CONCEPTO TÉCNICO No CT – 4821
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 C.- Curaduría Urbana 5 Jorge Alberto Rodríguez – JEOPROBE LTDA.
PROYECTO:	**TAKALÍ CONTEMPORÁNEO**
LOCALIDAD:	11. Suba
UPZ:	23. Casablanca Suba
BARRIO:	Casablanca Suba
DIRECCIÓN:	Carrera 72 No. 163-31
CHIP:	AAA0181LHSK
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	Ing. Jorge A Rodríguez
FECHA DE EMISION:	Julio 4 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 anexo E "Asesoría geotécnica y sismológica para la evaluación de la amenaza sísmica del proyecto Takalí Contemporáneo" del "Estudio de suelos y análisis de cimentaciones. Proyecto Takalí contemporáneo" y de los oficios aclaratorios ER6059 del 22 de mayo de 2007 y el ER7144 de Junio 13 de 2007, que se remiten como estudio sísmico local, en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 193 de 2006.

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

Contempla la construcción de "4 edificios que se desarrollan en sótano y 10 pisos de altura. Entre las torres y en el sector sur del lote estará ubicada la plataforma que se desarrolla en sótano y 1 piso de altura."

De acuerdo con el consultor, las cargas se trasmiten al nivel de cimentación mediante columnas y cortinas en concreto reforzado separadas por luces no mayores a 6.0 m de longitud. El peso de los edificios en su área en proyección se estima en 12 ton/m^2. Con relación a las plataformas, se construirá una estructura convencional en concreto reforzado, con luces entre columnas no mayores de 8.0 m de longitud, y cargas en pedestal no mayores a 50 ton. La cimentación de los edificios estará conformada por pilotes preexcavados y fundidos in-situ, que se apoyarán por punta sobre arcillolita y bloques de arenisca, a profundidades comprendidas entre 36 y 41 m bajo el nivel actual del terreno. El diámetro de los pilotes varía entre 0.50 m y 0.80 m con cargas totales que oscilan de 102 ton a 225 ton, respectivamente.

