Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

CONCEPTO TECNICO No. CT- 4168 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:	María Cristina Naranjo Gómez Constructora Las Galias S. A.
LOCALIDAD:	Engativa
BARRIO:	Normandía Occidental
PROYECTO:	**ALTOS DE NORMANDIA**
UPZ:	31.Santa Cecilia
FECHA DE EMISION:	Julio 12 de 2005
TIPO DE RIESGO:	Sísmico

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

Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

Sociedad Colombiana de Geotecnia

acuerdo con lo prescrito en los ordinales (e) a (i) de la sección A.2.9.3 del Decreto 33 de 1998, o estudios especiales referentes a efectos topográficos, cuando sea del caso. Adicionalmente, el parágrafo único del artículo 7 del Decreto 074 de 2001, establece que la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias realizará la revisión de los Estudios Particulares de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas y emitirá concepto sobre el cumplimiento de los términos de referencia establecidos para la ejecución de dichos estudios.

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, D.C. – FOPAE - y la Sociedad Colombiana de Geotecnia – SCG – han celebrado un convenio que tiene por objeto realizar una asesoría técnica al FOPAE en la Revisión de Estudios y Metodologías de Evaluación de Riesgo Sísmico y por Fenómenos de Remoción en Masa.

El presente concepto técnico corresponde a la **segunda revisión** realizada por la Sociedad Colombiana de Geotecnia del Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas del proyecto urbanístico Altos de Normandía, localizado en la Calle 59ª No. 54 – 35 de la Ciudad de Bogotá, barrio Normandia Occidental de la localidad de Engativa, en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001. En esta ocasión sólo se presentan las inquietudes que no quedaron resueltas en las aclaraciones presentadas por el consultor.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO ALTOS DE NORMANDÍA

El estudio entregado a esta entidad indica que en el lote localizado en la Calle 59ª No. 54 – 35 de la Ciudad de Bogotá se desarrollará el proyecto Altos de Normandía, que contempla la construcción de 8 edificios de 13 pisos de altura, cada una con parqueaderos en sótano incluso por fuera del área de proyección de las torres a -2.9 m bajo el nivel de la calle 59ª.

El estudio geotécnico fue realizado por la firma LFO Ingenieros de Suelos Ltda. y el estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas fue elaborado por el Ingeniero Jorge Alberto Rodríguez.

Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

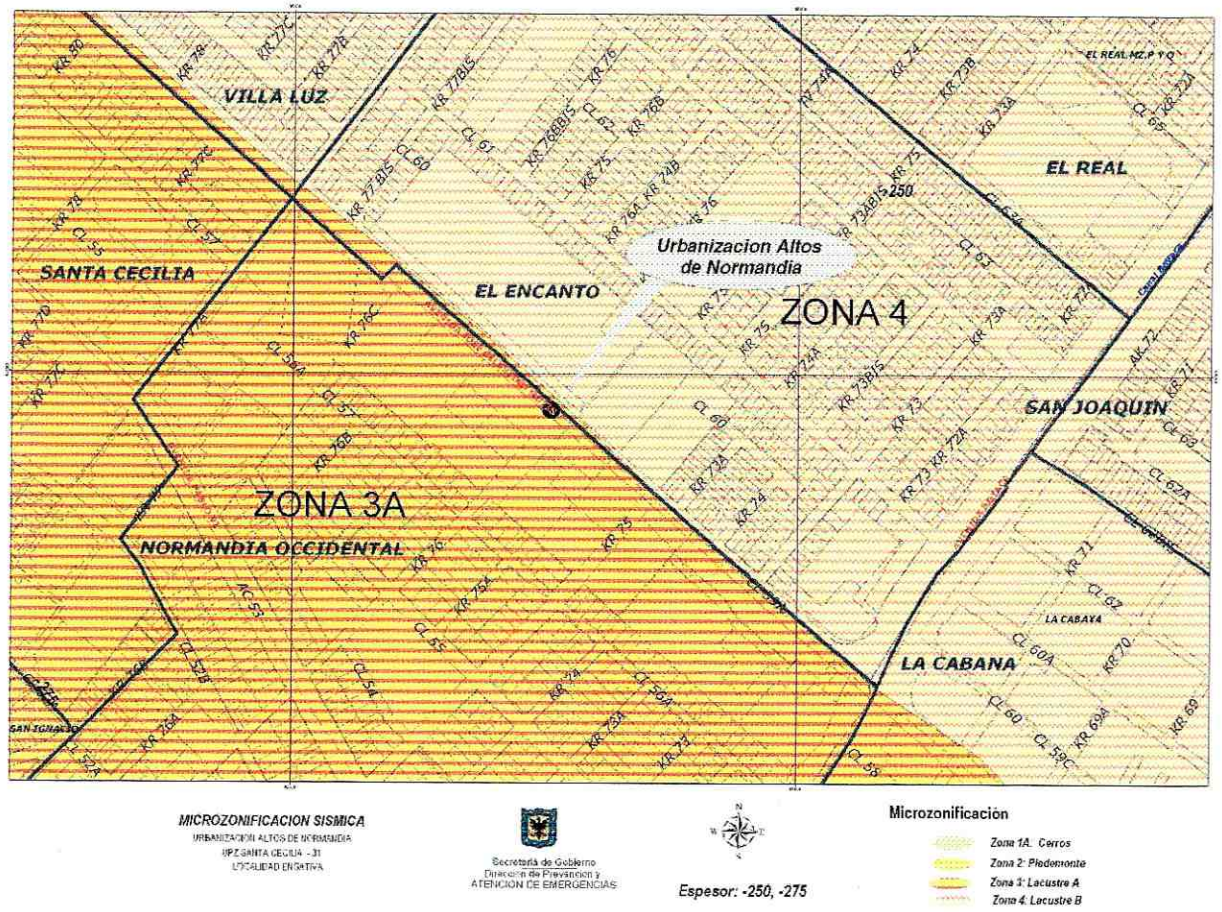


Figura 1 Localización General del Proyecto Urbanización Altos de Normandía

4. REVISIÓN DEL ESTUDIO DE FECHA MAYO 26 DE 2005

La revisión del informe ESTUDIO PARTICUAR DE RESPUESTA LOCAL DE AMPLIFICACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS CALLE 59ª No. 74-35 NORMANDÍA, preparado por el Ingeniero Jorge Alberto Rodríguez y el Estudio de Suelos LFO 10665 – 1 para el Proyecto Altos de Normandía, se hace a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 074 de 2001 para este tipo de estudios.

Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

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-4150 de fecha mayo 26 de 2005 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.

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

En el informe LFO 10665-1 se manifiesta que el lote en estudio se encuentra localizado en la Zona 4 de la Microzonificación Sísmica de Bogotá, y se solicita que el ingeniero Calculista verifique esta localización con base en los mapas de microzonificación publicados en las curadurías urbanas.

EL ingeniero Rodríguez confirma que el lote se encuentra ubicado en la Zona 4 con espesores de suelo entre 250 y 275 m.

En los informes no se presenta un plano con la localización del sitio con respecto a las zonas en que fue clasificada la ciudad.

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

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.

Para la definición del perfil estratigráfico se contó inicialmente con los registros de 11 sondeos, 6 se realizaron con tornillo Helicoidal con profundidades máximas de 8,2 m, 4 con profundidades de 40 m, realizados mediante un cono de penetración tipo holandes, y para la evaluación de las propiedades dinámicas se realizó un sondeo con percusión y lavado con una profundidad de 52 m, en el cual se tomaron muestras alteradas e inalteradas con tubo shelby, sobre las cuales se realizaron ensayos de clasificación y para caracterización de las propiedades dinámicas.

