Secretaria
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS

Sociedad Colombiana de Geotecnia
www.scg.org.co

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

CONCEPTO TECNICO No. CT - 4452 de 2006

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 Rodríguez Azuero Curador Urbano No. 1
LOCALIDAD:	Usaquén
BARRIO:	Pradera Norte
PROYECTO:	**TOSCANA**
UPZ:	Toberín 12
EJECUTOR:	Espinosa y Restrepo Cía. Ltda.
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
FECHA DE EMISION:	Agosto 8 de 2006

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 **sexta revisión** realizada por la Sociedad Colombiana de Geotecnia del Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas del proyecto Toscana, localizado entre la Diagonal 166 y Calle 165 A, con Carrera 29 A y Transversal 28, barrio Pradera Norte de la localidad de Usaquén, en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO TOSCANA

El estudio entregado a esta entidad indica que en el lote localizado Diagonal 166 y Calle 165 A, con Carrera 29 A y Transversal 28 de la localidad de Usaquén, se contempla el desarrollo de un proyecto con 205 casas de 3 pisos con semisótano y un salón comunal con estructura en pórticos, con las siguientes coordenadas aproximadas (Figura 1):

104670 E
116311 N

Tanto el estudio geotécnico como el estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas fue elaborado por la firma Espinosa y Restrepo.

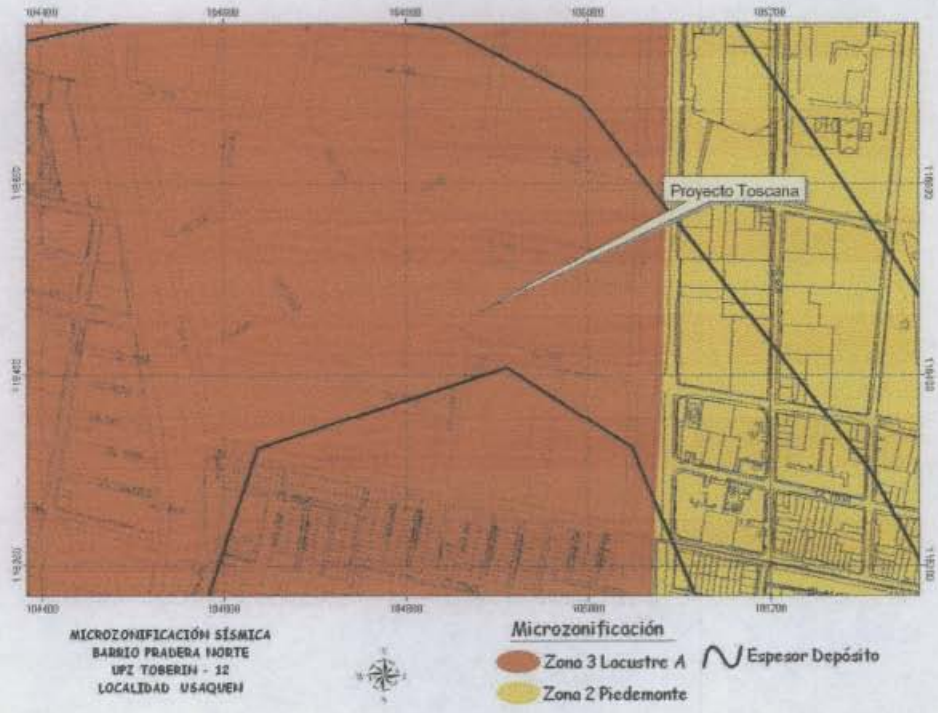


Figura 1 Ubicación del Proyecto Toscana

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO

La revisión inicial del informe EYR-S 5371 "Análisis de Microzonificación Local para su Proyecto Toscana a construirse entre la Diagonal 166 y la Calle 165 A y entre la Carrera 29 A y Transversal 28 de Bogotá," y el Estudio de Suelos para el Proyecto Toscana, Trabajo EYR-S-5371, 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.

Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS

Sociedad Colombiana de Geotecnia
www.scg.org.co

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

El concepto técnico No. CT-4008 de Julio 19 de 2004 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 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. 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. La ubicación esta de acuerdo con el Decreto 074 de 2001.

