

INFORME PRELIMINAR SOBRE LOS SISMOS DEL
29 DE NOVIEMBRE DE 1978 EN EL ESTADO DE
OAXACA

J. M. ESPINOSA *
L. ALONSO *
I. MORA *
J. CAJIGA **
J. PRINCE ***

INFORME IPS-4

Diciembre 8, 1978

- * INVESTIGADOR, INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM
** AYUDANTE DE INVESTIGADOR, INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM
*** INVESTIGADOR, SUBDIRECTOR, INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM

T A B L A 4

ACELERACIONES MAXIMAS (EN GALS) REGISTRADAS EN SISMEEX.				
Estación	Componente	S I S M O		
		I	II	III
Cd. Universitaria	N-S	24	2	4
	V	5	1	2
	E-W	21	2	6
Hospital ABC	N-S	5	a	a
	V	4	a	a
	E-W	4	a	a
Puebla	N-S	13	3	4
	V	10	1	1
	E-W	22	3	6

a = aceleracion menor que 1 gal.

T A B L A 2

Estación	Horas de llegada (TMG)		
	S I S M O		
	I	II	III
Tonantzintla, Pue.	19:53:44	20:05:40	20:50:13
Tuxpan, Gro.	19:53:45	20:05:41	20:50:14
El Pino, Mex.	19:53:52	20:05:48	20:50:20
Cd. Universitaria, D.F.	19:53:55	20:05:52	20:50:29
Sta. Rita, Mex.	19:53:59	—	20:50:36

1. INTRODUCCION

El 29 de noviembre de 1978, a las 19h 52m 36s TMG (tiempo medio de Greenwich) se inició una serie de movimientos sísmicos con origen en el estado de Oaxaca, de los cuales los primeros fueron sentidos y provocaron daños en diversas poblaciones del centro y sur del país.

El primer sismo presenta aspectos de interés por la amplitud de la zona afectada y porque, a pesar de que las aceleraciones máximas registradas en la ciudad de México son del orden de dos por ciento de la gravedad, afectó algunas estructuras y provocó alarma entre la población de esta ciudad, lo que comprueba que sismos con epicentros lejanos y magnitudes altas pueden producir efectos importantes en el Valle de México.

En este informe se presenta el análisis preliminar de los registros obtenidos en SISMEEX (Sistema de Información Sismotelemétrica de México), y se incluyen las observaciones iniciales derivadas de los registros recogidos hasta el 3 de diciembre de 1978 en los acelerógrafos autónomos que opera el Instituto de Ingeniería de la UNAM (IdeI) en la zona afectada.

2. DATOS SISMOLÓGICOS

Mediante enlaces de radio en la banda de VHF, en el Puesto Central de Registro (PCR) de SISMEEX en Ciudad Universitaria, se obtiene un registro continuo en cinta magnética de los movimientos sísmicos captados por las estaciones remotas que forman la red, fig 1A. De manera simultánea se graban en la misma cinta las señales de tiempo que trasmite la WWV* y las del generador de código de tiempo del reloj maestro instalado en el PCR.

Mediante la comparación de las señales de tiempo grabadas en la cinta se determinó la diferencia entre la hora de la WWV y el código de tiempo del reloj local, encontrándose un adelanto de 196 mseg, por lo que el tiempo TMG se obtiene restando dicha diferencia a las marcas de tiempo que aparecen en las gráficas de SISMEEX incluidas en este informe.