En todos los sondeos se detectó una estratigrafía relativamente monótona, compuesta por una capa de lleno superficial de no más de 1 m de espesor, seguido de una delgada

capa de arcillas de consistencia media, las cuales se apoyan sobre capas de arcillas muy húmedas de consistencia blanda hasta las profundidades exploradas.

Sólo del sondeo 1 se reportan resultados de los ensayos y se observa que en general todos los suelos encontrados clasifican como arcillas de alta compresibilidad (CH), muy húmedas, con contenidos naturales de agua en general por encima del 100%, con valores máximos de 150%, hasta profundidades superiores a 30 m. Como consecuencia de estos contenidos de agua, la mayoría de las muestras reportan contenidos naturales de agua del mismo orden del límite líquido, lo cual es compatible con las resistencias a la penetración obtenidas y a las resistencias a la compresión encontrada en estos materiales, que varían entre 0,15 kg/cm^2 y 0,28 kg/cm^2.

A pesar de los altos contenidos de agua y de la compresibilidad de los materiales no se reporta la presencia de turbas, a pesar de su probable existencia, como se puede inferir de la descripción minuciosa que el Ingeniero Rodríguez hace del origen de estos suelos. Se debe verificar su presencia y mejorar la descripción de los materiales encontrados.

El registro de la perforación S11, en donde se realizó el ensayo dow-hole, no es presentado en ninguno de los dos estudios, siendo este documento fundamental para interpretar los resultados del ensayo y poder interpretar las variaciones de las velocidades que se reportan.

Para definir las características de los materiales por debajo del nivel de exploración, se hizo una descripción detallada del origen de los sedimentos en esta zona de la Sabana de Bogotá; sin embargo para definir las propiedades de la zona se apoyaron en los resultados obtenidos en perforaciones realizadas en la calle 170 y en la calle 100, en zonas con procesos de formación no necesariamente similares a los de la zona en estudio. Por otra parte, se considero a partir de los 50 m de profundidad la presencia de estratos arenosos a pesar que hasta la profundidad alcanzada sólo se detectaron estratos arcillosos, que es posible tengan un espesor mayor a los 50 m.

Se recomienda verificar los resultados del perfil por debajo de la profundidad explorada con base en perforaciones más cercanas.

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.

En el sondeo 11 de 52 m de profundidad se realizó un ensayo down-hole con base en el cual se pudo establecer una variación de las velocidades de propagación de ondas P y S en el suelo. El perfil original propuesto por la firma P.S.I., ejecutora del ensayo, mostraba tres estratos con velocidades de onda S que se incrementan con la profundidad entre 100

y 177 m/seg. Estos valores resultan razonables considerando la consistencia de los suelos encontrados.

Este perfil fue reinterpretado por el Ingeniero Rodríguez, quien definió una banda de valores esperados en la velocidad de propagación, como lo muestra en la figura 3.3 de su informe. Las velocidades reportadas por P.S.I. corresponden a un valor por encima del valor medio de la banda.

Como se comentó anteriormente, para definir la velocidad de propagación de los estratos arenosos por debajo del nivel de exploración, se consideró que se produce un incremento de la velocidad proporcional con la profundidad, modelo que se calibró con las perforaciones de las calles 100 y 170. En la Figura 3.3 del informe, llama la atención que a pesar de sus hipótesis, entre 50 y 100 m de profundidad la velocidad permanece relativamente constante y con velocidades menores a las medidas en los 10 metros más profundos del ensayo down-hole. Como se hace compatible este resultado con las hipótesis planteadas sobre los incrementos en la velocidad con la profundidad?

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 4 ensayos triaxiales cíclicos de deformación controlada para definir el módulo de rigidez y la fracción de amortiguamiento crítico para rangos de deformación entre 0.01% y 10%.

