ANÁLISIS DE LOS ACELEROGRAMAS REGISTRADOS EN LOS TERREMOTOS DE EL SALVADOR DE 2001

C. López Casado[1], B. Benito[2], J.J. Bommer[3], M. Ciudad Real[4] y J.A. Peláez[5]
[1]*Universidad de Granada,* [2] *Universidad Politécnica de Madrid,* [3] *Imperial College ,* [4] *Kinemetrics,* [5] *Universidad de Jaen.* clcasado@ugra.es

RESUMEN

Este estudio presenta una caracterización preliminar de los movimientos debidos a los terremotos ocurridos en El Salvador a comienzos del 2001, basada en el análisis de los registros acelerométricos de los sismos del 13 de Enero (M_w = 7,7) y el 13 de Febrero (M_w = 6,6), el primero originado en la zona de subducción de la placa de Cocos y el segundo dentro de la placa del Caribe. Se presentan las características básicas de los registros, incluyendo sus espectros de respuesta, y se muestra que los valores elevados de PGA registrados concuerdan con los valores esperados según ecuaciones recientes de atenuación.

Palabras clave: movimiento fuerte, El Salvador, Centro América, acelerogramas.

SUMMARY

This study presents a preliminary characterisation of the motions generated by the earthquakes that occurred in El Salvador in early 2001, based on the analysis of accelerograms of the earthquakes of 13 January (Mw = 7,7) and 13 February (Mw = 6.,), the first originating in the subducted Cocos plate, the second within the over-riding Caribbean plate. The basic characteristics of the motions, including response spectra, are presented and it is shown that the high values of recorded PGA agree with those predicted by current attenuation relationships.

Key words: strong motion, El Salvador, Central America, accelerograms.

Introducción

En los primeros dos meses del año 2001, la República Centroamericana de El Salvador fue afectada por dos terremotos destructores, además de un tercer sismo que aunque no reportó víctimas, causó también considerable alarma en la población. El primer sismo ocurrió el 13 de Enero y fue el quinto terremoto destructivo que ha azotado este pequeño país en 50 años, desde la destrucción de las ciudades orientales de Jucuapa y Chinameca en Mayo de 1951 (Ambraseys *et al*., 2001). Los sismos de Jucuapa-Chinameca fueron de magnitud moderada (≈ 6) y de profundidad focal pequeña, con las características típicas de los eventos que tienen lugar a lo largo de la cadena volcánica, en el istmo de Centro América (White y Harlow, 1993). En la segunda mitad del siglo pasado, terremotos parecidos causaron daños muy serios en la capital, San Salvador, en 1965 y en 1986 (Lomnitz y Schulz, 1966; Bommer y Ledbetter, 1987; EERI, 1987).

A diferencia de los anteriores, el terremoto del 13 de Enero tuvo su origen en la zona de subducción, donde la placa de Cocos desciende debajo de la placa del Caribe en la fosa meso-americana. Con una magnitud de M_s = 7,6 y M_w = 7,7, este sismo ha sido el mayor evento de subducción frente a las costas de El Salvador en más de un siglo (Ambraseys y Adams, 1996). Las características del mismo son parecidas a las del evento del 19 de Junio

de 1982, que fue de magnitud M_w 7,3, y fue ubicado frente a las costas occidentales de El Salvador. Ese sismo provocó deslizamientos en la zona suroccidental del país y produjo daños en casas de adobe y de bahareque, pero el número de víctimas mortales fue estimado entre 8 y 40 (Alvarez, 1982; Lara, 1983). El sismo del 13 de Enero de 2001 ha sido localizado por el CASC con un epicentro a 12,868° N y 88,767° W, situado a unos 40 km de la costa al sur de San Vicente y con profundidad focal de 60 km. El mecanismo focal determinado por la Universidad de Harvard muestra un plano de falla con rumbo 309° y buzamiento de 56° hacía el NNE, coincidiendo con la ubicación de la placa de Cocos debajo de la placa del Caribe (Burbach *et al*., 1984).

El sismo del 13 de Enero fue seguido de un importante número de réplicas y otros sismos de diferente profundidad en puntos del valle central del país, y exactamente al cabo de un mes tuvo lugar un nuevo terremoto, el 13 de Febrero, con diferente origen que el anterior. Este segundo evento, con magnitud M_w 6,6, tuvo su epicentro, según el CIG, a 13,60° N y 88,85° W, situado cerca de la ciudad y el volcán de San Vicente, dentro de la placa del Caribe. Su mecanismo, según Harvard, fue de desgarre dextral y la localización de las réplicas según el CIG, muestra un plano de falla con orientación E-W. Conviene destacar que existe un elemento de incertidumbre sobre el origen tectónico de este sismo, que por su ubicación y mecanismo sería compatible con eventos típicos de la cadena volcánica, incluyendo un sismo destructor que ocurrió en el mismo lugar en 1936 (Levin, 1940). Sin embargo, su magnitud ha sido grande, comparada con otros sismos superficiales en El Salvador que causaron mayor daño, lo que induce a contemplar la posibilidad de que la profundidad focal del sismo del 13 de Febrero haya sido superior a los valores de 8 km y 13 km, reportados por el CIG y por el USGS, respectivamente.