2.1 Sismogramas

En la fig 2 aparece el registro simultáneo de las cinco estaciones sismo-

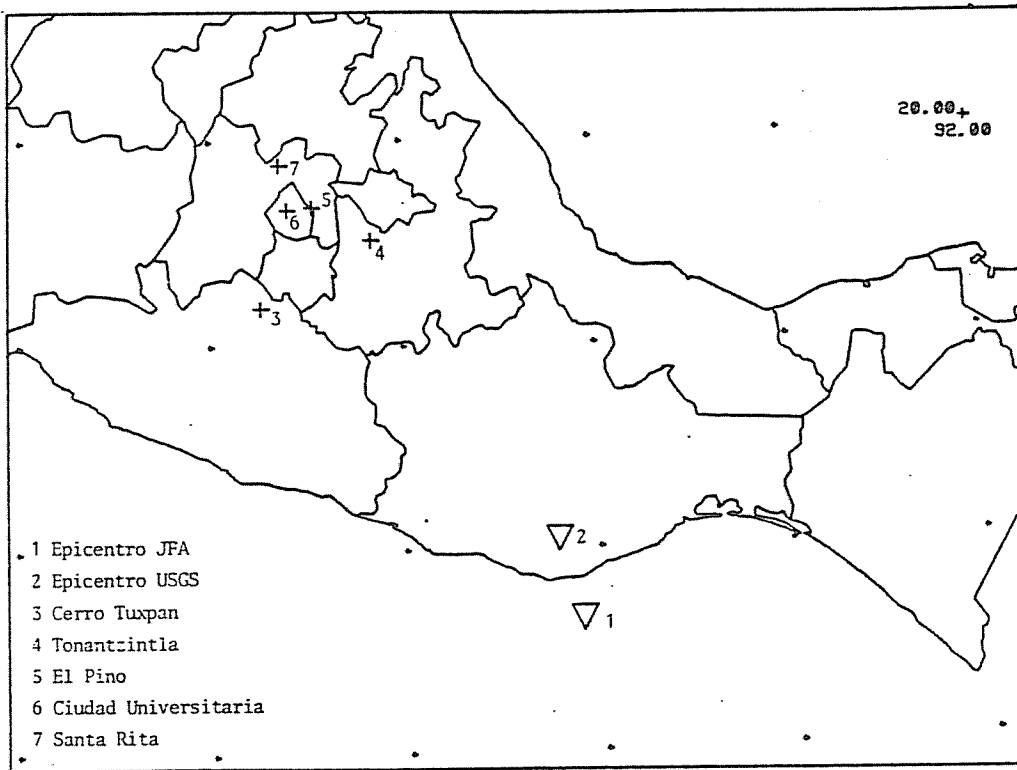


FIG. 1A EPICENTROS PRIMER SISMO ▽ Y SISMOMETROS DE SISMEX +

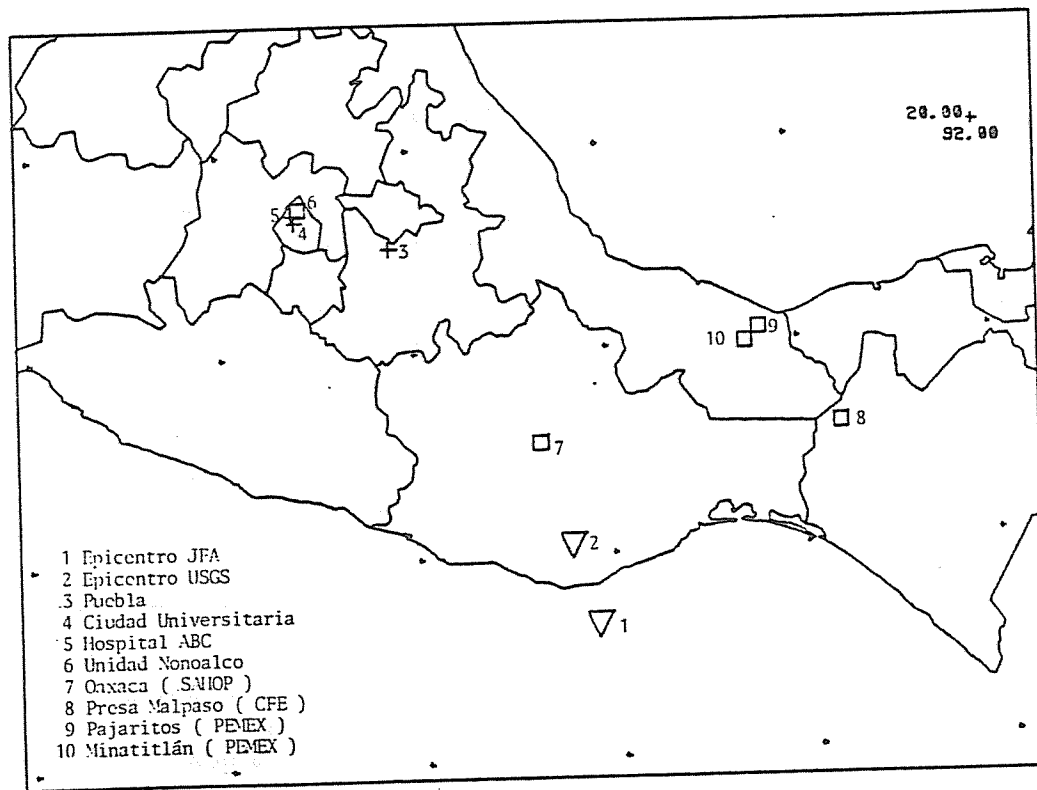


FIG. 1B EPICENTROS PRIMER SISMO ▽ ACCELEROMETROS SISMEX + Y AUTONOMOS □

En la tabla 3 se indican las distancias y rumbos de los epicentros a diver
cas poblacionales...

métricas de SISMEX (Tonantzintla, Cerro Tuxpán, El Pino, CU y Sta Rita)
cuya localización y características generales se muestran en la fig 1A y

métricas de SISMEX (Tonantzintla, Cerro Tuxpán, El Pino, CU y Sta Rita) cuya localización y características generales se muestran en la fig 1A y en la tabla 1, respectivamente. El registro se inicia a las 13h 49m (hora local) del 29 de noviembre y tiene una duración aproximada de una hora. En él se puede observar el inicio del sismo principal (I) así como la actividad sísmica subsecuente.

La fig 3 presenta con detalle la llegada del primer movimiento (sismo I) a las estaciones mencionadas. En esta gráfica es posible determinar con precisión la llegada de las ondas P a cada estación.

En la fig 4 se muestra la llegada de las ondas P del segundo evento (sismo II), con una escala de tiempo igual a la anterior. En esta gráfica se

*Estación trasmisora del patrón de tiempo del National Bureau of Standards Boulder, Colorado, EUA

aprecia que el movimiento previo originado por el sismo I aún no termina al iniciarse el II.

Aproximadamente una hora después de la ocurrencia del sismo I, se registró otro de importancia (sismo III), cuyo inicio y tiempo correspondiente pueden observarse en la fig 5.

