CONCEPTO TÉCNICO No CT - 5161
Revisión de Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas
Artículo 7 - Decreto 193 de 2006

1. INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE:	José Joaquín Álvarez – Curaduría Urbana No 4
PROYECTO:	**TORRES DEL SOL**
LOCALIDAD:	10 Engativa
UPZ:	26 Las Ferias
BARRIO:	Santa Rosa
DIRECCIÓN:	CL 80 No 69T-60/98
CHIP:	AAA0058PBZE
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	ESPINOSA & RESTREPO
FECHA DE EMISION:	Febrero 20 de 2008

2. ANTECEDENTES

En el Decreto 193 del 08 de junio de 2006, por el cual se complementa y modifica el Código de Construcción de Bogotá, D.C., se adoptan los espectros de diseño y las determinantes del estudio de Microzonificación Sísmica, se establece que las construcciones y edificaciones nuevas de cualquier índole que se levanten en Bogotá Distrito Capital, deberán diseñarse y construirse dependiendo de la zona en la cual se encuentren según la zonificación sísmica adoptada a través de los artículos anteriores, acogiendo al efecto el espectro 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 193 de 2006, 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 presente concepto técnico corresponde a la **segunda revisión** realizada por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del estudio de efectos locales para el proyecto Solarium, del estudio de suelos y de efectos locales del proyecto Torres del Sol, que se remitieron como estudio sísmico local en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 193 de 2006.

La solicitud de revisión del estudio fue radicada mediante el oficio 2007ER17351 por la Curaduría Urbana No 4 el día 28 de diciembre de 2007 y la respuesta de observaciones se radicó el día 6 de febrero de 2008 mediante el oficio 2008ER1251 de la misma curaduría.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO

El estudio entregado para revisión indica que el proyecto Torres de Sol consta de 4 torres, dos de 17 pisos y dos de 19 pisos de altura, con dos sótanos parciales. Las estructuras se proyectan en muros de concreto con luces hasta de 5.0 m.

En la Figura 1 del presente concepto se ilustra la localización del lote del proyecto, que corresponde a las siguientes coordenadas planas aproximadamente:

110750 N 99150 E

El Estudio de Suelos y Análisis de Respuesta Sísmica para el proyecto Torres del Sol, fue realizado por la firma Espinosa & Restrepo, con base en la exploración del subsuelo realizada en los estudios de suelos EYR-S 6935 y EYR-S 7599, los resultados del laboratorio de pruebas y ensayos de la Universidad de los Andes y los resultados de Down Hole realizados por la Firma Ulloa y Díez Ltda.

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO (ENERO DE 2008)

La revisión del informe presentado para el proyecto Torres del Sol en Bogotá D.C., se hace a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 193 de 2006 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 193.