El 17 de Febrero tuvo lugar un tercer sismo que alarmó nuevamente a la población, localizado al Sur del área metropolitana de San Salvador, con epicentro a 13,66 º N y 89,24º W. Su magnitud ha sido estimada en 5,1 (según CIG) y fue sucedido también por un considerable número de réplicas. Este es también un terremoto local, de cadena volcánica, pero de menor magnitud que el anterior y que apenas causó daños.

Existen en El Salvador tres redes acelerográficas, dos digitales, operadas por la Universidad Centroamericana y por GESAL, y una analógica a cargo del CIG (Bommer *et al*., 1997). Este estudio presenta un análisis preliminar de los registros digitales obtenidos durante los sismos de 2001, dedicando especial atención a los dos primeros, que fueron destructores.

Objetivos

El objetivo del presente trabajo es caracterizar los movimientos registrados en los terremotos ocurridos en El Salvador durante Enero y Febrero de 2001 y estudiar sus atenuaciones en relación con las reflejadas en modelos recientes de movimiento fuerte, tanto para sismos de subducción como para sismos de carácter local.

Análisis de los registros acelerométricos correspondientes a los sismos del 13 de Enero y 13 de Febrero de 2001

A continuación se presenta un análisis preliminar de los registros de movimiento fuerte disponibles para los sismos del 13 de Enero y del 13 de Febrero de 2001, casi todos ellos obtenidos por la red acelerométrica de la UCA. Dicha red consta de 10 estaciones (SSA-2 de Kinemetrics), distribuidas en torno a San Salvador, de las cuales 9 han registrado de forma fiable el primero de estos eventos y 8 han registrado el segundo, cada una de ellas en tres componentes: Este-Oeste, Norte-Sur y Vertical. Se incluye también en el análisis un registro del sismo del 13 de Enero en el campo Geotérmico de Berlín. El mapa de la figura 1 muestra la localización epicentral de los dos sismos objeto de estudio, junto con la ubicación de las estaciones acelerométricas empleadas en el análisis.

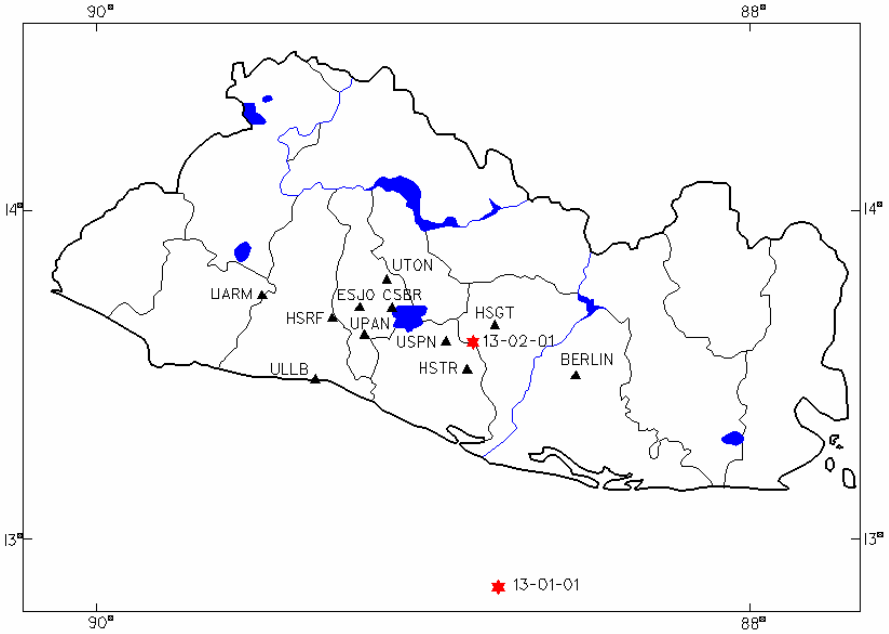


Figura 1. *Localizaciones epicentrales de los sismos del 13 de enero y 13 de febrero de 2001 y ubicación de las estaciones de registro cuyos datos han sido incluidos en este análisis. (Red Talulin, Campo Geotérmico Berlín)*

Código	Ubicación	φ^0 N	λ^0 O
HSRF	Hospital San Rafael, Santa Tecla	13.671	89.279
USPN	Unidad de Salud, San Pedro Nonualco	13.602	88.927
HSTR	Hospital Santa Teresa, Zacatecoluca	13.517	88.869
HSGT	Hospital Santa Gertrudis, San Vicente	13.642	88.784
ESJO	Colegio Externado San José, San Salvador	13.707	89.207
UPAN	Unidad de Salud, Panchimalco	13.614	89.179
ULLB	Unidad de Salud, Puerto de la Libertad	13.486	89.327
CSBR	Hospital Nacional, San Bartolo	13.704	89.106
UARM	Unidad de Salud, Armenia	13.744	89.501
UTON	Unidad de Salud, Tonacatepeque	13.778	89.114

Los registros han sido procesados inicialmente efectuando corrección instrumental y de línea-base. Se han empleado filtros Ormsby con frecuencias de filtrado de 0,06-0,12 Hz paso-alta y 43,0-45,0 Hz paso baja. En la figura 2 se muestran las historias temporales de aceleración, velocidad y desplazamiento, correspondientes a los registros corregidos del sismo del 13 de Enero, en componente NS, que fue en la mayor parte de los casos la que registró el mayor movimiento.

