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- 4065 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:	Ingeniero Alfonso Martín C. Curaduría Urbana No. 4
LOCALIDAD:	Suba
BARRIO:	Mazurén
PROYECTO:	**Urbanización Mazurén II Sector**
UPZ:	El Prado 19
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
FECHA DE EMISION:	Noviembre 19 de 2004

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 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 de Suelos y Geotecnia, el cual incluye el Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas, para el Proyecto Urbanización Mazurén II Sector, localizado en la Avenida Córdoba con Calle 153, barrio Mazurén de esta ciudad, en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO URBANIZACIÓN MAZURÉN II SECTOR

El estudio entregado para revisión por esta sociedad indica que en el lote localizado en la Avenida Córdoba con calle 153, barrio Mazurén de la localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá, D.C. (Figura 1), se contempla la construcción de cuatro (4) edificios de apartamentos que se desarrollan en doce (12) y trece (13) pisos de altura, con una excavación general de adecuación de 1.5 m de profundidad. Cada torre tendrá una planta de 400 m2; el sistema estructural será el convencional de pórticos no arriostrados de concreto reforzado con espaciamiento entre columnas máximo de 6 m en ambos sentidos y se contará también con cortinas de cortante. De acuerdo con lo anterior las cargas por columna a nivel de cimentación variarán entre 70 ton en el perímetro y 560 ton en el núcleo de la torre. El peso total de la estructura será de 6700 ton con lo que el esfuerzo de contacto llegará a las 16.5 ton/m2.

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

103.100 N
116.600 E

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 Estudio de Suelos y Geotecnia para los edificios del Proyecto Urbanización Mazurén II Sector fue realizado por la firma AREAS Ltda., Ingenieros Consultores, mientras que Anexo El Espectro Sísmico de Diseño, que incluye el estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas fue elaborado por ITEC Ltda., con el apoyo del CIMOC de la Universidad de los Andes.

