



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

CONCEPTO TECNICO No. CT- 4227 DE 2005

Revisión de Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas Artículo 7 - Decreto 074 de 2001

1. INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE:	Universidad Javeriana - Instituto Geofísico
LOCALIDAD:	Chapinero
BARRIO:	Cataluña
PROYECTO:	CAMPUS UNIVERSIDAD JAVERIANA HOSPITAL UNIVERSITARIO DE SAN IGNACIO
UPZ:	99 Chapinero
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	Instituto Geofísico- Universidad Javeriana
FECHA DE EMISION:	Octubre 12 de 2005

2. ANTECEDENTES

De acuerdo con el Decreto 074 del 30 de enero de 2001, por el cual se complementa y modifica el Código de Construcción de Bogotá D.C., se identifican los límites de Microzonificación Sísmica de Bogotá, D.C. y se adoptan los espectros de diseño, se establece que las construcciones y edificaciones de cualquier índole que se levanten en Bogotá D. C., o que sean ampliadas, adecuadas o modificadas en forma tal que conlleven intervención estructural, deberán diseñarse y construirse dependiendo de la zona en la cual se encuentren según la Microzonificación Sísmica, acogiendo al efecto los espectros 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



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

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 074 de 2001, 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 Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, D.C. – FOPAE - y la Sociedad Colombiana de Geotecnia – SCG – han acordado la realización de una asesoría técnica por parte de la SCG al FOPAE, en la Revisión de Estudios y Metodologías de Evaluación de Riesgo Sísmico y por Fenómenos de Remoción en Masa.

El presente concepto técnico corresponde a la **segunda revisión** realizada por la Sociedad Colombiana de Geotecnia del Estudio de Suelos y el Estudio Particular de Respuesta Local y de Amplificación de Ondas Sísmicas, para el Campus de la Universidad Javeriana, en particular para el complejo de edificios del Hospital San Ignacio en la ciudad de Bogotá D.C., en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO

Primera Revisión – CAMPUS UNIVERSIDAD JAVERIANA

El estudio entregado para revisión por esta Sociedad indica que el sitio del Campus de la Universidad Javeriana está localizado entre la Avenida 7 y la Avenida Circunvalar-Carrera 5, entre las Calles 39 y 45 en la ciudad de Bogotá, D.C, con una extensión aproximada de 17 hectáreas. (Figura 1).

La ubicación del sitio corresponde a las siguientes coordenadas planas aproximadas:

103,300 a 103,900 N; 101,350 a 101,700 E

El perfil estratigráfico y la profundidad de los suelos y rocas en el sitio del proyecto es variable: superficialmente hay rellenos, suelos orgánicos y algo de material coluvial con profundidades desde 0.4 m hasta 4.4 m; luego se encuentran arcillas rojizas de consistencia media (o macizo rocoso alterado) con profundidades entre 0.4 m y 10.3 m y el material



Secretaría
GOBIERNO
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

rocoso denso se halla entre 0.4 m y 13 m de profundidad. Los materiales rocosos predominantes corresponden a arcillolitas rojizas de la Formación Bogotá.

El Estudio Geológico, Geotecnico y de Microzonificación Sísmica del Campus fue ejecutado por la Universidad Javeriana, con perforaciones de Geotecnia y Cimientos Ltda, Geología por el Geol. Alberto Lobo-Guerrero U. y estudios dinámicos por el Instituto Geofísico de la Universidad Javeriana. Los ensayos de Down-Hole fueron realizados por el Ing. Alejandro Ulloa. Los ensayos estáticos y dinámicos sobre muestras inalteradas de los suelos fueron realizados por el Laboratorio de Pruebas y Ensayos de la Pontificia Universidad Javeriana.

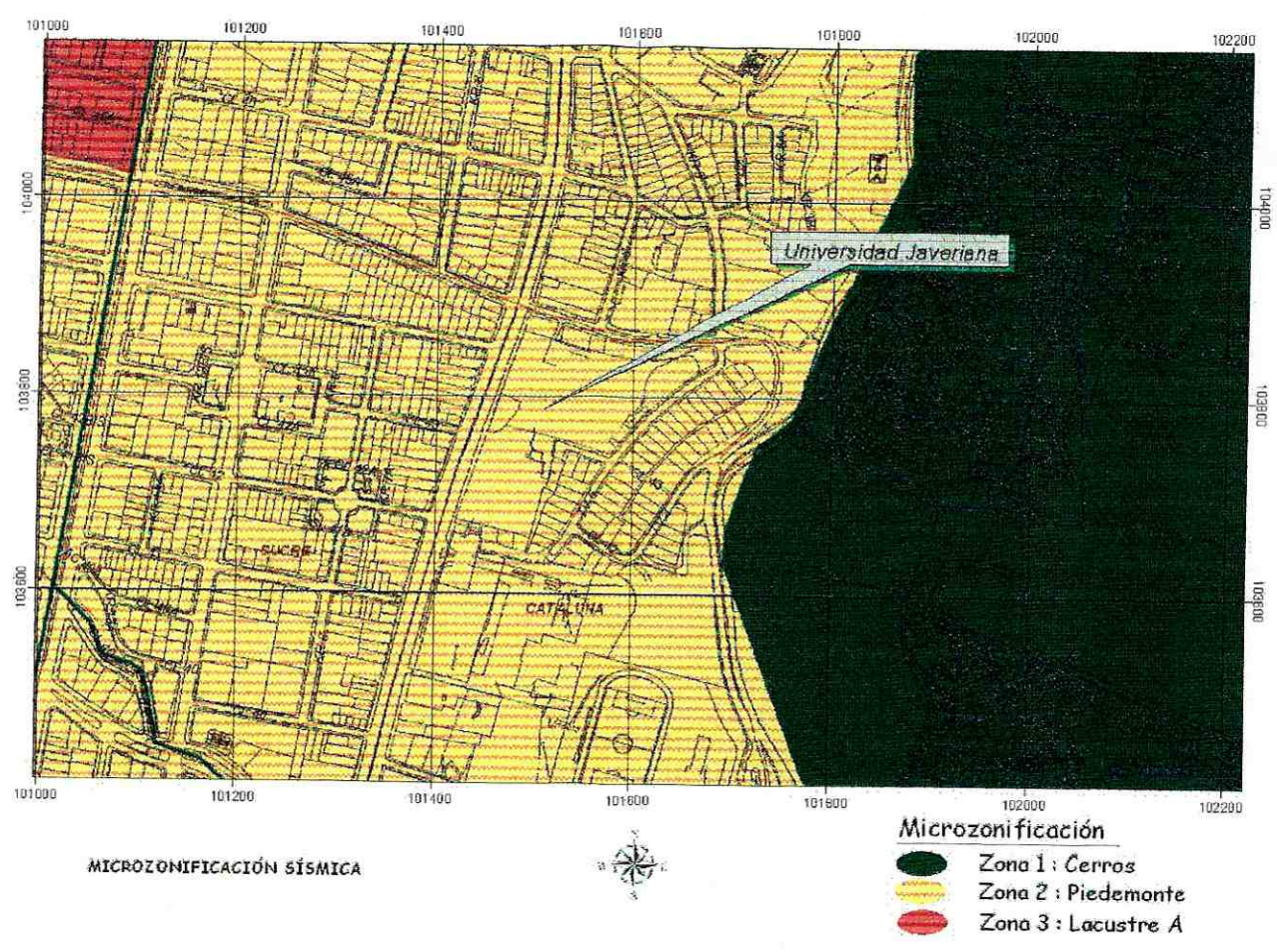


Figura 1 Localización del Campus de la Universidad Javeriana



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

Segunda Revisión – HOSPITAL UNIVERSITARIO DE SAN IGNACIO

El Hospital Universitario de San Ignacio (HUSI) se encuentra localizado dentro del campus de la Universidad Javeriana (Calle 40, entre carreras 5ª y 7ª), barrio Cataluña de la localidad de Chapinero, en la ciudad de Bogotá, D.C. (Figura 2). El estudio de respuesta sísmica local del subsuelo fue realizado con el fin de establecer el espectro de diseño para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del HUSI, como complemento del estudio de microzonificación sísmica del campus universitario. El Hospital está conformado por ocho (8) edificios construidos en diferentes épocas y con sistemas estructurales diferentes, dependiendo de su fecha de construcción. Los edificios tienen entre cuatro (4) y nueve (9) pisos, con niveles de desplante de las cimentaciones que varían entre 0.4m y 4.5m.

La localización de las edificaciones del proyecto corresponde a las siguientes coordenadas planas aproximadas:

1'003.555 N

1'001.531 E

El estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas para el sitio del Hospital Universitario de San Ignacio, fue realizado por el Ingeniero Jorge Alberto Rodríguez, con el apoyo del Instituto Geofísico y el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Javeriana. Los ensayos de Down-Hole fueron ejecutados por la firma Ulloa & Diez Ltda., mientras que las propiedades dinámicas de los materiales fueron obtenidas de la recopilación de ensayos triaxiales dinámicos realizados en los laboratorios de la Universidad Javeriana, para otros estudios, en sitios cercanos a la ubicación del proyecto.



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

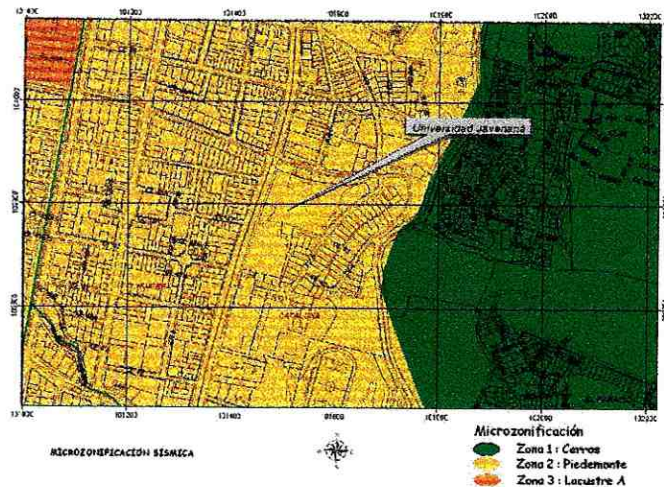
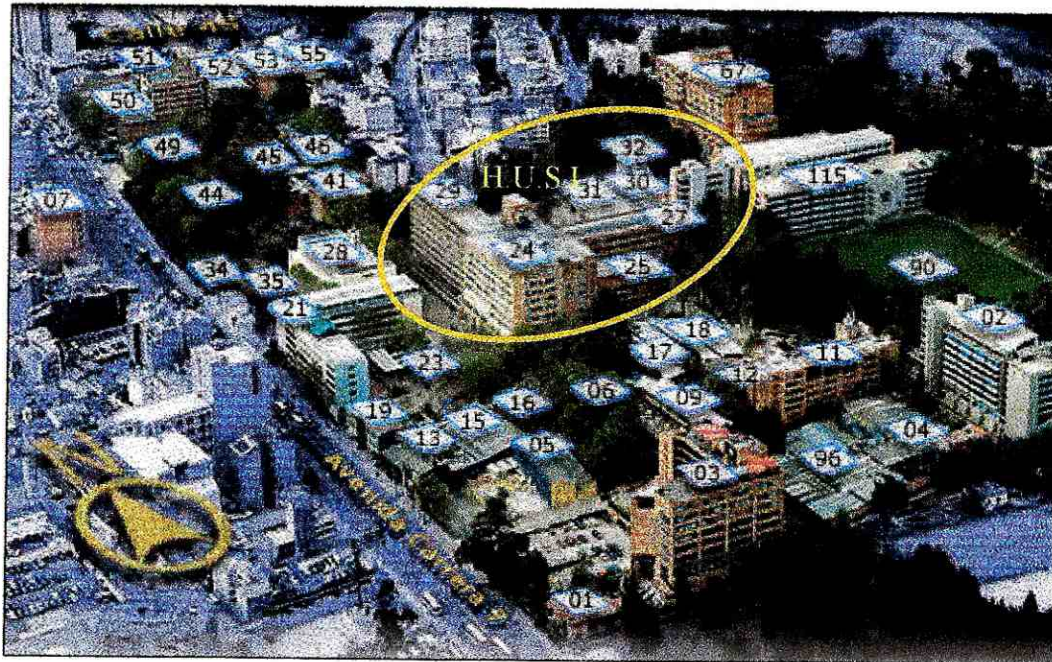


Figura 2 Localización del Proyecto Hospital Universitario de San Ignacio



ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO

La revisión del informe “Espectro Sísmico de Diseño en Roca para el Campus de la Universidad Javeriana”, se hizo a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 074 de 2001 para este tipo de estudios.

El propósito de la revisión es verificar que el estudio cumpla con los requerimientos del 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 074.

El concepto técnico No. CT-4127 de Abril 12 de 2005, relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo se transcribe a continuación con referencia a los requerimientos pertinentes del decreto antes mencionado.

Alcance de la Revisión

La solicitud viene para aprobación del espectro de diseño en roca para un sitio construido que pertenece a la Zona 2A- Piedemontes Orientales y por lo tanto no encaja totalmente dentro de los conceptos ya emitidos por la Sociedad, ya que no tiene en cuenta los materiales por encima del estrato rocoso. Sin embargo la Sociedad emite un concepto exclusivamente sobre este espectro en roca, PERO EN NINGUN MOMENTO ESTE CONCEPTO PERMITIRA EL CAMBIO DE ZONA O EL USO DE ACELERACIONES SUPERFICIALES PARA DISEÑO DIFERENTES A LAS DEL DECRETO 074.

El Solicitante debe ser más explícito sobre el propósito del estudio: si es para evaluación de una edificación existente en especial o de una nueva edificación y que es lo que solicita que se apruebe: un cambio de Zona, la microzonificación del Campus, un espectro para diseño de una edificación específica, etc..

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

En el Informe no se hace ninguna asignación del sitio a la Microzonificación de Bogotá, pero pertenece en su parte baja, al occidente de la Avenida Circunvalar, a la Zona 2A- Piedemontes Orientales y en su parte alta, al oriente de la Avenida Circunvalar, a la Zona 1A- Cerros Orientales. NO CUMPLE



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

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 conocer el perfil y propiedades del subsuelo en el lote del Campus se realizaron diecisiete (17) perforaciones, las cuales alcanzaron profundidades entre 8.5 m y 24.0 m. Adicionalmente se ejecutaron quince (15) líneas de refracción sísmica. A partir de las perforaciones se identificó que los estratos de suelo en la zona están entre 0.4 m y 10.3 m de profundidad y que el macizo rocoso relativamente inalterado de la Formación Bogotá se halla entre 0.4 m y 13.0 m de profundidad. De los sondeos realizados se obtuvieron muestras remoldeadas, las cuales se ensayaron para su clasificación y humedad, y muestras inalteradas con ensayos de compresión simple y nueve (9) triaxiales cíclicos. Además se realizaron ensayos SPT.

EL ESTUDIO CUMPLE EN ESTE SENTIDO CON EL DECRETO 074 DE 2001.

4.3 Realizar ensayos de velocidad de onda de corte, V_s , por medio de métodos de campo como down hole, cross hole y otros equivalentes.

Para el estudio se hicieron diecisiete (17) ensayos de Down-Hole en las 17 perforaciones, con el fin de definir el perfil de la velocidad de cortante (V_s) en profundidad. En el informe no se presentan las figuras de profundidad vs. tiempo de viaje, sino tablas con los resultados ya interpretados. De los ensayos de downhole ejecutados en las perforaciones se deduce que el basamento sísmico rocoso (con velocidad de cortante $V_s > 750$ m/s según NSR-98), se encuentra entre 3 m y 20 m de profundidad, con promedio de 8.3 m.

LOS ENSAYOS REALIZADOS CUBREN EN SU TOTALIDAD EL INTERVALO DE PROFUNDIDADES NECESARIAS PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS PERFILES DE LOS SUELOS, COMO LO EXIGE EL DECRETO 074 DE 2001.

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.).



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

En este estudio se hicieron nueve (9) ensayos dinámicos en triaxial cíclico para muestras inalteradas a profundidades entre 2.5 m y 10.4 m., de las cuales sólo dos (PC5M6- 4.0 a 4.2m y PC9M10- 9.8 a 10.4m) pertenecen a materiales alterados de la Formación Bogotá.. Estos ensayos dinámicos cubren deformaciones unitarias de cortante entre 0.04% y 1.4%, que pueden ser adecuados.

En la deducción de espectros en roca, aparentemente no se usaron los datos de estos ensayos

EL ESTUDIO CUMPLE EN CUANTO A LOS REQUERIMIENTOS DE TIPO DE ENSAYOS DINÁMICOS, pero se debe tener mayor número de ellos, en especial para materiales rocosos.

4.5 Utilizar todos los acelerógramas del proyecto de microzonificación sísmica de Bogotá, en la obtención del espectro de respuesta en superficie.

En el estudio se presenta el siguiente procedimiento:

a) Utilizar un total de treinta y dos (32) acelerogramas, con detalle de la componente utilizada y el siguiente resumen:

SISMO	FECHA	MAG	TIPO	PROF (km)	DIST.EPIC (km)	ACEL (gals)	REGISTROS
Loma Prieta	18-oct-89	7.0	ML	11	41 a 51	78 a 416	16
San Fernando	09-feb-71	7.0	ML	8	41	61 a 138	3
Sitka	30-jul-72	8.0	MS	29	48	77 y 89	2
Valparaíso	09-abr-85	7.0	MS	38	51	167 y 200	2
Morgan Hill	24-abr-84	6.0	ML	9	58 a 60	60 a 78	3
Long Beach	03-nov-33	9.0	ML	16	58	62 y 96	2
Quindío	25-ene-99	6.0	MS	20	40	Pereira	2
Imperial Valley	15-oct-79	6.6	ML	12	45 a 135	108 y 189	2

b) Escalar los registros a una aceleración de 0.185g, valor obtenido de un estudio especial de amenaza sísmica, el cual se incluye como anexo al estudio principal.

c) Calcular los espectros a partir de los registros con el método de Nigam y Hennings de 1968, detalladamente descrito en el informe.



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

- d) *Obtener los espectros promedio y para el 90% de confianza. Este último, suavizado, es el espectro propuesto.*
- e) *Comparar los espectros obtenidos con los espectros de los tres (3) registros de aceleración en roca definidos por el Decreto 074, y que son de uso obligatorio en el análisis de respuesta sísmica.*
- f) *Concluir que el espectro obtenido se encuentra entre el mínimo y el máximo de Zona 1.*

El informe comenta además que "...el registro del sismo frontal contiene únicamente 3800 valores espaciados cada 0.15 seg, con lo que se obtiene que la duración de este registro es de 57 segundos. Si se compara la duración del registro que aparece en la página web del SIRE, con la figura 1.22 de la Microzonificación Sísmica de Bogotá, se observa que este último tiene una duración de por lo menos 80 segundos. Por lo anterior es posible pensar que el registro que aparece en la página web del SIRE está cortado o incompleto."

Respecto a este procedimiento se comenta:

- 1) *Al escoger acelerogramas de sismos históricos, además de los factores mencionados en el informe (contenidos frecuenciales, distancias epicentrales, magnitudes y aceleraciones), se deben tener en cuenta: la profundidad del sismo, el mecanismo focal y la proporción de registros acorde con la distribución de la amenaza al sitio, que el caso de Bogotá, según el "Estudio General de Amenaza Sísmica para Colombia" (INGEOMINAS-AIS, 1996), corresponde a 67.8% a la Falla Frontal, 27.7% a la Falla Salinas, 4.3% a eventos no asignados y 0.4% a la Falla de Ibagué y Fallas del Magdalena. En el informe, salvo por un caso, los sismos corresponden a profundidades someras (< 30km) y en el caso de los 26 sismos de California (81%) probablemente son con alta componente de mecanismo de rumbo y no inverso como es el caso de la Falla Frontal.*
- 2) *La aceleración de diseño en roca para Bogotá es de 0.20g, de acuerdo a la NSR98 y este valor no es posible cambiarlo sin que tenga aprobación de la Comisión del Código, luego no es posible usar actualmente 0.185g, como lo propone el informe.*
- 3) *Obviamente, al no estar proporcionados el número de registros asignados a cada fuente sísmogénica, usar un nivel de aceleración, para escalar los registros, diferente al de la Microzonificación y no usar los registros del SIRE, el espectro propuesto debe resultar diferente.*



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

4) *El revisor está de acuerdo en que, por ahora, no debe tenerse en cuenta el registro del Sismo de Tauramena presentado en el SIRE, hasta tanto no se aclare la inquietud planteada en el informe.*

CON TODO LO OBSERVADO, EL ESPECTRO PROPUESTO NO CUMPLE CON LOS REQUISITOS DEL DECRETO 074.

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.