No se realizaron ensayos de baja deformación como el Bender Element o la columna resonante. Para definir los módulos para bajas deformaciones se utilizaron los resultados del ensayo down-hole, y el Ingeniero Rodríguez manifiesta que se obtuvieron curvas compatibles; sin embargo, es de todos conocidas las diferencias que se obtienen entre los ensayos de campo y los de laboratorio que pueden llevar a curvas de degradación con pendientes muy altas que subestiman el módulo para grandes deformaciones.

El ingeniero Rodríguez hace referencia a la dispersión obtenida en la variación del módulo de rigidez y de la fracción de amortiguamiento crítico con el nivel de deformación, cuando se considera una cantidad razonable de ensayos sobre los suelos típicos de la ciudad de Bogota. Esta situación hace que sea necesario considerar no una curva única de variación de estas propiedades; sino que se debe trabajar con una banda que involucre las incertidumbres asociadas a este comportamiento de los suelos. Sin embargo, para los análisis define tres curvas medias de variación del módulo de rigidez y de la fracción de amortiguamiento, una para cada tipo de suelo.(Figuras 3.6)

Se recomienda comparar estas curvas con las bandas obtenidas para suelos de similares características; se debe especificar cada una de las curvas mostradas en la figura 3.6 a que estrato corresponden; se debe involucrar la incertidumbre en estas curvas en los análisis de respuesta dinámica puesto que el efecto de la incertidumbre en estas curvas es mucho más sensible en la respuesta dinámica que el efecto en las velocidades de propagación, considerando los dos escenarios definidos con una velocidad máxima y una velocidad mínima.

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

En el capítulo 2 del informe del Ingeniero Rodríguez se presenta una interesante discusión sobre la amenaza que representan los acelerogramas exigidos por la microzonificación, y se muestra que pueden representar sismos poco probables con periodos de retorno superiores a los 475 años exigidos por la norma. Se seleccionan además de los tres acelerogramas obligatorios otros 6 que representan: sismos regionales provenientes del borde llanero, sismos de foco cercano provenientes de las fallas locales y el sismo de subducción.

Al analizar los espectros de los sismos seleccionados se muestra el desfase en la forma espectral y la poca representatividad del sismo modificado de Tauramena, recomendado por la microzonificación, el cual finalmente no fue considerado en la definición de los espectros de respuesta.

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 de modelos unidimensionales con el programa EERA, los cuales son representativos de las condiciones topográficas que prevalecen en la zona.

Para los ocho sismos seleccionados se analizaron dos escenarios, un perfil con velocidades máximas y un perfil con velocidades mínimas. No se consideró la incertidumbre asociada a la variación de módulo de rigidez y de la fracción de amortiguamiento con el nivel de deformación. Esta variación puede ser más importante que el cambio en las velocidades máximas y en consecuencia se recomienda involucrar esta incertidumbre en los análisis.

Para definir los espectros de diseño, el Ingeniero Rodríguez parte del espectro obtenido como el promedio de los espectros estimados para cada uno de los ocho sismos empleados, y propone emplear la metodología propuesta por Jaramillo (2003) para obtener las ordenadas espectrales con nivel de cobertura del 90%; para lo cual se debe

multiplicar por 1.55. Sin embargo, cuando se presenta el espectro de respuesta se trabaja con los valores de las ordenadas del promedio.

Se debe aclarar en definitiva cual fue la metodología empleada, y si el nivel de cobertura expresado se refiere a una envolvente de todos los sismos empleados o sobre las incertidumbres en las propiedades de los suelos.

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.

El espectro recomendado para el diseño presenta ordenadas espectrales mayores para periodos entre 0 y 0,7 seg, a partir de donde se ajusta a la curva de caída del espectro mínimo.

5. SEGUNDA REVISION DEL ESTUDIO DE FECHA JUNIO 9 DE 2005

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

En el informe LFO 10665-1 se manifiesta que el lote en estudio se encuentra localizado en la Zona 4 de la Microzonificación Sísmica de Bogotá, y se solicita que el ingeniero Calculista verifique esta localización con base en los mapas de microzonificación publicados en las curadurías urbanas.