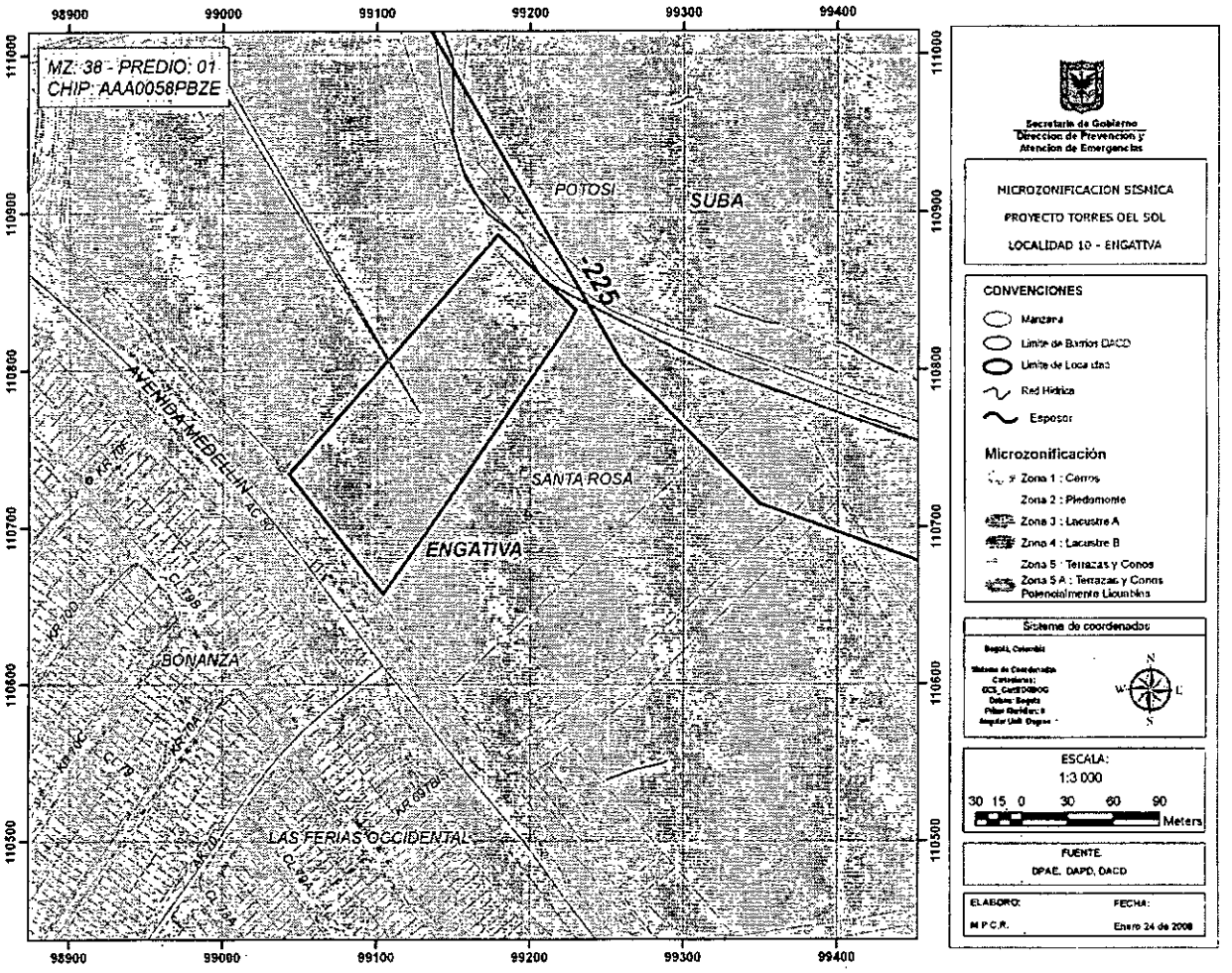

Figura 1. Localización del Proyecto Torres del Sol

El concepto técnico 5134 de enero 24 de 2008 emitido por la DPAE relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo, se transcribe a continuación:

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

En el numeral 10 del estudio de suelos, se define la localización del proyecto de acuerdo con el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la Zona 4 – Lacustre B. Esta ubicación esta acorde con el Decreto 193 de 2006 (Figura 1 del presente concepto técnico).

El estudio CUMPLE con este 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.

Para conocer el perfil y propiedades del subsuelo en el lote del proyecto en el informe se menciona que se realizaron cuatro (4) perforaciones con recuperación de muestra, dos de 40 m y dos de 15 m y tres (3) sondeos con cono estático de 15 m. Se obtuvieron muestras remoldeadas para su clasificación visual, evaluación del contenido de humedad natural y de los límites de consistencia y muestras inalteradas sobre las cuales se realizaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades de resistencia y deformabilidad de los materiales. Se presentan los registros de las perforaciones realizadas junto con un plano de localización y las tablas resumen de resultados de laboratorio.

