

## **CONTENIDOS FRECUENCIALES DE SISMOS COLOMBIANOS REGISTRADOS EN BOCO Y EN SDV (1994-1996)**

Área temática: Sismología Instrumental y Procesamiento de Señales Sísmicas

**Magda Nathalia Arévalo Caro**  
**Andrés José Alfaro Castillo**

### **RESUMEN**

La caracterización de sismos colombianos registrados en las estaciones BOCO (Bogotá, Colombia) y SDV (Santo Domingo, Venezuela), hacen parte de los proyectos de investigación de Instituto Geofísico. La estación BOCO, operada por el Instituto Geofísico Universidad Javeriana, formó parte de los proyectos internacionales Seismic Research Observatory-SRO de 1978 a 1987 y Global Seismograph Network-GSN de 1994 a 1998. La estación SDV hace parte del Global Seismograph Network-GSN desde Agosto de 1994.

La estación BOCO estaba ubicada en el kilómetro 9 de la vía Bogotá – Choachí, en el cerro Guadalupe. Las coordenadas de ubicación del sensor eran 4.5869N y 74.0432W, se encontraba instalado a una elevación de 3071m.s.n.m en una perforación en roca a 40 metros de profundidad. La estación SDV está ubicada en Santo Domingo, Venezuela; las coordenadas de ubicación del sensor son 8.879N y 70.633W, se encuentra instalado a una elevación de 1518 m.s.n.m en una perforación en roca de 32 metros de profundidad.

Como parte del SRO, la estación BOCO estaba compuesta por un sismómetro Teledyne-Geotech KS-36000, con tres canales de registro continuo de largo período: vertical, norte-sur y este-oeste (LHZ, LHN y LHE). Como parte de GSN, BOCO, estaba compuesta por un sismómetro Teledyne-Geotech KS-54000 y un acelerómetro Kinemetrics FBA-23, contaba en total con 21 canales de registro, 6 de disparo con una velocidad de muestreo de 80 mps.

El equipo de SDV está compuesto por un sismómetro Streckeisen STS-1, y un acelerómetro Kinemetrics FBA 23, cuenta con 18 canales de registro, de los cuales 6 tienen velocidad de muestreo de 1 mps, 3 de 20 mps y 3 de 80 mps

Se analizaron sismos con magnitud mb mayor de 3.0, se determinaron la frecuencia de esquina y la frecuencia máxima para cuatro fuentes sismogénicas: Sistema de Fallas de Guaicáramo ( $4.3 < mb < 4.9$ ), Nido de Bucaramanga ( $4.0 < mb < 5.4$ ), Sistema de Fallas de Romeral ( $3.9 < mb < 6.7$ ) y Sistema de Fallas de Atrato ( $3.8 < mb < 6.4$ ) en el intervalo de tiempo de 1994 a 1996.

La frecuencia de esquina y la frecuencia máxima se determinaron del análisis de las densidades espectrales de potencia de los registros de movimiento fuerte. Las frecuencias máximas determinadas fueron: de 8.5 a 8.7 Hz para el Sistema de Fallas de Guaicáramo, 8.7 a 9.0 para el Nido de Bucaramanga, 8.0 a 9.1 para el Sistema de Fallas de Atrato que presento la mayor dispersión y 7.9 a 8.4 para el Sistema de Fallas de Romeral.

## ABSTRACT

BOCO station was operated by the Javeriana University's Geophysical Institute comprised with international projects of the Seismic Research Observatory – SRO from 1978 to 1987 and the Global Seismograph Network – GSN from 1994 to 1998. SDV station is operated by Funvisis on GSN since August 1994.

BOCO station was located at 9<sup>th</sup> kilometer on the Bogotá – Choachí road, in Guadalupe hill. The sensor location coordinates were 4.5869N and 74.0432W, it was installed in an elevation of 3071 m.o.s.l. in a rock drill to 40 m of depth.

SDV station is located in Santo Domingo, Venezuela; the sensor location coordinates are 8.879N and 70.633W, it is installed in an elevation of 1518 m.o.s.l. in a rock perforation to 32 m of depth.

As part of SRO, BOCO station was composed Teledyne-Geotech KS-36000, with three channels of continuous record of long period: vertical, north-south and east-west (LHS, LHN y LHE). As part of GSN, BOCO, was composed by one seismometer Teledyne-Geotech KS-5400 and an accelerometer Kinematics FBA-23, counted altogether on 21 channels, within six of triggered channels with sampling of 80sps.