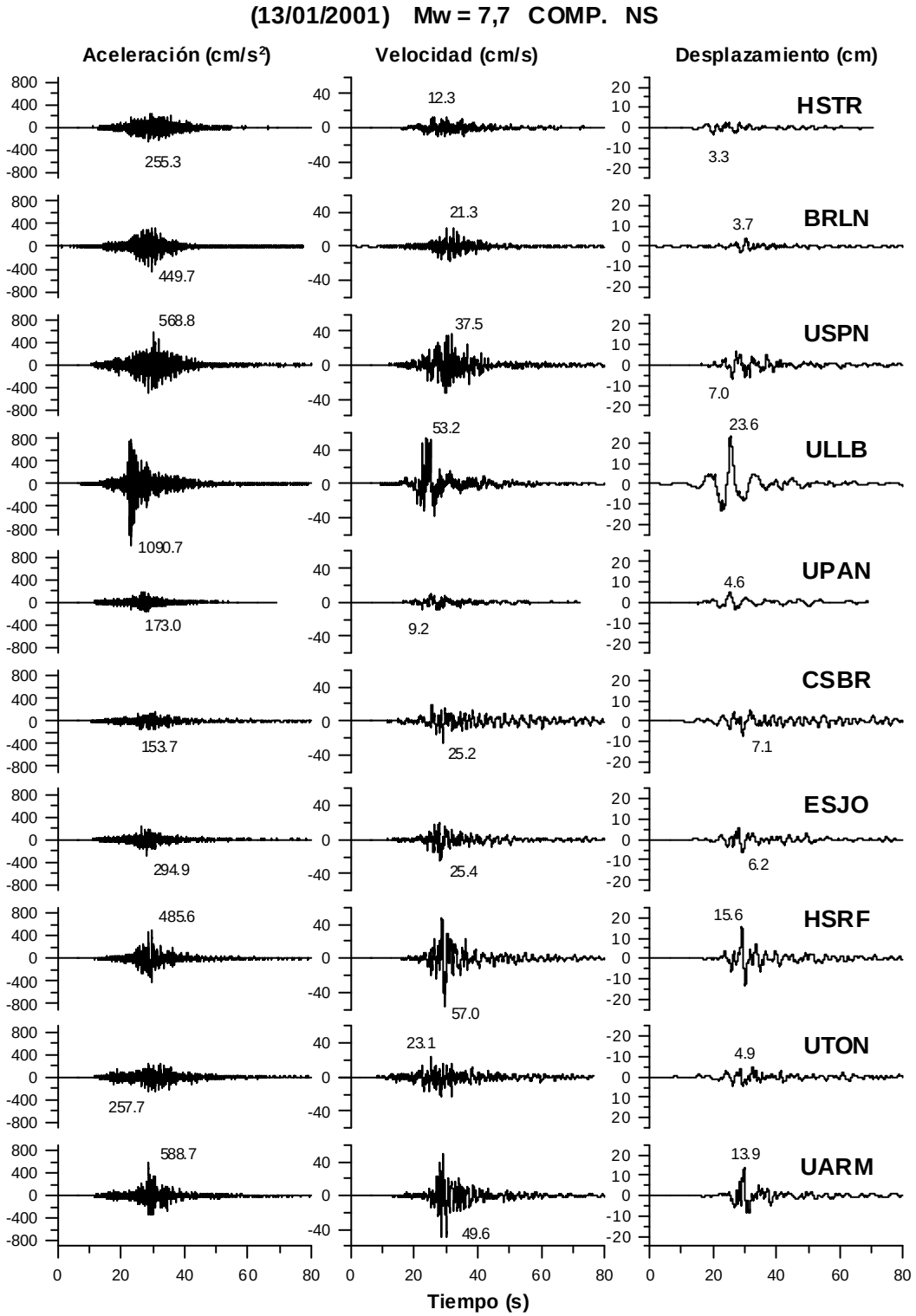


Figura 2. *Historias temporales de aceleración, velocidad y desplazamiento derivadas del procesamiento de los registros para el sismo del 13 de Enero de 2001, con indicación de los valores pico para cada uno de los parámetros*

A partir de los registros corregidos se han estimado distintos parámetros y espectros característicos del movimiento, de interés en ingeniería sísmica, que en un estudio posterior serán correlacionados con los daños causados por los terremotos objeto de este análisis.

