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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

CONCEPTO TECNICO No. CT- 4019 de 2004

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

1. INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE:	Olga Lucía López Medina Curador Urbano No. 2 (Encargado)
LOCALIDAD:	Usaquén
BARRIO:	Chicó Norte
PROYECTO:	**PORTAL DEL MUSEO**
UPZ:	LOURDES 96
FECHA DE EMISION:	Septiembre 6 de 2004
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.
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

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.

En cumplimiento a lo estipulado en el Artículo 7 del Decreto 074 de 2001, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, D.C., DPAE, mediante Concepto Técnico No. CT –3970 de 2004, rechazó el estudio "Análisis de Microzonificación Local para el Edificio Portal del Museo Torre 3", entre otras por las siguientes razones:

- No se presentó el mapa de ubicación de la zona del estudio y se manifiestan dudas sobre la identificación del predio; adicionalmente, dada la ubicación del predio no se verificó la pendiente mediante las correspondientes curvas de nivel del sector.
- No se incluyó el perfil geotécnico, diferenciando las diferentes capas e incluyendo los parámetros asignados a cada estrato.
- No se incluyeron las curvas de tiempo de viaje contra profundidad de los ensayos Down-Hole.
- No se incluyeron las correlaciones sobre G/Gmáx vs γ y D vs γ consultadas en los libros Ingeniería Sísmica y Geotecnical Earthquake Ingineering y que se referencian en el estudio.
- No se especifica si por su ubicación (Zona 2) las pendientes son superiores a 10º, en cuyo caso deben realizar análisis bidimensionales.

Recientemente, 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 nueva revisión realizada por la Sociedad Colombiana de Geotecnia del Estudio Análisis de Microzonificación Local para el Proyecto Edificio Portal del Museo El concepto se emite de conformidad con lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO EDIFICIO PORTAL DEL MUSEO

El estudio entregado a esta Sociedad indica que el Proyecto Portal del Museo se construirá en los lotes identificados con las siguientes nomenclaturas:

- Calle 93 A No. 9-18
- Calle 93 A No. 9-46
- Calle 93 A No. 9-62/66
- Cra 9ª No. 93 A - 35/53
- Cra 9ª No. 93 A - 69

Los lotes antes indicados están localizados en el barrio Chicó Norte de la localidad de Usaquén de esta ciudad (Figura 1) y el proyecto contempla la construcción de un edificio de ocho (8) pisos y sótano, en pórticos de concreto con luces entre ejes de columnas entre 5.12 y 9.08 m. Las cargas previstas por columna (?) son inferiores a 397.0 toneladas.

El estudio no incluye la profundidad del sótano, ni más detalles de la construcción proyectada, ni tampoco presenta las coordenadas correspondientes a cada uno de los lotes del proyecto.

El estudio de Análisis de Microzonificación Local para el Proyecto Edificio Portal del Museo fue elaborado por la firma Espinosa & Restrepo, Ingeniería de Suelos.

