CONCEPTO TÉCNICO No CT - 4921
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 CIUDAD DE CALI**
LOCALIDAD:	9 Fontibón.
UPZ:	115 Capellanía
BARRIO:	Santa Cecilia
DIRECCIÓN:	Avenida Calle 26 por Avenida Ciudad de Cali.
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	Consorcio General – Ing. Jorge Alberto Rodríguez.
FECHA DE EMISION:	Agosto 13 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 Ciudad de Cali"*, elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, para los estudios y diseños de la Troncal Calle 26, 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 ER12102 de Septiembre 11 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 Ciudad de Cali.

El sitio de la intersección vial a desnivel de la Calle 26 con Avenida Ciudad de Cali se encuentra ubicado sobre un sector en donde se presentan depósitos de gran espesor, conformados principalmente por arcillas y limos de alta plasticidad de consistencia blanda a media, con arenas en la base del depósito, de acuerdo con lo comentado por el consultor.

En la Figura 1 del presente concepto se ilustra la localización de la intersección donde se ejecutó la exploración del subsuelo, que corresponde a las siguientes coordenadas planas, aproximadamente:

109296 N 95241 E

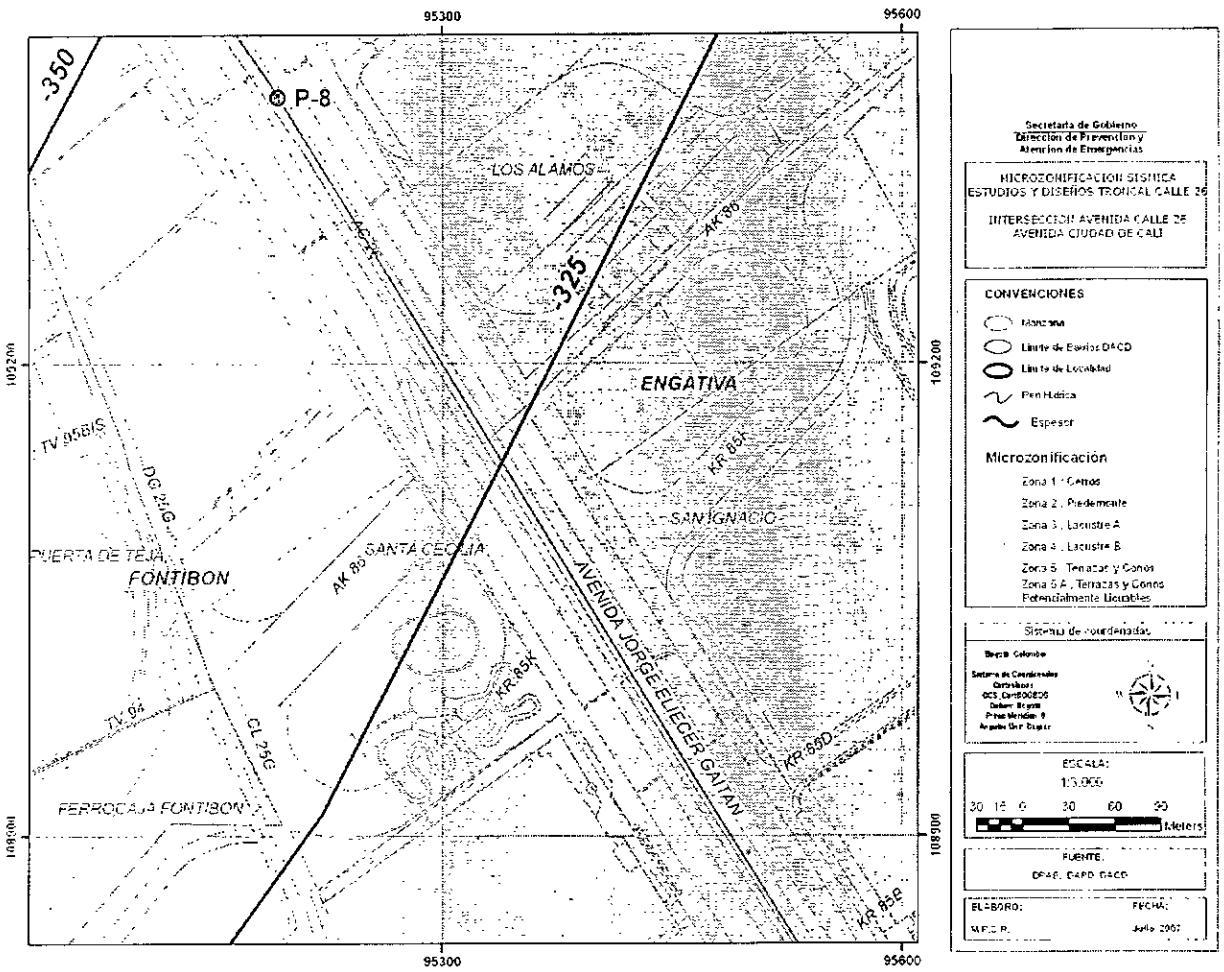

Figura 1. Localización del predio para los estudios y diseños de la intersección Avenida Calle 26 por Avenida Ciudad de Cali

El informe *"Determinación del Espectro de Diseño de Respuesta de Aceleraciones Absolutas Avenida Ciudad de Cali"*, fue elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, con base en los datos de exploración del subsuelo y ensayos de campo realizados por la empresa Suelos y Pavimentos Ltda., ensayos de laboratorio realizados por A.C.I Proyectos S.A. (ensayos de clasificación y caracterización geotécnica), por el laboratorio CIMOC de la Universidad de Los Andes (ejecución de ensayos dinámicos) y los resultados del ensayo Down Hole ejecutado por la firma Ulloa y Diez Ltda.

