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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

CONCEPTO TECNICO No. CT- 4092 de 2005

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

1. INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE:	Dra. Brianda Reniz Caballero Curaduría Urbana No. 2
LOCALIDAD:	Kennedy
BARRIO:	Monterrey
PROYECTO:	**PRO-TECHO**
UPZ:	Castillo 46
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	Alfonso Uribe y Cía. Ltda.
FECHA DE EMISION:	Febrero 7 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 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 al FOPAE, en la Revisión de Estudios y Metodologías de Evaluación de Riesgo Sísmico y por Fenómenos de Remoción en Masa.

El presente concepto técnico corresponde a la **segunda revisión** realizada por la Sociedad Colombiana de Geotecnia del Estudio de Suelos y Geotecnia, el cual incluye el Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas, para el Proyecto Pro-Techo de torres de apartamentos de doce pisos, localizado en la Carrera 92 No. 6-16 de la ciudad de Bogotá D.C., en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO PRO-TECHO

El estudio entregado para revisión por esta sociedad indica que en el lote localizado en la Carrera 92 No. 6-16 en la ciudad de Bogotá, D.C. (Figura 1), se contempla la construcción de torres de apartamentos de doce pisos de altura, con una cimentación conformada por una placa de tipo aligerado que tendrá una altura como mínimo de 1.2 m y que se apoyara sobre las arcillas de color café, para la cual se retirarán los rellenos y la arcilla negar dura conocida como neme hasta destapar las arcillas requeridas. Donde los niveles arquitectónicos y la altura de placa de 1.2 m no alcancen las arcillas, se construirán rellenos en sub-base granular colocadas por capas de espesores máximo de 0.2 m, logrando una densidad mínima del 95% de la máxima obtenida en el ensayo Próctor Modificado. Los rellenos en sub-base contarán con sobre-anchos como mínimo de 1 m con relación a la proyección horizontal de la losa de cimentación, y terminará en taludes a 45° con la horizontal hacia afuera. Según el análisis de asentamientos efectuado, se debe limitar el peso total de los edificios a un valor de 10 T/m^2. Por lo tanto, la placa contara con voladizos con relación a la proyección horizontal de los edificios. La placa será diseñada para tomar el 75% del peso de las torres y los pilotes tomarán el 25% restante. Por lo tanto la placa será dimensionada para 7.5 T/m^2 y los pilotes quedarán distribuidos uniformemente bajo la losa tomando una carga de 2.5 T/m^2.

Secretaria
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Sociedad Colombiana de Geotecnia

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

104640 N
91560 E

El Estudio de Suelos y Geotecnia para las torres de apartamentos del proyecto Pro-Techo fue realizado por la firma Alfonso Uribe S. y Cía. Ltda., Estudios de suelos, mientras que el anexo D Estudio de Amenaza Sísmica Local, que incluye el estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas fue elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, PhD., con el apoyo del laboratorio de pruebas y ensayos de la Pontificia Universidad Javeriana.

