

CÓMO VIBRA NUESTRO SUELO: RED ACELEROGRÁFICA DE MEDELLÍN

Beatriz E. Estrada R. y Josef Farbiarz F.
Centro de Proyectos e Investigaciones Sísmicas (CPIS)
Facultad de Minas
Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín
cpis@unalmed.edu.co

Recibido para evaluación: 17 de Agosto de 2004 / Aceptación: 09 de Noviembre de 2004 / Recibida versión final: 18 de Noviembre de 2004

RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados generales de los primeros ocho años de operación de la Red Acelerográfica de Medellín (RAM). La RAM está conformada en la actualidad por 19 acelerógrafos superficiales distribuidos en los diferentes sectores de Medellín: un acelerógrafo profundo que se rota entre estaciones y un acelerógrafo ubicado en roca. Hasta el momento la RAM ha registrado 51 sismos provenientes de diferentes sismofuentes. Los registros provenientes de estos eventos fueron procesados y analizados con el fin de determinar qué sectores de Medellín amplifican, y en qué medida, la sacudida sísmica con respecto a los registros en roca, y para cuáles periodos de vibración estructural se presentan las máximas respuestas de aceleración espectral.

La estación que mayor amplificación ha registrado hasta el momento es la estación El Tesoro, ubicada en la parte alta del barrio El Poblado, seguida de la estación del Padre Manyanet en la parte Alta de Belén. La que menos amplificación registra es la ubicada en la Universidad EAFIT, en la parte baja del Poblado, seguida por la de la Facultad de Minas y la de la Universidad Nacional. Desde el punto de vista de respuesta espectral, los periodos para los cuales se presentan las mayores aceleraciones espectrales varían con las estaciones analizadas.

PALABRAS CLAVES: Acelerógrafo, Espectro, Microzonificación Sísmica, Periodo, Respuesta Espectral en Medellín, Sismo.

ABSTRACT

The results of the first eight years of operation of the Medellín Acelerographical network (RAM) are presented in this paper. The RAM consists of 19 surface accelerographs distributed in different sectors of Medellín: one deep accelerograph that is relocated among the different stations, and one accelerograph placed on rock. Up to date, the network has recorded 51 earthquakes from different seismic sources. These recordings were processed and analysed in order to determine which sectors in Medellín amplify, and in what measure, the seismic shaking with respect to the records in rock, and for which periods of natural structural vibrations the maximum spectral response is calculated.

The station that recorded the maximum amplification is El Tesoro station, located in the high part of the El Poblado, followed by the station located in the Padre Manyanet school, in the high part of Belen. The station with the lowest recorded amplification is the one located in the EAFIT University in the lower part of the El Poblado, followed by the stations located in la Facultad de Minas and the one at the Universidad Nacional. From the point of view of spectral response, the periods for which the maximum spectral accelerations are calculated vary from station to station.

KEY WORDS: Accelerograph, Earthquake, Period, Seismic Microzonation, Spectra, Spectral Response in Medellín.

1. GENERALIDADES

Con el fin de conocer la respuesta del terreno de los diferentes sectores de Medellín frente a movimientos sísmicos, se instaló, en 1996, la Red Acelerográfica de Medellín (RAM) como parte del proyecto Instrumentación y Microzonificación Sísmica del Área urbana de la ciudad, auspiciado por el Sistema Municipal de Prevención y Atención de Desastres de Medellín (SIMPAD). La RAM fue operada por la Universidad EAFIT desde sus inicios en 1996 hasta el año 2002, fecha en la cual el Centro de Proyectos e Investigaciones Sísmicas (CPIS) de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional, se hizo cargo de su operación y mantenimiento.

Al comienzo de sus operaciones, la RAM estaba conformada por 22 estaciones acelerográficas independientes cuya localización se basó en criterios topográficos, geotécnicos y geológicos. Actualmente, están en operación 20 acelerógrafos superficiales y uno profundo, distribuidos en la zona urbana de Medellín como se muestra en la Figura 1. El nombre de la estación, su código, el sector donde se encuentra localizada y el tipo de equipo instalado, se presentan en la Tabla 1. La Red Acelerográfica de Medellín está conformada por un acelerógrafo K2 de la serie ALTUS, 19 acelerógrafos ETNA, de la misma serie, y un acelerómetro FBA-23DH, todos de la firma KINEMETRICS. Todos los acelerógrafos tienen un intervalo máximo de operación de 9.81 m/s^2 , lo que significa que podrían registrar sismos con aceleraciones máximas iguales a la de la gravedad. Los equipos K2 y ETNA sirven para obtener registros superficiales, y el acelerómetro FBA-23DH captura registros a nivel del lecho rocoso. El acelerógrafo K2 y el FBA-23DH funcionan como estaciones gemelas, en las cuales se pueden obtener registros de aceleraciones superficiales y profundas del mismo sitio. Todos los equipos tienen tres sensores internos, dos para registro horizontal y uno para registro vertical de la aceleración producida por un evento sísmico. La totalidad de los equipos se encuentran orientados de tal forma que se registren simultáneamente las aceleraciones del terreno en dirección este-oeste, norte-sur y una componente vertical.

