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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

CONCEPTO TECNICO No. CT- 4113 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:	Dra. Gloria Ramirez C. Curador Urbano No. 4
LOCALIDAD:	Usaquén
BARRIO:	Pradera Norte
PROYECTO:	**CENTRO DE ESPECIALISTAS** **Fundación Neumológica Colombiana Cardio Infantil**
UPZ:	Toberín 12
EJECUTOR:	Espinosa & Restrepo Ingeniería de Suelos
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
FECHA DE EMISION:	Marzo 30 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.

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

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 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 **tercera revisión** realizada por la Sociedad Colombiana de Geotecnia del Estudio de Suelos y Análisis de Microzonificación local para el centro de especialistas Clínica Cardio Infantil – carrera 27 con calle 163A, que en el Capítulo 7 incluye las consideraciones sísmicas para efectos del Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas, en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO CENTRO DE ESPECIALISTAS CLINICA CARDIO-INFANTIL

El estudio entregado a esta entidad indica que en la carrera 27 con calle 163 A, se construirá el "Centro de Especialistas Clínica Cardio Infantil Fundación Neumológica Colombiana" (Figura 1), se contempla la construcción de un edificio de doce pisos de altura y dos sótanos. La estructura del edificio proyectado es en concreto reforzado con luces entre ejes de columnas de 8.0 metros. El proyecto está ubicado en las siguientes coordenadas:

104825E
116095N

Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
DIRECCIÓN DE PREVENCION Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

El estudio de Suelos y Análisis de Cimentaciones así como el estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas fue elaborado fue elaborado por la firma Espinosa & Restrepo Ingeniería de Suelos.