Secretaría
GOBIERNO

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

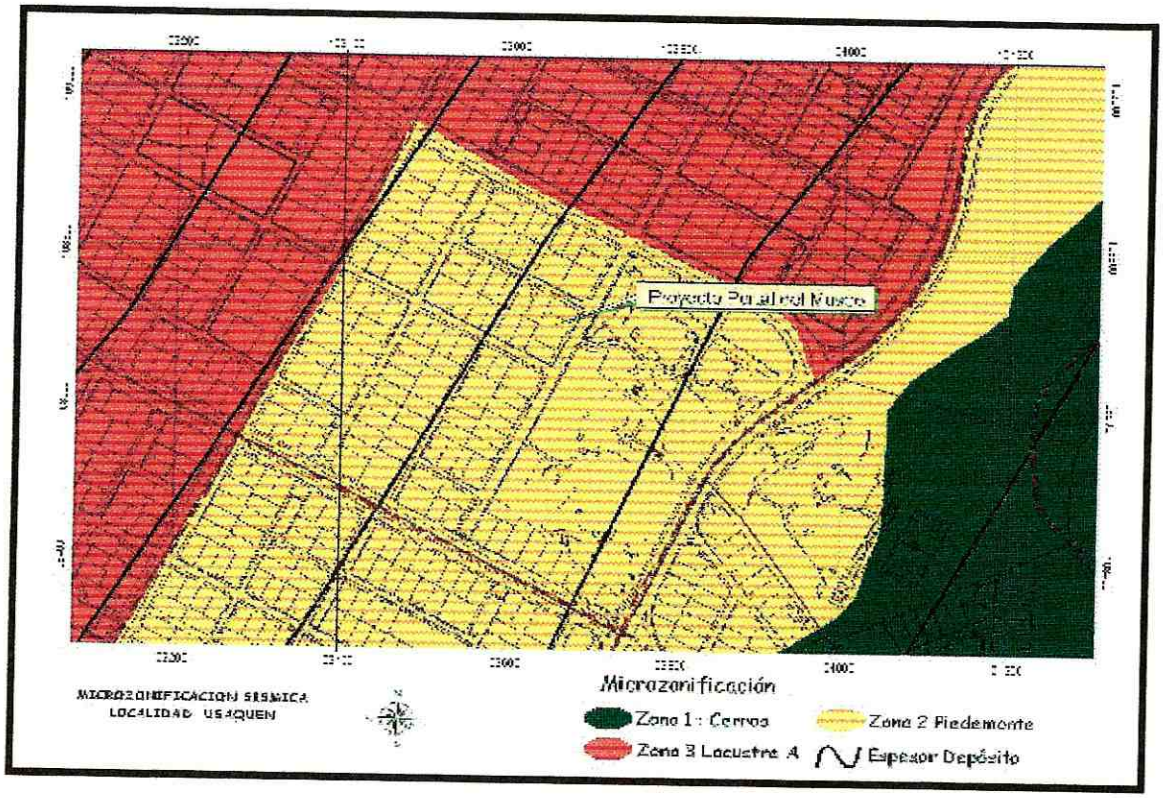


Figura 1 Localización General del Proyecto Portal del Museo

4. REVISIÓN DEL ESTUDIO

La revisión del informe EYR-S 5425 ¨Análisis de Microzonificación Local para el Proyecto Edificio Portal del Museo", 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 comprobar de manera razonable la validez del espectro de diseño recomendado, cuando dicho espectro es diferente al espectro de diseño definido por el Decreto 074 de 2001.

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

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

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

  En el estudio se define la localización del proyecto de acuerdo con el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la Zona 2 Piedemonte. Esta ubicación está de acuerdo con el Decreto 074 de 2001 (Figura 1).

  En la Sección 3.1 del informe se indica que de acuerdo con el Mapa de Espesor de Sedimentos del Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, D.C., en el sector del proyecto la roca se debe encontrar a 50 m de profundidad. Dado que en las perforaciones llevadas hasta los 50 m no se alcanzaron los niveles del basamento rocoso, el consultor tomó la decisión de asumir un espesor de suelo de 60 m. Sin embargo, no se presenta el análisis o método de interpolación para definir o asumir estas profundidades.

- **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**.

  De acuerdo con lo reportado en el estudio, para obtener los datos de campo se realizaron seis (6) perforaciones, cuatro (4) con profundidades entre 6 y 13 m y dos (2) de 50 m de profundidad, que permitieron verificar el predominio de materiales granulares en la estratigrafía local, constituída básicamente por arenas y conglomerados de gravas en matriz arenosa, con presencia de cantos rocosos. Por el tipo de perfil encontrado no fue posible obtener muestras inalteradas y de hecho en los registros de las perforaciones todas las muestras se reportan como alteradas.

  No obstante lo anterior, en la Sección 2.0 INVESTIGACIÓN SUBSOLAR (p. 3), se reporta que además de los ensayos de penetración estandar, cuando se "consideró

necesario, se enviaron muestras inalteradas al laboratorio para ensayos de granulometría, límites de Atterberg, humedad natural, pesos unitarios y clasificación USC. Sin embargo, en el Anexo 3 ENSAYOS DE LABORATORIO no se reportan datos de las muestras "inalteradas" y únicamente se presentan resultados de análisis granulométricos. Esta Sociedad considera necesario que se aclare esta incongruencia manifiesta.

Igualmente, para esta Sociedad resulta difícil de comprender que en el registro del Sondeo No 4 se reportan valores de compresión inconfinada. En definitiva, no es claro si se obtuvieron o no muestras inlteradas.. Se realizaron ensayos de compresión inconfinada sobre estas muestras ?. Las incongruencias señaladas generan serias dudas sobre la confiabilidad de los datos de campo reportados en el estudio.