Los tiempos de llegada de las ondas P a las estaciones sismométricas se consignan en la tabla 2.

2.2 Datos sismológicos del primer temblor

Los datos preliminares del sismo I son:

	JFA*	USGS**
Hora de origen	19:52:36	-
Magnitud (Richter)	6 3/4 - 7	7.8 (MS)
Epicentro	15.34° N 96.19 W	16.12 N 96.43° W
Profundidad	-	44 km

Estos dos epicentros están separados 100 km aproximadamente.

* Proporcionados por J. Figueroa, Instituto de Ingeniería, UNAM
 ** U.S. Geological Survey, Golden, Colorado

En la tabla 3 se indican las distancias y rumbos de los epicentros a diversas poblaciones y sitios de importancia.

Debido que la distancia del epicentro a las estaciones de SISMEX es varias veces mayor que la que hay entre ellas, la determinación de los parámetros focales con los datos de solo las cinco estaciones sismométricas es imprecisa y no se incluye en la tabla anterior. (La determinación de J. Figueroa incluye tales datos)

3. ACELEROGRAMAS

Las aceleraciones correspondientes a los sismos del 29 de noviembre fueron registradas en las estaciones de SISMEX, así como en acelerógrafos autónomos operados por el Idel.

3.1 Registros obtenidos en SISMEX

Las señales generadas en las estaciones acelerométricas se registran en la cinta simultáneamente con las de los sismómetros. En cada estación acelerométrica de SISMEX se detecta con diversas sensibilidades la aceleración del terreno a lo largo de tres componentes ortogonales. En este informe se incluyen datos de aceleración de los tres sismos más importantes en las estaciones de Ciudad Universitaria y Hospital ABC en el D.F. y en la ciudad de Puebla. Los datos generales de estas estaciones se encuentran en la tabla 1.