Como se trata de un espectro en roca, el informe asume que no se deben presentar análisis unidimensionales o bidimensionales. Sin embargo, así sea espectro en roca, se deben tener en cuenta amplificaciones topográficas, dado que en algunos sectores de la zona de estudio, la pendiente del terreno supera los 10°. Se deben hacer análisis bidimensionales y obtener registros en roca en diferentes puntos del Campus de la Universidad Javeriana.

EL ESTUDIO PRESENTADO NO CUMPLE CON LOS REQUISITOS DE ANALISIS DE MODELOS DE TRANSMISION DE ONDAS SISMICAS.

4.7 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 informe presenta en la figura 4.3 la comparación de los espectros propuesto con los espectros mínimos y máximos de las Zonas 1 y 2 del Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C, con los siguientes comentarios.

- a. *El espectro propuesto siempre es inferior a los de Zona 2, que es dónde se encuentra el lote, luego no cumple.*
- b. *El espectro propuesto es superior al mínimo e inferior al máximo de Zona 1 hasta $T=0.8$ segundos, a partir de dónde prácticamente sigue el mínimo de Zona 1, luego cumpliría para la Zona 1-Cerros, por simple comparación, pero hay que tener en cuenta lo expresado en 4.5.*



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

- c. *El espectro de diseño en superficie resultante en este caso debe corresponder al de la zona 2 como lo indica la microzonificación sísmica de Bogotá, o en su defecto el espectro mínimo para la zona 2, como lo indica el decreto 074 de 2001, en caso que ninguna de las modelaciones sobrepase el espectro mínimo en ninguno de los periodos de vibración.*

La validez del espectro de respuesta en roca está condicionada a aclarar las inconsistencias y dudas planteadas, en especial las indicadas en 4.5 y 4.6. Sin embargo, aún con estas aclaraciones aceptadas, no se podrían validar ni cambios de zona ni espectros de superficie

4.8 Conclusiones y Recomendaciones de la Primera Revisión

COMO RESULTADO DE LA PRESENTE REVISIÓN, SE CONCLUYE QUE EL ESTUDIO DE RESPUESTA LOCAL DE AMPLIFICACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS DEL CAMPUS UNIVERSIDAD JAVERIANA, CON REFERENCIA A EL ESPECTRO DE ACELERACIÓN EN ROCA, NO CUMPLE CON LOS REQUERIMIENTOS MÍNIMOS CONSIGNADOS EN EL DECRETO 074 DE 2001.

Adicionalmente el Solicitante debe especificar claramente cual es el alcance de la solicitud.

En consecuencia, se aconseja a la Universidad Javeriana y siguiendo lo indicado en esta revisión y en el Decreto 074:

- a) Efectuar análisis dinámicos bidimensionales de varias secciones del lote, para lo cual es necesario realizar ensayos dinámicos adicionales, sobretudo en materiales rocosos.
- b) Complementar la zonificación existente del Campus, con espectros para cada zona.
- c) De acuerdo a los resultados, solicitar reclasificación de algunas áreas a Zona 1.
- d) Solicitar la validación de los espectros superficiales para cada área del Campus

Una vez realizadas las correcciones y aclaraciones solicitadas, y sobretudo, haciendo la solicitud de acuerdo a los requerimientos del Decreto 074, se recomienda enviar el estudio nuevamente a la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, con el fin de emitir concepto de cumplimiento, de acuerdo con lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

5. REVISIÓN DEL ESTUDIO DE FECHA SEPTIEMBRE 22 DE 2005

La revisión del informe correspondiente al “Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas para el Sitio del Hospital Universitario de San Ignacio”, se hace a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 074 de 2001 para este tipo de estudios.

El propósito de la revisión es verificar que el estudio cumpla con los requerimientos del decreto, de manera que se pueda evaluar de forma razonable la validez del espectro de diseño recomendado, cuando dicho espectro es diferente al espectro de diseño definido por el Decreto 074.

El concepto técnico relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo, se presenta con referencia a los requerimientos pertinentes del decreto antes mencionado, que se listan a continuación.

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

En la sección 3.2 del informe, Propiedades del Suelo, se define la localización del proyecto de acuerdo con el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la Zona 2 - Piedemonte. Esta ubicación esta acorde con el Decreto 074 de 2001.

