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

Sociedad Colombiana de Geotecnia
www.scg.org.co

CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

CONCEPTO TECNICO No. CT- 4093 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:	Instituto de Desarrollo Urbano, IDU
LOCALIDAD:	Engativa
BARRIO:	Salitre Occidental
PROYECTO:	**Puente Calle 26 con Avenida 68**
UPZ:	104 Parque Simón Bolívar
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	Consorcio Puentes 2004
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 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 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 del Puente de la Calle 26 con Avenida 68 de la ciudad de Bogotá D.C., en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO Puente Calle 26 con Avenida 68

El estudio entregado para revisión por esta sociedad indica que el Puente de estudio del proyecto se localiza en la Calle 26 con Avenida 68 en Bogotá, D.C. (Figura 1), y este estudio hace parte del proyecto de Diagnostico de Puentes Vehiculares (Grupo 7) para Mantenimiento y Actualización Sísmica, en Bogotá D.C., contrato del Instituto de Desarrollo Urbano IDU 288-2003 con el Consorcio Puentes 2004. En el estudio entregado no se explican los fines con que se van a ser utilizados los espectros de diseño.

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

106200 a 106400 **N**
97000 a 97200 E

Los ensayos dinámicos y de geotecnia usados para el estudio fueron ejecutados por la Universidad de los Andes, mientras que para el Estudio de Amenaza Sísmica Local y de amplificación de ondas sísmicas, no se indica por quien fue elaborado.

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

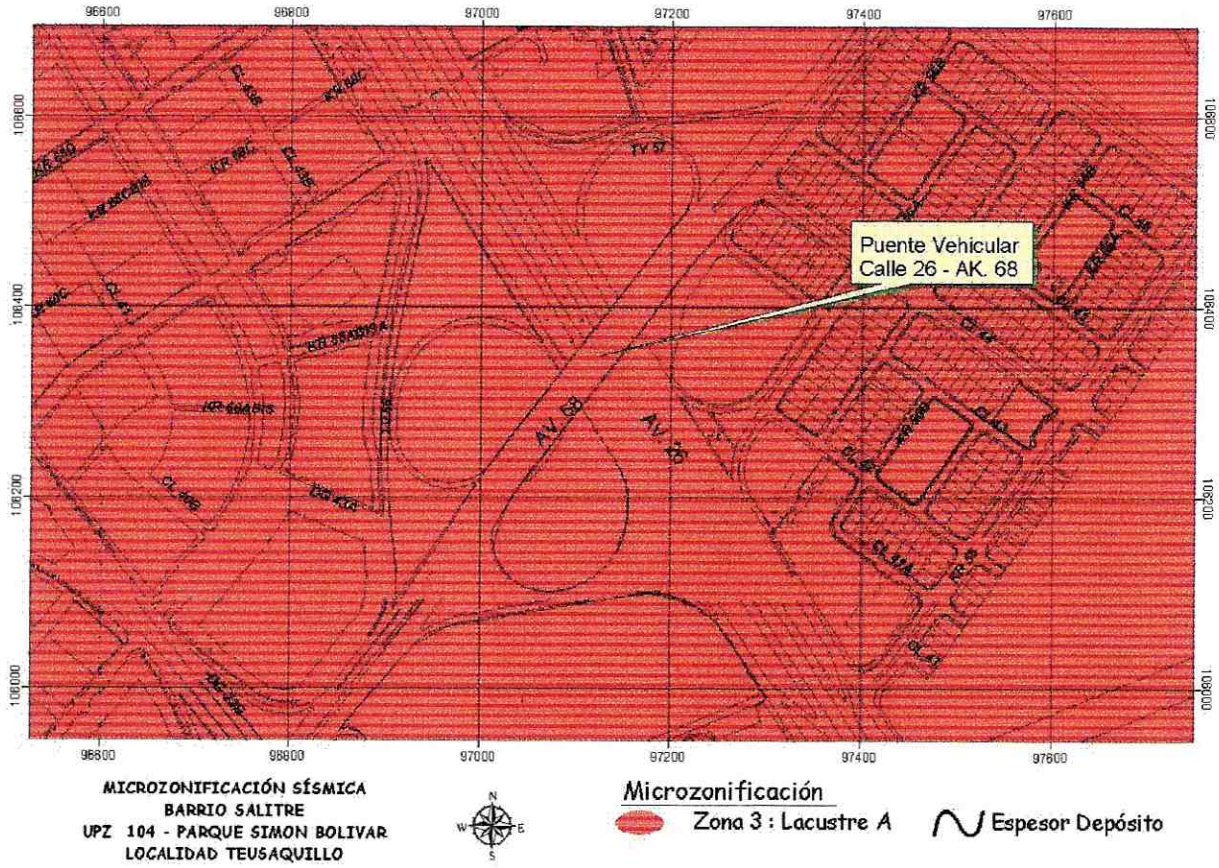

Figura 1 Localización de Proyecto PUENTE CALLE 26 – AVENIDA 68

4. REVISIÓN DEL ESTUDIO

La revisión del informe para el Puente de la Calle 26 con Avenida 68 del contrato Diagnóstico de Puentes Vehiculares (Grupo7) para Mantenimiento y Actualización Sísmica, en Bogotá D.C., 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.