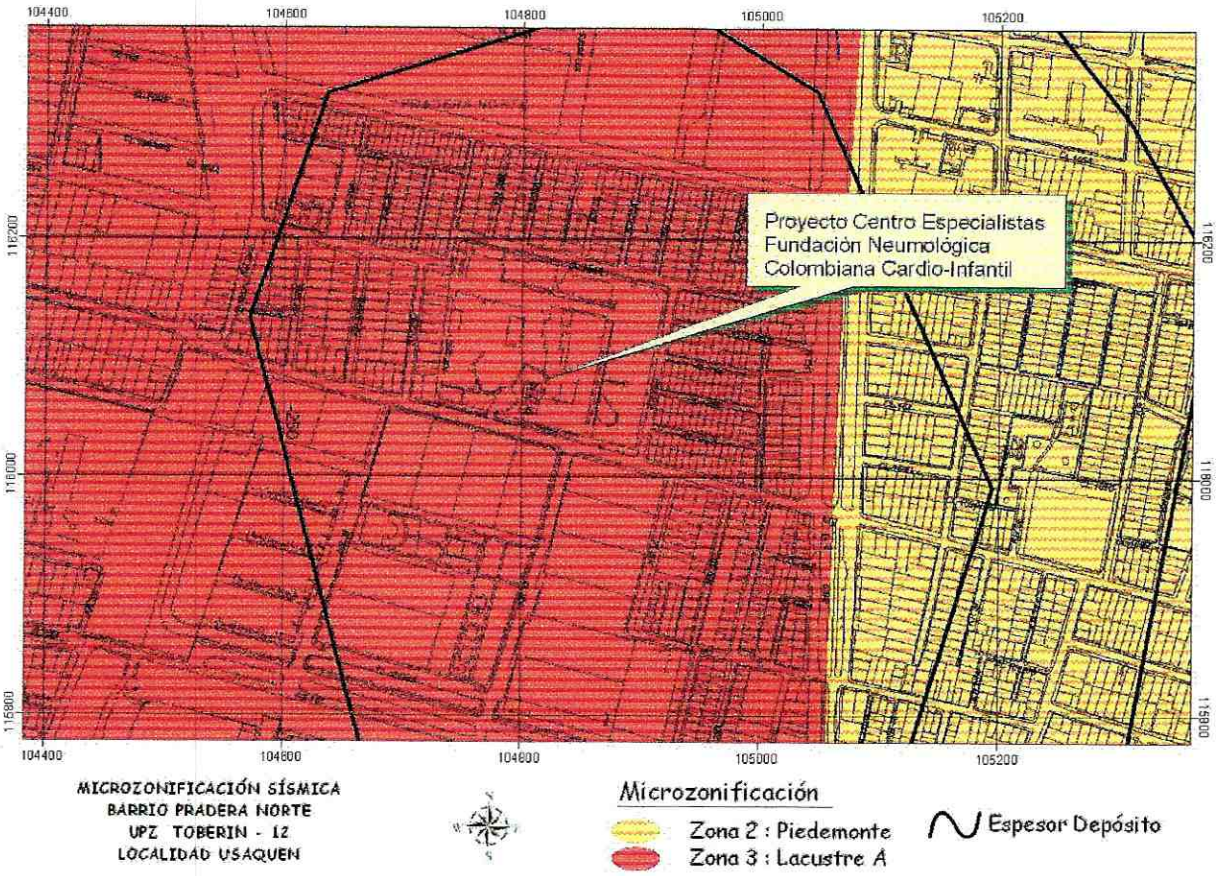

Figura 1 Localización General del Proyecto Centro de Especialistas Fundación Neumológica Colombiana Cardio-Infantil

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO

La primera revisión del informe EYR-S 5585 "Estudio de suelos y análisis de microzonificación local para el Centro de Especialistas Clínica Cardio-Infantil Fundación Neumológica Colombiana", a construirse entre la Carrera 27 con Calle 163 A de Bogotá, se hizo a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 074 de 2001 para este tipo de estudios.

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

El concepto técnico relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo se transcribe, con referencia a los requerimientos pertinentes del decreto antes mencionado que se listan a continuación:

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

En el cuerpo del informe se define la localización del proyecto de acuerdo con en el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la Zona 3 Lacustre A. Sin embargo, en el informe no se presenta dicho mapa, y no se hace referencia a las implicaciones de la ubicación en dicha zona para la realización de los estudios geotécnicos detallados y el análisis de la respuesta local de amplificación de las ondas sísmicas.

4.2 Realizar número suficiente de ensayos para caracterizar el perfil. Para complementar la información en profundidad 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.

En la sección 7.1- Metodología y datos de entrada se indica que la profundidad del depósito en el sitio es del orden de 225 m. Sin embargo, de acuerdo con el estudio de microzonificación el espesor de sedimentos puede ser mayor a 250 m. Adicionalmente, no se presenta el perfil de análisis dinámico completo y detallado hasta la roca (falta el perfil dinámico entre los 50m y 225m de profundidad). Solo se presenta el perfil hasta los 50m de profundidad, aunque sin detallar parámetros índice (peso unitario, IP), y tipos de suelo de acuerdo a su diferente comportamiento dinámico (curvas de

comportamiento dinámico características obtenidas a partir de los ensayos dinámicos. Tampoco se presenta el análisis utilizado para definir e interpolar el posible perfil geotécnico entre 50 m y 200 m.

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 hizo un ensayo de Down Hole del que se define un perfil con dos estratos. Esa interpretación no es consistente con los datos del ensayo que se reproducen a continuación junto con los resultados de otro ensayo en un proyecto cercano donde se aprecia que el perfil es más complejo de lo que se está asumiendo en el estudio.

