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- 4016 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:	Dra. Brianda Reniz Caballero Curador Urbano No. 2
LOCALIDAD:	TEUSAQUILLO
BARRIO:	Gran América
PROYECTO:	**MIRADOR DE TAKAY**
UPZ:	Quinta Paredes 107
FECHA DE EMISION:	Septiembre 2 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 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 de Amplificación Local del proyecto urbanístico Mirador de Takay - en el barrio Gran América de la localidad de Teusaquillo, en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

3. GENERALIDADES

El estudio entregado a esta entidad indica que en el lote localizado en la Avenida El Dorado con carrera 35, barrio Gran América de la localidad de Teusaquillo (Figura 1), se contempla el desarrollo de un proyecto con torres de 17 pisos, pero no se indica el área construída o las coordenadas del mismo.

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

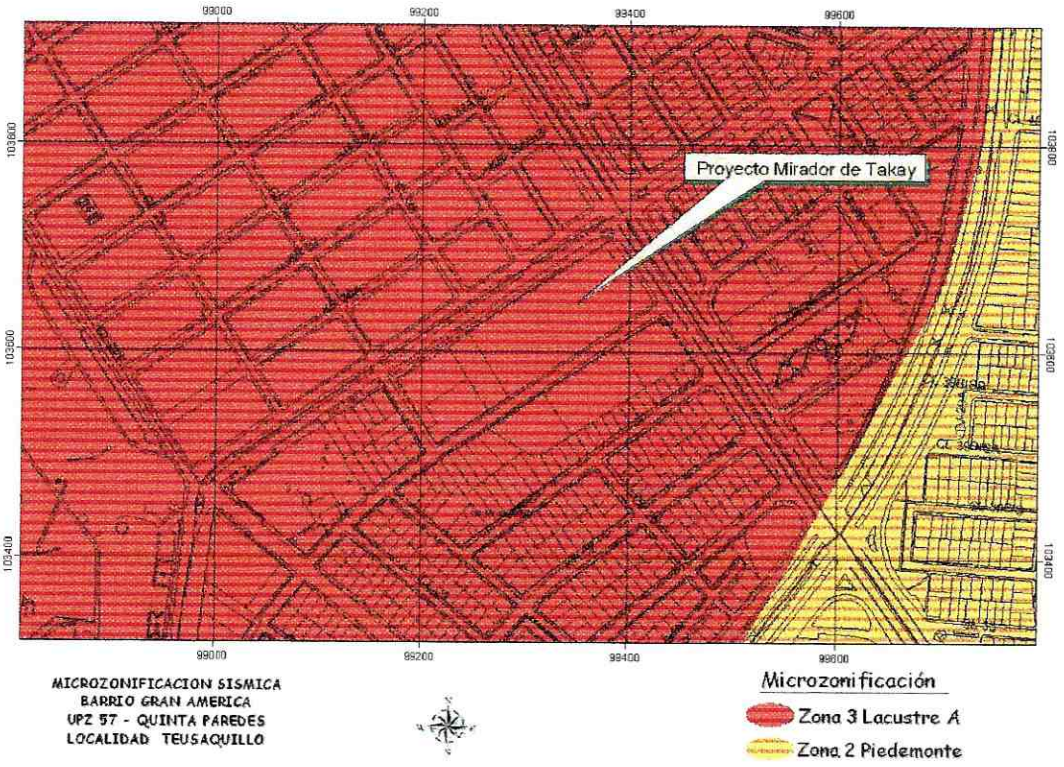


Figura 1. Localización General del Proyecto Mirador de Takay – Barrio Gran América

El estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas fue elaborado por la firma Espinosa y Restrepo y modificado por la misma firma, según comunicación EYR-S 5815 de Agosto 6 de 2004.

4. REVISIÓN INICIAL DEL ESTUDIO

La revisión del informe EYR-S 5815 "Análisis de microzonificación local para el proyecto Takay, ubicado en la avenida El Dorado con carrera 35 de Bogotá," y el "Estudio de Suelos Proyecto Mirador de Takay, Trabajo FM-3285A", se hizo a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 074 de 2001 para este tipo de estudios. 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.

En el cuerpo y anexos del informe se incluye la localización del proyecto en el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la Zona 3 Lacustre A. Sin embargo, en el informe no se hace referencia a las implicaciones de la ubicación en dicha zona para la realización de los estudios geotécnicos detallados y el análisis de la respuesta local de amplificación de las ondas sísmicas.

4.2. Realizar número suficiente de ensayos para caracterizar el perfil. Para complementar la información en profundidad 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.