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

  En el presente informe no se presenta en ningún lugar una asignación de la zona proyecto con respecto a la microzonificación sísmica de Bogotá, solamente en una de las últimas figuras (las figuras desafortunadamente no están numeradas en el informe) del capitulo 6 del estudio, se presenta una grafica donde se comparan los resultados obtenidos contra los espectros correspondientes a la zona 3 del estudio de microzonificación. En el informe se debe especificar claramente la zona correspondiente a la ubicación del proyecto.

- **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 lugar del proyecto se indica que se realizó una perforación hasta 100 m. Sin embargo, en el estudio presentado no se especifican el número de perforaciones realizadas, ni tampoco se presenta el lugar de la perforación, es necesario que se incluya un mapa donde se muestra la localización de la perforación y la ubicación del puente. Siguiendo la tabla 1 del capitulo 6, se puede observar que se recuperaron muestras de suelo hasta 100 m. Adicional a la perforación o perforaciones realizadas, también se ejecutó un ensayo de down hole que va a una profundidad de 100 m., según figura presentada en el capitulo 6.

La investigación de campo, información de otros estudios, y los resultados de los ensayos de laboratorio, realizado permitió una caracterización de la estratigrafía en el sitio de proyecto hasta la profundidad explorada de 100 m, y extenderla hasta los 200 m donde se ubico el techo de la roca, es necesario corroborar si la profundidad propuesta para el techo de la roca es correspondiente con el mapa de espesor de sedimentos del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá.

- **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 100 m de profundidad (como se puede deducir una figura en el capitulo 6), del que se pueden definir las variaciones de la velocidad de onda, Vs con la profundidad.

El perfil para la evaluación de los efectos locales se define hasta 200 m., pero la información de Down-Hole solo alcanza los 100 m., es necesario explicar detalladamente como se determinaron las velocidades hasta 200 m., o mostrar que correlaciones fueron usadas para tal fin, así como tampoco se definen el tipo de material donde esas correlaciones son validas, o si es el caso, indicar si estas fueron tomadas directamente de otra perforación.

En el perfil después de los 200 m. se define un estrato de roca con una velocidad de 1000 m, la escogencia de este valor es crítico para los resultados finales del estudio, se necesita que se explique bajo que criterios se asignaron los valores de velocidad y densidad para la roca. Es necesario ampliar en este particular con el objeto de validar el perfile propuesto.

- **Realizar ensayos dinámicos para determinar módulos de corte, G, 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.).**

Como se dice en el informe se realizaron ensayos dinámicos como: triaxiales cíclicos y columnas resonantes, sobre muestras de suelos obtenidas a diferentes profundidades. Con los resultados obtenidos de estos ensayos se determinaron las propiedades de rigidez y amortiguamiento del suelo, pero en el informe no se presentan los ensayos

como tal, hay que incluir la ficha de cada una de los ensayos, mostrando los diferentes ciclos a que fueron sometidas las muestras, también hay que especificar si los ensayos se realizaron para condiciones de deformación controlada o carga controlada, esto es muy importante con el fin de validar los resultados obtenidos en los ensayos.

En el informe se presentan las curvas de degradación de la rigidez y curvas de amortiguamiento para los cinco (5) tipos de materiales definidos, pero las graficas no están en orden (títulos y figuras en páginas diferentes), es necesario ordenar las figuras para lograr un mejor entendimiento de los resultados presentados.

Por otra parte las curvas del tipo de material 1 no cubren el intervalo de pequeñas deformaciones, entre 0.000001 y 0.0001, es necesario mejorar en este particular para poder validar las funciones propuestas. Para el caso del tipo de material 3, la curva de degradación de la rigidez tampoco cubre elintervalo necesario de deformaciones, pues solo hay datos para deformaciones mayores a 0.001, en el tipo de material 5 hay también un vació de información para deformaciones entre 0.00004 y 0.0007, es necesario corregir estos grandes vacíos de información.

En el informe se indica que basados en las curvas de comportamiento dinámico obtenidas con la información de los ensayos, se determinaron las curvas del modelo no-lineal Ramberg-Osgood, se solicita se explique en que consiste este procedimiento, y se describa la aplicabilidad del mismo al caso en consideración.

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

El estudio inicialmente cumple con este requerimiento pues se utilizaron en total doce (12) acelerógramas, dentro de los cuales se incluyeron los tres (3) registros de aceleración definidos por el Decreto 074 de 2001, tres (3) acelerógramas de sismos reales, dos (2) registrados en Estados Unidos y uno en Turquía. Los seis (6) restantes provienen de acelerógramas sintéticos. Los registros no se presentan en el informe, excepto los sismos sintéticos que si son presentados. En el informe se deben presentar todas las señales que se utilizan, incluyendo sus correspondientes espectros de respuesta a 5% de amortiguamiento. También seria importante presentar las señales y sus espectros de respuesta que se utilizaron para la evaluación de las funciones de transferencia. Tampoco se describe en el informe que componente del movimiento se seleccionó 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 (SHAKE91) solo considera ondas de corte.

Observando con detalle los sismos seleccionados para la modelación de la respuesta, llama la atención el registro del evento de Kocaeli – Gebze en Turquía, el cual tiene una magnitud de 7.4 a una distancia hipocentral de 17 Km., el punto es si un sismo de tal magnitud (Mw=7.4) a esa distancia tan corta (17 Km) es posible que se presente para el lugar de estudio. En particular este evento seleccionado es incompatible con el escenario de amenaza para Bogotá. Es necesario que se expliquen los criterios para la escogencia de este registro.

Para el cálculo de las funciones de transferencia y el análisis de respuesta de sitio se utilizaron señales sintéticas, para las cuales la metodología usada para el cálculo se explica en el informe, pero no se dan a conocer el valor de cada uno de los parámetros usados para tal fin, es importante presentar los valores de cada parámetro, como se describen en el informe. Además es necesario que se presenten y se justifiquen los valores usados para la caída de esfuerzos del sismo pequeño (real) y del sismo grande (sintético), así como la frecuencia esquina, por otra parte es necesario explicar porque el uso de un modelo omega cuadrado, es esto valido o justificable para sismos en Colombia.

En cuanto a la parte de amenaza sísmica y para el calculo de los espectros uniforme de amenaza, se utiliza una tabla con valores de aceleración para diferentes combinaciones de magnitudes que van de 4.0 a 8.0 y distancias que van de 10 a 1000 Km., para el calculo de cada uno de los valores se sigue una metodología explicada en el texto, la cual a partir de algunos parámetros se calculan los valores de aceleración, es necesario que se muestren y se justifiquen los valores asignados a cada parámetro, tales como, de atenuación regional (Qo y ε, y porque esos valores son validos para Colombia, de donde proviene?), de velocidad de onda de corte β (porque es valido para Colombia, de donde proviene?), caída de esfuerzo (porque es valido para sismos en Colombia, es el mismo para todos los sismos en Colombia, de donde proviene?), densidad del material (porque es valido para Colombia, de donde proviene?), patrón de radiación, y factor de sitio k (porque es valido para todos los lugares en Colombia, de donde proviene?). Seria bueno aclarar si estos valores son los mismos usados para las modelaciones mostradas con el fin de validar en la metodología, donde se usan sismos registrados en Colombia, estos valores son los mismos para todos los sismos?, por favor presentar los registros de estos sismos y que componente del movimiento se uso.

Es de especial interés explicar como se calculan los valores de aceleración en las relaciones de atenuación para periodos largos mayores a 2.0 seg., pues la metodología

presentada (la cual esta basada en Boore, en las referencias del informe) es solo valida para periodos hasta 2.0 seg., como Boore muestra en sus publicaciones para periodos largos la metodología no es valida, y de hecho Boore no la utiliza en periodos largos. En general la metodología solo funciona para altas frecuencias.

Para la generación de los sismógramas sintéticos, se utiliza la metodología presentada en el informe, la cual no responde a un modelo de ruptura que esté ligado a las condiciones físicas y cinemáticas de la fuente, razón por la cual no es recomendable usar ese método para sismos grandes (Mw > 7.0) en el campo cercano (distancia < 50 km), pues en el campo cercano lo más importante es el modelo de ruptura. Como este hecho afecta los resultados obtenidos.

- **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 SHAKE91 que considera la propagación unidimensional de ondas de corte. La utilización del programa es valida desde que la pendiente del terreno para la zona de estudio es plana (pendiente inferior a 10 grados).

- **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 una figura en el capitulo 6 donde se comparan el espectro mínimos y máximo para la zona 3, y los obtenidos mediante los análisis propuestos en el informe, claramente se aprecia que el espectro de diseño sugerido cumple lo establecido en referencia al espectro mínimo para la zona 3. Sin embargo, la validez de los espectros de respuesta en superficie está condicionada a aclarar las inconsistencias y dudas planteadas, en cada uno de los apartes anteriores, especialmente en la parte de la validez de los ensayos dinámicos de suelo, y la parte de cálculo de espectros sintéticos y evaluación de amenaza sísmica.

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia

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 del recomendado en el estudio evaluado, primero deben aclararse y corregirse los puntos antes mencionados, ya que existen algunas dudas 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.

Revisó y Aprobó:

ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN
Presidente y Representante Legal
Sociedad Colombiana de Geotecnia

VoBo:	VoBo:
ING. MAURICIO TAPIAS CAMACHO Grupo de Conocimiento DPAE	**ING. JAVIER PAVA SÁNCHEZ** Coordinador Técnico DPAE