Para cada componente registrada se han estimado, además de los valores pico de la aceleración, velocidad y desplazamiento máximos (A_{max}, V_{max}, D_{max}), la intensidad de Arias (Arias, 1970), I_A, la duración significativa, T_D, (Trifunac & Brady, 1975) la aceleración cuadrática media, la Intensidad de Housner (Housner, 1952) y el espectro de respuesta. De éste se incluye, además del correspondiente gráfico, el valor de la pseudo-aceleración máxima PSA_{max} y el periodo predominante T_p asociado. Todos los parámetros calculados se presentan en la tabla 2

Tabla 2 *Parámetros característicos del movimiento fuerte para el sismo del 13 de Enero de 2001*

Estaciones		a_{max} (cm/s^2)	v_{max} (cm/s)	d_{max} (cm)	I_{Arias} (m/s)	T_D (s)	a_{rms} (m/s^2)	I_H (ξ=0.05) (cm)	PSA_{max} (ξ=0.05) (cm/s^2)	T_p (s)
UARM	NS	588,7	49,6	13,9	3,55	14,3	1,24	398	1694	0,8
	V	218,6	19,6	6,6	1,54	22,8	0,65	153,4	990	0,2
	EW	445,2	53,2	9	4,16	14,3	1,35	376,4	1415	0,8
BRLN	NS	449,7	21,3	3,7	2,95	16,6	1,05	144,8	1603	0,3
	V	230,6	12,3	4,4	0,94	22,4	0,51	89,5	924	0,2
	EW	362,2	24	2,3	3,62	17,1	1,15	132,7	1478	0,2
CSBR	NS	153,7	25,2	7,1	0,86	36	0,38	231,3	528	0,3
	V	162,5	15,2	5,3	0,69	25,9	0,41	148	454	0,2
	EW	195	31,2	9	1	28,6	0,47	264,8	690	0,5
ESJO	NS	294,9	25,4	6,2	1,15	19,9	0,6	188	1118	0,3
	V	150,5	11,9	5,8	0,65	25,7	0,4	84,8	651	0,3
	EW	272,3	17,4	5,6	1,06	21,6	0,55	189	774	0,2
ULLB	NS	1090,7	53,2	23,6	9,66	12,8	2,16	237,4	5042	0,2
	V	603,2	16	8,9	1,94	15,6	0,88	83,6	1585	0,1
	EW	563,1	35,5	9,8	4,44	12,4	1,49	173	3028	0,2
USPN	NS	568,8	37,5	7	5,87	16,7	1,48	310,6	2170	0,5
	V	429,9	18,2	5,1	3,62	19,8	1,07	119,5	1852	0,3
	EW	478,2	26,4	3,7	6,94	16,5	1,62	228,4	2077	0,2
UPAN	NS	173	9,2	4,6	0,56	19,1	0,43	77,8	842	0,1
	V	86,9	7,3	5,4	0,16	20,6	0,22	41,8	379	0,2
	EW	150,9	9,4	3,3	0,26	20,1	0,28	64,8	520	0,1
HSRF	NS	485,6	57	15,6	3,17	13,8	1,2	361,9	1657	0,3
	V	238,3	18,5	6,8	1,24	21,3	0,6	156,1	846	0,1
	EW	476,8	34,2	7,7	3,44	15,8	1,17	320,1	1718	0,5
UTON	NS	257,7	23,1	4,9	1,83	28,5	0,63	238,2	750	0,3
	V	200,8	9,8	4,8	0,91	26,8	0,46	105,4	768	0,1
	EW	229,7	23,2	8,3	1,69	27,3	0,62	204	941	0,2
HSRT	NS	255,4	12,3	3,3	1,66	19,2	0,74	105,7	1003	0,1
	V	248,4	10,4	5,3	1,46	21,6	0,65	61,1	1214	0,1
	EW	307,6	21,9	7,2	1,53	20	0,69	144,7	805	0,1

Es de destacar que el nivel de aceleración de ULLB, resulta anormalmente alto teniendo en cuenta el daño moderado experimentado en la zona que rodea a la estación. El Centro de Salud donde se ubica apenas ha sufrido daños, y éstos son ligeros o moderados en el área circundante. Por otra parte, el valor pico registrado es notablemente más alto que los de las restantes estaciones de la red. Todo ello induce a pensar en una posible amplificación del movimiento debido a la cimentación del edificio o a algún efecto de respuesta muy local. De hecho, examinando registros de otros terremotos en la misma red, se ha podido comprobar que los acelerogramas de ULLB presentan siempre valores de PGA superiores al resto de las estaciones, con una frecuencia predominante entorno a 5 Hz, lo que avala la hipótesis de posible amplificación a esa frecuencia.

Un análisis similar se ha llevado a cabo con registros del sismo del 13 de Febrero, cuyos resultados se muestran en la figura 3, también para componente NS, y en la Tabla 3.

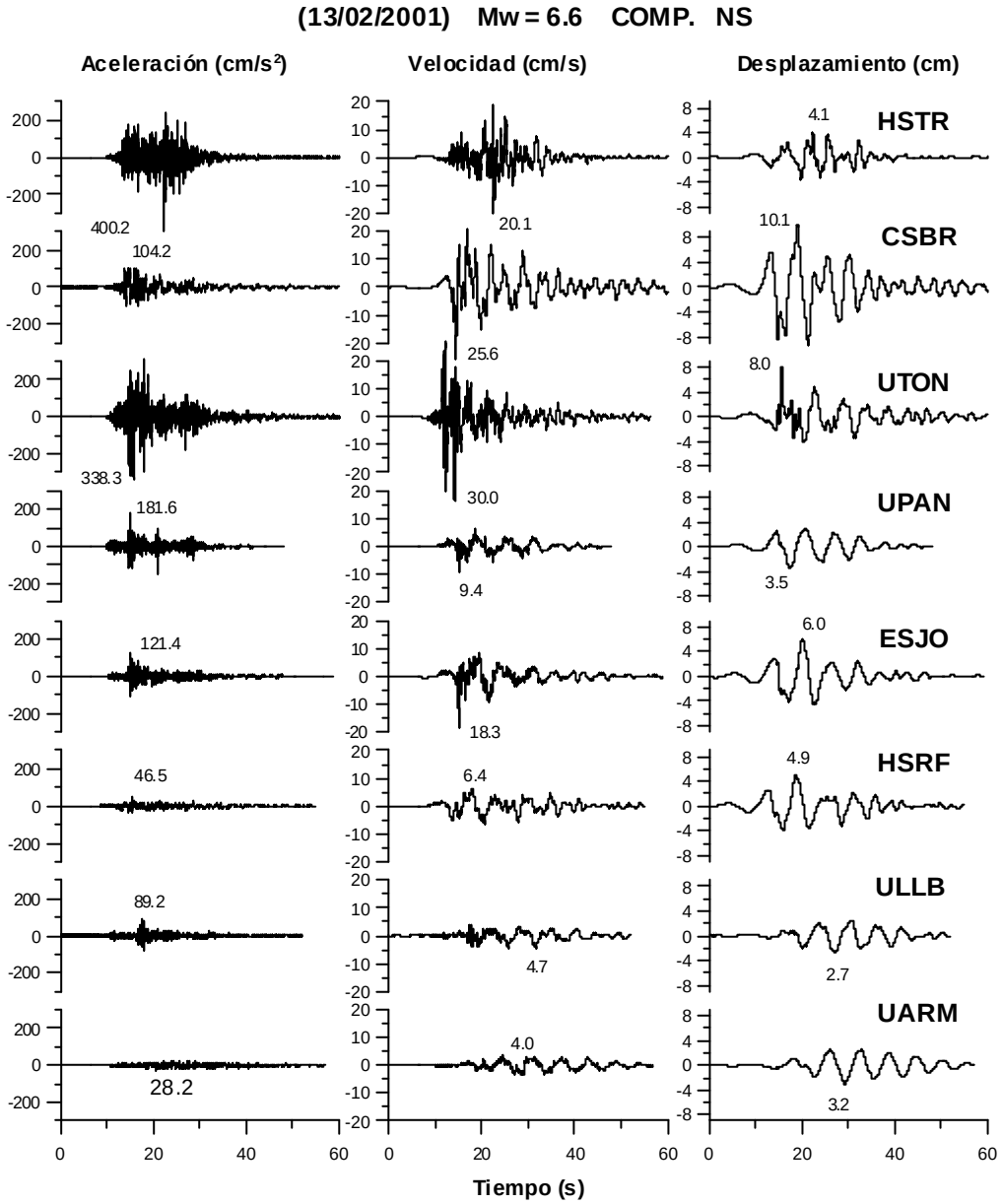


Figura 3. *Historias temporales de aceleración, velocidad y desplazamiento derivadas del procesamiento de los registros para el sismo del 13 de Febrero de 2001, indicando valores pico*

No se tienen registros de este terremoto en las dos estaciones más próximas al epicentro: HSGT y USPN, habiéndose registrado la mayor aceleración en la siguiente estación más cercana, HSTR, donde se alcanzó un valor del orden de 0.4 g en componente NS.

Tabla 3 *Parámetros característicos del movimiento fuerte para el sismo del 13 de Febrero de 2001*

Estaciones		a_{max} (cm/s^2)	v_{max} (cm/s)	d_{max} (cm)	I_{Arias} (m/s)	T_D (s)	a_{rms} (m/s^2)	I_H (ξ=0.05) (cm)	PSA_{max} (ξ=0.05) (cm/s^2)	Tp (s)
UARM	NS	28,2	4,0	3,2	0,03	28,5	0,08	27,0	97	0,2
	V	25,9	1,3	0,6	0,02	27,9	0,07	13,7	125	0,1
	EW	36,1	2,3	0,9	0,03	29,6	0,08	24,0	88	0,2
CSBR	NS	104,2	25,6	10,1	0,34	20,3	0,32	164,2	356	0,5
	V	120,7	6,9	2,1	0,19	19,4	0,24	72,5	338	0,2
	EW	138,6	22,3	7,5	0,34	21,1	0,32	155,8	445	0,3
ESJO	NS	121,4	18,3	6,0	0,19	15,0	0,28	70,4	415	0,5
	V	51,0	2,7	0,8	0,04	21,4	0,11	30,8	129	0,3
	EW	97,2	6,6	1,8	0,12	17,4	0,21	50,6	320	0,5
ULLB	NS	89,2	4,7	2,7	0,08	19,1	0,16	34,7	367	0,2
	V	35,8	3,1	2,3	0,02	25,6	0,07	23,5	118	0,2
	EW	91,5	4,5	2,5	0,09	16,8	0,18	30,5	525	0,2
HSTR	NS	400,2	20,1	4,1	1,19	13,4	0,74	138,5	912	0,1
	V	257,4	9,6	1,5	0,89	13,5	0,64	67,6	1122	0,1
	EW	298,6	20,4	3,6	1,32	13,6	0,78	157,9	891	0,1
UPAN	NS	181,6	9,4	3,5	0,17	14,6	0,27	38,2	526	0,1
	V	43,6	2,0	1,2	0,03	17,7	0,11	19,4	190	0,1
	EW	104,0	4,6	2,7	0,06	17,1	0,15	28,8	236	0,1
HSRF	NS	46,5	6,4	4,9	0,04	27,2	0,09	48,1	155	0,2
	V	22,4	2,0	0,6	0,01	27,5	0,06	27,2	64	0,1
	EW	39,6	4,8	2,0	0,04	29,4	0,09	47,1	138	0,2
UTON	NS	338,3	30,0	8,0	1,60	14,6	0,83	205,8	988	0,2
	V	235,4	10,5	1,9	0,74	16,8	0,52	92,9	776	0,1
	EW	246,2	24,7	6,8	1,03	18,7	0,59	142,5	726	0,3

