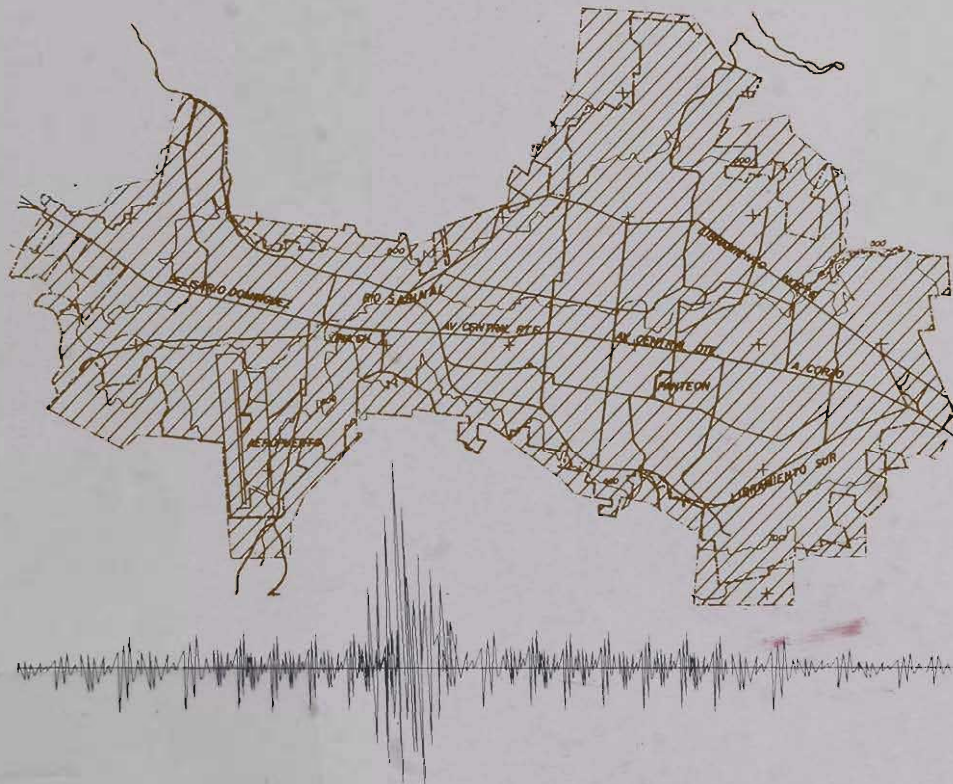


456

ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ



UAM
QE535.2
M6
Z6.5

**Guillermo Alonso · Robertony Cruz · Filiberto Santos
Mario Ramírez · Manuel Ruiz Sandoval · Jesús Iglesias**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**



**Guillermo Alonso · Robertony Cruz · Filiberto Santos
Mario Ramírez · Manuel Ruiz Sandoval · Jesús Iglesias**

218704
C B 2895087

**ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD
DE TUXTLA GUTIÉRREZ**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Mayo de 1995

2895087



DIRECTORIO

Ing. M.C. Pedro René Bodegas Valera
Rector

Lic. Luis Manuel Martínez Estrada
Secretario General

Ing. M.C. F. Roberto Cruz de León
Secretario Académico

C.P. Heladio Castillo Bravo
Secretario Administrativo

Dr. Roberto Villers Aispuro
Director General de Planeación

Dr. Ángel René Estrada Arévalo
Director General de Extensión Universitaria

Ing. Robertony Cruz Díaz
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Índice

Presentación	5
Reconocimiento	7
Zonificación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez	9
Resumen	9
1. Introducción	10
2. Geología regional	11
2.1 Tectonismo	11
2.2 Geología local	12
2.3 Geología estructural	12
3. Sismicidad	14
4. Mecánica de suelos	14
5. Vibración ambiental y mapa de isoperiodos	18
6. Análisis de riesgo sísmico	21
7. Zonificación sísmica	24
8. Conclusiones	27
9. Referencias bibliográficas	28

Presentación

Quienes se han dedicado al diseño estructural de construcciones en la ciudad ven sus propios trabajos con cierta incertidumbre, ante la carencia de información propia que sugiera las características de respuesta dinámica del suelo y permita resultados de diseño racionales. Ante este vacío, la Escuela de Ingeniería Civil toma como propósito de investigación coordinada, y aprovechando la gran experiencia del Departamento de Materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana–Unidad Azcapotzalco, definir para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez la zonificación de la mancha urbana, según sus características de respuesta sísmica y proponer valores de coeficientes sísmicos de diseño.

Los resultados, producto de un trabajo amplio y serio, son una aportación que permitirá a calculistas basar sus diseños en datos reales concluidos del estudio del lugar que, sin duda, redundará en economía y seguridad de las obras de ingeniería.

Ing. Robertony Cruz Díaz
Director

Reconocimiento

La presente publicación es el resultado del trabajo de un equipo de investigadores, docentes y alumnos, tanto de la Universidad Autónoma de Chiapas como de la Universidad Autónoma Metropolitana. Es importante reconocer y agradecer la participación entusiasta de los ingenieros: Jorge Aguilar Carboney (UAM), Jorge Ordóñez Ruíz (UNACH), Raúl Moreno Cossío (UNACH), Dr. Emilio Sordo Sabay (UAM), Alejandro Fernández (UAM) y al estudiante Héctor Hernández Ballinas (UNACH).