El estudio no presenta el perfil de análisis completo y detallado hasta la roca, se asume que la profundidad total del depósito es de 60 m. Solo se presenta un perfil esquemático de 60 m de profundidad (p. 11), constituído por cuatro capas aunque sin detallar parámetros índice (γt, IP, gradación, contenido de materia orgánica, etc.), y tipos de suelo de acuerdo a su diferente comportamiento ingenieril. En gráficas separadas se muestra la variación de N (golpes/pie) y de la humedad natural con ;la profundidad de exploración.

Es importante hacer notar que el SPT es aplicable al caso de arenas y gravas finas; la presencia de grandes bloques lleva a una sobre-estimación del número de golpes y por lo tanto de los parámetros del suelo que se estimen a partir de dichos valores. Lo anterior explicaría en parte los elevados valores de Gmáx.

Tampoco se presenta el análisis o criterios técnicos utilizados para definir e interpolar el posible perfil geotécnico a profundidades mayores de 50m.

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

Se hizo un ensayo de Down Hole del que se define un perfil con dos (2) estratos, que no correlacionan completamente con la estratigrafía obtenida en las perforaciones. Esta interpretación de los resultados del ensayo Down Hole parece ser deficiente, debido a que es una simplificación suponer solo dos (2) valores de velocidad de propagación de las ondas de corte, V_s, en un perfil compuesto por varias capas con materiales con

alguna heterogeneidad (arenas limosas, conglomerados, arenas con gravas, arenas arcillosas, etc.)

La interpretación del ensayo se limita a asumir un valor constante de Vs (290 m/seg), a partir de una profundidad de 10 m. Esta suposición subestima los valores de Vs hacia la base del depósito, puesto que Gmax y por lo tanto Vs, puede aumentar en profundidad en depósitos granulares debido al mayor esfuerzo de confinamiento, como de hecho se manifiesta en el aumento de N (golpes/pie) con la profundidad (p. 5).En el estudio no se reportan los valores de densidad utilizados para la determinación de Gmáx a partir de Vs.

Estas observaciones hacen que el modelo de subsuelo asumido puede no corresponder al real, desde los puntos de vista de propagación de ondas, respuesta sísmica y espectros de respuesta.

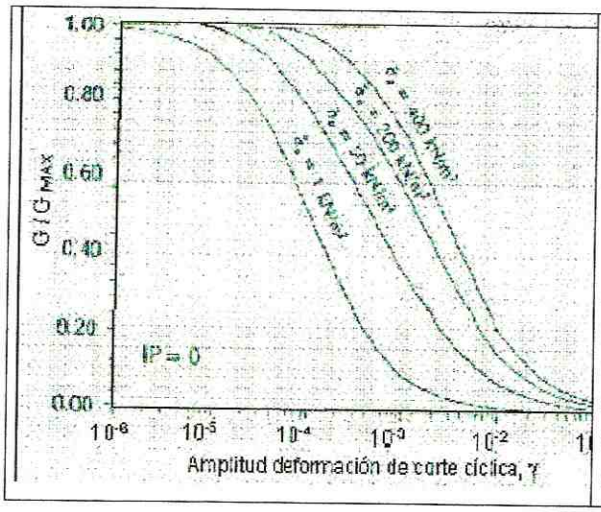
- **Realizar ensayos dinámicos para determinar módulos de corte, G, y relaciones de amortiguamiento, D, sobre muestras inalteradas que cubran todo el intervalo de deformaciones (Velocidad de onda de corte en laboratorio, columna resonante, corte simple cíclico, triaxial cíclico, etc.).**

El estudio enfatiza sobre la imposibilidad de realizar ensayos dinámicos dada la densidad de los mantos granulares que conforman la estratigrafía, compuesta por cantos rocosos de gran diámetro que impidieron la toma de muestras inalteradas. En consecuencia, los parámetros dinámicos (Módulo de corte, G y la Relación Amortiguamiento, D) se obtuvieron a partir de correlaciones reportadas en la literatura internacional para suelos de características similares. Se definió un set de curvas de G y D versus deformación de corte para arenas y otro para el conglomerado, pero no se reportan los valores de Gmax utilizados en cada caso para la normalización.

En primer lugar, la Sociedad hace notar que el consultor utiliza el término ATENUACIÓN para referirse a la variable relacionada con el AMORTIGUAMIENTO del suelo. El concepto de atenuación tiene otra connotación en la literatura técnica sismogeotécnica. A este respecto la Sociedad solicita al consultor especificar a qué nivel de deformación corresponden los valores de "amortiguamiento" reportados en la tabla de la página 12.

