CONCEPTO TÉCNICO No CT – 4876
Revisión de Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas Artículo 7 - Decreto 193 de 2006

1 INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE:	Camila Castell Córdoba - Curaduría Urbana 5 Carlos Restrepo – Espinosa & Restrepo Ltda.
PROYECTO:	**CITRUS**
LOCALIDAD:	2. Chapinero
UPZ:	90. Pardo Rubio
BARRIO:	María Cristina
DIRECCIÓN:	Carrera 1 No. 65C-40
CHIP:	AAA0089WAOM
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	Espinosa & Restrepo Ltda.
FECHA DE EMISION:	Julio 5 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 **tercera revisión** realizada por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, del "Análisis de microzonificación local para el proyecto Citrus Bogotá a construirse en la carrera 1 No. 65C - 40 de Bogotá" y de los oficios aclaratorios ER3932 de Abril 9 de 2007 y ER7164 de Junio 13 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

Según lo indicado por el consultor, el lote del proyecto tiene un área aproximada de 3035 m^2, en el que se localizará una torre de 12 pisos, sótano y semisótano. La estructura del edificio consistirá de pórticos de concreto reforzado, con luces entre ejes de columnas entre 5.8 m y 8.0 m. Las cargas previstas son del orden de 572 ton.

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

105573 N 102658 E

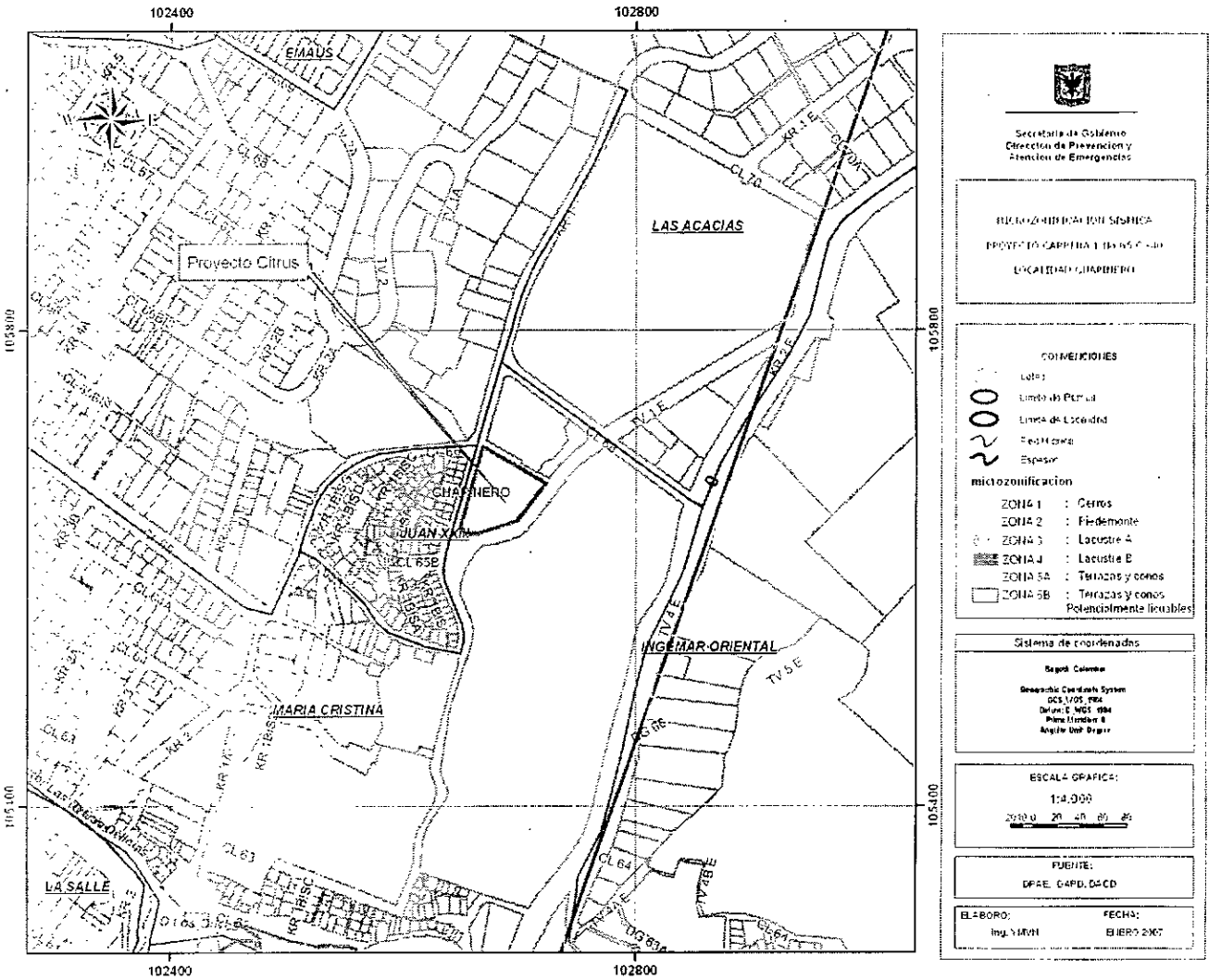


Figura 1. Localización del proyecto Citrus Bogotá

4 PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO (FEBRERO DE 2007)

El concepto técnico 4707 de febrero de 2007 emitido por la DPAE relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo, se transcribe a continuación:

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

En el numeral 1.0 se indica que el sitio del proyecto se encuentra en la Zona 2, a menos de 250m de la Zona 1 de microzonificación.

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 2.0 se desarrollaron 4 sondeos entre 4.0m y 8.0m de profundidad; sin embargo, en la figura de localización de sondeos en el Anexo 1, solo se ubican 3 sondeos, lo que coincide con lo registrado en la Figura 4 –en que solo aparecen 3 sondeos-. Adicionalmente, en el Anexo 1 solo se presenta el registro de un apique (1.20m) y un sondeo (4).

El consultor describe el perfil de la siguiente manera:

- 0.0 – 1.0/3.0 m: Arcilla gris habana, con vetas de óxido de consistencia muy dura a dura. La resistencia a la penetración estándar de este material oscila entre 22 y 13 golpes/pie.

- 1.0/3.0-8.0 m: Arcillolita morada con vetas grises de consistencia muy dura. La resistencia a la penetración estándar se registró entre 32 y 87 golpes/pie.

Y menciona que durante exploración el nivel freático se detecto entre 1.5m y 1.8m de profundidad. En la información presentada en el Anexo 1, se presenta información que no es coherente con la descripción presentada por el consultor, dado que en el registro del sondeo 2 (4.0m) se detectaron capas de arena limosa en las profundidades comprendidas entre 1.20m y 3.0m, y 3.30m y 4.00m.

Al respecto del espesor de suelo en el área del proyecto, en el numeral 1.0m se indica que para el sector podrán esperarse espesores de suelo entre 0m y 25m. Es necesario que el consultor aclare las inconsistencias en la documentación de exploración del subsuelo.

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 el numeral 2.3, en el sondeo que alcanzó 8.0m, se efectuó un ensayo Down-Hole. El ensayo Down-Hole lo realizó la firma Ulloa y Diez Ltda, y los resultados del mismo se indican en el Anexo 4. De acuerdo con éstos, el perfil de Vs se puede dividir en dos unidades principales:

- 0.0 – 2.0m: Vs = 250m/s
- 3.0 – 7.0m: Vs = 926m/s

Se debe anotar que en esta ultima unidad se incluye una medición de Vs .de 555m/s a 3.0m de profundidad, que probablemente corresponde al residual del material rocoso.

Sin embargo en el mismo numeral 2.3 se menciona un informe de la firma PSI S.A y se muestran resultados para las mismas profundidades de Vs = 250m/s y Vs = 1001m/s. El consultor debe aclarar las incoherencias que se registran al respecto de la exploración geofísica.

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.).

Según el numeral 2.5, se realizaron ensayos de velocidad de onda, columna resonante y triaxial cíclico de deformación controlada a una muestra obtenida con tubo Shelby a 0.90m de profundidad. Se indica además que se utilizaron los resultados de los

ensayos dinámicos de una muestra tomada a 11.60m en un proyecto localizado en la calle 39 con carrera 7. Es necesario que el consultor anexe los resultados de los ensayos dinámicos de laboratorio del proyecto y que justifique claramente el uso de resultados de un proyecto alejado del área de estudio.

