas son teóricas). Tampoco se presenta el análisis o criterios técnicos utilizados para definir e interpolar el posible perfil geotécnico a profundidades mayores de 50m. De acuerdo con el mapa de espesores del Subproyecto 7 del Estudio de Microzonificación Sísmica, la profundidad del depósito está entre 75m y 100 m.*

*Los valores de resistencia a la penetración estándar $N_{SPT}$ y compresión inconfinada obtenidos del sondeo S5 (del estudio dinámico), difieren de los valores obtenidos en los otros 9 sondeos realizados en el Estudio de Suelos para el mismo proyecto. Tampoco hay correspondencia entre la estratigrafía encontrada (16 capas hasta 50m) con la estratigrafía empleada en el modelo de respuesta (solo 5 capas hasta 60m), mas cuando se tiene una importante presencia de turbas en todo el perfil (aún en las capas de arena). Esto corrobora la falta de cuidado en la estimación del perfil para el análisis de la respuesta dinámica en todo el lote estudiado. Para esta Sociedad no es claro como se microzonificó entonces igual para las cuatro (4) torres ?.*

**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.**

*La interpretación de los resultados del ensayo Down Hole es deficiente, debido a que es erróneo suponer solo 3 valores de velocidad de propagación de onda de corte $V_s$ = 110, 270 y 320 m/s, en un perfil compuesto por 16 capas con materiales de gran heterogeneidad (arcillas blandas, limos inorgánicos y orgánicos, turbas, arenas medias a densas y la combinación de varias de ellas).*

*Por ejemplo, no es lógico tomar para la capa de turba que existe a una profundidad de 31 a 33 m un valor de $V_s$ = 320m/s, que corresponde al una arena densa (del orden de 3 veces mas que la turba). Algo opuesto ocurre con la arena compacta existente entre 4.0 y 8.5 m de profundidad, donde solo se tomó un valor de $V_s$ = 110 m/s, valor muy bajo para dicho material. Estos criterios erróneos hacen que el modelo de subsuelo asumido no corresponda al real, desde los puntos de vista de propagación de ondas, respuesta sísmica y espectros de respuesta.*

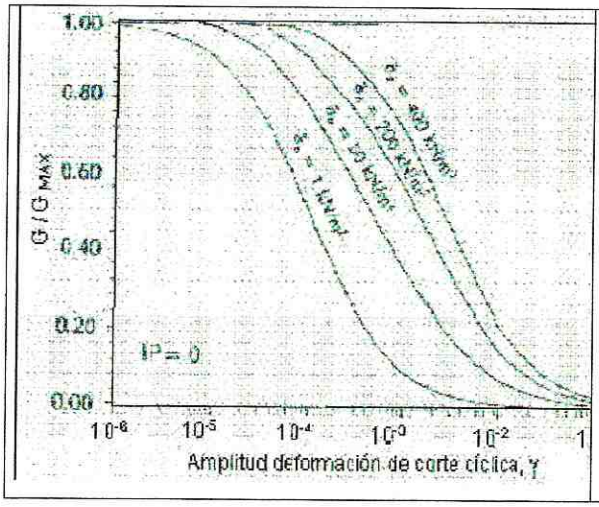
**4.4. Realizar ensayos dinámicos para determinar módulos de corte, G, y relaciones de amortiguamiento, D, sobre muestras inalteradas que cubran todo el intervalo de deformaciones (Velocidad de onda de corte en laboratorio, columna resonante, corte simple cíclico, triaxial cíclico, etc.).**

*Se realizaron dos juegos de ensayos dinámicos (velocidad de onda de corte, columna resonante y triaxial cíclico) en muestras de suelos de grano fino. Sin embargo, dado que en total existen 5 capas de estos materiales deben establecerse correlaciones con alguna propiedad geomecánica para obtener las curvas de las capas restantes. Los resultados del triaxial cíclico realizado sobre la muestra 20 de la perforación 5 son aparentemente anómalos (Anexo 4). Se requiere justificar estos resultados.*

*Adicionalmente, se deben mostrar las curvas definitivas empleadas (degradación normalizada de G y variación de la relación de amortiguamiento para todos los niveles de deformación por corte), las cuales no se presentan en ningún aparte del estudio.*

*Para los suelos granulares se emplearon curvas dinámicas obtenidas de la bibliografía para arenas limpias. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la mayor parte de las 9 capas de arenas mostradas en el perfil corresponden a suelos granulares mezclados e intercalados con materiales turbosos, los cuales le dan un comportamiento diferente. Debe aclararse este aspecto.*

*Por otra parte, el estudio asume que las curvas de degradación del módulo dependen en menor medida del esfuerzo de confinamiento. Sin embargo, en la figura 2 se muestran las variaciones que se pueden presentar en la forma de las curvas por este efecto. Se requiere especificar el nivel de esfuerzo de confinamiento promedio en diferentes puntos de perfil, con el fin de seleccionar adecuadamente las curvas de comportamiento dinámico de las diferentes capas de arena del perfil.*




*Vucetic, Mladen & Dobry, Ricardo (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response, ASCE, JGE, Vol 117, No.1.*