Por otra parte, la Sociedad observa que las curvas adoptadas para arenas y para el conglomerado son muy similares. Con relación a este requerimiento, nuevamente la Sociedad considera que es una simplificación inaceptable adoptar un modelo para el análisis con solo dos conjuntos de curvas de propiedades dinámicas, en un perfil

compuesto por varias capas con materiales con alguna heterogeneidad (arenas limosas, conglomerados, arenas con gravas, arenas arcillosas, etc.) y adicionalmente sin considerar el efecto del esfuerzo de confinamiento en las curvas de degradación del módulo. En la Figura 2 se muestran las variaciones que se pueden presentar en la forma de las curvas por este efecto.



Vucetic, Mladen & Dobry, Ricardo (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response, ASCE, JGE, Vol 117, No.1.

Curvas de degradación del módulo de corte con la deformación para suelos de baja plasticidad como las arenas (IP=0) ensayadas a diferentes presiones de confinamiento. ***Figura 2***

Se requiere especificar el nivel de esfuerzo de confinamiento promedio en diferentes puntos de perfil, con el fin de considerar este efecto en la selección de las curvas de comportamiento dinámico de las diferentes capas del perfil y así poder construír un perfil sismogeotécnico que incluya los espesores de cada capa, el tipo de material, el N promedio, Vs promedio, Índeces de Gradación, etc. y las correlaciones entre los parámetros anteriores y las curvas de comportamiento dinámico representativas de cada material asumido.

En resumen, como ya se mencionó falta completar y detallar el perfil dinámico utilizado para los análisis de respuesta.

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

El estudio en principio cumple con este requerimiento, pues se afirma que se utilizaron los tres (3) registros de aceleración definidos por el Decreto 074 de 2001. Sin embargo, en la Sección 3.1 METODOLOGÍA Y DATOS DE ENTRADA se mencionan los

*acelerogramas de microzonificación de la ciudad para sismos cercanos, regionales y lejanos debidamente escalados a aceleraciones de 0.25g, 0.20g y **0.03g**, respectivamente. Por otra parte, en la Sección 3.2 ANÁLISIS DE RESPUESTA DINÁMICA Y ESPECTROS se indica que se utilizaron los sismos de microzonificación con aceleraciones de 0.25, 0.20 y **0.038**. Estos valores no coinciden totalmente con los registros mostrados en las páginas 15 y 16 del estudio. La aceleración horizontal máxima para el sismo lejano es de 0.038g, en lugar de 0.033g y la aceleración del evento regional es de 0.20g, en lugar de 0.25g. SE DEBEN ACLARAR ESTAS INCONSISTENCIAS.*

- **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 en principio cumple con este requerimiento pues se afirma que se utilizó el programa bidimensional QUAKE basado en el método de los elementos finitos. Sin embargo, el estudio no muestra la discretización y condiciones de frontera de la malla, ni el tipo y tamaños de los elementos finitos utilizados para modelar las diferentes capas del subsuelo.

  Por otra parte, se aprecia un error grave en la utilización del programa pues en todos los espectros de respuesta obtenidos en la superficie se obtiene un valor de Sa= 0.0g para T= 0.0 seg. Este resultado no es posible desde el punto de vista físico porque implicaría que no llega sismo a la superficie del terreno. Por lo tanto se le solicita al consultor revisar los datos de entrada y de salida del programa QUAKE, de tal manera que pueda aclarar las dudas planteadas o que pueda explicar los criterios empleados, así como que llegue a valores reales de aceleraciones.

- **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. Sin embargo, la validez del espectro de respuesta en superficie está condicionada a aclarar las inconsistencias y dudas planteadas sobre la forma de los espectros obtenidos con el programa QUAKE. Al colocar al inicio del espectro de respuesta un valor real de aceleración, se generaría un espectro más elevado que podría resultar diferente al recomendado.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de la presente revisión, se concluye que el estudio de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas del proyecto en referencia está incompleto a la luz de los requerimientos mínimos consignados en el Decreto 074 de 2001. Para poder conocer con certeza la validez de los espectros de respuesta obtenidos y el recomendado en el estudio evaluado, primero deben aclararse y corregirse los puntos antes mencionados, ya que existen dudas manifiestas sobre la confiabilidad de dichos resultados.

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.

ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN
Presidente y Representante Legal
Sociedad Colombiana de Geotecnia

ACEPTADO: **JAVIER PAVA SÁNCHEZ**
Coordinador Técnico FOPAE