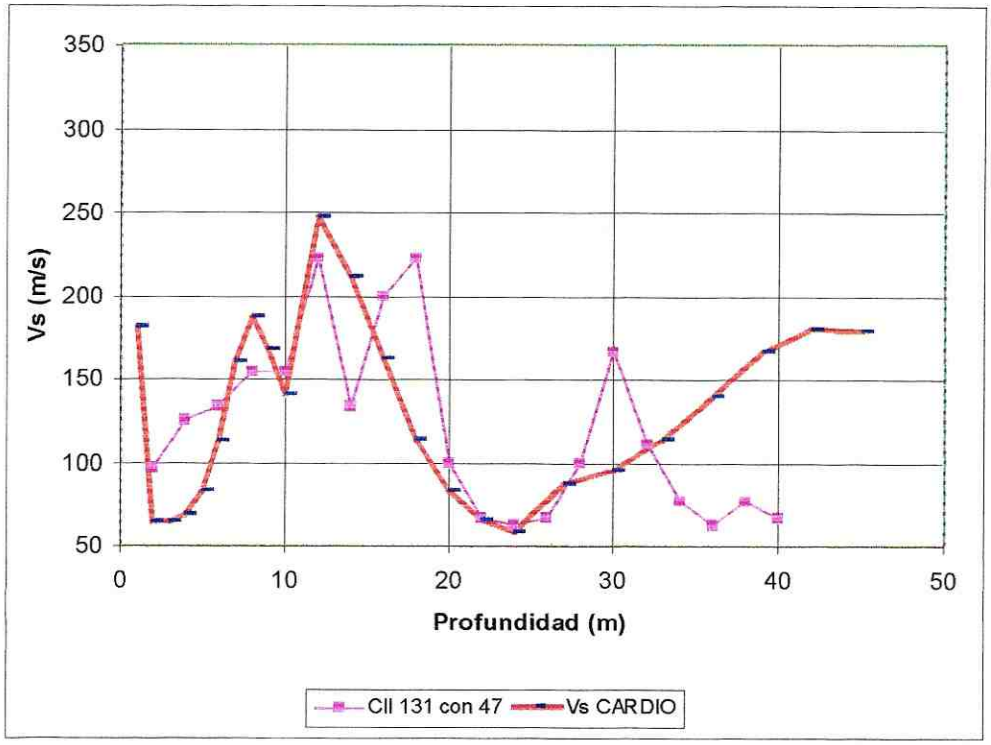

Figura 2 Variación de Vs con la Profundidad

En la Figura 2 se aprecian bajas velocidades de Vs hacia 25 m de profundidad que coinciden con la presencia de turbas. Esto no se ha tenido en cuenta en el estudio.

No se indican que propiedades se utilizaron para los suelos de 50 a 200 m de profundidad. Se hace mención a que son arenas pero no se indica que valores de Vs o Go ni se muestran las curvas de variación del módulo y el amortiguamiento con la deformación. Se deben presentar de manera justificada estas curvas y precisar que valores de Vs o Go se utilizaron.

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.).

En la sección 2.4 - del informe se hace referencia a resultados que se presentan en el anexo de Bender element antes y después de consolidar, columna resonante y triaxial cíclico de dos muestras. Sin embargo no se presentan ni discuten los resultados ni como estos se utilizaron para los análisis. No se correlaciona con la Vs del ensayo Down-Hole.

En la figura 3 se presentan los datos tomados de los ensayos dinámicos que se reportan en el informe. Como se puede apreciar los datos de los distintos ensayos corresponden a diferentes intervalos de deformación y en algunos casos no hay buena correspondencia de continuidad de las curvas dinámicas. Los dos ensayos triaxiales cíclicos son prácticamente idénticos. Por lo tanto se debe aclarar que curvas se utilizaron. Además se debe aclarar que relación hay entre las curvas de los ensayos y los datos del ensayo de down-hole.

Se dice que para los estratos se obtuvieron los parámetros dinámicos de los ensayos de laboratorio y campo. Sin embargo no se indica cuales fueron esos valores. Se deben mostrar en una figura las curvas utilizadas para cada tipo de material.

