

IMPLICACIONES DE LA RED DE ACELERÓGRAFOS DE BOGOTÁ EN EL ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Aníbal Ojeda, INGEOMINAS. (aojeda@ingeomin.gov.co)
Samuel Martínez, INGEOMINAS. (smartine@ingeomin.gov.co)
María Luisa Bermúdez, INGEOMINAS. (mbermu@ingeomin.gov.co)
Samuel Pachón, INGEOMINAS. (spachon@ingeomin.gov.co)

RESUMEN: La red de acelerógrafos de Bogotá está conformada por 29 estaciones de tres componentes con sensores en superficie y tres estaciones de borehole (con instrumentación en profundidad) a 115 m, 126 m y 184 m, conformadas por seis componentes, tres sensores en superficie y tres en profundidad. La red cuenta en total con 32 estaciones y está operando desde 1999, fecha desde la cual un gran número de movimientos débiles han sido registrados y estos son usados para el análisis preliminar de efectos de sitio presentado en este artículo. Usando los espectros de respuesta de los trenes de ondas SH, se verificó el comportamiento de las diferentes zonas sísmicas propuestas por el estudio de la microzonificación de la ciudad. La comparación entre los espectros de respuesta SH y los espectros de diseño normalizados para cada zona, muestran claramente que parte de los espectros de diseño deben ser revisados, así como las fronteras entre las diferentes zonas las cuales requieren algunos cambios. Los periodos predominantes obtenidos del análisis de ondas SH en diferentes estaciones de la ciudad, muestran valores desde 0.3 hasta 1.3 segundos; llegando a alcanzar en algunas ocasiones factores de amplificación de 5. La comparación entre los periodos predominantes obtenidos de microtrepidaciones mediante el análisis de los cocientes espectrales H/V y aquellos calculados usando datos sismológicos de movimientos débiles, demostraron que en general, las microtrepidaciones tienden a mostrar valores de periodo predominante ligeramente más bajos que aquellos que han sido calculados con el espectro de movimientos débiles. Sin embargo, existe una correlación entre los dos tipos de datos. Usando los datos registrados por una de las estaciones de borehole, se llevó a cabo un análisis lineal de respuesta dinámica de suelos. Los resultados de la modelación muestran que los espectros de respuesta de sismos registrados son similares a los modelados en términos del periodo fundamental; sin embargo las amplificaciones obtenidas de la modelación del suelo son subestimadas para periodos menores que 0.8 segundos. Dado que la mayoría de los registros disponibles son de movimientos débiles, los cuales representan la respuesta lineal de los suelos, se requieren más datos y futuros análisis para obtener resultados concluyentes.

PALABRAS CLAVE: Red de acelerógrafos, borehole, modelación dinámica del suelo, microtrepidaciones, Bogotá.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis del riesgo sísmico para Bogotá, ciudad que cuenta con aproximadamente siete millones de habitantes, es un asunto de gran importancia debido a que la mayoría de las industrias y entidades del Gobierno están ubicadas en ella, lo cual incrementa la vulnerabilidad de la misma ante un desastre sísmico. En el pasado, Bogotá fue seriamente afectada por sismos ocurridos en 1785, 1827 y 1917 los cuales produjeron grandes daños (Salcedo y Gómez, 1998). Dadas esas circunstancias, la Unidad de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (UPES), la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (DNPAD), la Universidad de los Andes y el INGEOMINAS, desarrollaron desde 1994 hasta 1997 un estudio de microzonificación sísmica para la ciudad (INGEOMINAS y Universidad de los Andes, 1997); el cual concluye que la aceleración horizontal máxima en roca es de 0.20 g, para un período de retorno de 475 años.

Otro resultado igualmente importante es el mapa de zonificación sísmica, que divide la ciudad en 6 zonas, cada una con un espectro de diseño típico, basado en el tipo de suelo y en los resultados de la modelación de la respuesta sísmica del suelo con modelos 1D y 2D. Se encontró que las zonas se encuentran constituidas por: zonas I: suelos rígidos y roca; zona II: coluviones; zonas III y IV: suelos con sedimentos lacustres y las zonas V y Va: terrazas y abanicos aluviales; destacando que la zona Va tiene suelos potencialmente licuables (INGEOMINAS, Universidad de los Andes, 1997). Este mapa de zonificación y los resultados de la determinación del riesgo sísmico sentaron las bases para modificar la reglamentación de las construcciones sismorresistentes en la ciudad, mediante la implementación del decreto 074 del 30 de enero de 2001. Pese a

esto, siempre fue evidente que una de las más importantes carencias del estudio de microzonificación era la falta de registros de sismos que pudieran ser utilizados para calibrar los resultados obtenidos previamente. Por lo tanto en el año de 1997, el INGEOMINAS con apoyo de la UPES, empezaron un proyecto de instalación y mantenimiento de una red digital acelerográfica para la ciudad. En este artículo se presenta la red de acelerógrafos de Bogotá, así como el análisis preliminar de registros de sismos en la red, complementado con un análisis de microtrepidaciones y una modelación 1D de la respuesta dinámica del suelo.

