



Secretaría  
**GOBIERNO**

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS




---

**CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA**

---

**CONCEPTO TECNICO No. CT- 4254 de 2005**

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

**1. INFORMACIÓN GENERAL**

<b>ENTIDAD SOLICITANTE:</b>	Brianda Réniz Caballero – Curaduría Urbana 2
<b>LOCALIDAD:</b>	Santafé (03)
<b>BARRIO:</b>	Samper
<b>PROYECTO:</b>	<b>MANHATTAN CENTRO INTERNACIONAL</b>
<b>UPZ:</b>	91 Sagrado Corazón
<b>TIPO DE RIESGO:</b>	Sísmico
<b>EJECUTOR:</b>	Ingeniería y Georiesgos, IGR LTDA.
<b>FECHA DE EMISION:</b>	Diciembre 02 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, acogiéndose 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



Secretaría  
**GOBIERNO**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



## CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

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 el 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 **primera revisión**, realizada por la Sociedad Colombiana de Geotecnia, del Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas, para el sitio donde se localizará el Manhattan Centro Internacional, barrio Samper de la localidad de Santafé en la ciudad de Bogotá, en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

### 3. GENERALIDADES DEL PROYECTO “MANHATTAN CENTRO INTERNACIONAL”

El Manhattan Centro Internacional será construido en la carrera 13 No. 31-21, barrio Samper de la localidad de Chapinero, en la ciudad de Bogotá, D.C. (Figura 1). El estudio de respuesta sísmica local del subsuelo fue enfocado a definir el espectro de respuesta para el diseño estructural del edificio.

La localización de la edificación del proyecto corresponde a las siguientes coordenadas planas aproximadas:

1'002.523 N

1'000.982 E

El estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas para el sitio donde será construido el “Manhattan Centro Internacional” fue realizado por la firma INGENIERÍA Y GEORIESGOS, IGR LTDA. Las perforaciones las efectuó la firma SAENZ-RUIZ-CADENA, mientras que las propiedades dinámicas de los materiales presentes en el subsuelo fueron obtenidas de dos (2) ensayos down-hole, una línea de refracción sísmica y



Secretaría  
**GOBIERNO**

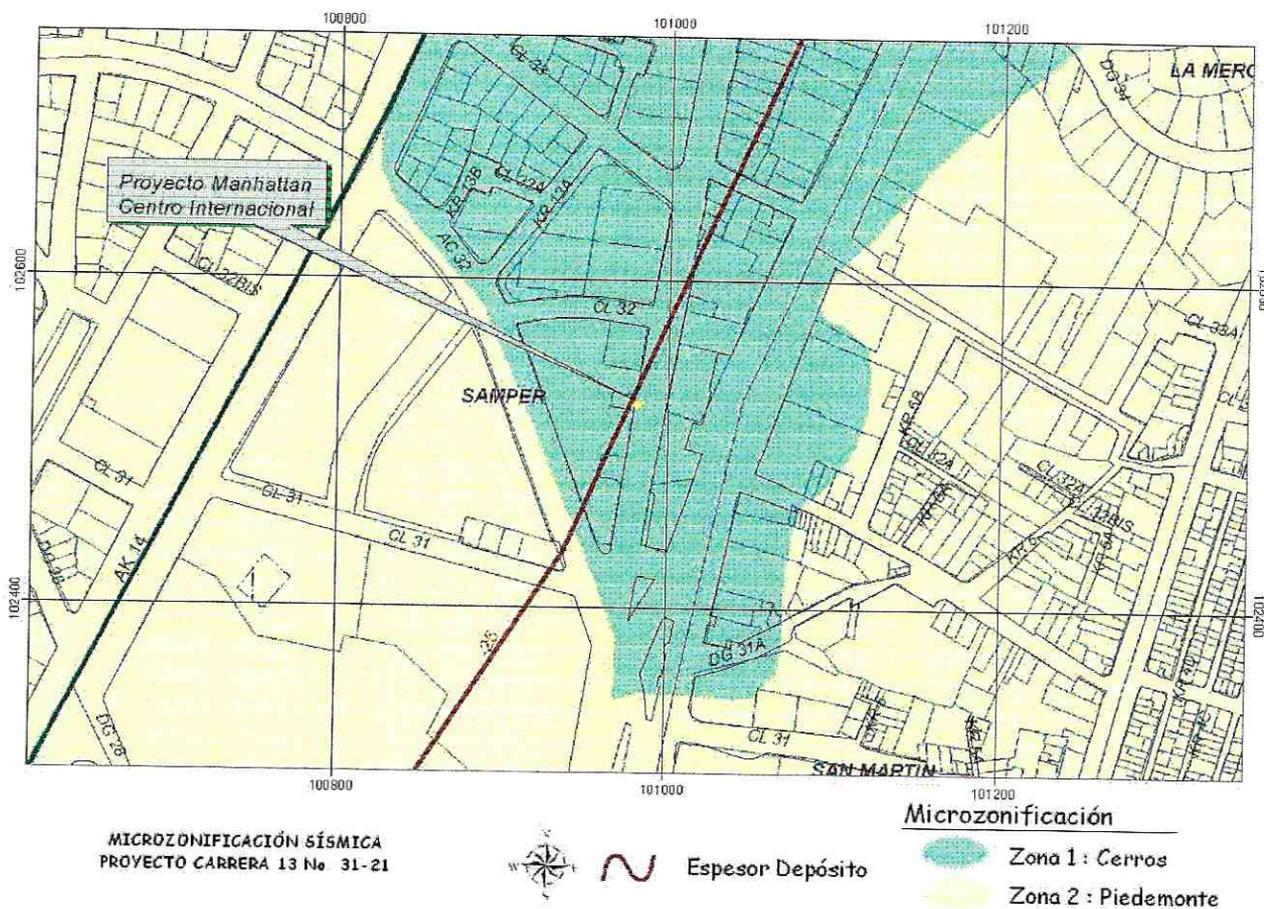
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



## CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

de la recopilación de curvas de variación de módulo de corte y amortiguamiento de otros estudios, incluidos la Microzonificación Sísmica de Bogotá y bibliografía internacional.



**Figura 1 Localización del Proyecto Manhattan Centro Internacional**

#### 4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO

La revisión del informe IGRL-04-04\_1 correspondiente al “Estudio de Respuesta Sísmica Local para el Manhattan Centro Internacional”, se hace a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 074 de 2001 para este tipo de estudios.



Secretaría  
**GOBIERNO**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



## CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

El propósito de la revisión es verificar que el estudio cumpla con lo dispuesto dentro del decreto, de manera que se pueda evaluar de forma 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, que se listan a continuación.

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

*En la sección 2.1.1 del informe, Zona Sísmica y Espectros de Respuesta, 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 acorde con el Decreto 074 de 2001.*

*En la sección 2.1.2 del informe, Profundidad del Basamento Rocoso, se indica que de acuerdo con el mapa de sedimentos de la ciudad de Bogotá (estudio de microzonificación sísmica de la ciudad), la roca se debe encontrar en el sitio a una profundidad del orden de 25m. Sin embargo, con las perforaciones realizadas en el sitio se pudo establecer que la roca se encuentra a una profundidad mayor de 65m, y según la exploración indirecta (línea de refracción sísmica), la profundidad del basamento rocoso es del orden de 75-80m.*

*El estudio CUMPLE con el presente requerimiento.*

### 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.

*En el numeral 4.1 del estudio, Exploración de Campo, se menciona la realización de diecisiete (17) perforaciones que alcanzaron profundidades entre 34.5m y 64.5m. Las perforaciones fueron ejecutadas con equipo mecánico de percusión y rotación y durante su ejecución se realizó la identificación visual y manual de los estratos del suelo, se*



Secretaría  
**GOBIERNO**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



## CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

tomaron muestras alteradas para posteriores pruebas en laboratorio y se llevaron a cabo ensayos de campo tipo SPT. En el mismo numeral se indica que debido al carácter predominantemente grueso de los materiales explorados y granulometría de los mismos depósitos (rellenos, arcillas arenosas con gravas, gravas arenosas compactas y depósitos coluviales), no fue posible obtener muestras inalteradas para la realización de los ensayos dinámicos de laboratorio. Sin embargo, la SCG llama la atención (de acuerdo con los registros de perforación) sobre la existencia de algunos estratos de limo orgánico de poco espesor (entre 0.5m y 1.2m) los cuales hubieran sido indicados para la toma de muestras inalteradas. Se infiere que el consultor asumió que estos estratos tenían realmente poca influencia en la respuesta general del depósito.