Los autores

ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ

Guillermo Alonso, Robertory Cruz, Filiberto Santos
Mario Ramírez, Manuel Ruiz Sandoval, Jesús Iglesias***

Resumen

Se presentan en este trabajo los resultados de la primera etapa del proyecto de estudio del riesgo sísmico de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, consistentes en un mapa de curvas de isoperiodos del terreno, un mapa de zonificación sísmica, así como una propuesta de parámetros para el diseño sismo-resistente. Los resultados se obtuvieron con base en mediciones de vibración ambiental en 75 sitios dentro del área urbana, la información proveniente de 10 sondeos profundos, las características geológicas y topográficas de la ciudad así como en el estudio de la sismicidad regional.

*Universidad Autónoma de Chiapas.

**Universidad Autónoma Metropolitana

1. Introducción

El estado de Chiapas es una de las zonas en México con mayor sismicidad, junto con Oaxaca, Michoacán y Guerrero, lo que motiva el estudio de las características dinámicas del terreno y del riesgo sísmico en las principales ciudades de la entidad.

El reglamento para construcciones vigente para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez (Reglamento, 1971) no propone parámetros de diseño sísmico, en tanto que una propuesta de modificación al reglamento (Propuesta, 1993) recientemente presentada propone coeficientes sísmicos para tres diferentes tipos de suelo, que son clasificados de acuerdo con criterios de capacidad de carga, por lo que se hace necesaria la elaboración de mapas con curvas de isoperiodos que permitan definir la respuesta dinámica del terreno durante un sismo, y sirvan como base para establecer posteriormente la zonificación sísmica de la ciudad.

Por otro lado, los valores de aceleración de los espectros de diseño propuestos para Tuxtla Gutiérrez de regionalización sísmica por estudios generales de la república mexicana (Trigos, 1988; Esteva, 1988 y CFE, 1993) no toman en cuenta las condiciones particulares de la ciudad.

Para proponer una zonificación sísmica es indispensable conocer la geología del lugar para poder detectar posibles fallas activas, así como los accidentes topográficos que puedan generar amplificaciones de ondas sísmicas. Es necesario, además, contar con las propiedades mecánicas de los suelos para estimar las amplificaciones con respecto al suelo firme.

En un esfuerzo conjunto, la Universidad Autónoma de Chiapas y la Universidad Autónoma Metropolitana establecieron en 1994 un convenio, con el fin de estudiar el riesgo sísmico de la ciudad y proponer parámetros para el diseño sismo-resistente de las construcciones. El estudio se ha dividido en las siguientes actividades:

- a) Recopilación de la información sismológica, geológica, topográfica y de mecánica de suelos.
- b) Determinación de los periodos naturales del terreno, mediante mediciones

de vibración ambiental.

- c) Determinación de las curvas de igual periodo de vibración del terreno.
- d) Propuesta de zonificación sísmica.
- e) Propuesta de parámetros de diseño sismo-resistente derivadas de la estimación de intensidades producidas por sismos pasados y estudios disponibles de peligro sísmico.

2. Geología regional

2.1 Tectonismo

Tuxtla Gutiérrez pertenece a la provincia tectónica del Sinclinorio Central, que colinda con la provincia del Anticlinorio de Comatapa, al sureste; al norte con la provincia de Fallas de Transcurrencia y al suroeste con el Macizo Granítico. El Sinclinorio Central coincide con la región fisiográfica denominada Depresión Central, debido a que está integrada por un bajo topográfico, producto de la morfología del Sinclinal Grijalva, estructura central y rectora de la provincia. Otra estructura importante del Sinclinorio Central es el Sinclinal de Copoya, abierto en la cáliza del mismo nombre, justo al sur de la ciudad (figura 1).

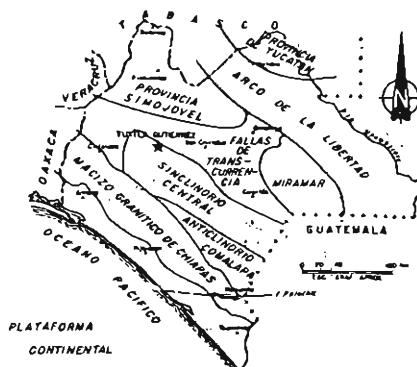


Figura 1. Regiones tectónicas del estado de Chiapas (Raiz, 1964).

2.2 Geología local

La ciudad se encuentra en el flanco meridional del Sinclinal. A fines del terciario y a principios del cuaternario, en el valle de Tuxtla Gutiérrez se depositaron sedimentos clásticos continentales, producto de la erosión de las rocas preexistentes. Los últimos acontecimientos geológicos están representados por los depósitos aluviales que se encuentran a lo largo del río Sabinal, que discurre de poniente a oriente hasta desembocar en el cañón del Sumidero, en las cercanías de Tuxtla Gutiérrez (figura 2).

En el extremo noroeste de la ciudad se presentan calizas que, de acuerdo con el plano geológico de la región, pertenecen a la Formación Angostura y se extienden también a la zona noreste. Existe una formación terciaria constituida por una serie de areniscas con gravilla y lutitas calcáreas que, probablemente, se depositaron en el Eoceno a consecuencia de los levantamientos que ocurrieron en la región y que recubren concordantemente a las calizas.

El contacto entre los depósitos aluviales y los clásticos continentales no está bien definido. En algunos lugares se observan limos con gravillas o areniscas con gravilla; por ejemplo, en el contacto con esta formación y las calizas sobre la carretera a San Fernando, localidad ubicada al noroeste de la ciudad.

En el área de estudio pueden identificarse morfológicamente tres zonas:

- a) Al norte de la ciudad, una zona de pendiente fuerte, en donde existe un marcado desarrollo urbano.
- b) Al sur y suroriental, con pendiente suave, donde se ha emplazado la mayor parte de las construcciones modernas.
- c) Al centro del valle, una zona casi plana, constituida por terrenos aluviales de buena calidad e históricamente ocupada por la población.

