CONCEPTO TÉCNICO No CT - 5079
Revisión de Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas Artículo 7 - Decreto 193 de 2006

1 INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE:	Ing. Nelson Lugo Torres - Oficina de Planeación Institucional y del Territorio, Universidad Nacional de Colombia.
PROYECTO:	**ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA Y DE EFECTOS LOCALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.**
LOCALIDAD:	13 Teusaquillo.
UPZ:	104 Parque Simón Bolívar – CAN.
BARRIO:	Ciudad Universitaria.
DIRECCIÓN:	Campus Universidad Nacional de Colombia.
CHIP:	AAA0055DUEP
TIPO DE RIESGO:	Sísmico
EJECUTOR:	Facultad de Ingeniería Universidad Nacional.
FECHA DE EMISION:	Enero 08 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, se establece que las construcciones y edificaciones nuevas de cualquier índole que se levanten en Bogotá Distrito Capital, deberán diseñarse y construirse dependiendo de la zona en la cual se encuentren según la zonificación sísmica adoptada a través de los artículos anteriores, acogiendo al efecto el espectro de diseño y sus coeficientes espectrales adoptados para cada zona.

Por otra parte, el artículo 5 del Decreto antes mencionado establece que podrán utilizarse espectros sísmicos de diseño diferentes a los definidos en dicho decreto, siempre y cuando

se definan unos efectos locales particulares para el lugar donde se encuentra localizada la edificación, utilizando estudios de amplificación de las ondas sísmicas que se realicen de acuerdo con lo prescrito en los ordinales (e) a (i) de la sección A.2.9.3 del Decreto 33 de 1998, o estudios especiales referentes a efectos topográficos, cuando sea del caso. Adicionalmente, el parágrafo único del artículo 7 del Decreto 193 de 2006, establece que la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias realizará la revisión de los Estudios Particulares de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas y emitirá concepto sobre el cumplimiento de los términos de referencia establecidos para la ejecución de dichos estudios.

El presente concepto técnico corresponde a la **primera revisión** realizada por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, del informe *"Zonificación Geotécnica y de Efectos Locales de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá"* elaborado bajo la dirección de los Ingenieros Adolfo Alarcón Guzmán y Guillermo Ávila, en el lote del Campus de la Universidad Nacional de Colombia en la ciudad de Bogota D.C. El cual fue radicado el 30 de Noviembre de 2007 mediante oficio ER-16218, por el Ing. Nelson Lugo Torres de la Oficina de Planeación Institucional y del Territorio de la Universidad Nacional, remitido como estudio sísmico local en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 193 de 2006.

3 GENERALIDADES DEL PROYECTO

De acuerdo con el estudio se requiere adecuar y mejorar la infraestructura existente dentro del Campus Universitario, por lo cual se adelantó el estudio en referencia con el fin de contar con la información geotécnica y espectros de diseño para la construcción de futuras obras.

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

104700 N 99200 E

El informe *"Zonificación Geotécnica y de Efectos Locales de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá"* fue elaborado bajo la dirección de los Ingenieros Adolfo Alarcón Guzmán y Guillermo Ávila Ing. Jorge Alberto Rodríguez, con base en los datos de exploración del subsuelo de la firma Suelos y Pavimentos Ltda., ensayos Down Hole ejecutados por la firma Ulloa Y Diez Ltda. y el apoyo de los laboratorios de pruebas y ensayos de la Universidad Nacional de Colombia y de la Pontificia Universidad Javeriana.

