CONCEPTO TÉCNICO No CT - 4918
Revisión de Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas Artículo 7 - Decreto 193 de 2006

1. INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE:	Natalia Laurens Acevedo – IDU
PROYECTO:	**ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA TRONCAL CALLE 26 – INTERSECCIÓN CALLE 26 POR AVENIDA CARACAS**
LOCALIDAD:	14 Los Mártires
UPZ:	101 Teusaquillo
BARRIO:	Santa Fe
DIRECCIÓN:	Avenida Calle 26 por Avenida Caracas
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	Consorcio General – Ing. Jorge Alberto Rodríguez.
FECHA DE EMISION:	Septiembre 28 de 2007

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. Adicionalmente, 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 del mencionado decreto, adoptando el espectro de diseño y los coeficientes espectrales indicados 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 informe *"Determinación del Espectro de Diseño de Respuesta de Aceleraciones Absolutas Avenida Calle 26 por Avenida Caracas"*, elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, para los estudios y diseños de la Troncal Calle 26 a la altura de la intersección vial a desnivel con la Avenida Caracas, el cual fue radicado el 04 de Julio de 2007 mediante oficio ER-8275, por la Dra. Natalia Laurens Acevedo del IDU, como estudio sísmico local en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 193 de 2006 y del oficio aclaratorio ER12135 de Septiembre 12 de 2007, enviado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez.

El propósito de la revisión es verificar que el estudio cumpla con lo exigido en el 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.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO

El proyecto contempla los estudios y diseños de la Troncal Calle 26 para su adaptación al sistema de transporte masivo Transmilenio de la ciudad de Bogotá, en su tercera fase. El Volumen No.13, correspondiente a las actividades geotécnicas que tiene como uno de sus principales objetivos la determinación de los espectros sísmicos de respuesta de aceleraciones absolutas para varias intersecciones viales sobre la Avenida Calle 26. La obtención de los espectros de respuesta sísmica hace parte de las actividades tendientes a revisar las condiciones de diseño estructural de la intersección a desnivel de la Avenida Calle 26 con Avenida Caracas.

El sitio de la intersección vial de la Calle 26 con Avenida Caracas se encuentra ubicado sobre un sector en donde se presenta una transición de depósitos de ladera de los cerros orientales de la ciudad de Bogotá, a depósitos de origen lacustre hacia el occidente del área de estudio. Por otro lado, se presenta una variación fuerte de la topografía y en dirección occidental se presenta un fuerte gradiente de profundización de la roca, de acuerdo con lo comentado por el consultor.

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

102088 N 100488 E

El informe *"Determinación del Espectro de Diseño de Respuesta de Aceleraciones Absolutas Avenida Calle 26 por Avenida Caracas"* fue elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, con base en los datos de exploración del subsuelo, ensayos de campo y laboratorio realizados por la firma A.C.I. Proyectos S.A., y los resultados del ensayo Down Hole ejecutado por la firma Ulloa y Diez Ltda.