Los espectros de respuesta de los terremotos del 13 de Enero y 13 de Febrero, correspondientes a la componente NS del movimiento, con amortiguamiento crítico del 5 %, se incluyen en la figura 4.

Es de destacar que en cada estación la forma del espectro es bastante similar para ambos terremotos, si bien varía el factor de escala, aunque la variación es mínima en UPAN, CSBR y UTON. Se pone de manifiesto que el tipo de suelo en las estaciones resulta un factor dominante en la forma de los espectros.

Características de los movimientos registrados en relación con las de otros sismos locales y de subducción

Comparando las características de los movimientos objeto de este estudio con otros registrados en la zona, tanto de subducción como de cadena volcánica, pueden inferirse algunas analogías y diferencias.

El sismo del 13 de Enero de 2001, fue un sismo de subducción de M_W = 7,7 y profundidad 60 km, que se sintió en todo el país, especialmente en la zona centro sur occidente, al igual que el anterior sismo ocurrido con este origen, el 19 de Junio de 1982. Sin embargo esté fue de menor magnitud, M_w = 7,3 y mayor profundidad, H = 80 km y causó daños mucho menores. Ambos sismos fueron de larga duración, como es propio de este tipo de eventos, pero el de 2001 alcanzó los 45 s, mientras que el de 1982 duró aproximadamente 30 s. Los dos sismos han producido importantes deslizamientos,

especialmente en taludes de ceniza volcánica, siendo tal vez ésta la mayor fuente de daños reportados. Las aceleraciones pico registradas resultan, en principio, anormalmente altas en el sismo de 2001, en relación con las registradas en otros sismos de subducción. Sin embargo estas altas aceleraciones en función de la distancia se han registrado puntualmente en algunos eventos de este tipo, como en los sismos de Perú de 1966 y 1970 para los que se alcanzaron, respectivamente, aceleraciones de 0,4 g a 160 km y de 0,13 g a 320 km (Cloud y Pérez, 1971).