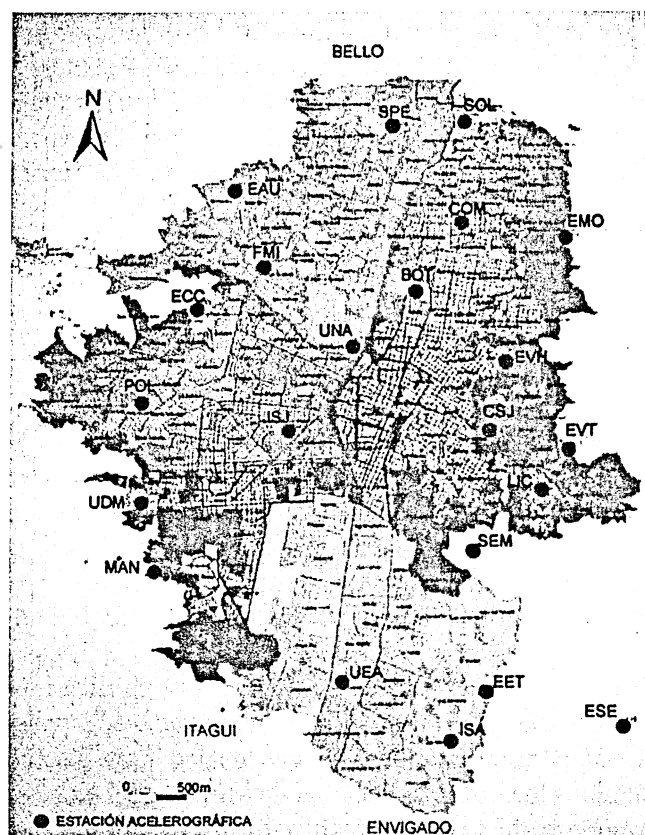


FIGURA 1.

Mapa de Medellín con la localización de las estaciones de la Red Acelerográfica de Medellín. Las estaciones están ubicadas en sectores con diferentes características geológicas, geotécnicas y topográficas.

TABLA 1.

Información general sobre las estaciones acelerográficas

ESTACIÓN	CÓDIGO.	SECTOR	EQUIPO
Seminario Mayor	SEM	Las Palmas	ETNA
Universidad Eafit	UEA	La Aguacatala	ETNA
Universidad de Medellín	UDM	Belén	ETNA
Universidad Nacional	UNA	Sector Caribe	ETNA
Facultad de Minas	FMI	Robledo	ETNA
Liceo Universidad de Medellín	LIC	Buenos Aires	ETNA
Fundación Amigo Policía	POL	La América	ETNA
Fundación Solidaridad por Colombia	SOL	Zamora	ETNA
Sena - Pedregal	SPE	Pedregal	ETNA
Inspección Policía San Joaquín	ISJ	San Joaquín	ETNA
Colegio Padre Manyanet	Man	Belén	ETNA
Tanque el Tesoro (EPM)	EET	El Poblado	K2
Tanque el Tesoro profundo (EPM)	EETp	El Poblado	FBA-23DH
Tanque de Aures (EPM)	EAU	Robledo	ETNA
Planta de tratamiento la Montaña (EPM)	EMO	Sto Domingo	ETNA
Planta de tratamiento V. Hermosa (EPM)	EVH	Villa Hermosa	ETNA
Tanque Villa Tina (EPM)	EVT	Villa Tina	ETNA
Centro de Control de EPPP (EPM)	ECC	Sta Rosa de Lima	ETNA
Colegio San José	CSJ	Encizo	ETNA
ISA	ISA	El Poblado	
Empresas Públicas Santa Elena (EPM)	ESE	Sta Elena	ETNA
Comfama Aranjuez	COM	San Cayetano	
Jardín Botánico	BOT		ETNA

La estación situada en las instalaciones de Empresas Públicas de Medellín en Santa Elena (ESE), se encuentra en un afloramiento rocoso con el fin de obtener registros del movimiento del basamento rocoso del Valle de Aburrá. Las demás se encuentran sobre diferentes suelos de Medellín. En la actualidad, la estación gemela conformada por el equipo superficial K2 y el equipo profundo FBA-23DH se encuentra ubicada en la estación del Tanque el Tesoro de Empresas Públicas de Medellín, pero esta estación ha estado instalada en diferentes puntos de la ciudad.

El objetivo de este artículo es dar a conocer a la comunidad en general los resultados arrojados por la Red Acelerográfica de Medellín hasta la fecha, por lo tanto se explicarán algunos conceptos básicos y se expondrán los resultados de manera sencilla.

2. OPERACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE LA RAM

Los acelerógrafos son aparatos que registran el movimiento del terreno en términos de su aceleración, a diferencia de los sismógrafos que están diseñados para registrar sismos en términos de desplazamiento. Un acelerógrafo no registra

todos los movimientos sísmicos que ocurran en el sitio, pues se calibra para detonarse, o empezar a registrar eventos que alcancen ciertas intensidades en el lugar, teniendo en cuenta la actividad ambiental circundante (vibraciones de tráfico, industria, etc.), de manera que no se sature de información inútil. Desde el punto de vista de la ingeniería, una de las maneras más útiles de medir la intensidad en un sitio es a través del análisis de las aceleraciones máximas inducidas por el evento, particularmente las horizontales, ya que conociendo las aceleraciones máximas horizontales en el terreno es posible estimar las fuerzas de inercia que se generan en la base de las estructuras civiles, lo que constituye un parámetro necesario para el diseño sismo resistente.

El movimiento sísmico del terreno que se registra en cada equipo de la RAM es capturado por tres sensores, dos horizontales y uno vertical. En cada acelerógrafo la señal se filtra, se digitaliza y finalmente se almacena en tarjetas de memoria que tienen una capacidad limitada. Todos los meses se visitan cada una de las estaciones para extraer los registros. En el caso de un evento sísmico significativo, se recoge la información en el menor tiempo posible.

Cada registro se procesa y analiza en el CPIS y periódicamente se presenta un informe técnico al, SIMPAD del Municipio de Medellín, quien es el propietario de la red. El procesamiento básico de cada evento registrado consiste en el análisis de los acelerogramas de cada estación para determinar las aceleraciones máximas, las frecuencias predominantes del movimiento, y los espectros elásticos de respuesta de aceleración, velocidad y desplazamiento para cada sitio.

En el CPIS, la señal registrada por cada uno de los tres sensores del acelerógrafo se convierte en un acelerograma (registro de la aceleración del terreno en función del tiempo), y se realizan las correspondientes correcciones instrumentales y de línea base para posteriormente establecer las máximas aceleraciones registradas en la componente este-oeste, vertical y norte-sur de cada señal.

Para establecer las frecuencias predominantes del movimiento se realiza un análisis de Fourier que permite transformar una historia de tiempo (acelerograma) en amplitudes y fases espectrales, en el dominio de la frecuencia. Y por último, se establece para cada componente, su espectro elástico de respuesta, que corresponde a la envolvente de las respuestas máximas absolutas inducidas por el movimiento sísmico en estructuras de comportamiento lineal y de un grado de libertad, con diferentes periodos naturales de vibración pero igual amortiguamiento (Kramer, 1996). Los espectros de respuesta calculados a partir de los datos de la RAM se calculan para amortiguamientos de 2 % y 5% y se calcula la respuesta en términos de aceleración, velocidad y desplazamiento.

3. RESULTADOS GENERALES

Desde el comienzo de su operación, la RAM ha registrado 51 sismos. La localización de estos eventos se presenta en la Figura 2 y su información general en la Tabla 2. De los eventos registrados, 19 eventos fueron generados en el Nido de Bucaramanga, cinco están asociados con la subducción profunda de la Placa Nazca, principalmente por debajo del Viejo Caldas, seis asociados con el proceso de subducción en otras zonas del noroccidente Colombiano, y 21 asociados posiblemente con fallas activas como las fallas del sistema Cauca-Romeral, Murindó, Palestina y Salinas.

Las estaciones que mayor número de eventos han registrado son: la estación del Colegio San José (CSJ) con 32 sismos registrados, la estación del Tanque el Tesoro (EET) y el Seminario (SEM) con 29 sismos registrados, la estación profunda del Tanque el Tesoro (EETp) con 25 y las del Colegio Padre Manyanet (MAN), Sena Pedregal (SPE), Universidad de Medellín (UDM), y Universidad EAFIT (UEA) con 24 registros cada una.

3.1. Efectos Locales

Los registros de cada estación acelerográfica tienen características propias que dependen tanto del sismo como de las condiciones del sitio donde se encuentra ubicada la estación. Los efectos locales de cada sitio están relacionados con