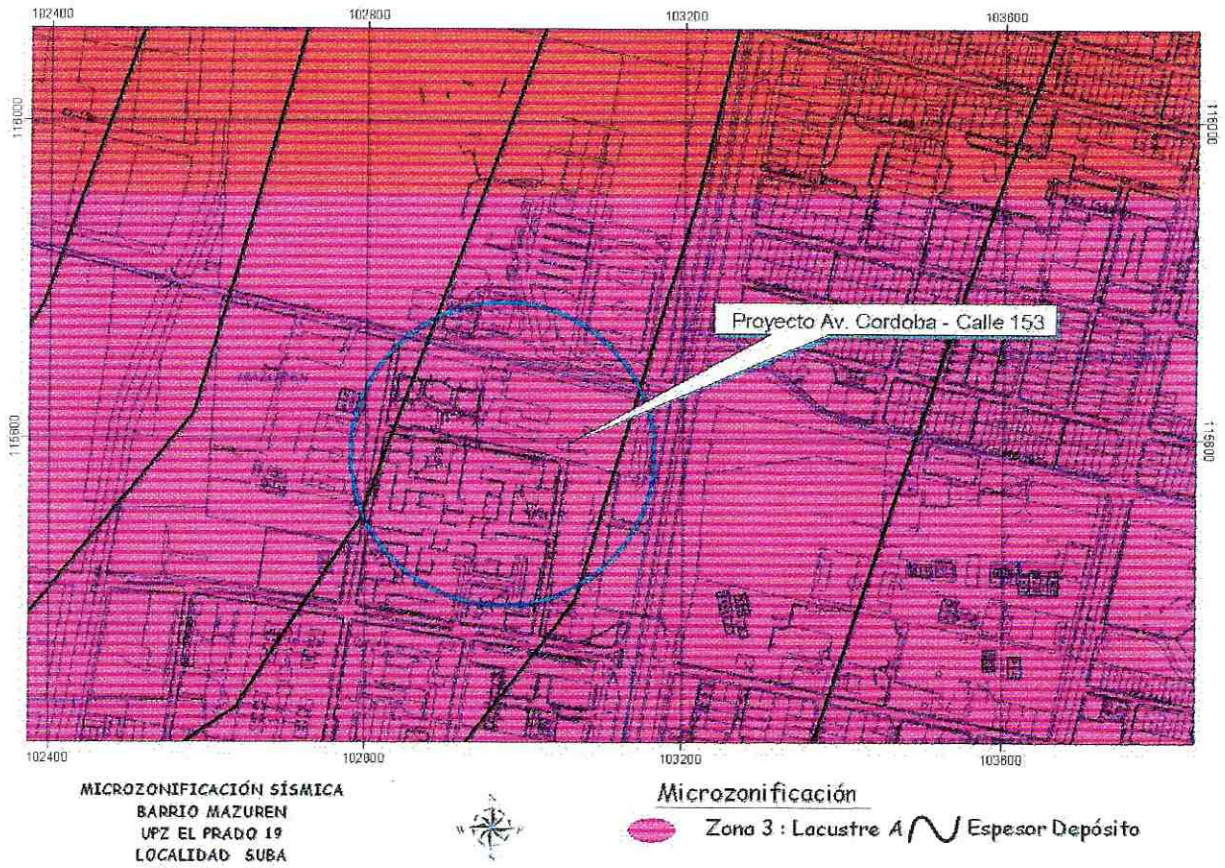


Figura 1 Localización de Proyecto Urbanización Mazurén II Sector

4. REVISIÓN INICIALDEL ESTUDIO

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

La primera revisión del informe AREAS 3210-04 Urbanización Mazurén II Sector, Estudio de Suelos y Geotecnia, 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 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 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 Apéndice C del informe se define la localización del proyecto de acuerdo con el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la Zona 3 Lacustre A. Esta ubicación esta de acuerdo con el Decreto 074 de 2001 (Figura 1 del presente concepto técnico).

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.

Para conocer el perfil y propiedades del subsuelo en el lote del proyecto se realizaron once (11) perforaciones: una (1) a 60 m, dos (2) a 45 m y ocho (8) barrenos manuales. En todas las perforaciones se realizó una evaluación continua de la resistencia in-situ por medio de ensayos de penetración estandar, veleta de campo y cono dinámico. Por otra parte se tomaron muestras alteradas e inalteradas para ensayos de clasificación, compresibilidad y resistencia.

La investigación de campo y laboratorio realizada permitió una caracterización completa y rigurosa de la estratigrafía en el sitio de proyecto hasta la profundidad explorada (60 m). El proceso de exploración realizado puede señalarse que desarrolla un estandar

bien por encima del promedio de los presentados por la gran mayoría de los estudios revisados por esta Sociedad.

El estudio cumple en cuanto los requerimientos de exploración.

Para extrapolar el perfil hasta la roca se utilizaron las siguientes perforaciones para agua subterránea y de la Microzonificación Sísmica de la ciudad: Calle 170 Autonorte (Uniagraria), Avenida 13- Calle 160 y Calle 127 Autonorte. En estas perforaciones el espesor de sedimentos se determinó en 130, 160 y 190 m, respectivamente.

No obstante lo anterior, en el párrafo inicial de la sección 4 del Apéndice C se menciona que el perfil estratigráfico encontrado hasta la profundidad de exploración se compone de ***suelos cohesivos*** *(limos y arcillas)* ***de consistencia blanda****. Sin embargo, en el párrafo final de la misma sección 4 se menciona que según el estudio de Microzonificación Sísmica, el espesor del depósito de suelo en la zona de estudio está entre los 75 y los 100 m. Igualmente, como a la profundidad máxima de exploración de los sondeos (60 m) se encontraron* ***materiales muy resistentes y de alta rigidez*** *indicativos de la aparición de los materiales duros de base, se estima que la profundidad máxima del depósito de suelo es de 70 m. Por otra parte, en la sección 5 del mismo Apéndice C con referencia a las figuras 5 y 6 se observa que el espesor de los sedimentos* ***blandos*** *puede estar entre 125 y 150 m y se adopta como espesor para los análisis 130 m. Adicionalmente, en el Cuadro No 5, pág. 9 se referencia el estrato V LIMO, como de* ***consistencia media****, creciente con la profundidad. De acuerdo con el sistema de información de la DPAE, el espesor de sedimentos en el sitio del proyecto puede estar entre 150 y 175 m.*