EL ingeniero Rodríguez confirma que el lote se encuentra ubicado en la Zona 4 con espesores de suelo entre 250 y 275 m.

En los informes no se presenta un plano con la localización del sitio con respecto a las zonas en que fue clasificada la ciudad.

La ubicación esta de acuerdo con el 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 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.

Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

Se aclaro que la presencia de turbas es poco probable debido a la profundidad que debería tener el lago en este sector; sin embargo se deja la posibilidad que en profundidad existan este tipo de materiales.

En la plancha No. 1 se incluye la localización y el registro de la perforación S-11, pero tan sólo se hace una descripción de los materiales de los primeros 4 metros.

Se aclaró que la presencia de arenas sólo se encuentra por debajo de los 110 m de profundidad como se pudo verificar en las Figuras 3.3 y en las tablas 3.1 y 3.2, y se insiste en que se usó un modelo en el cual la velocidad se incrementa con el nivel de confinamiento; lo cual es compatible con el suelo probablemente estructurado que conforman este perfil; sin embargo, en la figura y en las tablas mencionadas, entre 50 m y 110 las velocidades son menores a las reportadas para los suelos entre 40 y 50 m de profundidad. Se solicita aclarar con base en que se definieron esos modelos; puesto que no corresponden a un modelo que incrementa con el confinamiento; tal como la manifiestan en las paginas 3 del capitulo 1, y 4 del capítulo 3.

Análisis de sensibilidad realizados para evaluar el efecto del incremento de la velocidad entre 50 y 120 m, mostraron que se produce un incremento del 5% en el orden de los valores de la aceleración espectral, los cuales son cubiertos por la forma espectral recomendada.

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.

CUMPLIMIENTO

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 respuesta a la revisión 1, se justifica la utilización de una curva única aduciendo que el rango de deformaciones obtenidas para los materiales arcillosos está entre el 0,1 y 0.2% y que para los arenosos entre 0.005 y 0.75%. Considerando únicamente los resultados mostrados en la figura 3.4 se observa que la relación G/Gmax, varia entre 0.1 y 0.3; es decir se puede tomar la tercera parte de la rigidez y la respuesta puede ser sustancialmente distinta; y si se analiza la fracción de amortiguamiento, esta varía entre el 4 y el 11%, que en términos de amplificación tienen efectos muy notorios. La metodología

propuesta por Jaramillo cubre parcialmente estas incertidumbres, pero se insiste en verificar su validez.

En el anexo se reportan cambios menores en la respuesta cuando se consideran curvas de variación de la rigidez del orden del 5%, pero no se discute nada sobre el efecto en la variación de la fracción de amortiguamiento.

Análisis de sensibilidad realizados mostraron que al utilizar valores de amortiguamientos menores producen incrementos menores en el valor de las aceleraciones espectrales, los cuales están cubiertos por los espectros obtenidos al aplicar la propuesta de Jaramillo.

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.

El espectro recomendado para el diseño presenta ordenadas espectrales mayores para periodos entre 0 y 0,7 seg, a partir de donde se ajusta a la curva de caída del espectro mínimo.

Secretaria
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

Sociedad Colombiana de Geotecnia

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en las aclaraciones presentadas en el documento actualizado, como resultado de la presente revisión, se concluye que el estudio de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas del proyecto en referencia está completo a la luz de los requerimientos mínimos consignados en el Decreto 074 de 2001.

Para la SCG existían incertidumbres en cuanto a la incidencia en la forma espectral de las velocidades de propagación entre 50 y 120 m de profundidad y a la variación de los valores de la fracción de amortiguamiento crítico. Como se pudo demostrar con los análisis de sensibilidad preparados por el Ingeniero Rodríguez; si bien se producen cambios del orden del 5% en las aceleraciones espectrales, estos son cubiertos por las formas espectrales recomendadas y por tanto no es necesario realizar ningún ajuste a los espectros recomendados.

Revisó y Aprobó: **ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN** 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