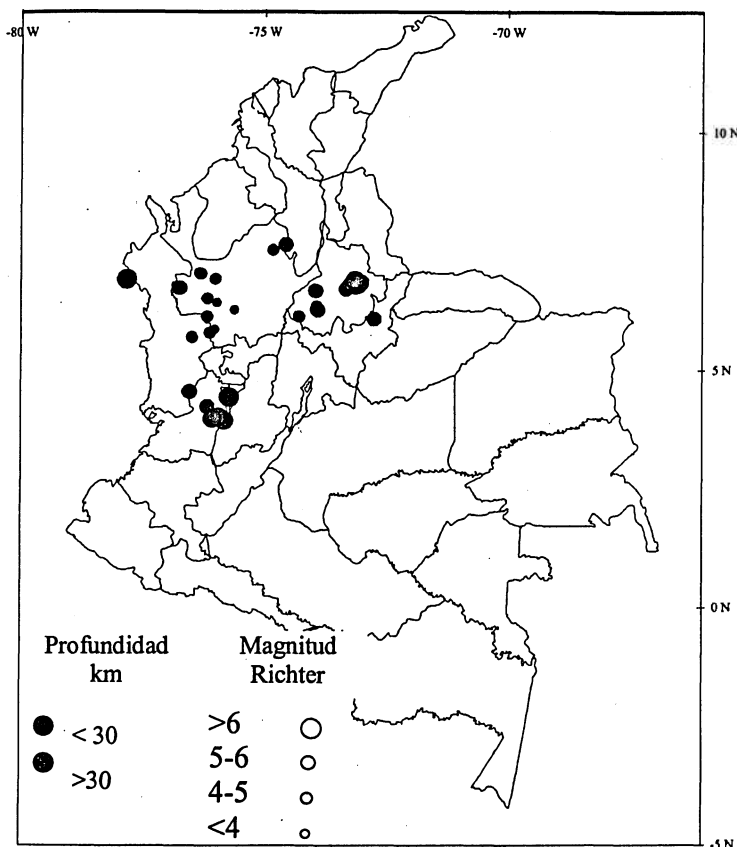


FIGURA 2.
Localización de los sismos registrados por la Red Acelerográfica de Medellín.

diferentes factores que incluyen la geología subyacente, el tipo de suelo y la topografía, los cuales pueden causar una respuesta característica, amplificar o atenuar la señal, y/o incrementar la respuesta para ciertos periodos de vibración. Al comparar la aceleración máxima horizontal registrada por cada estación durante los diferentes eventos, con respecto a la estación de Santa Elena (ESE) ubicada en roca, se puede observar cómo varía la señal al atravesar los diferentes suelos de la ciudad. En la Figura 3 se presenta el promedio del número de veces que se amplifica la señal en las diferentes estaciones con respecto a la aceleración horizontal registrada en roca.

La estación que más amplificación registra es la estación superficial ubicada en el Tesoro (EET), que ha registrado, en promedio, aceleraciones horizontales siete veces mayores que las registradas en roca, para los mismos eventos. La máxima amplificación registrada en esta estación es de 11 veces la aceleración horizontal registrada por la estación en Santa Elena. Esto ocurrió durante un evento el ocho de marzo de 1998 en la que la estación registró 103 cm/s² de aceleración horizontal (10,5 % de la aceleración de la gravedad), el registro más alto de la RAM durante su operación hasta hoy.

La segunda estación que más amplificación presenta está ubicada en el Colegio del Padre Manyanet (MAN), con un promedio de cuatro veces la aceleración horizontal registrada en roca. El registro máximo fue nueve veces la registrada en roca durante un evento sísmico el 13 de agosto de 2003.

La estación que menos amplificación registra e inclusive parece atenuar la intensidad del movimiento es la estación ubicada en la Universidad EAFIT (UEA), con un promedio de 0.7 veces la aceleración horizontal registrada en Santa

TABLA 2.
Información general de los sismos registrados por la RAM

Fecha	Hora (UTC)	Magnitud Richter	Longitud (°)	Latitud (°)	Profundidad (km)
22-nov-96	1:08	4.4	-74.29	6.12	0.1
01-ene-97	4:35	5.8	-73.11	6.77	162.2
19-feb-97	18:25	5.7	-76.53	4.54	111.5
07-mar-97	17:28	5.3	-73.32	6.7	135.7
11-may-97	18:17	5.6	-73.09	6.8	163.9
11-jun-97	7:07	5.7	-73.01	6.83	158.8
24-jun-97	17:54	5.2	-73.02	6.81	162.8
02-sep-97	12:14	6.4	-75.83	3.94	224.5
11-dic-97	7:56	6.3	-75.94	4.02	201.1
06-mar-98	9:37	5	-73.92	6.27	3
08-mar-98	4:59	5.1	-73.91	6.26	1.8
10-mar-98	6:57	3.5	-73.89	6.26	6.4
27-mar-98	4:11	4.5	-73.93	6.34	5
30-mar-98	5:08	5.7	-73.18	6.75	175
13-jul-98	2:17	3.2	-75.98	6.41	27.7
26-oct-98	21:55	5.2	-73.14	6.78	157.3
04-dic-98	3:39	5.1	-73.12	6.74	156.4
10-dic-98	6:17	5.1	-73.13	6.76	151.8
25-ene-99	18:19	6	-75.72	4.43	0.9
10-feb-99	8:25	4.4	-74.82	7.52	0.1
10-feb-99	8:25	4.4	-74.82	7.52	0.1
14-abr-99	7:25	5.7	-73.11	6.81	156.1
17-jul-99	12:22	5.5	-72.75	6.07	30
18-sep-99	11:19	4.3	-76.17	6.5	8.8
08-nov-99	5:51	6.2	-73.14	6.89	159.6
16-ene-00	21:13	3.9	-76.13	5.77	32.1
05-feb-00	21:52	5.6	-73.25	6.79	154.1
28-mar-00	19:23	4.9	-74.56	7.63	68
05-abr-00	9:43	4.2	-73.06	6.79	149.8
07-abr-00	12:42	2.6	-75.62	6.26	0
12-sep-00	10:54	5.5	-73.07	6.75	152
06-nov-00	11:59	3.4	-76.03	5.85	25.1
08-nov-00	6:56	6.2	-77.83	6.9	30
03-may-01	16:13	5.3	-73.04	6.85	157.9
18-may-01	15:04	5.5	-73.11	6.83	161.9
23-jun-01	5:34	5.5	-73.11	6.8	161.9
05-jul-01	9:46	4.7	-76.01	6.91	0
22-sep-01	3:23	6.1	-76.07	3.98	181.4
14-abr-02	9:10	4.7	-76.13	5.78	12.3
26-abr-02	1:36	5.4	-76.74	6.72	0.2
13-ago-03	4:33	4.7	-76.33	7.03	29
13-sep-03	9:10	5.2	-73.01	6.84	160
27-sep-03	2:48	4.3	-73.95	6.66	40
10-dic-03	19:40	4.6	-76.31	7.02	29
29-dic-03	1:21	5.1	-73.12	6.81	154
15-ene-04	0:25	5.2	-76.17	4.23	167.8
31-mar-04	5:51	4.5	-76.49	5.68	4
27-abr-04	5:38	4.1	-76.18	6.12	16.2

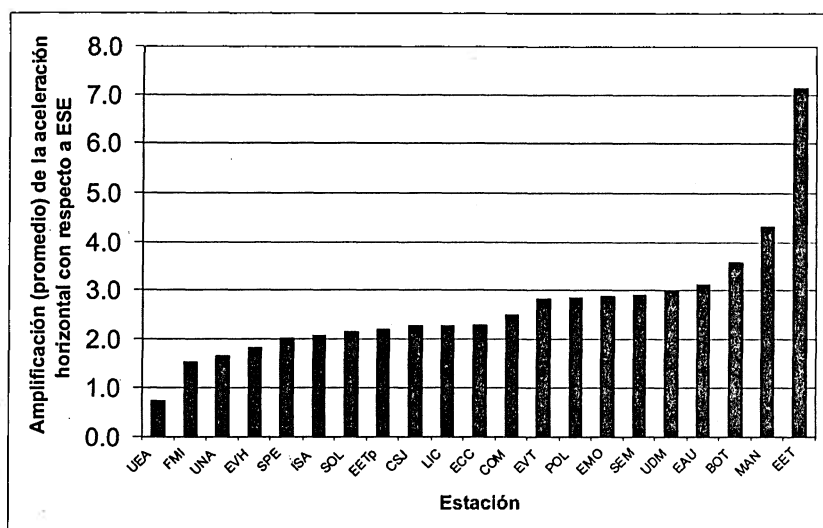


FIGURA 3.

Amplificación promedio de la aceleración horizontal registrada en la diferentes estaciones con respecto a la estación Santa Elena (ESE) ubicada en roca

Elena, lo que sugiere que las características locales del sitio donde está ubicada la estación amortiguan la sacudida sísmica. Después de la estación de la Universidad EAFIT, las estaciones ubicadas en la Facultad de Minas (FMI) y en la Universidad Nacional (UNA) son las que menos amplificaciones registran, con un promedio de 1.5 y 1.6 veces la aceleración horizontal registrada en roca, respectivamente.

Desde el punto de vista de los periodos estructurales de vibración para las cuales se registra la máxima aceleración espectral (calculada con base en espectros elásticos de respuesta de aceleración), también se ha observado una respuesta diferente en las estaciones que conforman la RAM. Para cada estación se analizó si las aceleraciones espectrales máximas se presentaban en un periodo estructural particular o si por el contrario, la aceleraciones espectrales máximas eran independientes del periodo. Esto se analizó para cada una de las componentes de la señal en cada uno de los sismos registrados por cada estación.

Estaciones como la de la Montaña (EMO) y la Universidad Nacional (UNA) indican que las máximas aceleraciones espectrales ocurren en los mismos periodos de vibración para cada una de las componentes, como se observa en la Figura 4. En EMO y UNA, las máximas aceleraciones espectrales ocurren para periodos menores a 0.1 s en todas las componentes del movimiento y este comportamientos se observa sistemáticamente en la mayoría de los sismos.

Por otro lado, existen estaciones cuya aceleraciones máximas espectrales se presentan en los mismos periodos estructurales en las componentes horizontales (este-oeste y norte-sur) y en periodos diferentes en la componente vertical. Tal es el caso de las estaciones de la Facultad de Minas (FMI), la estación del Tesoro (EET, EETp), la de Solidaridad por Colombia (SOL), y la de la Universidad de Medellín (UDM), como se ilustra en la Figura 5.

De igual manera, existen estaciones cuyas máximas aceleraciones espectrales parecen independientes tanto de los periodos estructurales como de las diferentes componentes del movimiento. En estaciones como Aures (EAU), Santa Elena (ESE), Villa Hermosa (EVH), Villa Tina (EVT), Padre Manyanet (MAN), Amigo Policía (POL), Seminario Mayor (SEM), Sena Pedregal (SPE), y Universidad EAFIT (UEA), entre otras (Figura 6), no se observa que la máximas aceleraciones espectrales estén relacionadas con algún periodo de vibración en particular.

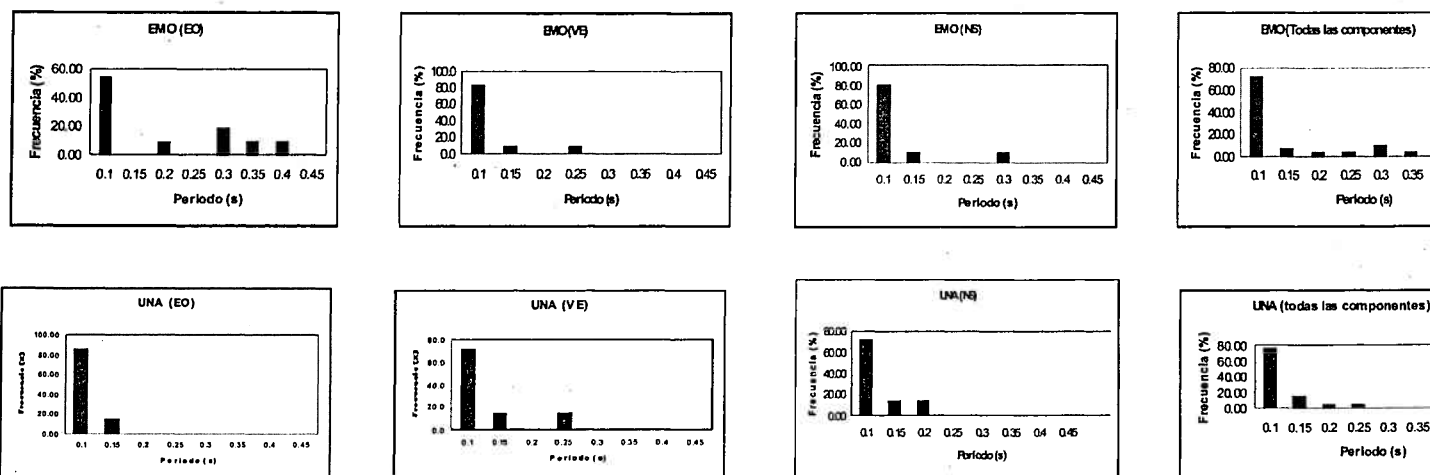


FIGURA 4.

Periodos naturales de vibración estructural en los que ocurren las aceleraciones espectrales máximas calculadas a partir de espectros de respuesta de registros en EMO y UNA para cada una de las componentes de las señal (tres primeros histogramas de cada fila) y para las tres componentes en total (último histograma de cada fila). En el eje X se muestran los intervalos de periodos de vibración considerados y en el eje Y la frecuencia (porcentaje de ocurrencia) con la que se presentan las aceleraciones espectrales máximas en ese periodo en particular. En las estaciones de la Montaña (EMO) y de la Universidad Nacional (UNA) la mayoría de aceleraciones espectrales máximas ocurren para periodos estructurales menores a 0.1 segundos, en todas las componentes del movimiento (este-oeste, vertical y norte-sur).

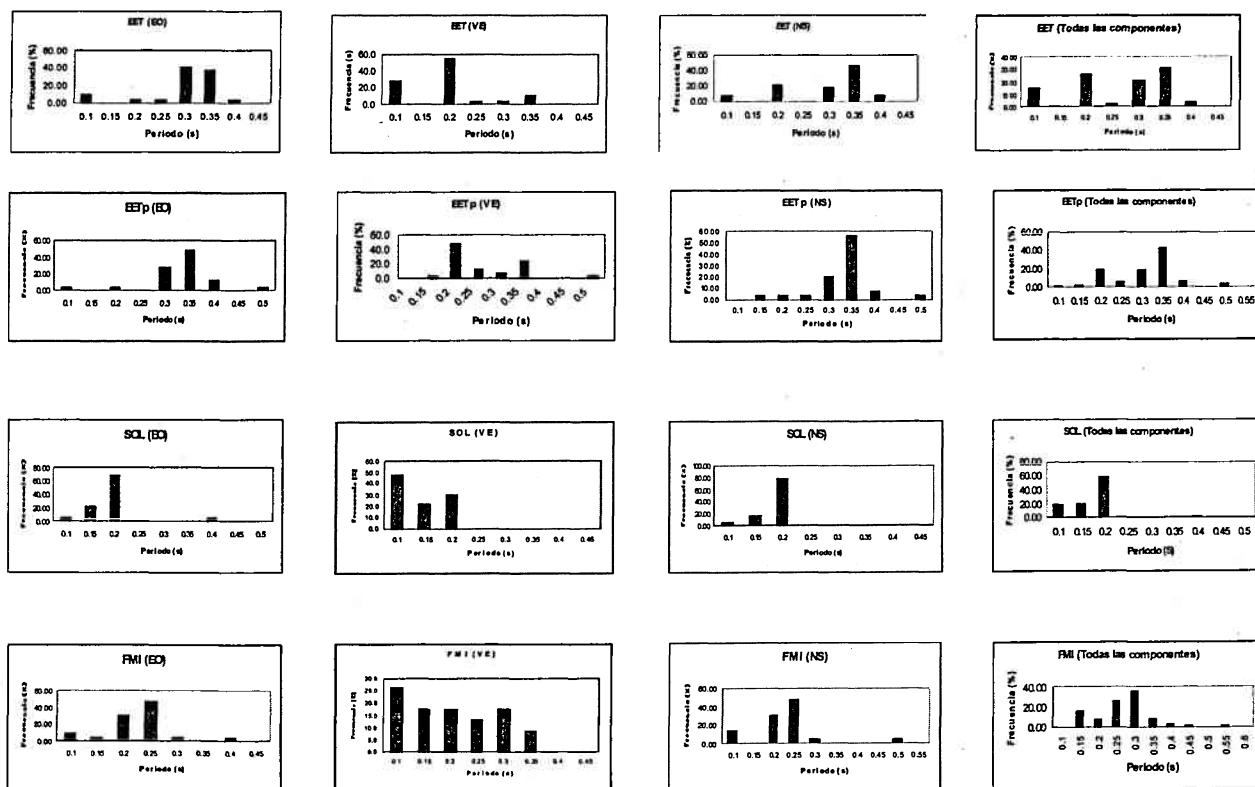


FIGURA 5.

Periodos naturales de vibración estructural en los que ocurren las aceleraciones espectrales máximas calculadas a partir de espectros de respuesta de registros en las estaciones EET, EETp, SOL, y FMI. Las aceleraciones espectrales máximas ocurren en periodos similares en las componentes horizontales del movimiento (este-oeste y norte sur) pero diferentes en la componente vertical (segundo histograma de cada fila de gráficos).

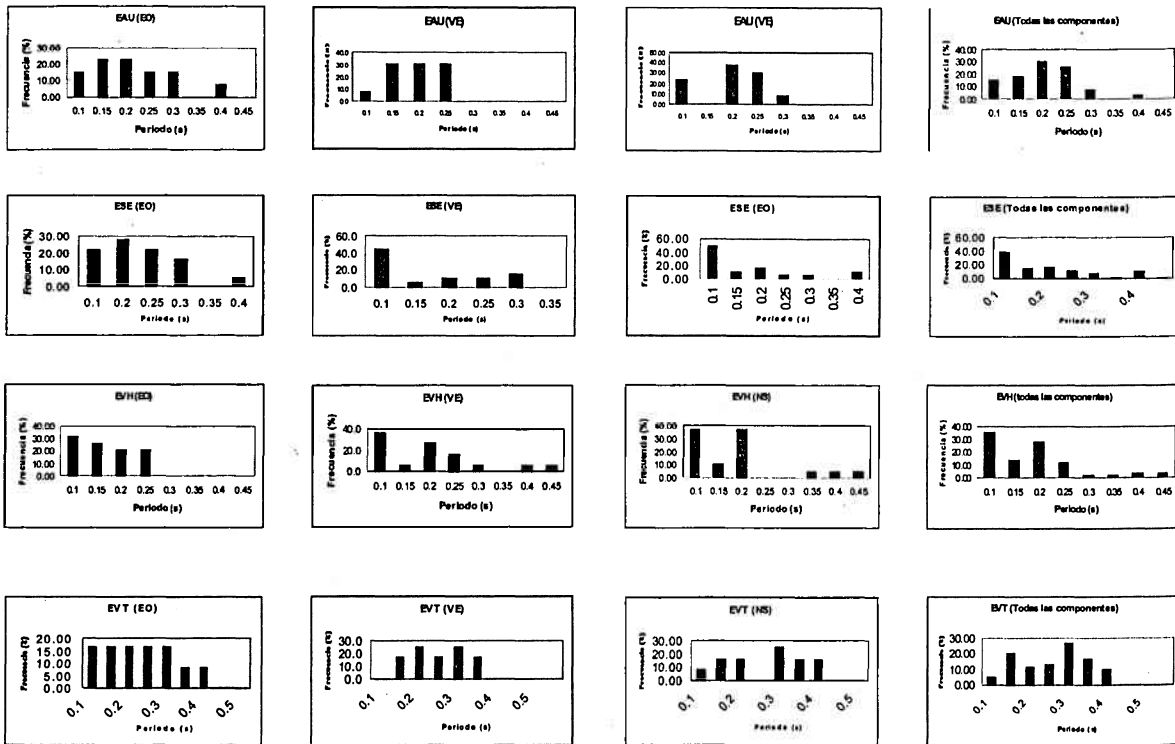


FIGURA 6.

Periodos naturales de vibración estructural en los que ocurren las aceleraciones espectrales máximas calculadas a partir de espectros de respuesta de registros en las estaciones EAU, ESE, EVH y EVT. No parece haber correspondencia entre las aceleraciones espectrales máximas, los periodos estructurales y las diferentes componentes del movimiento.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Estos resultados demuestran que los diferentes sectores de Medellín responden de manera diferente frente a la misma sacudida sísmica, lo que indica que las condiciones locales propias de cada sector causan un respuesta característica independiente de las características de la fuente.

Una manera de determina cómo las condiciones locales de cada sector afectan el movimiento sísmico es mediante el uso de funciones de transferencia, que corresponden al cociente entre los espectros de Fourier de los registros de las estaciones en superficie y el registro en roca (ESE).

Las funciones de transferencia permiten evaluar las modificaciones que sufre la sacudida sísmica entre la base rocosa y la superficie del terreno en cada sector. Se espera que los resultados de estos análisis sean publicados próximamente. No se puede determinar específicamente en que condiciones locales se presentan las mayores amplificaciones del movimiento en Medellín, por el contrario, la amplificación de la sacudida es resultado de un conjunto particular de variables, en las que el tipo de material subyacente y la topografía representan un papel muy importante.

Consecuentemente, la amplificación de la sacudida en la estación del Tesoro (EET), en la parte alta del Poblado, se da en respuesta de las condiciones locales de esta zona en relación particularmente con el comportamiento geotécnico de sus materiales y la topografía. De acuerdo con la microzonificación sísmica de Medellín (Grupo de Sismología de Medellín, 1999), esta estación está localizada en la zona homogénea de flujos parte alta de El Poblado (13), que corresponde a una zona de vertiente, que alcanza fuertes pendientes en ciertos puntos, conformada por flujos maduros

profundamente meteorizados y suelos residuales, y en la que , según algunos estudios geotécnicos, se presenta un valle enterrado (Villarraga, *comunicación verbal*, 2004).

Por el contrario, las condiciones locales de la estación ubicada en la Universidad EAFIT (UEA), en la parte baja de El Poblado, clasificada en la microzonificación sísmica de Medellín dentro de la zona homogénea de depósitos aluviales gruesos (6), hacen que la sacudida sísmica en este punto sea atenuada. Esta estación esta ubicada en la zona plana del Valle de Aburrá, constituida por depósitos aluviales gruesos y densos del río Medellín (GSM, 1999).

Así mismo, las condiciones locales de las estaciones ubicadas en la planta de tratamiento la Montaña (EMO), en Santo Domingo y la Universidad Nacional (UNA), sector Caribe, parecieran amplificar el movimiento para estructuras con periodos de oscilación menores a 0.1 segundos, o sea estructuras bajas y rígidas como casas de un solo piso. Mientras que las condiciones locales de las estaciones ubicadas en la Facultad de Minas (FMI), el Tesoro (EET, EETp), solidaridad por Colombia y Confama, en Robledo, parte alta del Poblado, Zamora y Aranjuez, respectivamente que causan respuestas espectrales máximas para periodos similares en las componentes horizontales del movimiento pero diferentes en la componente vertical. Sin embargo, para la señal en su conjunto no parece haber periodos predominantes de respuesta espectral máxima de aceleración, lo que indica que la máxima amplificación no es dependiente de un periodo específico. De igual manera, las condiciones locales de estaciones como las ubicadas en Santa Elena (ESE), Villa Hermosa (EVH) y Villa Tina (EVT), parecen no tener una influencia específica en un periodo de vibración particular, lo que sugiere que no hay un control directo de las condiciones locales en la respuesta de estos sectores durante un movimiento sísmico. En general, se puede afirmar que se presenta mayor amplificación en las laderas de Medellín que en su parte plana, pero la respuesta específica de cada zona en particular depende de sus condiciones locales propias, lo que reafirma la complejidad de los materiales que conforman el suelo de Medellín, algo que ha sido determinado desde hace mucho tiempo por diferentes investigadores e ingenieros.

Las amplificaciones registradas en todos los sectores de las ciudad son más altas que las previstas por el espectro de respuesta propuesto por las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes, NSR-98 (Ley 400 de 1997, y sus decretos reglamentarios) aplicado en la ciudad inclusive hasta hoy, pues los espectros determinados a partir de la microzonificación sísmica de Medellín no son aún de obligatoria aplicación. De todas maneras, es esencial que las edificaciones que se construyan en la ciudad se diseñen teniendo en cuenta estas características, si se quiere contribuir con la disminución del riesgo sísmico de Medellín.

5. BIBLIOGRAFIA

- Grupo de Sismología de Medellín, 1999. Instrumentación y microzonificación sísmica del área urbana de Medellín. Sistema Municipal de Prevención y Atención de Desastres. 135 p.
- Kramer, S. L., 1996. Geotechnical earthquake engineering. Prentice Hall. 653 p.
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes, 1998, NSR-98 (Ley 400 de 1997, y sus decretos reglamentarios), Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