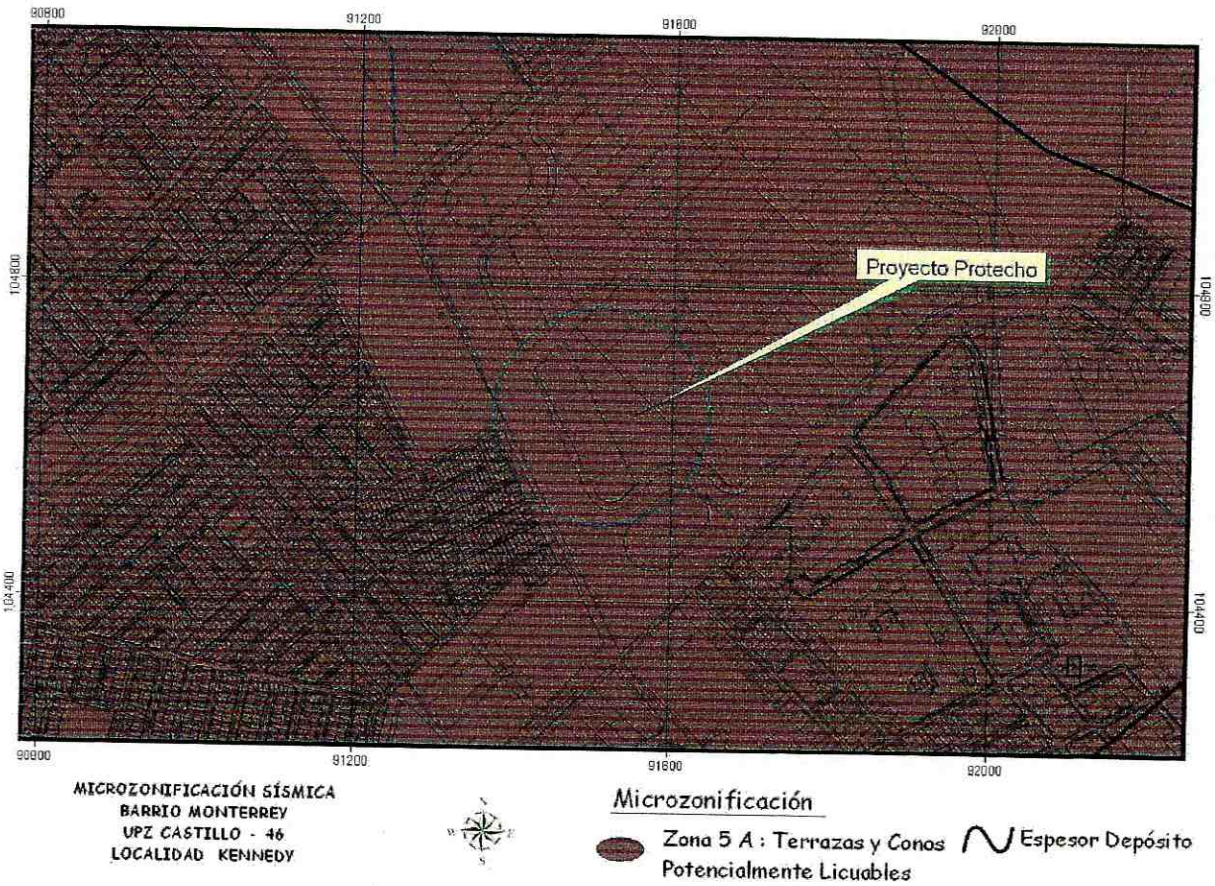


Figura 1 Localización General del Proyecto Pro-Techo

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO

La revisión inicial del informe ES – Suelos – 81 – 03 V2 para el proyecto de torres de apartamentos Pro-Techo, se hizo a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 074 de 2001 para este tipo de estudios.

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

El concepto técnico relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo se transcribe 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 la Introducción del Anexo D del informe se define la localización del proyecto de acuerdo con el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la Zona 5b de Terrazas y Conos Occidentales, la cual corresponde a una zona con una alta susceptibilidad a la licuación ante la ocurrencia de un sismo intenso. Esta ubicación esta de acuerdo con el Decreto 074 de 2001 (Figura 1 del presente concepto técnico).
EL PRESENTE INFORME NO PRESENTA NINGUNA CONSIDERACIÓN PARA EL POTENCIAL EFECTO DE LICUECIÓN DE LOS SUELOS. EL DECRETO 074 DE 2001 EN SU ARTICULO CUARTO PARÁGRAFO 8, CLARAMENTE ESPECIFICA QUE PARA LA ZONA 5B TERRAZAS Y CONOS POTENCIALMENTE LICUABLES, DEBE EVALUARSE EL POTENCIAL DE LICUACIÓN DE LOS SUELOS SUSCEPTIBLES A LICUACIÓN Y EL DISEÑO DEBE CONSIDERAR EL RESULTADO DE LA EVALUACIÓN.

4.2 Para estos estudios, todos los datos de campo deben provenir de mínimo una perforación de 50 m en suelos blandos y se debe realizar un número suficiente de ensayos para caracterizar el perfil. Para complementar la información del perfil del subsuelo, cuando la profundidad de sedimentos sea mayor a 50 m, se puede consultar: estudios geofísicos, estudios geotécnicos, ensayos de campo y laboratorio y los estudios de zonificación incluidos en el proyecto de Microzonificación Sísmica de Bogotá.