Los valores de aceleraciones máximas registradas en estas estaciones se indican en la tabla 4, y en la tabla 5 aparecen los lapsos durante los cuales se tuvieron aceleraciones con amplitudes superiores a 4 gal (*). Estos datos fueron obtenidos de los registros de aceleración que se muestran en las figs 6 a 12. (En estas figs, 333 es el día del año contado a partir del 1o de enero).

3.2 Acelerogramas obtenidos en aparatos autónomos

En la tabla 6 se consignan los datos más importantes de los registros recogidos hasta el 3 de diciembre, que se obtuvieron en acelerógrafos autónomos de registro fotográfico. Estos aparatos permiten la inscripción sobre papel fotográfico de 12" o película de 70 mm de tres trazas de aceleración: dos horizontales perpendiculares entre sí y la vertical. La operación se inicia cuando la aceleración del terreno excede un límite prefi-

*1 gal = 1 cm/seg²

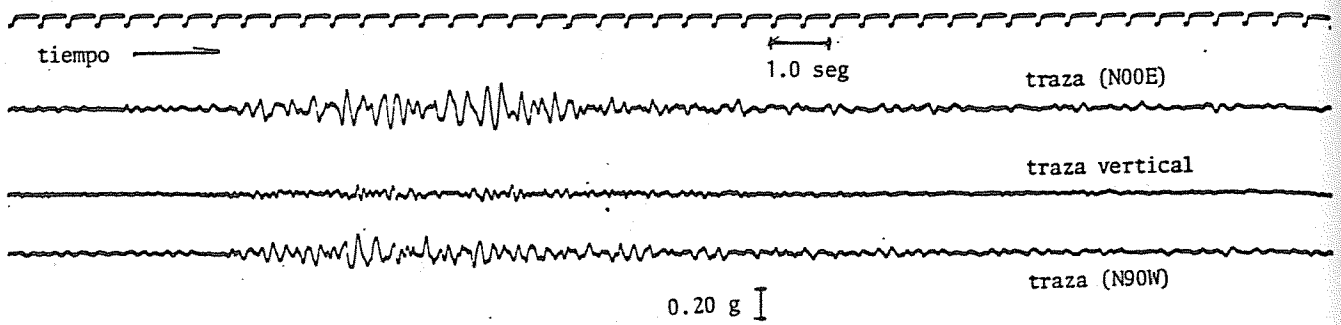


Fig 13 Primer sismo (I) del 29/11/78 registrado en Oaxaca, Oax., en el acelerógrafo de la SAHOP. (Datos en la tabla 6).

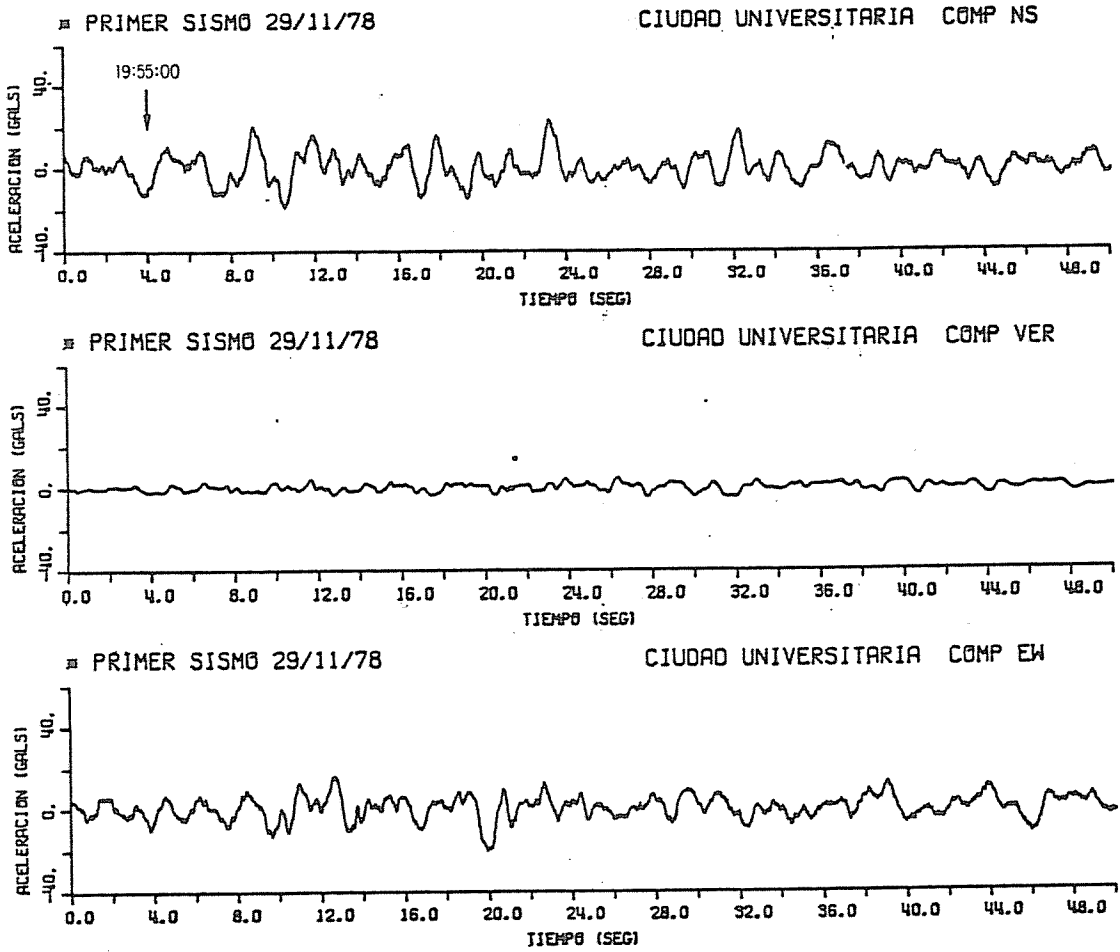


Fig 17a

T A B L A 1

CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES SISMOLOGICAS DE SISMEF							
Lugar	Clave	Coordenadas		Altitud en m.	Componente	Periodo en seg.	Amplificación
		N	W				
Sta. Rita Coyotepec, Mex.	IIC	19.767°	99.258°	2 725	vert.	1	56 000
Ciudad Universitaria, D.F.	IIM	19.326°	99.182°	2 275	vert.	1	3 000
El Pino, Texcoco, Mex.	IIP	19.347°	99.917°	2 650	vert.	1	15 000
Tonantzintla, Pue.	IIT	19.021°	98.308°	2 205	vert.	1	30 000
Cerro Tuxpan, Iguala, Gro.	III	18.376°	99.468°	1 750	vert.	1	15 000

CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES ACELEROMETRICAS DE SISMEF					
Lugar	Coordenadas		Altitud en m.	Componentes	Sensibilidad (escala completa)
	N	W			
Ciudad Universitaria, D.F.	19.326°	99.182°	2 275	N-S, vert. y E-W	0.5 y 0.01 g
Hospital ABC, D.F.	19.333°	99.205°	2 380	N-S, vert. y E-W	1.0 y 0.1 g
Puebla, Pue.	19.043°	98.211°	2 155	N-S, vert. y E-W	1.0, 0.1 y 0.01 g

T A B L A 3

DISTANCIAS EPICENTRALES A DIVERSAS POBLACIONES O SITIOS DE IMPORTANCIA				
Lugar	Epicentro JFA		Epicentro USGS	
	Rumbo	Distancia(km)	Rumbo	Distancia(km)
Puerto Angel, Oax.	N44W	48	S08W	52
Puerto Escondido, Oax.	N50W	119	S72W	76
Salina Cruz, Oax.	N50E	143	N98E	137
Oaxaca, Oax.	N17W	204	N16W	113
Huajuapán de León, Oax.	N32W	324	N38W	237
Minatitlán, Ver.	N32E	346	N45E	295
Tuxtla Cutierrez, Chis.	N65E	374	N79E	373
Orizaba, Ver.	N14W	403	N14W	312
Veracruz, Ver.	N01E	429	N05E	344
Acapulco, Gro.	N68W	445	N78W	394
Laguna Verde, Ver.	N03W	484	N00E	396
SISMEF				
Puebla, Pue.	N29W	469	N31W	380
Tonantzintla, Pue.	N50W	472	N33W	384
Cerro Tuxpan, Gro.	N47W	497	N53W	421
El Pino, Mex.	N34W	539	N38W	453
Cd. Universitaria, D.F.	N37W	554	N41W	470
Hospital ABC, D.F.	N37W	562	N40W	478
Sta. Rita, Mex.	N35W	599	N38W	513