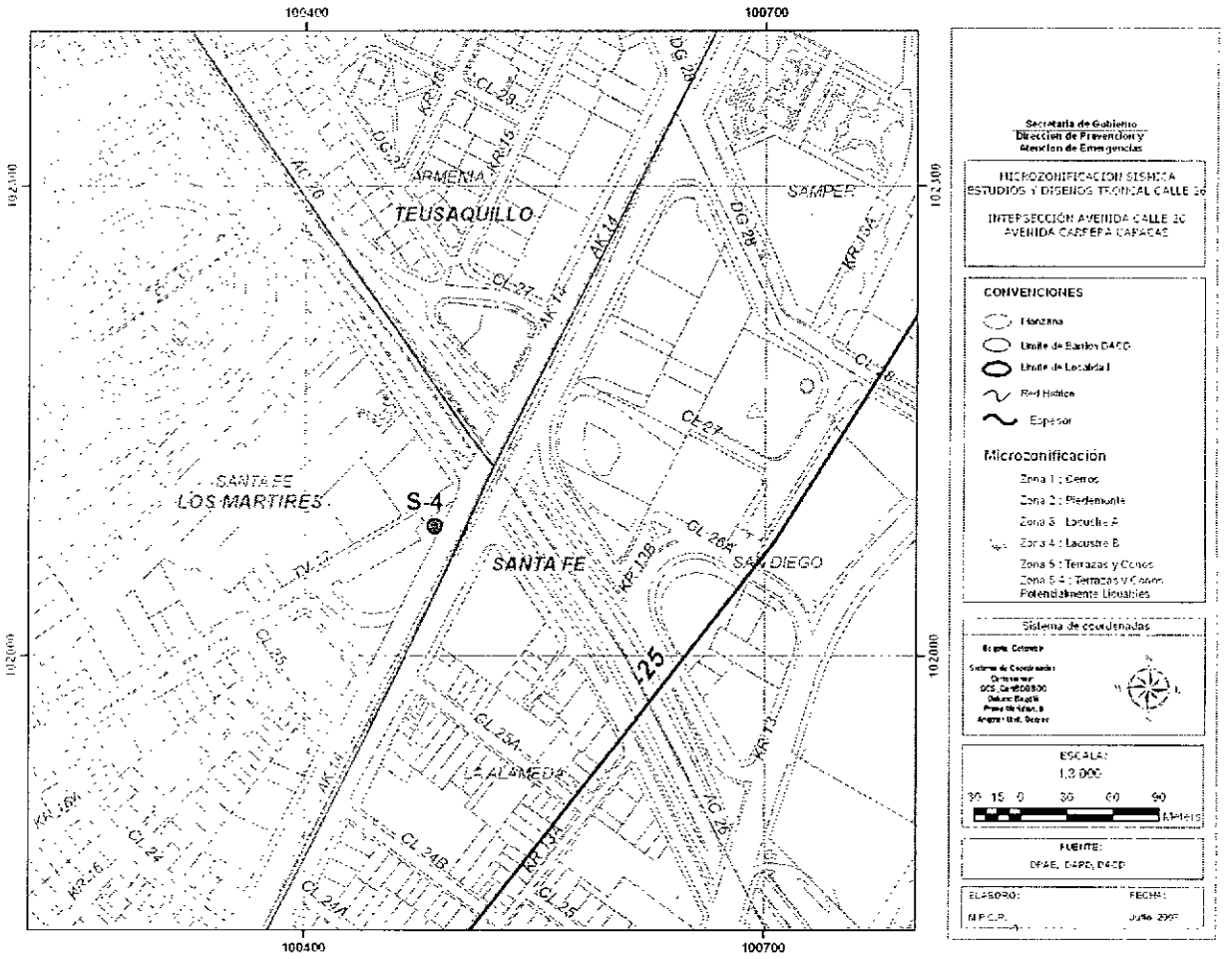

Figura 1. Localización del predio para los estudios y diseños de la intersección Avenida Calle 26 por Avenida Caracas

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO (JULIO DE 2007)

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

En los numerales 1.1 y 3.2 del informe presentado por el consultor, se indica que el sitio del proyecto se encuentra localizado en la Zona 2 -Piedemonte Cerros Orientales-, de acuerdo con el Decreto 193 de 2006, la cual es consistente con la localización presentada en la Figura 1 del presente concepto.

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.

De acuerdo con el Numeral 1.3.2 y 3.2, para conocer el perfil y propiedades del subsuelo en la intersección vial del proyecto, la firma A.C.I. Proyectos S.A., realizó dos (2) perforaciones, S4 y S5, las cuales alcanzaron profundidades de 50 y 77 m, respectivamente. De la perforación S5 se obtuvieron muestras remoldeadas que se utilizaron para clasificación visual y realización de ensayos de laboratorio. La información obtenida de estas perforaciones fue complementada con ensayos de penetración estándar, SPT.

Por otro lado, en el informe se menciona una labor de recopilación y análisis de información de estudios de respuesta sísmica local cercanos a la intersección vial de la Calle 26 por Avenida Caracas, con el fin de complementar el perfil y modelo geotécnico de análisis hacia oriente y occidente, para la sección bidimensional del presente estudio.