2.3 Geología estructural

Varios autores han escrito sobre la existencia de fallas que, como se sabe, además del vulcanismo, son inherentes a los sismos. J. Figueroa y F. Mooser

2895087

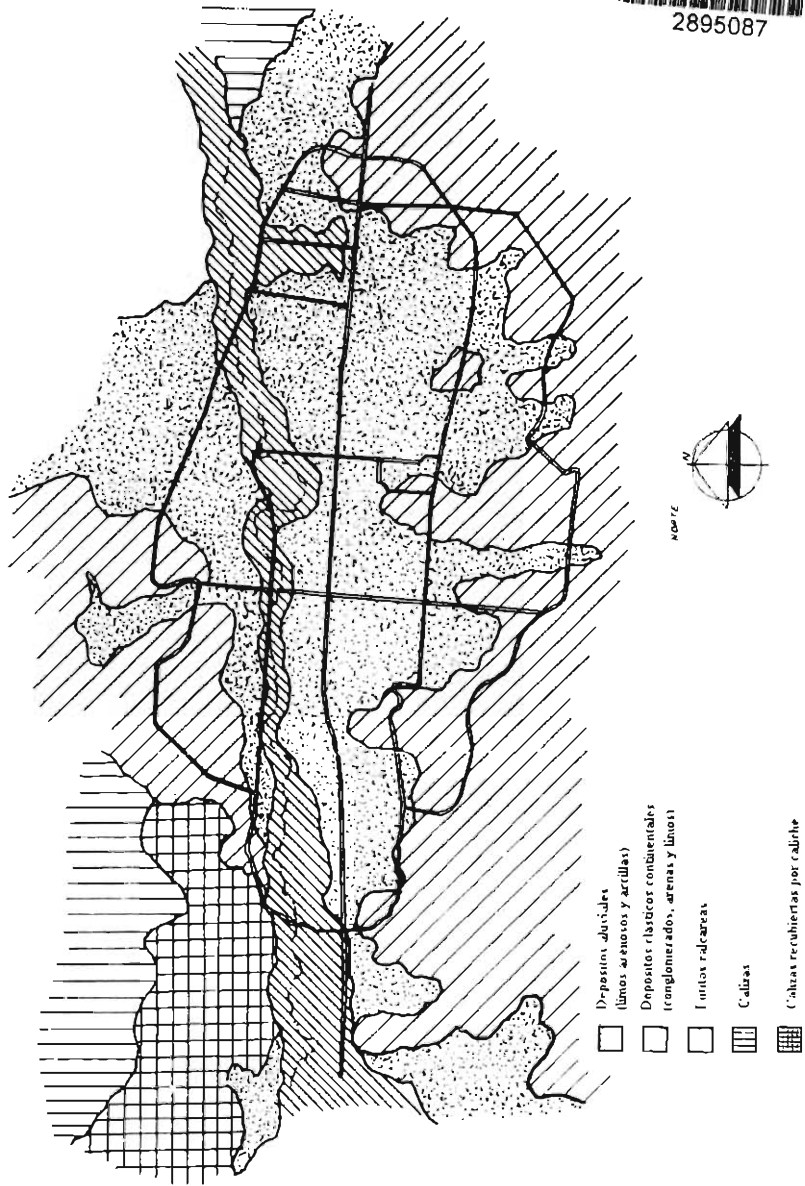


Figura 2. Mapa geológico de Tuxtla Gutiérrez (CFE).

(Figuroa, 1974) presentan las fallas observadas en el estado con base en fotografías aéreas, de las cuales las que más afectan a Tuxtla Gutiérrez son:

- a) Chiapa de Corzo–Tuxtla Gutiérrez–El Arenal.
- b) Transversales al curso del río Grijalva–Sumidero–Chiapa de Corzo.
- c) Ixtapa–Chicoasén–Copainalá–Tecpatán.
- d) Terán–Berriozábal–El Suspiro.
- e) La Sombra–Trinitaria–Sur de Comitán–Soyatitán–Venustiano Carranza.
- f) Oeste de Tuxtla Gutiérrez–Comitán.

3. Sismicidad

Toda la superficie del estado se encuentra bajo la influencia de focos activos asociados tanto a la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa de Norteamérica, como a focos continentales, donde se han generado movimientos intensos, como los sismos de 1902 ($M_s= 7.8$), 1935 ($M_s= 7.3$), 1949 ($M_s= 6.5$), 1968 ($M_s= 6.0$) y 1970 ($M_s= 5.6$). Se observa que en Chiapas, además de la existencia de focos someros tanto en el estado como frente a sus costas, hay una marcada tendencia a presentar focos cuya profundidad alcanza límites no encontrados en otras regiones de México; en Chiapas predominan focos de 100 km, llegando hasta los 300 km. La mayor concentración de epicentros observados en la carta sísmica del estado se ubican en la región limítrofe con Guatemala y frente a las costas del Pacífico, en El Soconusco, pero en otras zonas de Chiapas, aunque sean menos los epicentros, los movimientos han sido importantes (figura 3).