As part of GSN, SDV station is composed by seismometers Streckeisen STS-1, and an accelerometer Kinematics FBA-23, with 18 channels, 6 of 1sps, 3 of 20sps and 3 of 80sps.

Earthquakes with magnitude  $m_b$  greater than 3.0 were analyzed, the corner frequency,  $f_c$ , and the maximum frequency,  $f_m$ , earthquakes for four seismogenetics sources were determinate. Guicáramo faults system ( $4.3 < m_b < 4.9$ ), Swarm of Bucaramanga ( $4.0 < m_b < 5.4$ ), Romeral faults system ( $3.9 < m_b < 6.7$ ) and Atrato faults system ( $3.8 < m_b < 6.4$ ) in the time interval from 1994 to 1996.

The corner frequency, and the maximum frequency were determined of the analysis of the power spectral densities, of strong ground motion records. The maximum frequencies were 8.5 – 8.7 Hz for Guicáramo faults system, 8.7 – 9.0 Hz for the Swarm of Bucaramanga, 8.0 – 9.1 Hz for Atrato faults system and 7.9 – 8.4 Hz for Romeral faults system.

## INTRODUCCION

Los sismos tienen características que son función de la fuente sísmogénica que los generan, esto se ve reflejado en su duración y su contenido frecuencial. La caracterización de sismos se realizó con registros digitales de las estaciones BOCO y SDV. La estación BOCO, operada por el Instituto Geofísico Universidad Javeriana formó parte de los proyectos internacionales Seismic Research Observatory-SRO y Global Seismograph Network-GSN, estaba ubicada en el kilómetro 9 de la vía Bogotá-Choachí, sitio denominado “El Topón” en zonas aledañas al cerro Guadalupe. Las coordenadas de ubicación del sensor eran 4.5869N y 74.0432W, se encontraba instalado a una elevación de 3071 m.s.n.m, dentro de una perforación en roca a 40 metros de profundidad.

La estación SDV hace parte de GSN, Global Seismograph Network, está ubicada en Santo

Domingo, Venezuela; las coordenadas de ubicación del sensor son 8.879N y 70.633W, se encuentra instalado a una elevación de 1518 m.s.n.m en una perforación en roca de 32 metros de profundidad.

La estación BOCO tuvo dos períodos de funcionamiento, el primero del 13 de marzo de 1978 al 11 de noviembre de 1987, período en el cual hizo parte del SRO; el segundo del 6 de junio de 1994 al 27 de marzo de 1998, periodo en el cual hizo parte de la GSN (IRIS, 2001). La estación SDV hace parte de GSN, Global Seismograph Network desde el 19 de Agosto de 1994.

Como parte del SRO, BOCO estaba compuesta por un sismómetro Teledyne-Geotech KS-36000, con tres canales de registro continuo de largo periodo: vertical, norte-sur y este-oeste (LHZ, LHN y LHE), registrando continuamente una muestra por segundo; también contaba con un canal de registro de disparo de corto periodo vertical (SHZ), con una velocidad de muestreo de 20 mps. Cuando formó parte del GSN, estaba compuesta por un sismómetro Teledyne-Geotech KS-54000 y un acelerómetro Kinemetrics FBA-23, contaba en total con 21 canales de registro (ELZ, ELN, ELE, HLZ, HLN, HLE, BHZ, BHN, BHE, LHZ, LHN, LHE, LLZ, LLN, LLE, VHZ, VHN, VHE, UHZ, UHN, UHE), de los cuales 6 eran de disparo (ELZ, ELN, ELE, HLZ, HLN, HLE), con una velocidad de muestreo de 80mps. El sistema se desmontó en mayo de 2000 (Calpa y Alfaro, 2000).

El equipo de SDV gestionado por FUNVISIS (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas) está compuesto por un sismómetro Streckeisen STS-1, y un acelerómetro Kinemetrics FBA 23, cuenta con 18 canales de registro (BHE, BHN, BHZ, LHE, LHN, LHZ, UHE, UHN, VHE, VHN, VHZ, HLE, HLN, HLZ, LLE, LLN, LLZ) de los cuales 6 tienen velocidad de muestreo de 1 mps, 3 de 20 mps y 3 de 80 mps

Debido a la escasez de registros de movimiento sísmico fuerte en roca en Colombia, es necesario realizar procesos de simulación, para que estos sean adecuados es importante caracterizar los sismos colombianos para entender la forma como se presentan estos, en cuanto a modulación en el tiempo, duración, contenidos frecuenciales, entre otros parámetros.