El estudio NO 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.

De acuerdo con el numeral 3.1 del estudio, se utilizaron los 3 acelerogramas empleados en la Microzonificación Sísmica de Bogotá; sin embargo, en el numeral 3.2, se menciona que se utilizaron para cada fuente sismogénica, 3 acelerogramas de los 37 alternativos fijados por la DPAE. Es necesario que el consultor aclare las inconsistencia al respecto de los acelerogramas utilizados.

El estudio CUMPLE PARCIALMENTE 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 numeral 3.1, el consultor señala que para la definición del valor máximo de módulo de corte empleó diferentes correlaciones. Es necesario que el consultor presente los valores de peso específico y sus sustentos de laboratorio y aclare cual es el valor de saturación adoptado, para la definición de la relación de vacíos. Adicionalmente, es necesario que presente de manera legible los resultados correspondientes de tales estimaciones y que se indican en la Tabla No. 2.
- Es necesario que el consultor presente de manera legible el perfil estratigráfico utilizado en la modelación.
- Es necesario que el consultor aclare el tamaño de malla utilizado teniendo en cuenta la observación del numeral 4.5, y considerando las diferencias en las velocidades de onda registrada que muestran que no es conveniente el uso de un único tamaño de malla.
- Se requiere que el consultor aclare lo concerniente al modelo de elementos finitos elaborado. El presentado por el consultor en la Figura No. 7 muestra dos

materiales, en el que el primero tiene un espesor promedio de 25.0m lo que no coincide con la descripción estratigráfica presentada.

- Es necesario que el consultor revise las curvas de variación del modulo de corte y amortiguamiento equivalente, del estrato 2 o que justifique claramente la forma de la misma y su obtención.
- Es preciso que el consultor presente toda la información que permita la reproducibilidad completa de los resultados obtenidos con el programa QUAKE.

El estudio NO CUMPLE con este requerimiento.

4.7 Evaluación del potencial de licuación en los suelos susceptibles a licuarse.

Dado que el proyecto se encuentra en la zona 3 no es necesaria efectuar 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.

En la Tabla No. 6, el consultor presenta los valores de los coeficientes espectrales de diseño. El espectro de diseño presentado es menor que el promedio de los espectros mínimos de Zona 1 y Zona 2 indicados en el decreto 193. La verificación de cumplimiento queda sujeta a la aclaración por parte del consultor de las observaciones emitidas en los numerales anteriores.

El estudio NO CUMPLE con este requerimiento.

5 SEGUNDA REVISIÓN DEL ESTUDIO (MAYO DE 2007)

El concepto técnico 4788 de mayo de 2007 emitido por la DPAE relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo, se transcribe a continuación:

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 consultor anexa los registros de perforación de los 4 sondeos, así como la figura de localización de los mismos. Con relación a la presencia de capas de arena limosa, el consultor señala que éstas son producto de la meteorización de materiales de la Formación Guaduas.

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 aclaración del numeral 4.3, el consultor señala que el ensayo Down Hole lo efectuó la firma Ulloa y Diez Ltda.. Los registros de campo se incluyen en el anexo 4 del informe. Según el oficio ER3932 de abril 9 de 2007, en el subsuelo se pueden identificar dos unidades principales:

- 0.0 – 3.0m: Vs = 250m/s
- 3.0 – 7.0m: Vs = 1002/s

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 ER3932 de abril 9 de 2007, el consultor indica que utiliza los resultados de ensayos dinámicos de un proyecto localizado en la Calle 39 con Carrera 7ª, dado que se localiza sobre la Formación Guaduas, que también está presente en el proyecto en revisión en este concepto. El consultor anexa los registros de los ensayos dinámicos de laboratorio (Anexo 3).

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.

En el oficio aclaratorio ER3932 de abril 9 de 2007, el consultor indica que utilizó 14 de los acelerogramas establecidos por la DPAE como alternativos a los utilizados en la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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.