4. Mecánica de suelos

En términos generales se pueden considerar dos zonas de depósitos en la ciudad, una de depósitos clásticos continentales en la que predominan materiales limosos y arenosos compactos de buena calidad, y otra de depósitos

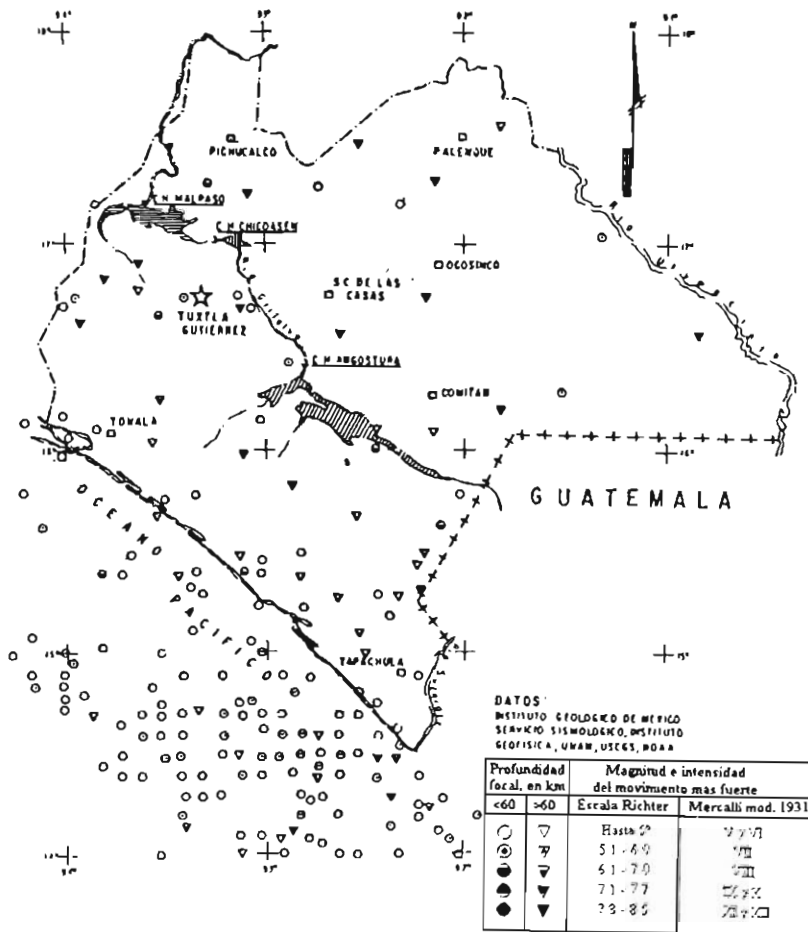


Figura 3. Carta sísmica del estado de Chiapas (Figuerosa, 1973).

aluviales con presencia de arcillas consolidadas con espesor no mayor a 10 m.

Los depósitos aluviales se encuentran a lo largo del cauce del río Sabinal. Superficialmente están constituidos por una capa de suelo vegetal arcilloso de color negro de alta plasticidad, a la que subyacen limos y limos arenosos. Únicamente en el centro del cauce aparecen arenas y gravas (figura 2).

Para estimar analíticamente el periodo natural de vibración de los suelos se utilizó la información proveniente de 10 sondeos, mediante el modelo elástico de propagación de ondas de corte, suponiendo incidencia de ondas S y representando los depósitos como formados por un solo estrato (Newmark y Rosenblueth, 1976). De acuerdo con este modelo, el periodo es:

$$T = 4 \sum \frac{H_i}{V_i}$$

donde:

H_i = Espesor del i -ésimo estrato

V_i = Velocidad de las ondas de cortante en el estrato $i = \sqrt{G_i / P_i}$

G_i = Módulo de cortante

P_i = Densidad del material del estrato i

El modelo se aplicó considerando los estratos superficiales del terreno hasta el estrato firme, que es aquél para el cual el número de golpes en una prueba de penetración estándar, por cada 30 cm de avance, fuera mayor que 50. Los valores de los periodos para los 10 sondeos y su localización se muestran en la tabla 1 y en la figura 4. En el caso particular del sondeo B sólo se reportan suelos con menos de 50 golpes en la prueba de penetración estándar, por lo que el dato reportado es un valor mínimo.

Sondeo	Localización	T (seg)
S-A	Lib. Nte. Paso Limón	0.21
S-B	Nueva Biblioteca	>0.08
S-C	Tribunal Superior de Justicia	0.12
S-D	Distribuidor Vial "La Mexicanidad"	0.27
S-E	Blvd. Lic. Salomón González B.	0.25
S-F	Blvd. B. Domínguez. esq. 18 Pte. Sur	0.25
S-G	IMSS Col. El Periodista	0.20
S-H	Pemex	0.16
S-I	Carretera a Chicoasén	0.15
S-J	Alimentos y Bebidas de Chiapas	0.20

Tabla 1. Periodos obtenidos analíticamente

5. Vibración ambiental y mapa de isoperiodos

Se efectuaron mediciones de vibración ambiental en 75 puntos distribuidos en el área urbana (figura 4). El equipo de registro está integrado por una grabadora digital de estado sólido Kinematics SSR-1, con resolución de 16 bits, tres canales de acceso y un muestreo de 200 mps por canal, dos sensores sismológicos de campo Kinematics WR-1, con frecuencia nominal de 20 Hz y un intervalo de respuesta eficiente de 0.05 a 5.0 seg. de periodo, así como una computadora portátil con 20 Mhz, 40 Mb en memoria de disco duro.