Este trabajo presenta características específicas de sismos colombianos en los dominios de la frecuencia, estableciendo las principales características de los eventos registrados en la estación BOCO y SDV entre 1996 y 1998. Se determinaron la frecuencia de esquina y la frecuencia máxima para cada sismo, en cada estación, obteniendo valores para cuatro fuentes sismogénicas: Sistema de Fallas del Guaicáramo, Nido de Bucaramanga, Sistema de Fallas de Romeral y Sistema de Fallas de Atrato.

## **OBTENCION DE REGISTROS**

Teniendo las coordenadas de la fuente sismogénica, se buscan los sismos en <http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html>

Una vez obtenidos los datos de los eventos que pertenecen a la fuente sismogénica deseada, se obtienen los registros digitales. Estos están disponibles en CD en el caso de la estación BOCO (ASL, 2000a, 2000b, 2000c, 2000d, 2000e, 2000f, 2000g, 2000h, 2000i, 2000j, 2000k), o disponibles libremente en internet en <ftp.iris.washington.edu>

Si se opta por la opción de Internet, se recibe un correo electrónico donde se notifica de la disposición del sismo. Este se obtiene de la dirección <ftp.iris.washington.edu>.

El programa que se utilizó para el análisis de los registros sísmicos fue D.I.M.A.S. – Display, *Interactive Manipulation and Analysis of Seismograms* (Dima, 1997, 2001). Este programa permite trabajar los registros en los dominios del tiempo y de la frecuencia.

Se utilizó densidad espectral de potencia, donde se determinó la frecuencia de esquina y la frecuencia máxima para cada registro.

## **FUENTES SISMOGENICAS**

Las fuentes sismogénicas analizadas fueron:

- Sistema de fallas de Guaicáramo.
- Nido de Bucaramanga.
- Sistema de fallas de Romeral.
- Sistema de fallas de Atrato.

El Nido de Bucaramanga se encuentra comprendido aproximadamente entre las coordenadas 72.5°-73.5°W y 6.3°– 7.3°N y es el que presenta mayor actividad sísmica de la región del Santander. El sistema de fallas Guaicáramo se extiende a lo largo del borde oriental de la Cordillera Oriental, y se considera como el límite oriental del bloque Andino. El sistema de fallas Romeral es una estructura que se extiende a lo largo del borde occidental de la Cordillera Central (Coral, 1987).

## **ANALISIS DE SISMOS**

Se analizaron 25 sismos, registrados en BOCO y en SDV, cuya magnitud mb es mayor de 3.0 distribuidos de la siguiente manera:

- ◆ 11 del Nido de Bucaramanga.
- ◆ 4 del Sistema de Fallas de Guaicáramo.
- ◆ 4 del Sistema de Fallas de Romeral.
- ◆ 6 del Sistema de Fallas de Atrato.

La figura N° 1 muestra la ubicación de los eventos sísmicos analizados y la ubicación de las estaciones BOCO y SDV, la figura 2 muestra un ejemplo de los registros, en tanto que la figura 3 muestra las densidades espectrales de potencia de los sismos, evaluadas con el programa DIMAS (Dima, 1997).

CONTENIDOS FRECUENCIALES DE SISMOS COLOMBIANOS REGISTRADOS EN BOCO Y EN SDV (1994-1996)

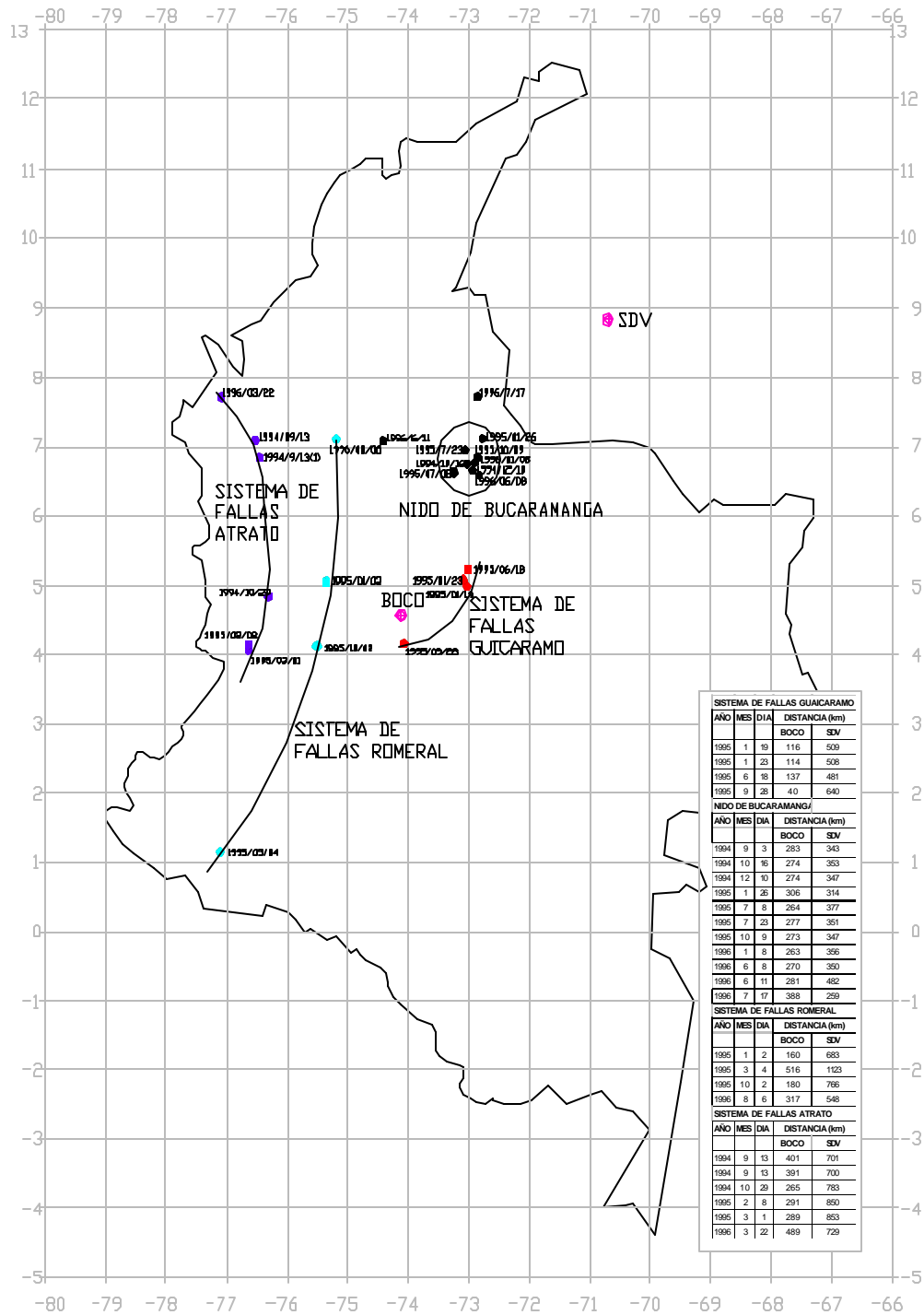


Figura N° 1. Ubicación de los sismos analizados y de las estaciones BOCO y SDV (Arévalo-Caro, 2002).

AREVALO Y ALFARO

**Tabla N° 1 CARACTERISTICAS DE LOS SISMOS DEL SISTEMA DE FALLAS GUAICÁRAMO**

CATALOGO	AÑO	MES	DIA	TIEMPO	COORDENADA		PROF	MAG	DIST (km)		BOCO		SDV	
				ORIGEN	LAT	LONG			km	mb	BOCO	SDV	fc	fmax
PDE	1995	1	19	173454.1	5	-73.08	33	4.9	116	509	0.32	8.5	0.39	8.7
PDE	1995	1	23	80059.74	5.04	-73.12	40	4.7	114	508	0.31	8.6	0.65	8.7
PDE	1995	6	18	65844.76	5.26	-73.01	33	4.3	137	481	0.96	8.5	1.7	8.6
PDE	1995	9	28	94439.07	4.23	-74.04	45	-	40	640	0.39	8.5	1.7	8.5

**Tabla N° 2. CARACTERISTICAS DE LOS SISMOS DEL NIDO DE BUCARAMANGA**

CATALOGO	AÑO	MES	DIA	TIEMPO	COORDENADA		PROF	MAG	DIST (km)		BOCO		SDV	
				ORIGEN	LAT	LONG			km	mb	BOCO	SDV	fc	Fmax
PDE	1994	9	3	84119.26	6.93	-73.03	162	4.4	283	343	1.3	8.8	2	8.8
PDE	1994	10	16	194738.7	6.86	-73.09	161	4.7	274	353	1.05	9	0.81	9
PDE	1994	12	10	152418.8	6.82	-72.99	158	5.4	274	347	0.85	9	0.99	9
PDE	1995	1	26	152823.4	7.03	-72.77	33	4.2	306	314	1.05	8.8	1.5	8.8
PDE	1995	7	8	170855.9	6.87	-73.37	150	4.3	264	377	1.7	8.7	2.05	8.7
PDE	1995	7	23	150651.9	6.9	-73.1	154	4.8	277	351	1.6	8.7	1.8	8.9
PDE	1995	10	9	143624	6.8	-72.97	163	4.5	273	347	0.8	9	0.98	9
PDE	1996	1	8	80013.6	6.71	-72.99	167	4.8	263	356	1.2	8.7	1.7	8.8
PDE	1996	6	8	210838	6.78	-72.99	160	4.3	270	350	1.55	8.9	1.7	8.9
PDE	1996	6	11	165735.4	7.06	-74.58	59	4.9	281	482	1.1	8.8	1.4	8.9
PDE	1996	7	17	211531.1	7.82	-72.71	33	4.5	388	259	0.6	8.95	1.05	8.9

**Tabla N° 3 CARACTERISTICAS DE LOS SISMOS DEL SISTEMA DE FALLAS DE ROMERAL**

CATALOGO	AÑO	MES	DIA	TIEMPO	COORDENADA		PROF	MAG	DISTANCIA		BOCO		SDV	
				ORIGEN	LAT	LONG			km	mb	BOCO	SDV	fc	fmax
PDE	1995	1	2	223324.5	5.01	-75.42	131	4.2	160	683	0.81	8.15	1.6	8.1
PDE	1995	3	4	232340.68	1.28	-77.31	5	4.4	516	1123	0.1	8.4	0.08	8
PDE	1995	10	2	1014.02	4.07	-75.58	191	3.9	180	766	0.45	8.1	1.7	8.1
PDE	1996	8	6	170135.79	7.17	-75.26	76	4.4	317	548	0.49	7.9	0.59	8

**Tabla N° 4. CARACTERISTICAS DE LOS SISMOS DEL SISTEMA DE FALLAS ATRATO**

CATALOGO	AÑO	MES	DIA	TIEMPO	COORDENADA		PROF	MAG	DISTANCIA (km)		BOCO		SDV	
				ORIGEN	LAT	LONG			km	mb	BOCO	SDV	fc	fmax
PDE	1994	9	13	100132.09	7.05	-76.68	13	6.1	401	701	0.2	9	0.32	9.1
PDE	1994	9	13	110731.61	6.97	-76.64	33	4.5	391	700	0.3	9	0.48	8.9
PDE	1994	10	29	230545.98	4.84	-76.42	117	3.9	265	783	0.7	8	0.1	8.3
PDE	1995	2	8	184025.38	4.1	-76.62	73	6.4	291	850	0.3	9	0.4	9
PDE	1995	3	1	234724.33	4.03	-76.59	121	4.1	289	853	0.7	8.5	0.6	8.4
PDE	1996	3	22	160423.38	7.76	-77.1	36	3.8	489	729	0.8	9	1	9

Del análisis realizado la frecuencia máxima para las fuentes sismogénicas permanecen relativamente constantes se presentan en la tabla 5(Arévalo-Caro, 2002).

<b>Tabla 5. Frecuencias Máximas(Arévalo-Caro, 2002)</b>		
	<b>BOCO</b>	<b>SDV</b>
Sistemas de falla Guaicáramo	8.5 Hz a 8.6 Hz	8.5 a 8.7 Hz
Nido de Bucaramanga	8.7 Hz a 9.0 Hz	8.7 a 9.0 Hz
Sistema de fallas Romeral	7.9 Hz a 8.4 Hz	8.0 a 8.1 Hz
Sistema de fallas Atrato	8.0 Hz a 9.0 Hz	8.3 a 9.1 Hz

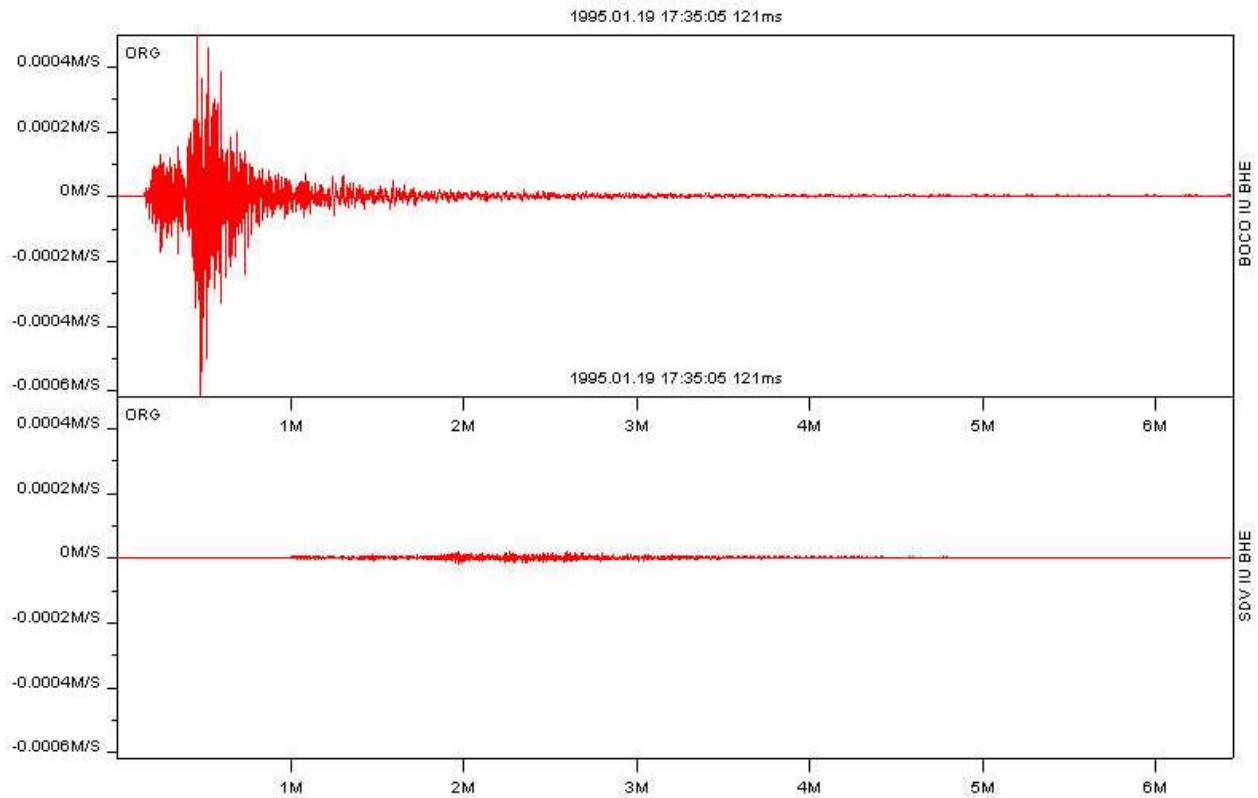


Figura N° 2. Evento 19/01/95. Sistema de Fallas de Guaicáramo. (Arévalo-Caro, 2002).

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

- La caracterización de sismos se realizó con registros digitales de la estaciones BOCO y SDV. La estación BOCO, operada por el Instituto Geofísico Universidad Javeriana y formó parte de los proyectos internacionales *Seismic Research Observatory-SRO* y *Global Seismograph Network-GSN*, estaba ubicada en el kilómetro 9 de la vía Bogotá-Choachí, sitio denominado “El Topón” en zonas aledañas al cerro Guadalupe. Las coordenadas de ubicación del sensor eran 4.5869N y 74.0432W, se encontraba instalado a una elevación de 3071m.s.n.m, dentro de una perforación en roca a 40 metros de profundidad. La estación SDV hace parte de GSN, *Global Seismograph Network*, está ubicada en Santo Domingo, Venezuela; las coordenadas de ubicación del sensor son 8.879N y 70.633W, se encuentra instalado a una elevación de 1518 m.s.n.m en una perforación en roca de 32 metros de profundidad.

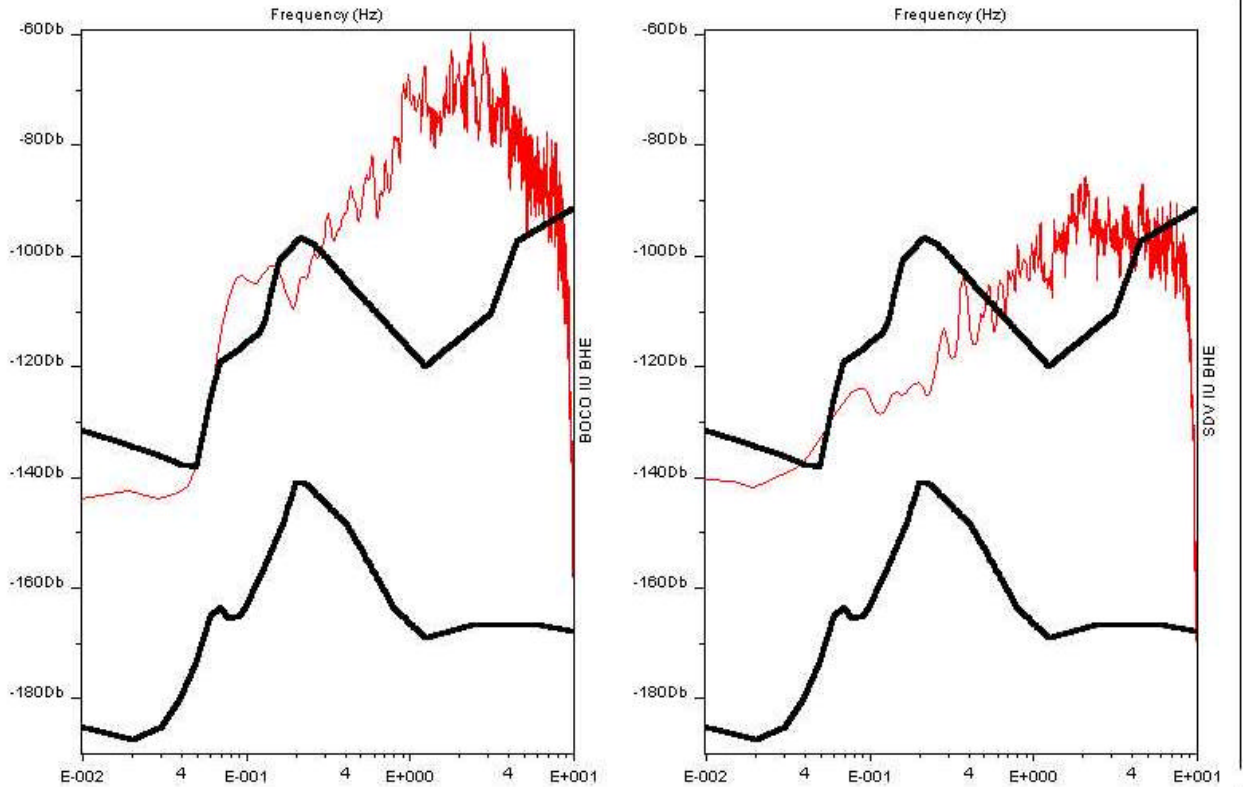


Figura N° 3. Evento 19/01/95. Sistema de Fallas de Guaicáramo. Densidades Espectrales de Potencia (Arévalo-Caro, 2002).

- En este estudio la magnitud mínima mb fue de 3.0.
- Las fuentes sismogénicas de las cuales se analizaron sismos fueron: el sistema de fallas Guaicáramo, el Nido de Bucaramanga, el sistema de fallas Romeral y el sistema de fallas Atrato.
- Se comprobó que, para una misma fuente sismogénica, los valores de la frecuencia máxima  $f_{max}$  son relativamente constantes. Para Guaicáramo del orden de 8.6 Hz, Bucaramanga 8.9 Hz, Romeral 8.1 Hz, Atrato fue la más dispersa con vibraciones entre 8.0 y 9.1 Hz, esto se puede deber a que es la fuente más alejada de las dos estaciones.
- Dentro del estudio realizado en este trabajo existen eventos sísmicos que, en su camino hacia la estación BOCO, atraviesan las tres cordilleras colombianas, como es el caso de la Falla Atrato, otros atraviesan dos cordilleras como en el caso de la Falla Romeral, razón por la cual es muy posible que exista pérdida de información en el contenido frecuencial de los registros debido a problemas tales como reflexión o refracción de ondas dentro de la estructura de la corteza terrestre o efectos de amplificación o de amplificación de la señal por condiciones topográficas.
- Debido a que la estación SDV, esta más alejada 24 de los 25 eventos analizados de las fuentes sismogénicas que BOCO, es posible que exista pérdida de la información en el contenido frecuencial de los registros, esto se puede ver representado en la frecuencia de esquina ya en BOCO en la mayoría de los casos es mayor en SDV.