*Curvas de degradación del módulo de corte con la deformación para suelos de baja plasticidad como las arenas (IP=0) ensayadas a diferentes presiones de confinamiento.* ***Figura 2***

*Sobre las capas y lentes de turba no se realizaron ensayos dinámicos específicos. y solo se menciona que se tomaron valores de trabajos previos. Dado que en el documento no aparece ninguna curva, deben incluirse las curvas correspondientes y los datos de laboratorio que sirvieron de base para tomar esta decisión.*

*Los valores del coeficiente de atenuación ε (amortiguamiento?) hallado a partir de la relación de $Gmáx_{SPT}/Gmáx_{Down\ Hole}$ no corresponde al nivel de deformación alcanzado en el suelo durante un sismo, y muestran resultados iguales para todos los materiales (ε=0.006435), lo cual no parece lógico.*

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

*El estudio cumple con esta especificación. Sin embargo, la aceleración horizontal máxima en la roca para el sismo de México es de $Ah_{máx}$=0.038g, en lugar de 0.03g, y la aceleración del evento regional es de $Ah_{max}$=0.20g, en lugar de 0.25g.*

**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.**

*El estudio cumple con este requerimiento mediante la utilización del programa QUAKE de elementos finitos. Sin embargo, no se presenta el modelo (malla de elementos finitos) utilizado con sus correspondientes condiciones de frontera.*

**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.**

Los tres (3) espectros de respuesta mostrados (p. 20 y 21) están errados ya que para el período inicial T = 0.0 sg, que corresponde a la aceleración máxima en superficie, aparecen valores de aceleración espectral Sa = 0.0 g. Esto implicaría que el sismo desaparece entre la roca y la superficie. También para periodos altos ($T \geq 2.0$ sg.) el espectro está incompleto a pesar que corresponde a la zona mas importante para estos tipos de torres (de periodo alto).

También se nota que el espectro del sismo regional, para periodos de 1.5 a 2.0 sg. (similar al periodo fundamental de las torres) presenta dos picos que resultan mayores a los recomendados. Esto implicaría que se debe emplear un espectro con un mayor valor de aceleración espectral.

## 5. REVISIÓN DE LAS RESPUESTAS DADAS POR EL CONSULTOR AL CONCEPTO TECNICO DE LA SCG

Con fecha 13 de agosto de 2004, la firma consultora Espinosa y Restrepo y Cia Ltda. remitió la comunicación EYR-S 5725, mediante la cual responde a las observaciones dadas en el concepto inicial de la SCG. En este documento se presentan las nuevas observaciones de la SCG luego de revisado el documento antes mencionado. Sin embargo, es preciso aclarar que esta comunicación no puede aceptarse como parte del informe y que todas las aclaraciones, correcciones y cualquier información adicional deben incorporarse al cuerpo del informe.

## 5.1. Atención dada a la observación 4.1

No se respondieron las observaciones sobre los efectos en la interacción sísmica suelo-cimentación-estructura ni sobre el potencial de licuación de los materiales arenosos. Por lo tanto la SCG espera una respuesta a esta observación.

## 5.2. Atención dada a la observación 4.2

En la respuesta del consultor se anota que el perfil asumido hasta la roca es de 65 m (en otro aparte comenta que son 60 m). Para la SCG la profundidad de la roca es un poco mayor (de acuerdo con el mapa de isoprofundidades de la Microzonificación Sísmica de Bogotá (MZSB) y por sondeos recientes realizados en pozos para agua subterránea en sitios cercanos). Sin embargo, dado que un espesor menor del depósito genera resultados con mayores valores de aceleración superficial y espectral, se puede aceptar este espesor.
En cuanto al criterio empleado por el consultor para definir las características geotécnicas de los materiales esperados en la parte inferior del perfil, de 15.0m (o 10.0m ?) entre el final del sondeo profundo y el contacto con la roca, consistente en correlacionar con la perforación N49 (INGEOMINAS) de la MZSB, la SCG no está de acuerdo por las siguientes razones:

- El sitio del proyecto (calle 108 por carrera 8) se ubica en una zona en la cual la forma e historia de depositación de los materiales cuaternarios es muy diferente a la ocurrida en el sector de INGEOMINAS (calle 53 con Avenida NQS). En este caso resulta más apropiado emplear el perfil N9A (calle 126 por carrera 29) de la MZSB, el cual además de estar mucho más cerca al sitio del proyecto se asemeja a las condiciones de depositación de la zona nor-oriental de la ciudad.

- Adicionalmente, dado que el consultor asumió al final de la perforación un material arenoso (entre 40.0m y 60.0m, según la figura de la página 21) indicando que "... se utilizó la información obtenida en el sondeo de INGEOMINAS perteneciente al estudio de la microzonificación de la ciudad de Bogotá para los últimos 10 m hacia el contacto con la roca"; la SCG revisó dicha perforación (presentada por el consultor en un anexo) encontrando que no aparecen secuencias de suelos granulares a las profundidades correspondientes (de 45 m a 55 m aparece una arcilla gris oliva y arcilla turbosa negro oliva, y entre 55 m y 78 m existe una arcilla ligeramente limosa marrón amarillento oscuro intercalada con arena fina gris oliva) ni al final del perfil en el contacto con la roca (donde entre 125 m y 180 m aparece una arcilla ligeramente limosa gris marrón a gris oliva).