En cada sitio se registraron diez eventos de treinta segundos cada uno en dos direcciones ortogonales, utilizándose un filtro Butterworth que elimina las frecuencias superiores a 15 Hz. Se obtuvieron los espectros de Fourier de la señal correspondiente a cada uno de los veinte eventos registrados en cada sitio, con ayuda del software correspondiente (Kinematics, 1989) y se identificó la frecuencia correspondiente al periodo natural del terreno para cada sitio con base en el análisis estadístico. Para esto último fue muy importante contar como referencia con los periodos calculados a partir de la infor-

mación de sondeos geotécnicos. En la figura 5, se presentan los espectros de Fourier para cuatro puntos representativos del suelo del valle. Los periodos obtenidos en los 75 sitios se muestran en la tabla 2. El periodo más alto encontrado en la ciudad, 0.33 seg, corresponde a los puntos 10 y 22, ubicados en la parte más baja del valle, en zona de depósitos aluviales, en tanto que el más bajo es de 0.11 seg en el punto 17 y se ubica en la zona de depósitos clásticos continentales. Los resultados de los puntos 1, 3, 59 y 63 no pudieron ser procesados debido a la contaminación de los registros.

El punto 75 corresponde a la estación acelerográfica recientemente instalada en la Escuela de Ingeniería de la UNACH, donde se obtuvo con vibración ambiental un periodo de 0.23 seg. Pudo compararse este resultado con el periodo calculado para tres sismos ligeros ($a_{\max} < 17$ gals) que fue en promedio de 0.18 seg, lo que resulta admisible si se considera el bajo valor de periodo en la zona.

Los periodos obtenidos en los 75 sitios se muestran en la tabla 2; con todos los valores de periodos se trazaron las curvas de isoperiodos para los valores de 0.15, 0.20 y 0.25 seg (figura 6).

6. Análisis de riesgo sísmico

Dado que no se cuenta con registros instrumentales de sismos importantes en Tuxtla Gutiérrez, ni existe evidencia de daños producidos por un sismo en las construcciones de la ciudad que permitan estimar la intensidad sísmica, se presenta una primera propuesta de coeficientes de diseño que deberá ser afinada con los registros instrumentales que se obtengan con el acelerógrafo instalado actualmente, así como con los estudios de riesgo sísmico que se desarrollarán en la siguiente etapa del proyecto.

Para estimar el peligro sísmico es necesario evaluar los posibles escenarios. De acuerdo con la historia sísmica de la región, en el año de 1902 ocurrió el sismo que mayores daños ha ocasionado a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y a otras poblaciones del estado ($M_s = 7.8$). Figueroa asignó para este sismo una intensidad máxima de X en la escala de Mercalli, en la pobla-

No.	Localización	T (seg)	No.	Localización	T (seg)
1	Salida a Suchiapa	—	39	Col. Los Choferes	0.28
2	Rectoría UNACH	0.27	40	Fracc. El Vergel	0.22
3	Talleres Gráficos	—	41	Fracc. El Rosario	0.18
4	Plan de Ayala	0.27	42	San Pedro y San Cayetano	0.18
5	Fracc. Boulevares	0.28	43	Col. El Retiro	0.23
6	Inst. Tec. Regional	0.27	44	Col. Patria Nueva	0.28
7	Fracc. La Gloria	0.28	45	Distribuidor Vial	0.30
8	Av. Central y 4a Nte.	0.23	46	Col. Los Pájaros	0.23
9	Calzada al Aeropuerto	0.12	47	San José Terán	0.13
10	Fracc. Los Laureles	0.33	48	Fracc. Las Arboledas	0.28
11	Fracc. Atenas	0.25	49	Fracc. Vista Hermosa	0.23
12	Esc. Ing. UNACH	0.23	50	3a. Sur esq. 7a. Pte.	0.17
13	Hotel Flamboyant	0.27	51	CREA	0.23
14	Bldv. Ciro Farrera	0.27	52	Fracc. Las Palmas	0.23
15	Jardines de Tuxtla	0.25	53	Col. Adonai	0.23
16	Fracc. Los Laguitos	0.29	54	Instal. Feria Chiapas	0.12
17	Gigante 5a. Norte	0.11	55	ITESM	0.12
18	Dptvo. Caña Hueca	0.29	56	Plan de Ayala	0.28
19	Monum. Solidaridad	0.28	57	San José Terán Sur	0.12
20	Hotel Bonampak	0.28	58	Club Campestre	0.12
21	15 Pte. esq. 5a. Nte.	0.12	59	Instituto Andres	—
22	Pedregal	0.33	60	Banco de Caliche	0.15
23	El Mirador	0.19	61	Aeropuerto Terán	0.13
24	3a. Nte. Pte. 2a. Pte. Nte.	0.13	62	Almacén General	0.30
25	3a. Pte. Nte. esq. 4a. Nte.	0.28	63	Proc. de Justicia	—
26	3a. Pte. Sur esq. 7a. Sur	0.25	64	Colegio Americano	0.20
27	3a. Pte. esq. 19 Sur	0.18	65	Ahuehete 1253	0.28
28	14 Pte. entre 15 y 16 Sur	0.23	66	Col. Las Torres	0.30
29	Clinica ISSSTE	0.13	67	Fracc. La Misión	0.23
30	Parque de la Marimba	0.18	68	Col. Las Granjas	0.19
31	Parque Central	0.14	69	Col. Reforma	0.28
32	Fracc. El Valle	0.18	70	Col. El Pedregal	0.23
33	Colonia Maya	0.18	71	Col. Pimienta	0.22
34	Col. El Periodista	0.20	72	Col. Lomas del Venado	0.29
35	Cementerio Municipal	0.23	73	Col. Ideal	0.19
36	Lib. Sur a Suchiapa	0.17	74	Col. Penipak	0.28
37	Sauce y Margaritas	0.18	75	Estación acelerográfica	0.23
38	Bienestar Social	0.28		Escuela de Ing. Civil	

Tabla 2. Periodos registrados en vibración ambiental.

ción de Venustiano Carranza, y de VIII en Tuxtla Gutiérrez (Figuroa, 1974). Al sismo del 14 de diciembre de 1935 ($M_s = 7.3$) Figuroa le asigna también una intensidad de VIII para Tuxtla Gutiérrez, siendo estos los dos eventos de mayor importancia para la ciudad.