jado, deteniéndose aproximadamente siete segundos después de que la amplitud de la aceleración excede por última vez dicho límite, quedando el aparato listo para registrar el siguiente evento. Junto con las trazas de aceleración se imprimen marcas de tiempo cada medio segundo generadas por un reloj interno.

En las figs 13 a 16 se muestran copias de la parte significativa de los registros más importantes (tres registros de un solo aparato en Oaxaca, Oax. y un registro de Patio Miguel Hidalgo, en la Unidad Nonoalco Tlalotelco de esta ciudad), (ver tabla 6).

3.3 Procesamiento digital de los acelerogramas

Este procesamiento comprende los siguientes pasos:

- 1) Conversión de las señales analógicas a digitales (digitización), la cual se realiza en forma semiautomática con los registros de los aparatos autónomos y electrónicamente en el caso de las estaciones de SISMEM.
- 2) Corrección de la línea base mediante el uso de filtros digitales en el caso de los aparatos autónomos y corrección del corrimiento del cero, sumando una constante, a las aceleraciones de SISMEM.
- 3) Integración de las aceleraciones para obtener velocidad y desplazamiento del terreno.

El procesamiento de los registros de los aparatos autónomos no se ha realizado en virtud del tiempo que toma hacerlo y será objeto de un estudio posterior.

De los acelerogramas obtenidos en las estaciones de SISMEM se han analizado para este informe los correspondientes al primer sismo, ya que son los que contienen las mayores aceleraciones. La digitización se hizo a intervalos constantes de 0.02 seg.

En las figuras 17 a 19 se presentan las gráficas obtenidas a partir de la digitización de la parte más importante de los acelerogramas. En estas gráficas se incluyen las tres componentes de aceleración y se indica la hora (TMG).

Se observa en las figuras mencionadas que el sismo en cuestión se caracteriza por tener amplitudes pequeñas y componentes de periodo largo, aun cuando las estaciones de CU y Hospital ABC se localizan en la zona de baja compresibilidad del Distrito Federal.

4. INTENSIDAD

La intensidad máxima del sismo principal en la Ciudad de México fue VI MM y se informó de algunos daños ligeros en un número reducido de edificios.

Es frecuente que la severidad de temblores como el que nos ocupa llegue a sobrestimarse, debido principalmente a las reacciones humanas durante el movimiento. Para situar en una perspectiva adecuada la alarma de las personas durante temblores de intensidad moderada, deben recordarse por lo menos los siguientes hechos:

- a) Después de varios años de no sentir un temblor, el público parece deshabituarse completamente y olvidar sus experiencias pasadas en cuanto al movimiento que se experimenta durante el sismo. En este caso es probable que los habitantes del Distrito Federal tengan como experiencia inmediata anterior el temblor de Ciudad Serdán del 28 de agosto de 1973.
- b) Las oscilaciones de periodo relativamente largo ($T \geq 2$ seg), asociadas a una aceleración de 0.02g son 10 ó 20 veces superiores a los límites de perceptibilidad humana generalmente aceptados.
- c) Si el movimiento del terreno se supone armónico (hipótesis muy cercana a la realidad para este temblor), a un periodo de 2 seg y una aceleración máxima de 0.02g, corresponde una amplitud del desplazamiento de aproximadamente 2 cm. En los pisos superiores de edificios de periodo fundamental cercano al indicado, el desplazamiento máximo, y la aceleración asociada, pueden ser varias veces mayores que en el terreno, por lo que la impresión de inseguridad en tales condiciones aumenta considerablemente.