2. LA RED DE ACELERÓGRAFOS DE BOGOTÁ (RASB)

Como objetivos específicos de la instalación de una red de 30 acelerógrafos digitales en Bogotá se plantearon los siguientes: Instrumentación óptima de las zonas típicas caracterizadas en el Proyecto de Microzonificación de Santa Fe de Bogotá (MSFB), obtención de registros de los sismos sentidos en la Sabana de Bogotá, procesamiento y análisis de la información registrada, comparación de los resultados con los obtenidos en el estudio de MSFB y realización de una base de datos, para la organización de la información obtenida (Bermúdez et al., 2000).

La operación de la red estuvo precedida de actividades tales como: a. Implementación de la Red: La red cuenta con 32 acelerógrafos digitales (Figura 1, Tabla 1). Dos de ellos, de la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC), conformados por un acelerógrafo en superficie y un borehole o acelerógrafo en profundidad (a 184 m), empezaron a funcionar en 1994 y 1996 respectivamente. Posteriormente se instalaron los otros 30: 28 en superficie y 2 borehole (a 115 m y 126 m). b. Escogencia de sitios: La Comisión Asesora de Riesgo Sísmico propuso 30 sitios tentativos, los cuales debían estar alejados de vías de alto flujo vehicular, motores, edificaciones, lagos, árboles grandes, tanques elevados, antenas de gran tamaño, taludes y demás estructuras que afecten la pureza de la señal sísmica. En caso de estar cerca de estructuras grandes, se estableció una distancia mínima de 1.5 veces la altura de las mismas. Estos sitios fueron variando en la medida en que no se cumplían las exigencias anteriormente descritas o cuando no se podía garantizar vigilancia continua del lugar. c. Solicitud de permisos y firmas de contratos: El primer paso a seguir fue establecer contacto con el propietario del lugar seleccionado para explicarle el objeto y alcance del proyecto. En caso de obtener una respuesta positiva, se procedía a realizar una visita de las instalaciones para escoger el sitio adecuado. La forma de legalizar la instalación de los acelerógrafos en cada lugar fue a través de un contrato de comodato, el cual garantiza al INGEOMINAS el uso, más no la propiedad del terreno. d. Compra de equipos: Simultáneamente a la solicitud de permisos, se gestionaba la compra de 30 acelerógrafos digitales, de los cuales 28 son marca Kinometrics, modelo ETNA (6 con G.P.S) y 2 marca Kinometrics modelo, K-2. Las características de los acelerógrafos ETNA son: 1. Grabación de la información en estado sólido, en tres canales y tarjeta PCMCIA. 2. Resolución de 18 bits. 3. Escala máxima 2g. 4. Memoria de almacenamiento mínima de 2.5 Mbyte. Las características de los K-2 son: 1. Grabación de la información en estado sólido, en seis canales y tarjeta PCMCIA. 2. Resolución de 19 bits. 3. Escala máxima 2g. 4. Memoria de almacenamiento mínima de 5.0 Mbyte. e. Construcción de casetas: Cada instrumento está dentro de una caseta, la cual cumple con las mismas especificaciones técnicas de la RNAC. Existen tres tipos de casetas: 1. De 2 metros x 2 metros x 2 metros. 2. De 1.2 metros x 1.2 metros x 1.2 metros. 3. Igual especificación que el numeral 1, más un cerramiento metálico. f. Instalación de puesta a tierra: Cada sitio cuenta con una protección eléctrica del equipo, para minimizar los efectos de cambios bruscos de voltaje. g. Instalación de equipos: La instalación de los acelerógrafos incluyó la fijación del mismo a un pedestal y la configuración de los parámetros óptimos para su funcionamiento dependiendo de cada lugar. Para los acelerógrafos con seis sensores, se realizaron perforaciones en lugares cercanos a los sondeos realizados para el proyecto de MSFB, en los cuales se llegó a roca o un estrato duro (Bermúdez et al., 2000).