ES NECESARIO ACLARAR ESTAS DIFERENCIAS EN CUANTO A LA CONSISTENCIA Y ESPESOR DE LOS DEPÓSITOS DE SUELOS, ASÍ COMO EVALUAR SU INCIDENCIA EN LA OBTENCIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA.

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 hasta 39 m de profundidad, del que se define un perfil con cuatro (4) valores de la velocidad de onda, Vs.

Para los suelos de 39 a 130 m de profundidad se utilizaron las propiedades reportadas en la Microzonificación Sísmica de Bogotá para suelos de plasticidad baja (IP entre 20 y

60). Los valores de Vs se extrapolaron en profundidad aparentemente considerando un aumento en Vs por efecto del mayor confinamiento. En la Figura 2 del presente concepto se observa que la extrapolación realizada es aproximadamente lineal con la profundidad. Esta suposición podría sobrestimar los valores de Vs hacia la base del depósito, puesto que Gmax y por lo tanto Vs no aumentan linealmente con el esfuerzo de confinamiento, en particular en un depósito normalmente consolidado con características de resistencia bastante homogéneas (Ver Figura 5 del informe, en donde se observa un incremento en resistencia aproximadamente lineal con la profundidad).

Por otra parte, los valores de Vs entre 10 y 35 m de profundidad tampoco son coherentes con el perfil de resistencia presentado en la Figura 5 del informe.