5. ESPECTROS DE RESPUESTA

Con los registros digitizados se calcularon los espectros de respuesta elástico-lineales para amortiguamiento nulo. En las figuras 20 a 28 se presentan para cada componente, en gráficas semilogarítmicas, los espectros de aceleración absoluta, velocidad relativa y pseudovelocidad relativa, incluyéndose este último también en forma tetralogarítmica. Las esca-

T A B L A 6

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS ACELEROGRAMAS OBTENIDOS EN APARATOS DE REGISTRO AUTÓNOMO (hasta el 3 de diciembre).

Estación	Tipo aparato	Sismo	Coordenadas		Componente	acel. max. (gals)	Duración (seg)
			N	W			
Oaxaca, Oax. (SAINOP)	SMA-1	I	17.09°	96.72°	N-S	220	69
					Vert.	90	
					E-W	158	
Oaxaca, Oax. (SAINOP)	SMA-1	II	17.09°	96.72°	N-S	56	44
					Vert.	45	
					E-W	42	
Oaxaca, Oax. (SAINOP)	SMA-1	III	17.09°	96.72°	N-S	102	55
					Vert.	48	
					E-W	100	
Patio edif. M. Hidalgo, D.F.	AR-240	I	19.45°	99.14°	N-S	22	188
					Vert.	x	
					E-W	19	
Minatitlán, Ver. (PEMEX)	RFT-250	I	17.98°	94.54°	Long.	45	180
					Vert.	26	
					Trans.	63	
Pajaritos, Ver. (PEMEX)	RFT-250	I	18.11°	94.39°	Long.	34	141
					Vert.	x	
					Trans.	21	
Presa Malpaso corona (CFE)	AR-240	I	17.15°	93.59°	Long.	x	34
					Vert.	x	
					Trans.	x	
Presa Malpaso base (CFE)	AR-240	I	17.15°	93.59°	Long.	x	31
					Vert.	x	
					Trans.	x	
Presa Malpaso margen der.	AR-240	I	17.15°	93.59°	Long.	x	40
					Vert.	x	
					Trans.	x	
Ciudad Universitaria D.F.	AR-240	I	19.68°	99.18°	N-S	x	177
					Vert.	x	
					E-W	x	

T A B L A 5

DURACION DEL MOVIMIENTO (EN SEG) CON ACELERACIONES MAYORES A 4 GALS.

Estación	Componente	S I S M O	
		I	III
Cd. Universitaria	N-S	115	2
	V	20	0
	E-W	114	19
Hospital ABC	N-S	1	0
	V	1	0
	E-W	3	0
Puebla	N-S	58	17
	V	54	0
	E-W	58	19

Tabla 7

x menor de 20 gals

Máximos del espectro de aceleraciones absolutas					
Estación	Componente	Período (seg)	Aceleración absoluta (gals)		Espectro de diseño (*) (gals)
			0% amort. crítico	10% amort. crítico	
C.U.	N-S	0.048	345	26	50
		1.100	209	32	135
		1.700	214	44	108
	E-W	2.200	123	37	95
		3.400	125	33	76
		0.048	370	32	50
		1.400	183	36	96
		3.200	102	37	78
		0.048	50	7	50
Hospital A B C	N-S	0.500	55	11	157
		0.820	42	11	155
		2.200	44	10	95
	E-W	0.054	70	12	52
		1.300	51	13	123
		2.600	27	5	87
		0.048	50	7	50

(*) Grupo B, terreno firme, ductilidad 1.0; Reglamento de construcciones para el D.F., (1976)

las de las ordenadas varían de tal forma que la figura se ajuste a las ordenadas máximas.

En la tabla 7 se presentan los máximos del espectro de aceleraciones absolutas con amortiguamientos de 0 y 10 por ciento del crítico, para las componentes horizontales de los registros de CU y Hospital ABC, así como la ordenada del espectro de diseño obtenida según el Reglamento para Construcciones en el Distrito Federal (1976), ref 1, considerando construcciones de tipo B, terreno firme y un factor de ductilidad de 1.0 (caso 5). En esta tabla se puede observar que aun sismos con aceleraciones tan pequeñas como el que nos ocupa pueden producir, en el terreno firme de CU y para períodos mayores de 3 seg, ordenadas del espectro de aceleración (con 10 por ciento del amortiguamiento crítico), de la mitad de lo que prescribe el citado reglamento.