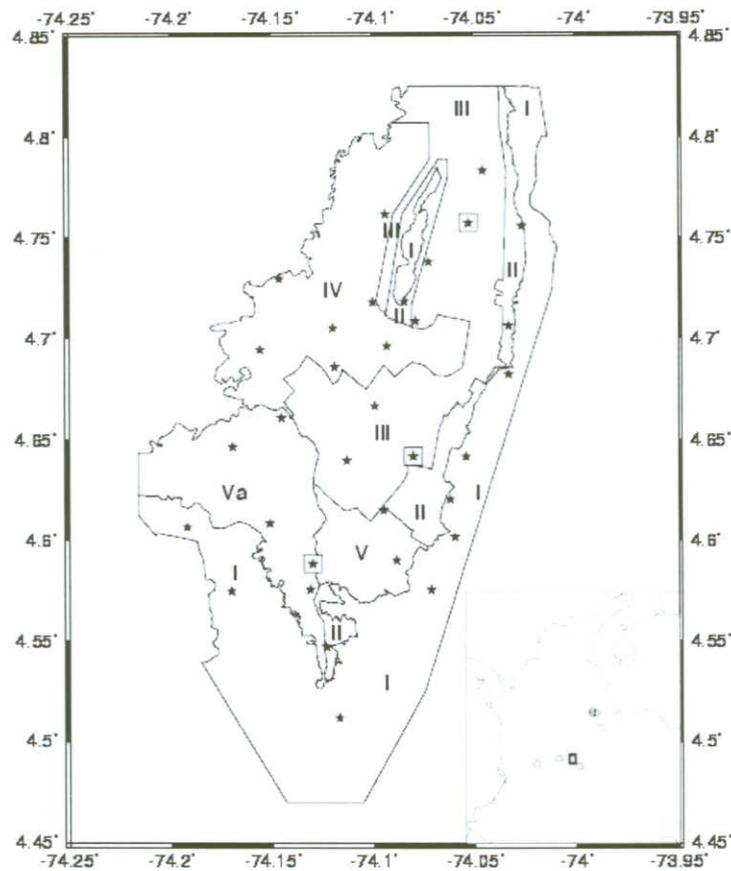


Figura 1. Ubicación de las estaciones de la Red de Acelerógrafos de Bogotá. Las estrellas muestran las estaciones en superficie y los cuadros las estaciones en profundidad. Las zonas propuestas por el estudio de microzonificación se representan con I, II, III, IV, V y Va. En la esquina inferior derecha se observa la ubicación de la ciudad de Bogotá y la ubicación de los sismos que la red ha registrado.





Código Estación	Zona Sísmica	Latitud (°)	Longitud (°)	Tipo de Instrumento	T (seg.) Sismos	T (seg.) Microtrepidaciones
CBOSA	1	4.6066	-74.1920	ETNA		0.80
CESCA	1	4.6822	-74.0332	ETNA		0.32
CTVCA	1	4.7181	-74.0848	ETNA	0.32	0.29
CBART	1	4.6205	-74.0620	ETNA	0.23	0.30
CUNMA	1	4.6415	-74.0543	ETNA		0.22
CMARI	1	4.5117	-74.1171	ETNA		0.29
CSMOR	1	4.5746	-74.1701	ETNA		0.27
CVITE	1	4.5750	-74.0716	ETNA	0.31	0.43
CBOG2	1	4.6014	-74.0599	ETNA	0.24	0.28
CUSAL	2	4.7559	-74.0264	ETNA	0.46	0.40
CPSUB	2	4.7379	-74.0726	ETNA	0.43	0.33
CUSAQ	2	4.7064	-74.0332	ETNA	0.43	0.35
CARTI	2	4.5468	-74.1234	ETNA	0.44	0.38
CEING	3	4.7833	-74.0458	ETNA	0.64	1.18
CUAGR	3	4.7573	-74.0527	K2	0.52	0.47
CBANC	3	4.7085	-74.0791	ETNA		0.42
CJABO	3	4.6665	-74.0993	ETNA		0.93
CCITE	3	4.6395	-74.1131	ETNA		0.86
CBOG1	3	4.6418	-74.0803	K2	1.25	1.22
CCORP	4	4.7617	-74.0940	ETNA	0.79	0.80
CFLOD	4	4.7295	-74.1464	ETNA	1.04	1.05
CAVIA	4	4.6858	-74.1190	ETNA	0.91	0.82
CNIÑO	4	4.6962	-74.0932	ETNA		0.90
CTIEM	4	4.6943	-74.1558	ETNA		1.11
CLAGO	4	4.7180	-74.1003	ETNA		1.07
CDIOS	5	4.5899	-74.0888	ETNA	0.52	0.64
CTEJE	5	4.6149	-74.0951	ETNA		0.68
CFONT	5a	4.6607	-74.1454	ETNA	0.83	0.82
CTIMI	5a	4.6084	-74.1511	ETNA		0.83
CTUNA	5a	4.5753	-74.1313	ETNA	0.55	0.69
CGRAL	5a	4.5881	-74.1301	K2	0.54	0.81
CRADI	5a	4.6465	-74.1694	ETNA	1.18	1.05

Tabla 1. Ubicación de las estaciones de la Red de Acelerógrafos de Santa Fe de Bogotá y período fundamental de vibración de cada una.

3. REGISTROS DE SISMOS

Desde enero de 1999 hasta diciembre de 2000, la red ha registrado 15 sismos, la mayoría de ellos del nido sísmico de Bucaramanga, con magnitudes M_L que varían entre 4.4 y 6.5; profundidades desde superficial hasta 160 Km. y distancias epicentrales desde 55 hasta 510 Km. (Tabla 2). Todos estos datos corresponden a movimientos cuyas aceleraciones son menores de 10 cm/s^2 ; es decir movimientos débiles donde los niveles de deformación de los suelos son muy bajos. Se identificaron las ondas SH de los registros sísmicos mediante ventanas de la componente transversal del movimiento, con velocidad de grupo entre 4.3 y 3.5 Km/s, luego se calculó el espectro de respuesta con 5 % de amortiguamiento y por último los espectros fueron normalizados a la aceleración pico del suelo. La Figura 2 muestra un resumen de los grupos de espectros