En la sección 4.1- Metodología y ensayos se indica que la profundidad del depósito en el sitio es de 200 m. Sin embargo, de acuerdo con los resultados de la Microzonificación el espesor puede ser cercano a 250 m (Ver Figura 1 del presente concepto). Se requiere verificar esta diferencia.

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 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 (falta el perfil dinámico entre los 50m y 200 m 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, ya que las presentadas para arenas son teóricas). Tampoco se presenta el análisis utilizado para definir e interpolar el posible perfil geotécnico entre 50m 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 tres estratos. En la sección 4.1 se menciona que las propiedades de las turbas se obtuvieron del ensayo

de Dowh Hole. Sin embargo en la interpretación del ensayo no se identifican estos estratos.

No se indican que propiedades se utilizaron para los suelos de 50 a 200 m de profundidad. Se menciona 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 2.3 - Ensayos dinámicos del informe se presentan resultados de Bender Element antes y después de consolidar pero no se indica la presión de consolidación. No se correlaciona con la Vs del ensayo Down Hole.

Se hicieron ensayos de columna resonante y triaxial cíclico con presiones de consolidación de 1.5 kg/cm2 para la muestra a 15.5 m, y 3.85 kg/cm2 para la de 39.5 m, cuando el esfuerzo vertical efectivo no es mayor de 1.0 kg/cm2 y 2.4 kg/cm2 aproximadamente para estas muestras. Estos valores son muy distintos a los del terreno y pueden aún exceder la presión de preconsolidación. Esto tiene un importante efecto sobre los resultados, ya que se obtienen módulos diferentes a los del terreno.

Por otra parte, no se presentan las curvas obtenidas en términos de la degradación normalizada de G y variación de la relación de amortiguamiento para todos los niveles de deformación por corte. En la figura 2 obtenida por esta Sociedad a partir de los datos tomados de los ensayos dinámicos que se reportan en el informe, se puede apreciar que los datos de los distintos ensayos corresponden a diferentes rangos de deformación y en algunos casos no hay buena correspondencia de continuidad de las curvas dinámicas. 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 de arcilla 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.

Se dice que para los lentes de turba se utiliza correlación para obtener el módulo de cortante con los ensayos geofísicos efectuados y con los ensayos de laboratorio. Sin embargo no se hicieron ensayos de laboratorio sobre estos materiales y tampoco se identifican como estratos diferentes en el ensayo de Down Hole de acuerdo con los estratos indicados en la página 7. Tampoco se indica cuales fueron esos valores. Se deben mostrar en una figura.

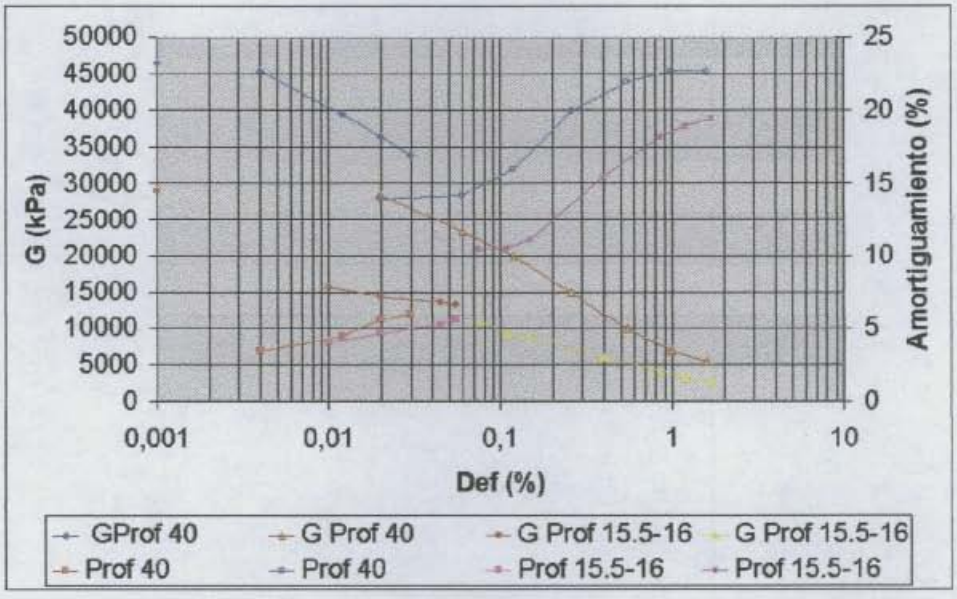


Figura2

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

CUMPLIMIENTO

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.