En el informe se comenta que, debido a dificultades de tipo técnico para avanzar en la perforación P5 hasta llegar a la roca de la Formación Bogotá e instalar la tubería de PVC para el ensayo Down Hole, se realizó una perforación adicional S4 a 50 m de profundidad.

El registro de perforación del sondeo S5 a 77 m de profundidad, junto con el plano de la localización del sondeo S4 se presentan en los anexos del informe. Sin embargo, es necesario que el consultor anexe el registro de perforación del sondeo S4 sobre el que se

hizo el ensayo Down-Hole y la localización del sondeo S5, sobre la cual se realizaron los ensayos de campo y laboratorio.
En el numeral 3.2, se menciona que 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. En general, el perfil del subsuelo está conformado por un material de relleno en superficie, seguido por limos arcillosos de plasticidad baja y consistencia media a firme (aumentando en profundidad), con la presencia de intercalaciones de algunos lentes de gravas y arenas en los 20, 30, 60 y 70 m de profundidad, aproximadamente. Así mismo, se considera que la roca se encuentra a una profundidad aproximada de 80 m.

El estudio CUMPLE PARCIALMENTE 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.

De acuerdo con los numerales 1.3.2 y 3.2, así como la información incluida en los anexos del informe, en el sondeo adicional S4 se indica la realización de un ensayo Down-Hole a una profundidad de 50m, ejecutado por la firma Ulloa y Diez Ltda., con el fin de definir el perfil de velocidades de onda Vs y Vp, valores útiles en la determinación del módulo de corte máximo $G_{máx}$ y de la relación de Poisson, ν.

En la figura 3.6 se muestran los resultados del ensayo Down Hole ejecutado en la intersección vial de la Calle 26 por Avenida Caracas. El perfil de Vs desde 50m hasta 80 m de profundidad se adopta aumentando la velocidad en proporción con la profundidad a un exponente de n igual 0.2, con el fin de tener en cuenta el efecto del confinamiento. En la siguiente tabla se resumen los valores del perfil de velocidad de onda, determinado a partir de los resultados de la prueba Down-Hole. Así mismo, se incluyen los valores de la relación de poisson, obtenidos de los datos de Vs y Vp de campo.

Profundidad (m)	Vs (m/s)	ν
0-3	244	0.43
3-9	174	0.43
9-20	251	0.42
20-50	256	0.44

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.).

En el numeral 3.2, el consultor indica que la mayoría de los materiales encontrados en la exploración del subsuelo corresponden a rellenos en superficie, seguidos por limos arcillosos de plasticidad baja y consistencia media a dura (aumentando en profundidad), con la presencia de intercalaciones de algunos lentes de gravas y arenas, sobre los cuales no se pudo obtener muestras inalteradas en tubo Shelby, para el desarrollo de ensayos dinámicos posteriores, para la obtención de la variación del módulo y el amortiguamiento con la rigidez. Adicionalmente, en este numeral se señala que las curvas de variación del módulo de corte y amortiguamiento para cada material, se elaboraron a partir de datos reportados en la literatura y en la experiencia del consultor en estudios de respuesta local cercanos al área de estudio.

En las Figuras 3.7 y 3.8 del informe se presentan las curvas dinámicas de variación del módulo de corte y amortiguamiento con la deformación, para cada uno de los cinco (5) materiales utilizados en el modelo de análisis. Sin embargo, es necesario que el consultor:

- Precise el tipo de suelo al cual corresponde cada uno de los materiales adoptados.
- Aclare de qué manera obtuvo cada una de las curvas adoptadas para las modelaciones.
- Incluya los pesos unitarios asumidos para los análisis en la Tabla 3.1.

El estudio CUMPLE PARCIALMENTE 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 el estudio se utilizaron un total de doce (12) acelerogramas de los sismos alternativos aprobados por la DPAE, seis (6) para fuente cercana, cinco (5) para fuente regional y uno (1) para fuente lejana, junto con el sismo de fuente lejana utilizado en el estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá, acogiéndose a lo establecido en el numeral 3 del artículo 7 del decreto 193 de 2006.