- Para sistema de fallas de Guaicáramo se hacen las siguientes observaciones:
  - El rango de frecuencias de esquina  $f_c$  para BOCO, varia entre 0.3 Hz y 1.0 Hz.
  - El rango de frecuencias de esquina  $f_c$  para SDV, varia entre 0.39 Hz y 1.7 Hz.
  - A pesar de la existencia de eventos con distancias y magnitudes relativamente similares, las amplitudes máximas registradas son considerablemente variables.
  - Los eventos más cercanos a la estación registrados, de los cuales no se conoce su magnitud, presentan valores de frecuencia de esquina  $f_c$  cercanos pero difieren en cuanto a los valores de amplitudes máximas.
- Para el Nido de Bucaramanga se hacen las siguientes observaciones:
  - El rango de frecuencias de esquina  $f_c$  para BOCO, varia entre 0.6 y 1.7 Hz; para SDV, varía entre 0.81 y 2.05.
- Para el sistema de fallas Atrato se hacen las siguientes observaciones:
  - A pesar de que las ondas deben atravesar las tres cordilleras del territorio colombiano, filtrándose contenidos frecuenciales, el comportamiento de los espectros es muy homogéneo.
  - El rango de las frecuencias de esquina  $f_c$  varia entre 0.1 Hz y 0.8 Hz, para BOCO, y entre 0.08 y 1.7 Hz para SDV.

## REFERENCIAS.

- Alfaro-Arias C. (2001). Caracterización en el Dominio de la Frecuencia de Sismos Colombianos Registrados en la Estación BOCO. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá
- Alfaro-Arias C., R. Van Hissenhoven y A. Alfaro, (2001). Caracterización en el Dominio de la Frecuencia de Sismos Colombianos Registrados en la Estación BOCO. *Memorias de las XIV Jornadas Estructurales. Sociedad Colombiana de Ingenieros.* Bogotá.
- Arévalo-Caro, N. (2002) Caracterización de Sismos Colombianos Registrados Digitalmente en las estaciones BOCO y SDV. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.
- ASL Albuquerque Seismological Lab. (2000a) boco\_78\_80 CDROM. Albuquerque.
- ASL Albuquerque Seismological Lab. (2000b) boco\_81\_86 CDROM. Albuquerque.
- ASL Albuquerque Seismological Lab. (2000c) boco\_87\_94\_2 CDROM. Albuquerque.
- ASL Albuquerque Seismological Lab. (2000d) boco\_94\_3 CDROM. Albuquerque.
- ASL Albuquerque Seismological Lab. (2000e) boco\_94\_4 CDROM. Albuquerque.
- ASL Albuquerque Seismological Lab. (2000f) boco\_95\_1 CDROM. Albuquerque.
- ASL Albuquerque Seismological Lab. (2000g) boco\_95\_2 CDROM. Albuquerque.
- ASL Albuquerque Seismological Lab. (2000h) boco\_95\_3 CDROM. Albuquerque.

- ASL Albuquerque Seismological Lab. (2000i) boco\_96\_1\_2 CDROM. Albuquerque.
- ASL Albuquerque Seismological Lab. (2000j) boco\_96\_2 CDROM. Albuquerque.
- ASL Albuquerque Seismological Lab. (2000k) boco\_96\_3 CDROM. Albuquerque.
- Calpa, C y A. Alfaro. (2000) Desinstalación Estación Sismológica BOCO. Informe Técnico. Instituto Geofísico Universidad Javeriana. Bogotá.
- Coral, C. (1987). Los Terremotos en Colombia y Características de su Origen Profundo. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geociencias. Bogotá.
- Dima, D. (1997). DIMAS. Display, Interactive Manipulation and Analysis of Seismograms, Laboratorio Sísmico de Albuquerque. Nuevo México.
- Dima, D. (2001). DIMAS. Display, Interactive Manipulation and Analysis of Seismograms, Laboratorio Sísmico de Albuquerque. Nuevo México.
- Egozcue, J.J. (1997) Apuntes de Tratamiento de Señales. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- Iris. (2001). [http://www.iris.washington.edu/FDSN/station\\_book](http://www.iris.washington.edu/FDSN/station_book). Fecha de Consulta: Septiembre 2001.
- Kramer, S. (1996) Geotechnical Earthquake Engineering. University of Washington. Prentice Hall. New Jersey. 653 pag.

### **Agradecimientos**

Estos resultados hacen parte del Proyecto de Investigación de la Vicerrectoría Académica 799 "Caracterización de Sismos Colombianos registrados digitalmente en la Estación BOCO"