De acuerdo con la relación entre intensidades de Mercalli y coeficientes de resistencia obtenida a partir del estudio de los daños producidos en la ciudad de México durante los sismos de 1985 (tabla 3), el valor $K = c / Q$, correspondiente a una intensidad VIII, está comprendido en el intervalo 0.08 a 0.11, equivalente a un coeficiente de cortante basal máximo de $c = 0.11 \times 4 = 0.44$, si se considera un factor de reducción $Q = 4$. Como los valores que se presentan en la tabla 3 están asociados al método de análisis estático, el cual arroja fuerzas cortantes del orden de 72% de las obtenidas con el método de análisis dinámico aproximadamente, en edificios típicos de concreto de mediana altura (Gómez et. al., 1989), los valores correspondientes a los coeficientes de resistencia se dividen entre 0.72. De acuerdo con lo anterior el coeficiente de diseño para la máxima intensidad que se ha asignado a Tuxtla Gutiérrez es: $0.44 / 0.72 = 0.61$, correspondiente a terreno firme, el único tipo de suelo existente en la ciudad.

MM	K
VI	$K < 0.06$
VII	$0.06 < K < 0.08$
VIII	$0.08 < K < 0.11$
IX	$0.11 < K < 0.14$
X	$K > 0.14$

Tabla 3. Escala de Mercalli Modificada vs coeficientes de resistencia (Jara, 1989).

Trigos, 1988, presenta espectros de diseño en terreno firme para 116 localidades del país, obtenidos de un estudio de riesgo sísmico en el que utiliza leyes de atenuación generales para valores de aceleración y velocidad máximas. El coeficiente de diseño propuesto para la ciudad de Tuxtla