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 de elementos finitos QUAKE del paquete de programas GeoStudio 2004 V.7.12. El programa considera la propagación de ondas de corte con el método lineal equivalente, para tener en cuenta las variaciones del amortiguamiento y el módulo de corte con la deformación en los suelos del perfil. Así mismo, el programa utiliza un esquema de amortiguamiento numérico de tipo Rayleigh, con parámetros alfa y beta que dependen de la frecuencia del sistema y de la relación de amortiguamiento.

Los datos de los análisis se presentan en la Tabla 3.1, mientras que el modelo empleado se indica gráficamente en la Figura 3.10. Sin embargo, es necesario que el consultor aclare los siguientes aspectos:

- Por qué se presentan diferencias entre el modelo empleado para el análisis bidimensional y el perfil estratigráfico obtenido en la exploración del subsuelo, teniendo en cuenta que no es claro si se consideraron los estratos con mayor rigidez presentes entre los 33 y 40 m de profundidad, de acuerdo con los resultados del ensayo Down Hole. Adicionalmente, las relaciones de Poisson utilizadas en el modelo de análisis de la Tabla 3.1, difieren notablemente de las calculadas a partir de los datos de campo de Vs y Vp del Down Hole.

El cumplimiento de este numeral esta condicionado a las aclaraciones de los puntos 4.2 y 4.4 y se sugiere utilizar las señales que actualmente se encuentran aprobadas por parte de DPAE en la página www.sire.gov.co

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 zona 2 (Piedemonte Cerros Orientales), 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.

Este numeral se revisará una vez se aclaren por parte del consultor todas las observaciones anteriores.

5. SEGUNDA REVISIÓN DEL ESTUDIO

La segunda revisión del estudio *"Determinación del Espectro de Diseño de Respuesta de Aceleraciones Absolutas Avenida Calle 26 por Avenida Caracas"*,que se remite como estudio sísmico local y del oficio aclaratorio ER12135 de Septiembre 12 de 2007, 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.

En el oficio aclaratorio ER12135 de Septiembre 12 de 2007, el consultor anexa el perfil del sondeo 4 y la localización del sondeo 5.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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.).

En el oficio aclaratorio ER12135 de Septiembre 12 de 2007, el consultor anexa una tabla donde incluye el tipo de suelo adoptado para los análisis, los pesos unitarios y la curva dinámica correspondiente a cada estrato. En el mismo oficio el consultor indica el tipo de material a que corresponde cada curva dinámica utilizada en el análisis.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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.

En el oficio aclaratorio ER12135 de Septiembre 12 de 2007, el consultor explica la que diferencia entre la relación de Poisson calculada mediante el ensayo Down Hole y la adoptada para los análisis se debe a que la primera tiene en cuenta el esqueleto del suelo y el fluido presente en los vacíos y la segunda corresponde al esqueleto del suelo. Adicionalmente, aclara que la diferencia estratigráfica se debe a que existen capas muy delgadas las cueles no afectan el paso de la onda sísmica, debido a que las velocidades de onda de estas capas son superiores a los 300 m/s y con base en el criterio de la longitud de onda no se deben considerar capas con espesores inferiores a 15 m.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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.

Con base en los resultados de la modelación el consultor recomienda utilizar como espectro de diseño el mostrado en la Figura 3.15 del informe, el cual se presenta en la Figura 2 del presente concepto.

El espectro propuesto inicia con una Sa de 0.24 g, luego asciende hasta 0.9 g en 0.3 segundos, donde continua con este valor hasta los 0.7 segundos. Luego desciende con los valores mínimos de Sa de la zona 2, dados en el decreto 193 de 2006.

