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

CONCEPTO TECNICO No. CT - 4441 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. Germán Ruiz Silva Curador Urbano No. 4
LOCALIDAD:	Usaquén
BARRIO:	Cedro Salazar
PROYECTO:	**Carrera 19 No. 152-05**
UPZ:	13. Los Cedros
EJECUTOR:	Espinosa y Restrepo Cía. Ltda.
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
FECHA DE EMISION:	Agosto 01 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 **cuarta revisión** realizada por la Sociedad Colombiana de Geotecnia del Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas del proyecto localizado en la Carrera 19 No. 152-05, barrio Cedro Salazar de la Localidad de Usaquén, en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO Carrera 19 No. 152 - 05

El estudio entregado a esta entidad indica que en el lote localizado en la Carrera 19 No. 152-05, barrio Cedro Salazar de la Localidad de Usaquén, se contempla la construcción de un edificio de seis pisos y semisótano, en estructura convencional de concreto reforzado con luces entre ejes de columnas entre 5 y 6 metros.

La ubicación del sitio corresponde a las siguientes coordenadas planas aproximadas:

114743 N; 105137 E

Tanto el estudio geotécnico como el estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas fue elaborado por la firma Espinosa y Restrepo. En esta ocasión se revisa el documento EYR-S 6272, del mes de junio de 2006, al cual viene anexa la comunicación EYR-S-6272 del 28 de junio de 2006, registrada en el FOPAE el día 29 de junio de 2006 con el registro 1-06137.

Secretaría
GOBIERNO

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA



Figura 1 Localización General del Proyecto Carrera 19 No. 152 - 05

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO DE FECHA OCTUBRE 18 DE 2005

La revisión del informe EYR-S 6272 "Análisis de Microzonificación Local para su Proyecto a construirse entre la Carrera 19 No. 152-05 de Bogotá se hace 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 No. CT-4218 de Octubre 18 de 2005 relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo se transcribe a continuación con referencia a los requerimientos pertinentes del decreto antes mencionado.

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

De acuerdo con lo descrito en la página 1, el proyecto está localizado en la Zona 3 (lacustre A); y su localización se indica en la Gráfica No. 3, aunque en ella no se muestran los límites de las zonas en las cuales se dividió la ciudad.

En el texto se indica que la profundidad de la roca es del orden de 225 m; sin embargo en la figura 2.6 del libro de la Microzonificacion Sísmica de Bogotá (INGEOMINAS- U. de los Andes, 1997), la profundidad puede llegar a ser del orden de 270 m, puesto que el proyecto queda localizado en una especie de paleo-hondonada actualmente cubierta por los sedimentos lacustres.

CUMPLIMIENTO PARCIAL. Se recomienda revisar la profundidad de la roca en el sitio del proyecto.

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.

Se realizó una exploración de campo consistente en 5 sondeos, uno con una profundidad de 50 m, otro con profundidad de 25 m y los tres restantes de 8 m de profundidad.

Considerando que la profundidad de la roca se supuso a 225 m, se complementó la información con una perforación realizada por la Universidad de los Andes en la Avenida Cundinamarca, cuya localización no se presenta.

De acuerdo con la información recopilada la Avenida Cundinamarca está localizada al occidente de los cerros de Suba, por tanto se considera que no es representativa del proceso de sedimentación que ocurrió entre los cerros de Suba y los cerros Orientales. Existen perforaciones que pueden ser mas representativas, como la realizada en la Universidad Agraria, (Calle 170).

Se realizaron ensayos de caracterización de las materiales encontrados en la perforación que alcanzó los 50 m de profundidad. En general hay un predominio de arcillas muy húmedas y compresibles, dentro de las cuales se destaca la presencia de capas de turba; siendo las más importantes las localizadas entre 23 m, y 24,5 m y entre 39 m y 42 m de profundidad.

