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

CONCEPTO TECNICO No. CT - 4218 de 2005

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

1. INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE:	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:	Octubre 18 de 2005

2. ANTECEDENTES

De acuerdo con el Decreto 074 del 30 de enero de 2001, por el cual se complementa y modifica el Código de Construcción de Bogotá, D.C., se identifican los límites de Microzonificación Sísmica de Bogotá, D.C. y se adoptan los espectros de diseño, se establece que las construcciones y edificaciones de cualquier índole que se levanten en Bogotá, D. C. o que sean ampliadas, adecuadas o modificadas en forma tal que conlleven intervención estructural, deberán diseñarse y construirse dependiendo de la zona en la cual se encuentren según la Microzonificación Sísmica, acogiendo al efecto los espectros de diseño y sus coeficientes espectrales adoptados para cada zona..

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

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

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 **primera 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 (Figura 1), 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.

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

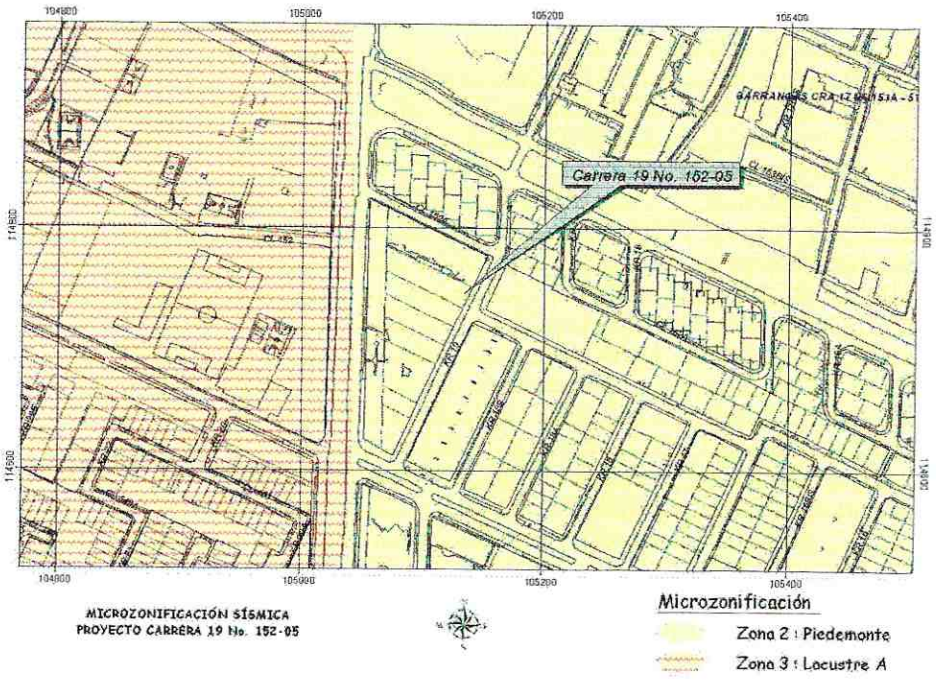


Figura 1 Localización General del Proyecto Carrera 19 No. 152 - 05

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO

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 relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo se presenta 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

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

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 esfuerzo 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, en 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.

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de los estudios presentados para este proyecto deben ser revaluados corrigiendo los errores detectados y atendiendo las recomendaciones presentadas a lo largo de esta comunicación.

Una vez realizadas las correcciones y aclaraciones solicitadas, se recomienda enviar el estudio nuevamente a la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, con el fin de emitir concepto de cumplimiento, de acuerdo con lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

Revisó y Aprobó: **ADOLFO ALARCÓN GUZMAN** Presidente y Representante Legal Sociedad Colombiana de Geotecnia	
Revisó: **ING. JUAN CARLOS PADILLA R.** Grupo de Riesgo Sísmico DPAE	VoBo: **ING. DIANA AREVALO SANCHEZ** Coordinadora Técnica DPAE