No se presenta el perfil de análisis dinámico completo y detallado hasta la roca (falta el perfil dinámico entre los 50m y 125m de profundidad). Solo se presenta el perfil hasta los 50m de profundidad, aunque sin detallar parámetros índice (γt, IP), y tipos de suelo de acuerdo a su diferente comportamiento dinámico (curvas de comportamiento dinámico características obtenidas a partir de los ensayos dinámicos, ya que las presentadas para arenas son teóricas). Tampoco se presenta el análisis utilizado para definir e interpolar el posible perfil geotécnico entre 50m y 125m. De acuerdo con el mapa de espesores del Subproyecto 7 del Estudio de Microzonificación Sismica, la profundidad del depósito está entre 125 y 150 m.

Los valores de resistencia a la penetración estándar N_{SPT} obtenidos del sondeo S1 (realizado para el estudio dinámico), difieren de los valores obtenidos del ensayo SPT sobre los suelos de los perfiles ST-2, ST-3, ST-8 y ST-9, realizados en el estudio de suelos para el mismo edificio (ver tabla anexa). Esto corrobora la falta de cuidado en la interpretación de la respuesta dinámica en todo el lote estudiado (¿como se microzonificó entonces?).

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

Prof. (m)	Capa (Sondeo 1)	N (golpes/pie)	Estudio de suelos Valores de N (golpes/pie)			
		Sondeo 1	ST-2	ST-3	ST-8	ST-9
2.5 – 4.0	Limo arenoso	12-18	4-5	3-4	2-3	5-6
6-7	Limo arcilloso orgánico negro de consistencia firme	5-4	6-6	1-2	-----	2-3
10-11.5	Arena gris de densidad muy compacta	45-30	-----	4-4	5-4	10-10
17.5-18.00	Limo arcilloso	6-6	5-4	5-4	-----	-----
26-29	Arena carmelita	18-28	-----	-----	7-17	-----
43-44.50	Arena arcillo-limosa	43-50	13-18	13-10	10-8	-----

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.

La interpretación de los resultados del ensayo Down Hole es deficiente, debido a que es erróneo suponer una velocidad de propagación de onda uniforme de V_s = 130 m/s, V_p = 325 m/s, en un perfil compuesto de materiales de gran heterogeneidad (arcillas blandas a firmes, turbas, arenas densas), valores que son típicos solamente de arcillas blandas.

Un perfil de velocidad de onda detallado a partir de los resultados del ensayos Down Hole, debería ser como el que se muestra a continuación, donde se observa que las capas de arena tienen Vs =182-200m/s, mientras que las capas de turba varía con Vs = 75 – 111 m/s, y para las capas de arcilla entre 121 – 167 m/s.

PROF. (m)	Descripción	DH 1		Vs (m/s)	Vp (m/s)
		Ts	Tp		
2	Relleno (0-2.5m)	16.5	2	121	1000
4	Limo arenoso (2.5-4m)	33	4	121	1000
6	Arcilla gris clara (4-7m)	44	8	182	500
8	Arcilla gris clara (4-7m)	62	14	111	333
10	Limo orgánico (7-10m)	80	26	111	167
12	Arena gris muy densa (10-11.5m)	91	36	182	200
14	Limo arcilloso gris (11.5 - 26.5m)	106	42	133	333
16		118	48	167	333
18		124	52	333	500
21		144		150	
24	Limo arcilloso gris (11.5 - 26.5m)	165	68	143	375
27	Arena limosa compacta (26.5-29m)	180	77	200	333
30		210	80.0	100	1000
33	Limo arcilloso gris (29-32m)	250		75	
36	Arena muy densa (32-34m)	275		120	

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

38		282	110	286	267
40	Arcilla limosa con turba (34-43m)	320		53	
42.5		337		147	
	Valores muy altos				

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.).