En la tabla No. 3, presentada en las páginas 19 y 20, existen inconsistencias entre los valores de las humedades, la relación de vacíos y el grado de saturación obtenido en los ensayos realizados en estas muestras. Si se tiene que el nivel freático se encuentra a 4.5 m de profundidad, resulta muy poco creíble que en este tipo de arcillas se presenten grados de saturación inferiores al 90%. Se deben revisar los resultados de los ensayos de laboratorio.

INCUMPLIMIENTO

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 en la perforación de 50 m de longitud, por parte de la firma P.S.I.. Tan sólo se distinguieron dos velocidades diferentes, una superior de 125 m/seg hasta una profundidad de 19 m, a partir de la cual se encontró una velocidad de 134 m/seg; prácticamente igual a la primera.

Se destaca que la velocidad de propagación de las ondas P tan sólo es de 279 m/seg; valor muy bajo para un material saturado.

Se presentaron además los resultados de unos ensayos realizados por la Universidad de los Andes en el Bacatá Portal (probablemente de Transmilenio), y en la Avenida El Dorado con Carrera 68. Se debe aclarar la localización del primer punto y para el segundo, se considera que no es representativa de las condiciones del proyecto; se deben escoger datos de perforaciones mucho más cercanas al sitio de análisis.

Por otra parte, los resultados del ensayo down-hole, no fueron incorporados al análisis de la respuesta, puesto que finalmente se trabajo con correlaciones, algunas de ellas desactualizadas y con muchas limitaciones como las de Hardin y Black de 1970, presentadas en el libro del Dr. Sarria.

CUMPLIMIENTO PARCIAL

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 1.0 k/cm2 para la muestra a 17.5 m, y de 1,75 kg/cm2 para la de 37.5 m. De acuerdo con los resultados de la tabla No. 3, para la primera profundidad el esfuerzo vertical efectivo es de 0,812 kg/cm2 y un valor entre 2,4 y 0,92 kg/cm2 para la segunda profundidad.

Es evidente que existe un error en el cálculo de los esfuerzos totales y efectivos presentados en la tabla No. 3, puesto que los esfuerzos totales no pueden disminuir con la profundidad como aparece en la tabla. Se debe revisar el cálculo del peso unitario promedio de la columna del suelo, puesto que se deduce que este valor no es un promedio sino el valor correspondiente al peso unitario del estrato considerado. Se deben recalcular los valores de esta tabla puesto que los valores de los esfuerzos influyen en los resultados de los módulos calculados con base en correlaciones.

Si se hace un estimativo de los esfuerzos a la profundidad de las muestras ensayadas se encuentra que para 17,5 m el esfuerzo vertical efectivo es del orden de 1,37 kg/cm2 y para 37,5 m, es de 2.32 kg/cm2; por tanto los valores de los esfuerzos de confinamiento empleados en los ensayos dinámicos resultan razonables y representativos de las condiciones de esfuerzos del suelo.

No se presentan las curvas obtenidas con base en los ensayos de laboratorio en términos de la degradación normalizada de G y variación de la relación de amortiguamiento para los niveles de deformación por corte analizados. Se debe mostrar una figura con la variación de estas propiedades y compararlas con las obtenidas en la Microzonificacion de Bogotá y por otros autores como Dobry, que permiten definir las curvas con base en los índices de plasticidad.

Los resultados de los ensayos de laboratorio deben ser incorporados a los análisis, puesto que para definir las curvas de degradación de la rigidez y de la fracción de amortiguamiento con la deformación, se emplearon curvas definidas con base en el

índice de Plasticidad y el confinamiento, cálculo que presenta errores como se comentó anteriormente.

No se ensayaron muestras representativas de los lentes de turba encontrados y para definir las curvas de degradación se emplearon curvas basadas en el índice de plasticidad y el confinamiento. Estas curvas no representan el comportamiento de este tipo de materiales. Existen artículos presentados principalmente por E. Rodríguez, en el Congreso Colombiano de Geotecnia, celebrado en Paipa en 2004 y el Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica de Vancouver, del mismo año, en donde se definen curvas para algunos estratos de turba encontrados en la Sabana de Bogotá, incluyen algunas muestras obtenidas cerca de los cementerios del norte de Bogotá que podrían ser utilizadas en los análisis.

INCUMPLIMIENTO

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

Se utilizaron los acelerogramas indicados por la norma. Sin embargo, para definir el espesor mínimo de los estratos para los análisis se calculó el periodo predominante de cada uno de los sismos obteniendo los siguientes valores:

SISMO	Periodo predominante (Seg)
Cercano	1.12
Regional	1.17
Lejano	2.10

Los periodos predominantes que se deducen de los espectros de respuesta de los sismos de diseño, mostrados en la Figura 1.23 del libro de la Microzonificacion Sísmica, son los siguientes:

SISMO	Periodo predominante (Seg)
Cercano	0.40
Regional	2.1
Lejano	1.0

Como se observa, los únicos periodos que coinciden son los correspondientes al sismo regional, que como es conocido presenta problemas debido a la manipulación que sufrió esta señal. Por tanto, se debe revisar el cálculo de los periodos predominantes o definir a que corresponde el valor reportado en los análisis, puesto que con base en esos valores se define la longitud de las ondas y el espesor de los estratos del modelo de elementos finitos. Aun así, el modelo tiene estratos de hasta 25 m, con los cuales no se es posible definir la onda considerando que de acuerdo con los análisis presentados en la tabla No. 4 la longitud de onda mínima es de 64 m.

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.

Se realizaron análisis bidimensionales con el programa QUAKE, se tuvo cuidado en que el ancho fuera del orden de tres veces la altura del estrato para reducir el efecto de las condiciones de frontera; y se usaron los tres sismos recomendados. Sin embargo se observan los siguientes aspectos:

- *Se tomaron estratos con espesores de hasta 25 m, los cuales filtran parte de la señal y no permiten la transmisión completa de la onda. 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.*

- No se incorporaron los resultados del Down-hole ni de los ensayos de laboratorio en la definición de las propiedades dinámicas de los suelos en los 50 m superiores del estrato. Las curvas de degradación de la rigidez y la variación de la fracción de amortiguamiento con la deformación se definieron con base en el IP y el confinamiento.
- No se consideró la presencia de lentes de turba, que afectan la respuesta del suelo.
- A partir de los 50 m se utilizó la información de una perforación sobre la Avenida Cundinamarca, que está localizada al occidente de los cerros de Suba, y que

probablemente corresponde a un ambiente de depositación muy diferente al de la zona de interés. Se deben comparar con perforaciones más cercanas.

- Hasta los 225 m de profundidad se consideró la presencia de estratos de arcilla con velocidades de propagación de ondas S, entre 170 y 220 m/seg, que se pueden considerar bajas. En otros estudios en este sector se ha encontrado la presencia de capas granulares y una tendencia a incrementar la rigidez del suelo con la profundidad.
- Deben ser revisados los valores de los módulos de rigidez máxima presentados en la tabla No. 3, puesto que existe un error evidente en el cálculo de los esfuerzos verticales totales y efectivos, el cual es considerado para el cálculo de los módulos de rigidez de acuerdo con las expresiones presentadas.
- No existe relación entre los valores del módulo de rigidez presentados en la tabla No. 3 y los valores presentados para cada estrato en las páginas 24 a 29. Por una parte, hay un error en las unidades de los módulos presentados en dichas páginas, y aun considerando que estos valores son en Ton/m2, existen diferencias con lo presentado en la tabla.
- Usando estos datos se realizaron análisis con los tres sismos y se hizo un caso considerando unos pilotes. En todos los casos se obtienen espectros por debajo del mínimo de la zona 3, con excepción de algunos valores para el sismo cercano en periodos cortos.
- En ninguna parte se define que tipo de pilote se empleo en los análisis. Llama la atención que el único efecto de los pilotes es reducir las aceleraciones espectrales para los periodos entre 1.2 y 1.5 seg. Si se quiere considerar un análisis de interacción suelo-estructura se debe modelar el sistema completo suelo-cimentación-edificio, puesto que con el análisis presentado no se está considerando la interacción inercial ni la cinemática.