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

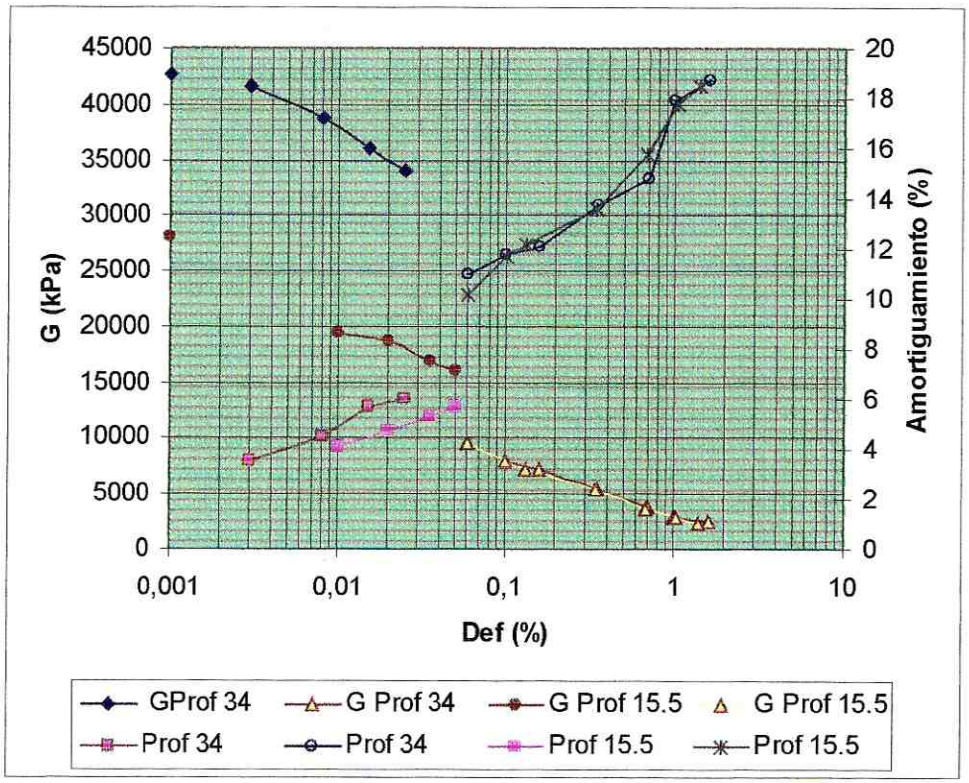

Figura 3 Curvas de Módulo de Corte y Amortiguamiento versus Deformación Cortante

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

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

Estos aspectos se tratan en el capítulo 7 del informe. Con respecto a esto se tienen las siguientes observaciones:

El análisis con el programa Quake es bidimensional, por lo tanto las condiciones de frontera deben estar lo suficientemente alejadas para que se pueda hacer un análisis unidimensional sin efecto de interferencia de las fronteras laterales. En la Figura de la pag. 18 no se aprecia que este sea el caso. Tampoco en dicha figura se identifican los tipos de materiales ni las propiedades utilizadas.

El programa Quake se puede utilizar para hacer análisis lineales elásticos o lineales equivalentes. No se especifica cual se utilizó

Se presentan los tres sismos utilizados y gráficas de espectros en superficie. Los espectros obtenidos presentan valores a bajos periodos que no corresponden a los de diseño, ya que para periodo cero deben coincidir con los valores de aceleración máxima del terreno, y en los resultados que se muestran dichos valores tienden a cero.

El espectro recomendado no se compara con los valores aceptados por el decreto 074. Con base en los datos de la tabla de la pag 21 se dibujó el espectro recomendado y se encuentra que esta por debajo del mínimo aceptado para la zona 3 a partir de 1.0 seg. Estos datos se presentan en la figura 3

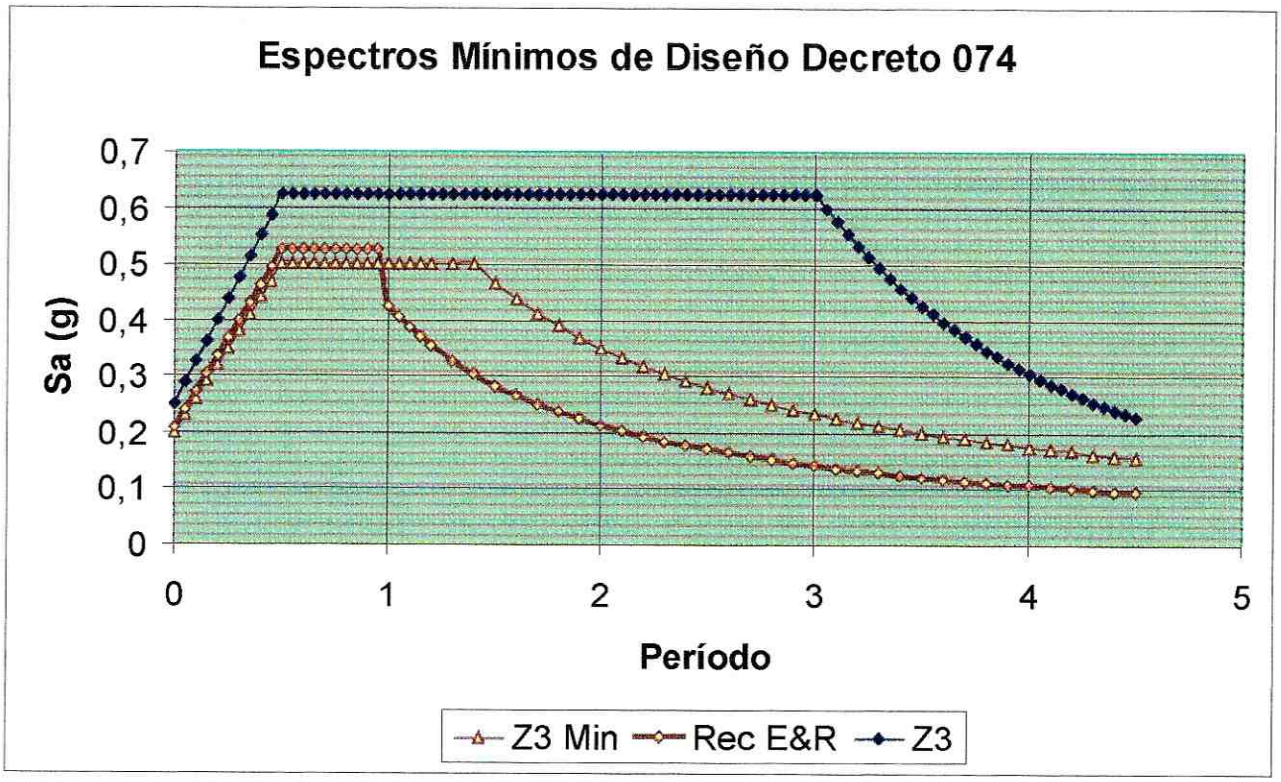

Figura 4 Espectro de Diseño versus Espectros de la Microzonificación

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

5. REVISIÓN DEL ESTUDIO ACTUALIZADO DE FECHA ENERO DE 2005

5.1 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.1

En el informe se incluye la localización del proyecto en el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la Zona 3, lo cual implica que subsuelo está conformado por depósitos arcillosos blandos, que en la zona de estudio alcanzan del orden de 250 m de espesor.

Esta ubicación está de acuerdo con el Decreto 074 de 2001 ver Figura 1 del presente concepto)

EL INFORME CUMPLE CON ESTE REQUERIMIENTO

5.2 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.2

En el informe, en la sección 2.0 "Investigación Subsolar", se menciona que se realizaron 5 sondeos distribuidos de la siguiente manera: 3 sondeos a 10 metros de profundidad, un sondeo a 40 metros de profundidad y un sondeo a 50 metros de profundidad.

Con el fin de visualizar de manera coherente, las diferentes capas asumidas para el análisis, se recomienda incluir en una sola figura la descripción del perfil, así como los resultados de los ensayos de laboratorio y pruebas de campo (figura página 9 sin numeración). De igual manera se solicita numerar las figuras del informe.

Finalmente es importante aclarar el origen de los datos presentados en el informe, ya que en la página 23 del informe, aparece **"Proyecto calle 93 Triada"**

CUMPLIMIENTO PARCIAL DE ESTE REQUERIMIENTO.

5.3 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.3

El estudio realiza el ensayo de down hole hasta una profundidad de 50 metros, definiendo dos capas; sin embargo en el perfil estratigráfico se identificaron nueve capas. Aclarar esta inconsistencia.

Los autores utilizan los valores de Vs para la obtención de Gmáx; Sin embargo, también utilizan correlaciones de Otha e Imai, para la obtención del Gmáx, a partIr del SPT,

dando valores muy diferentes. Es necesario aclarar para qué tipo de material es válida la anterior correlación (Gmáx vs SPT).

Finalmente se solicita aclarar los valores asumidos en definitiva para los análisis, así como un perfil de las diferentes capas con sus propiedades geomecánicas promedio utilizado en los análisis.