El consultor empleo como información secundaría la del proyecto Solarium, localizado al costado oriental del lote de estudio, allí se realizaron ocho (8) perforaciones: una (1) con profundidad de 50 metros, una (1) con profundidad de 40 m y seis (6) con profundidad 15 m. Se obtuvieron muestras remoldeadas para su clasificación visual, evaluación del contenido de humedad natural y de los límites de consistencia y muestras inalteradas sobre las cuales se realizaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades dinámicas, de resistencia y deformabilidad de los materiales y en la perforación de 50 m se ejecutó una prueba de Down Hole.

Según el numeral 2.1 la investigación de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio realizados permitieron una caracterización de la estratigrafía en el sitio de proyecto hasta la profundidad explorada como se describe:

- De 0 a 5.3/7.0 m rellenos heterogéneos.
- De 5.3/7.0 a 7.0/10.8 m arcillas color habano de consistencia blanda.
- De 7.0/10.8 a 26.0 m limo arcilloso color gris de consistencia firme.
- De 26.0 a 40.0 m limo color carmelito de consistencia firme.

Bajo la profundidad de 40m y hasta los 230m en donde se encuentra aproximadamente el basamento rocoso, el perfil geotécnico se complementó según el informe con la información de dos sondeos:

- Desde los 40m y hasta los 100m se tomó la información del sondeo profundo realizado en la calle 100 con Autopista Norte.
- Desde los 100m hasta los 230m, se tomó la información suministrada por la perforación realizada en la Avenida Cundinamarca, ejecutado en el marco del estudio de la Microzonificación Sísmica de Bogotá (MZB-1997).

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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.

Dada la cercanía y la estratigrafía similar entre el proyecto Solarium y Torres del Sol, el informe se indica que se empleo el ensayo de Down-Hole con profundidad de 50 m realizado para el proyecto Solarium, con el fin de definir el perfil de la velocidad de onda, Vs, en profundidad. En el informe del proyecto Solarium se presentan las figuras de profundidad vs tiempo de viaje, correspondiente al ensayo de Down-Hole realizado por la firma Ulloa y Diez, obteniendo los siguientes resultados:

- 0 – 5 m 247 m/s
- 5 – 50 m 146 m/s

El perfil de Vs desde los 50 m a los 100 m de profundidad se adopta de acuerdo a las mediciones realizadas en la Autopista Norte con Calle 100, con valores que varían entre 140 a 290 m/s, a partir de 100 m de adopta un valor constante de 290 m/s hasta el basamento rocoso.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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.).

Dada la cercanía y la estratigrafía similar entre el proyecto Solarium y Torres del Sol, el consultor empleó los ensayos dinámicos realizados para el proyecto Solarium. En el informe se indica que se realizaron ensayos dinámicos de laboratorio (triaxial cíclico, columna resonante y velocidad de propagación de ondas de corte) sobre muestras de suelos obtenidas a dos (2) diferentes profundidades: 17 y 47 m, respectivamente. Con los resultados obtenidos de estos ensayos se determinaron las propiedades de rigidez y amortiguamiento

del suelo en un amplio intervalo de deformaciones, necesario para adelantar un análisis de la respuesta dinámica del sitio.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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

En los análisis de respuesta anexos al estudio de suelos se observa que se utilizaron los acelerogramas de los sismos alternativos aprobados por la DPAE, acogiéndose a lo establecido en el numeral 3 del artículo 7. El consultor empleó las siguientes señales: fuente local, Umbria, Coyote Lake y Mammont, fuente intermedia Kobe, Yerbabuena y Deer Canyon y fuente lejana México Cerro Depi, México CU01 y Xaltinguis.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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.