INCUMPLIMIENTO

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,

Como se comentó los resultados obtenidos están por debajo del espectro mínimo, sin embargo, se presentan una serie de aspectos que no son claros en el desarrollo de los estudios para llegar a estos espectros.

5. SEGUNDA REVISIÓN DEL ESTUDIO DE FECHA FEBRERO 14 DE 2006 (No.CT- 4278)

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

De acuerdo con lo descrito en la página 1, el proyecto está localizado en la Zona 3 (lacustre A); y su localización se indica en la Gráfica No. 3, aunque en ella no se muestran los límites de las zonas en las cuales se dividió la ciudad.

En el texto se indica que la profundidad de la roca es del orden de 225 m; sin embargo en la figura 2.6 del libro de la Microzonificacion Sísmica de Bogotá (INGEOMINAS- U. de los Andes, 1997), la profundidad puede llegar a ser del orden de 270 m, puesto que el proyecto queda localizado en una especie de paleo-hondonada actualmente cubierta por los sedimentos lacustres. En el informe se insiste en la profundidad de 225 m. Considerando el tipo de estructura no se esperan variaciones notorias en los resultados en el intervalo de periodos predominantes de las estructuras, cuando se considera 225 o 270 m.

CUMPLIMIENTO

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.

Se realizó una exploración de campo consistente en 5 sondeos, uno con una profundidad de 50 m, otro con profundidad de 25 m y los tres restantes de 8 m de profundidad.

Considerando que la profundidad de la roca se supuso a 225 m, se complementó la información con los registros de las perforaciones efectuadas por la Universidad de los Andes en la calle 170 (Universidad Agraria) y en la calle 126 con carrera 29, en donde la roca se detectó a 190 m de profundidad. Estas perforaciones se consideran mucho más representativas que la de la Avenida Cundinamarca empleada en la primera versión de este documento.

Se realizaron ensayos de caracterización de las materiales encontrados en la perforación que alcanzó los 50 m de profundidad. En general hay un predominio de arcillas muy húmedas y compresibles, dentro de las cuales se destaca la presencia de capas de turba; siendo las más importantes las localizadas entre 23, y 24,5 m y entre 39 y 42 m de profundidad.

En la tabla No. 3, se siguen presentando inconsistencias entre la relación de vacíos y el peso unitario del suelo, especialmente entre los 135 y 175 m de profundidad, en donde se reportan suelos con relaciones de vacios superiores a 3, con pesos unitarios superiores a 1.6 y hasta 1.9 ton/m3, cuando en el mejor de los casos para esas relaciones de vacíos no pueden ser superiores a 1.4 ton/m3. Se recomienda revisar estos cálculos, dejando constancia que la responsabilidad de los datos es del consultor.

CUMPLIMIENTO

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.

Como se comentó en la primera revisión, se hizo un ensayo de Down Hole en la perforación de 50 m de longitud, por parte de la firma P.S.I, el cual se presenta en el anexo 3. En este sólo se distinguieron dos velocidades diferentes, una superior de 128 m/seg hasta una profundidad de 19 m, a partir de la cual se encontró una velocidad de 134 m/seg; prácticamente igual a la primera.

Se destaca que la velocidad de propagación de las ondas P tan sólo es de 279 m/seg; valor muy bajo para un material saturado.

