CONCEPTO TÉCNICO No CT - 5173
Revisión de Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas
Artículo 7 - Decreto 193 de 2006

1 INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE:	Ing. José Joaquín Álvarez – Curaduría Urbana No. 4
PROYECTO:	**SANTA FE PIJAO**
LOCALIDAD:	11 Suba
UPZ:	17 San José de Bavaria
BARRIO:	Nueva Zelandia
DIRECCIÓN:	Carrera 45 No. 178-95 (Antigua Av. Cr. 13 No. 177A-89)
CHIP:	AAA0125CJFZ
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	JEOPROBE Ltda.
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 **segunda revisión** realizada por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, del informe *"Asesoría Geotécnica y Sismológica para la Evaluación de la Amenaza Sísmica del Proyecto Santafé Pijao"* elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, a construirse en el predio ubicado en la Carrera 45 No. 178-95 (Antigua Av. Car. 13 No. 177A-89). El cual fue radicado el 26 de Diciembre de 2007 mediante oficio ER-17247, por el Ing. José Joaquín Álvarez de la Curaduría Urbana No.4, remitido como estudio sísmico local en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 193 de 2006 y del oficio aclaratorio ER1190 de Febrero 05 de 2008.

3 GENERALIDADES DEL PROYECTO

De acuerdo con el consultor, el proyecto arquitectónico contempla la construcción de 2 torres que contaran con dos sótanos y 21 pisos de altura.

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

118000 N 103500 E

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

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO (ENERO DE 2008)

El concepto técnico 5127 de Enero 22 de 2008 emitido por la DPAE relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo, se transcribe a continuación:

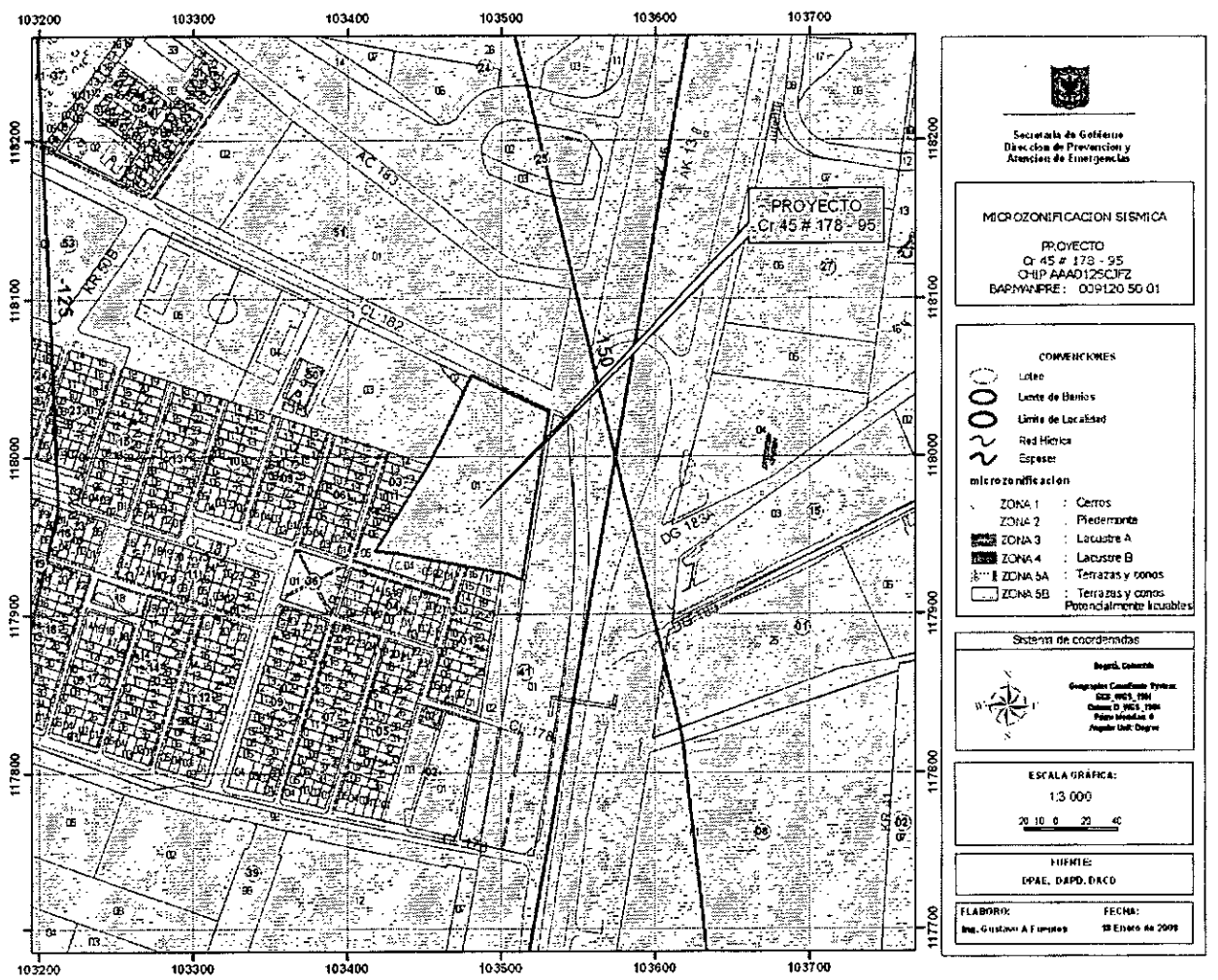


Figura 1. Localización del Proyecto Santa Fe Pijao.

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, lo 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 los Numerales 1.3.2 y 3.2, para conocer el perfil y propiedades del subsuelo en el lote del proyecto, la firma AUS y Cía. Ltda. realizó siete (7) sondeos que alcanzaron profundidades entre 7 y 58 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 penetración estándar y de veleta de corte. Adicionalmente, en el sondeo P-4 de 52 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. Los registros de las perforaciones junto con el plano de la localización se presentan anexos al informe.

Según el numeral 3.2 del estudio de suelos, 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 a continuación:

- De 0 a 0.5/1.6 m: Rellenos de escombros y capa vegetal.
- De 0.5/1.6 a 1.4/2.2 m: Arcillas café de consistencia media.
- De 1.4/2.2 a 2.1/2.9 m: Arcilla gris de consistencia media a blanda.
- De 2.1/2.9 hasta la profundidad de exploración (58 m): Arcilla café de consistencia blanda la cual aumenta a media con la profundidad.

Después de los 58 m y hasta los 160 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 una zona de transición entre las Formaciones Sabana y Subachoque y de la Formación Subachoque, de acuerdo con los resultados del estudio de riesgo sísmico para la cuenca del Salitre (HMV, 2003)

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 los numerales 1.3.2 y 3.2, en el sondeo P-4 se realizó un ensayo de Down-Hole a una profundidad de 50 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 el proyecto San Carlos y en el puente de la Calle 170 con Autopista Norte, comparados con la correlación propuesta por Rodríguez y Escallón en 2006. El perfil de Vs hasta 70 m donde se estima la presencia la transición hacia la Formación Subachoque se definió extrapolando los resultados del ensayo Down Hole, a partir de 70 m hasta 160 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
0-40	128	0.40
40-50	193	0.40

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.).

Se realizaron ensayos dinámicos a las muestras obtenidas con tubo Shelby a 4 y 20 m de profundidad, en el sondeo P-4. Para estas profundidades se ejecutaron pruebas de Bender Elements y triaxiales cíclicos de esfuerzo controlado. Los resultados de las pruebas de laboratorio se presentan anexos al informe. Se observa concordancia entre los datos obtenidos en el laboratorio y los presentados en las Figuras 3.6 y 3.7 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.

En el estudio se utilizaron un total de 12 acelerogramas de los sismos alternativos aprobados por la DPAE y el acelerograma de sismo de México empleado en el estudio de 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 3.8.