Para conocer el perfil y propiedades del subsuelo en el lote del proyecto se realizaron trece (13) perforaciones: una (1) a 50 m, tres (3) a 26 m y nueve (9) a 6 m de profundidad. En la perforación a 50 m se realizo el ensayo de down hole y se recuperaron muestras inalteradas del terreno, que permitieron adelantar ensayos triaxiales dinámicos a profundidades de 6, 28 y 49 m.

La investigación de campo, información de otros estudios, y los resultados de los ensayos de laboratorio realizada permitió una caracterización de la estratigrafía en el sitio de proyecto hasta la profundidad explorada (50 m) y extenderla hasta los 200 m donde se ubica el techo de la roca según el mapa de espesor de sedimentos del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá.

El estudio cumple en cuanto los requerimientos de exploración.

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

Se hizo un ensayo de Down-Hole hasta 50 m de profundidad, del que se define un perfil donde también se incluyen las posibles variaciones en los valores de la velocidad de onda, Vs.

La Figura 3.2 presenta el perfil de valores de Vs obtenido en el ensayo Down-Hole, de los estimativos obtenidos a partir de correlaciones entre la Vs y el SPT y la información de otros estudios cercanos, sin embargo, en el informe no se aclara las correlaciones utilizadas entre Vs y SPT, así como tampoco se definen el tipo de material donde esas correlaciones son validas. Es necesario ampliar en este particular con el objeto de validar el perfile propuesto.

4.4 Realizar ensayos dinámicos para determinar módulos de corte, G, y relaciones de amortiguamiento, D, sobre muestras inalteradas que cubran todo el intervalo de deformaciones (Velocidad de onda de corte en laboratorio, columna resonante, corte simple cíclico, triaxial cíclico, etc.).

Se realizaron ensayos dinámicos (triaxial cíclico) sobre muestras de suelos obtenidas a tres (3) diferentes profundidades: 6, 28 y 49 m, respectivamente. Con los resultados obtenidos de estos ensayos se determinaron las propiedades de rigidez y amortiguamiento del suelo en un amplio rango de deformaciones, necesario para

adelantar un análisis de la respuesta dinámica del sitio. En este particular hay un comentario con respecto a la figura 3.3, donde se una grafica de Módulo de Young E Vs. Deformación Axial, es conveniente aclarar si en efecto la figura hace referencia al Módulo de Young E o al Módulo de Rigidez G.

En el informe no se presenta el perfile utilizado para análisis de la respuesta dinámica, falta incluir el perfil donde se indique claramente la geometría de las capas de suelo, con sus propiedades claramente especificadas, tales como densidad, velocidad de onda de corte, curva de amortiguamiento y degradación de la rigidez, entre otras.

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

El estudio cumple con este requerimiento pues se utilizaron en total diez (10) acelerogramas, dentro de los cuales se incluyeron los tres (3) registros de aceleración definidos por el Decreto 074 de 2001, seis (6) acelerogramas de sismos en California, y uno (1) a partir del sismo de Valparaíso (Chile). Los registros se presentan en el informe, pero falta incluir el factor de escala que se utilizo para normalizar los sismos, por otra parte también se deben discutir los posible efectos que tiene el uso de los factores de escala, teniendo en cuenta que el uso de factores de escala es solo justificable para factores alrededor de la unidad. Tampoco se describe en el informe que componente del movimiento se selecciono para la modelación de la respuesta. También se debe aclarar si para la modelación de la respuesta se uso toda la señal del registro o solo se uso la ventana del registro que corresponde a las ondas de corte, esto es muy importante desde que el programa para modelación de la respuesta solo considera ondas de corte.

Observando con detalle los sismos seleccionados para la modelación de la respuesta, se resaltan tres eventos: el primer es el sismo de California Upland, el cual se uso un registro a una distancia epicentral de 5.0 Km, el punto es si un sismo a esa distancia tan corta es posible de presentarse para el lugar de estudio. El segundo es el sismo de Valparaíso, el cual corresponde a un sismo de fuente de subducción, los sismos en Chile provienen de la subducción, entonces el punto es si es posible justificar un sismo de una fuente de subducción a 64 Km de distancia epicentral, como sismo de fuente regional (no subducción) para el escenario de amenaza de Bogotá, donde los sismos de subducción están por lo menos a 400 km de distancia. El tercer sismo corresponde al registro en la estación La Unión para el evento de Michoacán en México, en este caso este sismo de subducción se registra a 98 Km de distancia epicentral, lo cual es incompatible con el escenario de amenaza para Bogotá, donde la subducción esta a más de 400 km.

