CONCEPTO TÉCNICO No CT - 5093
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:	**EDIFICIOS PARQUE CENTRAL BAVARIA**
LOCALIDAD:	03 Santa Fe
UPZ:	91 Sagrado Corazón
BARRIO:	Samper
DIRECCIÓN:	Carrera 13A No.28-21
CHIP:	AAA0158NERJ
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	JEOPROBE Ltda.
FECHA DE EMISION:	Enero 28 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. 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 *"Asesoría Geotécnica y Sismológica para la Evaluación de la Amenaza Sísmica del Proyecto Edificios Parque Central Bavaria Centro Internacional MZ-3"* elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, a construirse en el predio ubicado en la Carrera 13A No.28-21. El cual fue radicado el 10 de Octubre de 2007 mediante oficio ER-13678, 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 de los oficios aclaratorios ER16415 de Diciembre 05 de 2007, ER236 de Enero 11 de 2008 y ER739 de Enero 23 de 2008.

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 cuatro sótanos, una edificación de cinco pisos de altura a lo largo del paramento contra el parque; así mismo a lo largo de la diagonal 28 se construirá un edificio con alturas variables entre 6 y 23 pisos y una torre de 35 pisos de altura sobre el paramento de la esquina de la diagonal 28 con carrera 13A.

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

102300 N 100740 E

El informe *"Asesoría Geotécnica y Sismológica para la Evaluación de la Amenaza Sísmica del Proyecto Edificios Parque Central Bavaria Centro Internacional MZ-3"* fue elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, con base en los datos de exploración del subsuelo de la

firma LFO y Cia Ltda, del ensayo Down Hole ejecutado por la firma AM Ingenieros Ltda. y el apoyo del laboratorio de pruebas y ensayos de la Pontificia Universidad Javeriana.