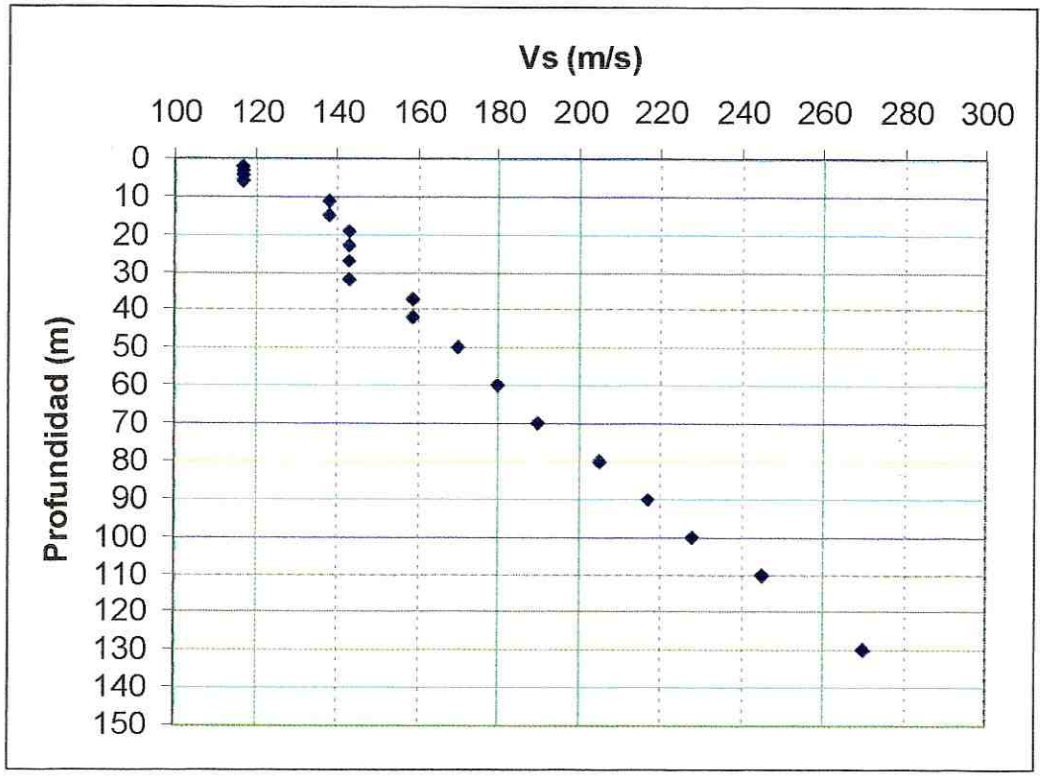


Figura 2 Perfil de Velocidades de Onda, Vs, utilizado para los Análisis de Respuesta

Estas observaciones hacen que el modelo de subsuelo asumido no corresponda necesariamente 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 ensayos dinámicos (triaxial cíclico) sobre muestras de suelos finos obtenidas a dos (2) diferentes profundidades: 32.5-33 y 41.5-42 m, respectivamente. Estos ensayos se complementaron con ensayos de columna resonante y velocidad de onda en laboratorio (bender element). Estos últimos se realizaron antes y después de consolidar la muestra.

Los ensayos triaxiales cíclicos se realizaron con presiones de consolidación de 1.2 y 1.65 kg/cm2, respectivamente, para las dos (2) muestras ensayadas. Estas presiones son un poco mayores (aprox. 20%) que el esfuerzo de confinamiento efectivo promedio a la profundidad de las muestras, asumiendo el nivel freático a –5 m. Estas diferencias pueden tener un efecto sobre los resultados, ya que se obtienen módulos diferentes a los del terreno.. Se requiere especificar el nivel de esfuerzo de confinamiento promedio en diferentes puntos de perfil, con el fin de considerar este efecto en la selección de las curvas de comportamiento dinámico de las diferentes capas del perfil.

El estudio presentan las curvas obtenidas en términos de la degradación normalizada de G y variación de la relación de amortiguamiento, D, para los niveles de deformación por corte logradas para cada una de las muestras ensayadas. A este respecto, esta Sociedad se pregunta si la ordenada de las figuras 2 y 4 corresponde a la relación G/Go ó más bien está relacionada con los valores del amortiguamiento. A partir de estos resultados, el consultor define los Modelos 1 y 2 utilizados en los análisis de respuesta. Las curvas de cada modelo son bastante atípicas y difieren en su forma de las reportadas en la literatura técnica para este tipo de suelos. Parte del problema podría atribuírse al efecto de la repetición de ciclos de mayor amplitud de deformación sobre la misma muestra (stage testing) o a inconsistencias entre los resultados de los ensayos de columna resonante y del triaxial, pero en las figuras no se indican a que ensayo corresponden cada uno de los valores. Tampoco se reportan los valores de Go utilizados en cada caso para la normalización. Además se debe aclarar que relación hay entre las curvas de los ensayos y los datos del ensayo de down- hole.

Por otra parte, no sobra anotar que en el sondeo S1 a 60 m, así como en los sondeos 1 y 2 a 45 m se manifiestan lentes de arena a diferentes profundidades dentro del perfil. Sin embargo, en la tabla 1 de la sección 5, todos los materiales se describen como limo con trazas de arcilla, limo arcilloso o limo de baja plasticidad.

En resumen, falta completar y aclarar algunos aspectos del perfil y de las propiedades dinámicas que se utilizaron para los análisis de respuesta.