CUMPLIMIENTO

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 Microzanificación Sísmica de Bogotá,

Estos aspectos se tratan en el capítulo 4 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. 11 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.

4.7.1 Metodología y ensayos

Se indica que se fijan los espectros de los sismos de diseño establecidos. Sin embargo lo que está especificado por el decreto 074 son los acelerogramas. De todas maneras, el espectro del sismo regional que se muestra no corresponde con el obtenido para el registro del sismo correspondiente definido por el decreto (ver comentarios en 4.7.2).

Se da una breve explicación sobre la selección de los parámetros, lo cual ya se discutió, pero que no permite saber realmente que perfil de suelos y propiedades se utilizaron.

4.7.2 Análisis de respuesta dinámica

Se presentan los tres sismos utilizados y sus espectros y luego una gráfica de espectros en superficie. Los espectros de los sismos utilizados 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.

Como no se indican las propiedades de los materiales utilizadas no es posible verificar los resultados. Sin embargo, para el sismo regional de la microzonificación y datos de Vs del estudio, con el rango de valores definidos por las curvas dinámicas del estudio, y asumiendo para los suelos de 50 m a 200 m de profundidad un ligero incremento de Vs con la profundidad y curvas típicas de arenas, de acuerdo con lo que se indica en el estudio, se obtienen los resultados que se muestran en la figura 3 (superficie1 y superficie2). En primera instancia se nota que el espectro del sismo regional definido por el decreto 074 no corresponde con el presentado en el estudio de Espinosa y Restrepo. Por otra parte el rango de resultados en superficie es bastante amplio dependiendo de las propiedades que se utilicen.

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

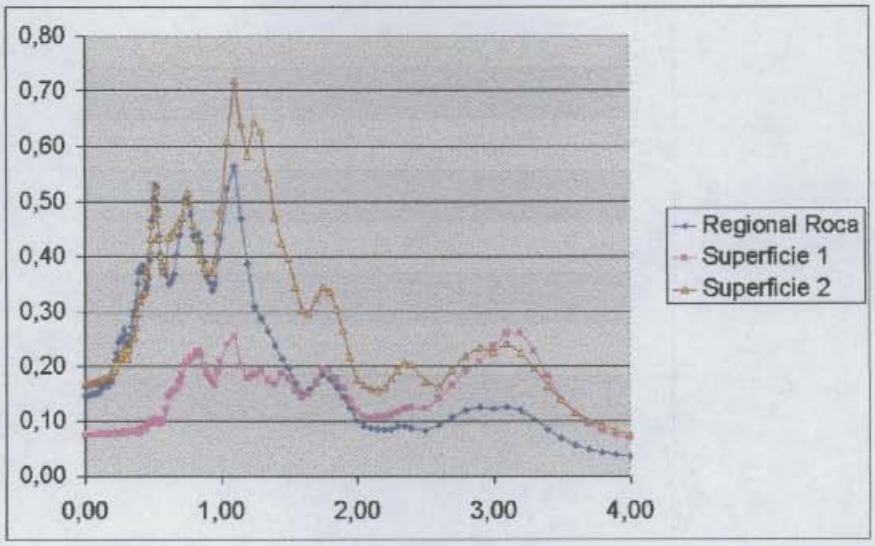


Figura 3

El espectro recomendado no se puede apreciar en la figura de la página 14. Con base en los datos de la tabla de la pag 15 se dibujó el espectro recomendado y se encuentra que está por debajo del mínimo aceptado para la zona 3 a partir de 1.4 seg. Estos datos se presentan en la figura 4