En el estudio se realizan análisis bidimensionales mediante la utilización del programa Quake (Geo-slope Internacional, 2000), basado en el método de los elementos finitos que considera la propagación de ondas de corte horizontales con un método lineal equivalente para tener en cuenta las variaciones del amortiguamiento y el módulo de corte con la deformación en los suelos del perfil. La malla utilizada para los análisis se presenta en el anexo de análisis sísmico, donde se indica el sitio del proyecto y nodo donde se registra la respuesta; mientras que las curvas asignadas a los diferentes estratos se presentan en el estudio del proyecto Solarium en las Figuras 10 a 23 junto con los criterios empleados para determinar el comportamiento dinámico. Dentro del modelo bidimensional planteado por el consultor, se efectúa la discretización del medio teniendo en cuenta el criterio de la longitud de onda, planteando un modelo con un ancho de tres veces la profundidad a fin de evitar los efectos de borde.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

4.7 Evaluación del potencial de licuación en los suelos susceptibles a licuarse.

Debido a que el sitio del estudio se encuentra en la Zonas 4 -Lacustre B- y a que en la exploración del subsuelo no se identificaron superficialmente capas de arenas sueltas, limpias y saturadas, no es necesaria la evaluación del potencial de licuación.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

4.8 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.

Con base en los resultados de la modelación el consultor recomienda utilizar como espectro de diseño el obtenido mediante los coeficientes espectrales de diseño presentados en el numeral 10 del informe y en el anexo de análisis sísmico.

El espectro propuesto inicia con una Sa de 0.14 g, luego asciende hasta 0.35 g en 0.25 segundos, continuando con este valor hasta los 1.8 segundos donde desciende hasta tomar los valores de espectro mínimo de la Zona 4 dados en el decreto 193 de 2006.

Sin embargo, es necesario que el consultor revise y ajuste el espectro propuesto para los periodos comprendidos entre 0.2 y 0.5 segundos, donde los espectros de respuesta obtenidos mediante las modelaciones para las fuentes local e intermedia (Figuras del oficio EYR-S 7599 de 4 diciembre de 2007) superan ampliamente el valor recomendado.

A pesar de que el periodo de las estructuras que se van a construir es superior a el intervalo que se recomienda ajustar en el espectro, se aclara que el espectro de respuesta obtenido mediante un estudio de respuesta local corresponde al sitio del estudio y debe cubrir todo el intervalo de periodos de vibración de las posibles estructuras que serán construidas.

El estudio NO CUMPLE con este requerimiento.

5. SEGUNDA REVISIÓN DEL ESTUDIO

La segunda revisión realizada por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, del proyecto Torres del Sol a construirse en la CL 80 No 69T-60/98 que se remite como estudio sísmico local y del oficio aclaratorio ER1251 de febrero 6 de 2008, se efectúa siguiendo los requerimientos consignados en el Decreto 193 de 2006 para este tipo de estudios.

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

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

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 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.

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

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.

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

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.).

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

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

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

5.6 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.

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

5.7 Evaluación del potencial de licuación en los suelos susceptibles a licuarse.

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

5.8 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.

En el oficio aclaratorio ER1251 de febrero 6 de 2008, el consultor modifica el espectro propuesto inicialmente, proponiendo que para periodos inferiores a 0.6 s se deberá trabajar

con las aceleraciones espectrales de la Zona 4 y para periodos superiores a 0.6 s se podrá emplear los valores del espectro mínimo de la Zona 4. El espectro propuesto es presentado en la Figura 2 del presente concepto, el cual inicia con una Sa de 0.16 g que aumenta linealmente hasta 0.4 g a los 0.5 s, luego continua hasta los 0.6 segundos donde desciende a una Sa de 0.325 g, continuando con este valor hasta los 1.8 segundos donde baja a tomar los valores de espectro mínimo de la Zona 4 dados en el Decreto 193 de 2006.

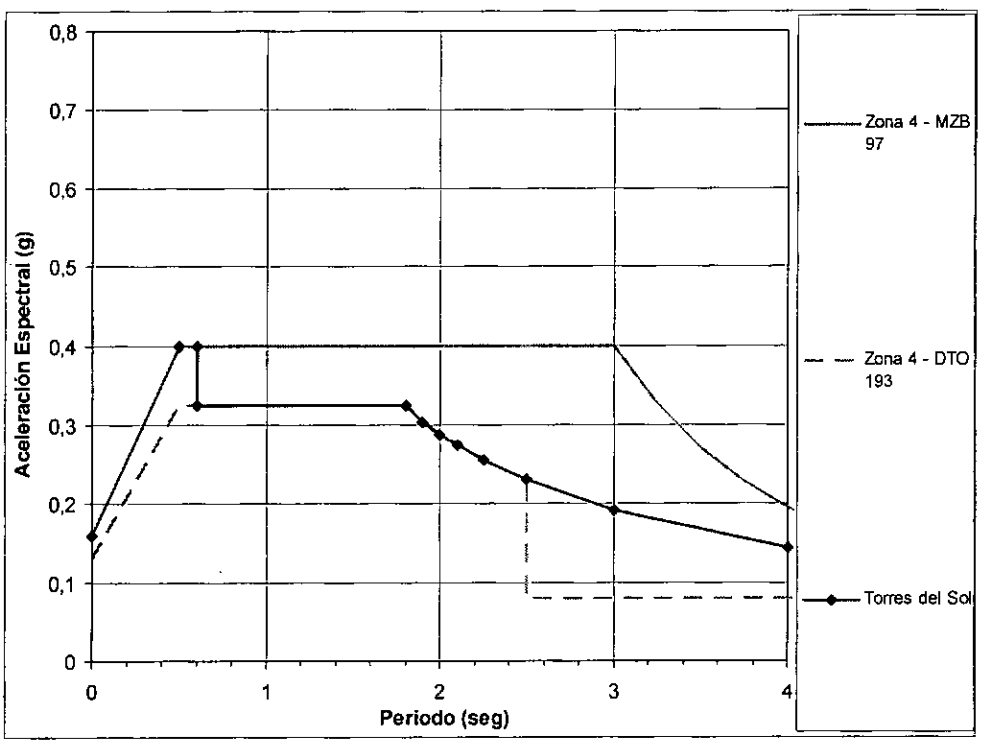

Figura 2. Espectro de diseño recomendado para el proyecto Torres del Sol.

A pesar que el espectro propuesto cumple con la normatividad vigente, es claro que no representa los resultados de las modelaciones para los periodos comprendidos entre 0.2 y 0.5 segundos, donde los espectros de respuesta obtenidos para las fuentes local e intermedia (Figuras del oficio EYR-S 7599 de 1 febrero de 2008) superan ampliamente el valor recomendado, por lo cual se recomienda que el espectro propuesto sea únicamente valido para periodos superiores a 0.6 segundos.

Se aclara que, el alcance del concepto técnico es la verificación de los aspectos contemplados en el Decreto 193 de 2006, por lo que la responsabilidad de los resultados y recomendaciones recae únicamente en el consultor, como lo refrenda con su firma en el informe del estudio.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

6. CONCLUSIONES

Como resultado de la presente revisión, se concluye que el estudio de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas del proyecto en referencia, cumple con los requerimientos consignados en el Decreto 193 de 2006.

Se debe aclarar que, el alcance del concepto técnico es la verificación de los aspectos contemplados en el Decreto 193 de 2006 con fundamento en el informe suministrado y no implica hacer un juicio de valor sobre la validez de los sondeos, ensayos, parámetros adoptados, el empleo de software, los análisis de respuesta, los resultados de los análisis y el espectro de diseño recomendado, por lo que la responsabilidad de los mismos recae en el consultor como lo refrenda con su firma en el informe del estudio, limitándose la revisión a verificar el cumplimiento del Decreto.

Elaboró **FERNANDO JAVIER DÍAZ PARRA**
Ingeniero Civil, MSc Geotecnia
M.P. 25202093681 CND

Aprobó **GUILLERMO ÁVILA ÁLVAREZ**
Subdirector Investigación y Desarrollo

Vo.Bo. **GUILLERMO ESCOBAR CASTRO**
DIRECTOR