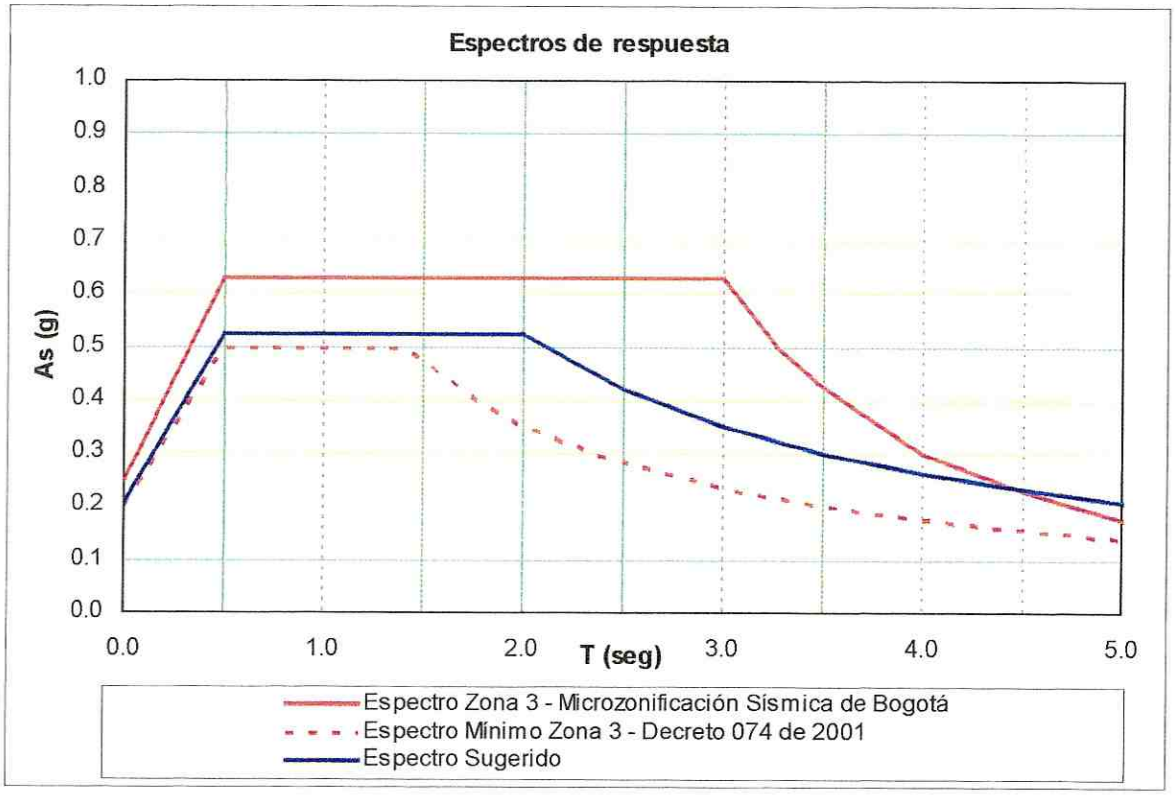
4.5 Utilizar todos los acelerogramas del proyecto de microzonificación sísmica de Bogotá, en la obtención del espectro de respuesta en superficie.

El estudio cumple ampliamente con este requerimiento pues se utilizaron en total diez (10) acelerogramas, dentro de los cuales se incluyeron los tres (3) registros de aceleración definidos por el Decreto 074 de 2001, los acelerogramas de los sismos de Anza, USA (1980), Coyote Lake, USA (1979) y Kocaeli, Turquía (1999), tres (3) sismos sintéticos a partir de Guayabetal y uno (1) a partir de Tauramena.. Se observa que los registros mencionados no se presentan dentro del informe.

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 SHAKE 91 que considera la propagación unidimensional de ondas de corte.

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.



Después de revisar el espectro de diseño propuesto, el estudio cumple con este requerimiento como se puede apreciar en la Figura 3 de este concepto. Sin embargo, la validez de los espectros de respuesta en superficie está condicionada a aclarar las inconsistencias y dudas planteadas sobre el espesor y la consistencia de los estratos de suelo y sobre los parámetros dinámicos utilizados en el análisis de la respuesta dinámica.

5. REVISIÓN DEL ESTUDIO ACTUALIZADO DE FECHA OCTUBRE 5 DE 2004

5.1 ATENCIÓN DADA A LA OBSERVACIÓN 4.1

El estudio cumplía este requerimiento desde la primera revisión.