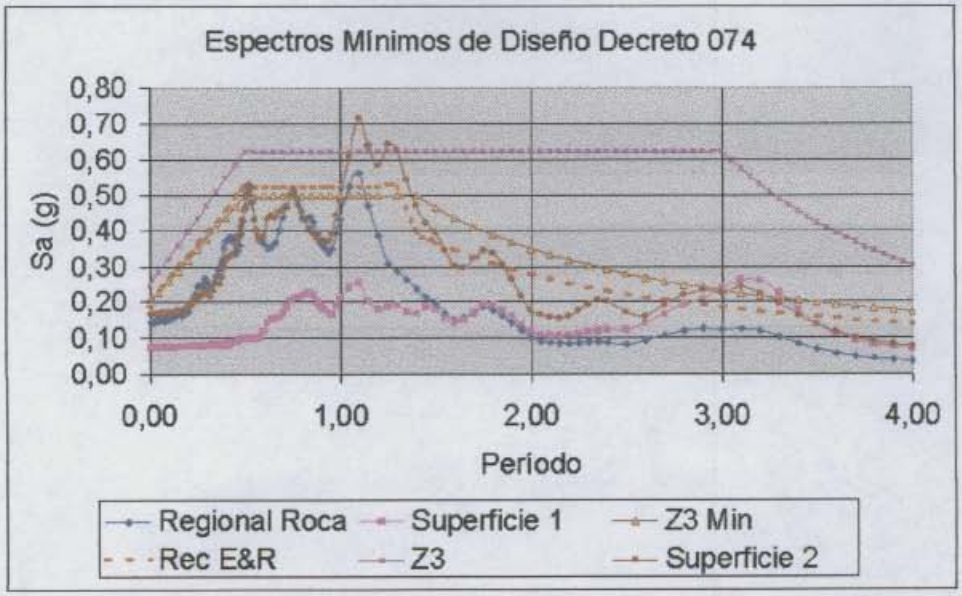


Figura 4

5. SEGUNDA REVISION DEL ESTUDIO

El concepto técnico No. CT-4134 de Abril 25 de 2005 relacionado con la segunda revisión del estudio de respuesta local del subsuelo se transcribe a continuación con referencia a los requerimientos pertinentes del decreto antes mencionado:

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

En el informe se confirma que el proyecto está localizado en la Zona 3 Lacustre A y se presentan los espectros de respuesta que deberían ser empleados.

En la figura presentada en la página 10, tomada del DACD 1991 – FOPAE se confirma que en la zona del proyecto la roca se encuentra entre 150 m y 200 m, en una zona en la cual la roca presenta una pendiente notoria. Considerar la máxima profundidad no necesariamente corresponde a la condición más crítica para la evaluación de la respuesta de sismo, especialmente si se considera el tipo de estructuras a construir, casas de tres niveles, relativamente rígidas.

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 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.

En la pagina 16 se presenta un cuadro en donde se resumen las propiedades índices y dinámicas empleadas para los análisis; para los primeros 50 m, están definidos la velocidad de propagación de onda de corte y el módulo de rigidez con base en los resultados del ensayo down-hole.

En este cuadro se presenta una inconsistencia entre los valores del contenido de agua y la relación de vacíos, el cual se hace particularmente notorio a partir de los 50 m de profundidad, en donde se reportan relaciones de vacíos en promedio de 3 y contenidos de humedad entre 40% y 60%. Estas consideraciones afectan los pesos unitarios a considerar, los cuales no se muestran en dichos cuadros.

Entre 50 m y 190 m de profundidad aparecen los módulos de rigidez obtenidos para suelos cohesivos; sin embargo, en la pagina 22 sólo presenta dos correlaciones

basadas en la resistencia a la penetración estándar, normalizada para el 60% y otra para estimar la fracción de amortiguamiento (Ishibashi y Zhang); no se especifica cual se usó, y si fueron las primeras de donde salieron las resistencias a la penetración estándar.

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 realizó un ensayo down-hole, y con base en los análisis del ejecutor se tomaron las velocidades de propagación para los primeros 50 m de profundidad. Si se hace una reinterpretación del mismo se podrían identificar variaciones en las zonas de turba.