CUMPLIMIENTO PARCIAL DE ESTE REQUERIMIENTO

5.4 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.4

Los autores realizaron dos ensayos triaxiales dinámicos de deformación controlada, dos ensayos de columna resonante y dos ensayos de velocidad de ondas de corte. A partir de la anterior información obtienen las curvas de degradación del módulo y del amortiguamiento. Sin embargo, dichas curvas presentan las siguientes limitaciones (páginas 28 a 30):

- *Se definen nueve estratos en la página 28, pero se desconoce el espesor de los mismos, así como sus propiedades.*

- *Las curva de amortiguamiento, no presentan valores del amortiguamiento (La escala vertical no presenta valores).*

- *El uso del modelo lineal equivalente, implica que el módulo de rigidez siempre disminuye, lo cual no sucede con las curvas de G/Gmáx de las páginas 30 a 34. Se detectó un problema adicional y es que G/Gmáx, es mayor a uno lo cual no es posible.*

- *Se mencionan cuadros que no están referenciados en el estudio (página 26); Se solicita enumerar todas las tablas y verificar que estas efectivamente aparezcan en el informe.*

- *Entre los 20 y 22 metros aparece una capa de turba, la cual no fue tenida en cuenta en los análisis, se solicita aclarar porque no se tuvo en cuenta esta capa.*

CUMPLIMIENTO PARCIAL DE ESTE REQUERIMIENTO.

5.5 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.5

El estudio utiliza los tres sismos establecidos en el decreto.

EL ESTUDIO CUMPLE CON ESTE REQUERIMIENTO.

5.6 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.6

El estudio utiliza el programa de elementos finitos QUAKE, pero no presenta la discretización de la malla, número de elementos utilizados, etc. Adicionalmente, no presenta los resultados concernientes a los espectros de respuesta obtenidos a partir de los análisis.

EL ESTUDIO NO CUMPLE CON ESTE REQUERIMIENTO

5.6 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.7

La revisión del espectro (el cual no se presenta), quedará supeditada a las aclaraciones solicitadas en las anteriores secciones.

6. REVISIÓN DEL ESTUDIO ACTUALIZADO DE FECHA MARZO DE 2005

6.1 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 5.1

EL INFORME CUMPLE CON ESTE REQUERIMIENTO DESDE LA ANTERIOR REVISIÓN

6.2 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 5.2

En el informe, en la sección 2.0 "Investigación Subsolar", se menciona que se realizaron 5 sondeos distribuidos de la siguiente manera: 3 sondeos a 10 metros de profundidad, un sondeo a 40 metros de profundidad y un sondeo a 50 metros de profundidad. En la anterior revisión se le sugirió al consultor, la presentación del respectivo perfil estratigráfico con las propiedades asumidas para cada estrato. El consultor se limita a responder que "considera suficientemente clara los diferentes perfiles ilustrados y ajustado ...". A este respecto, la Sociedad considera necesaria la construcción de los perfiles estratigráficos por las siguientes razones:

- En primer lugar, al analizar el perfil estratigráfico de las cinco perforaciones, se encuentra que las capas no son continuas y además son de espesor variable,

variando su ubicación en profundidad. Esto, como es de suponer, tendrá una influencia importante en los análisis bidimensionales.

- En segundo lugar, si las capas varían en profundidad y espesor, implica que la malla de elementos finitos no es representativa, debido a que los análisis los realizaron asumiendo que las capas son horizontales (ver gráfica 6).
- En tercer lugar, si se realiza un ensayo down-hole, en el que se determina la velocidad de ondas de corte, para la obtención del módulo de corte máximo, es innegable que el módulo obtenido por este ensayo es mucho más representativo y fiable que el obtenido a partir de correlaciones del SPT. Por tanto de nuevo la pregunta ¿Qué valores de los módulos se utilizaron ?. Esto muestra de nuevo la necesidad de contar con los perfiles geotécnicos con sus respectivas propiedades.

CUMPLIMIENTO PARCIAL DE ESTE REQUERIMIENTO.

6.3 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 5.3

El estudio realiza el ensayo de down hole hasta una profundidad de 50 metros, definiendo dos capas; sin embargo en el perfil estratigráfico se identificaron nueve capas. Aclarar esta inconsistencia. Esta solicitud no fue aclarada en la nueva versión del estudio

*No es clara la afirmación del consultor ¨**Finalmente se tiene que las correlaciones de SPT corresponden a suelos arenosos y por tanto para efectos de análisis se da preferencia a aquellos G para suelos cohesivos de la última columna ?**¨*
Si se utilizan los valores de la última columna (obtenidos a partir de SPT), los valores no son confiables, ya que esto módulos son de 3 a 4 veces más pequeños que los obtenidos a partir del Vs.
Finalmente es importante destacar que los valores reportados en la literatura del módulo de corte máximo, fluctúa entre 50 y 350 MPa (Ishihara, 1996), y los reportados por el autor son muy inferiores.