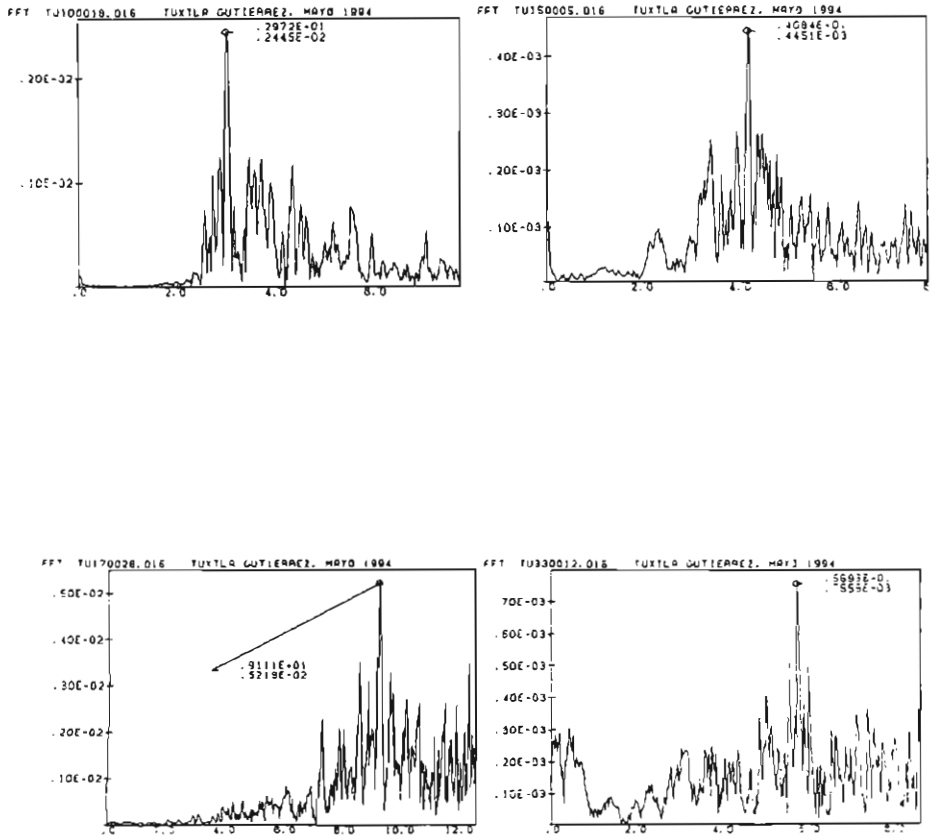


Figura 5. Espectros de Fourier representativos para Tuxtla Gutiérrez

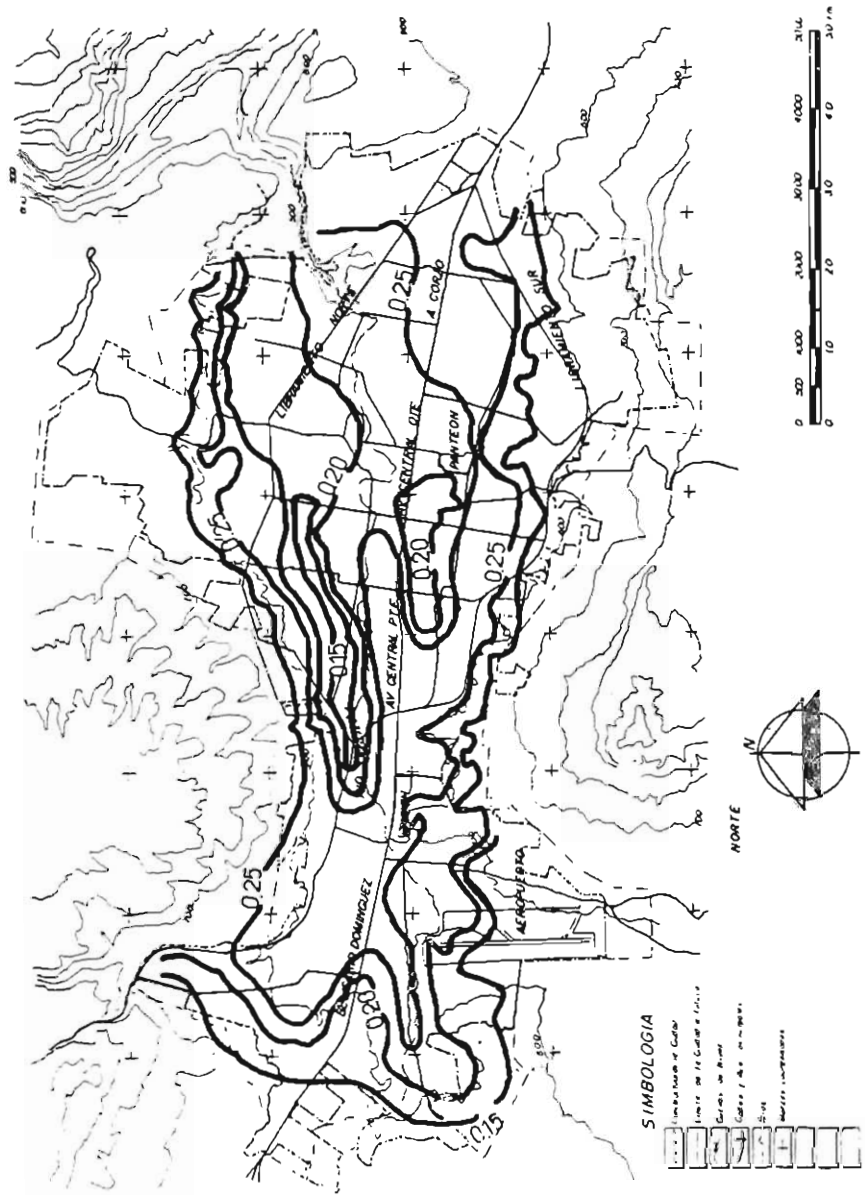


Figura 6. Mapa de isoperiodos.

Gutiérrez, para un amortiguamiento del 5% y periodo de recurrencia de 50 años es de 0.72.

El trabajo de Esteva y Ordaz sobre el riesgo sísmico de la república mexicana (Esteva, 1988), emplea leyes generales de atenuación de la intensidad sísmica y propone la división del país en cuatro zonas, ubicando a Tuxtla Gutiérrez en la zona de mayor peligrosidad sísmica, la zona D, para la cual proporciona valores de coeficientes sísmicos recomendados para el diseño, tanto en terreno duro como en terrenos intermedios y blandos, con base en la experiencia del Distrito Federal en cuanto a la estimación de las amplificaciones locales, lo cual les lleva a proponer para terreno firme en Tuxtla Gutiérrez el valor de $c = 0.44$.

El *Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad* (CFE, 1993) utiliza también leyes generales de atenuación y espectros óptimos, dividiendo al país en cuatro zonas de diferente peligrosidad, pero ubica la ciudad de Tuxtla Gutiérrez en la zona sísmica C. Este estudio proporciona valores para el diseño sismo-resistente para tres tipos de terreno: blando o tipo III, intermedio o tipo II y firme o tipo I, y establece un procedimiento que clasifica a un sitio en particular de acuerdo con la profundidad a la cual la capa dura presenta velocidades de ondas de cortante superiores a 700 m/s, así como a la velocidad de ondas de cortante en cada uno de los diferentes estratos que la sobreyacen. De acuerdo con este procedimiento, los diez perfiles que forman parte de este trabajo corresponderían a terreno tipo III o blando, lo que no corresponde con la evidencia aportada por los sondeos, ni por los periodos naturales de vibración obtenidos analítica y experimentalmente. Por ello, si consideramos una variante de la propuesta de la CFE para el caso de Tuxtla Gutiérrez con terreno tipo I, se tiene $c = 0.36$, en tanto que $c = 0.64$ si se considera terreno tipo III.

El Reglamento de Construcciones vigente para la ciudad no propone valores de diseño sismo-resistente, pero la propuesta de modificación al mismo propone parámetros para tres zonas diferentes: 0.12 para zona firme o I, 0.24 para terrenos intermedios o zona II y 0.30 para suelos blandos o zona III. Cabe aclarar que esta propuesta propone una zonificación sísmica de la ciudad basada en criterios geotécnicos y de capacidad de carga más que en el

comportamiento dinámico del subsuelo del valle.

En la tabla 4 se resumen los resultados anteriores, con base en los cuales se propone adoptar un coeficiente sísmico de 0.60, que cubre las intensidades que históricamente se han presentado, así como los estudios de riesgo sísmico realizados hasta la fecha.

FUENTE	C
Reglamento actual (Propuesta)	
Terreno tipo I	0.12
Terreno tipo II	0.24
Terreno tipo III	0.36
Intensidad máxima (VIII)	0.60
Trigos	0.72
Esteva y Ordaz, 1988	0.44
CFE-93 (Terreno I)	0.36
CFE-93 (Terreno III)	0.64

Tabla 4. Coeficientes sísmicos propuestos para 5% de amortiguamiento.