En la misma sección, se indica que de acuerdo con el mapa de sedimentos de la ciudad de Bogotá (estudio de microzonificación sísmica de la ciudad), la roca se debe encontrar en el sitio a una profundidad del orden de 25m. Sin embargo, con las perforaciones realizadas en el sitio se pudo establecer que la roca, identificada como arcillolita de la Formación Bogotá, se encuentra entre 1.2m y 6 m de profundidad. Este tipo de roca se encontró hasta los 17m, máxima profundidad de exploración.

En el capítulo 4, Conclusiones y Recomendaciones, se indica que debido a la poca profundidad a la cual se encuentran los materiales rocosos (entre 1.2m y 6 m) y el hecho que las diferentes edificaciones y estructuras que componen el HUSI se encuentran cimentadas directamente sobre roca sana, de acuerdo con algunas excavaciones realizadas, se propone reclasificar la zona de estudio como tipo Zona 1 - Cerros.

El estudio CUMPLE con el presente requerimiento. Sin embargo, a partir de las características del subsuelo, condiciones de cimentación de las estructuras y los



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

resultados del estudio evaluado, el consultor propone reclasificar la zona del proyecto a tipo Zona 1 – Cerros. La SCG en principio está de acuerdo con esta reclasificación.

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 estudio se menciona la realización de cuatro (4) perforaciones que alcanzaron profundidades desde 9.5m hasta 17m, donde se penetró dentro de la arcillolita de la Formación Bogotá entre 5m y 13m. Las perforaciones fueron realizadas con equipo mecánico de rotación y durante su ejecución se realizó el ensayo de penetración estándar y se obtuvieron muestras remoldeadas para la ejecución de diversas pruebas de laboratorio. En el numeral 3.2, Propiedades del Suelo, se indica que debido al alto grado de consistencia, compacidad y granulometría de los depósitos superficiales (rellenos, arcillas arenosas con gravas y suelos residuales de arcillolita de poco espesor), no fue posible obtener muestras inalteradas para la realización de los ensayos dinámicos de laboratorio.

De acuerdo con las perforaciones realizadas, el subsuelo en el sitio de estudio está compuesto por los siguientes materiales:

- a. Rellenos superficiales con espesor entre 0.6m y 1.3m compuestos por escombros, arenas y grava.*
- b. Arcillas y limos de color gris, rojo y carmelita con lentes de arena, que alcanzan profundidades entre 1.3m y 6.0 m.*
- c. A partir de los 1.2m a 6m, se encuentra la arcillolita de colores rojo, gris, amarillo y carmelita, perteneciente a la Formación Bogotá. Este material se detectó hasta el final de las perforaciones (9.5m a 17m), con lo cual la exploración penetró entre 5 y 13m dentro de la roca.*

El estudio CUMPLE con los requerimientos de exploración.

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.



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

Para el estudio de respuesta local se realizaron ensayos Down Hole, con medición de la velocidad de propagación de ondas de corte y compresión, en cada una de las cuatro (4) perforaciones.

En el perfil de velocidades de propagación de ondas de corte V_s en el subsuelo, se identifican tres diferentes estratos: i) depósitos superficiales entre 0 y 5m, con velocidades entre 230m/s y 500m/s; ii) Materiales rocosos pertenecientes a la arcillolita meteorizada, localizada entre 0.6m y 9 m, en donde los valores de V_s varían entre 480 y 630 m/s y finalmente, iii) Materiales rocosos pertenecientes a la arcillolita sana, a partir de los 3m y hasta los 17m, con velocidades del orden de 980 a 1200 m/s. Los espesores del perfil de meteorización identificados, en ningún caso son superiores a 5m, siendo la roca sana el material terreo predominante dentro del modelo geotécnico.

Por otra parte, el consultor estimó valores de V_s a partir de correlaciones con el SPT en la zona de Piedemonte (figura 3.4), y los resultados se presentan en la figura 3.5 del informe. El consultor indica que los resultados de los ensayos down hole presentan la misma tendencia y valores muy similares a los obtenidos a partir de las correlaciones con los ensayos SPT, realizados en cada una de las perforaciones. En el numeral 3.2 - Propiedades del suelo, se indica que los valores obtenidos de V_s son relativamente altos en relación con los establecidos para los tipos de material detectados, como lo son depósitos de transición en el piedemonte, roca meteorizada y roca sana.

Con el fin de complementar el perfil estratigráfico para el modelo de análisis geotécnico, se utilizaron resultados de otros estudios cercanos al sitio del proyecto. Dentro del modelo se emplearon los resultados de los ensayos down hole realizados específicamente dentro del marco del proyecto.

El estudio CUMPLE con el requerimiento de realizar ensayos de velocidad de onda de corte mediante pruebas de campo tipo down hole.

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 numeral 3.2, Propiedades del Suelo, se indica que debido al alto grado de consistencia, compacidad y granulometría de los depósitos superficiales (rellenos, arcillas



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

arenosas con algo de gravas y suelos residuales de arcillolita de poco espesor), no fue posible obtener muestras inalteradas para la realización de los ensayos dinámicos de laboratorio.

Adicionalmente, se menciona que la totalidad de las edificaciones que componen el Hospital tienen cimentaciones consistentes en zapatas superficiales o caissons cortos apoyados directamente sobre las rocas de la formación Bogotá (arcillolita).

Debido a la falta de los ensayos dinámicos, dada la imposibilidad de obtención de muestras inalteradas, el consultor complementó la información y el modelo geotécnico de análisis con resultados publicados en la literatura técnica, así como de otros estudios realizados, cercanos al sitio del proyecto, con el fin de establecer el modelo de comportamiento dinámico con 10 diferentes tipos de materiales en el perfil de análisis. Sin embargo, el consultor no hace explícita la relación entre las curvas de comportamiento dinámico y el perfil del depósito utilizado en el modelo.

Aunque, debido a la dificultad de obtener muestras inalteradas para adelantar los ensayos de laboratorio y dadas las características de cimentación sobre roca de las edificaciones, se considera que para el caso particular estudiado no es posible exigir la aplicación del presente requisito del Decreto.

CUMPLIMIENTO

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 ampliamente con este requerimiento, pues se utilizaron tres (3) registros adicionales a los tres (3) registros de aceleración definidos por el Decreto 074 de 2001. En total, fueron considerados seis (6) diferentes acelerogramas: tres (3) para la fuente cercana, dos (2) para la fuente regional o intermedia y uno (1) para la fuente lejana.

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.



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

Dada la ubicación del sitio de estudio en el piedemonte de los cerros orientales de la ciudad, donde la pendiente del terreno es superior a 10 grados y los materiales del subsuelo presentan variaciones importantes de su espesor, a la luz del Decreto 074 se hace necesario el empleo de modelos bidimensionales para establecer el comportamiento sísmico del conjunto de materiales que conforman el subsuelo. En el estudio analizado se menciona que se empleó el programa bidimensional de elementos finitos Plaxis Professional V7.2.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

5.7 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.

Por las características del subsuelo (profundidad de la roca entre 1.2m y 6m), definidas de los ensayos y las perforaciones, así como la condición del proyecto de estar cimentado directamente sobre la roca, el consultor propone reclasificar el sitio del proyecto como Zona 1.

Los resultados de los análisis de propagación de ondas, presentados de la figura 3.10 a la figura 3.13 del informe, muestran que los niveles de aceleración esperados para la estructura son inferiores a los correspondientes al espectro mínimo definido para Zona 1, a excepción de periodos de vibración cercanos a 0.3 segundos, donde la aceleración espectral S_a se ve ligeramente superada por el espectro de respuesta obtenido.

Es así como, a la luz de los resultados, el consultor propone como espectro de diseño el mínimo de la Zona 1 - Cerros.

El espectro de diseño propuesto está justificado por los resultados del estudio de respuesta local, con la salvedad de no haber realizado ensayos de laboratorio por la imposibilidad de obtener muestras inalteradas.

CUMPLIMIENTO.



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCION Y
ATENCION DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA SEGUNDA REVISIÓN

Como resultado de la presente revisión, se concluye que el estudio de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas del proyecto HOSPITAL UNIVERSITARIO DE SAN IGNACIO, localizado en el Campus de la Universidad Javeriana, está completo a la luz de los requerimientos mínimos consignados en el Decreto 074 de 2001.

Revisó y Aprobó:


ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN
Presidente y Representante Legal
Sociedad Colombiana de Geotecnia

Revisó:


ING. JUAN CARLOS PADILLA R.
Grupo de Riesgo Sísmico
DPAE

VoBo:


ING. DIANA AREVALO SANCHEZ
Coordinadora Técnica
DPAE