CUMPLIMIENTO PARCIAL DE ESTE REQUERIMIENTO

6.4 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 5.4

Los autores realizaron dos ensayos triaxiales dinámicos de deformación controlada, dos ensayos de columna resonante y dos ensayos de velocidad de ondas de corte. Preocupa el hecho de que los ensayos dinámicos no presenten nombre del proyecto, o

si es el procedimiento establecido por la Universidad de los Andes, no presentar el nombre del cliente, proyecto y cliente. Se solicita aclarar esta inconsistencia.
Adicionalmente, la Sociedad observa con preocupación los resultados del a tabla 6, donde se especifica la presencia de nueve estratos, pero que presentan las siguientes limitaciones:

- *En primer lugar, no se presenta el espesor de cada capa.*
- *En segundo lugar los valores del módulo de corte asumido para cada capa son muy bajos (SPT); si comparamos con los valores de columna resonante, el módulo de corte está alrededor de las 2000 t/m2. Por tanto, parece que los resultados de laboratorio y Vs no se tuvieron en cuenta.*
- *En tercer lugar, los autores presentan una serie de curvas de degradación del módulo y variación del amortiguamiento con la deformación, pero en la figura no citan la fuente consultada. Para el caso de las arenas específicamente, se debe tener en cuenta que la degradación del módulo esta fuertemente influeciada por la presión de confinamiento. ¿Se tuvo en cuente este aspecto?*
- *Finalmente, se solicita a cada curva, adicionarle la respectiva descripción del tipo de material. En la anterior revisión se solicitó aclarar porque no se tuvo en cuenta la capa de turba, esta inquietud no fue aclarada a la Sociedad.*

CUMPLIMIENTO PARCIAL DE ESTE REQUERIMIENTO.

6.5 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 5.5

El estudio utiliza los tres sismos establecidos en el decreto.

EL ESTUDIO CUMPLE CON ESTE REQUERIMIENTO DESDE LA ANTERIOR REVISIÓN.

6.6 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 5.6

Cuando se realizan análisis con el método de los elementos finitos, se acostumbra presentar la malla de elementos finitos, ya que es la única manera de verificar las capas, condiciones de contorno y tamaño de la malla. De lo contrario sería imposible verificar la manera como se realizan los análisis. Con relación a la figura 6, la Sociedad tiene las siguientes observaciones:

A. *Se presenta un modelo bidimensional asumiendo capas horizontales, lo cual para los primeros 50 metros no es cierto.*
B. *En la malla de elementos finitos se presenta la profundidad de la malla (250 m), pero no se presenta el ancho de la malla, por tanto, para el caso dinámico este ancho es de gran importancia para los resultados numéricos.*
C. *Los autores no aclaran las condiciones de borde utilizadas.*
D. *Finalmente es importante aclarar que los resultados cuando se utilizan elementos finitos, se ven fuertemente afectados por el tamaño del elemento utilizado, y que si hay cambios en el tamaño, este deberá ser gradual. Adicionalmente, en problemas dinámicos para evitar el rebote de ondas entre elementos, el tamaño máximo del elemento deberá ser del orden de la longitud de onda sobre 10.*
E. *Teniendo en cuenta lo anterior se deduce que la malla de elementos finitos utilizada en el programa QUAKE, no cumple con ninguno de los anteriores requerimientos.*

EL ESTUDIO NO CUMPLE CON ESTE REQUERIMIENTO

6.7 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.7

La revisión del espectro, quedará supeditada a las aclaraciones solicitadas en las anteriores secciones.

7. 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 no esta completo a la luz de los requerimientos mínimos consignados en el Decreto 074 de 2001. Se les solicita a los consultores revisar y enumerar tablas y figuras que aparecen en el texto.

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.

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

Revisó y Aprobó:

ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN
Presidente y Representante Legal
Sociedad Colombiana de Geotecnia

VoBo:

ING. MAURICIO TAPIAS CAMACHO
Grupo de Conocimiento
DPAE

VoBo:

FERNANDO RAMIREZ CORTES