- El consultor presenta las diferentes correlaciones utilizadas, las cuales son función de la relación de vacíos y aplican dependiendo de si la relación de vacíos es mayor o menor de 2.0. Es conveniente que para próximas revisiones indique la procedencia bibliográfica de las expresiones utilizadas.
- En el oficio ER3932 de abril 9 de 2007, el consultor presenta de manera legible el perfil estratigráfico utilizado en la modelación.
- El consultor presenta una figura del modelo numérico diferente de la presentada en la versión inicialmente revisada. En la figura del oficio ER3932 del 9 de abril, señala 3 tipos de materiales: i) arcilla gris habana de espesor máximo 3.40m ii) arcillolita morada de espesor máximo 18.80m iii) roca sana. Es conveniente que para próximas revisiones el consultor indique las mediciones efectuadas para la determinación del buzamiento de los estratos, o bien indique la fuente bibliográfica que le permitió establecer dicho buzamiento.

- Con relación a la revisión de la forma de las curvas de degradación del módulo y de amortiguamiento, el consultor indica que adoptó las curvas de una muestra tomada a 11.60m de profundidad en un lote de la carrera 7 con calle 39. Es necesario que el consultor en primer lugar adjunte la información correspondiente a dicha muestra –registro de perforación, resultados de ensayo de laboratorio-, en segundo lugar que revise o presente el soporte del ensayo de velocidad de onda que arroja un modulo de corte de 6526Kg/cm^2, y en tercer lugar compare con curva obtenidas de una revisión bibliográfica. Estas observaciones se efectúan en consideración a que la forma de la curva de degradación del módulo está afectada por un valor relativamente alto de Go, lo que produce un efecto de decaimiento del modulo de corte, que no corresponde con los bajos valores observados en la literatura para materiales rocosos. En este caso particular, la forma de la curva de degradación del modulo puede afectar fuertemente los resultados obtenidos en la modelación numérica.
- El consultor anexa la información correspondiente a las funciones de esfuerzos y generación de presión de poros de las capas involucradas en el modelo numérico.

El estudio CUMPLE PARCIALMENTE 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.

En la Tabla No. 6, el consultor presenta los valores de los coeficientes espectrales de diseño. El espectro de diseño presentado es menor que el promedio de los espectros mínimos de Zona 1 y Zona 2 indicados en el decreto 193. Es necesario que el consultor revise el ajuste de los coeficientes sísmicos recomendados para la elaboración del espectro de diseño, teniendo en cuenta que en las Figuras 29 y 30 del informe, los valores promedio de la fuente cercana e intermedia, difieren ampliamente en el valor de aceleración espectral en el sector de meseta del espectro de diseño. Esto no corresponde con lo indicado por el consultor en el numeral 3.2, acerca de "los picos que sobrepasan la envolvente propuesta son puntuales", pues los "picos" se extienden en rangos de periodo superiores a 0.1s.

La verificación de cumplimiento queda sujeta a la aclaración por parte del consultor de las observaciones emitidas en los numerales anteriores, y en particular la correspondiente al numeral 5.6.

El estudio NO CUMPLE con este requerimiento.

6 TERCERA REVISIÓN DEL ESTUDIO (JULIO DE 2007)

La tercera revisión del estudio "Análisis de microzonificación local para el proyecto Citrus Bogotá a construirse en la carrera 1 No. 65C - 40 de Bogotá" y de los oficios aclaratorios ER3932 de Abril 9 de 2007 y ER7164 de Junio 13 de 2007, se efectúa siguiendo los requerimientos consignados en el Decreto 193 de 2006 para este tipo de estudios.

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

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

6.2 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 segunda revisión.

6.3 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 segunda revisión.

6.4 **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 ciclico, triaxial cíclico, etc.).**

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la segunda revisión.

6.5 **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 segunda revisión.

6.6 **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.**

Con el oficio ER7164 de Junio 13 de 2007 el consultor presenta una nueva versión del estudio de efectos locales para el predio con fecha de 12 de junio de 2007, donde presenta las expresiones empleadas para calcular las curvas de degradación y amortiguamiento. Para el estrato 2 adopta los datos de laboratorio de una muestra a 0.9 m de profundidad y los resultados de la exploración geofísica.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

6.7 **Evaluación del potencial de licuación en los suelos susceptibles a licuarse.**

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

6.8 **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.**

De acuerdo a la exploración el sitio se considera como Zona 1, luego el consultor presenta los valores de los coeficientes espectrales de diseño en la Tabla No. 6 y en las Figuras 38 a 40 del informe se presenta el espectro recomendado, donde se observa que es coherente con los resultados de los análisis.