5.2 ATENCIÓN DADA A LA OBSERVACIÓN 4.2

En la versión actualizada del informe el consultor hace notar que no hay total certidumbre sobre el espesor del depósito blando y en todo el cuerpo del informe aclara las inconsistencias en cuanto espesor y consistencia de los depósitos de suelos. De acuerdo con el consultor, el espesor de sedimentos está entre 125 y 150 m y por esta razón para el primer modelo analizado se consideró un espesor de sedimentos promedio de 130 m.

No obstante lo anterior, para considerar el efecto de un aumento en la profundidad del depósito blando, el estudio ahora considera un segundo modelo en el que se asume un espesor de sedimentos de 150 m, lo cual está más de acuerdo con los mapas de la microzonificación de Bogotá.

El estudio ahora cumple con este requerimiento.

5.3 ATENCIÓN DADA A LA OBSERVACIÓN 4.3

En la primera revisión se mencionó que *"los valores de Vs entre 10 y 35 m de profundidad no son coherentes con el perfil de resistencia presentado en la Figura 5 del informe. En cuanto esta inconsistencia, el consultor comenta que las mediciones obtenidas mediante ensayos in-situ como el down-hole son más confiables que los datos generales de la microzonificación (reflejan condiciones in-situ ?) y por lo tanto son los valores que se utilizan para obtener Gmax en los primeros 40 m del depósito.*

Por otra parte, para considerar el efecto en el espectro de respuesta de la variación de Vs con la profundidad, esto es con el esfuerzo de confinamiento promedio, el estudio ahora analiza un tercer modelo asumiendo a partir de los 40 m, un perfil de velocidades menor que el utilizado en el modelo base y que no aumenta linealmente con la profundidad, atendiendo la recomendación de esta Sociedad.

El estudio ahora cumple con este requerimiento.

5.4 ATENCIÓN DADA A LA OBSERVACIÓN 4.4

El estudio corrigió las ordenadas de las figuras 2 y 4, las cuales efectivamente corresponden a la relación de amortiguamiento, β.

En cuanto a la forma atípica de las curvas de degradación del módulo de corte G, el consultor argumenta que de todas maneras la información procedente de una medición realizada sobre muestras extraídas de la zona de estudio es más representativa y confiable que los resultados obtenidos en estudios más generales como el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá. Por otra parte, en relación con las propiedades dinámicas de los lentes arenosos el consultor explica que para éstos se utilizó un modelo de comportamiento dinámico encontrado para suelos de baja plasticidad, que se ajusta más a lo encontrado en los sondeos geotécnicos realizados en la zona de estudio. El consultor no considera apropiado modelar estos suelos con las curvas disponibles en la literatura universal para arenas limpias. Esta Sociedad considera aceptables los argumentos del consultor.

En general el estudio cumple ahora con este requerimiento.

5.5 ATENCIÓN DADA A LA OBSERVACIÓN 4.5

El estudio cumple con este requerimiento desde la primera revisión.

5.6 ATENCIÓN DADA A LA OBSERVACIÓN 4.6

El estudio cumple con este requerimiento desde la primera revisión.

5.7 ATENCIÓN DADA A LA OBSERVACIÓN 4.7

Una vez aclaradas las dudas planteadas sobre el espesor del depósito y los parámetros dinámicos de los diferentes estratos en la validez de los espectros de respuesta, el estudio cumple con el requerimiento de espectros mínimos como se puede apreciar en la Figura 13 del informe. El cumplimiento de este requerimiento se había verificado mediante la figura 3 del concepto técnico correspondiente a la revisión inicial.

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 en el estado actual el estudio de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas del proyecto en referencia está completo a la luz de los requerimientos mínimos consignados en el Decreto 074 de 2001.

Revisó y Aprobó: **ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN** Presidente y Representante Legal Sociedad Colombiana de Geotecnia	
VoBo: **ING. MAURICIO TAPIAS CAMACHO** Grupo de Conocimiento DPAE	VoBo: **JAVIER PAVA SÁNCHEZ** Coordinador Técnico DPAE