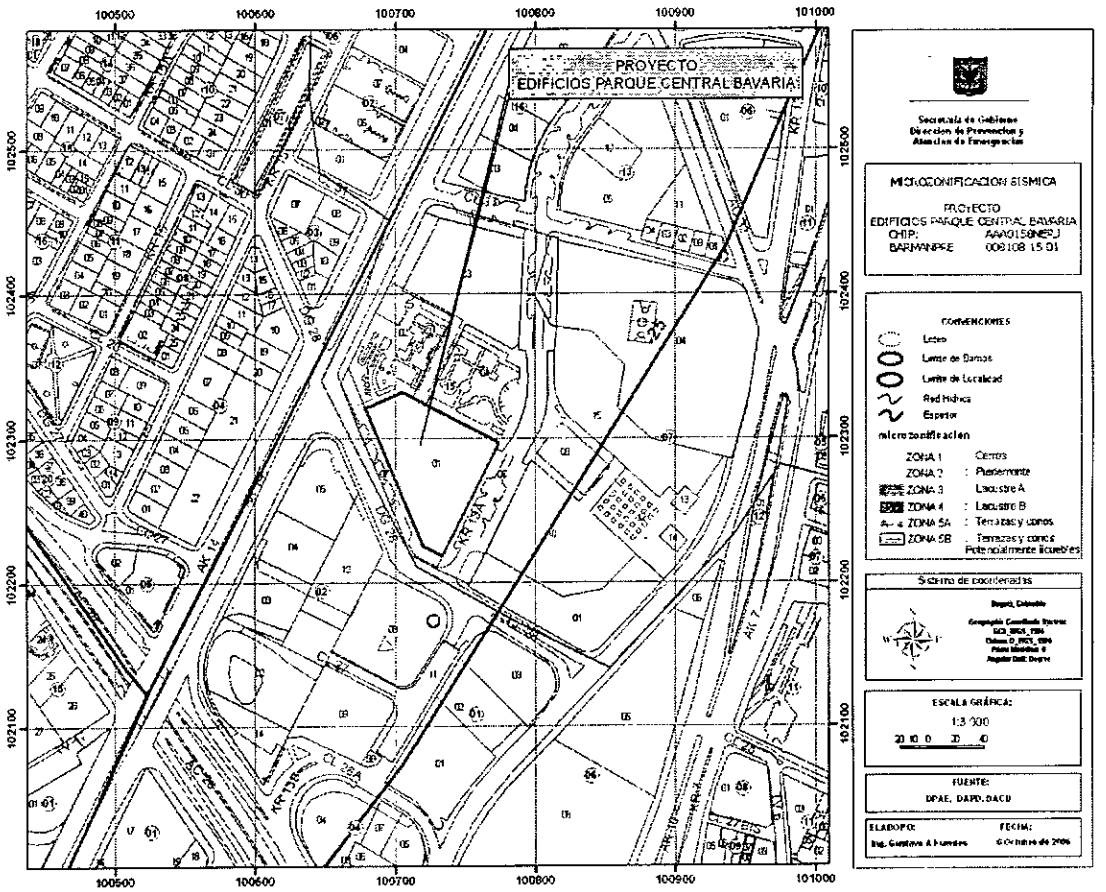

Figura 1. Localización del Proyecto Edificios Parque Central Bavaria.

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO (NOVIEMBRE DE 2007)

El concepto técnico 5030 de noviembre 9 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 1.1 y 3.2, se indica que el sitio del proyecto se encuentra localizado en la Zona 2 (Piedemonte) 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 LFO y Cia Ltda. realizó seis (6) sondeos que alcanzaron profundidades entre 35 y 62 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. En el sondeo S-6 se realizo el ensayo Down Hole y se obtuvieron tres muestras inalteradas para los ensayos dinámicos de laboratorio. Los registros de las perforaciones y el plano de la localización se presentan anexos al informe.

Según el numeral 3.2 del informe, 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 1.1/4 m: Rellenos heterogéneos compuestos por arcilla, recebos y tierras varias.
- De 1.1/4 a 5.5/18.9 m: Gravas con densidad media, intercaladas con limos arenosos y limos arcillosos de consistencia blanda a media y ocasionales lentes de turba.
- De 5.5/18.9 a 36/39 m: Gravas de color gris con lentes de limo y arena de densidad media.
- De 36/39 a 45/47 m: Gravas gruesas y finas con lentes arenosos y bloques de diversas dimensiones de densidad alta.

- De 45/47 a hasta la profundidad de exploración: Arenas grises y arcillas rojizas.

Después de los 62 m y hasta los 70 m de profundidad, donde el consultor indica que se encuentra el contacto del depósito de suelo con la roca (basado en la exploración del subsuelo), el perfil geotécnico se complementó extrapolando el último estrato encontrado.

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 el numeral 3.2 en el sitio del proyecto se realizó un ensayo Down Hole, a una profundidad de 56 m, en los anexos se presenta el registro de dicho ensayo realizado por la firma AM Ingenieros. En el registro del ensayo Down Hole no se presentan los valores de velocidad de la Onda P, por lo cual no es posible determinar los valores de la relación de Poisson.

Es necesario que el consultor verifique y aclare porqué en los resultados del ensayo Down Hole no se registran los valores de velocidad de la Onda P.

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 las muestras obtenidas con tubo Shelby a 6, 15 y 34 m de profundidad. 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 15 acelerogramas, 14 sismos alternativos aprobados por la DPAE y un sismo utilizado en la microzonificación sísmica de Bogotá, acogiéndose a lo establecido en el numeral 3 del artículo 7 del decreto 193 de 2006. Los anteriores acelerogramas se encuentran escalados a 0.25g para los sismos de fuente cercana, 0.2g para los sismos de fuente intermedia y a 0.038g para los sismos de fuente lejana.

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 cuatro (4) diferentes tipos de materiales y 45 estratos de suelo, desde superficie hasta 70 m de profundidad donde el consultor consideró que se localiza en contacto con el basamento rocoso.