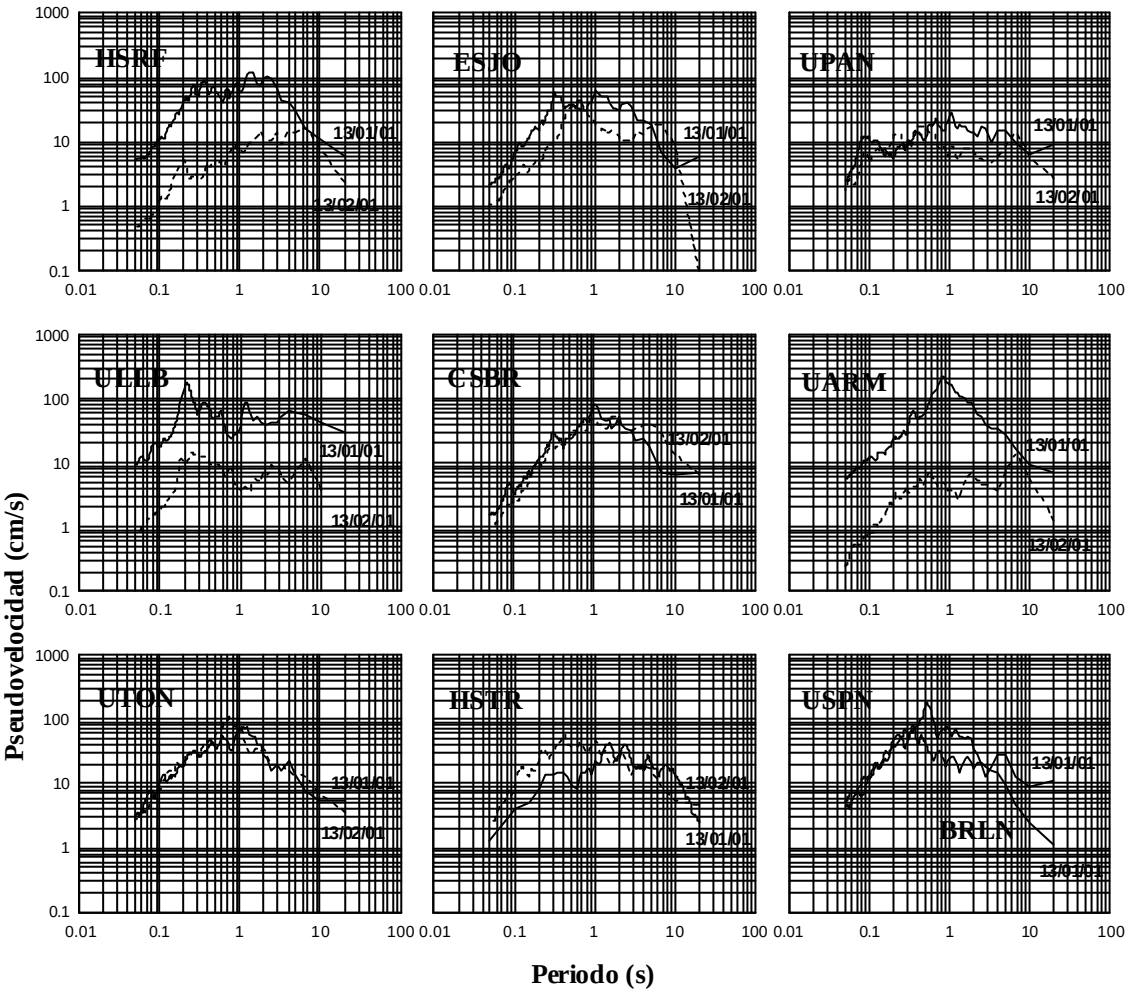
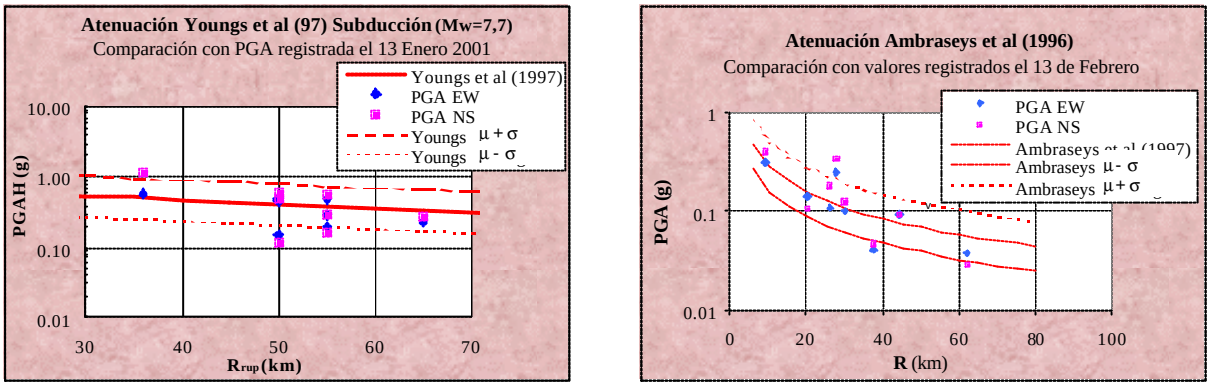


Figura 4 *Espectros de respuesta de pseudo-velocidad para los sismos del 13 de Enero (línea continua) y 13 de Febrero (línea discontinua) correspondientes a la componente NS del movimiento, con amortiguamiento crítico del 5 %. Cada cuadro contiene los espectros de los dos terremotos en cada una de las estaciones, exceptuando el último, donde se representan espectros del 13 de enero en dos estaciones: USPN y BRLN*

El sismo del 13 de Febrero en San Vicente fue de cadena volcánica, con magnitud M = 6,6 y profundidad estimada en 12 km, aunque está siendo cuestionada y probablemente sea mayor. El anterior sismo con el mismo origen, aunque diferente localización, ocurrió el 10 de Octubre de 1986, de magnitud M_w =5,7 y profundidad de 8 km. La duración de éste no sobrepasó los 5 segundos, pero se registraron altos valores de PGA horizontal, oscilando entre 0,32 g y 0,72 g en distintas estaciones de San Salvador, donde se ubicó el epicentro. El sismo de 1986 fue por tanto de menor magnitud y duración que el de 2001, pero las aceleraciones registradas fueron más altas y el daño causado considerablemente mayor.

Las atenuaciones de ambos sismos para la PGA han sido también estudiadas y comparadas con las dadas por algunos modelos de movimiento fuerte en función de la distancia a la superficie de ruptura o a su proyección horizontal. Para el sismo del 13 de Enero los valores registrados se han comparado con los predichos según el modelo de Youngs *et al* (1997) para eventos de subducción (intraslab), como se muestra en la figura 5a. Para el sismo del 13 de Febrero, la comparación se lleva a cabo con el modelo de Ambraseys *et al* (1996). En ambos modelos se han representado los valores medios y el intervalo del 85 % de confianza ($m \pm \sigma$), pudiendo observar que los valores ahora registrados generalmente quedan dentro de dicho intervalo. Conviene destacar, para mejor interpretación de estos resultados, que el primer modelo fue deducido a partir valores medios geométricos de las dos componentes horizontales, mientras el segundo emplea el valor máximo de ambas.



a) **b)**

Figura 5. *Atenuaciones de PGA comparadas con algunos modelos de movimiento fuerte:*

a) *Valores registrados el 13 de Enero, en relación con el modelo de Youngs et al (1997), en función de la distancia más próxima la superficie de ruptura (R_{rup})*

b) *Valores registrados el 13 de Febrero, en relación con el modelo de Ambraseys et al (1996), en función de la distancia más próxima a la proyección horizontal de la ruptura (R)*

Conclusiones

Los registros proporcionados por las redes de acelerógrafos digitales en los sismos de Enero y Febrero de 2001, constituyen datos muy importantes para la investigación de amenaza sísmica en El Salvador y en Centroamérica, permitiendo nuevas investigaciones sobre las características, tanto de los movimientos fuertes, como de su atenuación en esta región. El análisis preliminar aquí presentado ha mostrado que las amplitudes máximas de aceleración, aunque elevadas, no fueron inesperadas en relación con la distancia a la ruptura o a su proyección horizontal, según ecuaciones de atenuación recientes. El efecto de sitio juega un importante papel en los movimientos registrados, siendo las formas espectrales de ambos terremotos similares en cada estación. Por otra parte, a pesar de las altas aceleraciones, los daños en estructuras de concreto armado e incluso de mampostería han sido relativamente bajos, manifestándose los mayores efectos destructivos en materiales como el adobe y bahareque, además de en un importante número de deslizamientos en suelos volcánicos (especialmente el 13 de enero). Futuros estudios se enfocarán a la relación entre las características del movimiento y los daños causados, así como a la revisión de las acciones sísmicas en el código de diseño estructural vigente en El Salvador.

Referencias

Alvarez G., S. de J. (1982), "Informe técnico sobre aspectos sismológicos del terremoto en El Salvador del 19 de junio de 1982", Centro de Investigaciones Geotécnicas, Ministerio de Obras Públicas, San Salvador, El Salvador.

Arias, A. (1970), "A mesure of earthquake intensity in Seismic design for nuclear power plants", R.J. Hansen (ed.), MIT Press, Cambridge, pp. 438-483.

Ambraseys, N.N. & R.D. Adams (1996), "Large-magnitude Central American earthquakes, 1898-1994", Geophysical Journal International, **127**, pp 665-692.

Ambraseys, N.N.; Simpson, K.A. y Bommer J.J. (1996). "*Prediction of Horizontal Response Spectra in Europe."* Earthq. Engin. & Str. Dyn,. Vol 25, pp 371-400.

Ambraseys, N.N., J.J. Bommer, E. Buforn & A. Udías (2001), "The earthquake sequence of May 1951 at Jucuapa, El Salvador", Journal of Seismology **5**(1), pp 23-39

Bommer, J. & S.R. Ledbetter (1987), "The San Salvador earthquake of 10th October 1986", Disasters, 11, 83-95.

Bommer**,** J.J., A. Udías, J.M. Cepeda, J.C. Hasbun, W.M. Salazar, A. Suárez, N.N. Ambraseys, E. Buforn, J. Cortina, R. Madariaga, P. Méndez, J. Mezcua & D. Papastamatiou (1997), "A new digital accelerograph network for El Salvador", Seismological Research Letters 68, pp 426-437.

Burbach, G.V. C. Forhlich, W.D. Pennington & T. Matumoto (1984), "Seismicity and tectonics of the subducted Cocos plate", Journal of Geophysical Research **89**(B9), pp 7719-7735.

Cloud, W and Perez, V (1971). "Unusual accelerograms recorded at Lima, Peru". Bulletin of the Seismological Society of America **61**, pp 633-640.

EERI (1987), "The San Salvador earthquake of October 10, 1986", Earthquake Spectra **3**(3).

Housner, G.W. (1952), "Intensity of ground motion during strong earthquakes", California Institute of Technology, Earthquake Research Laboratory.

Lara, M.A. (1983), "The El Salvador earthquake of June 19, 1982", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, EERI Newsletter **17**(1), January, pp 87-96

Levin, S.B. (1940), "The Salvador earthquakes of December 1936", Bulletin of the Seismological Society of America **30**, pp 377-407.

Lomnitz, C. & R. Schulz (1966), "The San Salvador earthquake of May 3, 1965", Bulletin of the Seismological Society of America **56**, pp 561-575.

Trifunac, M.D. and Brady, A.G. (1975). A study of the duration of strong earthquake ground motion. Bulletin of the Seismological Society of America., 65, 581-626

Youngs, R.R., Chiou, S.J., Silva, W.J., and Humphrey, J.R (1997), "Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes", Seismological Research Letters, V 68, nº 1, pp 58-73.

White, R.A. & D.H. Harlow (1993), "Destructive upper-crustal earthquakes of Central America since 1900", Bulletin of the Seismological Society of America **83**(4), pp 1115-1142.

Agradecimientos

Agradecemos a los Ings. Javier Rivas, Salvador Handal Candray y José Antonio Rivas de GESAL por proporcionar el acelerograma Berlín y a la Ing. Patricia Méndez de Hasbun de la UCA por su colaboración con este trabajo. J.M. Cepeda prestó ayuda muy valiosa en la interpretación de los registros recuperado de la red TALULIN de la UCA, la cual es mantenida baja su dirección.