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 de transición entre las Zonas 3 -Lacustre A- y 4 -Lacustre B-, 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 empresa Suelos y Pavimentos Ltda., realizó una (1) perforación, P8, que alcanzó una profundidad de 100 m. De la perforación P8 se obtuvieron muestras inalteradas y remoldeadas que se utilizaron para clasificación visual y realización de ensayos de laboratorio. La información obtenida del sondeo P8 fue complementada con ensayos de resistencia al corte con veleta de campo, SVT y ensayo de penetración estándar, SPT. El registro de perforación del sondeo P8 a 100 m de profundidad, junto con el plano de localización, se presentan en los anexos del informe.

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 como se describe a continuación:

- De 0.0 m a 1 m: Rellenos de limo orgánico negro con raíces.
- De 1 m a 2 m: Rellenos en material de recebo, gravo arenoso de compacidad baja, contaminado con limo orgánico.

- De 2 m a 2.8 m: Limos arcillosos de color habano con raíces y oxidaciones, de consistencia blanda a media.
- De 2.8 m a 5 m: Arcilla gris clara de consistencia media a dura, de alta plasticidad, consolidada por desecación.
- De 5 m a 70 m: Arcilla limosa de color café o gris pardo, de plasticidad media a alta y consistencia de blanda a media, pertenecientes a la Formación Sabana.
- De 70 m a 73 m: Arenas limosas y/o limos arenosos de color café con lentes de limo orgánico de color café oscuro.
- De 73 m a 100 m: Arcillas limosas de color gris verdoso intercaladas con arenas limosas de alta compacidad, pertenecientes a la Formación Subachoque.

Después de 100 m y hasta los 340 m de profundidad, donde el consultor indica que se encuentra el contacto del depósito de suelo con la roca (basado en el mapa de espesores de sedimentos del estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá), el perfil geotécnico se complementó teniendo en cuenta la presencia de la formación Subachoque, de acuerdo con los resultados del estudio de riesgo sísmico para la cuenca del salitre (HMV, 2003), estudio realizado con el fin de definir los regímenes de depositación en la cuenca, conformada principalmente por arenas limosas y limos arcillosos.

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.