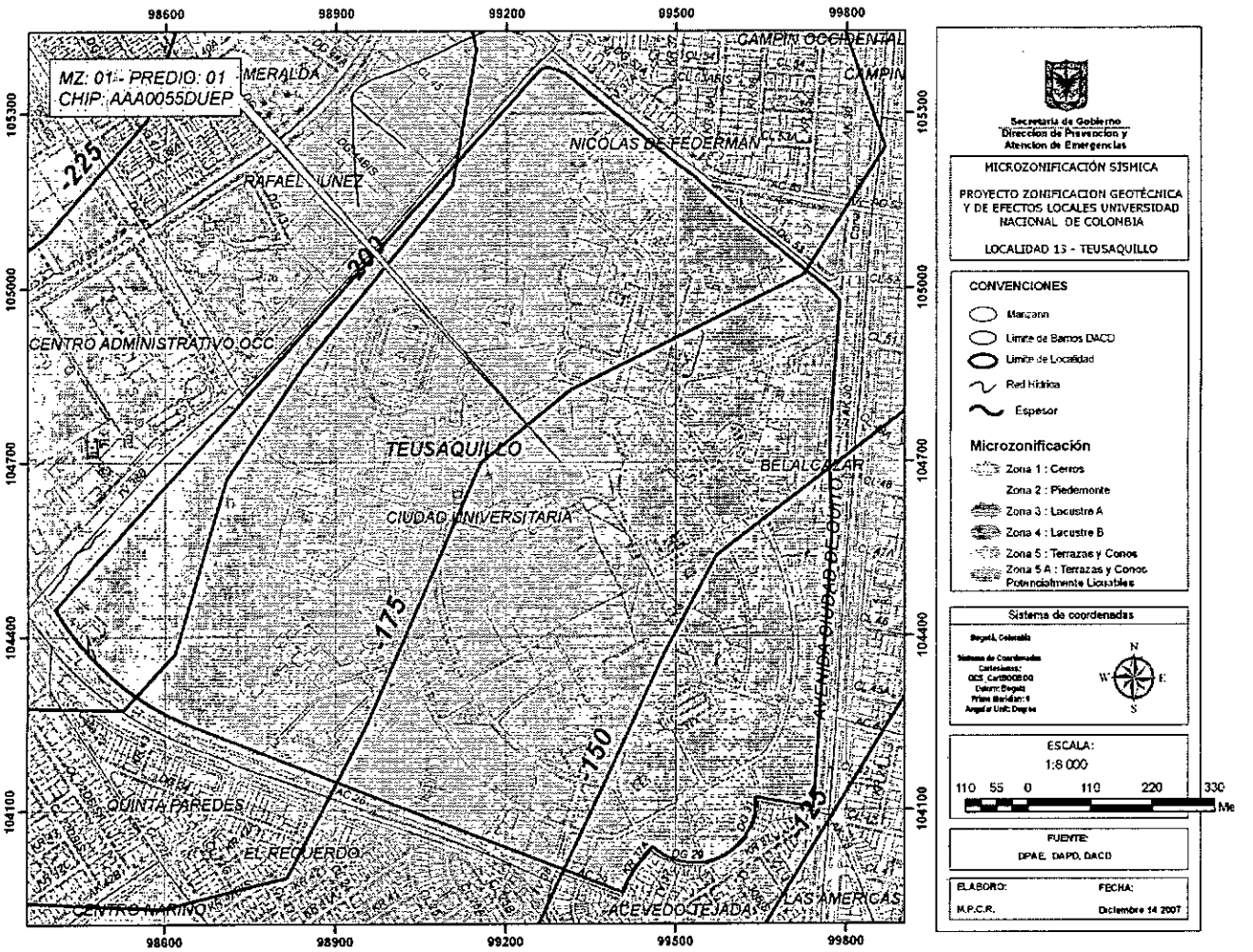


Figura 1. Localización de Campus de la Universidad Nacional de Colombia.

4 REVISIÓN DEL ESTUDIO

La revisión del informe presentado para la Zonificación Geotécnica y de Efectos Locales de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá D.C., se hace a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 193 de 2006 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 193.

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.

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

En el capitulo 5, se indica que el sitio del proyecto se encuentra localizado en la Zona 3 de la microzonificación 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 el capítulo 3, para conocer el perfil y propiedades del subsuelo en el área del estudio se realizaron tres perforaciones mecánicas que alcanzaron profundidades de 50 metros en dos de ellas y de 60 metros en la perforación restante. De estas perforaciones se obtuvieron muestras inalteradas para los ensayos dinámicos de laboratorio. Los registros de las perforaciones y el plano de localización se presentan anexos en el informe. La exploración de campo fue complementada con 08 perforaciones de 50 m realizadas para proyectos anteriores en el campus de la Universidad Nacional de Colombia.

Según el numeral 4.8.1 del estudio, la investigación de campo, los resultados de los ensayos de laboratorio realizados y el sondeo N49 de la Microzonificación Sísmica de Bogotá, Permitieron la caracterización de la estratigrafía en el Campus Universitario hasta la roca, la cual se encuentra localizada entre 125 y 200 metros de profundidad, como se describe a continuación:

- De 0 a 5 m: Arcilla limosa sobre-consolidada, de alta plasticidad y resistencia media a alta la cual disminuye con la profundidad.
- De 5 a 54 m: Arcillas y limos arcillosos de alta plasticidad de resistencia de muy baja a baja que aumenta con la profundidad.
- De 54 a 58 m: Turba y arcillas o limos orgánicos de humedad muy alta de resistencia media a alta la cual aumenta con la profundidad.
- De 58 a 125/200 m: Arcillas arenosas, limos arenosos o arenas arcillo limosas, de resistencia alta a muy alta la cual aumenta con la profundidad.

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 3.3 en el sitio del estudio se realizaron tres ensayos Down Hole, dos a 50 metros de profundidad localizados en los invernaderos de la Facultad de Agronomía y en el IEI y uno a 60 metros de profundidad localizado en la Facultad de Odontología. En los anexos se presentan los registros de dichos ensayos realizados por la firma Ulloa y Diez Ltda. En las siguientes tablas se resumen los valores del perfil de velocidad de onda, determinados a partir de los resultados de la prueba Down-Hole. Así mismo, se incluyen los valores de la relación de Poisson, obtenidos de los datos de Vs y Vp de campo.

Profundidad (m)	Vs (m/s)	ν
0-7	196	0.39
7-23	146	0.39
23-32	248	0.35
32-47	197	0.41
47-60	223	0.41

Resultados Down Hole Odontología.

Profundidad (m)	Vs (m/s)	ν
0-4	183	0.39
4-16	163	0.39
16-30	205	0.41
30-50	196	0.39

Resultados Down Hole Invernaderos.

Profundidad (m)	Vs (m/s)	ν
0-2	174	0.43
2-17	157	0.44
17-29	197	0.41
29-36	139	0.44
36-50	156	0.45

Resultados Down Hole IEI.

Los resultados anteriores fueron complementados con 4 ensayos Down Hole realizados para proyectos anteriores dentro del campus de la Universidad Nacional de Colombia.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

4.4 Realizar ensayos dinámicos para determinar módulos de corte, G, y relaciones de amortiguamiento, D, sobre muestras inalteradas que cubran todo el intervalo de deformaciones (Velocidad de onda de corte en laboratorio, columna resonante, corte simple cíclico, triaxial cíclico, etc.).

Se recopilaron 35 ensayos triaxiales cíclicos de esfuerzo controlado, realizados dentro del Campus Universitario, adicionalmente y para complementar las curvas de degradación del módulo y de amortiguamiento se realizaron 13 ensayos de Bender Element. Los resultados de los ensayos se presentan anexos al 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 de los sismos alternativos aprobados por la DPAE, acogiéndose a lo establecido en el numeral 3 del artículo 7 del decreto 193 de 2006.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

4.6 Realizar mínimo un análisis unidimensional (SHAKE, EERA, etc), para todas las zonas de la microzonificación, siempre y cuando la pendiente del terreno sea inferior a 10 grados.

En el estudio se realizan análisis unidimensionales mediante la utilización del programa EERA (Bardet et al, 2000), que considera la propagación unidimensional de ondas de corte

horizontal con un método lineal equivalente para tener en cuenta las variaciones del amortiguamiento y el módulo de corte con la deformación en los suelos del perfil. Los datos de los análisis se presentan anexos al informe, mientras que las características de los materiales se indican gráficamente en la Figura 5.12.

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 consideraron diez (10) perfiles con diferentes profundidades de roca.

Debido a que la pendiente del basamento rocoso es variable se decidió hacer una modelación bidimensional mediante el programa QUAD4M, el cual resuelve la ecuación de equilibrio dinámico en el dominio del tiempo mediante la técnica de los elementos finitos, considerando el suelo como un material de comportamiento lineal equivalente 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. La sección empleada en el análisis se presenta en la figura 5.32 y las curvas de degradación del módulo y de amortiguamiento, se presentan en las figuras 5.28 y 5.29 respectivamente.

Con base en los 35 ensayos de triaxiales cíclicos y con base en las formulaciones de Stokoe (2004) y Matasovic (1993), se calcularon los coeficientes y se simplificaron algunas ecuaciones a fin de definir un modelo de degradación del módulo y de amortiguamiento aplicable a las arcillas de Bogotá propuesto por Diaz Parra (2007). Para definir la curva de amortiguamiento para el rango de bajas deformaciones se empleó la formulación de Zhang et al (2005).

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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

Debido a que durante la exploración del subsuelo no se identificaron superficialmente capas de arenas sueltas, limpias y saturadas, no es necesaria la evaluación del potencial de licuación.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

4.8 Para todas las zonas, el espectro de diseño obtenido no puede ser menor que el espectro mínimo establecido para cada zona en la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

Con base en los resultados de la modelación, el consultor recomienda dividir el campus universitario en tres zonas con una respuesta de sitio similar. Los espectros de cada zona se presentan en la figura 6.9 de estudio y son presentados en la Figura 3 del presente concepto. La zonificación por efectos locales se presenta en el mapa 6.1 del informe y en la Figura 2 del presente concepto.