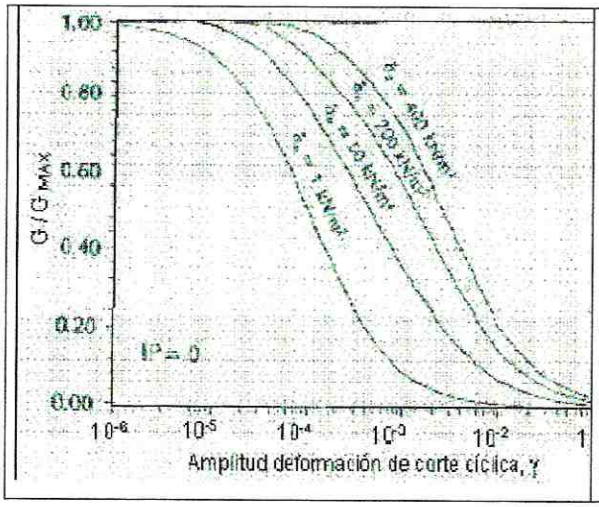
No hay correspondencia entre la localización (profundidad) y el tipo de muestras reportadas como usadas para la realización de los ensayos triaxiales cíclicos. Según el laboratorio de la PUJ se ensayaron las muestras 2 (9m) y 6 (24m). De otro lado en la tabla de la página 8, aparecen otras profundidades (12.5 y 48m) para los mismos ensayos. Finalmente, al comparar con el perfil geotécnico de la perforación realizada para este estudio se nota que a las anteriores profundidades indicadas solo se tenían muestras alteradas obtenidas del ensayo SPT. Por lo tanto, queda la inquietud sobre que es lo cierto en todos estos datos o si se emplearon muestras alteradas para los ensayos dinámicos.

Aunque en el numeral 2.4 del estudio se comenta que se realizaron ensayos dinámicos de columna resonante, módulo G de laboratorio (velocidad de onda?) y triaxial cíclico, no aparecen los resultados de los dos primeros ensayos (columna resonante y modulo G de laboratorio). Por lo tanto, se desconoce como se normalizaron dichas curvas dinámicas, ya que los resultados reportados están incompletos. Deben presentarse los datos de laboratorio de estos ensayos y la metodología de normalización empleada.

Hace falta especificar el nivel de esfuerzo de confinamiento promedio en diferentes puntos de perfil, con el fin de seleccionar adecuadamente las curvas de comportamiento dinámico de las diferentes capas de arena del perfil (10-11.5 m, 26.5-29.0 m, 32-34m, 43-44.5m). En la figura anexa se muestran las variaciones en la forma de las curvas por este efecto. Adicionalmente las curvas dinámicas de arenas medias y arenas densas presentadas son idénticas, lo cual no necesariamente es cierto.

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

Sociedad Colombiana de Geotecnia



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.

Los valores del coeficiente de atenuación ε (amortiguamiento?) hallado a partir de la relación de $Gmáx_{SPT}/Gmáx_{Down\ Hole}$ no corresponde al nivel de deformación alcanzado en el suelo durante un sismo, y los valores muestran relaciones inversas de amortiguamiento, dando un mayor amortiguamiento de las capas de arena (ε=0.048) que en las capas de suelos finos (ε=0.015-0.02), lo cual en realidad debería ser al contrario, las arcillas amortiguan más que las capas arena.

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 esta especificación. Sin embargo, la aceleración horizontal máxima en la roca para el sismo de México es de $Ah_{máx}$=0.038g, en lugar de 0.03g, y la aceleración del evento regional es de Ah_{max}=0.20g, en lugar de 0.25g.

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.

El estudio cumple con este requerimiento.

5. REVISIÓN DE LAS RESPUESTAS DADAS POR EL CONSULTOR AL CONCEPTO TÉCNICO DE LA SCG.

5.1. Atención a la observación 4.1.

El consultor adiciona en el informe las aclaraciones correspondientes.

5.2. Atención a la observación 4.2.

El consultor realizó un análisis comparativo entre valores de N_{SPT} de las perforaciones del lote y el sondeo de INGEOMINAS, hasta 50 m de profundidad, encontrando similitud de las secuencias estratigráficas. Sin embargo, no se observa con claridad el criterio asumido para correlacionar el resto del perfil hasta la roca (entre 50m y 125m) ya que el esquema del perfil definitivo asumido para el estudio (página 18) no presenta los espesores de cada capa, ni la secuencia estratigráfica corresponde con la del perfil del INGEOMINAS (anexo en el informe).

Por lo tanto se sugiere al consultor hacer un perfil geotécnico que incluya simultáneamente el perfil estratigráfico del INGEOMINAS y el perfil del estudio, en el cual se muestre la escala de profundidades, las correlaciones entre los tipos de materiales y las curvas de comportamiento dinámico representativas de cada material asumido.

5.3. Atención a la observación 4.3.

El consultor corrigió los valores de Vs hasta la profundidad de 42 m. Sin embargo, debe corregir la interpretación errónea de dichos valores mostrada en el Anexo 5 del informe, donde aparece un valor único de Vs = 130 m/s en todo el perfil.

De otro lado, dado que el perfil total utilizado en el estudio de respuesta sísmica hasta la roca es de 125 m, el consultor debe mostrar el criterio asumido para calcular los valores de Vs entre las profundidades de 42 m y 125 m, y los valores obtenidos, los cuales son fundamentales para definir la estratificación del subsuelo y los resultados de respuesta.

5.4. Atención a la observación 4.4.

El consultor adiciona al informe 2 ensayos de velocidad de onda (S1M2 y S1M6) que corresponden con las muestras de los ensayos triaxiales cíclicos entregados anteriormente, y una columna resonante (S1M2). Sin embargo, en ninguna parte del informe se muestra la utilidad de estos ensayos dinámicos en la obtención de curvas dinámicas normalizadas de módulo de corte (G/G_{max} - γ) y de amortiguamiento (β - γ) con la deformación por corte; tan solo se presentan las curvas y datos independientes sin ningún tipo de análisis de normalización o ajuste. Al revisar la los resultados planteados en esos ensayos, la SCG encuentra que los valores del módulo de corte no son lógicos, es decir que G debe reducirse al aumentar el nivel de deformación, lo cual no ocurre. Se solicita al consultor ACLARAR estas inconsistencias.

Al comparar la profundidad de obtención de las muestras inalteradas en la perforación realizada por el consultor se observa que a 9.0m de profundidad existe una muestra alterada. El consultor debe aclarar este aspecto ya que es erróneo realizar ensayos dinámicos a ese tipo de muestras.

El consultor presenta 5 juegos de curvas dinámicas de materiales entre 10 m y 43 m de profundidad, obtenidos con criterios dados por la bibliografía, pero desecha los ensayos dinámicos realizados para los materiales del sitio, los cuales deben primar sobre cualquier curva teórica, según el fundamento del Decreto 074 y de la práctica de la Geotecnia en general. Esto implica que se están analizando otros materiales y posiblemente un perfil teórico inexistente en el sitio.

Lo mismo ocurre para los materiales localizados entre 43 m y 125 m de profundidad, ya que el consultor presenta una apreciable cantidad de fotocopias de los ensayos realizados en la MZSB para la perforación del INGEOMINAS (la cual fue bien escogida por ser la perforación profunda mas cercana al sitio de proyecto) pero no se muestra ningún tipo de análisis de dichos ensayos ni cual fue la utilidad en el estudio local. Por lo tanto, se desconoce cual o cuales de las curvas dinámicas de los materiales existentes en INGEOMINAS se utilizaron en el perfil del proyecto en estudio, y cual fue el criterio de asignación.

En resumen, la SCG considera que para estos estudios no se trata de recopilar información pero sin analizarla, que se convierte en una especie de relleno en el informe, sino de presentar los perfiles, ensayos, curvas, etc (del sitio o lugares vecinos) que realmente sean útiles para evaluar y completar técnicamente el modelo geotécnico del sitio, desde luego

soportado con un análisis detallado de los criterios y métodos de ajuste o correlación utilizados. En todo esto debe primar la información geotécnica local sobre las teóricas de de otros lugares del mundo.

5.5. Atención a la observación 4.5.

El consultor anota que corrigió los valores de aceleración máxima de los tres sismos de diseño a los solicitados en el Decreto 074 (página 19). Sin embargo, las figuras de los acelerogramas mostrados en la página 20 para los eventos lejano y regional tienen otros valores (eJ: Lejano A_{max} = 0.033g en lugar de 0.038g, y Regional A_{max}= 0.25g en lugar de 0.20g)

5.6. Atención a la observación 4.6.

Se empleó para la respuesta un modelo de elementos finitos pero el informe no muestra la discretización de la malla ni los tamaños de los elementos finitos utilizados en cada capa de suelo.

5.7 Aclaración sobre la forma de los espectros de respuesta obtenidos en superficie (campo libre)

Al revisar los espectros de respuesta obtenidos en superficie para los 3 eventos (páginas 19 y 20) y consolidados junto al espectro recomendado (figura de la página 21), es claro que existe un error muy importante en la forma de todos los espectros, ya que al inicio tienen un valor de Sa= 0.0g (para T= 0.0sg) lo cual es imposible porque implicaría que no llega sismo a la superficie del terreno. Al colocar el inicio con un valor real de aceleración se generaría un espectro mas elevado que resultaría diferente al recomendado.

Por lo tanto, se le solicita al consultor revisar los datos de entrada y de salida que emplea el programa QUAKE para que aclare las dudas o criterios empleados y llegue a valores reales de aceleraciones. Para una mejor comprensión del modelo debe incluir los valores de A_{max} en función de la profundidad (en cada capa de material) de todos los eventos sísmicos.

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, 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 serias dudas sobre la confiabilidad de dichos resultados.

ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN
Presidente y Representante Legal
Sociedad Colombiana de Geotecnia

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