Si el medio está saturado una velocidad de propagación de onda P de 440 m/seg no es completamente representativa.

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.).

En la tabla presentada en la pagina 14 se presentan las presiones a las cuales se consolidaron las muestras para los ensayos dinámicos, las cuales resultan demasiado altas considerando los esfuerzos efectivos a los cuales están sometidos los suelos a dichas profundidades. Estos valores no coinciden con la forma de calcular las presiones de acuerdo con lo manifestado en la misma página 14 "la presión de cámara corresponde a 0,65 veces el esfuerzo efectivo". Usar estas presiones tan altas afecta las propiedades medidas en los ensayos.

Sólo en los ensayos triaxiales hay claridad con respecto a las presiones de confinamiento empleadas, en los ensayos de velocidad de corte y columna resonante no se definen.

El peso unitario obtenido de la muestra 8, utilizada para el bender element es demasiado alto para este tipo de suelos.

No se compararon los resultados con los obtenidos en los ensayos down-hole, aunque con los ensayos de bender se obtuvieron valores del mismo orden a los medidos en el down-hole.

No se presentaron las curvas completas para los suelos de los estratos superiores obtenidos con base en los ensayos. Se deben presentar estas curvas y compararlas con las obtenidas en estudios anteriores para la ciudad de Bogotá.

Se presentan unas curvas de variación del módulo de rigidez y la fracción de amortiguamiento crítico para los estratos 3 a 9, pero en el documento no se indica a que profundidades corresponde cada uno de los estratos ni a que tipo de material corresponden.

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

CUMPLIMIENTO

5.6 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.

CUMPLIMIENTO

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 Microzanificación Sísmica de Bogotá.

Dado que se hizo un análisis considerando estratos horizontales no se justifica la ejecución de un modelo bidimensional, el cual tiene limitaciones y debido a la malla tan estrecha que se usó, se pueden presentar efectos de frontera que afectan los resultados.

La malla utilizada no es homogénea en cuanto a la distribución y tamaño de los elementos empleados, pudiendo dar lugar a alteraciones en la propagación de la onda que afectan sus resultados.

No se especifica, como se reproduce la base rígida debajo de la malla, ni que condiciones de frontera considera. La base rígida debe considerar la rigidez de la roca y el amortiguamiento que esta posee. La amplificación de un sismo depende de la impedancia que existe entre la base rígida y el suelo que lo subyace. No considerar una base absorbente puede generar incrementos importantes en la respuesta de la superficie.

Se utilizaron elementos triangulares, algunos de ellos con ángulos bastante obtusos que también generan problemas numéricos (estratos de color azul y morado).

En algunos sectores de la malla la altura de los elementos es demasiado alta. Lysmer recomienda que la altura máxima de los elementos sea del orden de:

$$Hmax = Vs/5Fmax$$

Donde	*Hmax*	*Altura màxima de los elementos*
	Vs	*velocidad de Propagación de onda de corte*
	Fmax	*Frecuencia máxima de interés.*

EL hecho que existan diferencias entre los valores obtenidos en el down-hole y los ensayos de laboratorio para deformaciones pequeñas, muestra la necesidad de hacer análisis dentro de un rango de propiedades y no trabajar con un conjunto único de propiedades. Pequeñas variaciones en las propiedades pueden inducir diferencias importantes en la respuesta del suelo.

Utilizaron los acelerogramas recomendaos por la norma: Sismo lejano (amax 0.03 g), Sismo cercano (amax 0,25 g) y sismo Regional (amax 0,25 g)

En el capítulo de las conclusiones se presenta una figura en donde se muestran los espectros de los sismos obtenidos en superficie para cada uno de los sismos utilizados en los análisis. No se presenta ninguna discusión que justifique las grandes diferencias en el contenido frecuencial de los diferentes espectros obtenidos. Se deben analizar a la luz de las características espectrales de los sismos empleados como excitación.

En general se observa que ninguno de los tres sismos considerados presenta amplificación, la cual era de esperarse en el sismo lejano.