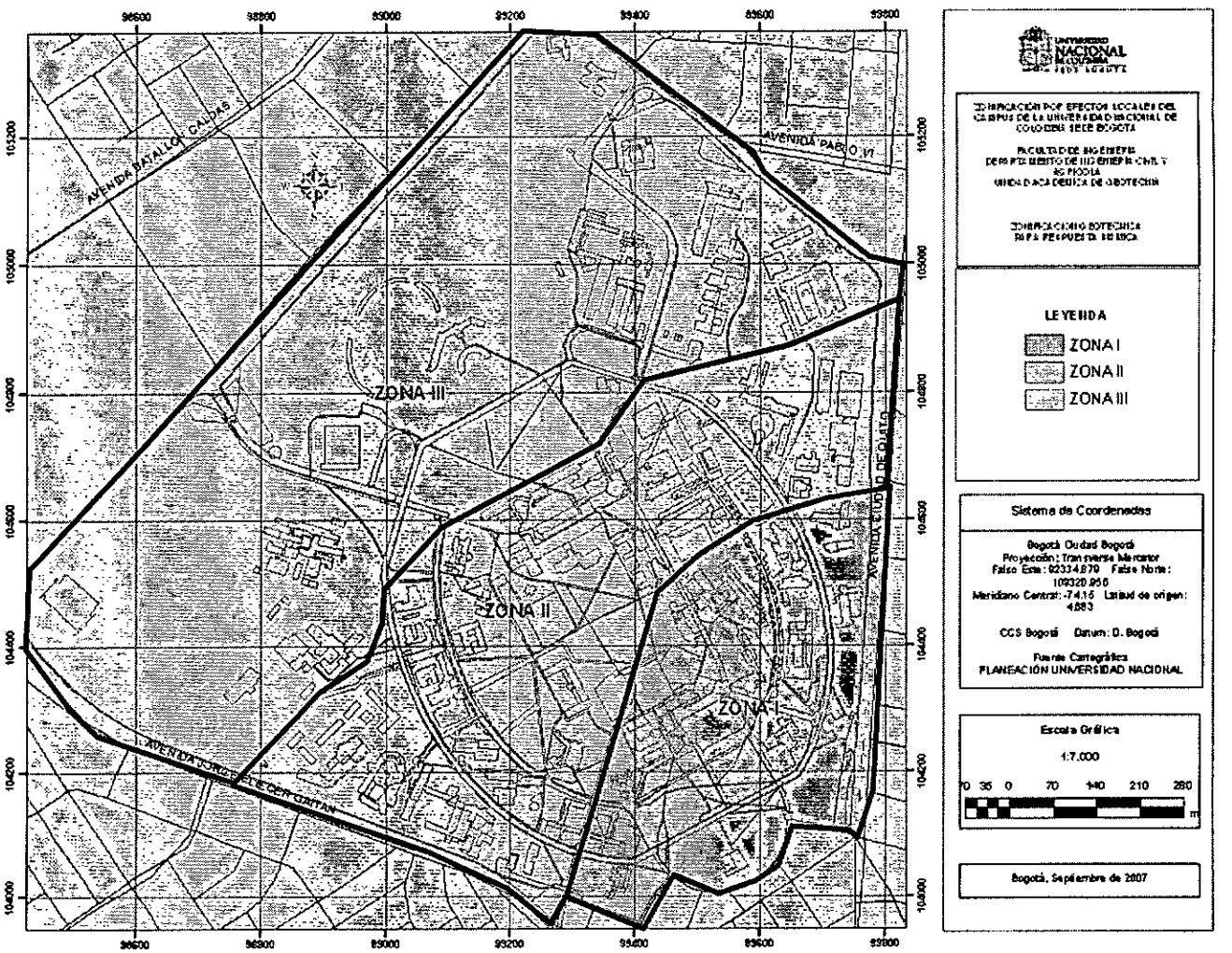


Figura 2. Zonificación por efectos locales del Campus de la Universidad Nacional.

Para la zona I localizada en el costado sur oriental del campus, el espectro propuesto inicia con una Sa de 0.22 g, luego asciende hasta 0.55 g en 0.25 segundos, donde continua con este valor hasta los 1.15 segundos. A partir de este valor desciende de forma inversamente proporcional al periodo hasta 0.253 g en 2.5 segundos.