Es necesario justificar de manera muy clara la escogencia de cada sismo, en especial los tres (3) que acá se mencionan.

Los sismos que sean escogidos para la evaluación de la respuesta de los suelos, tienen que responder de manera muy precisa a un escenario real de amenaza sísmica para Bogotá D.C., de otra manera esos sismos no se pueden usar y mucho menos cuando son escalados.

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

El estudio cumple con este requerimiento mediante la utilización del programa EERA que considera la propagación unidimensional de ondas de corte.

La figura 3.7 presenta una función de amplificación con respecto al valor medio de Sa en función del grado de cobertura por incertidumbre, para este trabajo se ha seleccionada una incertidumbre del 90%, a la cual corresponde un factor de amplificación es de 1.55 con respecto a la media de la función de amplificación. Es necesario justificar la escogencia de la incertidumbre del 90%.

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

Después de revisar el espectro de diseño propuesto, el estudio cumple con este requerimiento, el informe presenta las 3.10 y 3.11 donde se hace una comparación de los espectros mínimo, máximo y de diseño propuesto entre otros, claramente se aprecia que el espectro de diseño cumple lo establecido en referencia al espectro mínimo. Sin embargo, la validez de los espectros de respuesta en superficie está condicionada a aclarar las inconsistencias y dudas planteadas, en especial a los efectos de licuefacción.

5. SEGUNDA REVISIÓN DEL ESTUDIO

La revisión del informe ES – Suelos – 81 – 03 V3 para el proyecto de torres de apartamentos Pro-Techo, 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 requerimientos del decreto, de manera que se pueda verificar de manera razonable la validez del espectro de diseño recomendado, cuando dicho espectro es diferente al espectro de diseño definido por el Decreto 074.

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

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

El proyecto se localiza en la Zona 5b de Terrazas y Conos Occidentales; según el mapa de Microzonificación Sísmica y en el informe, la zona corresponde a una alta susceptibilidad a la licuación ante la ocurrencia de un sismo intenso. El informe presenta una evaluación del potencial de licuación, y cumple con los requisitos del Decreto 074 de 2001.

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 un número suficiente de ensayos para caracterizar el perfil. Para complementar la información del perfil del subsuelo, cuando la profundidad de sedimentos sea mayor a 50 m, se puede consultar: estudios geofísicos, estudios geotécnicos, ensayos de campo y laboratorio y los estudios de zonificación incluidos en el proyecto de Microzonificación Sísmica de Bogotá.

El estudio cumple en cuanto los requerimientos de exploración.

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.

En el informe se aclara las correlaciones utilizadas entre Vs y SPT, y con esto ya cumple con los requisitos exigidos por el Decreto 074 de 2001.

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 el informe se presenta el perfil utilizado para análisis de la respuesta dinámica, de manera que cumple con los requisitos del Decreto 074 de 2001.

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

El estudio cumple con este requerimiento.

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

El estudio cumple con este requerimiento mediante la utilización del programa EERA que considera la propagación unidimensional de ondas de corte.

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 Microzonificación Sísmica de Bogotá.

Después de revisar el espectro de diseño propuesto, el estudio cumple con este requerimiento, el informe presenta las figuras 3.10 y 3.11 donde se hace una comparación de los espectros mínimo, máximo y de diseño propuesto entre otros, claramente se aprecia que el espectro de diseño cumple lo establecido en referencia al espectro mínimo.

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de la presente revisión (segunda revisión), se concluye que el estudio de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas del proyecto en referencia cumple con los requerimientos mínimos consignados en el Decreto 074 de 2001.

Revisó y Aprobó:

ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN
Presidente y Representante Legal
Sociedad Colombiana de Geotecnia

VoBo:

ING. MAURICIO TAPIAS CAMACHO
Grupo de Conocimiento
DPAE

VoBo:

ING. JAVIER PAVA SÁNCHEZ
Coordinador Técnico
DPAE