No se hace ninguna comparación con los espectros máximo y mínimo aceptable recomendados por la norma.

6. TERCERA REVISION DEL ESTUDIO

El concepto técnico No. CT-4180 de Julio 21 de 2005 relacionado con la tercera revisión del estudio de respuesta local del subsuelo se transcribe a continuación con referencia a los requerimientos pertinentes del decreto antes mencionado:

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

Como se muestra en la ubicación presentada en la Gráfica No. 7 del informe y en las figuras correspondientes del informe de la Microzonificación Sísmica se insiste que en la zona del proyecto la roca se encuentra entre 150 m y 200 m, o incluso menos, en una zona en la cual la roca presenta una pendiente notoria. Considerar la máxima profundidad no necesariamente corresponde a la condición más crítica para la evaluación de la respuesta de sismo, especialmente si se considera el tipo de estructuras a construir, casas de tres niveles, relativamente rígidas.
El espectro recomendado se acerca al límite del espectro mínimo para la zona, y si se considera un espesor inferior puede subir el valor de las aceleraciones espectrales.

CUMPLIMIENTO PARCIAL

6.2 Para estos estudios, todos los datos de campo deben provenir de mínimo una perforación de 50 m en suelos blandos y se debe realizar 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.

En la pagina 16 (Tabla No. 4) se presenta un cuadro en donde se resumen las propiedades índices y dinámicas empleadas para los análisis; para los primeros 50 m, están definidos la velocidad de propagación de onda de corte y el módulo de rigidez con base en los resultados del ensayo down-hole, de forma apropiada..

No se revisaron los valores de los parámetros por debajo de 50 m, de forma que se continúan presentando inconsistencias entre los valores del contenido de agua y la relación de vacíos, el cual se hace particularmente notorio a partir de los 50 m de profundidad, en donde se reportan relaciones de vacíos en promedio de tres y contenidos de humedad entre 40% y 60%, es decir los suelos a esas profundidades presentan saturaciones del orden del 60%. Esto no coincide con lo reportado en estudios anteriores, incluso con el registro de la perforación presentado en el Anexo 5 del informe.

Entre 50 m y 190 m de profundidad aparecen los módulos de rigidez obtenidos para suelos cohesivos; sin embargo, en las paginas 23 y 24 se presentan una correlación presentada por Drenevich a principios de los años 70 con muchas restricciones para

materiales granulares y otra basada en la resistencia a la penetración estándar, normalizada para el 60% y otra para estimar la fracción de amortiguamiento (Ishibashi y Zhang).

Se debe aclarar cual se usó y además cuales fueron los pesos unitarios empleados en los análisis.

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

Se realizó un ensayo down-hole, y con base en los análisis del ejecutor se tomaron las velocidades de propagación para los primeros 50 m de profundidad. Si se hace una reinterpretación del mismo se podrían identificar variaciones en las zonas de turba.

Si el medio está saturado una velocidad de propagación de onda P de 440 m/seg no es completamente representativa.

6.4 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.).

Los esfuerzos de confinamiento, Véase tabla No. 2, son muy altos si se comparan con los esfuerzos efectivos a los cuales están sometidos los suelos a dichas profundidades. El argumento de que los suelos se encuentran parcialmente saturados no es válido, puesto que en los ensayos realizados, Ver Tabla No 4 y en las hojas originales de la Universidad de Los Andes, es fácil comprobar que el suelo está completamente saturado. Únicamente no aparece como completamente saturado por debajo de los 50 m, en donde se considera que existen inconsistencias en los parámetros empleados, tal como se comentó anteriormente.

El efecto del confinamiento es notorio como se observa en la Tabla 3 en donde se observa la diferencia entre las velocidades de propagación y la rigidez de las muestras con y sin confinamiento.

Por tanto se insiste en la necesidad de evaluar la influencia del confinamiento en el comportamiento de estos suelos, puesto que considerando los esfuerzos efectivos mostrados en la Tabla 4, los esfuerzos de confinamiento que se deberían haber empleado para realizar los ensayos (Tabla 2) son del orden de la tercera parte de los que fueron usados en los ensayos.