En la Figura 2 del presente concepto se ilustra el espectro recomendado, el cual no es inferior que el espectro mínimo indicado en el decreto 193 para la zona 1.

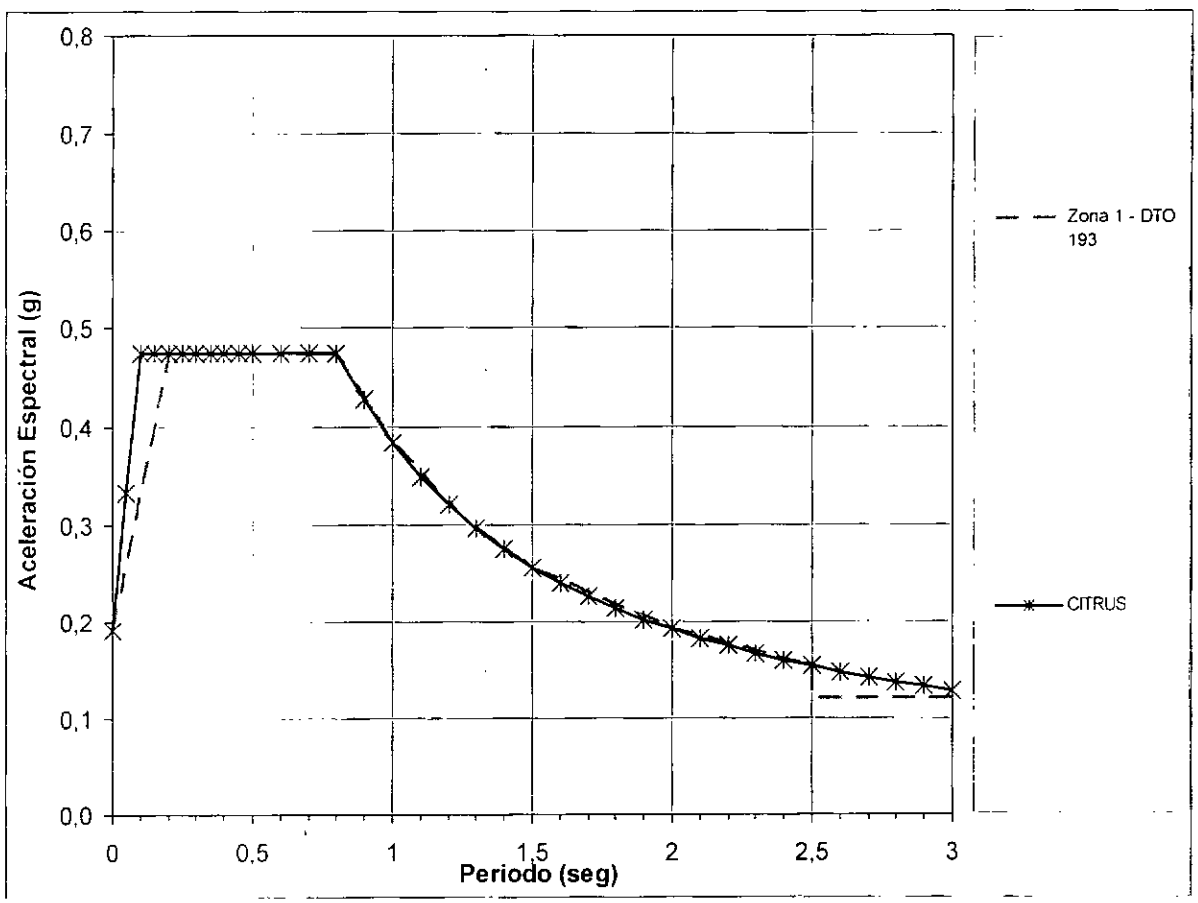


Figura 2. Espectro de diseño del proyecto Citrus

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

7 CONCLUSIONES

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 **FERNANDO JAVIER DÍAZ P.**
Ingeniero Civil, MSc (c) Geotecnia
M.P. 25202-093681 CND

Revisó **DIANA PATRICIA ARÉVALO S.**
Coordinadora Grupo Estudios Técnicos

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

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