Se insiste, que los resultados del ensayo down-hole, no fueron incorporados al análisis de la respuesta, puesto que finalmente se trabajo con correlaciones, algunas de ellas desactualizadas y con mucha limitaciones como las de Hardin y Black de 1970, presentadas en el libro del Dr. Sarria, que no son aplicables a suelos como los de Bogotá debido a que subestiman el módulo de rigidez porque están seriamente controladas por el valor de la relación de vacíos.. De forma que como se muestra en la Tabla 3, entre 7.5 m y 21 m se consideró una velocidad de 81 m/seg, inferior a las obtenidas en el Down-hole, y entre 21 y 50 m(aproximadamente), velocidades del orden de 100 m/seg también inferiores a las del Down-hole.

Por otra parte, los valores de velocidad en profundidad no corresponden con los reportados en la perforación de la calle 170, que de acuerdo con el informe fue considerada para la definición del perfil. Se observa que a partir de 130 m la velocidad

se reduce a 140 m/seg, muy inferior a los valores reportados en la perforación de la calle 170, y que además no está de acuerdo con el incremento de velocidades que reportan algunos autores como Jorge Alberto Rodríguez, el cual tiene una tendencia lineal con la profundidad. Por otra parte, no hay consistencia en los datos, puesto que reportan incrementos notorios en los pesos unitarios de los suelos, mientras que se reducen las velocidades de propagación.

La presencia de una capa blanda cerca de la base del perfil, genera reducciones importantes en los resultados de los espectros, debido a que esta zona es la que sufre mayores solicitaciones por cortante, que van a producir grandes deformaciones por cortante en los suelos poco rígidos (como los considerados en este caso) y en consecuencia grandes amortiguamientos, los cuales producen una atenuación importante de la señal sísmica.

CUMPLIMIENTO PARCIAL

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.).

Se incorporaron los resultados de los ensayos realizados a los análisis efectuados. Las curvas de degradación y de amortiguamiento se compararon con las obtenidas de los ensayos y con las obtenidas por otros autores como Edgar Rodríguez.
CUMPLIMIENTO

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

Se utilizaron los acelerogramas indicados por la norma.

Para definir el espesor mínimo de los estratos para los análisis se calculó el periodo predominante de cada uno de los sismos obteniendo los siguientes valores (ver tabla No. 4):

SISMO	Periodo predominante (Seg)
Cercano	0.4
Regional	2.1
Lejano	1

Los cuales coinciden con los deducidos de los espectros de respuesta de los sismos de diseño, mostrados en la Figura 1.23 del libro de la Microzonificacion Sísmica.

Con base en estos resultados se definió una altura máxima de los elementos de 5 m que permite una apropiada simulación de la propagación del sismo.

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.

Se realizaron análisis bidimensionales con el programa QUAKE, se tuvo cuidado en que el ancho fuera del orden de tres veces la altura del estrato para reducir el efecto de las condiciones de frontera; y se usaron los tres sismos recomendados. Sin embargo se observan los siguientes aspectos:

- No se incorporaron los resultados del Down-hole en la definición de las propiedades dinámicas de los suelos en los 50 m superiores del estrato. En los primeros 50 m se emplearon velocidades menores a las obtenidas en el ensayo Down-hole.
- A partir de los 50 m se utilizó la información de las perforaciones de la calle 170 y de la calle 126; sin embargo las velocidades usadas en los análisis son menores a las reportadas en la perforación de la calle 170. Especialmente a partir de 130 m de profundidad. Considerar una capa blanda en el fondo del estrato reduce la amplificación debido a que se generan grandes deformaciones y en consecuencia mayores amortiguamientos. En otros estudios en este sector se ha encontrado la presencia de capas granulares y una tendencia a incrementar la rigidez del suelo con la profundidad.

CUMPLIMIENTO PARCIAL

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,

Como se comentó los resultados obtenidos están por debajo del espectro mínimo, sin embargo, se presentan una serie de aspectos que no son claros en el desarrollo de los estudios para llegar a estos espectros.