Sin embargo, es necesario que el consultor:

- Aclare la procedencia de los valores de Vs mínimos empleados, ya que estos son muy inferiores a los típicos de la zona de acuerdo con las mediciones realizadas en los proyectos de la Calle 26 con Avenida Caracas.
- Realice los análisis de respuesta empleando un modelo bidimensional debido a que el proyecto se encuentra en la Zona 2 y que la pendiente promedio es superior a los 10 grados en el sentido Oriente - Occidente, de acuerdo con lo exigido en el artículo 7 numeral 2.
- Revise el promedio calculado entre el modelo de Vs máximas y Vs mínimas en las modelaciones unidimensionales, debido a que el comportamiento de la respuesta espectral de los modelos con velocidades máximas presentan picos de 0.9g para

periodos de 0.35 segundos, el cual no aparece en el modelo de velocidades mínimas como se observa en las figuras 3.17 y 3.18 den informe.

- 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.

Adicional a lo anterior, el cumplimiento de este numeral está condicionado a la aclaración del punto 4.3.

El estudio NO CUMPLE con este requerimiento.

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

Es necesario que el consultor evalué el potencial de licuación puesto que de acuerdo con el perfil geotécnico del sector de estudio el nivel freático oscila entre 1 a 5 m de profundidad y se encuentran estratos de limos arenosos entre 3 y 8 metros, con valores de SPT entre 2 y 6 golpes/ pie y limos y arenas profundos con valores de SPT menores a 15 golpes/pie.

El estudio NO 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 y corrijan por parte del consultor todas las observaciones anteriores. Además, se reitera que el espectro propuesto no debe ser inferior al espectro mínimo de la Zona 2 – Piedemonte.

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 Edificios Parque Central Bavaria Centro Internacional MZ-3"* que se remite como estudio sísmico local y de los oficios aclaratorios ER16415 de Diciembre 05 de 2007, ER236 de

Enero 11 de 2008 y ER739 de Enero 23 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.

En el oficio aclaratorio ER16415 de Diciembre 05 de 2007, el consultor informa que para los análisis se tomaron los valores de la velocidad de la onda de corte y la relación de Poisson se obtuvo a partir de los datos reportados en la literatura de referencia.

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.).

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 ER16415 de Diciembre 05 de 2007, el consultor:

- Indica que el sector en el que se realizó el estudio presenta una gran variabilidad en las propiedades por lo que resulta difícil realizar interpolaciones.
- Aclara que las velocidades de onda de corte mínimas utilizadas en los análisis se tomaron a partir de estudios de respuesta local realizados en sitios cercanos, que ya fueron aprobados por la DPAE.
- Expone los criterios empleados para la asignación de curvas dinámicas a los materiales empleados en los análisis, que se resumen a continuación:
  - La curva 2 corresponde a arcillas con gravas, se obtuvo a partir de promediar los datos de las curvas de degradación del módulo y de la relación de amortiguamiento considerando el predominio de materiales finos y gravas respectivamente. Para determinar la curva de materiales finos se utilizaron los datos reportados por Vucetic y Dobry (1991) y las expresiones de Ishibashi y Zhang (1993) y para las gravas se tuvieron en cuenta los datos reportados por Katayama et al (1986).
  - La curva 3 corresponde a una arcilla de baja plasticidad, se obtuvo a partir de los datos reportados por Vucetic y Dobry (1991) y las expresiones de Ishibashi y Zhang (1993) con un IP de 15 y un esfuerzo de confinamiento de 40kPa.
  - La curva 4 corresponde a arenas con gravas, se obtuvo a partir de los datos reportados por Kokoshu et al (1987).
- Presenta la modelación bidimensional utilizando el programa de elementos finitos PLAXIS Professional V7.2, considerando el suelo como un material elástico y utilizando 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. En las figuras anexas al oficio se presenta el modelo empleado para los análisis, la distribución de materiales y el nodo en el que se calcularon las historias de aceleraciones. El nodo empleado para calcular la historia de aceleraciones corresponde a la punta de los pilotes y se encuentra localizado a 20 metros de profundidad del nivel del terreno.