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

116895 N 101300 E

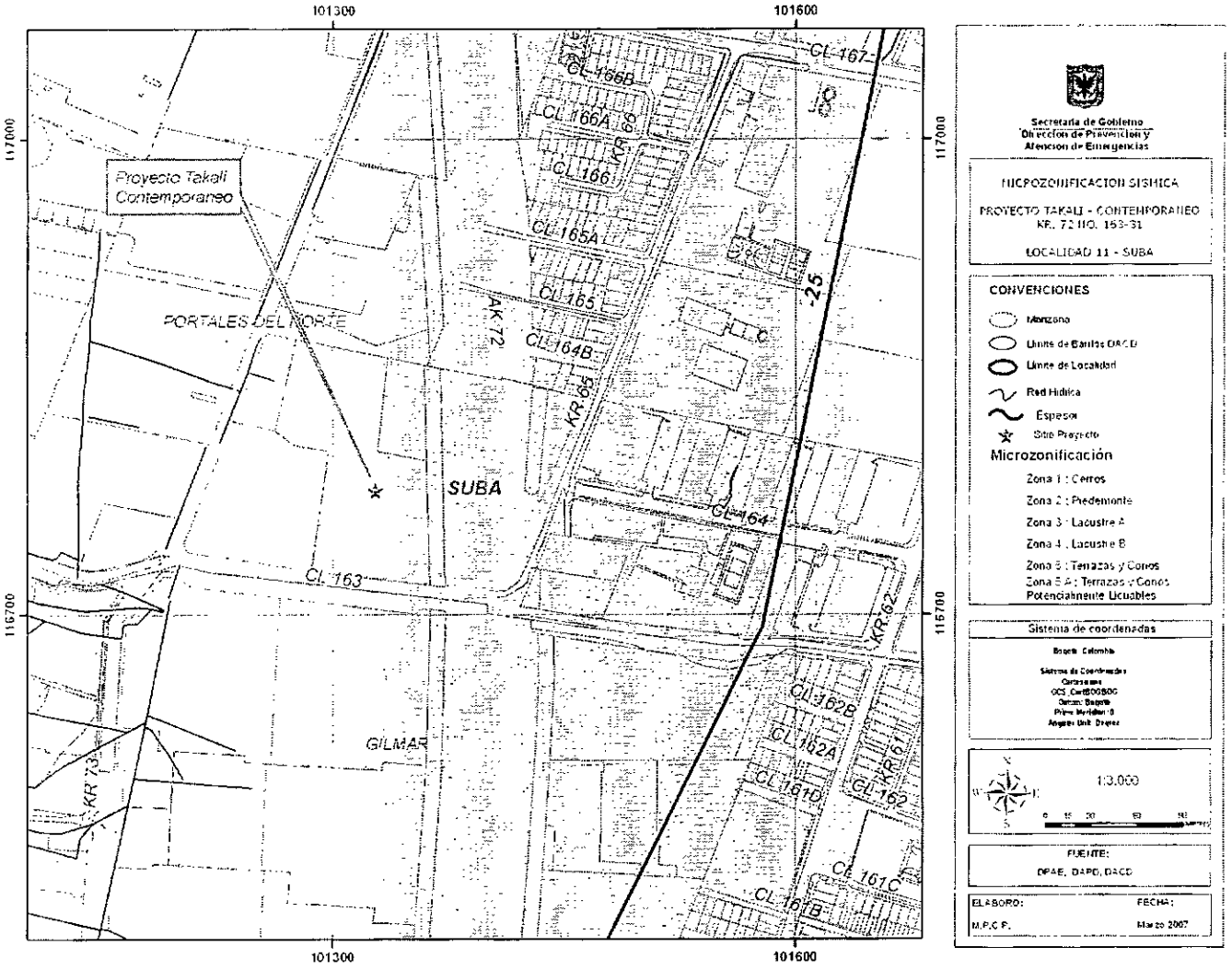

Figura 1. Localización del proyecto Takalí contemporáneo

4 PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO (ABRIL DE 2007)

El concepto técnico 4730 de Abril 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.

Según el numeral 1.1 del anexo E "Asesoría Geotécnica y Sismológica para la evolución de la amenaza sísmica de proyecto Takalí Contemporáneo" el terreno se encuentra ubicado en la transición entre las zonas 2C y 3A de la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

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.

Para la determinación de las características del subsuelo, la firma AUS y Cía. Ltda., llevó a cabo 10 perforaciones que alcanzaron profundidades entre 6.0 y 41.0 m. El perfil estratigráfico fue identificado de la siguiente manera:

- 0.0 - 0.6/1.3m: Rellenos antrópicos con presencia de escombros.
- 0.6/1.3 – 0.9/2.4m: Arcillas de color café oscuro, de consistencia media.
- 0.9/2.4 – 1.3/2.7m: Arcillas de color gris verdoso, de consistencia media.
- 1.3/2.7 - 36/40m: Limos arcillosos de color café, con lentes orgánicos, lentes de madera en descomposición, y capas de grava y arena.
- 36.8 m - : Fragmentos rocosos de arenisca y arcillolita de color rojo, gris y amarillo

Durante la exploración se detectó agua libre entre 0.6m y 3.7m de profundidad.

Para la determinación del espesor de sedimentos, el consultor recurrió al Mapa de Isoespesor de Sedimentos de la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

Es necesario que el consultor anexe los registros de perforación.

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.

De acuerdo con el numeral 1.3.2 del Anexo E, en el sondeo No. 10 que alcanzó 34m de profundidad se llevo a cabo un ensayo Down Hole que realizó la Universidad de los Andes. En la Figura 3.5 se presenta el perfil de velocidades de onda de corte que muestra para profundidades menores a 27m, Vs inferiores a 120m/s. Para profundidades superiores, se observó un crecimiento gradual hasta alcanzar Vs = 290m/s a 34m de profundidad.

Dado que en el documento revisado no se encuentran los registros de perforación, ni de las mediciones de velocidad de onda de corte, no es posible comprobar la profundidad de penetración en el macizo rocoso. De la revisión de la Figura 3.4 Perfiles de $(N1)_{60}$, se aprecian valores de penetración inferiores a 50 golpes/pie –con excepción del registro a 37m de profundidad en el sondeo P1-, y teniendo en cuenta que en la Figura 3.5 no se muestran velocidades Vs cercanas a 400 m/s, se podría interpretar que la exploración no alcanzó material rocoso.

El consultor debe aclarar este aspecto y anexar los registros de mediciones del ensayo Down Hole efectuado.

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.).

En el numeral 3.2 del Anexo E, se indica que se efectuaron ensayos de bender element y triaxiales cíclicos de esfuerzo controlado sobre muestras tomadas con tubo Shelby a 8.0m, 20m y 28m de profundidad.

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 capitulo 2.0 del Anexo E se presenta el Estudio de Amenaza Sísmica. Según el numeral 2.4, se seleccionaron 14 de los registros de sismos definidos por la DPAE como de uso alternativo a los 3 registros de la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

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.

El consultor realizó simulaciones numéricas unidimensionales en el software EERA. La información de entrada se presenta en las Tablas 3.1 y 3.2, así como en las Figuras 3.6 y 3.7. En ellas se observa que se adoptan velocidades de onda de corte superiores a 330m/s para profundidades mayores a 40m. Es necesario soportar estos datos de entrada con los registros de medición del Down Hole.

El estudio CUMPLE PARCIALMENTE con este requerimiento.

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

Dado que el proyecto no se encuentra en la zona 5B 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 el numeral 3.4, y en la Figura 3.21, el consultor presenta los espectros de diseño recomendados. De acuerdo con el capítulo 4, "debido a la presencia de suelos muy blandos" el consultor reclasifica el sitio de proyecto en la Zona 4 de la Microzonificación Sísmica de Bogotá y recomienda utilizar 0.2g entre 0 y 0.1s. A partir de 0.1s hasta

0.45s, el espectro crece hasta 0.325g, valor que se mantiene hasta 1.8s, para posteriormente descender ajustándose al espectro mínimo de Zona 4.

No se considera adecuado a la luz de la legislación actual, la reclasificación del sitio de estudio a Zona 4. Existen claras diferencias entre el espesor de sedimentos encontrado en el sitio –inferior a 40m- y el espesor definido para Zona 4 –superior a 200m de acuerdo con el artículo 2 del decreto 193-. Por este motivo, y a pesar de los espectros presentados por el consultor, no se acepta la modificación en la asignación de zonificación sísmica y se mantiene en Zona 3.

La verificación del espectro queda sujeta a la solución de los puntos anteriores.

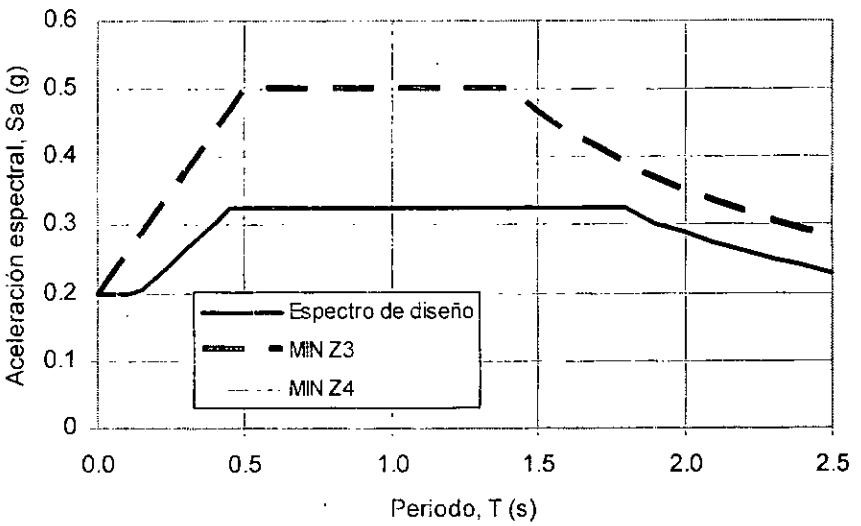

Figura 2. Espectro de diseño del proyecto Takalí contemporáneo

El estudio NO CUMPLE con este requerimiento.