CUMPLIMIENTO, condicionado a aclarar las inconsistencias planteadas en los numerales con cumplimiento parcial.

6. TERCERA REVISIÓN DEL ESTUDIO DE FECHA MAYO 24 DE 2006 (No. CT- 4383)

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

De acuerdo con lo descrito en la página 1, el proyecto está localizado en la Zona 3 (lacustre A); y su localización se indica en la página. 3, en donde se comprueba que pertenece a la Zona 3.

En el texto se indica que la profundidad de la roca es del orden de 225 m; sin embargo en la figura 2.6 del libro de la Microzonificacion Sísmica de Bogotá (INGEOMINAS- U. de los Andes, 1997), la profundidad puede llegar a ser del orden de 270 m, puesto que el proyecto queda localizado en una especie de paleo-hondonada actualmente cubierta por los sedimentos lacustres. En el informe se insiste en la profundidad de 225 m. Considerando el tipo de estructura no se esperan variaciones notorias en los resultados en el rango de periodos predominantes de las estructuras, cuando se considera 225 o 270 m, por tanto se considera aceptable.

CUMPLIMIENTO

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.

Se realizó una exploración de campo consistente en 5 sondeos, uno con una profundidad de 50 m, otro con profundidad de 25 m y los tres restantes de 8 m de profundidad.

Considerando que la profundidad de la roca se supuso a 225 m, se complementó la información con los registros de las perforaciones efectuadas por la Universidad de los Andes en la calle 170 (Universidad Agraria) y en la calle 126 con carrera 29, en donde la roca se detectó a 190 m de profundidad. Estas perforaciones se consideran mucho más representativas que la de la Avenida Cundinamarca empleada en la primera versión de este documento.

Se realizaron ensayos de caracterización de las materiales encontrados en la perforación que alcanzó los 50 m de profundidad. En general hay un predominio de arcillas de alta humedad y compresibles, dentro de las cuales se destaca la presencia de capas de turba; siendo las más importantes las localizadas entre 23, y 24,5 m y entre 39 y 42 m de profundidad.

En la tabla No. 3, se corrigieron algunos valores en los pesos unitarios del suelo. Puntualmente se encuentran valores que no son consistentes con las relaciones de vacíos reportadas.

CUMPLIMIENTO

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 aclaró que el ensayo Down-hole empleado en el estudio corresponde al denominado "Portal Bacatà" realizado por la U. de los Andes y no el reportado en los informes anteriores realizado por P.S.I., que fue presentado en el Anexo 3 del estudio anterior y cuya dirección coincide con la del proyecto objeto de esta revisión.

Si se consideran las velocidades medidas en el sondeo "Portal Bacatá", estas coinciden con los valores reportados en la tabla No. 3. Así mismo, de acuerdo con las aclaraciones presentadas por el consultor se corrigieron los valores de la velocidad, y posteriormente se realizó nuevamente la modelación del perfil.

CUMPLIMIENTO

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.).

Se incorporaron los resultados de los ensayos realizados a los análisis efectuados y se compararon los resultados de los ensayos con los obtenidos por otros autores para las turbas en los estratos de estos materiales.

CUMPLIMIENTO

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

Se utilizaron los acelerogramas indicados por la norma.

Para definir el espesor mínimo de los estratos para los análisis se calculó el periodo predominante de cada uno de los sismos obteniendo los siguientes valores (ver tabla No. 4):

SISMO	Periodo predominante (Seg)
Cercano	0.4
Regional	2.1
Lejano	1

Los cuales coinciden con los deducidos de los espectros de respuesta de los sismos de diseño, mostrados en la Figura 1.23 del libro de la Microzonificacion Sísmica.

Con base en estos resultados se definió una altura máxima de los elementos de 5 m que permite una apropiada simulación de la propagación del sismo.

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.