No se presentaron las curvas completas para los suelos de los estratos superiores obtenidos con base en los ensayos. No se compararon con las obtenidas en estudios anteriores para la ciudad de Bogotá.

No se encontró en donde definen los estratos empleados en los análisis, en cuanto a profundidad, propiedades, etc. De forma que no se pudo analizar a que corresponden cada una de las figuras presentadas. Si se consideran los colores empleados en la Gráfica No. 8, serían 12 estratos, pero sólo se están definiendo 9 estratos. Se solicita aclarar este aspecto.

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

CUMPLIMIENTO

6.6 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.

CUMPLIMIENTO

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

No se aclaró como se modeló la base rígida.

Se utilizaron elementos triangulares, algunos de ellos con ángulos bastante obtusos que también generan problemas numéricos (estratos de color azul y morado).

En algunos sectores de la malla la altura de los elementos es demasiado alta. Lysmer recomienda que la altura máxima de los elementos sea del orden de:

$$Hmax = Vs/5Fmax$$

Donde	*Hmax*	*Altura máxima de los elementos*
	Vs	*velocidad de Propagación de onda de corte*
	Fmax	*Frecuencia máxima de interés.*

En la Gráfica No. 28 el espectro de diseño presentado no coincide con los datos presentados en la tabla No. 6(Tc = 1.4). Aparentemente, el espectro recomendado coincide con el mínimo de la zona.

7. CUARTA REVISION DEL ESTUDIO DE FECHA FEBRERO 22 DE 2006 (No. CT-4325)

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

La ubicación esta de acuerdo con el Decreto 074 de 2001.

En la figura 3 se presenta la localización con respecto al mapa de espesores de sedimento de la microzonificación de Bogotá, en donde se observa que el proyecto se encuentra en una zona en la cual el paleorelieve tiene una fuerte pendiente; por tanto el espesor en el sector es muy variable. Se escogió un espesor de 150 m, que puede ser menor al que se registra en la figura mencionada, pero por las características de la obra no tiene gran influencia en la respuesta del sitio.

7.2 Para estos estudios, todos los datos de campo deben provenir de mínimo una perforación de 50 m en suelos blandos y se debe realizar 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.

Se realizó un sondeo a 50 m de profundidad, y se complementó hasta 150 m con los resultados de una perforación realizada en la Calle 170 con Autopista Norte. En este documento no se anexan los datos de esta perforación.

En la tabla No. 5 se presentan los datos empleados en los análisis y se observan varias inconsistencias:

- *El esfuerzo total está mal calculado, se observan que en algunos tramos disminuye con la profundidad.*
- *A partir de los 130 m de profundidad se disminuye la velocidad de propagación, lo cual no está de acuerdo con los resultados de la perforación de la calle 170, ni con lo observado por diferentes autores, de acuerdo con los cuales se presenta un incremento proporcional de la velocidad con la profundidad.*

7.3 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 tres estratos. En la sección 4.1 se menciona que las propiedades de las turbas se obtuvieron del ensayo de Dowh Hole. Sin embargo en la interpretación del ensayo no se identifican estos estratos.

Ver numeral 6.3.

7.4 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.).

Para los estratos 1, 4 y 6 se emplearon curvas de degradación muy fuertes, de forma que para deformaciones del 0.003 % se obtienen G/Gmax del orden del 50%, los cuales son demasiado bajos para este tipo de materiales o no han sido reportados por la literatura.

Emplear módulos de rigidez demasiado bajos incrementa las deformaciones y el amortiguamiento en los suelos, dando como resultado una reducción en la amplificación.

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

CUMPLIMIENTO

7.6 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.

CUMPLIMIENTO

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

Ver numerales anteriores

8. QUINTA REVISION DEL ESTUDIO DE FECHA JUNIO 6 DE 2006 (No. CT-4401)

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

La ubicación esta de acuerdo con el Decreto 074 de 2001.

CUMPLIMIENTO

8.2 Para estos estudios, todos los datos de campo deben provenir de mínimo una perforación de 50 m en suelos blandos y se debe realizar 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.