De acuerdo con los numerales 1.3.2 y 3.2, así como la información incluida en los anexos del informe, en el sondeo P8 se indica la realización de un ensayo Down Hole a una profundidad de 100 m, 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 y 3.7 se muestran los resultados del ensayo Down Hole ejecutado en la intersección vial de la Calle 26 por Avenida Boyacá. El perfil de Vs, desde 100 m hasta 340 m de profundidad, se adopta aumentando la velocidad en proporción a un exponente de n igual 0.5, 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	155	0.45
3-29	146	0.38
29-35	200	0.40
35-58	231	0.39
58-72	246	0.42
72-100	340	0.38

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 la ejecución de ensayos dinámicos sobre muestras obtenidas con tubo Shelby, a cinco profundidades diferentes: 20 m, 38 m, 62 m, 75 m y 88 m. Para cada profundidad se ejecutaron pruebas de bender element y a las muestras de 20 m, 62 m, 75 m y 88 m se les realizaron triaxiales cíclicos de deformación controlada. Los resultados de las pruebas de laboratorio se presentan anexos al informe.

En las Figuras 3.8 y 3.9 del informe, se presentan las curvas dinámicas de variación del módulo de corte y amortiguamiento con la deformación, para tres de las cinco (5) muestras ensayadas en laboratorio. Sin embargo, es necesario que el consultor:

- Aclare a que muestra corresponde cada una de las curvas presentadas en las figuras 3.8 y 3.9, ya que todas indican pertenecer a la muestra localizada entre 20 y 20.6 m y presentar los resultados de las cinco muestras ensayadas.
- Anexe los resultados del triaxial cíclico de la Muestra 18, a 38 m de profundidad, o indicar si en dicha muestra no se ejecutó el ensayo.

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 quince (14) acelerogramas de los sismos alternativos aprobados por la DPAE, seis (6) asignados para fuente cercana, cinco (5) para fuente regional y tres (3) para fuente lejana, junto con un (1) sismo de fuente lejana de los utilizados

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 unidimensionales mediante la utilización del programa DEEPSOIL (Hashash et. al., 2002), 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. Los datos de los análisis se presentan en las Tablas 3.1 y 3.2, mientras que las características de los materiales se indican gráficamente en la Figura 3.10.

Dentro del modelo unidimensional planteado por el consultor, se efectúa un análisis de sensibilidad de la respuesta sísmica local mediante la variación del perfil de velocidades de onda con valores mínimos y máximos típicos. Por otro lado, dentro de los análisis se consideran siete (7) diferentes tipos de materiales y 25 estratos de suelo, desde superficie hasta 340 m de profundidad, en contacto con el basamento rocoso. Sin embargo, es necesario que el consultor aclare:

- En las tablas 3.1 y 3.2, donde es presentado el modelo de análisis unidimensional, se encuentran estratos con grandes espesores, los cuales es conveniente subdividirlos en sub-capas con el fin de cumplir con la condición de longitud de onda. Luego se recomienda que el consultor efectúe dichas subdivisiones dentro del modelo empleado.
- Cual fue el criterio empleado para realizar el modelo de respuesta dado que difiere del perfil estratigráfico obtenido en la exploración del subsuelo, sondeo P8, teniendo en cuenta que no es claro a partir de que profundidad se tomó la presencia de las arcillas limosas con presencia de lentes de arenas pertenecientes a la Formación Subachoque.
- Precise el tipo de suelo al cual corresponde cada uno de los siete materiales adoptados para los análisis y aclare de qué manera obtuvo cada una de las curvas adoptadas para las modelaciones de acuerdo con los resultados de laboratorio ejecutados.

El cumplimiento de este numeral esta condicionado a las aclaraciones del punto 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 de transición entre las Zonas 3 -Lacustre A- y 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.

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 Ciudad de Cali"*, que se remite como estudio sísmico local y del oficio aclaratorio ER12102 de Septiembre 11 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.

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.).

En el oficio aclaratorio ER12102 de Septiembre 11 de 2007, el consultor indica que se realizaron pruebas dinámicas a muestras obtenidas a profundidades de 20, 38, 62, 75 y 87 m, adicionalmente indica las curvas para cada una de las muestras ensayadas.