5 SEGUNDA REVISIÓN DEL ESTUDIO

La segunda revisión del "Asesoría geotécnica y sismológica para la evaluación de la amenaza sísmica del proyecto Takalí Contemporáneo" y de los oficios aclaratorios ER6059 del 22 de mayo de 2007 y el ER7144 de Junio 13 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 anterior.

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 mediante los oficios aclaratorios ER6059 del 22 de mayo de 2007 y el ER7144 de Junio 13 de 2007 los registros de exploración ejecutada junto con un plano de localización y las tablas resumen de resultados de laboratorio. Además, se corrobora que la exploración penetró en el estrato rocoso según las descripciones de los perfiles y número de golpes estándar SPT mayores a 50 golpes/pie.

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.

El consultor anexa mediante los oficios aclaratorios ER6059 del 22 de mayo de 2007 y el ER7144 de Junio 13 de 2007 los registros del ensayo de Down Hole ejecutado por la Universidad de los Andes. A continuación se resumen los valores determinados a partir de los resultados de la prueba.

3 – 8 m	60 m/s
8 – 18 m	75 m/s
18 – 31 m	94 m/s
31 – 34 m	223 m/s

Además, el consultor aclara en el oficio ER7144 de Junio 13 de 2007 que material a partir de los 31 m de profundidad corresponde al *"perfil de meteorización típico de las formaciones rocosas de la Sabana. Los valores registrados sólo pueden estar relacionados con la formación rocosa, son un poco bajos por el grado de meteorización de la roca"*.

Dado que la responsabilidad de los parámetros adoptados recae en el consultor como lo refrenda con su firma en el informe del estudio y que la revisión se limita a verificar el cumplimiento del Decreto 193 de 2006, se recomienda para futuros estudios revisar cuidadosamente los valores de velocidad de onda medidos en el Down hole, dado que son notoriamente inferiores a los reportados en proyectos cercanos con propiedades geotécnicas muy similares en la Av. Boyacá con Calle 148 y Calle 150, además las velocidades de onda cortante medidas en las pruebas de laboratorio de bender element reportan valores de 57, 77 y 68 m/s para las muestras a 8, 19 y 28 m de profundidad respectivamente, son muy similares a los medidas en campo, a diferencia de lo esperado por la alteración que sufren las muestras en los proceso de muestreo y por las técnicas de laboratorio.

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 revisión anterior.

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 revisión anterior.

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 aclara en el oficio ER7144 de Junio 13 de 2007 que *"Aunque el ensayo de down hole solamente se midió en los primeros 5 m del perfil de meteorización de la roca, de acuerdo con la tendencia de aumento de las velocidades de onda Vs (indicada en la Figura 3.5) se determinó la velocidad en el resto del perfil de meteorización de la roca hasta 42 m".*

Se recomienda para futuros estudios con características similares, depósitos poco profundos, cercanos a los cerros, cimentados con pilotes y que se encuentran en la Zona 3 de la microzonificación, que se tenga en cuenta el efecto topográfico por la cercanía relativa de los cerros, la inclinación del basamento rocoso y la cimentación profunda, que para el sitio del proyecto está entre 31 y 36 m de profundidad. Este aspecto es importante por el efectos de rebote de ondas en las zonas con estas características, aunque no sea de obligatorio cumplimiento realizar análisis bidimensionales de acuerdo con la legislación actual, el Decreto 193 de 2006 no limita los tipos de análisis que se pueden realizar, siendo a criterio del consultor la selección del tipo de análisis que se adopta de acuerdo con las características del sitio y del proyecto.

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 revisión anterior.

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.

El consultor aclara en el oficio ER7144 de Junio 13 de 2007 que *"el perfil del sitio del estudio no corresponde con ninguno de los dos descritos en el Decreto para las zonas 3 o 4 ni para ninguna otra de las zonas"* y teniendo en cuenta que la responsabilidad del espectro recomendado recae únicamente en el consultor como lo refrenda con su firma en el informe del estudio, se mantiene el espectro recomendado en el numeral 4.8 del presente concepto.

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 **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