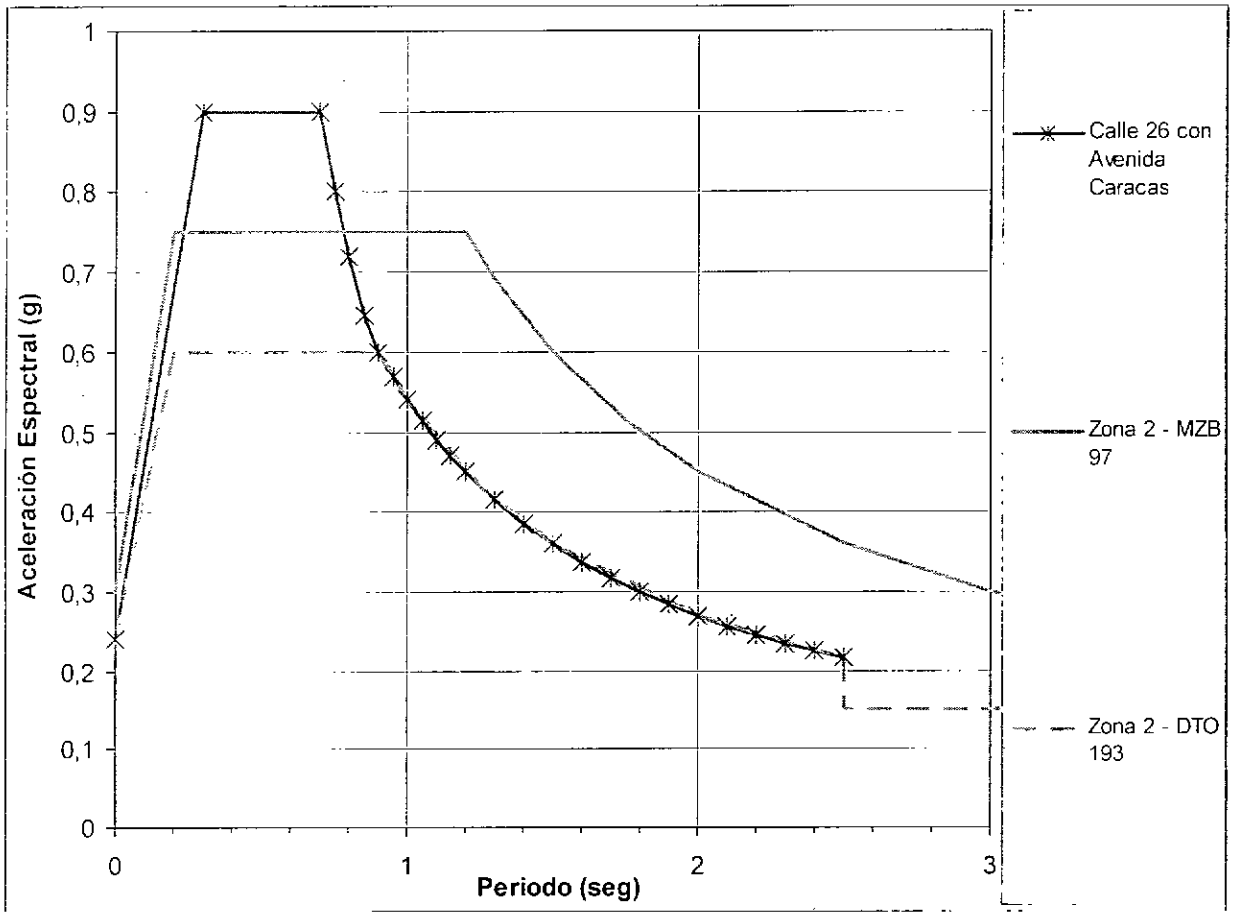

Figura 2. Espectro de diseño recomendado para los diseños de la intersección Avenida Calle 26 por Avenida Caracas.

El estudio 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, cumple con los requerimientos mínimos 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 **CARLOS JAVIER PEDRAZA A.**
Ingeniero Civil, MSc Geotecnia
M.P. 15202098211BYC

Revisó **FERNANDO JAVIER DÍAZ PARRA**
Coordinación Estudios Técnicos

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

Vo.Bo. **DIANA MARCELA RUBIANO VARGAS**
Directora