Por lo tanto, se solicita al consultor revisar los criterios empleados, y DETALLAR la metodología y correlaciones establecidas para obtener un perfil geotécnico que pueda

sustentarse. Para lograr esto, no se trata de fotocopiar todas las tablas y figuras de la MZSB sino de presentar las que sean pertinentes, CONVENIENTEMENTE ANALIZADAS que justifiquen técnicamente las aseveraciones planteadas.

En respuesta a la no homogeneidad del perfil estratigráfico utilizado para el estudio de respuesta sísmica en cuanto a la existencia en el lote de valores muy diferentes de espesores de capas, $N_{SPT}$ y resistencia a la compresión inconfinada, para profundidades similares, el consultor solo responde que "... el suelo a criterio de esta consultoría bastante uniforme ...". Esta apreciación no corresponde con lo mostrado en el numeral 2.1 del informe, donde todas las capas de suelo tiene espesor variable y parámetros geomecánicos muy diferentes (ver figuras de la página 5); además, al inicio del numeral 4.0 (página 8) del informe dice: "De la erraticidad de la estratigrafía encontrada y ...". Por lo tanto, de nuevo se requiere que el consultor analice y responda convenientemente las inquietudes presentadas sobre este tema por la SCG.

### 5.3. Atención dada a la observación 4.3

La respuesta dada por el consultor no incluye la aclaración solicitada por la SCG sobre la interpretación simplificada que se le dio al ensayo Down Hole, la cual no corresponde con la estratificación y materiales encontrados. Adicionalmente, dado que los valores de velocidad de onda de corte ($V_s$) sirven para calcular directamente el módulo de corte máximo ($G_{max}$), estos valores no corresponden ni con la secuencia ni con la distribución de valores de módulo de elasticidad (E) dados por el consultor en la tabla de la página 7, ya que existe una relación entre E y $G_{max}$.

No se entiende a que parámetros corresponden los valores en las diferentes columnas de la tabla presentada en la página 22.

Por lo tanto, se solicita de nuevo al consultor que se analice y aclare las incongruencias existentes sobre el método de cálculo de estos parámetros.

### 5.4. Atención dada a la observación 4.4

No se presentan las curvas definitivas ($G/G_{max}$ vs $\gamma$ y D vs $\gamma$) usadas para los suelos finos a los cuales se les realizaron ensayos de laboratorio, tan solo se muestran los resultados independientes de cada ensayo de laboratorio. Dado que las curvas de G deben normalizarse para obtener ($G/G_{max}$), se desconoce el criterio de normalización empleado y las curvas resultantes. Tampoco se aclara los resultados anómalos obtenidos sobre la muestra 20 de la perforación 5.

Se muestran el juego de 3 curvas dinámicas para suelos arenosos limpios (IP= 0) corregidos por confinamiento, sin embargo según la descripción de los sondeos los materiales existentes corresponden a arenas mezcladas e intercaladas con materiales turbosos y limosos, los cuales pueden producir un comportamiento muy diferente.

Las capas de turba se tomaron como de arcilla sin ninguna corrección o justificación.

### 5.5. Atención dada a la observación 4.5

Se anota que se corrigieron los valores de aceleración máxima de los acelerogramas, sin embargo las señales de los sismos mostradas en las páginas 25 y 26 muestran que la aceleración máxima del sismo regional a nivel de roca es de $Ah_{max}$ = 0.25g en lugar de 0.20g.

### 5.6. Atención la observación 4.6

Aun no hay respuesta sobre la discretización de la malla de elementos finitos, tamaño de los elementos, condiciones de frontera y elementos estructurales empleados en el programa QUAKE.

### 5.7. Atención la observación 4.7

Se reafirma que los tres (3) espectros de respuesta mostrados en las figuras de las páginas 25 y 26 están errados ya que inician con aceleraciones máximas del terreno de Sa = 0.0g (para T= 0.0 sg), lo cual implicaría que no existe sismo en superficie. Esto invalida los espectros compilados en la figura de la página 27

El consultor debe revisar, por lo tanto los datos de entrada y salida que genera el mencionado programa de computador para corregir este tipo de error.

## 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 requerimiento mínimos consignados en el Decreto 074 de 2001. Para poder conocer con certeza la validez de los espectros de respuesta obtenidos y el recomendado en el estudio

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia



evaluado, primero deben aclararse y corregirse los puntos antes mencionados, ya que existen serias dudas sobre la confiabilidad de dichos resultados.

Una vez realizadas las correcciones y aclaraciones solicitadas, se recomienda remitir nuevamente el estudio 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.

**ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN**
Presidente y Representante Legal
Sociedad Colombiana de Geotecnia

ACEPTADO: **JAVIER PAVA SÁNCHEZ**
Coordinador Técnico FOPAE