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 ER12102 de Septiembre 11 de 2007 el consultor:

- Explica que debido al tipo de modelo empleado en el programa Deepsoil, basado en funciones de transferencia analíticas en el dominio de la frecuencia, no se requiere la discretización del medio salvo para tener en cuenta cambios de estratos y de niveles de presión de confinamiento.
- Indica a que estrato corresponde cada curva utilizada en los análisis y explica el criterio utilizado para definir las curvas dinámicas.
- Indica que a partir de los 73 m de profundidad se toma la formación Subachoque, basados en el ensayo Down Hole y criterio de impedancia.

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 3.21 del informe, el cual se presenta en la Figura 2 del presente concepto.

El espectro propuesto inicia con una Sa de 0.2 g, luego asciende hasta 0.45 g en 0.3 segundos, donde continua con este valor hasta 0.39 segundos. Luego desciende hasta 0.325 g en 0.5 segundos, donde continua con este valor hasta 2.2 segundos, donde desciende hasta 0.252 g en 2.42 segundos donde toma los valores mínimos de Sa de la zona 4, dados en el Decreto 193 de 2006.

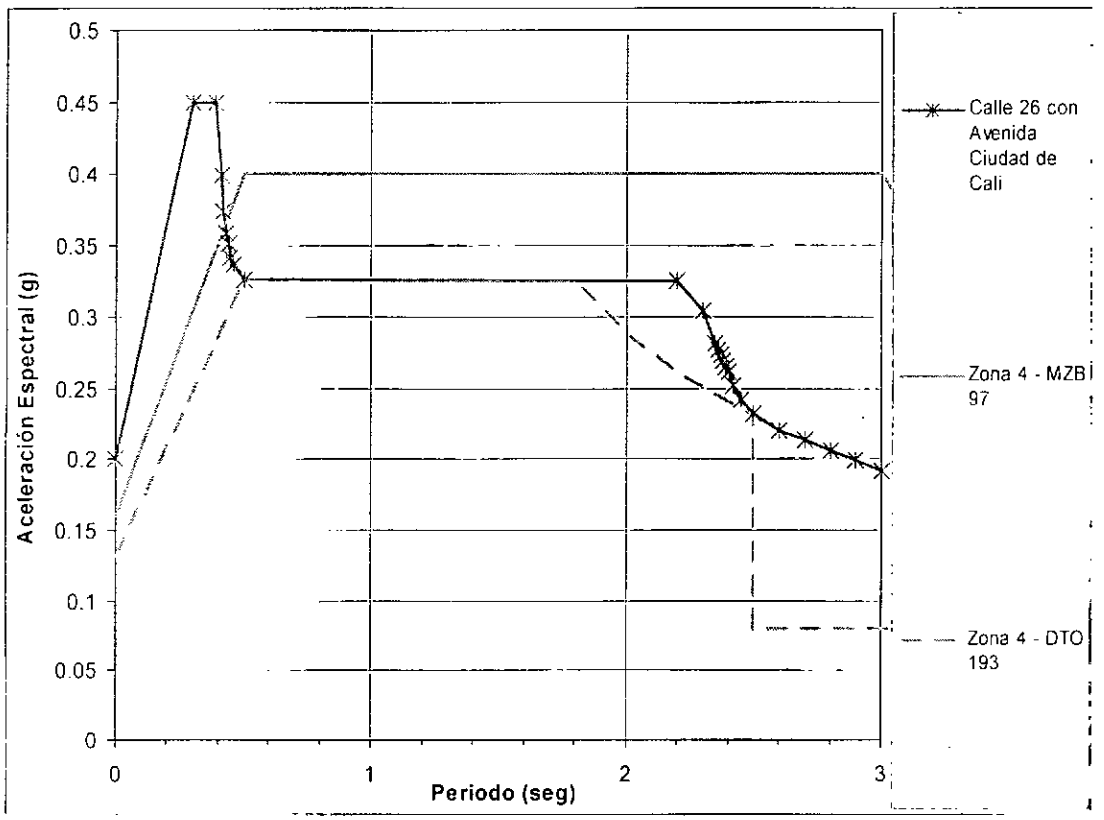

Figura 2. Espectro de diseño recomendado para los diseños de la intersección Avenida Calle 26 por Avenida Ciudad de Cali.

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