CONCEPTO TÉCNICO No CT - 5048
Revisión de Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas Artículo 7 - Decreto 193 de 2006

1. INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE:	Dr. Juan Reinaldo Suárez Medina – Curaduría Urbana No. 1
PROYECTO:	**CAMINO DE SAN ROQUE**
LOCALIDAD:	1 Usaquén
UPZ:	12 Toberín
BARRIO:	La Pradera Norte
CHIP	AAA0169RHRU - AAA0169RFZM
DIRECCIÓN:	Calles 165 y 165A con Carrera 28
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	JEOPROBE Ltda.
FECHA DE EMISION:	Diciembre 06 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 *"Asesoría Geotécnica y Sismológica para la Evaluación de la Amenaza Sísmica local del Proyecto Caminos de San Roque"* elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, a construirse en el predio ubicado entre las Calles 165 y 165A con Carrera 28. El cual fue radicado el 24 de Septiembre de 2007 mediante oficio ER-12820, por el Dr. Juan Reinaldo Suárez Medina de la Curaduría Urbana No.1, como estudio sísmico local en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 193 de 2006, y del oficio aclaratorio ER14980 de Noviembre 06 de 2007 y 15963 de Noviembre 26 de 2007

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

De acuerdo con el consultor, el proyecto arquitectónico contempla la construcción de torres de doce pisos con un sótano, en sistema industrializado.

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

116350 N 104700 E

El informe *"Asesoría Geotécnica y Sismológica para la Evaluación de la Amenaza Sísmica local del Proyecto Caminos de San Roque"* fue elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, con base en los datos de exploración del subsuelo de la firma AUS y Cía Ltda., el ensayo Down Hole realizado por la firma Ulloa & Diez y el apoyo del laboratorio de pruebas y ensayos de la Pontificia Universidad Javeriana.

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO (OCTUBRE DE 2007)

El concepto técnico 5007 de Octubre de 2007 emitido por la DPAE relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo, se transcribe a continuación:

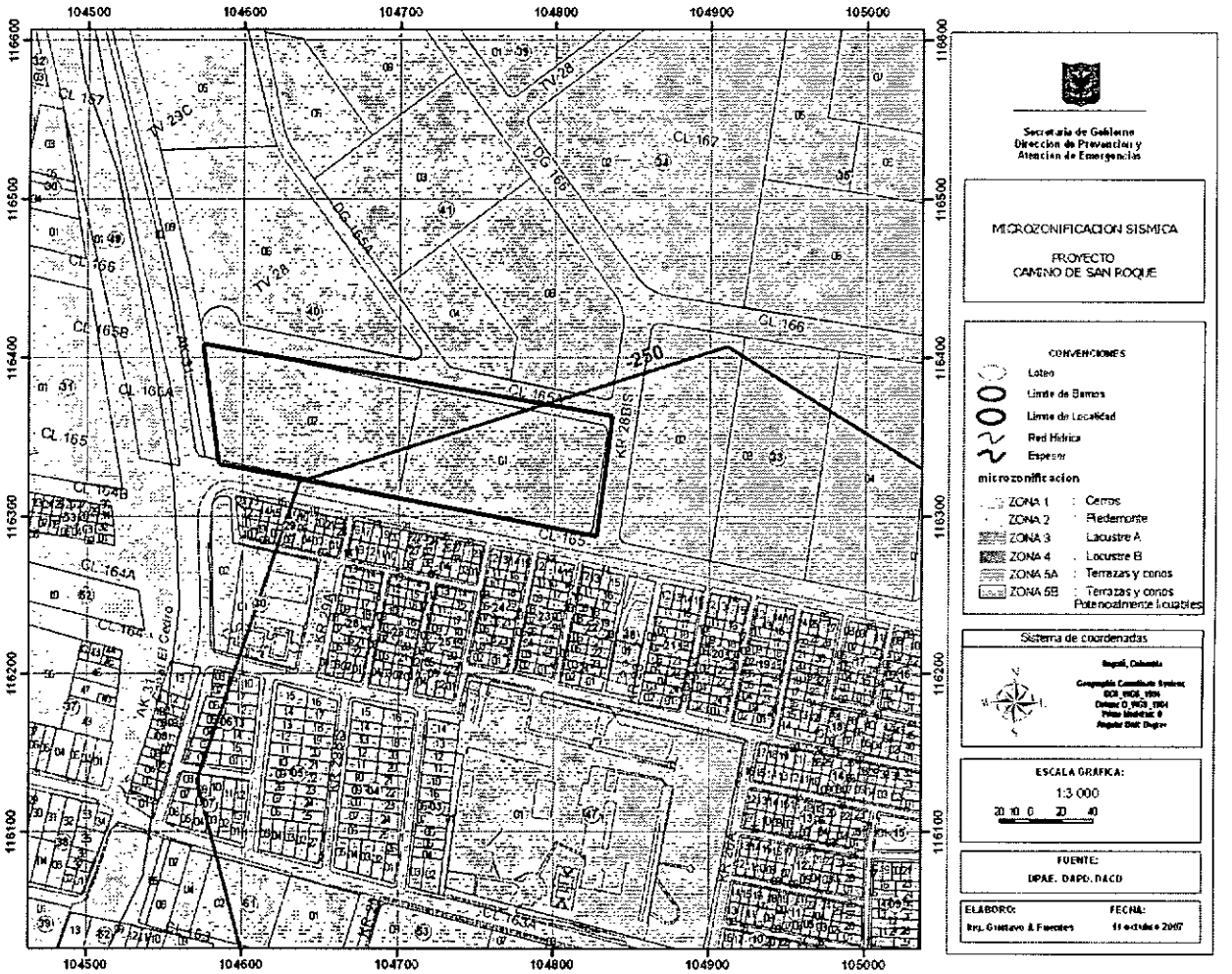


Figura 1. Localización del proyecto Caminos de San Roque.

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

En el numeral 1.1 y 3.2, se indica que el sitio del proyecto se encuentra localizado en la Zona 3 (Lacustre A) según 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 el lote del proyecto la firma AUS Cia y Ltda. realizó catorce sondeos que alcanzaron profundidades comprendidas entre 6 y 7.4 m, donde se obtuvieron muestras remoldeadas e inalteradas que se utilizaron para su clasificación visual y realización de ensayos de laboratorio. El resultado de estas perforaciones fue complementado con ensayos de veleta de campo. Adicionalmente se ejecutó un sondeo adicional (P-13) hasta 51 m de profundidad, en el que se ejecutó el ensayo Down Hole por parte de la firma Ulloa & Diez Ltda. De este sondeo se tomaron muestras en tubo Shelby sobre las que se hicieron los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades dinámicas. En el estudio de suelos no aparecen los registros de las perforaciones ni la localización de las mismas.

Según el numeral 3.2, 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 0.0 a 2.1/3.7 m: Rellenos en tierras varias y arcillas con baja compactación.
- De 2.1/3.7 a 6.7 m: Arcillas de color gris oscuro y limos orgánicos con lentes de turba.
- De 6.7 a 29.3/34.3 m: Arcillas de color café de consistencia muy blanda.
- De 29.3/34.3 a 51 m: Arcillas de color café.

Desde 51 m hasta 70 m existe una zona de transición entre las formaciones Sabana y Subachoque. Después de los 70 m y hasta los 200 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) y los perfiles de velocidad de onda de corte del ensayo Down Hole localizado en la Autopista Norte con Calle 170.

Es necesario que el consultor anexe los registros de las perforaciones del estudio de suelos, con su respectiva localización.

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.

Según los numerales 1.3.2 y 3.2, en el sondeo P-13 se realizó un ensayo de Down-Hole a una profundidad de 51 m ejecutado por la firma de Ulloa & Diez Ltda. En la figura 3.5 se indican los resultados de los ensayos Down Hole ejecutados en el lugar del estudio, en la Calle 166 con Carrera 9 y en la Autopista Norte con Calle 170, comparados con la correlación propuestas por Rodríguez y Escallón en 2006 y con la correlación a partir del SPT. El perfil de Vs desde 51 m a 70 m se adopta a partir del resultado del ensayo Down Hole ejecutado en las Calle 170 con Autopista Norte, a partir de 70 m hasta 200 m de profundidad se adopta aumentando la velocidad en proporción a un exponente de 0.5 de la profundidad, para tener en cuenta el efecto del confinamiento. A continuación se resumen los valores determinados a partir de los resultados de la prueba.

Profundidad (m)	Vs (m/s)	ν
0-3	263	0,37
3-30	118	0,36
30-49	186	0,42

Es necesario que el consultor anexe el registro de la perforación adicional de 51 m (sondeo P-13) en la que se ejecutó el ensayo Down Hole, con su respectiva localización.

El estudio CUMPLE PARCIALMENTE 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.).

Se realizaron ensayos dinámicos a muestras obtenidas con tubo Shelby a 10, 26 y 47 m, en el sondeo P-13. Para cada profundidad se ejecutaron pruebas triaxiales cíclicas de esfuerzo controlado, cuyos resultados se presentan anexos al informe.

De acuerdo con el numeral 1 del artículo 7 del Decreto 193 de 2006, es necesario que el consultor presente la caracterización dinámica de los materiales a bajas deformaciones mediante pruebas de bender element, columna resonante o similar.

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 12 acelerogramas de los sismos alternativos aprobados por la DPAE y el acelerograma de México utilizado en la Microzonificación Sísmica 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 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. 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 3.9.

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 cuatro (4) diferentes tipos de materiales y 15 estratos de suelo, desde superficie hasta 200 m de profundidad donde el consultor consideró se localiza en contacto con el basamento rocoso. Sin embargo es necesario que el consultor aclare:

- El criterio que se utilizó para asignar las curvas dinámicas a los diferentes materiales, ya que las curvas obtenidas mediante las pruebas de laboratorio no coinciden con las asignadas al modelo.

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 3 (Lacustre A), 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 mostrado en las Figuras 3.21 y 3.31 del informe. El espectro propuesto inicia con una Sa de 0.2 g, el cual asciende linealmente hasta 0.4 g en 0.32 segundos continuando con este valor hasta 0.4 segundos; desde 0.4 hasta 0.5 segundos el espectro desciende linealmente desde hasta 0.325 g, donde toma los valores de espectro mínimo de la Zona 4 dados en el decreto 193 de 2006.

Sin embargo, es necesario que el consultor revise el espectro propuesto para los periodos comprendidos entre 1.75 y 2.45 segundos, ya que los espectros de respuesta obtenidos mediante las modelaciones para la fuente lejana superan ampliamente el valor recomendado.

Es bueno recordar que los espectros de la normatividad actual corresponden a la condición de campo libre, por lo cual el espectro de respuesta propuesto mediante un estudio de respuesta local debe representar la condición en la cual no se tiene en cuenta el tipo de estructura que será construida. Adicional a lo anterior, el cumplimiento de este numeral está condicionado a las aclaraciones de los puntos 4.2, 4.3, 4.4 y 4.6.

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 *"Asesoría Geotécnica y Sismológica para la Evaluación de la Amenaza Sísmica local del Proyecto Caminos de San Roque"* que se remite como estudio sísmico local y del oficio aclaratorio ER14980 de Noviembre 06 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 ER14980 de Noviembre 06 de 2007 y 15963 de Noviembre 26 de 2007 el consultor, anexa los registros de perforaciones del estudio de suelos.

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.

En el oficio aclaratorio ER14980 de Noviembre 06 de 2007 el consultor, anexa el registro de la perforación del sondeo adicional en el que realizó el ensayo Down Hole.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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 ER14980 de Noviembre 06 de 2007 el consultor, explica que a la fecha de ejecución del estudio la Universidad Javeriana no contaba con equipos para la ejecución del ensayo de Bender Element; por lo que fue necesario recurrir a correlaciones presentadas en el Modelo Geotécnico de la Sabana de Bogotá para evaluar el módulo de rigidez a pequeñas deformaciones y de las curvas de Vucetic y Dobry para obtener los valores de amortiguamiento.

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 ER14980 de Noviembre 06 de 2007 el consultor, explica el criterio utilizado para la asignación de las curvas dinámicas a los diferentes materiales del modelo así:

- La curva 1 se obtuvo a partir de los datos reportados por Kokoshu et al en 1982.
- La curva 2 de degradación del módulo se obtuvo utilizando las fórmulas de Ishibashi y Zhang 1993, aplicando un factor de corrección para los suelos de la Sabana de Bogotá reportado por Rodríguez et al 2006, un índice de plasticidad de 125 y una presión de confinamiento de 80 kPa. Para la curva de amortiguamiento se tuvieron en cuenta los datos reportados por Vucetic y Dobry en 1991 y los resultados de la prueba de laboratorio para la muestra obtenida a 26 m.
- La curva 3 de degradación del módulo se obtuvo utilizando las fórmulas de Ishibashi y Zhang 1993, aplicando un factor de corrección para los suelos de la Sabana de Bogotá reportado por Rodríguez et al 2006, un índice de plasticidad de 80 y una presión de confinamiento de 129 kPa. Para la curva de amortiguamiento se tuvieron en cuenta los datos reportados por Vucetic y Dobry en 1991 y los resultados de la prueba de laboratorio para la muestra obtenida a 26 m.
- La curva 4 corresponde a suelos arenosos de la Formación Subachoque y se obtuvo a partir de los datos reportados por Kokoshu en 1980 y Vucetic y Dobry en 1991.