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 tres (3) tipos de materiales y 12 estratos de suelo, desde superficie hasta 160 m de profundidad donde el consultor consideró que se localiza el 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.

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 las modelaciones y del perfil de suelo encontrado, el consultor recomienda reclasificar el sitio como Zona 4. En las figuras 3.20 y 3.31 el consultor presenta el espectro de diseño propuesto, el cual inicia con un valor de Sa de 0.2 g, ascendiendo linealmente hasta un valor de Sa de 0.325 g en 0.37 segundos, donde continua con este

valor de Sa hasta 1.8 segundos donde desciende ajustándose al espectro mínimo de la Zona 4 de acuerdo con el decreto 193 de 2006.

Sin embargo, es necesario que el consultor revise el espectro propuesto para los periodos comprendidos entre 0.3 y 0.45 segundos, donde los espectros de respuesta obtenidos mediante las modelaciones para las fuentes cercana e intermedia superan ampliamente el valor recomendado y entre 1.8 y 2.5 segundos, donde los espectros de respuesta obtenidos mediante las modelaciones para la fuente lejana superan ampliamente el valor recomendado.

A pesar de que el periodo de las estructuras que se van a construir posiblemente no coincidan 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.

Adicional a lo anterior, el cumplimiento de este numeral está condicionado a la aclaración del punto 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 del Proyecto Santafé Pijao"* que se remite como estudio sísmico local y del oficio aclaratorio ER1190 de Febrero 05 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.

En el oficio aclaratorio ER1190 de Febrero 05 de 2008 el consultor explica el criterio utilizado para la asignación de las curvas dinámicas a los diferentes materiales del modelo así:

- La curva 1 corresponde a la Formación Sabana, se obtuvo a partir de la formulación 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 110 y una presión de confinamiento de 100 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 las muestras obtenidas a 4 y 20 m.
- La curva 2 corresponde a la Formación Sabana, se obtuvo a partir de la formulación 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 60

y una presión de confinamiento de 370 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 las muestras obtenidas en sitios cercanos a la zona de estudio.

- La curva 3 corresponde a la Formación Subachoque, caracterizada por la presencia de materiales granulares y se obtuvo a partir de los datos reportados por Vucetic y Dobry (1991) y Kokoshu (1980).

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 ER1190 del 05 de Febrero de 2008, el cual es diferente al espectro inicialmente propuesto para los periodos comprendidos entre 0.3 y 0.45 segundos y entre 1.8 y 2.5 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 0.34 g en 0.38 segundos, donde continua con este valor hasta 0.4 segundos, donde desciende linealmente hasta 0.325 g en 0.41 segundo manteniendo este valor hasta 1.8 segundos. A partir de este valor asciende linealmente hasta 0.39 g en 1.97 segundos, continuando con este valor hasta 2.2 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.