Se realizaron análisis bidimensionales con el programa QUAKE, se tuvo cuidado en que el ancho fuera del orden de tres veces la altura del estrato para reducir el efecto de las condiciones de frontera; y se usaron los tres sismos recomendados. De acuerdo con las aclaraciones anteriores fueron tenidos en cuenta los valores de las velocidades de propagación obtenidas en el down-hole "portal Bacata" que corresponde al proyecto, se corrigieron las velocidades del perfil hasta los 225 m, y se ajustaron las curvas de variación con la deformación del módulo y el amortiguamiento de los suelos, especialmente en los estratos con presencia de turbas.

De acuerdo con la comunicación EYR – 6272 de abril 4 de 2006, se realizó un nuevo modelamiento considerando las recomendaciones realizadas por la DPAE; sin embargo, los espectros presentados en la figura No. 44 (pàgina 51) coinciden completamente para los tres sismos analizados con los presentados en la Figura No. 44 (pagina 50) del informe revisado anteriormente. Si hubo cambios en los parámetros del análisis tal y como lo indica el consultor, entonces es imposible que los resultados sean idénticos a los presentados en la revisión anterior. Por lo tanto la información presentada para la definición de los espectros de diseño no es consistente con lo que se indica en el informe y se requiere que se presenten los resultados de la modelación con los parámetros revisados que menciona el consultor en su comunicación EYR – 6272 del abril 4 de 2006.

NO CUMPLE

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,

Los resultados presentados están por debajo del espectro mínimo para la zona 3 por lo que se recomienda el mínimo de la zona 3 como espectro de diseño, pero dichos resultados no corresponden con los cambios que el consultor indicó en su comunicación EYR – 6272 del abril 4 de 2006. Se solicita aclarar los resultados del espectro obtenido como se menciona en el párrafo anterior.

NO ES POSIBLE VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO

7. CUARTA REVISIÓN DEL ESTUDIO DE FECHA JULIO DE 2006

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

CUMPLIMIENTO

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.

CUMPLIMIENTO

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.

CUMPLIMIENTO

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.).

CUMPLIMIENTO

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.

Se realizaron análisis bidimensionales con el programa QUAKE, se tuvo cuidado en que el ancho fuera del orden de tres veces la altura del estrato para reducir el efecto de las condiciones de frontera; y se usaron los tres sismos recomendados

De acuerdo con la comunicación EYR – 6272 de junio 4 de 2006, "se realizó nuevamente la modelación del perfil, obteniendo las respuestas para cada uno de los sismos que se muestran en la figura 43 del informe". Si se comparan los resultados de la última figura con los espectros presentados en la figura No. 44 (página 51 del tercer nforme) coinciden completamente para los tres sismos analizados con los presentados en la Figura No. 44 (página 50 del segundo informe) es notoria la diferencia entre los espectros de respuesta obtenidos con los datos del proyecto, especialmente en el caso del sismo regional, en donde se observa claramente un cambio en el periodo fundamental del sismo el cual pasó de menos de 1 segundo en los análisis anteriores a cerca de 1.2 segundos en este informe; en cuanto al valor de las aceleraciones espectrales máximas pasó de o,48 g a 0,58 g, con dos periodos menores con valores cercanos a 0,50 g.

A pesar de esta diferencia en los valores de los espectros obtenidos para el sismo se mantiene el espectro de diseño recomendado con una altura de la meseta de 0.525 g, hasta 1.4 seg (Tc). Considerando que el edificio para el cual se obtuvo este espectro es de seis pisos de altura y en consecuencia debe presentar un periodo de vibración mucho menor del periodo de vibración para el cual se obtuvo una aceleración espectral superior a 0,525 g (1,2 seg) resulta razonable no aumentar la altura de la meseta.

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,

CUMPLIMIENTO

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se considera que el estudio cumple con los requisitos exigidos y que se incorporaron las diferentes observaciones realizadas en las revisiones realizadas por la S.C.G.

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	