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 y acatando la observación dada en el numeral 4.8, el consultor recomienda utilizar como espectro de diseño el mostrado en el oficio aclaratorio ER14980 del 06 de Noviembre de 2007, el cual es diferente al espectro

inicialmente propuesto para los periodos comprendidos entre 1.6 y 2.6 segundos, tal como se presenta en la Figura 2 del presente concepto.
El espectro propuesto inicia con una Sa de 0.2 g, el cual asciende suavemente hasta 0.4 g en 0.32 segundos, donde continua con este valor hasta 0.4 segundos, donde desciende linealmente hasta 0.33 g en 0.5 segundo manteniendo este valor hasta 1.7 segundos. A partir de este valor asciende linealmente hasta 0.4 g en 2.1 segundos, continuando con este valor hasta 2.1 segundos donde desciende linealmente hasta 0.22 g en 2.6 segundos donde toma los valores de espectro mínimo de la Zona 4 dados en el decreto 193 de 2006.

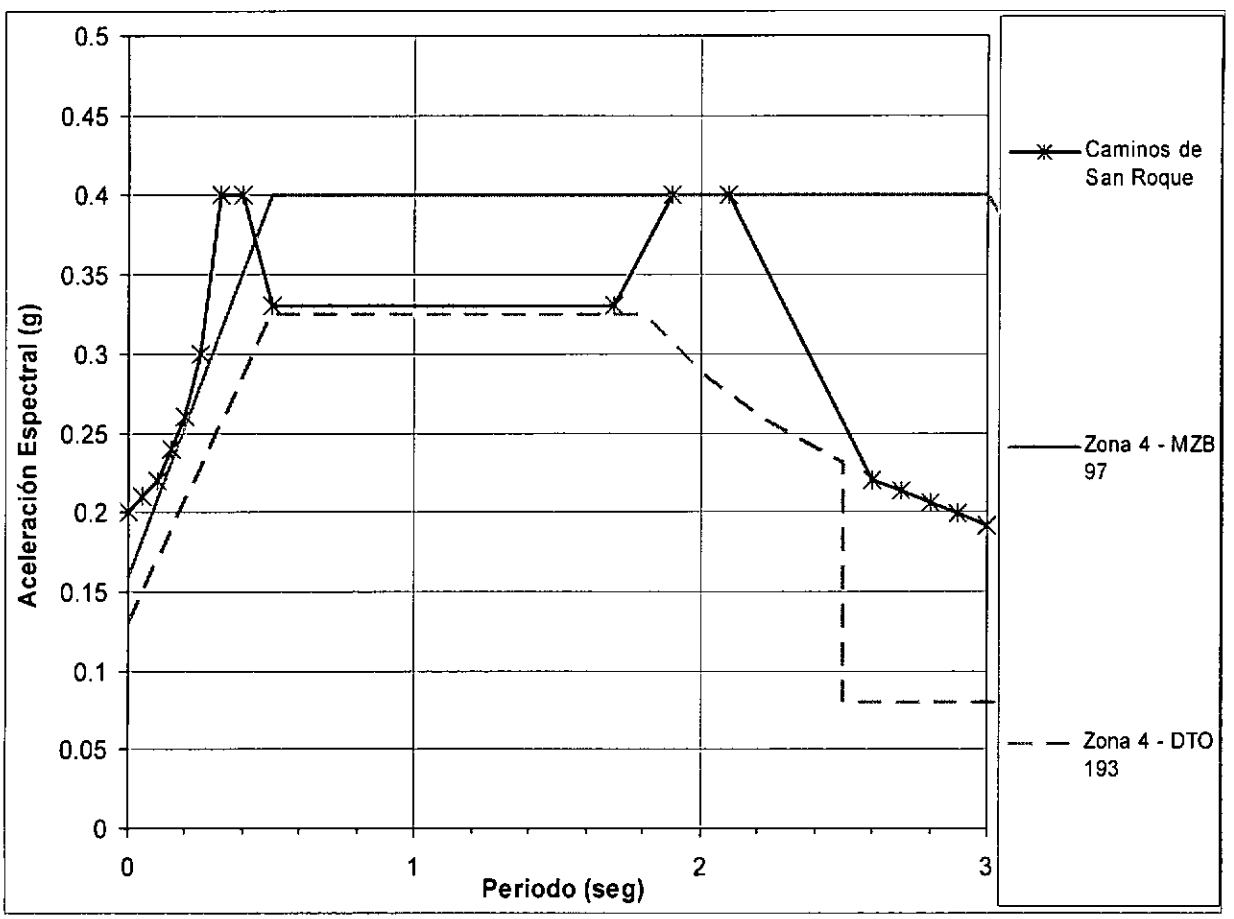


Figura 2. Espectro de diseño recomendado para el proyecto Camino de San Roque.

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