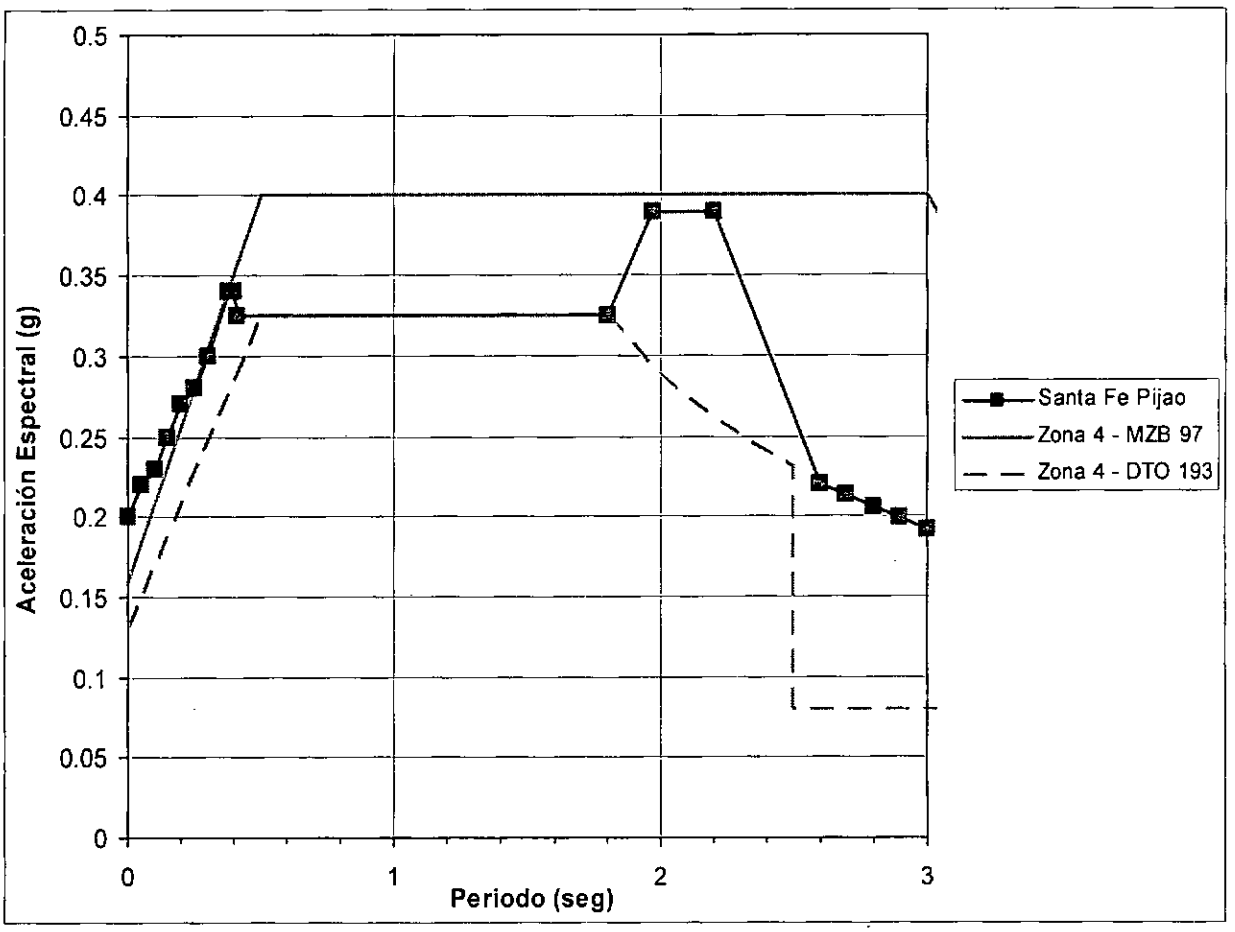


Figura 2. Espectro de diseño recomendado para el proyecto Santa Fe Pijao.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

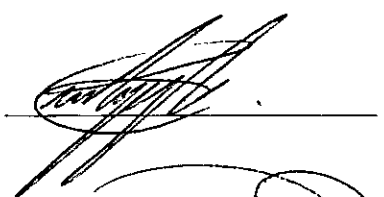
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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 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.

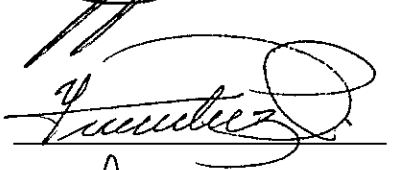
Elaboró

CARLOS JAVIER PEDRAZA A.
Ingeniero Civil, MSc Geotecnia
M.P. 15202098211BYC



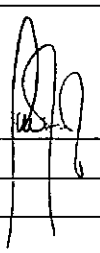
Revisó

FERNANDO JAVIER DÍAZ PARRA
Coordinación Estudios Técnicos



Aprobó

GUILLERMO ÁVILA ÁLVAREZ
Subdirector Investigación y Desarrollo



Vo.Bo.

GUILLERMO ESCOBAR CASTRO
DIRECTOR

