CONCEPTO TÉCNICO No CT - 5170
Revisión de Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas Artículo 7 - Decreto 193 de 2006

1. INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE:	Dr. Natalia Laurens Acevedo - IDU
PROYECTO:	**INTERSECCIÓN AV BOYACÁ CON AV VILLAVICENCIO**
LOCALIDAD:	6 Tunjuelito
UPZ:	62 Tunjuelito
BARRIO:	San Benito
DIRECCIÓN:	Av Boyacá con Av Villavicencio
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	CONSORCIO SEINSE
FECHA DE EMISION:	Febrero 26 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 primera revisión realizada por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, del estudio *"Espectro de sitio proyecto 130"* elaborado por el Consorcio SEINSE como parte del contrato de consultoría para las obras de vías, intersecciones, puentes peatonales y espacio público que conforman el Grupo J, Zona D de proyectos de valorización en Bogotá D.C., a construirse en la intercepción de la Avenida Boyacá con Avenida Ciudad de Villavicencio, que se remite como estudio sísmico local en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 193 de 2006.

La solicitud de revisión del estudio fue radicada el día 8 de febrero 2008 mediante el oficio 2008ER1393 por parte de la Dr. Natalia Laurens Acevedo del Instituto de Desarrollo Urbano, IDU.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO

El proyecto contempla las obras de vías, intersecciones, puentes peatonales y espacio público que conforman el Grupo J, Zona D de proyectos de valorización en Bogotá D.C., a construirse en la intercepción de la Avenida Boyacá con Avenida Ciudad de Villavicencio.

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

96800 N 93300 E

El estudio *"Espectro de sitio proyecto 130"* fue elaborado por el Ing. Juan Carlos Afanador de la firma Geotecnia y Cimentaciones para el Consorcio SEINSE, con base en la exploración del subsuelo de la firma Geotecnia y Cimentaciones, los resultados dinámicos de laboratorio de pruebas y ensayos de la Universidad de los Andes y los resultados de las pruebas geofísicas realizadas por la firma Ulloa y Díez Ltda.

4. REVISIÓN DEL ESTUDIO

La revisión del informe presentado para la Intersección de la Avenida Boyacá con Avenida Ciudad de Villavicencio en Bogotá D.C., se hace a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 193 de 2006 para este tipo de estudios.