Sin embargo, es necesario que el consultor aclare el criterio que se utilizó para asignar las curvas dinámicas al material 1 y tome como nodo para calcular la historia de aceleraciones, un nodo ubicado a nivel de superficie del terreno o nivel de cimentación, el cual si es

comparable con los espectros dados en el Decreto 193 de 2006 de acuerdo el parágrafo 1 del artículo 4. Además, el modelo no refleja la configuración de los sótanos del proyecto.

Posteriormente acatando las observaciones anteriores, en el oficio aclaratorio ER236 de Enero 11 de 2007, el consultor:

- Indica que: "La profundidad a la cual se calcularon las historias de aceleraciones para efectos de diseño del proyecto es de 14 m. El estudio de amenaza sísmica es realizado para el edificio por lo cual no sería correcto calcular un espectro de respuesta en superficie cuando el proyecto cuenta con cuatro sótanos."
- Aclara que para la modelación del perfil estratigráfico utilizado para el análisis de respuesta unidimensional se emplearon solo 3 materiales, los cuales se presentan en la tabla 3.2 y las curvas dinámicas de dichos materiales se presentan en la figura 3.8. La tabla 3.2 enviada en el informe inicial no es correcta y corresponde a un error de edición.

Sin embargo, es necesario que el consultor anexe la figura del modelo empleado en los análisis, donde se indique la presencia de los cuatro sótanos y los espectros de respuesta obtenidos en la base del cuarto sótano.

Finalmente acatando la observación anterior, en el oficio aclaratorio ER739 de Enero 23 de 2007, el consultor:

- Presenta la modelación bidimensional utilizando el programa de elementos finitos PLAXIS Professional V7.2, considerando el suelo como un material elástico y utilizando 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, con valores de 0.023 para el parámetro alpha y de 0.0335 para el parámetro beta.
- En las figuras anexas al oficio se presenta el modelo empleado para los análisis, la distribución de materiales, la configuración de la cimentación con sótanos y el nodo en el que se calcularon las historias de aceleraciones que corresponde a la base del cuarto sótano.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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

En el oficio aclaratorio ER16415 de Diciembre 05 de 2007, el consultor informa que debido al tipo de material encontrado, que corresponde a limos, y a la profundidad y densidad a la que se encuentran las arenas, los materiales del depósito "no son licuables".

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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 el oficio aclaratorio ER16415 de Diciembre 05 de 2007, el consultor informa que no es necesario modificar el espectro de diseño recomendado y se ratifica en recomendar el espectro de diseño mínimo de la zona 2 del Decreto 193 de 2006.

Se reitera que el espectro propuesto no puede ser inferior al mínimo de la Zona 2 exigido en el Decreto 193 de 2006, puesto que a pesar que se indica en el numeral 3.4 y en el oficio aclaratorio como espectro de diseño el mínimo de la Zona 2, el dibujado en la figura 3.31 y tabulado posteriormente no corresponde al mínimo de la Zona 2 a partir de 2.5 segundos, y a partir de 2.8 segundos es menor al valor de 0.15 g exigido para periodos mayores a 2.5 segundos en el Decreto 193 de 2006.

Con base en los resultados de la modelación y acatando la observación anterior, el consultor recomienda utilizar como espectro de diseño el mostrado en los oficios aclaratorios ER236 de Enero 11 de 2008 y ER739 de Enero 23 de 2008.

El espectro propuesto corresponde al espectro mínimo de la Zona 2 dado en el decreto 193 de 2006, siendo únicamente válido para el proyecto considerado, en caso de que se cambie el proyecto se debe revisar el espectro de diseño.

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 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