Para la zona II localizada en la parte central del campus entre las zonas I y III, el espectro propuesto inicia con una Sa de 0.21 g, luego asciende hasta 0.525 g en 0.275 segundos, donde continua con este valor hasta los 1.35 segundos. A partir de este valor desciende siguiendo los valores mínimos dados para la zona 3 en el Decreto 193 de 2006.

Para la zona III localizada en el costado noroccidental y occidental del campus, el espectro propuesto inicia con una Sa de 0.2 g, luego asciende hasta 0.5 g en 0.3 segundos, donde continua con este valor hasta los 1.4 segundos. A partir de este valor desciende siguiendo los valores mínimos dados para la zona 3 en el Decreto 193 de 2006.

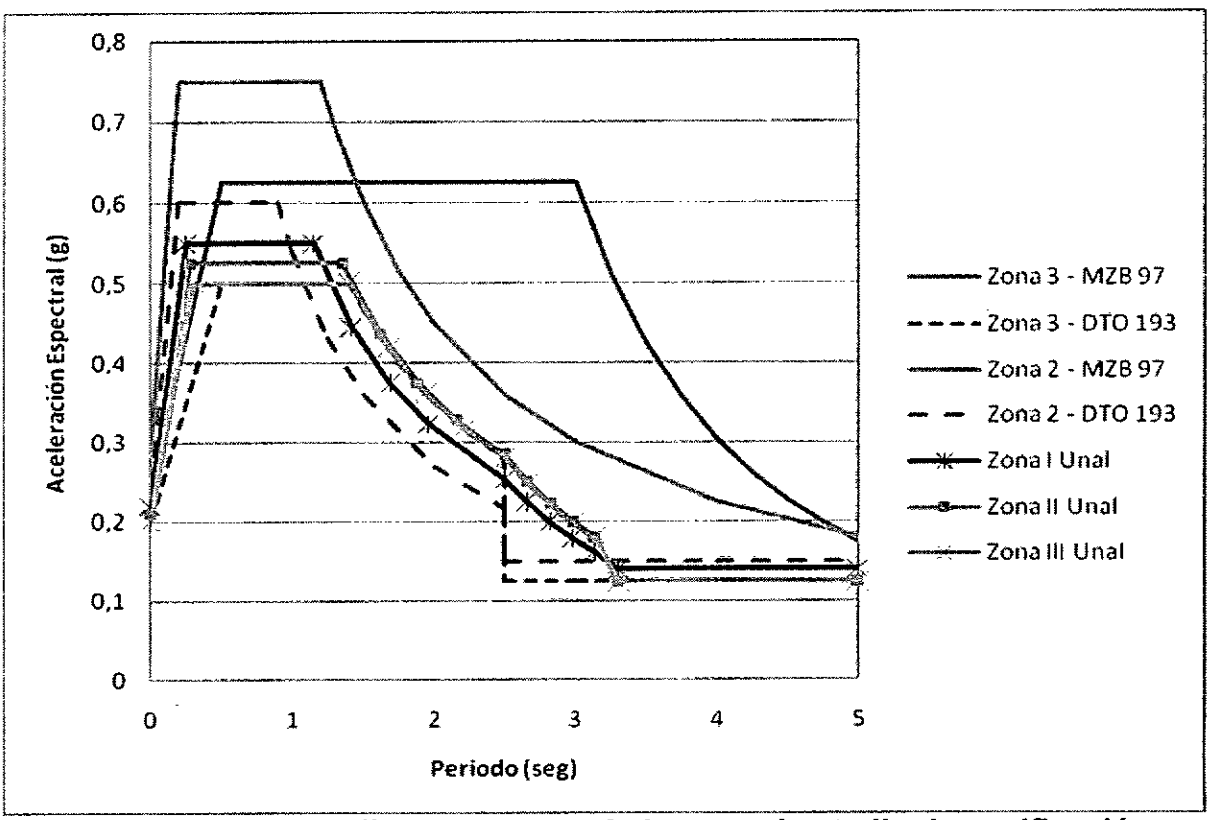


Figura 3. Espectros de diseño recomendados por el estudio de zonificación por efectos locales del Campus de la Universidad Nacional.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

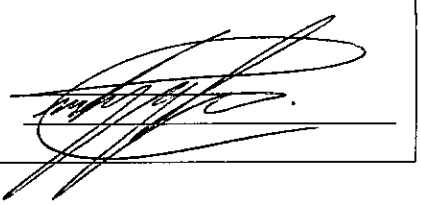
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

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



Vo.Bo.

DIANA MARCELA RUBIANO VARGAS
DIRECTORA