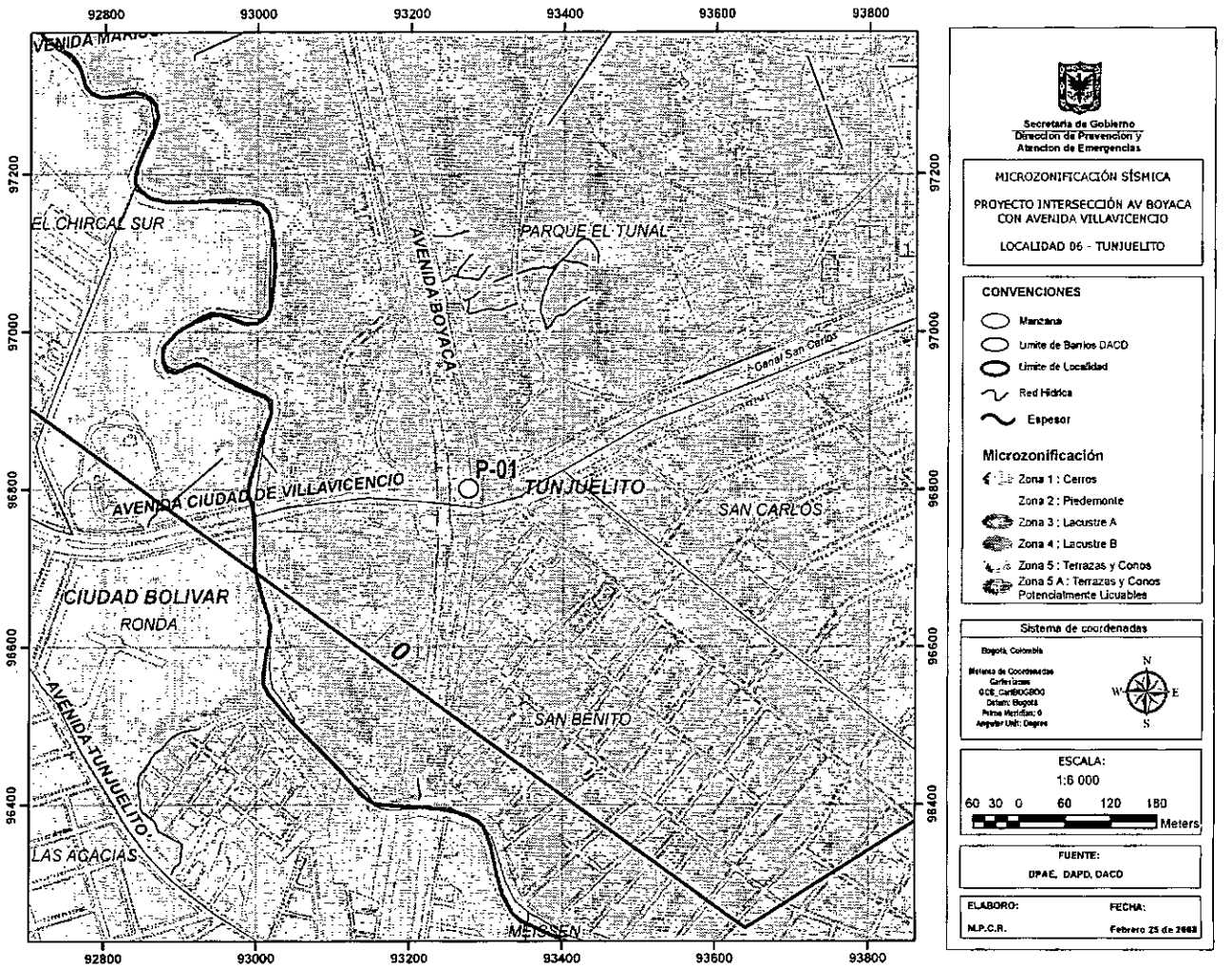

Figura 1. Localización del Proyecto

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.

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.

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

En el numeral 8 del informe se define la localización del proyecto de acuerdo con el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la Zona 5 – Terrazas y Conos Potencialmente Licuables. 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 sitio del proyecto en el informe se menciona que se realizó una (1) perforación hasta una profundidad de 29 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.

De acuerdo con el consultor, debido a las características del material encontrado, correspondiente a un depósito aluvial, no fue posible alcanzar la profundidad programada de 50 m, ya que en el desarrollo de la perforación se presentaron inconvenientes para cumplir el objetivo. Motivo por el cual se acudió a información secundaria del proyecto de Microzonificación Sísmica de Bogotá que realizó una perforación en el Parque Tunal a 45 m de profundidad. Adicionalmente se elaboraron pruebas geofísicas de Down Hole, Refracción Sísmica y MASW, con lo que se logró caracterizar el depósito hasta los 50 m de profundidad aproximadamente.

Según el numeral 4.7 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 3 m: Rellenos de materiales de construcción en matriz arcillosa, humedad baja, plasticidad media y consistencia firme.

- De 3 a 13 m: Arcilla rojiza con presencia de algunos fragmentos de tamaño arena media, humedad media, plasticidad alta y consistencia muy blanda a medio firme.
- De 13 a 21 m: Material granular compuesto por tamaños tipo cantos, grava y arena de compacidad densa.
- De 21 a 50 m: Material granular compuesto por tamaños tipo grava de compacidad muy densa.

Basado en el mapa de espesores de sedimentos del estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, después de los 50 m de profundidad el consultor indica que se encuentra el contacto del depósito de suelo con la roca.

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.

Según el numeral 4.6, se realizó un ensayo de Down-Hole a una profundidad de 29 m en el sondeo P-1, una línea de Refracción Sísmica y una prueba de MASW (Múltiple Adquisición de Ondas de Corte) con lo que se logró caracterizar el deposito hasta los 50 m de profundidad. Las pruebas geofísicas fueron ejecutados por la firma de Ulloa & Diez Ltda.

A continuación se resumen los valores de la velocidad de onda de corte y compresión determinados a partir de los resultados de las pruebas:

Profundidad	Vs (m/s)	Vp (m/s)
0 – 3 m	125 – 140	220 – 272
3 – 13 m	217 – 218	518 – 526
13 – 21 m	345 – 348	855 – 870
21 – 50 m	592 – 667	1389 – 1408

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.).

Según el numeral 4.5, en los materiales cohesivos se realizaron ensayos dinámicos a las muestras inalteradas a 3 y 11 m de profundidad del sondeo P-1, para estas profundidades se ejecutaron pruebas de Bender Element, Columna Resonante y Triaxial Cíclico de

deformación controlada; para los materiales granulares, donde la recuperación de muestras inalteradas no fue posible, se emplearon referencias bibliográficas reconocidas, ajustando los parámetros a los esfuerzos de confinamiento y velocidad de onda de corte in situ.

Los resultados de las pruebas de laboratorio se presentan anexos al informe y se observa concordancia entre los datos obtenidos en el laboratorio y la bibliografía empleada con los presentados en las gráficas 1 a 4 del informe.

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.

Según el numeral 6, en los análisis de respuesta de sitio se utilizaron los acelerogramas de los sismos alternativos aprobados por la DPAE, acogiéndose a lo establecido en el numeral 3 del artículo 7.

De este modo el consultor empleó las siguientes señales: fuente local, Umbria, Coyote Lake y Mammont, fuente intermedia, Kobe, Yerbabuena y Deer Canyon y fuente lejana, México CUIP, México CU01 y México CUMV.

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.

De acuerdo con el numeral 7.1, en el estudio se realizaron análisis unidimensionales mediante la utilización del programa EERA (Bardet et al, 2000), que considera la propagación unidimensional de ondas de corte horizontal 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.

Dentro de los análisis se consideran cuatro (4) tipos de materiales y 16 estratos de suelo, desde superficie hasta 50 m de profundidad donde el consultor consideró que se localiza el contacto con el basamento rocoso. Los datos del perfil de análisis se presentan anexos en las Memorias de Calculo, mientras que las características de los materiales y los criterios empleados para la asignación de curvas dinámicas se presentan en el numeral 5.

Sin embargo, se recomienda al consultor revisar la interpretación de los ensayos dinámicos con los que se obtuvo la curva de degradación y amortiguamiento del material 2 (arcilla rojiza), dado que en los análisis no se tuvo en cuenta que los ensayos dinámicos de Bender Element, Columna resonante y Triaxial Ciclico se realizan a diferentes frecuencias, trayectorias de carga y esfuerzos de confinamiento, por lo cual definir la curva de degradación y amortiguamiento uniendo estas tres pruebas, sin tener en cuenta los aspectos mencionados, no es adecuado para materiales cohesivos de comportamiento viscoso. Posible razón por la cual las curvas obtenidas difieren considerablemente de las referencias bibliográficas.

El estudio CUMPLE PARCIALMENTE 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 5 – Terrazas y Conos Potencialmente Licuables y a que en la exploración del subsuelo se identificaron capas de arenas, es necesario que el consultor evalué el potencial de licuación del depósito de acuerdo con el numeral 8 del artículo 4 de Decreto 193 de 2006.

El estudio NO 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, en el numeral 9 del informe, utilizar como espectro de diseño el de la Zona 5 para periodos entre 0 y 1 segundo y para periodos superiores a 1 segundo se sugiere la utilización del espectro Mínimo de la Zona 5.

Sin embargo, es necesario que el consultor:

- Revise la recomendación dada en el numeral 4.6 del presente concepto y si es el caso ajuste la curva de degradación y amortiguamiento del material 2 en el perfil de análisis.
- Defina el espectro de diseño con base en el promedio más desviación estándar de las respuestas de cada campo (Local, Intermedio y Lejano) independientemente, es decir, que no se debe presentar el promedio mas desviación estándar de todas las señales para definir el espectro de diseño, tal como se ilustra en la gráfica 10.
- Aclarar porqué se recomienda un Coeficiente de Importancia, I, igual a 1.3, puesto que la NSR-98 no es aplicable para el diseño de infraestructura, estando esta recomendación en contradicción con lo definido en el Código de Puentes.

- Una vez se atiendan las recomendaciones anteriores y si aún se presentan aceleraciones espectrales entre 0.2 y 0.5 segundos para la fuente local e intermedia superiores a las dadas para la Zona 5, en necesario que se ajuste el espectro propuesto para estos periodos.
- Avale el estudio, dado que en el informe suministrado no se encuentra debidamente firmado por el consultor responsable del mismo.

A pesar que el espectro propuesto pueda que cumpla con la normatividad vigente, se aclara que si los resultados de las modelaciones detalladas de la respuesta de sitio muestran que las demandas son superiores a las definidas para la zona en el estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, se deben tener en cuenta en la definición del espectro de diseño, aunque el alcance del concepto técnico es la verificación de los aspectos contemplados en el Decreto 193 de 2006, la responsabilidad de los resultados y recomendaciones recae únicamente en el consultor, como lo refrenda con su firma en el informe del estudio.

Con base en las propiedades del sitio de estudio descritas en el informe, depósitos duros compuestos por materiales granulares gruesos y con un espesor aproximado de 50 m, se recomienda reclasificar el sitio de estudio como Zona 2 – Piedemonte, puesto que sus características, especialmente el espesor del depósito, se asemejan más a la Zona 2 que a la Zona 5, lo que se puede ratifica con los resultados de las modelaciones.

El estudio NO CUMPLE con este requerimiento.

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 193 de 2006. Para poder conocer con certeza la validez de los espectros de respuesta obtenidos y del recomendado en el estudio evaluado, primero deben aclararse y complementarse los puntos antes mencionados.

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 193 de 2006

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