Se realizó un sondeo a 50 m de profundidad, y se complementó hasta 150 m con los resultados de una perforación realizada en la Calle 170 con Autopista Norte. En este documento no se anexan los datos de esta perforación.

Se revisaron los valores del esfuerzo total y los valores de la velocidad de propagación en las ondas en los estratos más profundos.

CUMPLIMIENTO

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

CUMPLIMIENTO.

8.4 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 hace la aclaración sobre las unidades de la deformación en las curvas de degradación empleadas en los análisis, las cuales corresponden a los resultados de los ensayos de laboratorio.

En la carta EYR-S- 5371 se comenta que "se realizó nuevamente la modelación del perfil, con el fin de comprobar que el tomar o no estos valores en porcentaje no afectan la respuesta de cada uno de los sismos utilizados" Esto sólo sería posible si se está haciendo un análisis elástico de forma que no se estén utilizando las curvas de degradación. Utilizar las curvas de variación del modulo y de la fracción de amortiguamiento con deformaciones unitarias o en porcentajes genera fuertes diferencias en los resultados de los análisis siempre y cuando se permita que el programa ejecute las iteraciones necesarias hasta hacer que estas propiedades del suelo sean compatibles con el nivel de deformación.

Se solicita aclarar si se utilizó de forma apropiada el método lineal equivalente, puesto que las respuestas deberían ser dramáticamente diferentes.

Corregir las figuras No. 9, 10, 11, 12, 15 y 16, en los cuales la escala aparece en porcentaje y en realidad está en deformaciones unitarias.

CUMPLIMIENTO PARCIAL

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

CUMPLIMIENTO

8.6 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.

CUMPLIMIENTO

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

En la figura No. 33 se observa que el espectro recomendado por E&R está ligeramente por debajo del mínimo recomendado para la zona 3, después de terminar la meseta.

9. REVISION DEL ESTUDIO ACTUALIZADO DE FECHA JULIO DE 2006

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

CUMPLIMIENTO

9.2 Para estos estudios, todos los datos de campo deben provenir de mínimo una perforación de 50 m en suelos blandos y se debe realizar 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.

CUMPLIMIENTO

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

CUMPLIMIENTO.

9.4 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 corrigieron las curvas de variación de las propiedades con el nivel de deformación, y se incorporaron estas curvas a los análisis obteniendo espectros de respuesta con diferencias notorias con respecto a los presentados en el informe del mes de Abril, como se puede observar al comparar las figuras No. 30 del Informe de Julio con la figura No. 33 del informe de Abril.

CUMPLIMIENTO

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

CUMPLIMIENTO

9.6 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.

CUMPLIMIENTO

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

En la figura No. 30 se observa que el espectro recomendado por E&R coincide bastante con el espectro mínimo recomendado para la Zona 3, con excepción del To, el cual se desplazó hacia la izquierda para un valor de 0,30 segundos.
Para definir el espectro recomendado se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos con el sismo cercano, que obligo a desplazar el To, y los resultados del sismo regional, cuyas aceleraciones espectrales máximas coinciden con la altura de la meseta recomendada, con excepción de un pico para un periodo de 1,2 seg en el cual se alcanza un valor superior. Sin embargo, se considera razonable el espectro recomendado dado que el proyecto consiste en casas de tres pisos, cuyos periodos de vibración no coinciden con obtenido para el sismo regional.

CUMPLIMIENTO

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de la revisión, se concluye que el estudio de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas del proyecto en referencia está COMPLETO y se ajusta a los requerimientos mínimos consignados en el Decreto 074 de 2001.

Revisó y Aprobó: Jorge A. Rodriguez O. **JORGE ALBERTO RODRIGUEZ O.** Presidente Sociedad Colombiana de Geotecnia	
Revisó: **ING. JUAN CARLOS PADILLA R.** Grupo de Estudios Técnicos y Conceptos DPAE	VoBo: **ING. PABLO GARZON CASARES** Jefe (E) Estudios Técnicos y Conceptos Area de Investigación y Desarrollo DPAE
Aprobó: **ING. GUILLERMO AVILA ALVAREZ** Coordinador de Investigación y Desarrollo DPAE	