Las ordenadas máximas del espectro de aceleración absoluta de la componente NS de CU son mayores que las obtenidas para el sismo de 7 de junio de 1976 (ref 2), como es de esperarse ya que las aceleraciones máximas del terreno son mayores. Por lo que respecta a la componente NS de Hospital ABC, los valores máximos del espectro de aceleración absoluta son del mismo orden que los obtenidos en la ref 2, y las aceleraciones máximas del terreno son del mismo orden.

Comparando los espectros de pseudovelocidad relativa de las componentes NS de Puebla para los mismos sismos, se observa que el máximo es mayor en el del 29 de noviembre y tuvo una aceleración del terreno mayor.

El período para el que se presenta el segundo máximo del espectro de aceleración absoluta en C.U. del sismo del 29 de noviembre de 1978 es menor en la componente EW (1.4 seg), seguido por la componente NS (1.7) y mayor (2.0) en la componente NS del sismo 7 de junio de 1976, ref 2. El máximo del espectro de pseudo velocidad relativa se encuentra en orden inverso siendo mayor en la componente EW, seguido de la NS y finalmente la NS de la ref 2.

Por lo que se refiere a los registros del Hospital ABC, en el caso de la componente NS el segundo máximo del espectro de aceleración absoluta coincide en los dos sismos (2.2 y 2.0 en la ref 2). La componente EW presenta el 2o máximo en un período menor (1.3 seg).

Los registros de Puebla, componentes NS y EW muestran los máximos del espectro de pseudo velocidad relativa en 2 seg de período y en la ref 2 se encontraban en 1.4 seg; sin embargo, la parte comparable de estos espectros coincide en forma.

6. CONCLUSIONES

1. El sismo principal del 29 de noviembre de 1978 produjo en Puebla y en el Distrito Federal aceleraciones máximas pequeñas, del orden de 2 por ciento de la gravedad.
2. Los espectros calculados para las componentes NS de C.U., Hospital ABC y Puebla son semejantes a los obtenidos para el sismo del 7 de junio de 1976 (Ref 2).
3. El primer sismo de la serie en cuestión es un ejemplo más, ya señalado con anterioridad en la ref 2, de que sismos fuertes ($M \geq 6$) y de origen relativamente lejano ($\Delta > 250$ km, aprox), que ocasionan en el D.F. movimientos de duración considerable ($T \geq 30$ seg) y aceleraciones máximas pequeñas (0.02 g, aprox), son capaces de producir ordenadas espectrales importantes para períodos de 1 seg o mayores en la zona de suelo firme del D.F.

7. AGRADECIMIENTO

La operación de los enlaces de radio de la red telemétrica de SISMEM es posible gracias al Centro de Investigación y Desarrollo en Telecomunicaciones (CIDET) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a quien los autores agradecen su valiosa colaboración. Asimismo, desean hacer patente su reconocimiento al Centro de Servicios de Cómputo de la UNAM, por la eficiencia con que pudieron procesarse los datos de este informe en la computadora de ese Centro. Los Ings. Enrique Hena, Bernardo Frontana, Alejandro Jiménez, Gerardo Legaría y David Muría han brindado su apoyo en numerosas ocasiones para la operación del equipo, al igual que los técnicos Jesús Dávila, Humberto Hernández, Carlos Márquez y Marcos Moreno. A todos ellos los autores hacen patente su reconocimiento.

El registro de sismos en unidades autónomas se debe al interés en el tema de la Comisión Federal de Electricidad, de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, de Petroléos Mexicanos y del Proyecto Texcoco de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

8. REFERENCIAS

1. "Manual de Diseño por Sismo, según el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". Instituto de Ingeniería, informe 406 (julio 1977)
2. J. Prince, "Sismo del 7 de junio de 1976 frente a las costas de Guerrero", Instituto de Ingeniería, IPS-1bis (junio 1976)