De acuerdo con las perforaciones realizadas, el subsuelo en el sitio de estudio está compuesto por los siguientes materiales:

- a. Rellenos superficiales de espesor variable, que alcanzan profundidades hasta de 3m, compuestos por escombros, limos arcillosos, arenas y grava.
- b. Lentes de limo orgánico (turba) con espesores entre 0.2m y 1.2m, presentes cerca de la superficie entre 3.0m y 10m de profundidad.
- c. Depósitos coluviales compuestos por gravas areno-arcillosas, con espesores variables entre 10 y 15m, los cuales se encuentran entre 5m y 35m de profundidad. Entre los depósitos coluviales se encuentran intercalaciones de arcilla con gravas de menor espesor.
- d. Finalmente, de 35m a 65m de profundidad se encuentran gravas gruesas y arenas compactas con algo de arcilla. El contacto basal fue definido a 80m de profundidad, de acuerdo con la exploración geofísica realizada en campo.

De acuerdo con los resultados de la exploración, el nivel freático se encuentra entre 5 m y 20 m de profundidad para el sitio del edificio.

El estudio CUMPLE con 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.**

Para el estudio de respuesta sísmica local se realizaron dos (2) ensayos Down Hole, con medición de la velocidad de propagación de ondas de corte (Vs) y compresión (Vp), y una línea de refracción sísmica de 140m de longitud.



Secretaría  
**GOBIERNO**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



## CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

*En el perfil de velocidades de propagación de ondas de corte  $V_s$  en el subsuelo, se identifican seis diferentes estratos: 1) rellenos superficiales entre 0 y 5m, con velocidad 136m/s; 2) limos orgánicos (turba), localizados entre 4m y 6m, en donde los valores de  $V_s$  son cercanos a 107m/s; 3) depósito coluvial localizado entre 6 y 17/25m de profundidad, con velocidad de 211m/s; 4) arcilla con gravas entre 17/25m y 20/28m, en donde los valores de  $V_s$  son del orden de 131m/s; 5) depósito coluvial localizado entre 20/28m y 35m de profundidad, con velocidad de 300m/s; y finalmente, 6) gravas gruesas y arenas compactas con algo de arcilla localizadas entre 35m y 80m de profundidad, con velocidad de 416m/s. Los Materiales rocosos se encuentran a 80m de profundidad, con velocidades  $V_s$  cercanas a 850m/s y  $V_p$  del orden de 2359m/s, de acuerdo con la información reportada por la línea de refracción sísmica.*

*El numeral 4.2, Ensayos Geofísicos, del informe presentado por el consultor, resume las propiedades geofísicas de los diferentes materiales asumidos para el modelo geotécnico.*

*Con el fin de complementar el perfil estratigráfico para el modelo de análisis geotécnico, se utilizaron resultados de otros estudios cercanos al sitio del proyecto.*

*El estudio CUMPLE con el requerimiento de realizar ensayos de velocidad de onda de corte y compresión, mediante pruebas de campo tipo down hole y línea de refracción sísmica.*

#### **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.).**

*En el numeral 4.3.1, Ensayos Dinámicos, el consultor indica que el proceso de muestreo inalterado resultó infructuoso dados los materiales explorados, del tipo coluvión, los cuales se caracterizan por la presencia de gravas y arenas embebidas en matriz arcillosa. Dicha imposibilidad en la obtención de muestras aptas para caracterización geomecánica, impidió la realización de ensayos dinámicos de laboratorio.*

*Debido a la falta de los ensayos dinámicos, dada la imposibilidad de obtención de muestras inalteradas, el consultor complementó la información y el modelo geotécnico de análisis con resultados publicados en la literatura técnica, así como de otros estudios realizados, cercanos al sitio del proyecto, con el fin de establecer el modelo de comportamiento dinámico con 7 diferentes tipos de materiales identificados en el perfil de*



Secretaría  
**GOBIERNO**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



## CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

*análisis. Adicionalmente, en las figuras del capítulo 5 del informe, el consultor hace explícita la relación entre las curvas de comportamiento dinámico y el perfil del depósito utilizado en el modelo.*

*De acuerdo con lo anterior, el estudio NO CUMPLE con el requisito de realizar ensayos dinámicos de laboratorio.*

*Sin embargo, debido a la dificultad de obtener muestras inalteradas para adelantar los ensayos de laboratorio y dada la juiciosa recopilación de curvas de comportamiento dinámico por parte del consultor, se considera que para el caso particular estudiado no es posible exigir la aplicación del presente requisito del Decreto.*

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

*En total, fueron considerados doce (12) diferentes acelerogramas para la obtención del espectro de respuesta: cinco (5) para la fuente cercana, cuatro (4) para la fuente regional o intermedia y tres (3) para la fuente lejana.*

*El estudio CUMPLE ampliamente con este requerimiento, pues se utilizaron nueve (9) registros adicionales a los tres (3) registros de aceleración definidos por el Decreto 074 de 2001.*

### **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.**

*Dada la ubicación del sitio de estudio en una zona donde la pendiente del terreno es inferior a 10 grados y los materiales del subsuelo no presentan variaciones importantes de su espesor, a la luz del Decreto 074 se hace suficiente el empleo de modelos unidimensionales para establecer el comportamiento sísmico del conjunto de materiales que conforman el subsuelo. No obstante, la proximidad de los cerros y la disposición no horizontal de los niveles estratigráficos definidos durante la exploración del subsuelo, favorecen la realización de análisis bidimensionales.*

*En el estudio realizado por el consultor se presentaron dos tipos de análisis: el primero, implementando un modelo unidimensional mediante el programa de computador*



Secretaría  
**GOBIERNO**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



## CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

*SHAKE2000; el segundo, considerando un modelo numérico bidimensional mediante el programa QUAD4M. De esta manera se evaluaron los espectros de respuesta, tanto en superficie como a diferentes profundidades, de acuerdo con los niveles de cimentación proyectados.*

*El estudio CUMPLE ampliamente con este requerimiento al usar dos modelos numéricos de análisis, tanto unidimensional como bidimensional.*

### **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.**

*El consultor evaluó los espectros de respuesta tanto con un modelo numérico unidimensional (SHAKE2000), como con uno bidimensional (QUAD4M). Así mismo, se obtuvieron historias de aceleraciones y espectros en superficie y a diferentes profundidades, de acuerdo con los niveles de cimentación proyectados para la estructura.*

*Los resultados de los análisis de propagación de ondas, presentados de la figura 6.2 a la figura 6.27 del informe, muestran perfiles con los niveles de aceleración máximos esperados para la estructura, así como espectros de respuesta en diferentes nodos de análisis.*

*En la Figura 6.27 se presenta el resumen de los espectros de respuesta obtenidos con los dos modelos (unidimensional y bidimensional), tanto en superficie como a diferentes profundidades correspondientes a los niveles de cimentación y sótanos. El espectro de diseño presentado por el consultor corresponde a la envolvente de casi la mayoría de los espectros de respuesta, a excepción de periodos de vibración cercanos a 0.35 y 0.75 segundos, donde la aceleración espectral  $S_a$  se ve ligeramente superada por uno de los espectros de respuesta obtenido en los análisis.*

*Es así como, a la luz de los resultados, el consultor propone como espectro de diseño uno intermedio entre el de la Zona 2 de la MZSB y el mínimo definido en el Decreto 074. Este espectro de diseño arranca con una aceleración espectral de 0.25g (para un periodo de 0 segundos), la cual aumenta hasta 0.75g, para luego mantenerse constante entre los periodos de 0.28 a 0.90 segundos, (a diferencia de la definida en la MZSB en donde este valor de aceleración espectral -0.75g- se mantiene hasta un periodo de 1.2 segundos). Posteriormente, el espectro cae de manera similar a como lo hace el espectro mínimo del decreto, hasta alcanzar valores de 0.11g para un periodo de 5.0 segundos.*



Secretaría  
**GOBIERNO**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



### CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

*El espectro de diseño propuesto está justificado por los resultados del estudio de respuesta local, con la salvedad de no haber realizado ensayos de laboratorio por la imposibilidad de obtener muestras inalteradas. De esta manera se da CUMPLIMIENTO al decreto en este aspecto.*

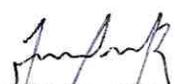
### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de la presente revisión, se concluye que el estudio de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas del proyecto en referencia está completo a la luz de los requerimientos mínimos consignados en el Decreto 074 de 2001.

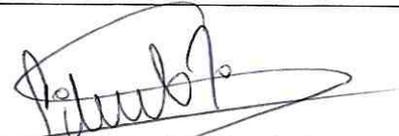
Revisó y Aprobó:

  
**ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN**  
Presidente y Representante Legal  
Sociedad Colombiana de Geotecnia

Revisó:

  
**ING. JUAN CARLOS PADILLA R.**  
Grupo de Riesgo Sísmico  
DPAE

VoBo:

  
**ING. LIBARDO TINJACA CARDENAS**  
Coordinador Grupo de Riesgo Sísmico  
DPAE