7. Zonificación sísmica

En vista de que no se encontraron en la ciudad periodos de vibración superiores a 0.33 seg, y a que la mayor parte de la ciudad presenta periodos naturales del suelo menores que 0.25 seg, se consideró al suelo del área urbana de la ciudad como terreno firme, extendiéndose las fronteras de esta zonificación al límite del crecimiento urbano de la ciudad para el año 2010, propuesto por el municipio de Tuxtla Gutiérrez (Actualización, 1994), (figura 7).

Para el espectro de diseño se manejan las mismas expresiones que se usan

tradicionalmente para terreno firme:

$$a = c, \text{ si } T < T_b$$

$$a = c (T_b/T)^r, \text{ si } T > T_b$$

donde: T = periodo de la estructura

T_b = periodo máximo al que se le asigna el coeficiente de diseño c

$$r = 0.5$$

El valor de T_b definido de acuerdo con el máximo valor del periodo obtenido con vibración ambiental sería $1.5 \times 0.33 = 0.50$ si se considera un 50% de incremento para cubrir incertidumbres en el cálculo de los periodos de las estructuras. Finalmente se consideró adecuado proponer $T_b = 0.6$, considerando las propuestas de otros autores. El espectro de diseño que finalmente se recomienda se muestra en la figura 8.

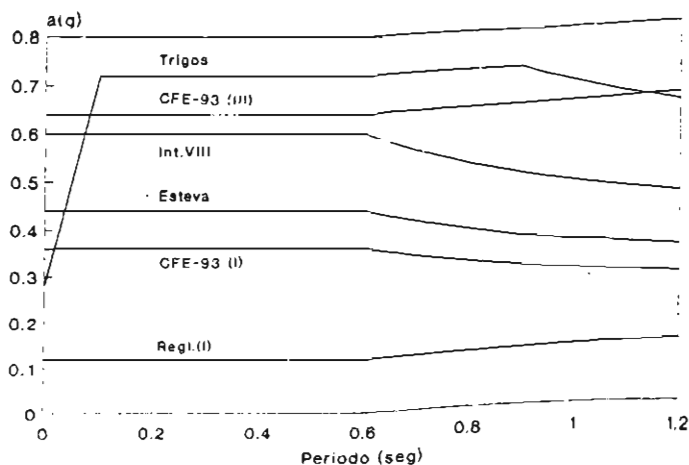


Figura 8. Espectros de diseño propuestos por varios autores.

8. Conclusiones

Se presenta la zonificación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez obtenida con base en la medición de la vibración ambiental, la información geotécnica disponible, las características topográficas y geológicas de la zona y la sismicidad de la región. Estos resultados forman parte de la primera etapa del proyecto de Zonificación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, que se desarrolla en forma conjunta entre la Universidad Autónoma de Chiapas y la Universidad Autónoma Metropolitana.

Como parte de esta colaboración se ha instalado una estación acelerográfica, que permitirá contar con información local del movimiento del terreno en el futuro, lo cual retroalimentará esta primera propuesta junto con estudios locales de amplificación en el terreno.

9. Referencias bibliográficas

- Comisión Federal de Electricidad, *Manual de Diseño de Obras Civiles, Estructuras, C.1.3. Diseño por sismo*, Instituto de Investigaciones Eléctricas.
1993
- Comisión Federal de Electricidad, *Geología del Estado de Chiapas*.
1989 Subdirección de Construcción. Unidad de Estudios de Ingeniería Civil. Departamento de Geología,
- Esteva L. y Ordaz M. "Riesgo sísmico y espectros de diseño en la república mexicana", *Memoria del III Simposio Nacional sobre Ingeniería Sísmica*, Guadalajara, Jalisco, pp. 420-458.
1988
- Figueroa, J. *Sismicidad en Chiapas*. Informe del Instituto de Ingeniería,
1974 México, UNAM.
- Gobierno del Estado de Chiapas, Reglamento de Construcciones y Servicios Urbanos de los Municipios de Tuxtla Gutiérrez, Tapachula, San Cristóbal de las Casas, Comitán, Tonalá, Huixtla, Arriaga y Villaflores. *Periódico Oficial*.
1971
- Gobierno del Estado de Chiapas, Propuesta de Modificación al Reglamento de Construcciones del Municipio de Tuxtla Gutiérrez. *Periódico Oficial*.
1993
- Gómez A., Ortega R., Guerrero J.J., Gonzalez E., Paniagua J.P. e Iglesias J.
1989 Response and design spectra obtained from earthquake damage buildings, *Earthquake Spectra*, V5, N.1: 113-120.
- Jara, M., Aguilar, J., Guerrero, J.J., e Iglesias, J. "Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de México", *VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Acapulco, Guerrero, D76 - D86.
1989
- Kinematics Systems. *Seismic Workstation Software*, Pasadena, California.
1979
- Newmark, N. y Rosenblueth, E. *Fundamentos de Ingeniería Sísmica*, Editorial Diana, México.
1976
- Raiz E. *Clasificación de las provincias fisiográficas de la república mexicana*. Instituto de Ingeniería, UNAM.
1964

- Secretaría de Desarrollo Urbano y Comunicaciones. Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 1992-1995.
- Trigos J.L. "Riesgo sísmico, construcciones y reglamentos en México", *Memoria del III Simposio Nacional sobre Ingeniería Sísmica*, 1988 Guadalajara, Jalisco, pp. 323-345.



2895087

UAM
QE535.2
M6
Z6.5

2895087
Zonificación sísmica de I

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL