



Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Azcapotzalco

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

POSGRADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

Tema:

**PARÁMETROS DE DISEÑO SÍSMICO PARA
ALGUNOS ESTADOS DEL PACÍFICO MEXICANO
(MICHOACÁN, GUERRERO Y OAXACA)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

P R E S E N T A

Ana Grissel Jerónimo García

Director de Tesis: **Dr. Hugón Juárez García**

MÉXICO, D.F.

2 de diciembre de 2016

A Daniel por su apoyo incondicional

A mi familia por estar siempre conmigo

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos por brindarme su apoyo y ánimos en todo momento.

A Daniel por siempre estar a mi lado en todo proyecto incondicional.

*A mi tutor, Doctor **Hugón Juárez García** quien me brindó su confianza, paciencia guía y amistad.*

*A los revisores de esta tesis **Dr. José Luis Rangel Núñez** y **Dr. Jorge Aguirre González** por la atención a la revisión de este trabajo permitiendo enriquecer su contenido.*

*A todos y cada uno de los profesores del **Posgrado en Ingeniería Estructural de la UAM-Azcapotzalco**, por el apoyo, conocimientos y experiencias transmitida.*

*Institucionalmente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACyT-530304**) por brindarme apoyo y permitirme ser becaria de la institución en la realización de mis estudios de Posgrado.*

A todas las personas que han creído en mí, y que sin intención, no he nombrado en esta sección, pero saben que su amistad será conservada en la mente y corazón.

Parámetros Sísmicos para algunos estados del Pacífico Mexicano (Michoacán, Guerrero y Oaxaca)

RESUMEN

Algunas fuentes sismogénicas se encuentran cerca de la República Mexicana por lo que, estas regiones tienen un alto índice de sismicidad constante. El objetivo principal de este trabajo es la generación de una base de datos para que, en trabajos posteriores se pueda realizar un algoritmo que permita calcular nuevos parámetros sísmicos en base a los ya calculados, para calcular estos parámetros será utilizado el método propuesto por Inca (2013).

Para el análisis de Peligro sísmico es necesario conocer las fuentes generadoras de sismos (fuentes sismogénicas) y la distancia entre los puntos de estudio (ecuaciones de atenuación). Por lo que se identificaron fuentes sismogénicas siendo estas: 14 fuentes tipo falla y 20 tipo área definidas por modelos finitos; además se presenta un catálogo histórico, en donde se trata de recopilar la mayor información posible de la región para estudiar la recurrencia de los sismos. La caracterización de las fuentes sismogénicas se hace por medio de las ecuaciones de recurrencia en donde se identifica las probabilidades de que los sismos ocurran.

En las ecuaciones de atenuación se puede observar la afectación de la distancia entre la fuente sismogénica y el punto de estudio. Para este trabajo se seleccionaron leyes de atenuación particulares del sitio, de acuerdo a estudios anteriormente hechos. Se trabajaron con 7 ecuaciones en donde dos de ellas se desarrollaron a nivel global las cuales son Youngs y otros (1997)(ecuación identificada por YO-1997) y Atkinson y boore (2003)(ecuación identificada por AB-2003), y las cinco restantes son para eventos generados en la zona de subducción de las costas del Pacífico, las cuales son: Clemente (2012) (ecuación identificada por CL-2012), García y otros (2005) (ecuación identificada por GA-2005), García y otros (2006) (ecuación identificada por GA-2006), Gómez y otros (2005), (ecuación identificada por GO-2005) y Gómez y otros (2012) (ecuación identificada por GO-2012).

Una vez caracterizada la zona de estudio, se calcularon Espectros de Peligro Uniforme (EPU) para los puntos que se obtienen mediante el trazo de una malla definida de aproximadamente de

30 km de distancia entre cada línea en donde cada intersección presenta un punto de estudio, en total se obtuvieron 208 puntos.

Para la revisión de resultados se seleccionan 26 puntos de la malla creada, estos se comparan con sismos reales y espectros de diseño obtenidos con los reglamentos vigentes, en donde se identifica que para la mayoría de las ecuaciones los EPU para $T_r = 475, 975$ y 2475 años coinciden con los espectros para estructuras del grupo A, los EPU para $T_r = 45, 100$ y 475 años coinciden para estructuras del grupo B de acuerdo a los reglamentos de construcción de Morelia, Mich (1995) (*RCOIM-M-1995*), Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, (1999) (*RCM-C-1999*), Oaxaca de Juárez, Oaxaca (1998) (*RCM-O-1998*) y el Manual de Obras civiles de la CFE (*MOC-2008*).

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	XI
<i>CAPÍTULO I</i>	1
I.1 Antecedentes.....	2
MODELO Y MÉTODO PARA EVALUAR EL PELIGRO SÍSMICO	7
MÉTODO DE INTERPOLACIÓN.....	13
I.2 Justificación	16
I.3 Objetivos.....	17
II.3.1 Objetivo General.....	17
II.3.2 Objetivos Específicos.....	17
II. 4 Alcances	18
<i>CAPÍTULO II</i>	19
II.1 Condiciones geológicas de la región de estudio.....	20
II.2 Descripción local de la región de estudio.....	25
II.2.1 Michoacán.....	25
II.2.2 Guerrero	27
II.2.3 Oaxaca.....	28
<i>CAPÍTULO III</i>	29
III.1 Sismicidad.....	29
III.2 Sismicidad mundial.....	33
III.3 Sismicidad regional.....	34
III.4 Sismicidad local	46

III.5 Potencial sísmico para la región seleccionada	47
<i>CAPÍTULO IV</i>	55
IV.1 Ley de recurrencia	56
IV.2 Ecuaciones del movimiento fuerte del suelo (Ecuaciones de atenuación)	58
IV.2.1 Ecuaciones de atenuación en el Programa EZ-FRISK®	66
IV.4 Análisis de peligro sísmico para la región seleccionada (ejemplo de aplicación: Petatlán, Gro).....	67
<i>CAPÍTULO V</i>	79
V.1 Espectros de diseño	81
V.2 Espectros de respuesta.....	85
V.3 Comparación de espectros.....	89
V.4 Análisis de resultados obtenidos	154
<i>CONCLUSIONES</i>	157
<i>REFERENCIAS</i>	161
<i>ANEXOS</i>	170
Anexo 1	171
Anexo 2	182
Anexo 3	183
EZ-FRISK™	183
Anexo 4	196
COMPARACIÓN DE RESULTADOS	196

ÍNDICE DE FIGURAS

I.1	Placas tectónicas (Servicio Sismológico Nacional de México 2013)	2
I.2	Tasa de excedencia para un sitio de la costa de Guerrero (Gutiérrez, 2006)	6
II.1	Principales tipos de suelo en México (Fuente: INEGI, 2012).....	20
II.2	Megabloques y macrobloques del relieve de las zonas de ruptura y transición de las placas Cocos-Norteamérica. El megabloque de la sierra Mader del sur está compuesto por los siguientes: Jalisco (I), Colima (II), Michoacán (III), Guerrero Occidental (IV), Guerrero Oriental (V), Oaxaca Occidental (VI), Oaxaca Oriental (VII), Tehuantepec (VIII) y Chiapas (IX). (Hernández, 1991)	21
II.3	Estado de Michoacán	25
II.4	Estado de Guerrero	27
II.5	Estado de Oaxaca	28
III.1	Origen de un sismo, y su perpendicular hacia la superficie terrestre (Nyffenegger, 1997)	30
III.2	Tipos principales de falla (Bolt, 1999)	31
III.3	Fronteras entre placas (Zúñiga 2011)	31
III.4	Límites de Placas Tectónicas en todo el mundo (SSN, 2012).....	33
III.5	Límites de Placas Tectónicas en la República Mexicana (Gutiérrez, 2006).....	35
III.6	Regionalización sismotectónica de la República Mexicana para Sismos someros	37
III.7	Regionalización sismotectónica de la República Mexicana para Sismos profundos	37
III.8	Epicentros de sismos con magnitudes mayores o iguales a 4.5 presentados entre 1964 y 1995. Los puntos claros representan sismos superficiales (profundidades menores a 50 km) y los puntos oscuros representan sismos profundos mayores a 50 km. (Gutiérrez y otros, 2005).....	46
III.9	Distribución de magnitudes (Barrientos y otros, 2007).....	47
III.10	Ubicación de sismos mayores a 7.7 (Barrientos y otros, 2007)	48
III.11	Segmentos de ruptura en las costas del océano Pacífico Mexicano.....	54
IV.1	Trazado de malla y obtención de puntos de estudio.....	67
IV.2	Radio de influencia para cada punto de estudio.....	68
IV.3	Fuentes sismogénicas tipo área para el punto de estudio AG-GU14.....	69

IV.4	Fuentes sísmogénicas tipo falla para el punto de estudio AG-GU14.....	69
IV.5	Peligro sísmico por fuente sísmica para el punto AG-GU14 y T=0.1 s. (Ec. At.: GA-2005).....	70
IV.6	Recurrencia de fuente sísmica para el punto AG-GU14.....	71
IV.7	Curvas de Peligro sísmico para el punto AG-GU14 (Ec. At.: GA-2005).....	72
IV.8	Curvas de Peligro sísmico para el punto AG-GU14 (Ec. At.: AB-2003).....	72
IV.9	Curvas de Peligro sísmico para el punto AG-GU14 (Ec. At.: YO-1997).....	73
IV.10	Curvas de Peligro sísmico para el punto AG-GU14 (Ec. At.: GA-2006).....	73
IV.11	Obtención de las ordenadas del EPU.....	74
IV.12	Obtención de EPU para $T_r=475$ años del punto AG-GU14.....	75
IV.13	EPU para el punto AG-GU14 (Ec. At.: AB-2003).....	76
IV.14	EPU para el punto AG-GU14 (Ec. At.: GA-2005)	76
IV.15	EPU para el punto AG-GU14 (Ec. At.: YO-1997)	77
IV.16	EPU para el punto AG-GU14 (Ec. At.: GA-2006)	77
V.1	Ubicación de estaciones y sismos analizados.....	86
V.2	Acelerogramas para tres canales (S 90° E, S 00° E y V) del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 1985 para la estación CALE del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Fuente: Base Mexicana de Sismos Fuertes.....	88
V.3	Espectros de respuesta para tres canales (S 90° E, S 00° E y V) del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 1985 para la estación CALE del Instituto de Ingeniería de la UNAM..	89
V.4	Comparación de EPU (Ec. At.: GA-2005), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Coeficientes del RCOIM-M-1995 para el punto AG-MI47.....	90
V.5	Comparación de EPU (Ec. At.: YO-1997), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Coeficientes del RCM-M-1995 para el punto AG-MI47.....	91
V.6	Comparación de EPU (Ec. At.: GA-2006), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Coeficientes del RCM-M-1995 para el punto AG-MI47.....	92
V.7	Comparación de EPU (Ec. At.: AB-2003), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-C-1999 y Espectros de respuesta para los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1985 para el punto AG-GU40...	94
V.8	Comparación de EPU (Ec. At.: GA-2005), Espectros de diseño calculados con	95

	PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-C-1999 y Espectros de respuesta para los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1985 para el punto AG-GU40...	
V.9	Comparación de EPU (Ec. At.: YO-1997), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-C-1999 y Espectros de respuesta para los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1985 para el punto AG-GU40...	96
V.10	Comparación de EPU (Ec. At.: GA-2006), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-C-1999 y Espectros de respuesta para los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1985 para el punto AG-GU40...	97
V.11	Comparación de EPU (Ec. At.: GA-2005), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-O-1996 y Espectros de respuesta del sismo del 29 de noviembre de 1978 para el punto AG-OA33.....	100
V.12	Comparación de EPU (Ec. At.: YO-1997), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-O-1996 y Espectros de respuesta del sismo del 29 de noviembre de 1978 para el punto AG-OA33.....	101
V.13	Comparación de EPU (Ec. At.: GA-2006), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-O-1996 y Espectros de respuesta del sismo del 29 de noviembre de 1978 para el punto AG-OA33.....	102
V.14	Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b) y GA-2006 (c), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-MI20.....	105
V.15	Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b) y GA-2006 (c), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-MI31.....	107
V.16	Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b) y GA-2006 (c), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-MI32.....	109
V.17	Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b) y GA-2006 (c), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-MI37.....	112
V.18	Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-GU09.....	114

V.19	Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1995 y 9 de octubre de 1995 para el punto AG-GU24.....	117
V.20	Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1985 para el punto AG-GU27.....	119
V.21	Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1985 y para el punto AG-GU28.....	121
V.22	Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta del sismo 9 de octubre de 1995 para el punto AG-GU31.....	123
V.23	Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-GU36.....	125
V.24	Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-GU42.....	128
V.25	Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1985 para el punto AG-GU43.....	130
V.26	Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-MI44.....	132
V.27	Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-MI52.....	134
V.28	Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-GU11.....	137
V.29	Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-GU14.....	139

V.30	Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-GU19.....	141
V.31	Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-GU50.....	143
V.32	Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-OA04.....	145
V.33	Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-OA16.....	147
V.34	Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-OA26.....	149
V.35	Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-OA29.....	151
V.36	Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-OA37.....	153
V. 37	EPU para el punto AG-OA37 (ecuación de atenuación YO-1997)	154
1	Pantalla inicial del programa EZ-FRIK™ v7.62.....	183
2	Selección del módulo de Peligro sísmico del programa EZ-FRIK™ v7.62.....	184
3	Ventana para la introducción de datos para el peligro sísmico.....	185
4	Barra de herramienta para el análisis de peligro sísmico.....	185
5	Pestañas para la entrada de datos.....	185
6	Datos para introducidos en la pestaña de “ubicación del sitio” para el punto AG-GU-14	186
7	Fuentes sísmicas para México.....	187
8	Geometría de fallas (Inca, 2013).....	188
9	Geometría de áreas (Inca, 2013)	189
10	Fuentes sísmicas para México.....	190
11	Creación de fuente sismogénica tipo falla	190
12	Creación de fuente sismogénica tipo falla	191
13	Ecuaciones de atenuación para diferentes regiones del mundo.....	192

14	Ecuaciones de atenuación por medio de código.....	193
15	Parámetros de la relación de atenuación mediante código.....	193
16	Ecuaciones de atenuación mediante base de datos (formato de tabla).....	193
17	Fuentes vs Ecuaciones de atenuación.....	194
18	EPU para Petatlán, Gro. (AG-GU14). Incisos a) Ecuación de atenuación de AB-2003, b) Ecuación de atenuación de GA-2005, c) Ecuación de atenuación de YO-1997 y d) Ecuación de atenuación de GA-2006.....	201
19	EPU para Morelia, Mich. (AG-MI47). Incisos a) Ecuación de atenuación de AB-2003, b) Ecuación de atenuación de GA-2005, c) Ecuación de atenuación de YO-1997 y d) Ecuación de atenuación de GA-2006.....	203
20	EPU para Chilpancingo de los Bravo, Gro. (AG-GU40). Incisos a) Ecuación de atenuación de AB-2003, b) Ecuación de atenuación de GA-2005, c) Ecuación de atenuación de YO-1997 y d) Ecuación de atenuación de GA-2006.....	205
21	EPU para Oaxaca de Juárez, Oax. (AG-OA33). Incisos a) Ecuación de atenuación de AB-2003, b) Ecuación de atenuación de GA-2005, c) Ecuación de atenuación de YO-1997 y d) Ecuación de atenuación de GA-2006.....	207

ÍNDICE DE TABLAS

III.1	Catálogo de sismicidad histórica de la República Mexicana (siglo XIX, XX y XXI) (Gutiérrez, 2010 y SSN 2014)	50
III.2	Periodo de recuperación de los grandes sismos producidos en la zona de subducción del Océano Pacífico (Singh y Suárez, 1986)	53
IV.1	Caracterización de fuentes sismogénicas tipo falla	57
IV.2	Caracterización de fuentes sismogénicas tipo falla	58
IV.3	Ecuaciones de Atenuación	66
IV.4	Aceleraciones máximas Ec At.: CL-2012, GO-2005, GO-2012.....	78
V.1	Selección de puntos de estudio.....	80
V.2	Tipos de suelo de acuerdo a reglamentos vigentes	81
V.3	Coefficientes sísmicos de diseño para Morelia, Mich.	82
V.4	Coefficientes sísmicos de diseño para Chilpancingo, Gro.	83
V.5	Coefficientes sísmicos de diseño para Oaxaca de Juárez, Oax.	83
V.6	Parámetros de acuerdo al MOC-2008.....	85
V.7	Registros acelerométricos por estación, Fuente: Base Mexicana de Sismos Fuertes.....	87
V.8	Aceleraciones máximas par las ecuaciones de atenuación GO-2005 Y GO-2012 para el punto AG-MI47.....	93
V.9	Aceleraciones máximas par las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 Y GO-2012 para el punto AG-GU40.....	98
V.10	Aceleraciones máximas par las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-OA33.....	103
V.11	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-MI20.....	106
V.12	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-MI31.....	108
V.13	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-MI32.....	110

V.14	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-MI37.....	111
V.15	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU09.....	115
V.16	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU24.....	116
V.17	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU27.....	118
V.18	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU28.....	122
V.19	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU31.....	124
V.20	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU36.....	126
V.21	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU42.....	127
V.22	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU43.....	129
V.23	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-MI44.....	133
V.24	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-MI52.....	135
V.25	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU11.....	136
V.26	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU14.....	138
V.27	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU19.....	140
V.28	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU50.....	142

V.29	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-OA04.....	144
V.30	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-OA16.....	146
V.31	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-OA26.....	148
V.32	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-OA29.....	150
V.33	Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-OA37.....	152
1.1	Datos utilizados para el análisis de Peligro sísmico de la región de estudio.....	177
2.1	Base de datos.....	188

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los eventos sísmicos son comunes en la costa de la República Mexicana, en este territorio se encuentran en contacto cinco placas tectónicas principales como se puede observar en la figura I.1. Existen estudios con diferentes líneas de investigación que tratan desde el origen de los sismos, descripción de éstos por medio de relaciones físicas, e incluso han tratado de hacer predicciones de epicentros o magnitudes. El objetivo de algunos de estos estudios, en todo caso, es mejorar las condiciones del diseño sismo-resistente, y esto tendrá como consecuencia minimizar el daño estructural y las pérdidas de vida en futuros sismos (Barrientos y otros, 2007). En cualquier estructura diseñada con consideraciones sismo-resistentes, es necesario conocer los eventos sísmicos que pudieran afectarla, en términos de magnitud, contenidos de frecuencia, aceleraciones, velocidades, desplazamientos. Esto podría garantizar el buen comportamiento sísmico de la estructura, y como consecuencia aumentar la seguridad y el bienestar de quienes las habitan. Es difícil estimar la máxima intensidad que se puede presentar en futuros eventos sísmicos, de aquí nacen los estudios de análisis sísmico, que utilizan evidencia geológica, tectónica y toda aquella fuente sísmica histórica registrada a través de instrumentos especializados.

Para un diseño sísmico específico de alguna estructura importante, siempre se adoptan máximos absolutos de velocidad y aceleración del terreno, a partir de eventos registrados, los cuales se

muestran en una gráfica de intensidad contra frecuencia. Es importante conocer estos parámetros de diseño para determinado sitio, pues no en todos los lugares se tienen los mismos valores, y entonces el diseño sísmico se hace cada vez más refinado.

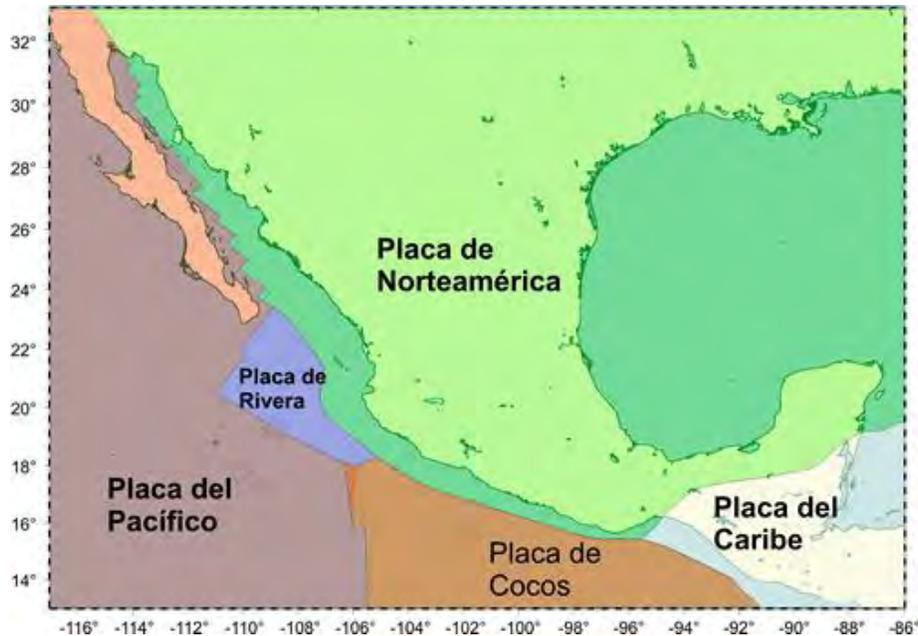


Figura I.1 Placas tectónicas
(Servicio Sismológico Nacional, 2013)

En este trabajo se propone el cálculo de parámetros sísmicos (específicamente Espectros de Peligro Uniforme), de manera sistemática, para los estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Se utiliza el método propuesta por John y Stephen (Adams y Halchuk, 2008) quienes obtienen espectros de peligro uniforme para cualquier punto de Canadá, este método es modificado por Eliana (Inca, 2013) para ser aplicado en la República Mexicana, el resultado es la elaboración de una base de datos con parámetros sísmicos, definiendo inicialmente puntos de 30 a 40 km de distancia para formar una malla. La finalidad es obtener parámetros sísmicos para cada punto, los cuales podrán ser consultados por la población en general.

I.1 Antecedentes

La mayor actividad sísmica de la República Mexicana es provocada por la interacción de las placas Norteamérica, Cocos y Rivera, en donde también existen sismos generados al interior de

estas, que son los sismos intraplaca y por consecuencia es importante la evaluación del peligro sísmico en México, debido a la frecuencia de sismos de gran magnitud que afectan principalmente a la costa de este territorio. Los daños causados durante un sismo son grandes en algunos puntos de la República, un ejemplo que más se encuentra presente, es el sismo ocurrido en septiembre de 1985 donde la ciudad de México tuvo pérdidas materiales y lo que es más lamentable son las decenas de miles de pérdidas de vidas humanas.

El estudio del efecto de sismos de grandes magnitudes en las estructuras ha generado que se realicen investigaciones de riesgo sísmico. Con esos estudios se proporcionan mapas de peligro sísmico, que consideran la ocurrencia y característica de los eventos sísmicos. Estos procedimientos permiten evaluar diferentes parámetros sísmicos (velocidades, desplazamientos, aceleraciones) para diferentes periodos correspondientes a una probabilidad, el resultado se conoce como Espectro de Peligro Uniforme (EPU).

Es necesario diferenciar entre peligro y riesgo sísmico para determinar el potencial de daño en un sitio determinado. El peligro sísmico es la cuantificación de la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico específico en una zona dada y el riesgo sísmico a la probabilidad de ocurrencia, dentro de un plazo dado, de un sismo que cause, en un lugar determinado, un cierto efecto definido como pérdida o daño determinado (Nava, 1987).

En una evaluación del riesgo sísmico influye el peligro sísmico, los efectos locales (amplificación, licuefacción, etc.), la vulnerabilidad de las construcciones, número de habitantes de la población, etc. En otras palabras, se puede entender al riesgo como la amenaza que el peligro sísmico representa a la vida y a la propiedad. Por ejemplo, en áreas con peligro sísmico alto pueden tener riesgos bajos cuando el lugar tiene una población pequeña, y áreas con peligro moderado puede tener riesgo alto cuando la población es grande y además existen construcciones de muy mala calidad, por lo que se puede llegar a la conclusión que: el riesgo puede ser reducido por acciones del hombre, mientras que el peligro sísmico no.

El peligro sísmico se cuantifica con base en la magnitud y del tiempo que tarda un sismo en recurrir, que se conoce como periodo de retorno, o sus inversos, las tasas de excedencia (número

de veces que ocurre un evento de un tipo, o que se excede un valor de aceleración en un tiempo dado). En pocas ocasiones es posible hacer una cuantificación directa del número de veces que se excede un valor, ya que los catálogos no son suficientemente completos debido a lo corto de la historia instrumental. Es necesario entonces hacer evaluaciones usando la información disponible y estimaciones probabilísticas que complementan los datos faltantes (generalmente relacionados a la ocurrencia de los sismos mayores). Para calcular el peligro al que está expuesto un sitio, se evalúa la tasa de actividad producida por una fuente sísmica (que puede ser una falla o región sismotectónica) y posteriormente se integran los efectos que producen todas las fuentes que pueden afectar al sitio. La actividad de cada una de las fuentes sísmicas se especifica en términos de la tasa de excedencia de las magnitudes que ahí se generan, es decir, que tan frecuentemente se generan un sismos de magnitud superior a la especificada en cada fuente (Mendoza, 2012).

Los estudios de algunos sismólogos está encaminada al entendimiento de los grandes sismos y poder asegurar una probabilidad confiable, donde la sismología estadística es la principal herramienta matemática para la descripción, comprensión y pronóstico de la ocurrencia de sismos (Mendoza, 2012). Pero uno de los principales problemas que se presentan en este tipo de estudios es que en ocasiones no es posible conocer con detalle la sismicidad (la ocurrencia y distribución de sismos) de una zona, debido la mala calidad de los registros con los que se cuentan o falta de datos. Por tal motivo muchos países se han equipado con redes sísmicas de calidad, con el fin de conocer la sismicidad de la región y evaluar las probabilidades para la ocurrencia de sismos. Por otra parte existen países en donde no se cuenta con instrumentación adecuada o suficiente que permita este tipo de estudios y es ahí en donde se recurre a modelos estocásticos para evaluar probabilidades.

Los métodos utilizados para evaluar el peligro sísmico de un sitio o lugar pueden ser deterministas y probabilistas. Ambos consideran la sismicidad como un fenómeno estacionario, y suponen que los sismos que ocurrirán en el futuro serán de las mismas características que los sucedidos en el pasado. Como esta hipótesis no refleja bien la realidad física, también se han considerado modelos no estacionarios que tienen en cuenta la diferente probabilidad de ocurrencia de los sismos antes y después de un sismo de notable magnitud (Duarte y Campos-Costa, 1992).

El método para la evaluación probabilista del peligro sísmico (EPPS) y su aplicación al diseño sísmico ha sido estudiado por Esteva 1968, Newmark y Rosenblueth 1970 y Rosenblueth y Esteva 1972. Es importante comentar que se recurre a procedimientos probabilísticos dado que no se cuenta con un catálogo sísmico que cubra periodos suficientemente largos para determinar directamente los periodos de recurrencia característicos de las diferentes zonas sismogénicas.

Se tiene, para la República Mexicana, un conocimiento claro de la sismicidad a partir del siglo pasado. Sin embargo, con respecto al siglo XIX sólo se conoce de manera general la ocurrencia de eventos con magnitudes de 7 en adelante. Debido a la deficientes estaciones sismológicas del siglo XIX es probable que se hayan presentado sismos importantes ($M > 6$) que no hayan sido registrados. Las localizaciones epicentrales y las profundidades correspondientes no alcanzan la precisión que se tiene actualmente para siglos anteriores, la incertidumbre en cuanto a número de temblores, su punto de origen y profundidad es aún mayor. De ellos sólo se tienen referencias históricas, particularmente a partir del siglo XVI (Gutiérrez, 2006).

El procedimiento para la estimación del peligro sísmico implica el análisis de la sismicidad local, y se divide el territorio nacional en secciones nombrados fuentes generadoras o sismogénicas, para las cuales se supone una tasa constante de generación de sismos. Posteriormente, se determinan los efectos que son producidos por cada una de ellas en un sitio dado, en términos de intensidad sísmica instrumental. Para ello se desarrollan relaciones de atenuación del movimiento fuerte del suelo, que relacionan las magnitudes de las fuentes sismogénicas y la posición de la fuente con relación a un sitio. Dichas leyes asumen el principio de que, en la medida que aumenta la distancia a partir de la fuente, la intensidad disminuye, pues se considera que con la distancia la propagación de las ondas cesa, aunque esta suposición varía de acuerdo al medio en donde se propagan las ondas, es la más aceptada para la descripción de las ecuaciones de atenuación.

El peligro sísmico se describe mediante indicadores de las probabilidades de ocurrencia de movimientos sísmicos de diferentes intensidades y para ello, se utiliza la tasa de excedencia de parámetros de intensidad sísmica. La tasa de excedencia λ (M) es el inverso del periodo de

retorno, y se define como el número medio de veces, por unidad de tiempo, que ocurre un temblor con magnitud mayor a M o aceleraciones máximas. En la figura I.2, se muestra un ejemplo de tasa de excedencia, en donde se indican las aceleraciones máximas del terreno y su correspondiente periodo de retorno, para un sitio en la costa de Guerrero, una aceleración de 300 cm/s^2 tiene un periodo medio de repetición de 100 años.

En resumen, en la evaluación del peligro sísmico se integra como un modelo, que está definido por las zonas de fuentes sísmicas (sismogénicas), los modelos de ocurrencia, relaciones magnitud-recurrencia, y las leyes de atenuación (las ecuaciones de predicción del movimiento del terreno) para estimar el peligro sísmico (Cornell 1968, Esteva, 1968, McGuire, 2004). Los resultados de la EPPS son usados para desarrollar espectros de peligro uniforme (EPU) y mapas de contorno de peligro sísmico, que sirve de base para la elaboración de códigos de diseño sísmico y para la reducción del riesgo. Normalmente estos mapas representan el movimiento del terreno, y está usualmente basada en la aceleración máxima del terreno (PGA) o en la pseudoaceleración espectral (SA).

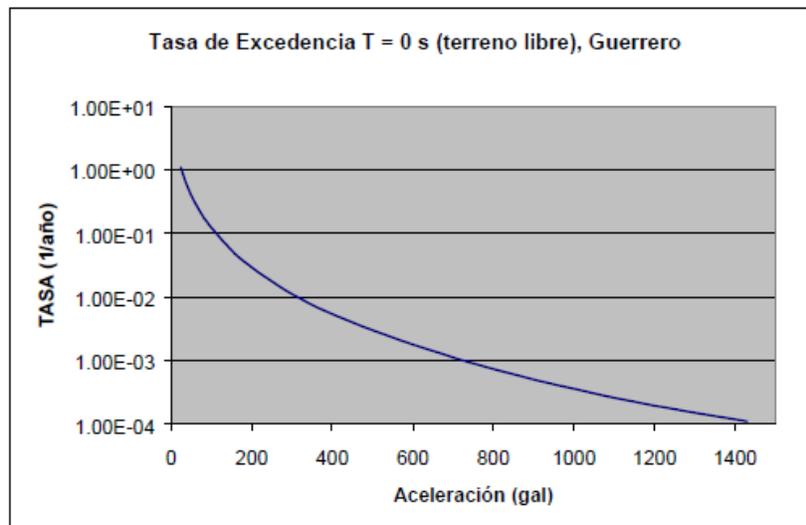


Figura I.2 Tasa de excedencia para un sitio de la costa de Guerrero (Gutiérrez, 2006)

La intención de presentar información relativa a aceleraciones máximas del terreno y periodos de retorno para una intensidad asociada a la ocurrencia de daños en construcciones, se debe a la

necesidad de poder identificar los escenarios más desfavorables esperados y, por otro lado, la relación entre la intensidad y el nivel de daño probable (Gutiérrez, 2006).

MODELO Y MÉTODO PARA EVALUAR EL PELIGRO SÍSMICO

El cálculo del peligro sísmico es probabilista y la caracterización de modelos sobre la ocurrencia de un sismo, las zonas de fuentes sísmicas, las relaciones de magnitud-recurrencia, y las leyes de atenuación (Cornell 1968, Esteva 1968, McGuire 2004), se evalúan estadísticamente. Toda la información histórica y registros de los movimientos del terreno son esenciales.

Los estudios de peligro sísmico estiman de forma aproximada la probabilidad de que un evento sísmico ocurra. El peligro sísmico es la probabilidad de que un parámetro del movimiento del suelo, llegue a superar un nivel o valor esperado en un tiempo t de interés, depende de la tectónica del territorio y la sismicidad de las fuentes que intervienen en una región. Lo más importante son la magnitud y aceleración. Se debe analizar toda la evidencia geológica (fallas y actividades registradas) áreas de ruptura y desplazamientos. Existen diversos estudios en donde el peligro sísmico se puede determinar por medio de enfoques probabilistas o deterministas, estos recopilan información sobre el historial sísmico, así como las fuentes sismogénicas que afectan al lugar de estudio, estos enfoques se describen a continuación.

Determinista: (Reiter, 1990 y Kramer, 1996) en este enfoque se analiza la zona de estudio y estima el sismo potencial (sismo característico), sólo este es considerado en el análisis y se presume que se repetirá. Esto se hace en 4 etapas:

1. Identificación y caracterización de todas las fuentes sísmicas que produzcan movimientos significativos. Para la caracterización se definen la geometría de la falla, potencial sísmico y parámetros cercanos.
2. Se determinan la distancia del sitio a la fuente, es decir la distancia del hipocentro o epicentro a la zona de estudio.
3. Selección del sismo de control o el sismo más fuerte esperado identificado en el paso 1. Este sismo generalmente es el que ha producido más daños o el que producirá una gran sacudida en el terreno.

4. Las características del sismo de control son obtenidas de la relación de atenuación, (aceleración pico, velocidad y ordenada del espectro de respuesta) con esto se caracteriza el peligro sísmico.

Probabilista: (Reiter, 1990 y Kramer, 1996) este enfoque está basado en el historial de sismicidad, y el peligro se estima sumando todas las fuentes consideradas. Esto proporciona una curva de probabilidad anual de superación de diferentes parámetros sísmicos. El inverso de la probabilidad anual de excedencia se llama periodo de retorno, que indica el número de años en el que se espera la superación del nivel elegido. Esto se hace sólo en una extensión pequeña, y la homogeneidad de la muestra de sismos por lo que es limitada. Para ello se utilizan dos modelos:

- Modelo de sismicidad, describe la distribución gráfica de las fuentes del evento y magnitudes, mediante relaciones de atenuación del movimiento fuerte del terreno
- Modelo de atenuación describe efectos sobre un sitio mediante magnitud distancia de fuentes a sitios, tipo de suelo, etc.

Se identifican los siguientes pasos para efectuar el enfoque probabilista:

1. Identificación y caracterización de las fuentes, descripciones históricas, catálogos sísmicos, mapas de isosistas e información instrumental. También parámetros sísmicos que evalúen el proceso en el foco, tamaño, localización, coordenadas hipocentrales y hora origen. Esto nos dará información importante sobre las fallas o regiones activas.
2. Establecer relaciones de recurrencia, la más utilizada para caracterizar las fuentes sismogénicas es la presentada por Gutenberg y Richter (1944) (descrita con más detalle en el capítulo IV), todos los datos deben ser homogéneos, independientes (no réplicas) y con registros completos. Se toman siempre magnitudes mayores a 5 o intensidad mayor a V en Escala de Mercalli.
3. Definición de relaciones predictivas; son obtenidas de regresiones por mínimos cuadrados u otros métodos de un conjunto de parámetros que dependen de la magnitud-distancia. Generalmente los movimientos de terreno se asumen como distribuciones de probabilidad log-normalizadas y las características de estas relaciones de predicción se pueden explicar de acuerdo con Gama (2010). De manera resumida esta predicción se

presenta en la ecuación I.1, en donde se tiene que $\sigma \ln Y = c_9$, describe incertidumbre para los valores de los parámetros del movimiento del terreno y cada variable representar un factor que se describe a continuación.

$$\ln Y = \underbrace{c_1}_{a} + \underbrace{c_2 M + c_3 M^{c_4}}_b + \underbrace{c_5 \ln(R)}_c + \underbrace{c_6 \exp(c_7 M)}_d + \underbrace{c_8 R}_e + \underbrace{f(\text{fuente}) + f(\text{sitio})}_f \quad (\text{I.1})$$

- a. Los valores pico de parámetros del movimiento del terreno se aproximan mediante distribuciones lognormales. Obteniéndose la regresión sobre el logaritmo del parámetro de interés de movimiento del terreno (Y).
- b. La magnitud sísmica está definida como el logaritmo de algún parámetro del movimiento pico. Consecuentemente, $\ln Y$ puede ser proporcional a la magnitud (M).
- c. La propagación de las ondas sísmicas viajan desde la fuente de un sismo, produciendo amplitudes en las ondas de cuerpo que decrecen de acuerdo a $\frac{1}{R}$ y amplitudes de ondas superficiales que decrecen de acuerdo con $\sqrt{\frac{1}{R}}$.
- d. El área donde ocurre la ruptura de la falla se incrementa de acuerdo con el incremento de la magnitud del sismo. En algunos casos la distancia efectiva que recorren las ondas que provocan el movimiento fuerte sobre un sitio, R crece de acuerdo con el incremento de la magnitud.
- e. Parte de la energía se propaga por las ondas sísmicas y es disipada en el viaje por los materiales del terreno. Este amortiguamiento causa que las amplitudes del movimiento del terreno disminuyan exponencialmente con R .
- f. Los parámetros del movimiento del terreno están influenciados por las características de la fuente (longitud, dislocación repentina, normal, falla inversa, etc.) y características del terreno por donde se transita.

4. Distribución de probabilidad del movimiento. Se determina la probabilidad de ocurrencia de un valor del parámetro o el movimiento.

Una vez conocida la sismicidad de las fuentes y patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas, incluyendo los efectos de la geología, puede calcularse el peligro sísmico considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio de interés. La probabilidad de que un parámetro del movimiento del suelo (Y) llegue a exceder un valor particular (x), se calcula para un sismo particular en un sólo lugar posible, y es multiplicado por la probabilidad de que ese sismo particular de magnitud (m) llegue a ocurrir en esa ubicación (r). Este proceso se repite para todas las magnitudes de sismo, y ubicaciones de fuente posibles, sumando sus probabilidades particulares. Entonces, la expresión que representa la probabilidad de que un parámetro (Y) llegue a exceder un valor particular (x), está dada según la ecuación I.2 (Kramer, 1996);

$$P[Y > x] = \iint P[Y > x|m, r] f_M(m) f_{R|M}(r, m) dr dm \quad (I.2)$$

Donde $P[Y > x|m, r]$, se obtiene de las relaciones de predicción (leyes de atenuación) elegidas (capítulo IV); $f_M(m)$ es la función de densidad de probabilidad de magnitudes (parte de las relaciones de recurrencia definidas); $f_{R|M}(r, m)$ representa la función de densidad de probabilidad para distancia de fuentes a sitio, y se obtiene a partir de la caracterización de fuentes.

En la actualidad el peligro sísmico se estudia en varias partes del mundo, **Frankel (1995)** y **Frankel et al. (1996)** hicieron mapas de peligro sísmico probabilista para el Centro y Este de los Estados Unidos, con la finalidad de proponer nuevas disposiciones en las normas para el diseño sísmico de nuevos edificios, estos mapas se muestran en el U.S. Geological Survey (USGS). En Canadá **Adams y Halchuk (2008)** propusieron un modelo con base en el método de Cornell-McGuire, este a su vez propone dos modelos, uno depende de un sismo histórico (método determinista) y la otra de la sismicidad regional (método probabilista) donde consideran al suelo firme (roca) y periodos de 0.2, 0.5 y 1 s. Por otra parte **Leyton y otros (2010)** incorporan la definición de las fuentes sismogénicas más importantes (interplaca, intraplaca de profundidades

intermedias y corticales), una reestimación de las leyes de Gutenberg-Richter y el uso de leyes de atenuación específicas para cada una de ellas. Con estos nuevos datos generan mapas que muestran la aceleración horizontal máxima (PGA) esperada para una cierta probabilidad en un determinado período de vida útil, donde no solo influye la fuente interplaca, sino que también se observa el efecto de las fuentes intraplaca de profundidad intermedia y cortical.

Investigaciones en relación al cálculo del peligro sísmico en México y su inclusión en reglamentos están dadas por:

- **Zúñiga et al. (1997)** recopilan y homogenizan datos que conforman el catálogo regional de sismicidad para después presentar bases para el cálculo de peligro sísmico y de los resultados obtenidos formar mapas con curvas de iso-aceleraciones del terreno, estimadas con base en una probabilidad de 90% de no-excedencia en un periodo de tiempo de 50 años, los cuales se convertirían en un catálogo completo, además de un mapa probabilístico de peligro sísmico para todo América Latine y el Caribe.
- **Ordaz y Reyes (1999)** estiman pérdidas económicas de los edificios con base en resultados sobre el estudio del Peligro sísmico, y para evaluar dicha pérdida toman como referencia el efecto del suelo hacia los edificios es decir, utilizan funciones de vulnerabilidad basadas en el desplazamiento para estimar el porcentaje de daño en cada planta de la edificación, en su método emplean tres diferentes ecuaciones de atenuación para terrenos firmes en la ciudad de México y para la zona costera utilizan las derivadas de Reyes (1999). Todas las ecuaciones se construyeron para 5% de amortiguamiento y para varios periodos estructurales. Las curvas de peligro se obtuvieron en términos de tasas de excedencia de aceleraciones espectrales (SA) y se calcularon utilizando el método estándar Esteva-Cornell para varios periodos estructurales 0 y 5 s.
- **Reyes et al. (2002)** presentan una comparación entre dos procedimientos, forma espectral normalizada y ley de atenuación espectral, para estimar el espectro de aceleraciones horizontales absolutas para una fracción del 5% del amortiguamiento crítico en la estación acelerográfica CU. Esta estación se localiza en la zona de terreno firme de la ciudad de México, específicamente en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. De la comparación, resulta que la ley de atenuación espectral es el mejor procedimiento para estimar el espectro de aceleraciones en la

estación CU. También, se estudia la técnica que se basa en los cocientes espectrales de respuesta (CER) para estimar el espectro de aceleraciones en las estaciones de la zona de terreno blando de la ciudad. Finalmente, se presentan ejemplos de espectros de peligro uniforme para distintos periodos de retorno en la estación CU y en estaciones localizadas en la zona de terreno blando de la ciudad.

- **Esteva et al. (2002)** desarrolla un método para la determinación de las funciones de daños esperados en términos de modelos de referencia simplificadas de los sistemas complejos no lineales que son típicos en la práctica de la ingeniería. Las incertidumbres asociadas con el uso del modelo simplificado para estimar las respuestas dinámicas pico del sistema de interés se contabilizan por medio de primer orden, segundo momento criterios probabilísticos. Una aplicación ilustrativa de los criterios propuestos se presenta, junto con una discusión sobre la traducción de los resultados de los estudios de optimización en criterios de ingeniería y métodos expresados en formatos convencionales de diseño.
- **García (2006)** toma en cuenta la incertidumbre en ocurrencia de los sismos y en las sollicitaciones sísmicas de diseño, para la evaluación probabilística del peligro sísmico, y desarrolla espectros de peligro uniforme (EPU) y mapas de contorno de peligro sísmico, también propone que; la demanda de ductilidad de desplazamiento puede diferir para sismos interplaca e *inslab* (sismos de falla normal, de profundidad intermedia, que se localizan dentro de las placas oceánicas que subducen bajo el continente, y que ocurren cuando la roca se rompe por las grandes deformaciones que producen los esfuerzos de tensión aplicados sobre el plano de la roca), por lo que esta diferencia debería incorporarse en la estimación de la confiabilidad estructural. Se calcula la contribución al peligro sísmico de cada tipo de sismo; y se estima el nivel de carga sísmica requerido para diseño, considerando las diferencias en la demanda de ductilidad causada por sismos interplaca e *inslab*.
- **Bojórquez et al. (2008)** evalúa la confiabilidad estructural de los edificios de acero de mediana altura ubicados en la zona del lago de la Ciudad de México. Los parámetros de la demanda del sismo que se utilizan son: a) deriva máxima de entrepiso; y b) Energía plástica normalizada. Las curvas de demanda de peligro de los edificios se expresan en términos de ambos parámetros, donde se consideran todas las posibles intensidades de los

sismos por métodos probabilistas considerando que no exceda una tasa media anual propuesta. Las curvas se comparan y se utilizan para proporcionar una idea general de los niveles de confiabilidad asociados al conjunto de edificios.

- **Tena-Colunga et al. (2008)** definen el peligro sísmico como una función continua de aceleraciones pico en roca y a su vez estas son asociadas con periodos de retorno que se obtuvieron de la utilización de diseño óptimo (lo cual se explica con más detalle en documentos presentados por Ordaz et al. 2007, Pérez-Rocha y Ordaz 2008, MOC-2008). En este trabajo se emplean todas las fuentes de sismos conocida, el máximo sismo creíble esperado y todos los escenarios probables para las diferentes regiones sísmicas. Es decir el peligro sísmico se evalúa utilizando métodos deterministas y probabilistas.

MÉTODO DE INTERPOLACIÓN

Los daños que se pueden presentar en una estructura debido a un sismo, está determina por el movimiento del terreno y la construcción (deficiencia en el proceso de construcción, materiales de mala calidad, etc.), este movimiento se puede estimar con base en probabilidades que particularmente son resultado de estudios de peligro sísmico. En Canadá (National Building Code of Canadá NBCC, 2005), la evaluación del peligro sísmico es estudiada por el Servicio Geológico de Canadá y presenta modelos de peligro sísmico de 4^a generación, que incluyen mapas con valores medios de aceleración del terreno para sitios con suelo firme (roca) en donde se emplean estudios estadísticos de sismos pasados, la estructura tectónica y la geológica de Canadá. Esta información es presentada en mapas, donde expresan el movimiento del suelo para cierta probabilidad en términos de parámetros sísmicos, siendo más utilizadas las aceleraciones espectrales para la aceleración pico de terreno (PGA), y para periodos de 0.2 s, 0.5 s, 1 s y 2 s. Estos parámetros permiten la construcción de espectros de peligro uniforme (EPU) para cualquier sitio de Canadá y son incluidos en el Código Nacional de Construcción y se utilizan para diseñar y construir edificios.

Para calcular los parámetros sísmicos en Canadá y parte EUA se utilizaron alrededor de 200 000 puntos, distribuidos en una malla (cada punto está dado por latitud y longitud) con distancias de 10 km para diferentes periodos de retorno (2%, 5%, 10% y 40% en 50 años). Posteriormente se

realizó un proceso de interpolación a fin de tener mapas con mayor precisión y de dominio público y de fácil acceso (http://www.earthquakescanada.nrcan.gc.ca/hazard-alea/interpolat/index_2005-eng.php) en donde solo se introduce las coordenadas del punto de interés.

Para lograr la interpolación de los EPU, se utilizó el Método de Ponderación de distancia inversa (IDW) Shepard (Shepard, 1968), que es una de las técnicas mayormente utilizadas para la interpolación de parámetros, tanto por su facilidad como por su confiabilidad en los resultados. El método se basa en considerar que la superficie de interpolación debe estar influenciada, en mayor proporción, por los puntos conocidos más cercanos e influyen menos aquellos puntos más distantes. La superficie de interpolación es una media ponderada entre los puntos conocidos y el peso asignado a cada punto; este peso disminuye a medida que la distancia de interpolación conocida aumenta.

El trabajo de Inca (2013) propone un método basado en el de Canadá para estimar el peligro sísmico en el municipio de Ometepec y que es aplicable a la República Mexicana, primero analiza la influencia y la variación de las fuentes sísmicas que aportan al peligro (para diferentes radios: 200 km, 320 km y 500 km) y calcula EPU para cuatro relaciones de atenuación respectivamente y diferentes periodos de retorno ($T_r = 20$ años, 45 años, 100 años, 475 años, 975 años y 2475 años) y se observó, que los radios de influencia de 500 km se sobreponen a los de 320 km y 200 km, y los EPU obtenidos con este último caso, algunos sub-estiman las ordenadas espectrales. Por lo que consideró oportuno trabajar con un radio de influencia de fallas de 320 km, este permite abarcar las fallas sísmicas importantes de la región.

Para la interpolación de puntos, Eliana (Inca, 2013) consideró tres modelos con diferentes distancia para los puntos de interpolación respecto a Ometepec: ≤ 15 km, ≤ 30 km y ≤ 70 km y observó que a pesar de contar con un número reducido de puntos, se obtuvieron buenas aproximaciones de los EPU debido a las cortas distancias en los dos primeros modelos, sin embargo, los resultados pueden ser más precisos incrementando el número de puntos. Para puntos menores a 15 km observa que los EPU interpolados quedan muy cercanos y quedan con una ligera sub-estimación en periodos menores a 2 s.

Para puntos menores de 70 km, se observó que debido al incremento de distancia de los puntos de interpolación, se obtuvo un EPU poco preciso, con una sobre- estimación de los resultados considerable pues, los espectros interpolados presentan aceleraciones espectrales mayores que los calculados para todos los casos, lo que indica que para distancias hasta 70km, no se obtendrán resultados adecuados en interpolaciones de EPU. Para las distancias de interpolación de 70 km, los resultados no se ajustan al EPU calculado para Ometepec. Los modelos 1 y 2, con distancias ≤ 30 km permiten obtener resultados más precisos, con errores menores al 3%.

Otro factor a tomar en cuenta en la interpolación de EPU, son las fuentes sísmicas, no es recomendable trabajar con distancias de interpolación muy grandes (70km), debido a que las fuentes sísmicas que afectan a una región no necesariamente son las mismas en otras regiones a determinadas distancias, como ocurre en la costa del Pacífico Mexicano. Entonces surgen problemas de incoherencias con las fuentes sísmicas de los sitios en estudio y todas las variables que se derivan de dichas consideraciones (Inca, 2013).

En resumen Eliana (Inca, 2013) determina algunas variables importantes para el método propuesto:

- a) Trabajar con un radio de influencia del punto analizado de aproximadamente 320 km.
- b) Las mejores interpolaciones de EPU se obtienen con distancias de puntos de interpolación a sitios de estudios menores o iguales a 30 km y también es recomendable trabajar con 5 puntos de interpolación como mínimo para obtener errores menores al 6%.

I.2 Justificación

Los efectos desastrosos de los sismos que se han observado en distintas ciudades de México son consecuencia de la mala programación urbana y de criterios de diseño que en algunos casos ignoran o representan deficientemente a los sismos. Los sismos no se presentan en un lugar, un día, una hora o algún mes determinado, pero si tienen una característica peculiar que es la recurrencia, es decir, un sismo se puede presentar en un determinado tiempo con las mismas características. En la actualidad existen diversos estudios que describen la recurrencia en las principales zonas de alta sismicidad que corresponden a la zona de subducción de la República Mexicana (interacción de las placas Pacífico, Norteamérica, Cocos, Rivera y Caribe). El resultado de estos estudios es el peligro sísmico, que además depende de diversos factores como son la distancia del epicentro, tipo de suelo, entre otros.

La importancia de un estudio de peligro sísmico da como resultado parámetros sísmicos que pueden ser de gran utilidad para diseños sismoresistentes de estructuras para determinado lugar. En este trabajo se obtendrán parámetros sísmicos para Michoacán, Guerrero y Oaxaca que podrán ser incluidos en especificaciones de diseño.

Lo anterior en conjunto con una buena práctica de construcción, impactará en la reducción del daño en los edificios y servicio público, y en especial en la pérdida de vidas humanas.

I.3 Objetivos

II.3.1 Objetivo General

El objetivo general del presente trabajo es la generación de una base de datos con parámetros sísmicos para los estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca; mediante el trazado de una malla de 30 a 40 km de separaciones entre líneas.

II.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el peligro sísmico para la región seleccionada por el enfoque determinista y probabilista.
- Definir zonas sismogénicas, ecuaciones de recurrencia y atenuación adecuadas
- Generación de parámetros sísmicos para la región seleccionada.
- Elaboración de base de datos con parámetros sísmicos de la región, a cada 30 o 40 km

II. 4 Alcances

En este trabajo se recurre a referencias históricas y a métodos y estudios sísmicos reportados por diversos autores. Se identifican y caracterizan las fuentes sismogénicas que generan la actividad sísmica en los estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Se crea una malla de aproximadamente 40 km donde cada intersección es un punto de estudio. Para cada uno de estos puntos se calcularon EPU para terreno firme mediante un análisis de peligro sísmico sin tomar en cuenta el riesgo sísmico, y los efectos de sitio por lo que se deberá hacer un análisis más detallado para identificar los puntos en donde pudiera haber amplificaciones de ondas sobre el terreno o fenómenos de licuación y direccionalidad.

La selección de las ecuaciones de atenuación se llevó a cabo a partir del análisis de la literatura actual y aplicable a la región de estudio, donde se describen las aceleraciones espectrales para terreno firme y las aceleraciones máximas de terreno. Finalmente sólo se seleccionaron puntos que coincidían con estaciones acelerométricas para poder comparar con la mayor información los resultados aquí obtenidos, pero se limita a que no se cuentan con los registros de todas las estaciones ni reglamentos correspondientes.

CAPÍTULO II

CONDICIONES GEOLÓGICAS

Para poder estimar el peligro sísmico de un lugar, se requiere de un procedimiento complejo que implica conocer, entre otros elementos, el catálogo sísmico con magnitudes y localizaciones epicentrales confiables, además de un amplio conocimiento de la tectónica, condiciones geológicas y geotécnicas que caracteriza a las diferentes regiones analizadas.

Dado que el fenómeno del efecto de sitio es un factor determinante en el estudio de peligro sísmico, se debe incluir, además de la información acerca de las fuentes sísmicas y las ecuaciones de atenuación para el lugar estudiado, los efectos de la geología local (amplitud, direccionalidad, licuación, etc.). Por tanto, para una valoración completa se tendrán que incluir parámetros derivados de una microzonificación sísmica propia.

Se conoce como efecto de sitio a la respuesta sísmica del terreno con características significativamente distintas en amplitud, duración o contenido de frecuencias de un área relativamente reducida, con respecto al entorno regional. En otras palabras, podría decirse que el efecto de sitio es aquella condición bajo la cual se llegan a observar intensidades sísmicas notablemente distintas y localizadas sin que haya una correlación con la atenuación normal de la energía sísmica con la distancia.

Actualmente sólo algunas ciudades de la República Mexicana cuenta un estudio detallado, es decir microzonificación, debido a los altos costos que este estudio genera por lo que, en este

trabajo sólo se describe de manera muy general la de la región de estudio, que son los estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca.

II.1 Condiciones geológicas de la región de estudio

Uno de los territorios de mayor complejidad en estructura geológica es la sierra Madre del Sur, está compuesta por la conjugación de diferentes dominios tectónicos acrecionados en diversas etapas a lo largo de la zona subducida de las placas tectónicas Cocos-Norteamérica. El relieve que compone la Sierra Madre del Sur, atestigua su compleja historia geológica que inicia en el precámbrico (Maldonado-Koerdell, 1970). Esta gran región orográfica se extiende desde Jalisco y Colima, al Norte, hasta Chiapas al Sur, atravesando las regiones de Michoacán, Guerrero y Oaxaca y parte del estado de México como se puede observar en la figura II.1.



Figura II.1 División por regiones de la República Mexicana (Fuente: INEGI, 2012)

Los sistemas montañosos y depresiones, desde Jalisco hasta Oaxaca presentan un basamento geológico extremadamente complejo e integrado por la consolidación y la posición de varias unidades geotectónicas, caracterizadas por un basamento petroestratigráfico propio, separado de los límites tectónicos.

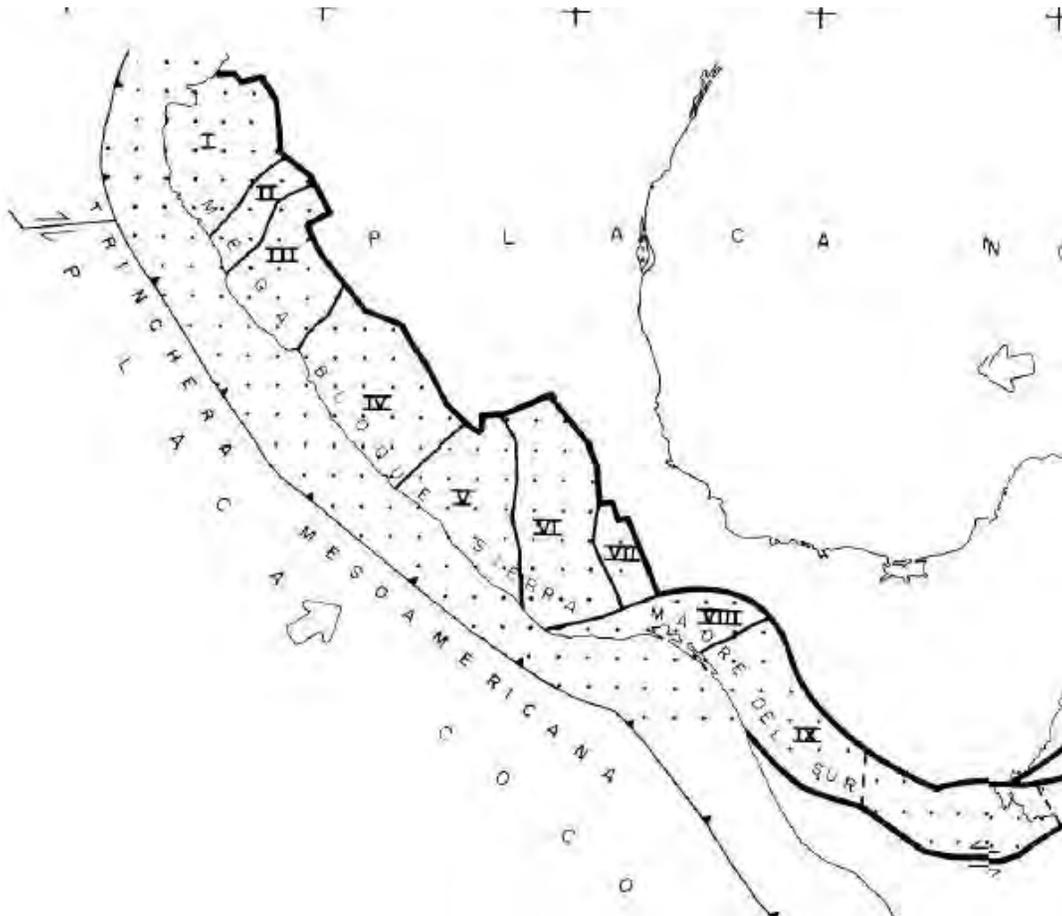


Figura II.2 Megabloques y macrobloques del relieve de las zonas de ruptura y transición de las placas Cocos-Norteamérica. El megabloque de la Sierra Mader del sur está compuesto por los siguientes: Jalisco (I), Colima (II), Michoacán (III), Guerrero Occidental (IV), Guerrero Oriental (V), Oaxaca Occidental (VI), Oaxaca Oriental (VII), Tehuantepec (VIII) y Chiapas (IX).
(Hernández y otros, 1991)

El basamento más antiguo se localiza en la parte central de la Sierra Madre del Sur, se conoce como el Complejo Oaxaqueño (gneises del precámbrico) y fue caracterizado por primera vez por Pantoja y Robinson (1967). Al Noreste de la ciudad de Oaxaca aflora este complejo, en los sistemas montañosos de la Sierra de Juárez, estando limitados por la depresión o “cañada oaxaqueña”, la cual posee un carácter de límite tectónico regional (INEGI, 1985), que en nuestro

caso constituye la frontera entre los macrobloques Oaxaca Oriental y Occidental que se muestran en la figura II.2

Al Oeste de la unidad geotectónica de Oaxaca se extiende la unidad Mixteca, que tiene como basamento al complejo Acatlán, del Paleozoico Inferior, cuyo época de acreción es sugerida por (Ortega, 1981) durante el Devónico. Este complejo está integrado por rocas metamórficas, sobreyacidas por rocas metamorizadas del Jurásico y Cretácico. Estas secuencias sedimentarias mesozoicas atestiguan el desarrollo de cuencas a partir del Jurásico, que ocupan el Centro-Sur de Puebla y el Este de Guerrero. El complejo Acatlán ha sido interpretado por Ortega (1981) como una agrupación de unidades petrotectónicas, producto de la apertura y cierre de una cuenca oceánica., debido al vestigio de una antigua corteza oceánica consumida durante un proceso de subducción.

Al Suroeste de las unidades geotectónicas oaxaqueña y mixteca se articula tectónicamente el complejo Xolapa, que está constituido por gneises y esquistos Mesozoicos. La región occidental es ocupada por secuencias típicas de un arco insular andesítico, asociado a la subducción de la corteza oceánica (Campa y Ramírez, 1979). Hacia el Este se desarrolló y consolidó una extensa zona con secuencias sedimentarias marinas sobre la plataforma de Guerrero-Morelos, que se extendieron hasta la plataforma del Golfo de México, todas formadas sobre la corteza continental (INEGI, 1985).

Con relación a la formación del arco insular andesítico, existen varios criterios, siendo más acertado en el contexto petrotectónico regional el postulado de Urrutia (1980) y de Coney (1983), que la identifica con la acreción por subducción de un sistema de arco insular desarrollado en el Pacífico y desplazado hasta su colisión con la corteza continental mexicana. Semejante mecanismo fue propuesto por Charleston (1980) para explicar la existencia del complejo metamórfico oaxaqueño precámbrico, a partir de bloques alóctonos provenientes del Oeste y cabalgados sobre el continente, solo que este autor les atribuye edad mesozoica-cenozoica temprana.

El Noreste del estado de Guerrero, Oeste del Estado de México y Sur del estado de Michoacán, se extiende afloramientos de secuencias mesozoicas, tanto sedimentarias como vulcanógeno-sedimentarias de tipo arco insular vulcano-marginal, parcialmente metamorfizadas y sobreyacidas por rocas volcánicas y sedimentarias continentales del cenozoico. Toda esta región septentrional de la Sierra Madre del Sur limita al Este, a la altura de Ixtapan de la Sal-Taxco-Iguala, con la plataforma mesozoica de Guerrero-Morelos. Todo el sector Sudoccidental de este sistema montañoso está constituido por secuencias metamórficas de esquistos, biotitas y algunos gneises con edades comprendidas entre el paleozoico y mesozoico, intrusionadas por batolitos graníticos, del mesozoico tardío y el cenozoico (Hernández y otros, 1991).

La región pacífica de la sierra Madre del Sur, en su extensión por los estado de Colima, Michoacán, y Norte de Guerrero, esta compuesta por complejos de rocas volcánicas andesitas interestratificadas, conglomerados volcánicos y calizas subarrecifales del cretácico, que integran el conjunto petrotécnico de Zihuatanejo, Guerrero, Coalcomán y Michoacán (Vidal y otros, 1980). Además, en este sector septentrional de la sierra se presentan calizas cretácicas de plataforma con secuencias rítmicas de terrígenos pelítico-arenosos. En zonas circundantes a Colima, estas calizas de plataforma presentan intercalaciones de grandes espesores de evaporitas y subyacen, en aparente contacto transicional, a terrígenos continentales, también del mesozoico medio-superior (INEGI, 1985).

Todas estas secuencias han sido reportadas por (Campa y Ramírez, 1979) en diversas estructuras montañosas desde el Norte hasta Zihuatanejo y este vulcanismo mesozoico se extiende, bordeando la faja costera pacífica con orientación general Noroccidental, paralelo a la Trinchera Mesoamericana desde Tehuantepec hasta Guatemala. Los rasgos tectónicas mas distintivos de este territorio están relacionados con el sistema de fallas transcurrentes de Plochic-Motagua (limite Noroccidental de la placa Caribe) y con la evolución geodinámica de interacción de placas Cocos-Norteamérica-Caribe, las cuales, a partir del cenozoico superior, han provocado una intensa tectónica de fallamiento normal y desplazamientos laterales, complicando las relaciones estructurales del basamento meso-cenozoico (Ortuño, 1985).

Según Ortuño (1985) los siguientes eventos ocurren en el terciario:

- Desplazamiento lateral izquierdo interplacas Caribe-Norteamérica, cuyo inicio según la evolución geotectónica de la región comenzó en el mesozoico y su actividad principal en el oligoceno-mioceno. Este criterio es coincidente con las investigaciones cubanas de esta zona de sutura, en su región Oriental (Hernández, 1987).
- El desplazamiento del macizo de Chiapas hacia el Noreste, tanto por el empuje de la placa de Cocos como por el hecho de constituir un bloque móvil dentro de las fallas laterales del sistema Polochic-Motagua, y señala que la configuración del Golfo de Tehuantepec, caracterizada por una compleja geometría estructural, derivada de una junta triple del tipo trinchera-falla transformante, ha definido un bloque activo rotatorio, en el sentido de las manecillas del reloj, entre los sistemas transcurrentes Puerto angel-Macuspana, PoloChic-Motagua y Cuilco-Chixoy.

En la junta triple (15° N y 95° W) intervienen los sistemas transformantes anteriores y la Trinchera Mesoamericana, donde esta última está dividida en dos unidades, de acuerdo con las características que le imprime la placa de Cocos, utilizando como frontera aproximada a la paleozona de fractura de la Dorsal de Tehuantepec (Delgado y otros, 1990). Al respecto, (Dean y Drake, 1987) plantean diferentes vectores de desplazamiento entre una zona y la otra, con rumbos de N 35° E y N 20° E, y (Drummon, 1981) propone velocidades diferenciales de 7 y 9 cm/año. Todas estas evidencias señalan el carácter complejo de la zona de subducción, relacionado con la heterogeneidad geofísica y estructural de la placa oceánica Cocos dividida por la Dorsal de Tehuantepec.

En la Sierra Madre del Sur, a fines de mioceno, se intensifican los movimientos neotectónicos y se inician las deformaciones que reportan ascensos anómalos de las secuencias metamórficas y litoestratigráficas pre-miocénicas. Según investigaciones realizadas por Watkins y otros (1982), en la zona de la Trinchera Mesoamericana se reportan sedimentos del mioceno tardío, lo que asegura que el proceso subductivo está activo, al menos desde el inicio de la etapa neotectónica (Hernández y otros, 1991).

II.2 Descripción local de la región de estudio

La región estudiada son los estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca, en donde se han destacado por presentar grandes eventos sísmicos que afectan en la mayor parte del territorio nacional. En este capítulo se describen características locales principales como son localización y extensión. Existen pocos estudios que aborden este tema detalladamente, esta información es proporcionada por de INAFED (2010) e INEGI (2012) y pueden ser consultada en las páginas correspondientes.

II.2.1 Michoacán



Figura II.3 Estado de Michoacán

II.2.1.1 Localización

El estado de Michoacán se sitúa hacia la porción centro-oeste de la República Mexicana, entre las coordenadas 20°23'27" y 17°53'50" de la latitud norte y entre 100°03'32" y 103°44'49" la longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Limitado al Norte con los estados de Jalisco y Guanajuato, al Noroeste con el estado de Querétaro, al este con los estados de México y Guerrero, al Oeste con el Océano Pacífico y los estados de Colima y Jalisco, al Sur con el Océano Pacífico y el estado de Guerrero como se puede observar en la figura II.3 (INAFED, 2010).

II.2.1.2 Extensión

Por su extensión territorial ocupa el décimo sexto lugar nacional, con una superficie de 58,836.95 km², que representa el 3.04 % de la extensión del territorio nacional. La entidad cuenta con 213 km. de litoral y 1,490 km² de aguas marítimas (INAFED, 2010).

II.2.2 Guerrero



Figura II.6 Estado de Guerrero

II.2.2.1 Localización

Guerrero, situado en el sur de la República Mexicana, se localiza totalmente en la zona tropical, entre los 16° 18' y 18° 48' de latitud Norte y los 98° 03' y 102° 12' de la longitud Oeste, limita al Norte con los estados de México, Morelos, Puebla y Michoacán; al Sur, con el océano Pacífico al Este con Puebla y Oaxaca; y al Oeste con Michoacán y el Pacífico como puede verse en la figura II.6 (INAFED, 2010).

II.2.2.2 Extensión

El Estado de Guerrero tiene una extensión territorial de 63,794 km², que representan el 3.2% de la superficie total de la República Mexicana. Su forma es irregular, el mayor ancho es de 222 km y la mayor longitud es de 461 km, su litoral es de 500 km aproximadamente (INAFED, 2010).

II.2.3 Oaxaca



Figura II.9 Estado de Oaxaca

II.2.3.1 Localización

El estado de Oaxaca se localiza en la porción sureste de la República Mexicana, ente los 15°39' y 18°42' de latitud Norte, entre los 93°52' y 98°32' de longitud Oeste, limita al Norte con Puebla y Veracruz, al Sur con el océano Pacífico, al Este con Chiapas y al Oeste con el estado de Guerrero como se muestra en la figura II.9, se encuentra a una altitud que varía del nivel del mar, hasta los 3,750 msnm (INAFED, 2010).

II.2.3.2 Extensión

Tiene una superficie de 95,364 km², intrincadas serranías, exuberantes planicies playas, misteriosos rincones que esconden profundas grutas y cañones, estrechas cañadas. Su extensión territorial representa el 4.8% con relación a la superficie del país (INAFED, 2010).

CAPÍTULO III

FUENTES SISMOGÉNICAS

El estudio de la sismicidad proporciona respuestas sobre la frecuencia de los sismos de cierta magnitud, así como el máximo que se puede esperar sobre la zona estudiada. Pero para poder determinar esta información se requiere contar principalmente con catálogos de sismos que se hayan presentado en lapso de tiempo suficientemente grande. Aun así es bien sabido que la instrumentación sísmica se comenzó a implementar en el siglo XX y los datos anteriores fueron proporcionados sólo por la descripción de daños. Sin embargo, todo dato es de gran importancia para la estimación del peligro sísmico en la región de estudio. Para entender mejor los conceptos utilizados en este proyecto se presentan algunas definiciones y así como la evolución de la sismicidad en el tiempo.

III.1 Sismicidad

Conocer la sismicidad de la región de estudio aporta información importante sobre las actividades de las placas tectónicas y fallas que se consideran en el estudio de peligro sísmico. En la actualidad, debido a los avances científicos, ha sido posible mejorar todo conocimiento sobre el origen, formas de evaluar el tamaño de un sismo (magnitud sísmica) así como las formas en que se propagan las ondas y lo más importante en la evaluación de daños generados en las estructuras.

Los sismos ocurren por rupturas dentro de placas o por la interacción del borde de ellas, el punto donde este empieza se llama foco o hipocentro y está definido por profundidad, longitud y latitud, la proyección perpendicular hasta llegar a la superficie terrestre se llama epicentro y está determinado sólo por latitud y longitud como lo muestra la figura III.1. El tiempo total del movimiento causado por un sismo está relacionado con la longitud del tiempo necesario para que la ruptura progrese a lo largo de la superficie de ruptura completa (Nyffenegger, 1997).

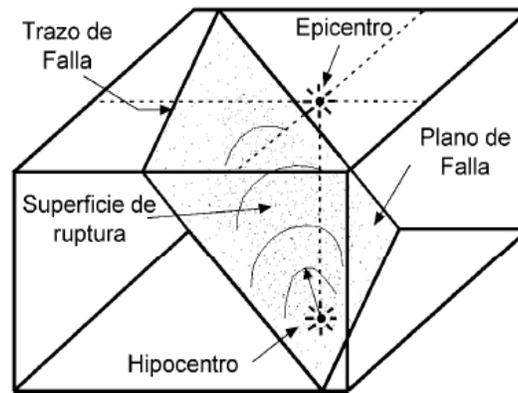


Figura III.1 Origen de un sismo, y su perpendicular hacia la superficie terrestre (Nyffenegger, 1997)

Los esfuerzos que se generan al presentarse la ruptura de las placas pueden actuar perpendicularmente a la falla empujando las rocas entre ellas, o paralelamente a la falla, moviendo las rocas unas contra otras. Existen tres tipos de fallas principales como se muestra en la figura III.2, estas pueden ser: falla lateral, que corresponde a un deslizamiento horizontal relativo por los dos lados de la falla que normalmente suele tener un plano de falla vertical; falla inversa o por compresión, en la cual las fuerzas por compresión causan una falla por cortante forzando que la parte superior continúe elevándose; y la falla normal o por extensión, esta falla es la inversa de lo anterior, las deformaciones por extensión jalan los bloques superiores hacia abajo del plano de falla inclinado (Dowrick, 1997, Nyffenegger, 1997).

Los movimientos sísmicos con mayor intensidad se generan principalmente por la fricción entre bordes de placas tectónicas, pues estas áreas o zonas de ruptura son muy grandes en comparación con fallas dentro de la placa misma.

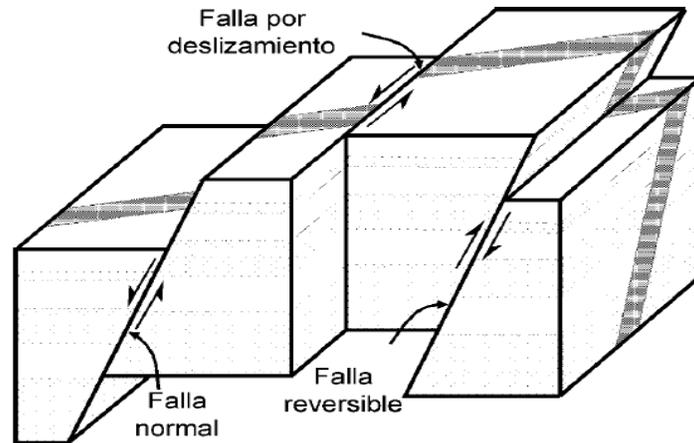
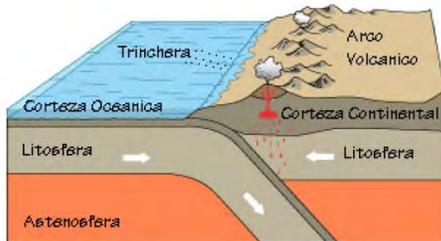
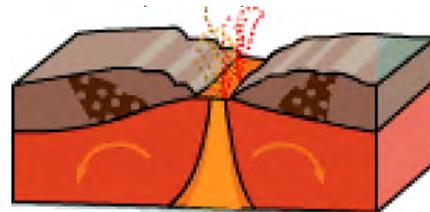


Figura III.2 Tipos principales de falla (Bolt, 1999)

Las velocidades y, en ciertos casos, las direcciones de movimiento entre placas son diferentes, lo que da lugar a interacciones en las fronteras de dichas placas. Existen tres tipos principales de frontera entre placas como se muestra en la figura III. 3 (Zúñiga, 2011):



a) Zona de convergencia con Subducción



b) Frontera del tipo divergente



c) Frontera del tipo transcurrente

Figura III.3 Fronteras entre placas (Zúñiga 2011)

- a) Convergentes. -En este tipo las placas han tenido una “colisión” y, por lo general, ocurre que una de ellas (la de mayor densidad) subduce por debajo de la otra.
- a) Divergentes.- En este tipo de frontera, las placas se separan en dirección opuesta, partiendo de la frontera, debido al material proveniente del interior (Manto). Este tipo de fronteras forma por lo general un tipo de cordillera (dorsal) con un surco en la cima y se localizan muy comúnmente en el océano.
- b) Fronteras transcurrentes.- En este tipo de linderos, las placas se mueven con desplazamientos laterales, es decir, pasan una junto a la otra.

Dependiendo del tipo de falla o mecanismo de ruptura, así como el medio de propagación de ondas, los sismos pueden proyectarse de diferentes formas en la superficie. Es por esto que se pueden clasificar a los sismos de acuerdo con la zona de origen y su profundidad como se muestran a continuación (Zúñiga, 2011):

1. **Sismos de subducción someros.** Aquellos que se generan en las fronteras de este tipo y que ocurren a profundidades que no exceden los 40 km.
2. **Sismos de subducción profundos.** Aquellos que ocurren debido a la interacción de subducción y en la zona de fricción (interplaca), pero a profundidades mayores a los 40 km.
3. **Sismos intraplaca son profundidad intermedia.** Sismos que se presentan en la placa subducida, pero no ocasionados por la fricción entre las placas sino por fractura de la placa que ha penetrado, sus profundidades son mayores a los 80 km y generalmente menos de 500 km en México.
4. **Sismos de zonas de acreción.** Sismos que se presentan en este tipo de fronteras (divergentes), por lo general con profundidades que no exceden los 20 km.
5. **Sismos de fallas de transcurrencia.** Los que se presentan en este tipo de frontera, cuyas profundidades no exceden los 30 km.
6. **Sismos corticales intracontinentales.** Sismos que se presentan en fallas no directamente relacionadas con los procesos de interacción entre las placas, sino al interior de una placa en donde también se genera rompimiento. Sus profundidades no exceden el grosor de la placa. De acuerdo con esta clasificación y a los reportes registrados sobre los sismos, se observa que la mayoría de estos corresponden a sismos someros.

III.2 Sísmicidad mundial

Las estaciones sismológicas dedicadas a registrar toda la actividad sísmica en una región determinada, han permitido conocer la cantidad de sismos ocurridos aproximadamente a partir del siglo XIX, así como la magnitud de estos.

Toda esta información ha permitido elaborar mapas en donde se pueden observar los lugares con mayor actividad sísmica en el mundo, como se muestra en la figura III.4. En donde se muestran epicentros de sismos con magnitud mayor a 5 de los años 1980 a 1990. También se puede observar que la mayor actividad que comprende la parte Oeste del continente americano que es Alaska y hasta el sur de Chile, y desde la parte norte de las islas Aleutianas, siguiendo por las islas de Japón hasta Indonesia y Nueva Zelanda. A toda esta zona es conocida como Cinturón de Fuego del Pacífico.

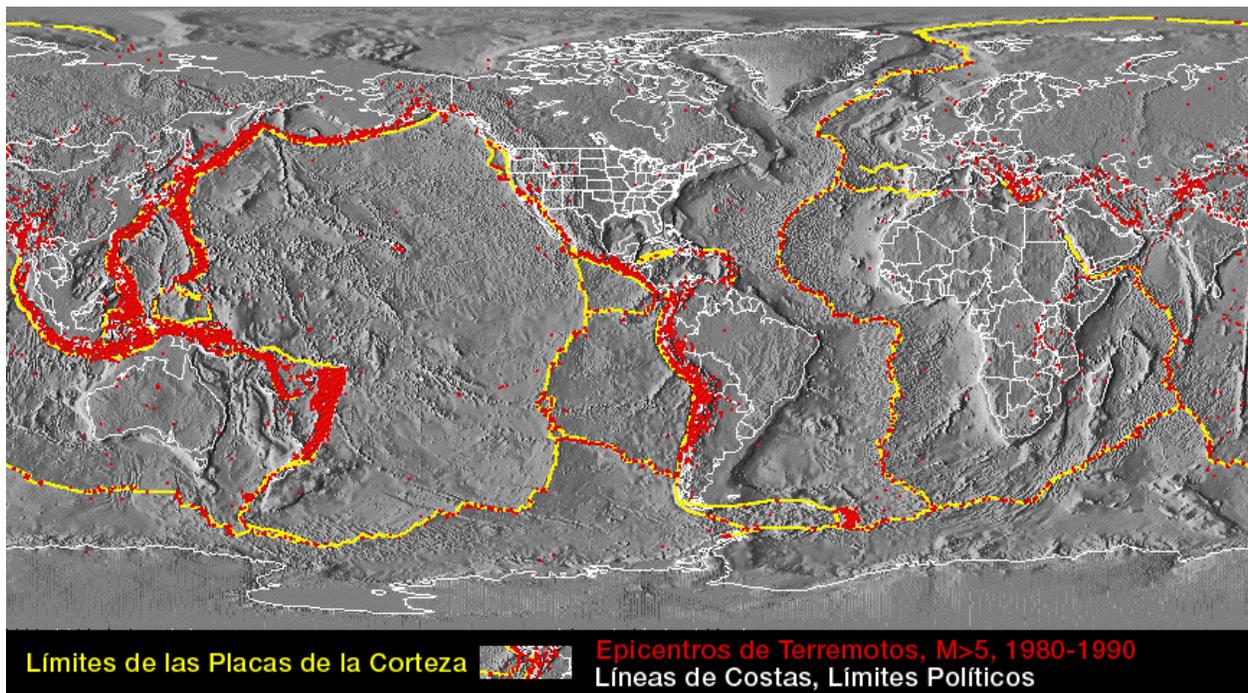


Figura III.4 Límites de Placas Tectónicas en todo el mundo
(SSN, 2012)

El mapa de la figura III.4 ha permitido observar que los sismos se generan en zonas específicas, lo que, indica que de acuerdo a la Teoría de tectónicas de placas de 1960, la parte superficial de

la Tierra (corteza terrestre) está compuesta por piezas que simulan un rompecabezas. Cada pieza se le denomina Placa Tectónica y tienen un espesor aproximado de 15 a 50 km. Estas placas, que cubren grandes áreas de la superficie terrestre, se mueven en diferentes direcciones, produciéndose choques entre ellas. Algunas se deslizan rozando una contra otra (movimiento transcurrente). Otras, al chocar frontalmente, generan lo que se denomina una zona de Subducción. Las zonas de subducción se identifican por ser las regiones más profundas de la litósfera oceánica (fosas oceánicas). En estas regiones una placa cabalga sobre la otra (movimiento de compresión); la placa más densa (generalmente las placas bajo los océanos) subduce bajo las placas menos densas (generalmente las placas sobre las que viajan los continentes). En las regiones donde se presenta el movimiento de extensión se produce un distanciamiento entre las placas. A estas regiones donde divergen las placas se les denomina dorsales oceánicas. Las dorsales oceánicas son zonas elevadas sobre el piso oceánico, llegando a elevarse hasta 3 km sobre el nivel medio del suelo oceánico. Las dorsales se caracterizan por su volcanismo activo ya que a través de ellas se forma nueva litósfera con material que proviene del interior de la tierra (Gama, 2010).

III.3 Sismicidad regional

La generación de los temblores más importantes en México se debe, básicamente, a que, a lo largo de la porción costera desde Jalisco hasta Chiapas, las placas de Rivera y Cocos penetran por debajo de la placa Norteamericana, ocasionando el fenómeno de subducción. Por otra parte, entre la placa del Pacífico y la Norteamericana se tiene un desplazamiento lateral cuya traza, a diferencia de la subducción, es visible en la superficie del terreno; esto se verifica en la parte Norte de la península de Baja California y a lo largo del estado de California, en los Estados Unidos, como lo muestra la figura III.5.

La zona Sur de México está dominada por la subducción de las placas oceánicas de Rivera y Cocos bajo la placa continental de Norte América, en donde se tienen registrados los eventos de mayor magnitud ($M_s > 7.0$), a lo largo de la Fosa Mesoamericana. La placa de Rivera es relativamente pequeña y joven, recorre la costa desde el Norte del estado de Jalisco hasta el

estado de Nayarit. La placa de Cocos por su parte, comienza su convergencia al Noroeste en el estado de Colima, y continúa hacia el Sureste hasta el estado de Chiapas y la frontera con Guatemala. La mayor diferencia entre las zonas de subducción de las placas Rivera y Cocos es la lenta tasa de convergencia entre Rivera y Norteamérica, de alrededor 2 cm/año, relativo a la mayor tasa de Cocos-Norteamérica de alrededor de 6 cm/año (Pardo y Suárez, 1995).

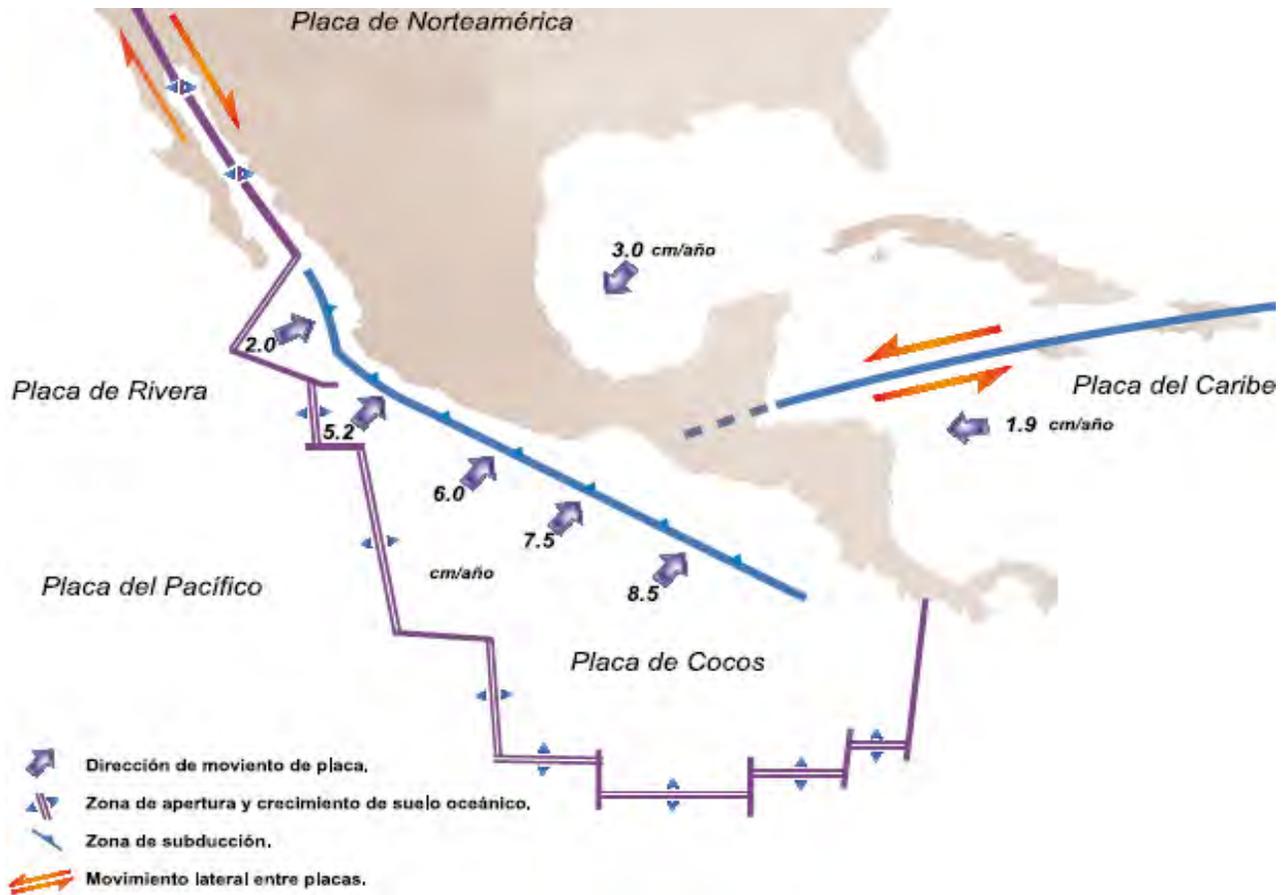


Figura III.5 Límites de Placas Tectónicas en la República Mexicana (Gutiérrez, 2006)

Pero también ocurren de forma no muy frecuente, grandes temblores en el continente con profundidades de unos 60 km, y mecanismos de falla normal que refleja el comportamiento de la litosfera oceánica subducida que pueden causar grandes daños (Singh y otros, 1985). Los sismos menos frecuentes son los que ocurren dentro de la placa continental ($M_s < 7$), pero también pueden producir daños graves. También existen la sismicidad de fondo, que consiste en sismos ($M_s < 5.5$) cuyo origen se asocia principalmente a ejes volcánicos.

En la actualidad ya se han identificado fuentes sismogénicas y las representan zonas bien definidas, a esto se le denomina Regionalización Sísmica de acuerdo con Zúñiga y otros (1997) como se muestran las figuras III.6 y 7, en donde subdividieron al territorio de México en 19 regiones principales, para ello se consideró:

- a) La localización hipocentral de eventos de características similares.
- b) Las características tectónicas comunes de la zona.
- c) Los mecanismos focales y/o patrones de fallamiento.
- d) Las características principales de la liberación de energía de los sismos dentro de cada región.
- e) La historia sísmica de cada región.
- f) Un criterio adicional fue el de reducir a un mínimo el número de regiones primarias, de las cuales se pudiese partir para posibles subdivisiones futuras más refinadas.

Los mecanismos focales y las características de fallamiento fueron seleccionados basados en mecanismos compuestos (usando réplicas principalmente), microsismicidad (para determinar lineamientos) y actividad de enjambres. El uso de estos criterios de selección permitió generar una regionalización del país de primer orden sin incluir sesgos ocasionados por las variaciones en cobertura sismográfica tanto en tiempo como en espacio. Todas estas fuentes sismogénicas representan regiones en donde, se supone que los sismos ocurren aleatoriamente y en un análisis de peligro sísmico se modelan en términos de geometría y recurrencia sísmica.

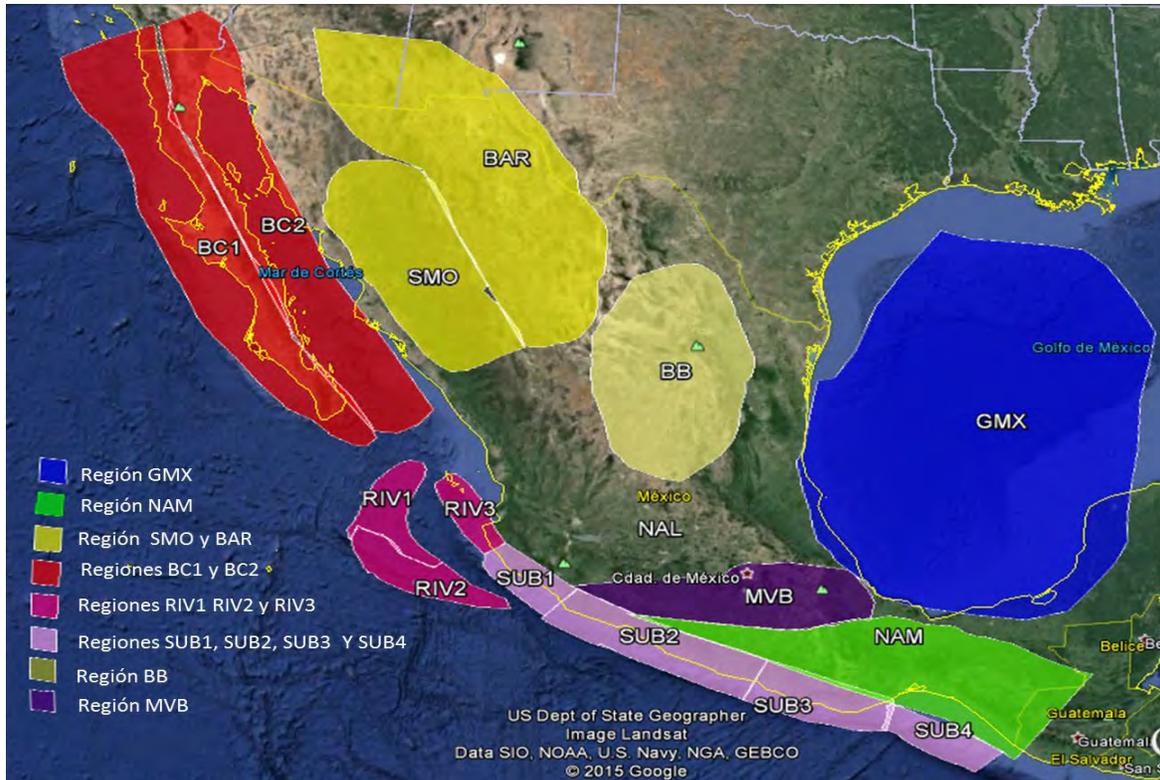


Figura III.6 Regionalización sismotectónica de la República Mexicana para Sismos someros



Figura III.7 Regionalización sismotectónica de la República Mexicana para Sismos profundos

Esta regionalización no es única, pero proporciona una división coherente y sistematizada de acuerdo a las características generales de todos los diferentes sismos que se han producido en la República Mexicana y también considera el potencial destructivo de los eventos importantes que han ocurrido en el pasado. A continuación se describen las regiones sismogénicas definidas y descritas por Zúñiga y otros (1997) y Mendoza (2012):

❖ Regiones SUB1, SUB2, SUB3 y SUB4

Se presentan eventos interplaca someros del tipo de subducción. Para definir la anchura de estas regiones se consideraron las dimensiones máximas, normales al eje de la trinchera, de las áreas de réplicas de los mayores sismos de este tipo. También se tomaron en cuenta las localizaciones detalladas en estudios individuales de eventos grandes (p. ej., Reyes y otros, 2002; Singh y otros, 1981; Singh y otros, 1985a, b; Zúñiga y otros, 1997; etc.).

➤ Región SUB1

Esta zona comprende la subducción de la parte oriental de la placa Rivera por debajo de la Placa Norteamericana, incluyendo la mayor parte de la zona costera del estado de Jalisco y la costa occidental del estado de Colima. Los eventos son de profundidad somera ($h < 40$ km) y están relacionados a un acoplamiento intermedio. Los mecanismos focales de muchos de los eventos corresponden a fallas de tipo inverso. La periodicidad de los eventos que ocurren en esta región es menor que la de las demás regiones de subducción hacia el este. Esto se puede deber a la edad de la litosfera oceánica en esta región ya que es más joven que la de la placa de Cocos. Su potencial sísmico, sin embargo, es mayor que el del resto de la placa de Rivera al oeste.

Grandes eventos ocurren poco frecuentes pero pueden alcanzar magnitudes de hasta 8.2. En esta zona ocurrió el sismo del 3 de junio de 1932 (Eissler y McNally, 1984; Singh y otros, 1985b) el cual es el más grande registrado en todo México con una magnitud $M_s = 8.2$. Otros eventos de importancia son los ocurridos el 1 de enero de 1900 ($M_s = 7.4$) y el 30 de noviembre de 1934 ($M_s = 7.4$)

➤ Región SUB2

Corresponde a la zona de mayor acoplamiento entre Cocos y Norteamérica y comprende las áreas costeras de los estados de Colima, Michoacán, Guerrero y el occidente de Oaxaca. Los eventos son de profundidad somera ($h < 40$ km) relacionados a un fuerte acoplamiento. Esta zona presenta las más alta periodicidad de temblores de magnitud $M > 7.0$. La zona muestra un mayor deslizamiento acumulado con respecto al tiempo, comparado con los segmentos de subducción vecinos, ocasionados por la mencionada alta frecuencia de ocurrencia. En esta región ocurrieron los sismos devastadores del 19 y 21 de septiembre de 1985 de magnitudes $M_s=8.1$ y 7.6 respectivamente.

➤ **Región SUB3**

Zona de transición en la convergencia de las placas de Cocos-Norteamérica. Los eventos son de profundidad somera ($h < 40$ km) relacionados a un fuerte acoplamiento. El lindero occidental está basado en un cambio brusco de sismicidad, las características generales de las fuentes sísmicas y en la diferencia en rasgos tectónicos que se presentan alrededor de los 99° W de longitud. Su frontera oriental se definió con base en otro cambio de sismicidad, así como por ser el sitio en donde la cordillera submarina de Tehuantepec interseca a la trinchera (Manea y otros., 2005).

Han ocurrido dos eventos importantes en el siglo XIX, el 11 de mayo de 1870 ($M_s = 7.9$) y el 2 de noviembre de 1894 ($M_s = 7.4$). En el siglo pasado se tienen los terremotos del 17 de junio de 1928; 23 de agosto de 1965 y 29 de octubre de 1978 de magnitud 7.8. Estos sismos afectaron principalmente la ciudad de Oaxaca; el daño en la Cd. de México fue pequeño.

➤ **Región SUB4**

La frontera occidental de esta zona corresponde al lugar donde la subducción cambia de carácter, ya que el ángulo de subducción varía de 15° en promedio, al oeste de este punto, a aproximadamente 35° en promedio hacia el este. También corresponde a un cambio en la placa suprayacente, de Norteamérica a Caribe. La zona SUB4 comprende la porción costera del occidente de Oaxaca y la totalidad de la de Chiapas y es una zona de eventos de profundidad somera ($h < 40$ km) de fuerte acoplamiento entre la convergencia Cocos-Caribe. Los eventos más grandes

en esta zona tuvieron lugar el 23 de septiembre de 1902 cuya magnitud oscila entre 7.6 y 7.8 (Engdahl y Villaseñor, 2002; Guzmán- Speziale, 2010), el 1 de enero de 1904 ($M_s = 7.7$) y el 13 de noviembre de 1972 ($M_s = 7.0$).

La llamada Brecha de Tehuantepec se localiza dentro de la zona SUB4, la cual se caracteriza por ausencia de sismos de magnitud $M_s \geq 7.0$. No se conoce si esta región tiene un periodo de recurrencia anormalmente grande, o bien, si es una porción de la zona de subducción de comportamiento asísmico. De cualquier forma, no se puede dejar de considerar la posibilidad de ocurrencia de un sismo grande.

❖ Regiones IN1, IN2, e IN3

En la primera se presentan la zona de eventos intraplaca de profundidad intermedia ($40 \text{ km} < h < 120 \text{ km}$). La segunda es de evento intraplaca de profundidad intermedia ($40 \text{ km} < h < 260 \text{ km}$). Y la tercera es de eventos principalmente del tipo de fallamiento normal, de profundidad intermedia ($40 \text{ km} < h < 300 \text{ km}$)

➤ Región IN1

Esta zona comprende la sección profunda de la zona de subducción y corresponde a la extensión de las zonas SUB1 y SUB2. Los eventos que ocurren en esta zona muestran fundamentalmente mecanismos focales de falla normal, con sus ejes de máxima tensión en la dirección paralela al echado de la placa subducida (Dewey y Suárez, 1991). La magnitud de dichos eventos decrece con la distancia a partir de la trinchera. Estos sismos intraplaca se localizan dentro de las placas de Rivera y Cocos en el rango de profundidad entre los 40 y los 180 km. La mayoría de estos eventos tienden a ocurrir alrededor de los 120 km de profundidad. La sismicidad en la zona IN1 es considerada menor que la de la zona IN2.

En el siglo pasado han ocurrido dos eventos con magnitud ≥ 7.0 , el 26 de julio de 1937 ($M_s = 7.2$) y el 6 de julio de 1964 ($M_s = 7.2$). En el rango ($M_s \geq 6.0$) contamos solamente 15 eventos durante el periodo de registro. Históricamente, el sismo del 18 de junio de 1858 ($M_s = 7.5$) se considera un evento de profundidad intermedia, pero existe la posibilidad de que en realidad haya tenido una profundidad menor. Este evento es el segundo en orden de daños a la Cd. de

México durante el siglo XIX, y existe la posibilidad de que haya liberado aún más energía que el sismo del 19 de septiembre de 1985 (Anderson y otros, 1989).

➤ **Región IN2**

Eventos intraplaca de profundidad intermedia ($40 \text{ km} < h < 260 \text{ km}$). Zona de transición de la placa de Cocos y corresponde a la extensión a profundidad de la región SUB3. Los mecanismos focales corresponden a falla normal con eje de tensión paralelo a la trinchera. Se caracteriza porque los eventos de profundidad entre 60 y 100 km ocurren a mayor distancia de la trinchera que en las zonas vecinas. Es también una zona con aparente carencia de sismos de profundidad intermedia a distancias entre 100 y 200 km de la trinchera.

Ocurrieron eventos importantes en la zona el 3 de febrero de 1911 ($M_s = 7.2$); el 10 de febrero de 1928 ($M_s = 7.7$); el 15 de enero de 1931 ($M_s = 8.0$); el 26 de julio de 1937 ($M_s = 7.2$) y el 6 de enero de 1948 ($M_s = 7.0$). Más recientemente, encontramos el sismo del 28 de agosto de 1973 ($M_s = 7.3$) de Córdoba- Orizaba (Veracruz) y el de Huajuapán de León, Oaxaca, del 10 de octubre de 1980 ($M_s = 7.0$). El gran terremoto de 1931 ha sido determinado como un evento de fallamiento normal (Singh y otros, 1985a), este tipo de eventos antepone un gran riesgo para los centros de población del centro de México.

➤ **Región IN3**

Esta región corresponde a la extensión a profundidad de la zona SUB4. La zona comprende la transición de la subducción de Cocos por debajo de Norteamérica, a subducción bajo la placa de Caribe. Comprende sismos, principalmente del tipo de fallamiento normal, de profundidad intermedia ($40 \text{ km} < h < 300 \text{ km}$) que ocurren dentro de la placa de Cocos. Debido al cambio de inclinación del ángulo de subducción, los eventos ocurren más cercanos a la trinchera. La densidad de sismicidad umbral es mucho mayor que en la vecina zona IN2, y su distribución es más homogénea.

Durante el siglo pasado, 8 sismos con $M_s \geq 7.0$ han tenido lugar en la zona.

❖ Región BC1 y BC2

La primera corresponde a Zona de eventos intraplaca (Pacífico), profundidad < 20 km, Península de Baja California mientras que la segunda corresponde a Zona de eventos interplaca (Pacífico-NOAM), profundidad < 15 km, Península de Baja California.

➤ Región BC1

Esta zona comprende la actividad asociada a los eventos someros intraplaca en el área de Baja California ($h < 20$ km). Estos eventos muestran un modo de fallamiento variable. Los eventos más grandes no alcanzan magnitudes mayores que 6.0. Sin embargo, son susceptibles de causar daño a algunas poblaciones de la península.

➤ Región BC2

Esta región comprende la actividad relacionada principalmente con la interfase entre las placas Pacífico y Norteamericana. Los eventos de esta zona muestran mecanismos de falla de rumbo y normal dependiendo de su situación y proximidad, ya sea a centros de acreción o fallas transformantes. Zona de sismos de profundidad somera ($h < 15$ km). La parte norte de esta zona corresponde a un sistema de fallas que se ramifica hacia el norte en dos secciones principales, uno de los cuales es parte del sistema de la Falla de San Andrés en California.

❖ Región NAM

Esta región comprende la actividad somera (profundidad < 15 km) que tiene lugar en la placa continental al sur de la Faja Volcánica Mexicana. A pesar de que el nivel de actividad para magnitudes $m_b \geq 4.5$ (rango para el que el catálogo se considera completo desde 1964) se encuentra uniformemente distribuido a lo largo de gran parte de la zona, existe una mayor tasa de sismicidad en la zona del Istmo de Tehuantepec. La mayoría de los eventos son de fallamiento normal. En el periodo instrumental se han registrado cuatro sismos de $M_s \geq 7.0$. El más grande ocurrió el 14 de diciembre de 1936 con una magnitud estimada de $M_s=7.2$. Ya que todos estos sismos tuvieron lugar antes de 1950, la estimación de sus profundidades es cuestionable y existe la posibilidad de que se trate de eventos pertenecientes a la zona de profundidad intermedia.

❖ Región RIV1, RIV2 y RIV3

La primera es Zona de eventos interplaca someros (< 15 km) de fallamiento normal principalmente, interface Pacífico-Rivera, la segunda Zona de eventos interplaca someros de fallamiento de rumbo principalmente, interface Pacífico-Rivera. Y la tercera es Zona de eventos interplaca de subducción somera (< 20 km) Interface Rivera-NOAM.

➤ Región RIV1

Esta zona delimita a los sismos de profundidad somera (< 15 km) que ocurren en la Dorsal del Pacífico Este como parte de la interfase entre las placas Pacífico y Rivera. Su mecanismo es principalmente de falla normal.

➤ Región RIV2

Esta región corresponde a la frontera sur de la placa Rivera. Debido a que es un régimen de falla transformante, los mecanismos de los sismos son principalmente de falla de rumbo, de profundidad somera ($h < 15$ km). Hasta la actualidad han ocurrido 12 eventos con $M_s \leq 6.0$ en la región. El evento más grande tuvo lugar el 29 de septiembre de 1950 con una magnitud $M_s = 7.0$.

➤ Región RIV3

Esta región comprende la escasa y difusa actividad de la sección occidental de la interfase Rivera-Norteamérica con eventos de profundidad somera ($h < 15$ km). No se ha determinado aún la razón por la cual existe una drástica variación en sismicidad al compararse con la zona de la trinchera hacia el este (zona SUB1). El evento de mayor magnitud registrado ocurrió el 4 de diciembre de 1948 con una magnitud $m_b = 6.4$.

❖ Región GMX

Zona de eventos intraplaca (Norteamericana) de profundidad somera (< 20 km). Esta región comprende a los sismos que ocurren en el Golfo de México y áreas circunvecinas. La sismicidad es escasa; sin embargo, es importante en el sentido de que los eventos son de especial riesgo tanto para las comunidades de la costa como para estructuras del tipo de las plataformas marinas de explotación petrolera. Un evento que vale la pena mencionar debido a que su epicentro se ubica cerca de los sitios actuales de plataformas es el del 26 de agosto de 1959 ($m_b = 6.4$).

❖ **Región MVB**

Esta zona comprende los eventos que ocurren en la parte somera de la placa continental ($h < 15$ km), asociados principalmente a esfuerzos tensionales. Estos mismos esfuerzos están relacionados con la ubicación de la Faja Volcánica Mexicana (Mexican Volcanic Belt). Existen, sin embargo, algunos sismos localizados muy próximos a los eventos de falla normal (régimen de tensión), que muestran fallamientos inversos. Estos diferentes tipos de fallamientos pueden deberse a un balance entre los esfuerzos inducidos por la gravedad en las altas topografías de la faja y los transmitidos por la interacción de las placas (Dewey y Suarez, 1991). Las profundidades de los sismos en esta zona son generalmente menores a los 15 km. Este tipo de eventos han sido muy destructivos debido a su proximidad a la Cd. de México y a su poca profundidad.

Los sismos ocurridos el 19 de noviembre de 1912 ($M_s = 7.2$); el 3 de enero de 1920 ($M_s = 6.4$) y el 29 de junio de 1935 ($M_s = 6.9$) son los mayores en el siglo pasado. Entre los sismos ocurridos en el siglo XIX, el evento del 11 de febrero de 1875, ubicado cercano a la ciudad de Guadalajara, es uno de los que requieren especial atención. A este evento se le ha estimado una magnitud de 7.1, y debido tanto a su proximidad a esta ciudad como a su poca profundidad, el riesgo relacionado a otro evento similar debe considerarse con cuidado.

❖ **Región SMO**

Esta zona es una región de baja actividad, posiblemente relacionada al régimen de esfuerzo controlado por el balance entre los esfuerzos gravitacionales en la Sierra Madre Occidental y aquellos esfuerzos inducidos por la cercana interacción de las placas. También puede tener relación a la extensión de la provincia tectónica de la Fisura del Río Bravo (Rio Grande Rift). Los eventos que ocurren en esta zona no han sido completamente estudiados en detalle y no se cuenta con mecanismos focales debido a la poca magnitud de los sismos. Todos los eventos de profundidad somera (< 20 km) conocidos en la región tienen magnitudes menores que 5.0.

❖ **Región BB**

La provincia que prevalece en el noreste de México es la conocida como Cuenca de Burgos (Suter, 1987). Esta región comprende a los eventos someros ($h < 15$ km) de baja magnitud que ocurren en los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí. No se cuenta con información detallada de mecanismos focales pero las elongaciones de los pozos en la zona muestran al eje de esfuerzos principales mínimos en la dirección NW-SE (Suter, 1987). Existe una ligera tendencia de alineamiento para los epicentros catalogados en la dirección norte-sur. Las magnitudes de los eventos son menores que 5.0.

❖ **Región BAR**

Esta zona delimita a los temblores que tienen lugar en la posible continuación de las provincias de la Fisura del Rio Bravo y de Cuencas y Sierras (Basin and Range). Los eventos se caracterizan por su poca profundidad (< 20 km), baja magnitud y escasa frecuencia de ocurrencia. Los estudios de campo señalan la presencia de fallas de mecanismo normal y de rumbo, principalmente debido a esfuerzos tensionales horizontales (Natali y Sbar, 1982). Esto está en concordancia con observaciones de la elongación en pozos las cuales indican una dirección este-oeste para los mínimos esfuerzos principales (Suter, 1987).

Esta región es importante ya que es aquí donde se localizó el sismo de Bavispe, Sonora que tuvo lugar el 3 de mayo de 1887. La magnitud de este evento ha sido estimada en 7.5 (Natali y Sbar, 1982). Los mapas de isosistas indican que afectó los estados de Sonora y Chihuahua de manera considerable. Si un evento similar ocurre en nuestros días, lo cual no es posible descartar, podría haber serias consecuencias para las ciudades de Chihuahua, Cd. Juárez, Hermosillo y El Paso. Este evento es uno de los mayores sismos intraplaca que se han registrado en cualquier lugar de Norteamérica. Aun cuando el periodo de recurrencia de este sismo se considera órdenes de magnitud mayor que los demás eventos en México, es necesario tomar en cuenta que existen otras fallas en el área en condiciones semejantes y de potencial desconocido. La mayor magnitud registrada para los eventos de la zona es 6.3. Sólo dos eventos con $M_s \geq 6.0$ caen dentro de los linderos de esta región de acuerdo con el catálogo instrumental.

❖ Región NAL.

Finalmente, el resto de las zonas activas de México, con bajo potencial de daños, han sido agrupadas en las zonas NAL. Esta es una región donde ocurren eventos de magnitudes menores al nivel de detección nacional ($m_b \leq 4.5$), localizables solamente por redes de cobertura local.

III.4 Sísmicidad local

Los epicentros de la mayor parte de los sismos de gran magnitud (mayores o iguales que 7), que llegan a ocasionar grandes daños, se ubican en las costas de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. También han ocurrido aunque con menor frecuencia grandes sismos en el Centro y Sur de Veracruz, Puebla, Norte y Centro de Oaxaca y Chiapas, en la zona fronteriza entre Baja California y los Estados Unidos e incluso en el Estado de México y Sonora.

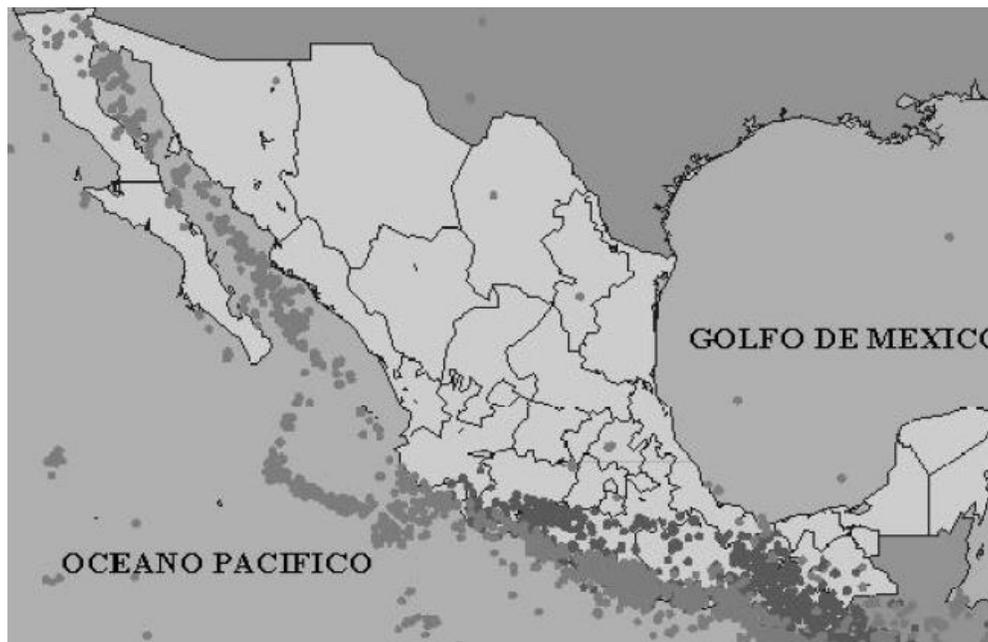


Figura III.8 Epicentros de sismos con magnitudes mayores o iguales a 4.5 presentados entre 1964 y 1995. Los puntos claros representan sismos superficiales (profundidades menores a 50 km) y los puntos oscuros representan sismos profundos mayores a 50 km.
(Gutiérrez y otros, 2005)

La mayoría de los sismos con magnitudes mayores a 4.5 que se han generado en la República Mexicana entre los años 1964 y 1995 han sido originados en la superficie de contacto entre las placas tectónicas Norteamérica y de Cocos, en donde, de los 181 registros con que cuenta la base del Servicio Sismológico Nacional de sismos mayores a 6.4, más del 75% se localizan en las costas de los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. También se identificó que Guerrero y Oaxaca registraron el mayor número de eventos en este periodo de estudio, pues 57% de estos epicentros se encuentran en estos estados, como puede observarse en la figura III.8.

La profundidad típica de los eventos costeros es de 15 a 25 km, mientras que los eventos con epicentros tierra adentro suelen tener profundidades alrededor de 60 ó 70 km. Las magnitudes están entre 6.5 y 7 como se puede observar en la figura III.9.

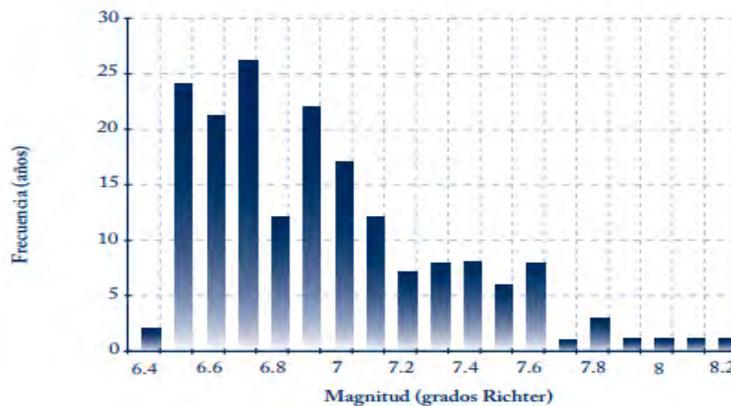


Figura III.9 Distribución de magnitudes (Barrientos y otros, 2007)

III.5 Potencial sísmico para la región seleccionada

Dentro de la República Mexicana se han presentado ocho sismos con magnitudes mayores a 7.7, y se ubican a lo largo de la costa, y sus ocurrencias se relacionan con el acomodamiento de la placa de Cocos por debajo de la Norteamericana. La ubicación espacial y temporal de estos sismos, permite establecer un patrón de movimiento, esta secuencia de eventos inicio en 1902 como se muestra en la figura III.10, con energía liberada en Amatenango del Valle, municipio de Chiapas; en donde, transcurrieron 29 años para que se registrara otro sismo de gran magnitud, en

esa ocasión con epicentro en el estado de Oaxaca, en la región de los Valles Centrales, entre los distritos de Ocotlán y Zimatlán. Un año después, dos sismos fuertes se registraron en las costas de Jalisco y Colima, el primero de ellos el 3 de junio con magnitud de 8.2 y el segundo, considerado replica, el 18 del mismo mes con magnitud de 7.8.

La temporalidad y ubicación geográfica de estos sismos permiten identificar y caracterizar el desplazamiento de las placas, el cual se realiza con dirección Este-Oeste (véase figura III.10) y genera epicentros con más de 600 km de profundidad. Se observa que en 1942 se presentó un sismo de 7.9 en la costa de Guatemala con epicentro a 200 km del ocurrido en Chiapas en 1902, el siguiente evento del que se tiene registro, tuvo lugar en la costa del estado de Guerrero, en el municipio de Ayutla de los Libres, en 1957, y su epicentro se localizó a 230 km aproximadamente del sismo registrado en 1931 en Oaxaca.

En la costa de Michoacán, los movimientos de las placas produjeron un sismo de 8.1, cuyo impacto alcanzó a la ciudad de México. Este acontecimiento histórico que se recuerda como el *Terremoto de 1985*, se originó en la brecha de Michoacán, es decir, una zona sísmica activa que, durante un largo lapso no había sido objeto de un deslizamiento y, por ende, cuna de un gran sismo. El epicentro se ubicó a 226 km del sismo ocurrido el 3 de junio de 1932 en Jalisco.

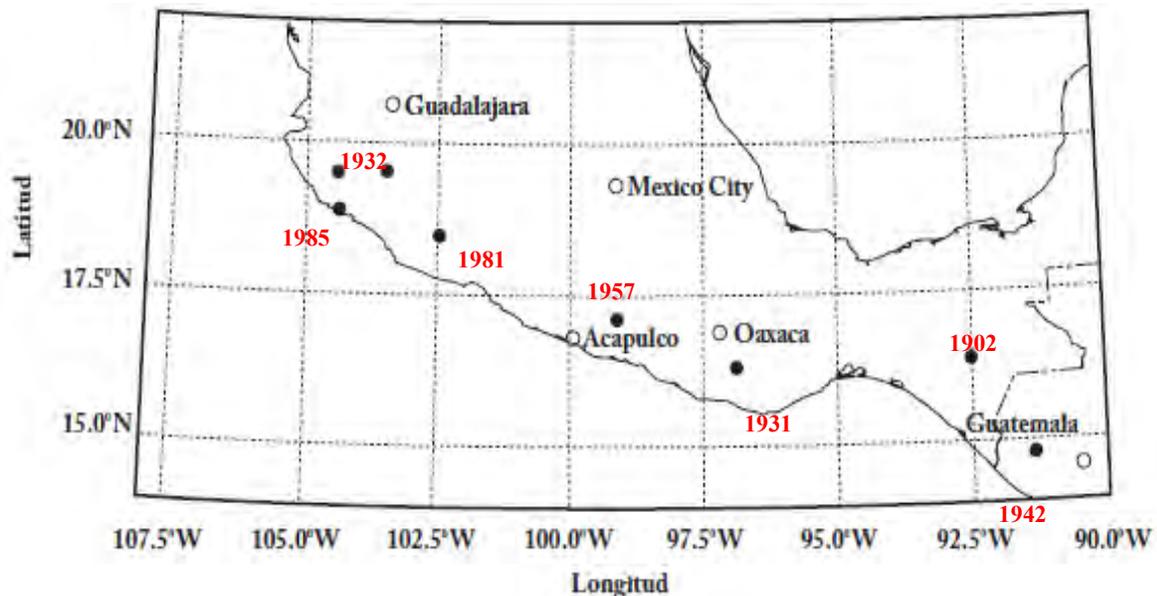


Figura III.10 Ubicación de epicentros de sismos mayores a 7.7
(Barrientos y otros, 2007)

Del catálogo de sismos el último movimiento con magnitud mayor a 7.7 ocurrió en Colima, en 1995, con magnitud de 8; su epicentro se registró a poco menos de 100 km del último sismo ocurrido en esa zona. En los 53 años posteriores a 1932 se produjeron cuatro sismos de magnitud mayor a 7.8; estos movimientos tuvieron epicentros en promedio de 200 km con respecto a los cuatro sismos mayores a 7.7 registrados en 30 años a partir de 1902.

Se presenta un catálogo de sismos de gran magnitud ocurridos en México, los cuales son presentados por Gutiérrez (2006) y el Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2014). Es probable que se encuentre incompleto debido a la escasa cobertura instrumental en los siglos XX y XIX y que se puede ver en la tabla III.1, aunque se considera que todos los eventos con magnitudes de 7.5 o mayores, están incluidos. No obstante lo anterior, presenta información que confirma la actividad frecuente en zonas sismogénicas conocidas (como la costa del Pacífico), o bien aquella que constituye antecedentes muy relevantes de actividad sísmica con epicentros tierra adentro, como son los casos del sismo de Bavispe, Sonora, y de Jalisco en 1875, que causó graves daños en la zona central del estado. Se presenta para cada evento el valor máximo de magnitud de una de las tres escalas más usadas en la investigación sismológica, se presentan de manera particular las magnitudes M_s para la mayoría de los eventos, en vista de que son las más utilizadas en estimaciones de riesgo sísmico, y generalmente reportadas en los medios de difusión como valores de la escala Richter.

Tabla III.1 Catálogo de sismicidad histórica de la República Mexicana (siglo XIX, XX y XXI)
(Gutiérrez, 2006 y SSN 2014)

Fecha			Hora	Lat °N	Long °W	Prof (Km)	Ms	Zona
1806	Mar	25		18.9	103.8		7.5	Costa de Colima-Michoacán
1818	May	31		19.1	103.6		7.7	Costa de Colima-Michoacán
1820	May	4		17.2	99.6		7.6	Costa de Guerrero
1837	Nov	22		20	105		7.7	Jalisco
1845	Mar	9		16.6	97		7.5	Oaxaca
1845	Abr	7		16.6	99.2		7.9	Costa de Guerrero
1854	May	5		16.3	97.6		7.7	Costa de Oaxaca
1858	Jun	19		19.6	101.6		7.5	Norte de Michoacán
1864	Oct	3		18.7	97.4		7.3	Puebla-Veracruz
1870	May	11		15.8	96.7		7.9	Costa de Oaxaca
1872	Mar	27		15.7	96.6		7.4	Costa de Oaxaca
1874	Mar	16		17.7	99.1		7.3	Guerrero
1875	Feb	11		21	103.8		7.5	Jalisco
1875	Mar	9		19.4	104.6		7.4	Costa de Jalisco-Colima
1879	May	17		18.6	98		7	Puebla
1882	Jul	19		17.7	98.2		7.5	Guerrero-Oaxaca
1887	May	3		31	109.2		7.3	Bavispe, Sonora
1887	May	29		17.2	99.8		7.2	Guerrero
1889	Sep	6		17	99.7		7	Costa de Guerrero
1890	Dic	2		16.7	98.6		7.2	Costa de Guerrero
1894	Nov	2		16.5	98		7.4	Costa de Oaxaca-Guerrero
1897	Jun	5		16.3	95.4		7.4	Costa de Oaxaca
1899	Ene	24		17.1	100.5		7.9	Costa de Guerrero
1900	Ene	20		20	105	33	7.4	Jalisco
1901	Dic	9		26	110	S	7	Golfo de California
1902	Ene	16		17.62	99.72	S	7	Guerrero
1902	Abr	19		14.9	91.5	25	7.5	Guatemala. 70 km de la frontera con México
1902	Sep	23		16.5	92.5	25	7.7	Chiapas
1902	Dic	12		29	114	S	7.1	Baja California Norte
1903	Ene	14		15	93	S	7.6	Costa de Chiapas
1907	Abr	15		16.7	99.2	33	7.6	Costa de Guerrero
1907	Oct	16		28	112.5	10	7.1	Golfo de California
1908	Mar	26		16.7	99.2	33	7.5	Costa de Guerrero
1908	Mar	27		17	101	33	7	Costa de Guerrero
1909	Jul	30		16.8	99.9	33	7.2	Costa de Guerrero
1911	Jun	7		17.5	102.5	33	7.6	Jalisco
1911	Dic	16		16.9	100.7	50	7.5	Costa de Guerrero
1912	Dic	9		15.5	93	S	7	Costa de Chiapas
1914	Mar	30		17	92	150	7.2	Chiapas
1915	Nov	21		32	115	10	7	Baja California Norte

Tabla. III.1 Catálogo de sismicidad histórica de la República Mexicana (siglo XIX, XX y XXI)
(Gutiérrez, 2006 y SSN 2014) (CONTINUACIÓN).

1916	Jun	2	17.5	95	150	7	Sur de Veracruz
1921	Feb	4	15	91	120	7.4	Guatemala. 120 km de la frontera con México
1925	Nov	16	18	107	S	7	A 260 km de las costas de Jalisco
1925	Dic	10	15.5	92.5	S	7	Chiapas
1928	Mar	22	15.67	96.1	33	7.5	Oaxaca
1928	Jun	17	16.33	96.7	33	7.6	Oaxaca
1928	Ago	4	16.83	97.61	33	7.4	Oaxaca
1928	Oct	9	16.3	97.3	33	7.5	Oaxaca
1931	Ene	15	16.34	96.87	40	7.8	Oaxaca
1932	jun	3	19.57	104.42	33	8.2	Jalisco
1932	Jun	18	19.5	103.5	33	7.8	Jalisco
1934	Nov	30	19	105.31	33	7	Costa de Jalisco
1934	Dic	31	32	114.75	S	7.1	Baja California Norte
1935	Dic	14	14.75	92.5	S	7.3	Costa de Chiapas
1937	Jul	26	18.45	96.08	85	7.3	Oaxaca-Veracruz
1937	Dic	23	17.1	98.07	33	7.4	Oaxaca- Guerrero
1940	May	19	32.7	115.5	S	7.1	Baja California Norte
1941	Abr	15	18.85	102.94	33	7.6	Michoacán
1942	Ago	6	14.8	91.3	50	7.9	Guatemala. 80 km de la frontera con México
1943	Feb	22	17.6	101.1	33	7.4	Guerrero
1944	Jun	28	15	92.5	S	7.1	Chiapas
1948	Ene	6	17	98	80	7	Oaxaca
1950	Sep	29	19	107	60	7	A 200 km de las costas de Jalisco
1950	Oct	23	14.3	91.8	33	7.2	Guatemala. 50 km de la frontera con México
1950	Dic	14	17.22	98.12	33	7.2	Oaxaca
1951	Dic	12	17	94.5	100	7	Oaxaca-Veracruz
1954	Abr	29	28.5	113	S	7	Golfo de California
1957	Jul	28	17.11	99.1	33	7.8	Guerrero
1962	May	11	17.25	99.58	33	7.2	Guerrero
1962	May	19	17.12	99.57	33	7.1	Guerrero
1964	Jul	6	18.03	100.77	55	7.2	Guerrero
1965	Ago	23	16.178	95.877	12	7.6	Oaxaca
1968	Ago	2	16.6	97.8	16	7.3	Oaxaca
1970	Abr	29	14.463	92.683	44	7.3	Costa de Chiapas
1973	Ene	30	18.412	103.02	24	7.6	Costa de Michoacán
1973	Ago	28	18.248	96.551	82	7.3	Oaxaca-Veracruz
1976	Feb	4	15.262	89.198	13	7.5	Guatemala. 150 km de la frontera con México
1978	Nov	29	16.013	96.586	23	7.8	Oaxaca
1979	Mar	14	17.75	101.26	25	7.4	Guerrero
1980	Oct	24	18.174	98.222	65	7.1	Oaxaca-Puebla
1981	Oct	25	18.088	102.06	21	7.3	Costa de Guerrero
1982	Jun	7	16.516	98.339	19	7	Oaxaca-Guerrero
1983	Dic	2	14.032	91.956	35	7	Guatemala. 70 km de la frontera con México
1985	Sep	19	18.419	102.47	15	8.1	Costa de Michoacán
1985	Sep	21	17.828	101.68	17	7.5	Costa de Michoacán
1986	Abr	30	18.361	103.05	22	7	Costa de Michoacán

Tabla. III.1 Catálogo de sismicidad histórica de la República Mexicana (siglo XIX, XX y XXI)
(Gutiérrez, 2006 y SSN 2014) (CONTINUACIÓN).

1993	Sep	10		14.8	92.687	34	7.2	Costa de Chiapas
1995	Sep	14		16.752	98.667	21	7.3	Oaxaca-Guerrero
1995	Oct	9		18.993	104.25	25	7.6	Colima-Jalisco
1995	Oct	21		16.811	93.474	160	7.1	Chiapas
1996	Feb	25		15.88	97.98	15	7.1	Costa de Oaxaca
1997	Ene	11		18.34	102.58	40	7.1	Michoacán
1998	Mar	2	20:24:45	14.3	-91.67	84	6.7	GUATEMALA
1999	Jun	15	15:42:05	18.133	97.539	63	7	Puebla
1999	Sep	30	11:31:14	16.01	97	42	7.5	Oaxaca
2003	Ene	22	06:41:46	18.6	104.22	10	7.6	Costa de Colima
2003	Ene	20	20:46:52	13.33	-91.43	20	6.2	COSTA GUATEMALA
2003	Ene	21	20:06:31	18.22	-104.6	10	7.6	COSTA COLIMA
2003	May	19	11:27:10	17.95	-105.84	5	6	COSTA DE MICHOACAN
2004	Ene	1	17:31:50	17.39	-101.37	10	6.3	COSTA DE GUERRERO
2005	Jun	27	06:35:45	18.78	-107.3	20	6.1	OCEANO PACIFICO
2007	Abr	13	00:42:22	17.09	-100.44	41	6.3	13 km al SUR de ATOYAC DE ALVAREZ, GRO
2007	Jun	13	14:29:48	13.26	-91.43	20	6.6	175 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS
2007	Jul	5	20:09:19	16.9	-94.1	100	6.2	47 km al NOROESTE de CINTALAPA, CHIS
2008	Feb	12	06:50:18	16.19	-94.54	90	6.6	44 km al SURESTE de UNION HIDALGO, DAX
2008	Abr	14	22:03:06	13.27	-91.04	40	6.5	197 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS
2008	Sep	23	21:33:06	17.16	-105.16	42	6.4	228 km al SURESTE de MANZANILLO, COL
2008	Oct	16	14:41:22	13.87	-92.5	23	6.6	97 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS
2009	Sep	24	02:16:20	17.72	-107.43	21	6.2	347 km al SURESTE de CIHUATLAN, JAL
2010	Jun	30	02:22:27	16.22	-98.03	8	6	13 km al SUR de PINOTEPA NACIONAL, DAX
2011	Abr	7	08:11:22	17.2	-94.34	167	6.7	83 km al SURESTE de LAS CHOAPAS, VER
2011	Dic	10	19:47:25	17.84	-99.98	58	6.5	53 km al NOROESTE de ZUMPANGO DEL RIO, GRO
2012	Ene	21	12:47:15	14.74	-93.24	16	6	86 km al SURESTE de MAPASTEPEC, CHIS
2012	Mar	20	12:02:47	16.251	-98.521	16	7.4	29 km al SUR de DMETEPEC, GRO
2012	Abr	2	12:36:42	16.27	-98.47	10	6	45 km al OESTE de PINOTEPA NACIONAL, DAX
2012	Abr	11	17:55:10	17.9	-103.06	16	6.4	79 km al OESTE de LA MIRA, MICH
2012	Nov	7	10:35:51	14.08	-92.32	16	7.3	68 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS
2012	Nov	15	03:20:22	18.17	-100.52	40	6.1	26 km al SURESTE de CD ALTAMIRANO, GRO
2013	Mar	25	17:02:13	14.35	-90.81	198	6.2	149 km al ESTE de CD HIDALGO, CHIS
2013	Ago	21	07:38:30	16.79	-99.56	20	6	18 km al OESTE de SAN MARCOS, GRO
2013	Sep	6	19:13:28	14.34	-92.26	69	6.1	39 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS
2014	Abr	18	09:27:23	17.18	-101.19	10	7.2	40 km al SUR de PETATLAN, GRO
2014	May	8	12:00:16	17.11	-100.87	17	6.4	28 km al SURESTE de TECPAN, GRO
2014	May	10	02:36:01	17.06	-100.95	12	6.1	38 km al SURESTE de TECPAN, GRO
2014	Jul	7	06:23:58	14.75	-92.63	60	6.9	47 km al SURESTE de TAPACHULA, CHIS

Se puede observar que la mayor parte de los sismos se encuentran en la región seleccionada en este trabajo, por lo que se justifica el estudio detallado en esta zona. De todos los eventos pasados, se ha logrado observar algunas zonas de ruptura, entre ellas están las investigaciones realizadas por Singh y Suárez (1986) que llevaron a identificar segmentos de ruptura como lo

muestra la tabla III.2. También se ha logrado observar que desde el siglo pasado, el periodo de recurrencia de las zonas de subducción que varía de 30 a 70 años. Esto se visualiza como periodos de energía acumulada y deformación, liberándose repentinamente durante el evento sísmico donde, después habrá un periodo de acumulación que culminará con un nuevo sismo. De aquí surge el concepto de brecha sísmica, que se le designa a un segmento de área de contacto entre las placas, en el cual se produce un sismo en un lapso de tiempo relativamente grande (para México se considera más de 30 años).

Tabla III.2 Periodo de recuperación de los grandes sismos producidos en la zona de subducción del Océano Pacífico (Singh y Suárez, 1986)

Región	Localización aproximada		Año del sismo	Periodo Promedio (años)
	Lat (° N)	Long (° W)		
Oaxaca E.	16.2	95.8	1897(7.4);1928(7.7);1965(7.8)	34
Oaxaca C.	16.0	96.8	1870(7.9);1928(8.0);1978(7.8)	54
Oaxaca O.	16.6	97.7	1854(7.7);1894(7.4);1928(7.4);1968(7.4)	38
Ometepec	16.5	98.5	1950(7.3);1982(6.9,7.0)	32
San Marcos	16.7	99.2	1845(7.9);1907(8.0);1957(7.7)	56
Petatlán.	17.3	101.4	1943(7.7);1973(7.6)	36
Michoacán.	18.1	102.5	1911(7.9);1985(8.1)	74
Colima	18.4	103.2	1941(7.9);1973(7.5)	32

Sin embargo, las brechas sísmicas propuestas por Nishenko y Singh (1987), son las más aceptadas para fines de estudios de peligro sísmico y se presentan con más detalle en el capítulo IV, estos segmentos son producidos por sismos de subducción e Interplaca que se muestran en la figura III.11.

El estudio de los sismos asociados a la zona de subducción del pacífico ha proporcionado características importantes, que se resumen a continuación:

- a) Los sismos de 15 de septiembre de 1985, así como eventos de falla inversa que ocurrieron cerca de las costas con profundidades de 16 a 20 km (Singh y otros, 1984 y Singh y Mortera, 1990)
- b) El ancho de ruptura no excede 80 km (Singh et al., 1985). Esto probablemente explica las longitudes de ruptura relativamente pequeñas (≤ 220 km)

- c) Los temblores en México generan un número de réplicas anormalmente pequeño. Esto coincide con el patrón observado en el cinturón circumpacífico (Singh y Suárez, 1988)
- d) Las estadísticas de sismos muestran que la relación de Gutenberg y Richter ($\log N = a - b M_s$, donde N = número de eventos con magnitud $\geq M_s$ no es válida para la zona de subducción de México; hay una gran deficiencia de eventos en el rango de magnitudes $6.4 \leq M_s \leq 7.4$. Esta evidencia de magnitudes características es más impresionante para Oaxaca (Singh y otros, 1983)

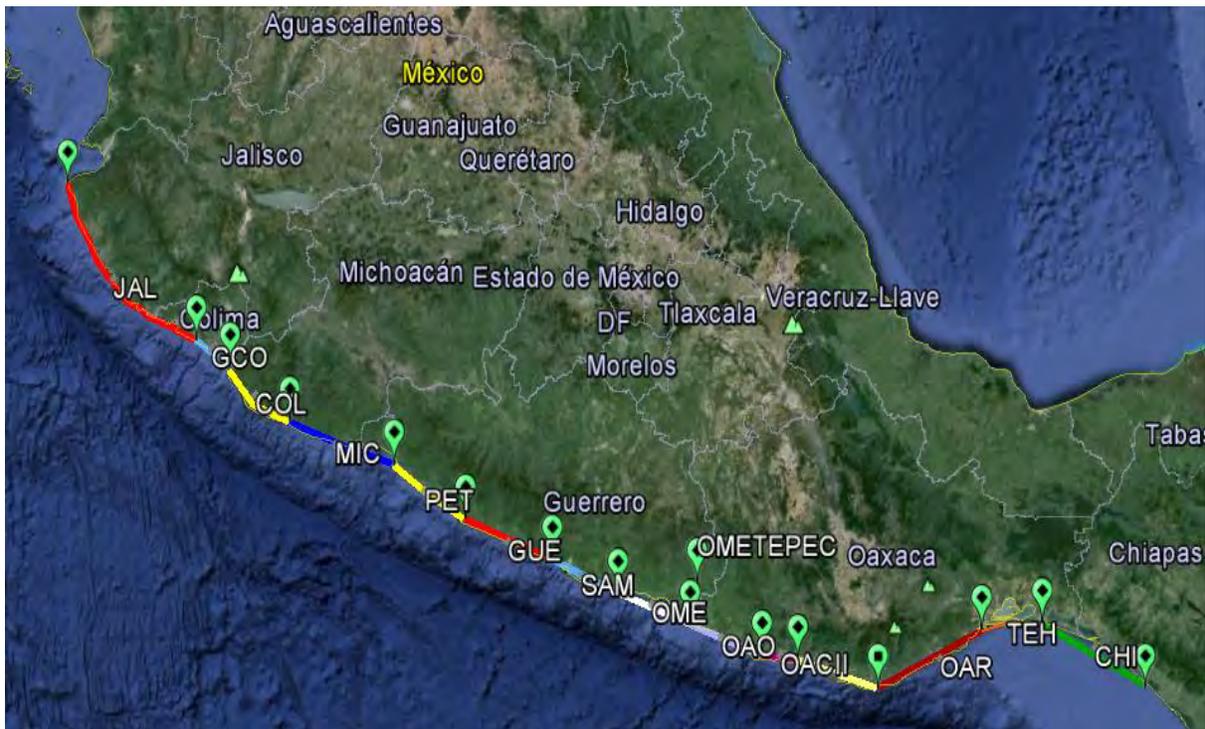


Figura III.11 Segmentos de ruptura en las costas del océano Pacífico Mexicano

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE PELIGRO SÍSMICO

Al producirse un sismo con una magnitud dada y una cierta localización, además de conocer las características relevantes del terreno y la distancia al sitio de estudio, es posible estimar parámetros sísmicos (p.ej. aceleraciones o velocidades máximas de terreno,). Bufaliza, 1984 propuso leyes de atenuación basadas exclusivamente en datos de temblores registrados en México; sin embargo, se requirió de más estudios como el número de estaciones de registro sísmico por lo que las ecuaciones propuestas no son del todo precisas.

El tener conocimiento acerca de la frecuencia con que se presenta un evento sísmico, así como el tamaño del área afectada, entre otros aspectos, permite dar la debida importancia a la generación, actualización y aplicación de reglamentos de construcción, así como la construcción y planeación de acciones de prevención y organización de grupos de trabajo para la atención de una posible emergencia, para ello se recurre a estudios y métodos propuestos por diversos autores que tratan de “simular” el escenario probable que pudiera presentarse. El principal estudio es el peligro sísmico, pero además las leyes de recurrencia y de atenuación, las cuales se describen a continuación.

IV.1 Ley de recurrencia

Los sismo se presentan cuando existe acumulación de energía y ésta es liberada, mayormente se presenta con ciclos de diferentes duraciones. La ocurrencia de un sólo sismo con gran magnitud puede predominar el riesgo en una zona determinada, lo cual lleva al estudio de la ocurrencia y se le denomina “Recurrencia”. La recurrencia en que se presenta un sismo se ha tratado idealizarla mediante procesos en donde, los tiempos entre eventos se encuentran distribuidos uniformemente, pero también se puede demostrar que esta distribución no se altera cuando pasa un tiempo sin un sismo.

Los principales modelos que representa la recurrencia generalmente son de Poisson en donde algunas variables son el tiempo y magnitud, esta información se obtiene de catálogos de sismos de la zona en estudio. La actividad de las fuentes sísmicas se especifica en términos de la tasa de excedencia de las magnitudes (m), generadas por esta fuente. La tasa de excedencia de magnitudes mide qué tan frecuentemente se generan temblores con magnitud superior a una dada. Para la mayor parte de las fuentes sísmicas, la recurrencia está definida por una versión modificada de la relación de Gutenberg y Richter (1944).

$$\log \lambda_m = a - b \cdot m \quad \text{IV.1}$$

Dónde:

$\log \lambda_m$ es el promedio anual de número de sismos de magnitud mayor o igual que cero.

a y b reciben los nombres de actividad sísmica y probabilidad relativa de sismos pequeños o grandes, ambos son calculados mediante una regresión lineal de los datos recopilados de sismos de ciertas magnitudes.

Estos parámetros difieren para cada fuente, pues cada área y falla tienen diferentes características, la mayoría se estima estadísticamente.

Tabla IV.1 Caracterización de fuentes sísmogénicas tipo falla

Segmento de falla	Clave	Tipo	Falla	Tasa de recurrencia	Σ /prom*	Mw		
						min	máx	prom
JALISCO	JAL	interplaca-subducción	Normal	0.0364	0.3245	7.6	8.2	7.9
GAP DE COLIMA	GCD	interplaca-subducción	Normal	0.0325	0.3245	8.3	8.9	8.6
COLIMA I	COL	interplaca-subducción	Normal	0.0072	0.3245	7.2	7.8	7.5
MICHOACÁN	MIC	interplaca-subducción	Normal	0.0135	0.3245	7.2	7.8	7.5
PETATLÁN	PET	interplaca-subducción	Normal	0.0290	0.3245	7.2	7.8	7.5
GUERRERO CENTRAL	GUE	interplaca-subducción	Normal	0.0268	0.3245	7.23	7.83	7.53
SAN MARCOS	SAM	interplaca-subducción	Normal	0.0177	0.3245	7.2	7.8	7.5
OMETEPEC	OME	interplaca-subducción	Normal/ Inversa	0.0575	0.4160	7	7.9	7.45
DAXACA OCCIDENTAL	DAO	interplaca-subducción	Normal	0.0294	0.3245	7.4	7.7	7.55
DAXACA CENTRAL II	DACII	interplaca-subducción	Normal	0.0380	0.9000	7.4	7.9	7.65
DAXACA CENTRAL I	DAC	interplaca-subducción	Normal	0.0190	0.3245	7.2	7.9	7.55
DAXACA ORIENTAL	DAR	interplaca-subducción	Normal	0.0393	0.1300	7.2	7.35	7.28
GAP DE TEHUANTEPEC	TEH	interplaca-subducción	Normal	0.0426	0.3245	8.35	8.95	8.65
CHIAPAS	CHI	interplaca-subducción	Normal	0.0382	0.3245	7.2	7.8	7.5

*Parámetro para fallas normales, es la desviación estándar de la distribución normal

En la tabla IV.1 se muestra la recurrencia para las fuentes sísmogénicas tipo falla, presentadas por Nishenko y Singh (1987), mientras que en la tabla IV.2 las de tipo área de acuerdo a Zúñiga (1997), los cuales serán utilizados en este trabajo para la evaluación del peligro sísmico, estas se están actualizadas de acuerdo con sismos recientes. La recurrencia está dada en número de eventos por año (No./año) que excede la magnitud mínima para cada zona, el parámetro β es el logaritmo de 10 veces el valor de b , que corresponde a la distribución exponencial según el modelo de Richter y el mayor Momento sísmico registrado.

Tabla IV.2 Caracterización de fuentes sísmogénicas tipo área

Clave	Tipo	Profundidad de foco	Tasa de recurrencia	β	Mw		Observaciones
					min.	máx.	
NAL	intraplaca	H < 15 km	-	-	-	4.5	-
BB	intraplaca	H < 15 km	0.0167	2.41	5	5.4	-
GMX	intraplaca	H < 20 km	0.0343	2.39	5	6.6	-
MVB	intraplaca	H < 40 km	0.118	2.48	5	7.2	falla normal e inversos
NAM	intraplaca	H < 20 km	0.3645	3.16	5	7.4	falla normal
RIV	2 interplaca	H < 15 km	1.3608	2.39	5	7.2	falla de rumbo
	3 interplaca -subducción	H < 20 km	0.0504	2.66	5	7.2	
SUB	1 interplaca-subducción	H < 40 km	1.218	2.42	5	7.2	falla inversa
			1.148	2.21	5	7.2	
			1.152	2.55	5	7.2	
			1.492	2.76	5	7.2	
INI	A intraplaca- subducción	40 km < H < 120 km	1.379	2.41	5	7.9	falla normal
			0.5599	2.41	5	7.9	
			0.1659	2.41	5	5.9	
IN2	A intraplaca- zona de transición de la placa de cocos	40 km < H < 260 km	0.3694	2.02	5	7.9	falla normal
			0.404	2.02	5	7.9	
			0.3809	2.02	5	7.9	
IN3	A intraplaca- transición de la subducción	40 km < H < 300 km	1.1033	2.59	5	7.9	falla normal
			1.8914	2.59	5	7.9	
			2.2592	2.59	5	7.9	

IV.2 Ecuaciones del movimiento fuerte del suelo (Ecuaciones de atenuación)

Además de evaluar las probabilidades de excedencia, es necesario conocer más datos y expresiones que representen características de un lugar estudiado y estas puedan ser entendibles con algún término. Es necesario tener expresiones en relación a la magnitud, así como la afectación o influencia sobre la distancia focal de un sismo hacia un sitio dado. La forma más común es caracterizar el movimiento fuerte del terreno, esto se logra cuando en algunas regiones en las que la abundancia de acelerogramas lo permite, se realiza un estudio detallado de la información y se hace un ajuste por regresión lineal de los datos empíricamente o semi-empíricamente a una o varias expresiones paramétricas denominadas ecuaciones o relaciones del movimiento fuerte del terreno (también comúnmente llamado Ecuación de Atenuación).

Las ecuaciones de atenuación debe incluir todos aquellos parámetros que reflejen los aspectos físicos más relevantes del fenómeno (tipo de terreno, magnitud del sismo, etc), y debe ser además lo más simple posible. Como regla, la ecuación de atenuación debe considerar que la aceleración, velocidad o desplazamiento se incrementan, o son constantes, con la magnitud del sismo (M), y se reducen, o son constantes, con la distancia epicentral (R) (Gómez, 2005). Estas ecuaciones son de gran utilidad para la predicción de amplitudes en la delimitación del peligro sísmico en un lugar determinado.

La estimación de ecuaciones de atenuación en México ha sido de gran preocupación para diversos investigadores, por ejemplo Esteva y Villaverde (1973) obtuvieron relaciones de atenuación para la aceleración y velocidad máxima del terreno con un complemento de datos de los Estados Unidos de América; Bufaliza (1984) obtuvo relaciones de atenuación con base en datos registrados sólo en México. Después de ocurrido el sismo del 19 de septiembre de 1985, surgieron otros estudios basados en sismos costeros como el presentado por Singh *et al.* (1987) analizando sismos registrados en la estación CUIP (localizada en Ciudad Universitaria, en terreno firme de la ciudad de México) y dos años después Ordaz *et al.* (1989) proponen una relación de atenuación para campo lejano, respecto a la zona de subducción del Pacífico Mexicano, basada en la técnica de regresión lineal descrita por Joyner y Boore (1981).

Debido al desarrollo de tecnologías que permiten tener más información sobre algunos lugares con alta sismicidad, se han desarrollado más ecuaciones que permiten relacionar la afectación de un sismo con la distancia. Para este trabajo se utilizan las siguientes leyes de atenuación, todas en términos de aceleración espectral del terreno.

Atkinson-Boore (2003), (AB-2003): Esta ecuación se desarrolló para sismos en zonas de subducción con una base de datos de 1200 mediciones para magnitudes $M > 5$ y distancia hipocentral de 100 km y $M > 7$ con 300 km. Todos los espectros de respuesta consideran el componente horizontal de aceleración con 5% de amortiguamiento. Los eventos cubren magnitudes de 5 a 8.3 y que han ocurrido en las zonas de subducción alrededor del mundo,

también incluyen eventos intraplaca e interplaca, con registros de Japón (datos de Kyoshin-Net), México (datos de Guerrero) y Centro América (El Salvador).

Se utilizaron 162 registros de estaciones acelerográficas del Estado de Guerrero medidos en terreno firme (NEHRP C, D, E). La relación de atenuación se obtuvo utilizando métodos de regresión estocásticos (probabilidades máximas) (Joyner y Boore, 1993). La ecuación se define como:

$$\log Y = fn(M_w) + c_3 h + c_4 R - g \log R + c_5 sl S_C + c_6 sl S_D + c_7 sl S_E \quad \text{IV.2}$$

Dónde:

Y Componente horizontal de pseudo-aceleración SA (cm/s²) calculado para un periodo T.

M_w Magnitud de momento, eventos interplaca con M > 8.5 se utiliza M=8.5. Para eventos intraplaca con M ≥ 8 utilizar M=8.

c₁ – c₇ Coeficientes dependientes del periodo en estudio, obtenidos de la regresión de datos, presentados en Atkinson y Boore (2003).

fn(M_w) Está dada por $c_1 + c_2 M_w$

H Profundidad del foco en km, para eventos con profundidad mayor a 100 km, usar h=100 km.

R Definido como $\sqrt{(D_{fault}^2 + \Delta^2)}$, D_{fault}^2 distancia más cerca a la superficie de falla (km) y Δ es el coeficiente de saturación por cercanía a la fuente $0.00724 * 10^{0.507 M}$

sl 1 PGArx ≤ 100 cm/s² o para frecuencias ≤ 1 Hz

✓ 1-(f-1)(PGArx -100)/400 para 100 < PGArx < 500 cm/s² o para 1Hz < f < 2 Hz

✓ 1-(f-1) para PGArx ≥ 500 cm/s² (1Hz < f < 2 Hz)

✓ 1-(PGArx-100)/400 para 100 < PGArx < 500 cm/s² (f ≥ 2 Hz y PGA)

✓ 0 para PGArx ≥ 500 cm/s² (f ≥ 2Hz y PGA)

PGA: Se define como la aceleración pico del terreno. La relación de atenuación permite el cálculo de la aceleración pico del terreno (PGA) considerando valores específicos de los coeficientes c1 a c7 presentados en Atkinson y Boore (2003).

PGArx : es el PGA calculado para roca (NEHRP B), en cm/s^2 y σ es la desviación estándar de residuos, igual a $\sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}$ donde 1 y 2 denotan la variabilidad estimada para eventos intraplaca e interplaca. β es la velocidad de onda de corte promedio para los 30 primeros metros de profundidad del terreno.

- S_C 1 para suelo clase C según clasificación NEHRP ($360 \leq \beta \leq 760$ m/s), para otros casos es 0.
 S_D 1 para suelo clase D según clasificación NEHRP ($180 \leq \beta \leq 360$ m/s), para otros casos es 0.
 S_E 1 para suelo clase E según clasificación NEHRP ($\beta < 180$ m/s), para otros casos es 0.

Clemente y otros (2012), (CL-2012): propuesta de Alejandro Clemente Chávez, G. Moisés Arroyo, Ramón Zúñiga, Ángel Figueroa, Miguel A. Pérez y Carlos S. López, en donde determinan una relación de atenuación para estimar la aceleración máxima del terreno (PGA) por medio del análisis de una trayectoria con base en regresiones lineales múltiples. Fue aplicada a la trayectoria Guerrero-Querétaro a partir de registros sísmicos de estaciones que definen dicha trayectoria. Se analizaron seis sismos: el primero ocurrido en 1993 ($M_w=6.6$), dos en 2009 ($M_w=5.2$ y 5.6), y otros tres sismos de menor magnitud ocurridos en el 2010 ($M_w=4.3$, 4.7 y 4.9), conformando con un total de 16 registros sísmicos, incluyendo las primeras señales sísmicas registradas en la ciudad de Querétaro. Estos sismos ocurrieron en la zona de subducción del Pacífico Mexicano, con fuente en el estado de Guerrero y todos ellos presentan características de la sismicidad interplaca con profundidades entre 5 y 30 km, Existe incertidumbre al predecir el comportamiento para magnitudes mayores $M_w \geq 6.6$, puesto que a diferencia de otras ecuaciones de atenuación, la base de datos de este trabajo corresponde a eventos de menor magnitud M_w (4.3 - 6.6). La ecuación es:

$$\log Y = -0.250 + 0.325M_w - 0.00608H - 0.0047R - 0.0109\log R \quad \text{IV.3}$$

Dónde:

- Y Aceleración máxima SA (cm/s^2).
 M_w Magnitud de momento
 R Distancia más cercana a la superficie de falla en km.
 H Profundidad focal en km.

García y otros (2005), (GA-2005): Esta ecuación desarrollada por D. García, S.K. Singh, M. Herraíz, M. Ordaz y J.F. Pacheco, para sitios con ocurrencia de sismos de profundidad intermedia, fallamiento normal intraplaca (inslab) de México Central. La base de datos comprende a 16 sismos que tuvieron lugar en el interior de la Placa de Cocos en los estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Las distancias focales varían entre 40 y 75 km y magnitudes de 5.8 a 7.4, todos los sismos tuvieron lugar entre 1994 y 2000. Se hizo un análisis de 235 acelerogramas registrados, las distancias hipocentrales varía desde 50 hasta 400 km y parcialmente a distancias superiores. La relación de atenuación permite el cálculo de la aceleración pico del terreno (PGA) y velocidad pico del terreno (PGV) con 5% de amortiguamiento crítico, esto en roca y campo libre. La ecuación es la siguiente:

$$\log Y = c_1 + c_2 M_w + c_3 R - c_4 \log R + c_5 H + \sigma \quad \text{IV.4}$$

Donde:

Y Componente horizontal de pseudo-aceleración SA (cm/s²) calculado para un periodo T

M_w Magnitud de momento

$c_1 - c_5$ Coeficientes dependientes del periodo en estudio, obtenidos de la regresión de datos, presentados en García (2005).

H Profundidad del foco en km

R Distancia más cercana a la superficie de falla en km, y definida por $\sqrt{(R_{cld}^2 + \Delta^2)}$, donde R_{cld} es la distancia más cercana a la superficie de falla para sismos grandes ($M_w > 6.5$), o la distancia hipocentral para el resto de los casos en km y Δ es un coeficiente por saturación de fuente cercana tomado como $\Delta = 0.00750 * 10^{0.507 M_w}$.

σ Desviación estándar, valores presentados en García (2012).

García y otros (2006), (GA-2006): desarrollada por D. García para sismos de subducción y falla inversa de México Central. El número total de eventos de sismos interplaca considerados es 46, el conjunto de datos abarca todos los terremotos interplaca del catálogo del CMT de Harvard para el periodo 01/01/1985-01/01/2005 de la costa entre los estados de Oaxaca y Colima (95°-105° W), el conjunto de registros son 469 de un total de 56 estaciones para sismos de $5 < M_w < 8$ y profundidades epicentrales de 8 y 30 km. La distancia máxima es 400 km (R), se hicieron un

total de 100 regresiones lineales pero se desechó una tercera parte. Todos los registros se hicieron en roca y campo libre. La relación de atenuación permite el cálculo de la aceleración pico del terreno (PGA) con 5% de amortiguamiento crítico. La ecuación es la siguiente:

$$\log Y = c_1 + c_2 M_w + c_3 R - c_4 \log(R + c_5 10^{c_6 M_w}) + c_7 H + \sigma \quad \text{IV.5}$$

Donde:

Y Componente horizontal de pseudo-aceleración SA (cm/s²). Calculado para un periodo T

M_w Magnitud de momento

$c_1 - c_7$ Coeficientes dependientes del periodo en estudio, obtenidos de la regresión de datos, presentados en García (2005). $c_4 = 1.82 - 0.16 M_w$

H Profundidad del foco en km

R Distancia más cercana a la superficie de falla en km para eventos con $M_w > 6.0$

σ Desviación estándar, valores presentados en García (2006).

Gómez y otros (2005), (GO-2005): Desarrollada por Gómez, S C., Ordáz, S. M., y Tena, C. A., calculan leyes de atenuación por medio de regresión lineal en dos etapas para aceleración y desplazamiento, se hizo el análisis de registros para seis estados de la Costa Mexicana del Pacífico. Los acelerogramas fueron obtenidos de la Base de Datos Mexicana de Sismos Fuertes (BDMSF 2000), que provee registros en el intervalo de 1960 a 1999. A partir de esta base de datos, se seleccionaron más de 4000 acelerogramas, para más de 300 sismos, la ecuación es obtenida para terreno firme y con magnitudes $M_w \geq 4.5$, para sismos de subducción, con 108 sismos, 95 estaciones de registro y 1983 acelerogramas. De las estaciones finales, 7 corresponden a Chiapas, 6 a Colima, 51 a Guerrero, 19 a Jalisco, 14 a Michoacán, 6 al límite entre Michoacán y Guerrero y 6 a Oaxaca y las profundidades focales de los sismos de la base de datos final están entre los 5 y 80 km. Las siguientes ecuaciones obtienen la aceleración espectral y en este trabajo se utilizó la ecuación IV.7:

$$\log Y = 2.308 + 0.780 M_w - 0.844 \ln R - 0.004 R \quad \text{IV.6}$$

$$\log Y = 1.237 + 1.519 M_w - 0.0313 M_w^2 - 0.844 \ln R - 0.004 R \quad \text{IV.7}$$

Donde:

- Y Componente horizontal de pseudo-aceleración SA (cm/s²). Calculado para un periodo T
 M_w Magnitud de momento
 R Distancia más cercana a la superficie de falla en km.

Gómez y otros (2012), (GO-2012): Desarrollado por A. Gómez Bernal, M.A. Lecea y H. Juárez García, quienes obtuvieron una relación de atenuación empírica para diferentes parámetros sísmicos: intensidad de Arias (IA), aceleración pico del terreno (PGA) y velocidad pico del terreno (PGV), para sismos tipo interplaca, intraplaca y eventos corticales superficiales con $M_w > 6$ y distancias entre 20 y 600 km. La relación de atenuación obtenida está en función de la magnitud, distancia a la falla y mecanismo de falla, obtenida con base en 600 registros sísmicos correspondiente a 25 sismos de zonas activas de México. El modelo de regresión usado con base en la distancia a la falla está dada por:

$$\log Y = b - \log(R + c) - kR \quad \text{IV.8}$$

$$c = 0.0055 * 10^{0.525M_w} \quad \text{IV.9}$$

$$b = aM_w + dH + e_1S_1 + e_2S_2 + e_3S_3 + f + \epsilon \quad \text{IV.10}$$

Donde:

- Y Aceleración máxima SA (cm/s²).
 b Factor de contrapeso para cada sismo
 k Coeficiente asignado para cada parámetro sísmico, para PGA es 0.0015
 M_w Magnitud de momento
 R Distancia más cercana a la superficie de falla en km.
 c Coeficiente que toma en cuenta la saturación de las amplitudes debido a la proximidad de la fuente, que considera una distancia efectiva que incrementa con la magnitud
 ϵ Desviación estándar
 H Profundidad focal en km.
 $a, d, e_1 - e_3, f$ Son coeficientes determinados por el análisis de regresión presentados en Gómez-Bernal y otros. (2012)

Youngs et al. (1997), Y97: Desarrollada por R.R. Youngs, S.J. Chiou, W.J. Silva y J.R. Humphrey. En este modelo de atenuación se han considerado dos tipos de sismos en zonas de subducción, sismos interplaca y sismos intraplaca. Los sismos interplaca suelen estar producidos por fallas inversas de poco ángulo que ocurren en la interfase entre la placa subducente. Ejemplo de tales sismos son: Alaska 1964 ($M = 9.2$), Valparaíso 1985 ($M = 8.0$) y Michoacán 1985 ($M = 8.0$). Las relaciones de atenuación se desarrollaron para la aceleración pico del terreno y respuesta espectral, considerando magnitudes de momentos iguales o mayores a 5 y para distancias de 10 a 500 km. Y con base en un análisis de regresión aleatoria (Youngs et al., 1997), equivalente al análisis de regresión en dos etapas (Joyner y Boore, 1993), utilizándose además como ayuda para la validación del modelo, un método de simulación numérica de sismos interplaca, de gran magnitud. Se utilizó una base de datos que incluye registros de movimientos fuertes del suelo de zonas de subducción interplaca e intraplaca de Alaska, Chile, EEUU (Cascadia), Japón, México, Perú y las Islas Solomon. Los eventos de México utilizados para la regresión, incluyen 23 registros distribuidos por la costa entre coordenadas (Lat, Long) 16° N, 98° W y 18.3° N, 101° W; 12 registros de Oaxaca, 47 de Guerrero, 17 de Playa Azul y 45 de Michoacán. La ecuación que define el movimiento para roca:

$$\log Y = 0.2418 + 1.414M_w + c_1 + c_2 + (10 - M_w)^3 + c_2 \ln(r_{rup} + 1.7818e^{0.554M_w}) + 0.00607H + 0.384Z_T \quad \text{IV.11}$$

Donde:

- Y Componente horizontal de pseudo-aceleración SA (cm/s^2). Calculado para un periodo T
- Z_T Tipo de fuente: 0 para interplaca y 1 para intraplaca.
- M_w Magnitud de momento
- r_{rup} Distancia más cercana a la ruptura en km, denominada distancia a la ruptura. En los sismos pequeños esta distancia es aproximadamente, la distancia hipocentral. El intervalo de distancias considerado es de 10 a 500 km.
- H Profundidad en km.
- $c_1 - c_3$, Son coeficientes dependientes del periodo T en estudio, obtenidos de la regresión de datos presentados en Youngs et al. (1997).

IV.2.1 Ecuaciones de atenuación en el Programa EZ-FRISK®

El software EZ-FRISK 7.62 desarrollada por Risk Engineering Inc (Risk-Engineering, 2011), es un programa en donde consideran las ecuaciones de atenuación aplicables para todo el mundo, pero también permite al usuario incluir nuevas ecuaciones mediante un código o una base de datos establecida. Las características que deben tener las opciones se presentan en el manual de usuario del software y en la investigación descrita por Inca (2013).

En este trabajo se utilizaron las ecuaciones antes descritas, de las cuales dos de ellas ya vienen precargadas en la base de datos las cuales son Atkinson-Boore (2003) y Youngs et al. (1997), para las otras ecuaciones se incluyó una nueva base de datos en el programa EZ-FRISK®.

Las características principales de cada una de estas ecuaciones se presentan en la tabla IV.3, así como su clave. Así mismo, se considera que la aceleración espectral es normalizada con respecto a la gravedad (SA(g), por sus siglas en inglés).

Tabla VI.3 Ecuaciones de Atenuación

LEY DE ATENUACIÓN	CLAVE	APLICABLE A:	TIPO	Observaciones	
Atkinson - Boore (2003)	AB-2003	Guerrero	subducción, interplaca e intraplaca	Profundidad intermedia y somera	Mw > 5 con H < 100 km, Mw > 7 con H < 300 km
Clemente et al. (2012)	CL-2012	Guerrero	subducción, interplaca	---	Mw < 6.6, H < 30km
García et al. (2005)	GA-2005	Guerrero, Michoacán, Oaxaca	islab (intraplaca)	Profundidad intermedia de falla normal	5.2 < Mw < 7.4; 35 < H < 138 km
García et al. (2006)	GA-2006	Guerrero, Michoacán, Oaxaca	interplaca-subducción y falla inversa	---	5 < Mw < 8, 8 < H < 29 km
Gómez et al. (2005)	GO-2005	Guerrero, Michoacán, Oaxaca	subducción	No considera falla normal	Mw > 4.5, H < 80 km
Gómez et al. (2012)	GO-2012	Guerrero, Michoacán, Oaxaca	interplaca, intraplaca y eventos corticales superficiales	---	Mw > 6
Youngs et al. (1997)	YO-1997	Guerrero, Michoacán, Oaxaca	subducción, interplaca e intraplaca	---	---

IV.4 Análisis de peligro sísmico para la región seleccionada (ejemplo de aplicación: Petatlán, Gro)

Una vez que son conocidas las fuentes sismogénicas que afectan al o a los puntos de estudio además de la recurrencia y la sismicidad histórica se pueden calcular parámetros sísmicos, en este caso se calcularan Espectros de Peligro Uniforme (EPU) a partir de las curvas de peligro, para ciertas probabilidades de excedencia (2%, 5%, 10%, 39.3%, 67.1%, 91.8% de probabilidad en 50 años), esto, a partir del análisis probabilístico del peligro sísmico para diferentes periodos (aceleraciones espectrales para PGA, 0.1 s, 1 s, etc.), lo cual se explica con más detalle en el ejemplo de aplicación.

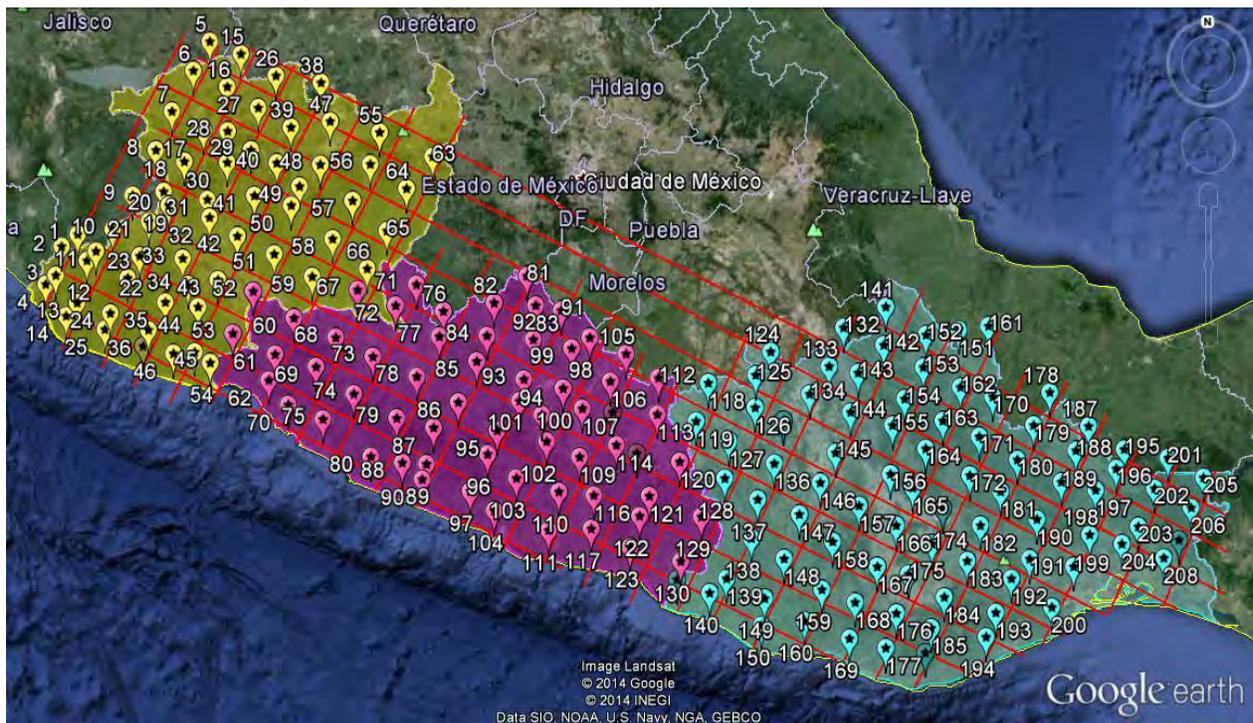


Figura IV.1 Trazado de malla y obtención de puntos de estudio

Siguiendo la método propuesta por Inca (2013), una vez determinada la región de estudio que son los estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca, se trazó una malla con líneas de aproximadamente 30 km de distancia, como se puede observar en la figura IV.1, en donde cada intersección de la malla indica un punto de estudio. En la zona de estudio se obtuvieron 208

puntos de los cuales 61 son del estado de Michoacán, 62 de Guerrero y 85 de Oaxaca. A cada punto se le asigna una clave para su identificación

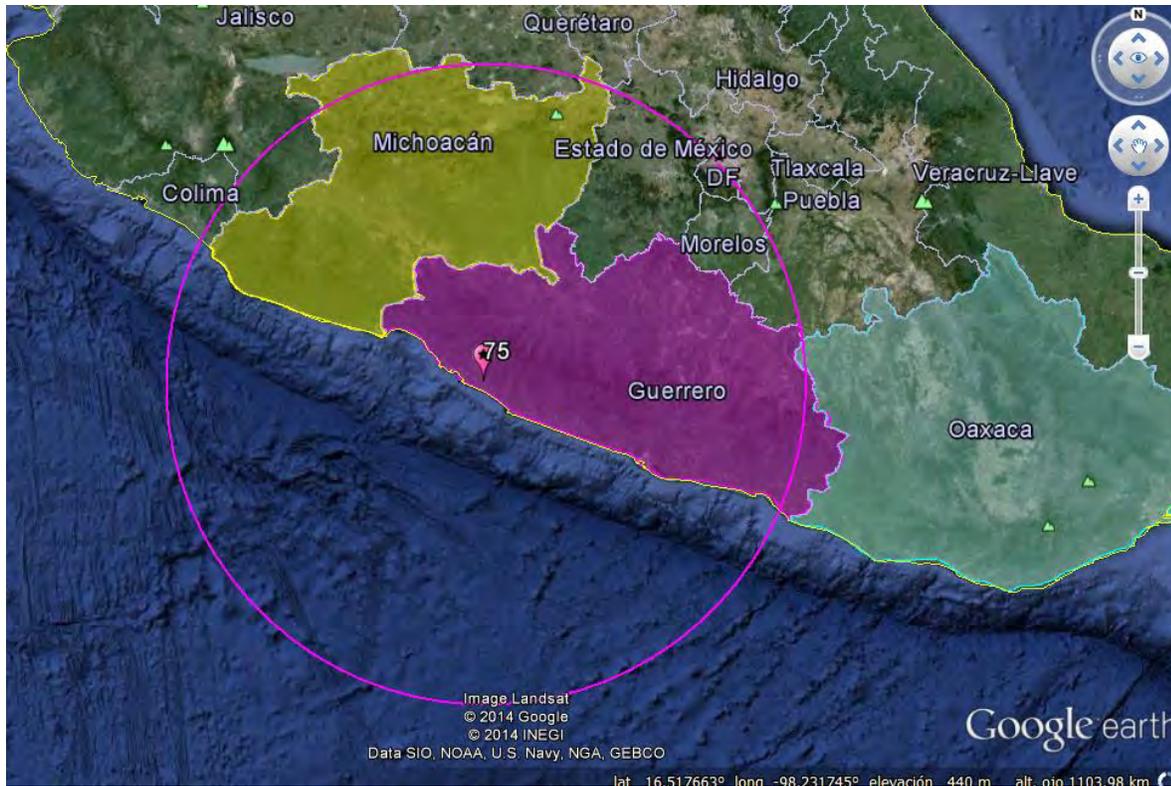


Figura IV.2 Radio de influencia para cada punto de estudio

Para explicar el proceso de análisis de peligro sísmico, se toma un punto de la malla, por ejemplo el número consecutivo 75, cuya clave es **AG-GU14**, que corresponde a la localidad de Petatlán, Gro. (17.539378° de latitud y -101.270461° de longitud), así como una elevación de 36 msm. Ya ubicado el punto de estudio se traza el radio de influencia que, de acuerdo con el método propuesto es de aproximadamente de 300 km de diámetro tal como se muestra en la figura IV.2. Una vez determinada el área de influencia del punto AG-GU14, se identifican todas aquellas fuentes sismogénicas que contribuyen al peligro sísmico; es decir, todas aquellas fuentes que se encuentren en el interior del radio trazado.

Inicialmente se identifican las fuentes tipo área son las propuestas por Zúñiga (1997), mostradas en la figura VI.3. En el inciso “a” se observan que las zonas con características de sismos profundos y que se encuentran dentro de la región de estudio corresponden a las zonas IN1 A,

IN1 B, IN1 C, IN2 A, IN2 B e IN2 C. En el inciso “b” corresponden a los sismos someros y para el punto AG-GU14 corresponden las zonas NAL, SUB1, SUB2, SUB3, MVB, NAM. También se determinan las fuentes tipo fallas propuestas por Nishenko y Singh (1987), las cuales son: GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME, como se muestra en la figura IV.4.

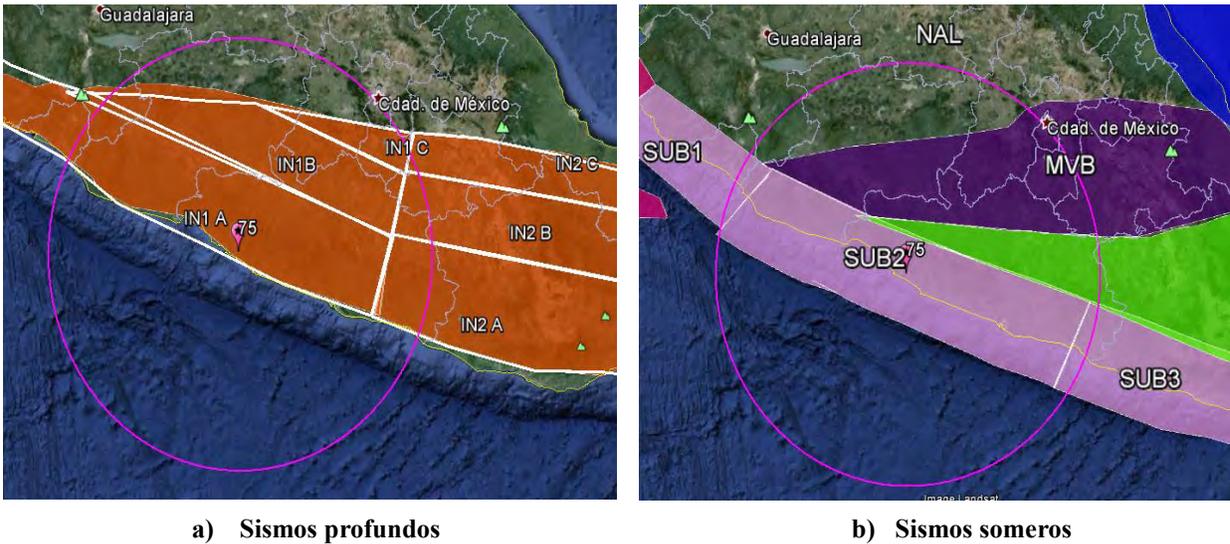


Figura IV.3 Fuentes sísmogénicas tipo área para el punto de estudio AG-GU14

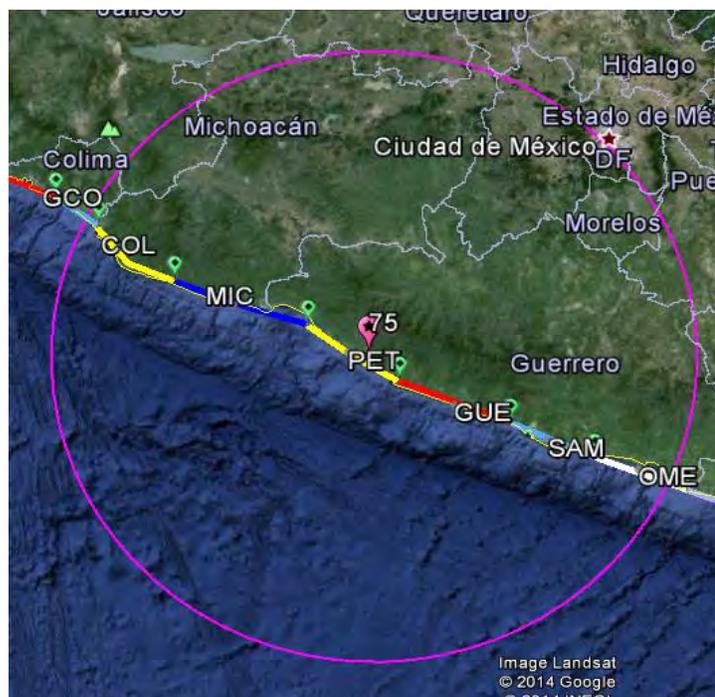


Figura IV.4 Fuentes sísmogénicas tipo falla para el punto de estudio AG-GU14

Estableciendo de las fuentes la sismicidad se calcula los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre la fuente al punto de estudio para finalmente poder determinar las curvas de peligro.

El análisis de peligro sísmico, se realizó en el software EZ-FRISK 7.62 que tiene implementada la metodología propuesta por McGuire (2004) para más detalle véase anexo III.

Todos los análisis realizados se basan en las hipótesis siguientes:

- Se considera terreno firme
- Velocidades de ondas del terreno es $V_s=760$ m/s
- No se considera efectos de sitio

En la figura IV.5 se puede observar la contribución que cada falla y área (líneas discontinuas y líneas continuas) para el peligro sísmico correspondiente a las aceleraciones espectrales de la ecuación de atenuación de GA-2005 para un periodo de 0.1 s en donde: las fallas COL y OME, así como las áreas SUB1 y SUB3 tienen menos contribución que el resto de las fuentes, y como es de esperarse la mayor contribución aporta el segmento PET y el área SUB2 que se encuentran más cercanas al punto de estudio, lo cual se confirma lo representado en las figuras IV.3 y IV.4.

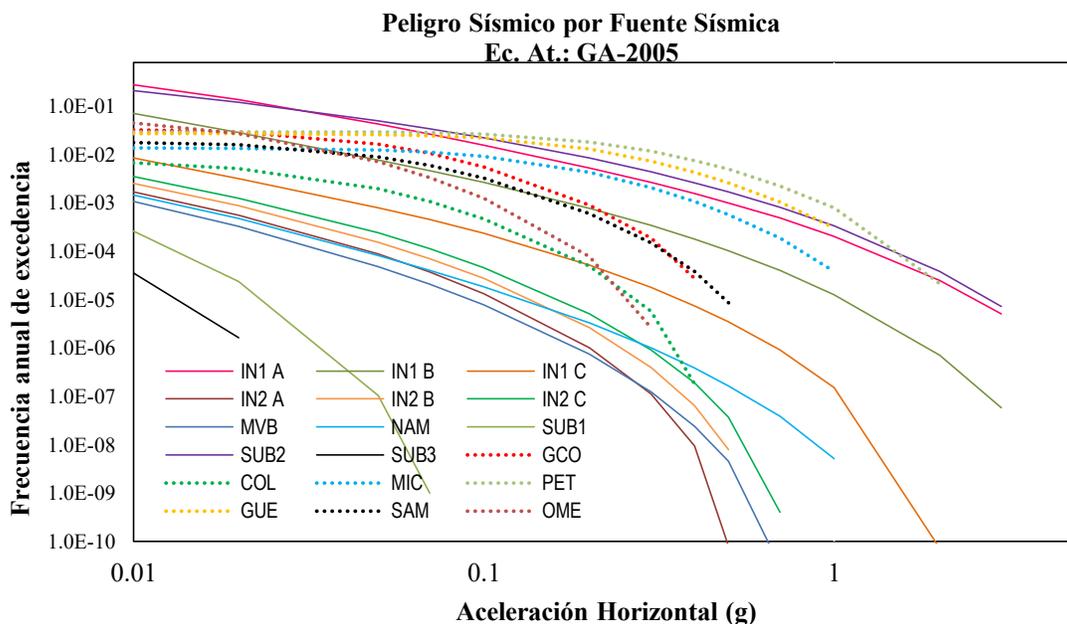


Figura IV.5 Peligro sísmico por fuente sísmica para el punto AG-GU14 y T=0.1 s. Empleando la ley de atenuación GA-2005

Lo más notorio que se puede observar en las gráficas es que, a menor distancia de la fuente mayor es la contribución del peligro sísmico de la zona estudiada. En la figura IV.6 se presentan tasas de excedencia para las diferentes fuentes sismogénicas que afectan el punto de estudio. Las fuentes tipo áreas y someros son de baja sismicidad para distintas magnitudes, las fuentes tipo área y profundos así como las fallas son de alta sismicidad. En estas últimas se pueden apreciar que el intervalo de magnitudes es de muy poca variación. Además es claro que para una misma tasa de excedencia todas las fuentes generan sismos de distintas magnitudes por lo que, los resultados de un estudio de peligro sísmico no solo representan un caso en particular, sino todos los eventos posibles.

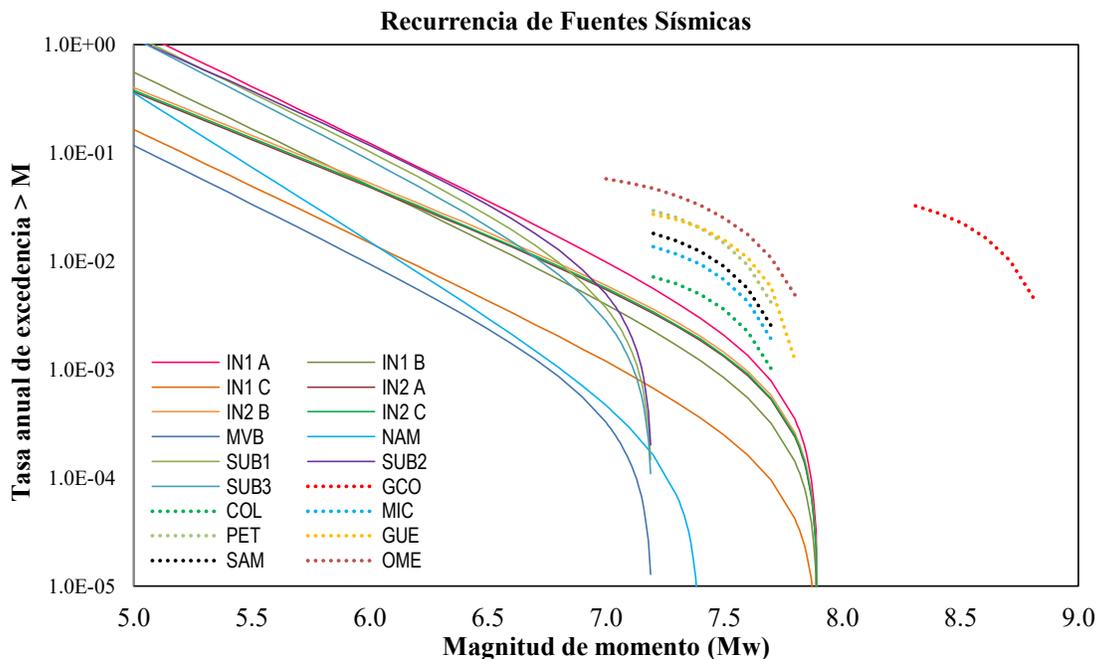


Figura IV.6 Recurrencia de fuente sísmica para el punto AG-GU14

El peligro generalmente se expresa en términos de tasas de excedencia de valores dados de intensidades sísmicas. En este caso la intensidad sísmica se mide con ordenadas del espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones (Sa) para 5% de amortiguamiento crítico para distintos periodos.

En la figura IV.7 se muestran las curvas de peligro para la ecuación de atenuación GA-2005, mientras que las figuras IV.8, 9 y 10 corresponden a las ecuaciones AB-2003, YO-1997 y GA

2006 para el punto de estudio AG-GU14 para diferentes periodos (T) y para las diferentes ecuaciones de atenuación previamente estudiadas y utilizadas en este trabajo.

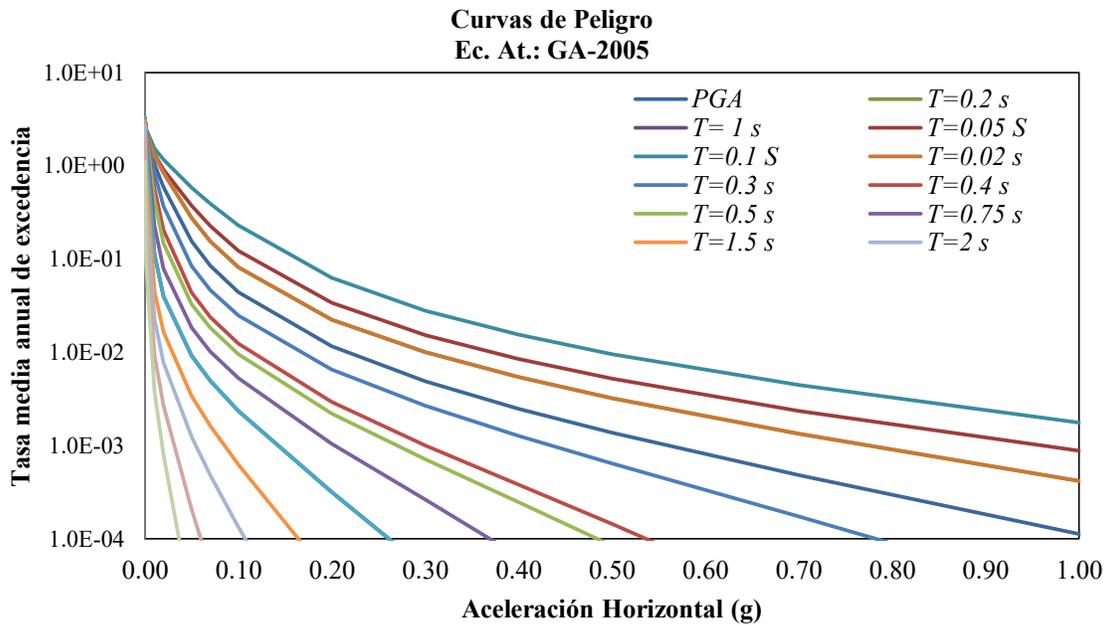


Figura IV.7 Curvas de Peligro sísmico para el punto AG-GU14 (Ec. At.: GA-2005)

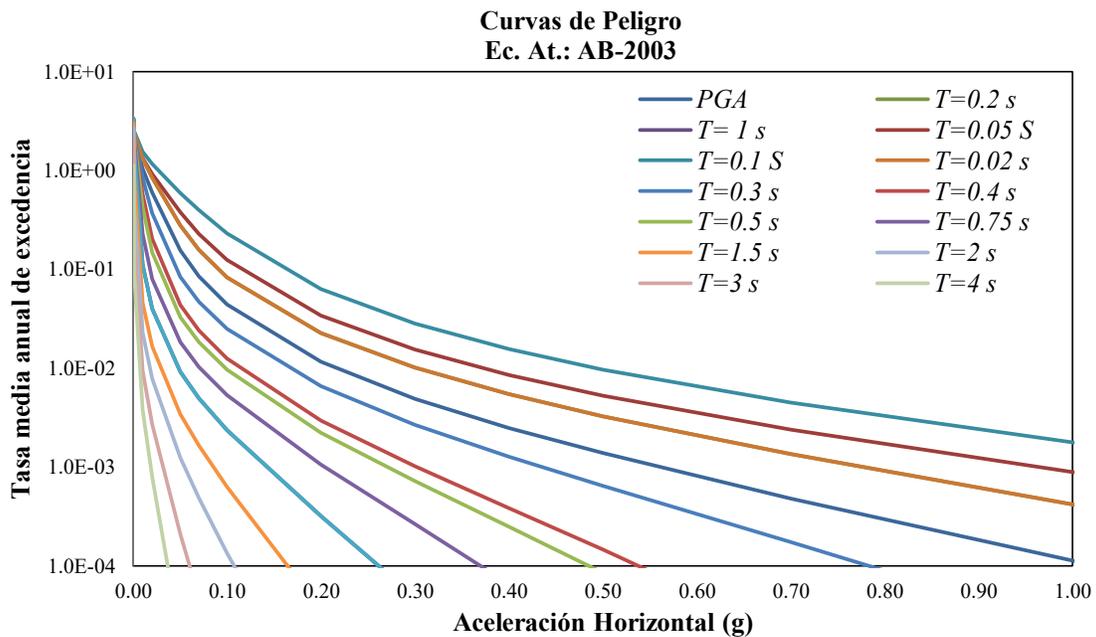


Figura IV.8 Curvas de Peligro sísmico para el punto AG-GU14 (Ec. At.: AB-2003)

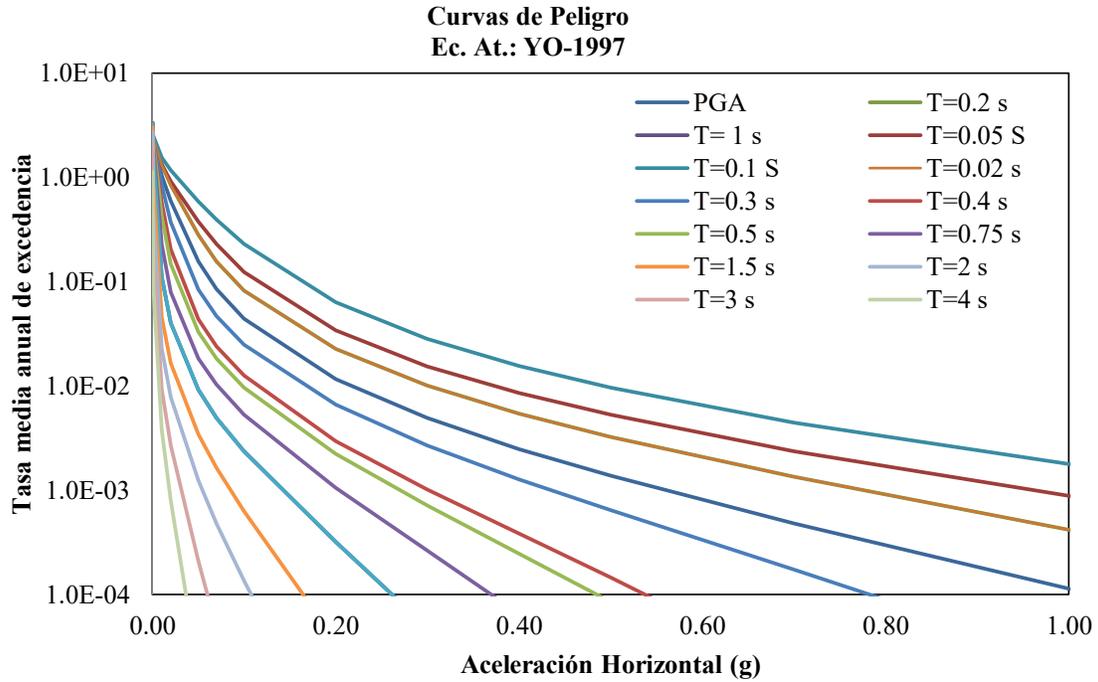


Figura IV.9 Curvas de Peligro sísmico para el punto AG-GU14
(Ec. At.: YO-1997)

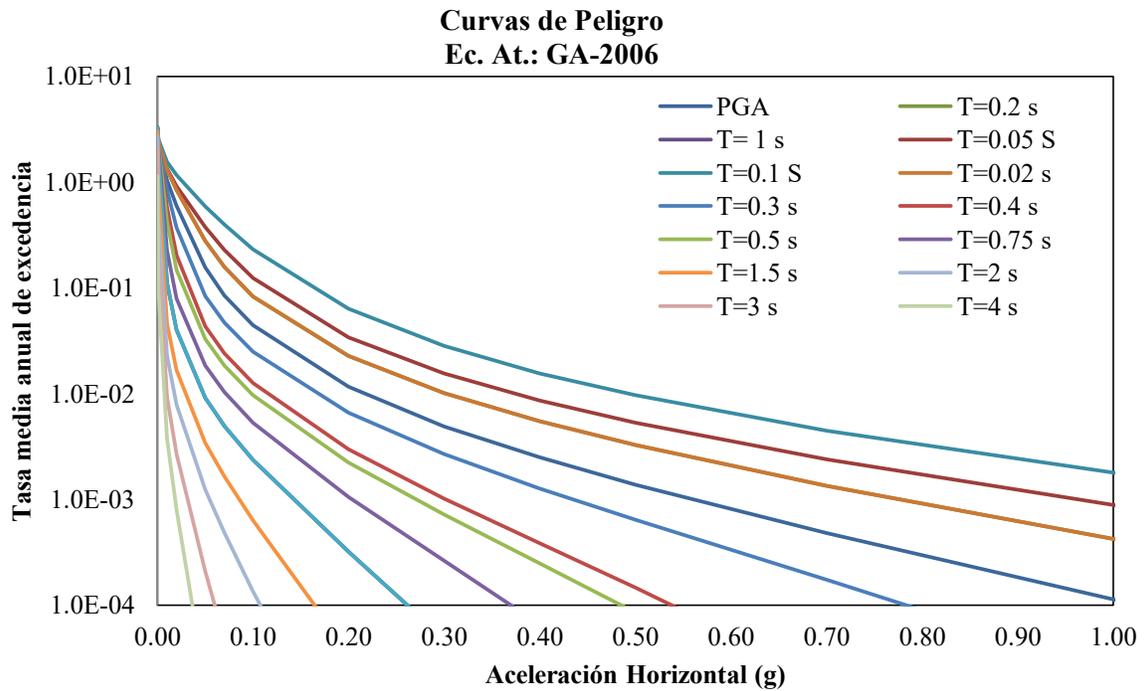


Figura IV.10 Curvas de Peligro sísmico para el punto AG-GU14
(Ec. At.: GA-2006)

Para obtener los EPU, de cada curva de peligro y para cierta probabilidad de excedencia, se extrae del eje de las abscisas la aceleración correspondiente, que corresponde a un punto de las ordenadas del EPU, para poder explicar con un poco más de detalle, sobre cómo se obtienen los EPU, tomaremos algunas de las curvas de peligro (periodos: PGA, 0.2 y 1 s) para la ecuación de GA-2005, y graficaremos la probabilidad de 10% en 50 años (corresponde a un periodo de retorno de 475 años y a una tasa de excedencia igual a $\lambda=2.107E-3$) lo cual se muestra en la figura IV.11. La línea punteada, que es la tasa de excedencia, corta a cada curva, por ejemplo, en donde corta la tasa de excedencia para la curva de PGA y bajando hacia las abscisas la aceleración encontrada para este periodo es 0.426g, la cual corresponde a una ordenada del EPU como lo muestra la figura IV.12, de la misma forma para el periodo 0.2 s corta la curva y se obtiene la aceleración de 0.590 g, mientras que para el periodo de 1s corresponde una aceleración de 0.104 g, de esta misma forma se obtienen todas las ordenadas de los EPU. Como se ha mencionado anteriormente un EPU representa todos los eventos posibles considerados en el análisis probabilístico del peligro sísmico (todas las combinaciones de magnitudes y distancias a los puntos de estudio).

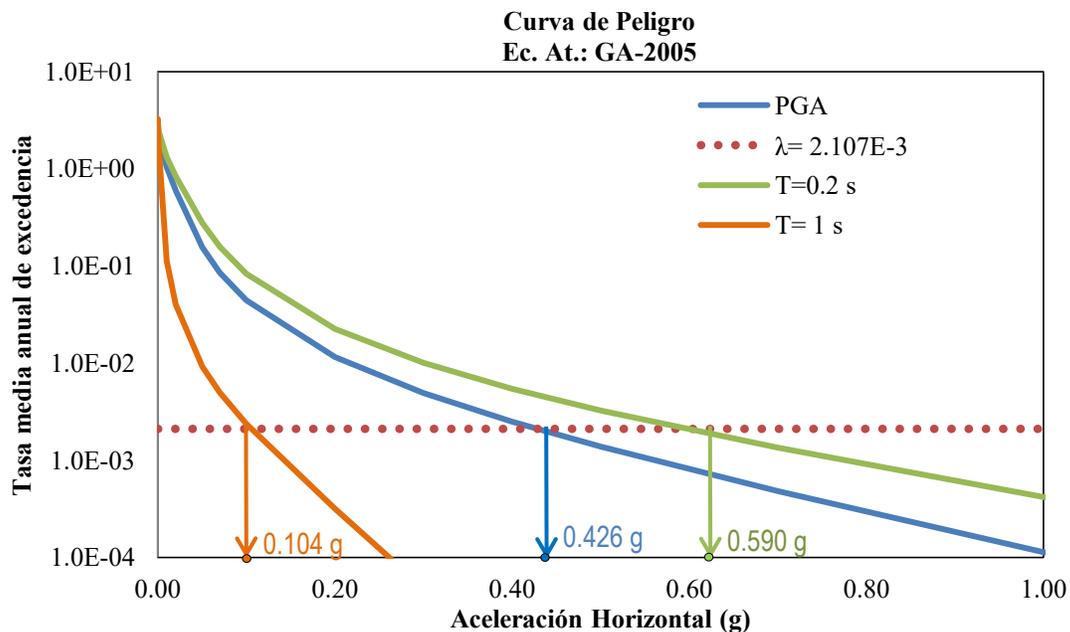


Figura IV.11 Obtención de las ordenadas del EPU

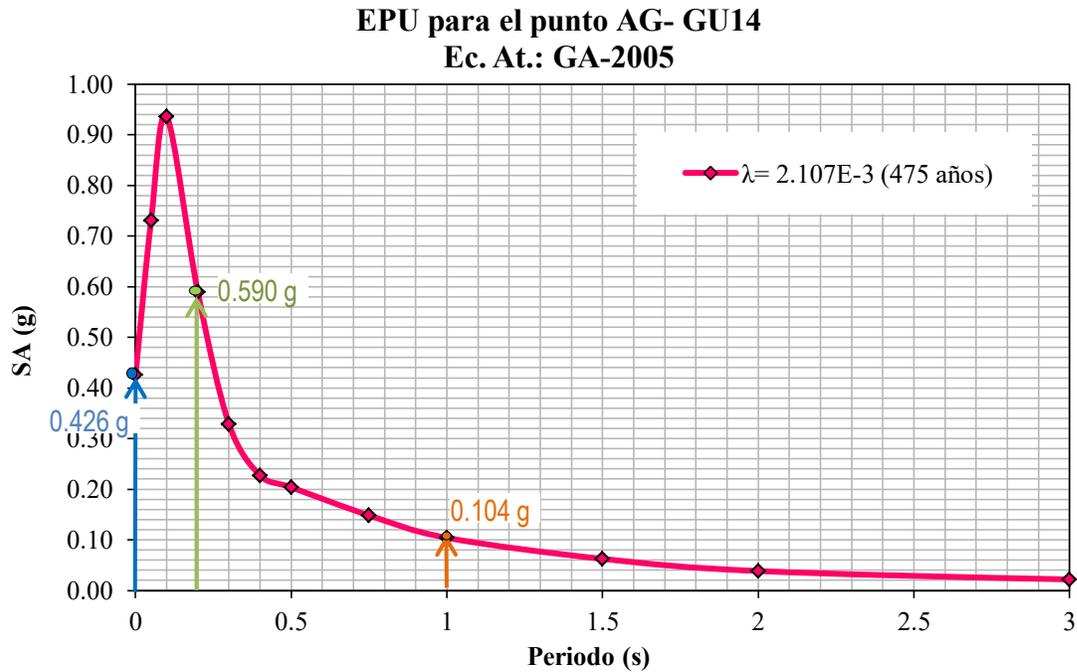


Figura IV.12 Obtención de EPU para $T_r=475$ años del punto AG-GU14

En este trabajo se obtuvieron EPU (pseudo-aceleraciones con 5% de amortiguamiento), considerando las probabilidades más usuales para los estudio y análisis estructurales.

En las figuras IV.13 a la IV.16 se muestran los EPU para cuatro relaciones de atenuación con los diferentes periodos de retorno ($T_r= 20$ años, 45 años, 100 años, 475 años, 975 años y 2475 años respectivamente), en donde: T_r es el periodo de retorno, λ es la razón de excedencia anual ($1/T_r$), p es la probabilidad de excedencia, SA es la aceleración espectral en función de la gravedad y T es el periodo espectral.

En la figura IV.13 se observan los EPU calculados por AB-2003 en donde las aceleraciones máximas se encuentran en periodos menores de 1.5 s y que contrasta con el calculado por GA-2005 en la figura IV.14, pues las aceleraciones máximas se encuentran en periodos menores 0.5 s. Esto se debe a que GA-2005 solo considera sismos intraplaca por lo que la contribución al peligro es menor en comparación con AB-2003 que considera tanto sismos interplaca como intraplaca, lo mismo sucede con YO-1997. En la figura IV.15, que considera sismos interplaca como intraplaca, puede verse que se tienen aceleraciones máximas en periodos menores a 1.5 s.

Para la ecuación de GA-2006, que se muestra en la figura IV.16, se observan valores máximos para periodos menores a 1.5 s. Aquí sólo se consideran sismos interplaca y los valores que presentan son altos debido a la cercanía de las fuentes principalmente las fallas, que son las de mayor atribución al peligro sísmico, como se vio en las gráficas anteriores.

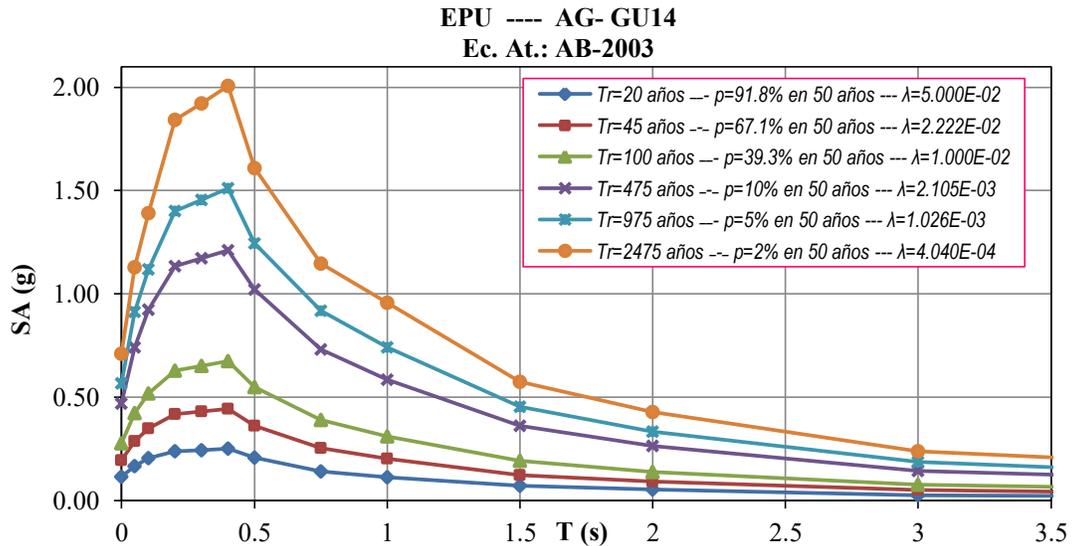


Figura IV.13 EPU para el punto AG-GU14
(Ec. At.: AB-2003)

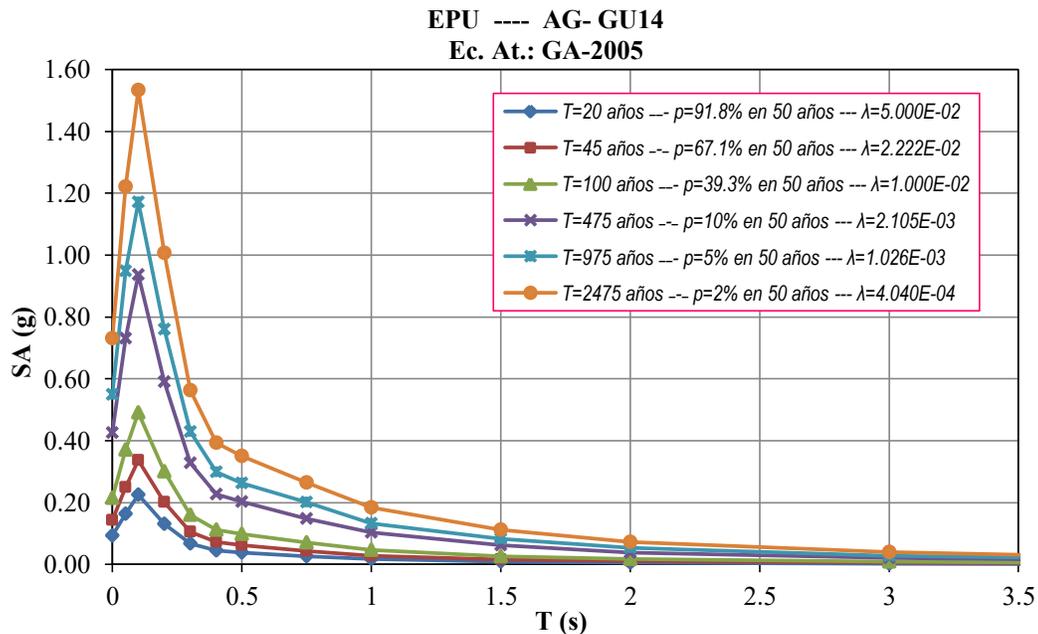
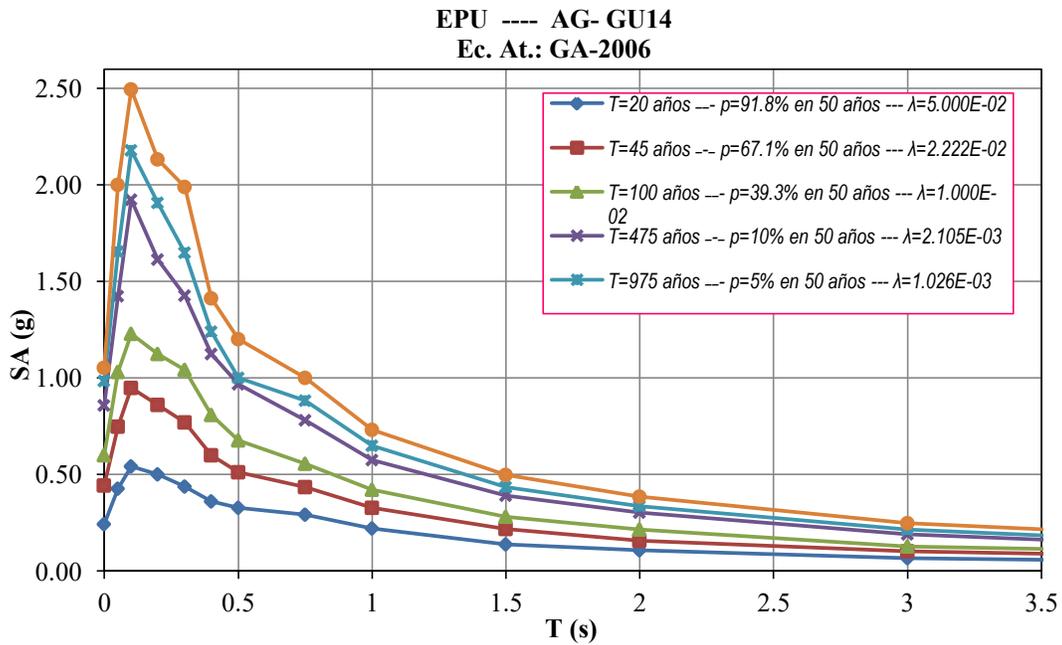
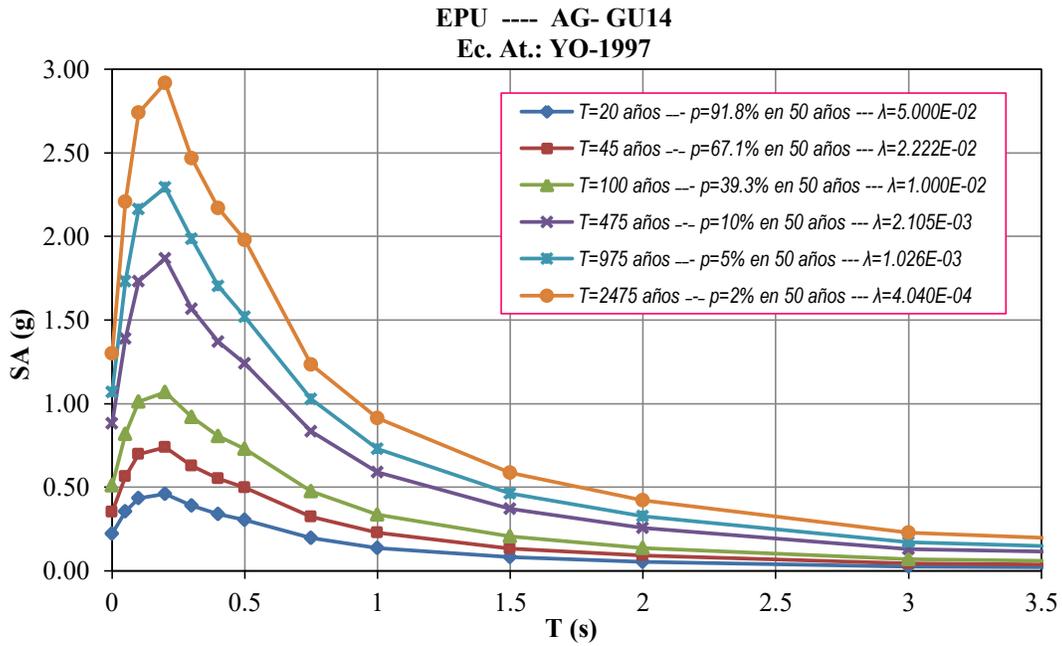


Figura IV.14 EPU para el punto AG-GU14
(Ec. At.: GA-2005)



Para las ecuaciones faltantes: CL-2012, GO-2005 y GO-2012, estos modelos nos proporcionan aceleraciones máximas (ver tabla IV.4). Para la ecuación de CL-2012 en comparación con la GO-2012, se tienen diferentes variaciones, sin embargo los resultados obtenidos por la ecuación de GO-2005 valores altos en comparación con las demás ecuaciones.

Observaciones adicionales respecto a las ecuaciones de atenuación se presentan en el siguiente capítulo. Todo este procedimiento se aplicó para todos los puntos obtenidos en la malla creada, los datos y resultados de cada punto se presenta en los anexos I y II.

Tabla IV.4 Aceleraciones máximas
Ec At.: CL-2012, GO-2005, GO-2012

Periodo/Probabilidad/Excedencia	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
$T=20$ años --- $p=91.8\%$ en 50 años --- $\lambda=5.000E-02$	0.13	0.27	0.16
$T=45$ años --- $p=67.1\%$ en 50 años --- $\lambda=2.222E-02$	0.21	1.04	0.24
$T=100$ años --- $p=39.3\%$ en 50 años --- $\lambda=1.000E-02$	0.31	2.16	0.33
$T=475$ años --- $p=10\%$ en 50 años --- $\lambda=2.105E-03$	0.61	5.86	0.53
$T=975$ años --- $p=5\%$ en 50 años --- $\lambda=1.026E-03$	0.80	9.30	0.64
$T=2475$ años --- $p=2\%$ en 50 años --- $\lambda=4.040E-04$	1.09	16.89	0.77

CAPÍTULO V

PARÁMETROS SÍSMICOS

Las herramientas más útiles para propósitos de análisis y/o diseño en las áreas de ingeniería sísmica, es contar con el espectro de respuesta para un lugar determinado. Un estudio de peligro sísmico se centra principalmente en estimar el espectro de peligro para el sitio dado, el cual, en la mayoría de las ocasiones se plasman en los Reglamentos de Construcción. Esta es una de las tantas razones por las cuales se obtuvieron los espectros de peligro uniforme, pues en ellos se incluyen todos los diferentes escenarios sísmicos probables. Con el fin de comparar los resultados obtenidos en este trabajo, se seleccionan los siguientes casos:

- Espectros de diseño de Reglamentos de Construcción
- Espectros de diseño del Manual de Obra Civiles (CFE-2008)
- Espectros de Respuesta

Inicialmente se identificaron y seleccionaron puntos de la malla creada, considerando que coincidieran con alguna estación acelerométrica y que estén ubicados en terreno firme. Los puntos y las estaciones se muestran en la tabla V.1. Se observa que en alguno de los casos la estación no coincidía con algún punto, pero debido a la cercanía, se seleccionó para su respectivo análisis. El número de puntos seleccionado para el análisis son un total de 26, de los cuales 7 corresponden al estado de Michoacán, 13 al estado de Guerrero y 6 al estado de Oaxaca.

Cada estado tiene diferentes características geológicas, geotécnicas, sismicidad histórica, etc., por lo que cada uno tiene diferentes reglamentos y, antes de comparar resultados se hace una pequeña descripción de las características y condiciones que plasman los reglamentos de construcción locales.

Tabla V.1 Selección de puntos de estudio

NÚ. M.	CLAVE	LOCALIDAD	ESTADO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE SUELO	ESTACIÓN /INSTITUCIÓN A CARGO	TIPO DE SUELO	OBSERVACIONES CON RESPECTO A LA UBICACIÓN DE ESTACIONES
1	AG-MI20	Pinzandaro	MICHOACÁN	261	19.107328°	-102.544088°	FIRME	APAT (CFE – GIEC)		Aproximadamente a 21 km al S-E
2	AG-MI31	Parácuaro	MICHOACÁN	601	19.146026°	-102.219182°	FIRME	APAT (CFE – GIEC)		Aproximadamente a 15 km al S-O
3	AG-MI32	Antúnez	MICHOACÁN	371	19.015677°	-102.201997°	FIRME	APAT (CFE – GIEC)		Aproximadamente a 18 km al N-O
4	AG-MI37	Caleta de campos	MICHOACÁN	47	18.076515°	-102.755468°	FIRME	CALE (UNAM)	ROCA	
5	AG-MI44	Arteaga	MICHOACÁN	840	18.361634°	-102.293384°	FIRME	ARTG (UNAM)	ROCA	
6	AG-MI47	Morelia	MICHOACÁN	191	19.704514°	-101.198105°	FIRME	RIML (RHS)	ARCILLA COMPACTA	
7	AG-MI52	Lázaro Cardenas	MICHOACÁN	11	17.953902°	-102.195373°	FIRME	ALMR (UNAM)	LIMO ARENOSO	
8	AG-GU09	Zihuatanejo	GUERRERO	16	17.645990°	-101.552958°	FIRME	AZIH (UNAM)	ROCA	Aproximadamente a 10 km al S-E
9	AG-GUII	Ciudad Altamirano	GUERRERO	249	18.358743°	-100.670291°	FIRME	CALT (UNAM)		
10	AG-GUI4	Petatlán	GUERRERO	36	17.539378°	-101.270461°	FIRME	PETA (UNAM)	ROCA	Cerca de AZIH 21 km al N-O
11	AG-GUI9	San Luis San Pedro	GUERRERO	18	17.265485°	-100.883368°	FIRME	SLUI (UNAM)	ROCA	
12	AG-GU24	-----	GUERRERO	422	17.947040°	-100.017314°	FIRME	CARC, CARI	LOMITAS Y LUTITAS	Aproximadamente a 4 km al N-E
13	AG-GU27	Tecpan de Galeana	GUERRERO	41	17.219981°	-100.628963°	FIRME	SUCH (UNAM)	ROCA	Aproximadamente a 6 km al N-O
14	AG-GU28	Atoyac de Álvarez	GUERRERO	49	17.207921°	-100.434221°	FIRME	ATYC (UNAM)	ROCA	
15	AG-GU31	Tonalapa del Sur	GUERRERO	735	18.097965°	-99.560671°	FIRME	TNLP (UNAM)	ROCA	
16	AG-GU36	Coyuca de Benítez	GUERRERO	17	17.007495°	-100.086327°	FIRME	COYC (UNAM)	ROCA	Aproximadamente a 4 km al S-O
17	AG-GU40	Chilpancingo de los Bravo	GUERRERO	1274	17.553652°	-99.500703°	FIRME	CHII (UNAM)	ROCA	
18	AG-GU42	Xaltianguis	GUERRERO	545	17.098450°	-99.714032°	FIRME	XALT (UNAM)	ROCA	
19	AG-GU43	Acapulco	GUERRERO	42	16.864939°	-99.896621°	FIRME	ACAP (UNAM)	ROCA	
20	AG-GU50	Monte Alto	GUERRERO	38	16.716329°	-99.464247°	FIRME	SMR2 (UNAM)	ROCA	Aproximadamente a 7 km al N-E
21	AG-OA04	Huajuapam de León	OAXACA	1603	17.806856°	-97.784022°	FIRME	YOSO (UNAM)	PRESA CONCRETO	Aproximadamente a 5 km al N-E
22	AG-OA16	Pinotepa Nacional	OAXACA	211	16.337803°	-98.051836°	FIRME	PNTP (UNAM)	LIMO ARENOSO	
23	AG-OA26	Piedra Ancha	OAXACA	36	16.184581°	-97.750317°	FIRME	JAMI (UNAM)	ROCA	Aproximadamente a 14 km al N-O
24	AG-OA29	San Lucas Jitlán	OAXACA	134	18.059974°	-96.395827°	FIRME	TEMD (CFE)	LUTITAS Y ARENISCAS	Aproximadamente a 17 km al N-O
25	AG-OA33	Oaxaca de Juárez	OAXACA	1554	17.060336°	-96.721514°	FIRME	DAXM (UNAM)	ALUVIAL	
26	AG-OA37	Río Grande	OAXACA	28	16.011936°	-97.435189°	FIRME	RI0G (CFE)	ROCA	

V.1 Espectros de diseño

Para poder comparar los resultados obtenidos en este trabajo, se seleccionaron espectros de diseño establecidos en reglamentos de construcción. Por lo que se seleccionaron tres reglamentos, esto, debido a la limitada y casi inaccesible información que se tiene, los cuales corresponden a una ciudad para cada estado que son los siguientes: Reglamento para la Construcción y Obras de Infraestructura del Municipio de Morelia, Michoacán 1995 (*RCOIM-M-1995*), Reglamento de Construcciones para el Municipio de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, (1999) (*RCM-C-1999*) y Reglamento de Construcciones para el Municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca (1998) con (*RCM-O-1998*), también se hicieron comparaciones con el Manual de Obras civiles de la CFE (*MOC-2008*).

Tabla V.2 Tipos de suelo de acuerdo a reglamentos vigentes

Zona	RCOIM-M-1995 (Artículo 69)	RCM-C-1999 (Artículo 330)	RCM-O-1998 (Artículo 65)	MOC-2008 (Artículo 315)
I	Roca cubierta por una capa de suelo no mayor de 3 m.	Terreno firme, tal como tepetate compacto, conglomerados y formaciones cementadas, lutitas compactas, arenisca medianamente cementada y arcilla muy dura. Se incluye la roca basal.	Roca cubierta por una capa de suelo no mayor de 3 m.	Terreno firme, tal como tepetate, arenisca medianamente cementada, arcilla muy compacta. Se incluye roca basal
II	Transición en la que los depósitos se encuentran a profundidades de 20 metros menos y están contruidos predominantemente por arcillas y limos arenosos.	Suelo de baja rigidez, tal como arenas medianamente compactas, limos de consistencia media a alta, arcillas de consistencia media y depósitos aluviales compactos.	Transición en la que los depósitos se encuentran a profundidades de 20 metros menos y están contruidos predominantemente por arcillas y limos arenosos.	Suelo de baja rigidez, tal como arenas no cementadas, arcillas de mediana capacidad. Depósitos aluviales
III	Suelos formados por arcillas y limos arenosos no saturados con profundidad de más de 20 m.		Suelos formados por arcillas y limos arenosos no saturados con profundidad de más de 20 m.	Arcillas blandas muy comprensibles. Depósito de barro en las costas

Los RCOIM-M-1995, RCM-O-1998 y el MOC-2008 hacen una clasificación de tres tipos de suelo, mientras que el RCM-C-1999 sólo considera dos, en la tabla V.2 se muestran las diferencias de esta clasificación. Se comparan los espectros de diseño considerando la zona y el tipo de estructura que son: Grupo A y B según cada Reglamento (Todos los reglamentos tienen

la misma clasificación de estructuras). Para todos los espectros se considera 5% de amortiguamiento.

Los espectros de diseño de cada reglamento, se indican a continuación:

- Espectros de diseño de Reglamentos de Construcción

Los espectros de diseño sísmico son para tres ciudades; Morelia, Mich., Chilpancingo, Gro. y Oaxaca, Oax. Los cuales solo se pueden comparar con los puntos correspondientes a estas (en este caso sería con los puntos AG-MI47, AG-GU40 y AG-OA33 respectivamente). Se presentan la obtención de coeficientes sísmicos y espectros de diseño para cada reglamento analizado.

- RCOIM-M-1995 (artículo 94)

Los coeficientes sísmicos para diseño se indican en la tabla V.3

Tabla V.3 Coeficientes sísmicos de diseño para Morelia, Mich.

C (g)	Grupo A	Grupo B
ZONA I	0.1	0.13
ZON II	0.2	0.26
ZONAIII	0.25	0.325

- RCM-C-1999 (artículo 293-295)

Los coeficientes sísmicos para diseño se muestran en la tabla V.4, para los espectros de diseño, la ordenada espectral está dada por (considerando que la estructura se comporta elásticamente):

$$a = C \quad \text{si } T \leq T_1$$

$$a = Cq \quad \text{si } T > T_1, \text{ donde } q = \left(\frac{T_1}{T}\right)^r$$

Para la zona I, $T_1 = 1$ y $r = \frac{1}{2}$. Para la zona II, $T_1 = 2$ y $r = \frac{2}{3}$.

T y T_1 se expresan en segundos.

Tabla V.4 Coeficientes sísmicos de diseño para Chilpancingo, Gro.

C (g)	Grupo A	Grupo B
ZONA I	0.6	0.4
ZON II	1.2	0.8

➤ RCM-O-1998 (artículo 175-177)

Los coeficientes sísmicos para diseño se muestran en la tabla V.5, para los espectros de diseño la ordenada espectral está dada por (considerando que la estructura se comporta elásticamente):

$$a = C \quad \text{si } T_1 \leq T \leq T_2$$

$$a = Cq \quad \text{si } T > T_2, \text{ donde } q = \left(\frac{T_2}{T}\right)^r$$

Para la zona I, $a_0 = 0.2$, $T_1 = 0$, $T_2 = 0.6$ y $r = \frac{1}{2}$.

Para la zona II, $a_0 = 0.32$, $T_1 = 0$, $T_2 = 1$ y $r = \frac{2}{3}$.

Para la zona III, $a_0 = 0.36$, $T_1 = 0$, $T_2 = 1.5$ y $r = \frac{2}{3}$.

T , T_1 y T_2 se expresan en segundos.

Tabla V.5 Coeficientes sísmicos de diseño para Oaxaca de Juárez, Oax.

C (g)	Grupo A	Grupo B
ZONA I	0.75	0.5
ZON II	1.29	0.86
ZONAIII	1.29	0.86

- Espectros de diseño del Manual de Obra Civiles (CFE-2008)
 - ✓ Los espectros de diseño de acuerdo al MOC-2008 consideran suelo firme (roca) que se obtienen a partir de aceleraciones máximas del terreno (a_0^r) a partir de espectros de peligro uniforme (pseudoaceleración, 5% del amortiguamiento crítico) es decir, espectros cuyas ordenadas tienen la misma probabilidad de ser excedidas en un lapso dado, calculados para la condición de terreno firme o roca.

Los espectros de diseño comparados son los presentados para un estado límite de colapso. Se utilizó el software PRODISIS en donde, son introducidas las

coordenadas (latitud y longitud) para la obtención de los espectros correspondientes, se calculan para todos los puntos mostrados en la tabla V.1 y la información obtenida y a utilizar son los parámetros mostrados en la tabla V.6.

En donde:

a_{rB} , a_{rA}	Aceleración máxima en roca para grupo B y A en (g)
c_B , c_A	Ordenada espectral máxima en roca para grupo B y A en (g)
F_{dB} , F_{dA}	Factor de distancia para grupo B y A
T_a , T_b	Línea inferior y superior de la meseta del espectro de diseño en (s)
F_s	Factor de sitio
F_r	Factor de respuesta
F_{nl}	Factor de no linealidad
F_v	Factor de velocidad
k	Parámetro que controla la caída de las ordenadas espectrales
β	Factor de amortiguamiento

Tabla V.6 Parámetros de acuerdo al MOC-2008

Punto	a_{rB}	c_B	F_{dB}	a_{rA}	c_A	F_{dA}	T_a	T_b	F_s	F_r	F_{nl}	F_v	k	β	
1	AG-MI20	0.174	0.436	0.427	0.261	0.653	0.427	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
2	AG-MI31	0.162	0.405	0.398	0.243	0.608	0.398	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
3	AG-MI32	0.174	0.434	0.425	0.260	0.651	0.425	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
4	AG-MI37	0.377	0.943	0.425	0.567	1.415	0.425	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
5	AG-MI44	0.246	0.615	0.603	0.195	0.369	0.923	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
6	AG-MI47	0.124	0.310	0.304	0.186	0.456	0.304	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
7	AG-MI52	0.341	0.851	0.304	0.511	1.277	0.304	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
8	AG-GU09	0.346	0.866	0.849	0.519	1.298	0.849	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
9	AG-GU11	0.194	0.484	0.849	0.291	0.726	0.849	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
10	AG-GU14	0.347	0.868	0.851	0.521	1.302	0.851	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
11	AG-GU19	0.380	0.951	0.851	0.571	1.427	0.851	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
12	AG-GU24	0.196	0.490	0.481	0.294	0.736	0.481	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
13	AG-GU27	0.369	0.923	0.481	0.554	1.385	0.481	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
14	AG-GU28	0.356	0.890	0.872	0.534	1.334	0.872	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
15	AG-GU31	0.195	0.489	0.872	0.293	0.733	0.872	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
16	AG-GU36	0.381	0.953	0.934	0.572	1.429	0.934	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
17	AG-GU40	0.208	0.521	0.934	0.313	0.782	0.934	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
18	AG-GU42	0.322	0.805	0.789	0.483	1.207	0.789	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
19	AG-GU43	0.390	0.974	0.789	0.585	1.461	0.789	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
20	AG-GU50	0.392	0.981	0.962	0.589	1.472	0.962	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
21	AG-OA04	0.202	0.505	0.962	0.303	0.758	0.962	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
22	AG-OA16	0.381	0.952	0.934	0.571	1.428	0.934	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
23	AG-OA26	0.392	0.981	0.934	0.588	1.471	0.934	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
24	AG-OA29	0.196	0.489	0.480	0.294	0.734	0.480	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
25	AG-OA33	0.203	0.507	0.480	0.304	0.760	0.480	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1
26	AG-OA37	0.405	1.012	0.992	0.607	1.518	0.992	0.1	0.6	1	2.5	1	1	1.5	1

V.2 Espectros de respuesta

En la actualidad se cuenta con poca información acelerométrica completa pues, lo más estudiado es lo reciente que empieza aproximadamente de hace 30 años en donde ya es posible conocer en algunos sitios los tipos de suelos y la afectación de este problema en particular, a pesar de que la información es muy escasa se puede identificar como afecta el movimiento del suelo, en base a topografía ó incluso a veces dirección de las ondas. Se seleccionaron 4 sismos de la tabla III.1 de magnitudes mayores a 7.5 para la obtención de espectros, esto porque son los escenarios que

presentarían mayor riesgo en un futuro. Los sismos son los siguientes; M=7.8 del día 29 de noviembre de 1978, M=8.1 del 19 de septiembre de 1985, M= 7.5 del 21 de septiembre de 1985 y M=7.6 del 9 de noviembre de 1995, la ubicación de estos se muestran en la figura V.1, también se muestra en donde están ubicadas las estaciones y puntos analizados. Las estaciones seleccionadas se encuentran en terreno firme a excepción de la estación OAXM que se encuentra en zona aluvial, en donde decidió analizar dicho acelerograma pues, como se puede observar en la tabla V.7 el estado de Oaxaca no cuenta con registros acelerométricos para otros sismos aquí analizados y se cree que esta estación podría proporcionar información representativa del lugar, pero se debe de tomar en cuenta que se debe de hacer un estudio más detallado para poder comparar más a fondo dichos resultados.

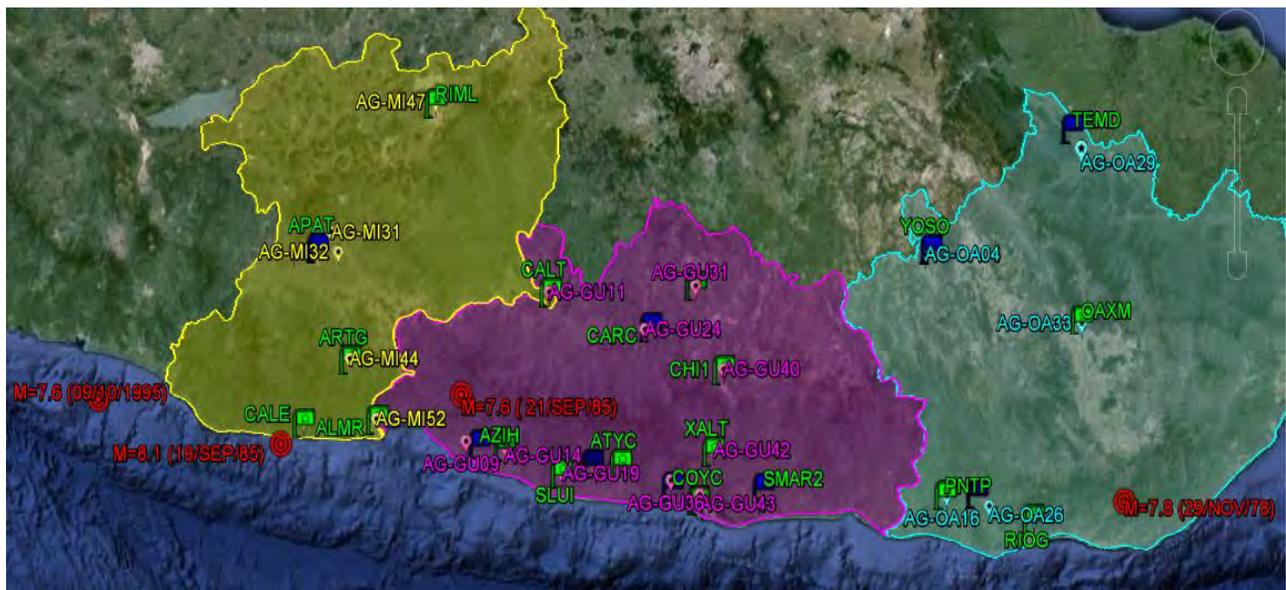


Figura V.1 Ubicación de estaciones y sismos analizados

En la figura V.2 se presentan uno de los acelerogramas seleccionados que corresponde a la estación ubicada en Caleta de Campos, Mich. (Estación CALE), para el sismo del 19 de septiembre de 1985 (M=8.1) producido en las costas de Michoacán, producto de la rotura del contacto entre las placas de Cocos y de Norteamérica, en una extensión de 50 km x 170 km y de 18 km de profundidad, según informes del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Tabla V.7 Registros acelerométricos por estación
Fuente: Base Mexicana de Sismos Fuertes

NÚM	PUNTO	ESTACIÓN	SISMO			
			M=8.1	M=7.5	M=7.6	M=7.8
			19/09/1985	21/09/1985	09/10/1995	29/11/1978
1	AG-MI20	APAT	x	x	S/R	S/R
2	AG-MI31	APAT	x	x	S/R	S/R
3	AG-MI32	APAT	x	x	S/R	S/R
4	AG-MI37	CALE	x	S/R	S/R	S/R
5	AG-MI44	ARTG	S/R	S/R	S/R	S/R
6	AG-MI47	RIML	S/R	S/R	S/R	S/R
7	AG-MI52	ALMR	S/R	S/R	S/R	S/R
8	AG-GU09	AZIH	x	x	S/R	S/R
9	AG-GUII	CALT	S/R	S/R	S/R	S/R
10	AG-GUI4	PETA	S/R	S/R	S/R	S/R
11	AG-GUI9	SLUI	S/R	S/R	S/R	S/R
12	AG-GU24	CARC, CARI	x	x	x	S/R
13	AG-GU27	SUCH	x	x	S/R	S/R
14	AG-GU28	ATYC	x	x	S/R	S/R
15	AG-GU31	TNLP	S/R	S/R	x	S/R
16	AG-GU36	COYC	x	x	S/R	S/R
17	AG-GU40	CHII	x	x	S/R	S/R
18	AG-GU42	XALT	x	x	S/R	S/R
19	AG-GU43	ACAP	x	x	S/R	S/R
20	AG-GU50	SMR2	S/R	S/R	S/R	S/R
21	AG-OA04	YOSO	S/R	S/R	S/R	S/R
22	AG-OA16	PNTP	S/R	S/R	S/R	S/R
23	AG-OA26	JAMI	S/R	S/R	S/R	S/R
24	AG-OA29	TEMD	S/R	S/R	S/R	S/R
25	AG-OA33	OAXM	S/R	S/R	S/R	x
26	AG-OA37	RIOG	S/R	S/R	S/R	S/R

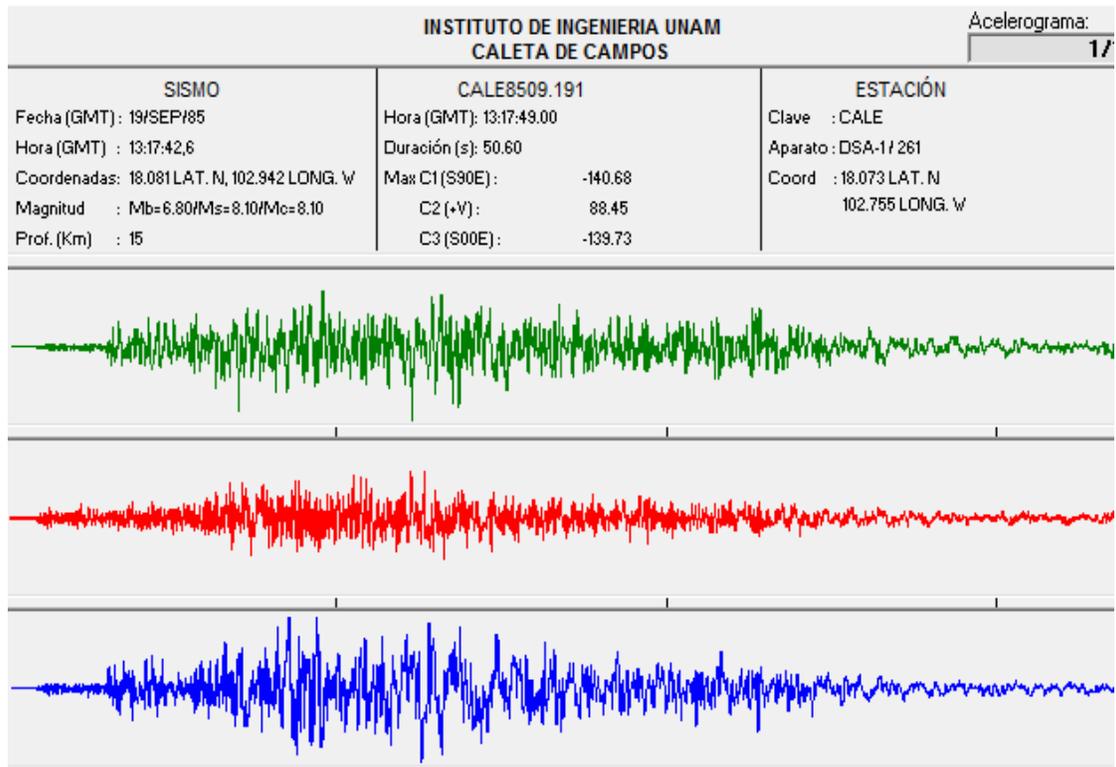


Figura V.2 Acelerogramas para tres canales (S 90° E, S 00° E y V) del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 1985 para la estación CALE del Instituto de Ingeniería de la UNAM.
Fuente: Base Mexicana de Sismos Fuertes

En la figura V.3 se presentan los espectros de respuesta elástica (5%) del sismo del 19 de septiembre de 1985 para la estación CALE. Como se menciona al inicio de este capítulo, la selección de puntos se basó principalmente en la coincidencia con las estaciones acelerométricas las cuales se pueden consultar en la tabla V.1. En este trabajo se analizan los acelerogramas de las estaciones seleccionadas, principalmente las componentes horizontales, en donde se revisan las dos direcciones principales, de las cuales se selecciona la condición más desfavorable, es decir, las ordenadas espectrales mayores, para el caso presentado en la figura V.3 sería la componente S 00° E. De esta misma forma se obtienen todos los espectros de respuesta de los registros obtenidos para la comparación de resultados.

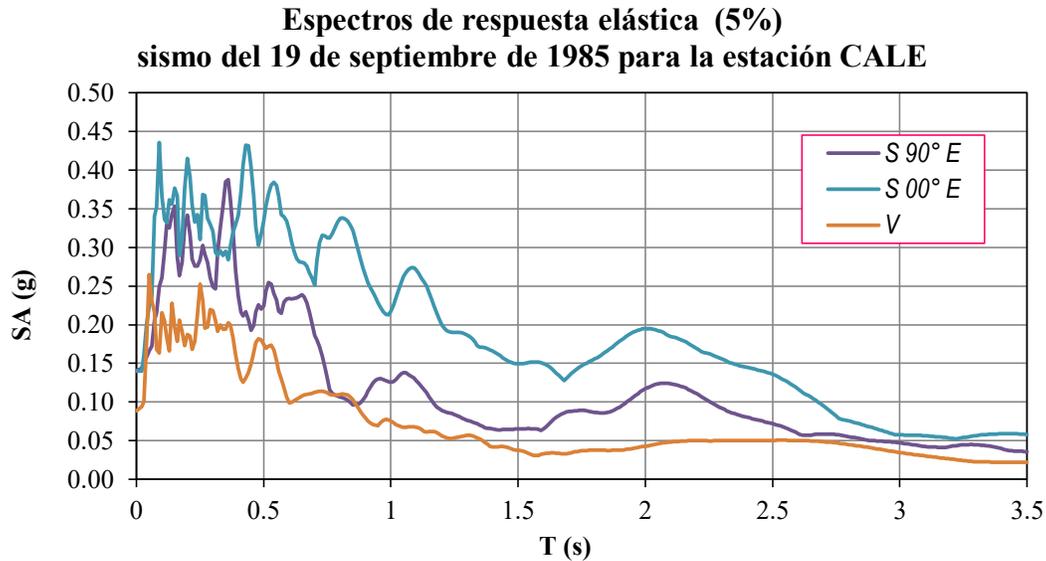


Figura V.3 Espectros de respuesta para tres canales (S 90° E, S 00° E y V) del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 1985 para la estación CALE del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

V.3 Comparación de espectros

En las figuras V.4 a V.13 se comparan los EPU de los puntos AG-MI47 (Morelia, Mich.), AG-GU40 (Chilpancingo, Gro.) y AG-OA33 (Oaxaca, Oax.) con el RCOIM-M-1995, RCM-C-1999, RCM-O-1996, Espectros calculados con PRODISIS (MOC-2008) y en algunos casos con espectros de respuesta. Se comparan los espectros para estructuras del grupo A y B, en las figuras también se muestran para diferentes tipos de zonas pero esto solo se hace para poder observar si los valores son representativos del lugar pues, se debe tomar en cuenta que los EPU calculados en este trabajo solo son para terreno firme (correspondiente a la zona I), por lo que se tendría que hacer un estudio más detallado para poder compararlos las restantes.

En la figura V.4 a V.6 y tabla V.8 se compara los EPU y aceleraciones máximas para el punto AG-MI47 correspondiente a Morelia, Mich., con los coeficientes de diseño del MCOIM-M-1995 y Espectros diseño del MOC-2008, en donde se observa lo siguiente:

- Para los EPU calculados con la ecuación de atenuación de GA-2005 que se muestra en la figura V.4, el EPU para $T_r=475$ años tiene similitud con el espectro de MOC-2008 para el grupo A, mientras que el coeficiente del MCOIM-M-1995 para este mismo grupo es un

valor más bajo en zona I ($C= 0.13g$). El EPU para $Tr=100$ años tiene similitud con el espectro de MOC-2008 para el grupo B y para el MCOIM-M-1995 el coeficiente también es bajo en zona I ($C= 0.1g$). Los EPU para $Tr= 975$ y 2475 años quedan por arriba del espectro calculado por el MCOIM-M-1995 para estructuras del grupo A. Para los EPU calculados con esta ecuación y con periodos mayores a 0.3 s presentan ordenadas menores a los espectros calculados con el MOC-2008.

En estructura del grupo A, la aceleración máxima del terreno (PGA) para el EPU para $Tr=475$ años es $0.23g$, que es mayor a la calculada por MOC-2008 con $0.186g$ y al coeficiente de MCOIM-M-1995 $0.13g$. En estructura del grupo B, la aceleración máxima del terreno (PGA) para el EPU para $Tr=100$ años es $0.10g$, que es menor a la calculada por MOC-2008 con $0.124g$ al igual que el coeficiente de MCOIM-M-1995 de $0.13g$.

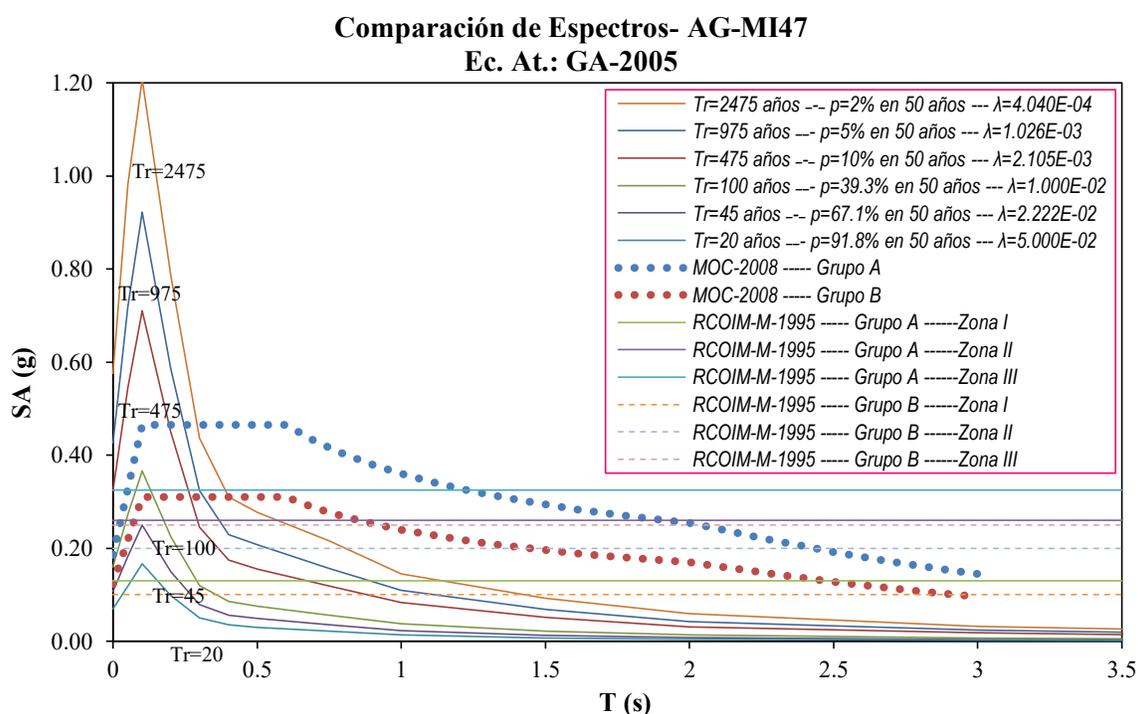


Figura V.4 Comparación de EPU (Ec. At.: GA-2005), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Coeficientes del RCOIM-M-1995 para el punto AG-MI47

- Para los EPU calculados con la ecuación de atenuación YO-1997 que se muestra en la figura V.5, el EPU para $Tr=2475$ años tiene similitud con el MOC-2008 del grupo A. El EPU para $Tr= 475$ años es similar al espectro que propone el MOC-2008 para el grupo B,

los coeficientes propuestos por el MCOIM-M-1995 siguen siendo valores bajos con respecto a los espectros calculados con esta ecuación de atenuación, todos para terreno firme. Los EPU para esta ecuación dan ordenadas tienen una desviación notable en periodos aproximadamente de 0.8 s con poco similar al los calculados por el MOC-2008. En estructura del grupo A, la aceleración máxima del terreno (PGA) para el EPU para $T_r=2475$ años es 0.29g, que es mayor a la calculada por MOC-2008 con 0.184g y al coeficiente de MCOIM-M-1995 0.13g. En estructura del grupo B, la aceleración máxima del terreno (PGA) para el EPU para $T_r=475$ años es 0.18g, que es mayor a la calculada por MOC-2008 con 0.124g y al coeficiente de MCOIM-M-1995 0.13g.

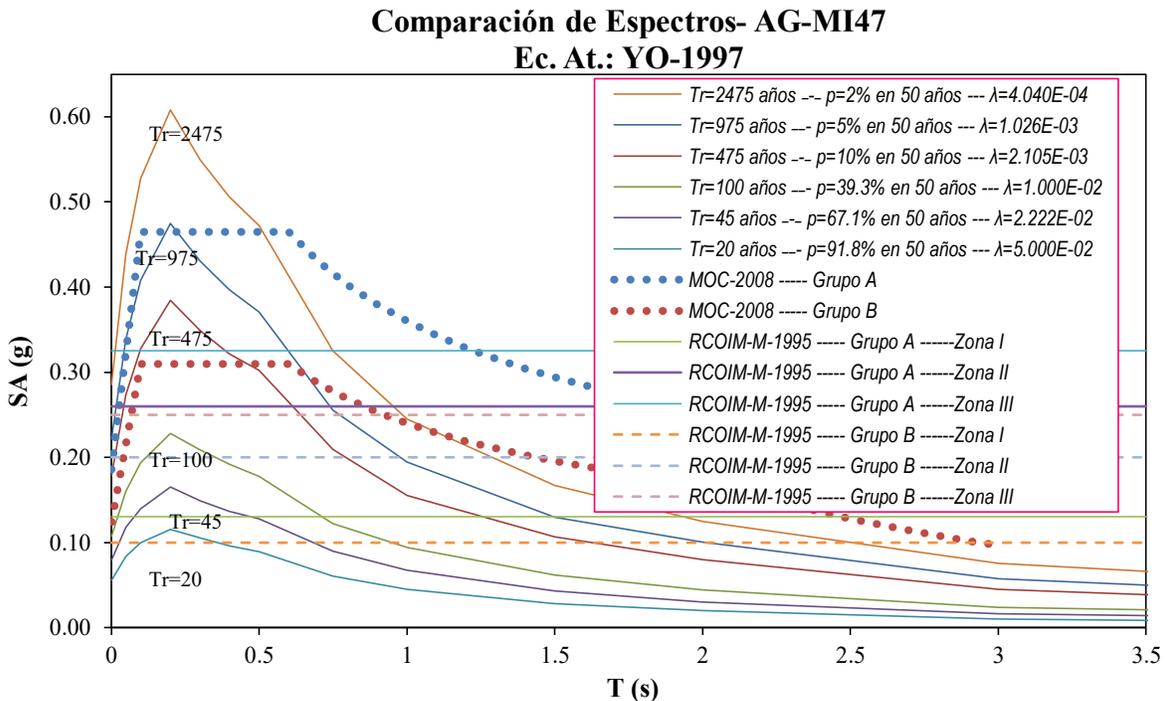


Figura V.5 Comparación de EPU (Ec. At.: YO-1997), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Coeficientes del RCM-M-1995 para el punto AG-MI47

- Para los EPU calculados con la ecuación de atenuación GA-2006 que se muestra en la figura V.6 no tienen mucha coincidencia con espectros calculados por el MOC-2008. En estructura del grupo A, la aceleración máxima del terreno (PGA) calculada por MOC-2008 con 0.19g y al coeficiente de MCOIM-M-1995 0.13g y en estructura del grupo B, la

aceleración máxima del terreno (PGA) calculada por MOC-2008 con 0.124g y al coeficiente de MCOIM-M-1995 0.13g, se observa que los PGA calculado para los diferentes periodos de retorno son mucho más bajos que los que marcan en los reglamentos. La aceleración máxima para el EPU para $Tr=475$ años es de 0.52g y es similar a la calculada por MOC-2008 con 0.456g para estructura del grupo A mientras que para estructura del grupo B coincide con el EPU para $Tr=100$ años con una aceleración máxima de 0.33g comparada con la calculada por MOC-2008 con 0.310g.

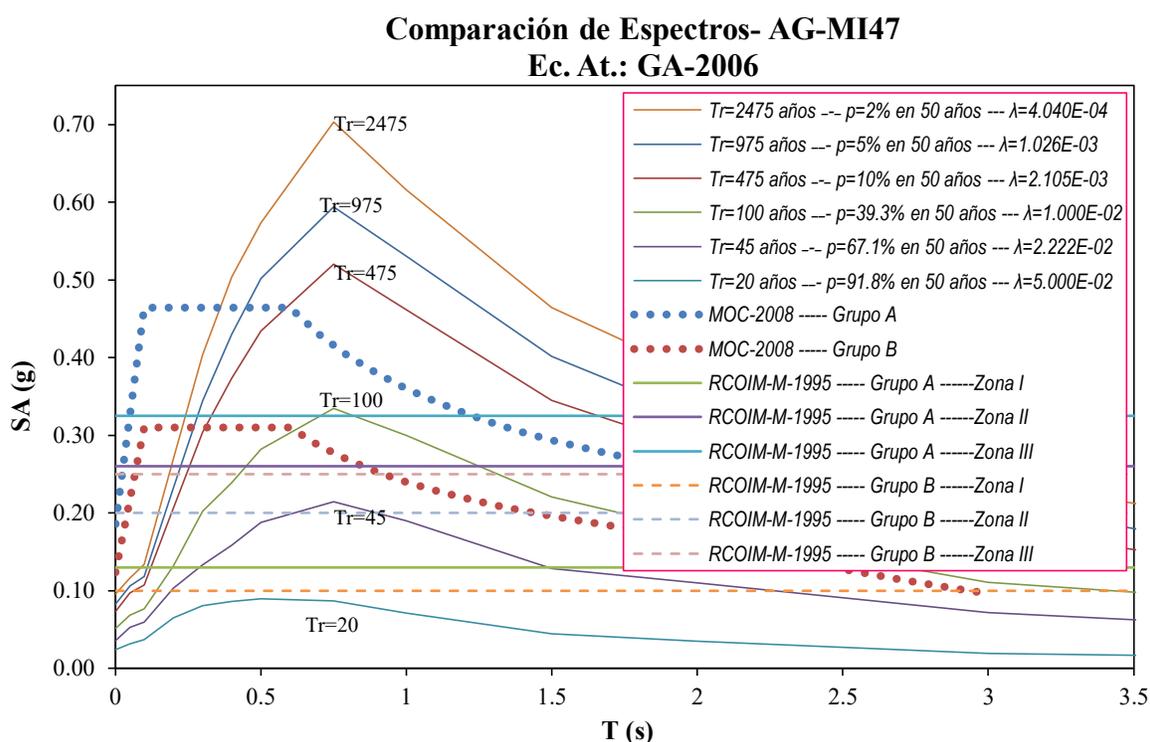


Figura V.6 Comparación de EPU (Ec. At.: GA-2006), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Coeficientes del RCM-M-1995 para el punto AG-MI47

- En la tabla V.8 se muestra los valores de las aceleraciones máximas calculadas con las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-20012. Para estructuras del grupo A la aceleración máxima para la ecuación de GO-2005 el EPU para $Tr=475$ años es 0.2060g, que es mayor a la calculada por MOC-2008 con 0.184g y al coeficiente de MCOIM-M-1995 con 0.13g, mientras que para la ecuación de GO-2012 los EPU para $Tr=45$ años es de 0.1111g. En estructura del grupo B, la aceleración máxima de la ecuación GO-2005

para el EPU para $T_r=475$ años es 0.1186g, que cercana a la calculada por MOC-2008 con 0.124g y al coeficiente de MCOIM-M-1995 0.13g, para la ecuación de GO-2012 es 0.1584g, se puede observar que las aceleraciones máximas calculadas con estas ecuaciones dan como resultados aceleraciones máximas cercanas a las aceleraciones máximas del terreno del punto analizado.

Tabla V.8 Aceleraciones máximas par las ecuaciones de atenuación GO-2005 Y GO-2012 para el punto AG-MI47

Periodo/Probabilidad/Excedencia	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años --- $p=91.8\%$ en 50 años --- $\lambda=5.000E-02$	0.0583	0.0758
$T_r=45$ años -- $p=67.1\%$ en 50 años --- $\lambda=2.222E-02$	0.0862	0.1111
$T_r=100$ años --- $p=39.3\%$ en 50 años --- $\lambda=1.000E-02$	0.1186	0.1584
$T_r=475$ años -- $p=10\%$ en 50 años --- $\lambda=2.105E-03$	<u>0.2060</u>	0.2891
$T_r=975$ años --- $p=5\%$ en 50 años --- $\lambda=1.026E-03$	0.2503	0.3576
$T_r=2475$ años -- $p=2\%$ en 50 años --- $\lambda=4.040E-04$	0.3170	0.4526

En la figura V.7 a V.10 y tabla V.9 se compara los EPU y aceleraciones máximas para el punto AG-GU40 correspondiente a Chilpancingo, Gro., con los coeficientes de diseño del RCM-C-1999, Espectros diseño del MOC-2008 y espectros de respuesta para los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1985, y en donde se observa lo siguiente:

- En la figura V.7, los EPU calculados con la ecuación de atenuación de AB-2003, el EPU para $T_r=475$ años coincide con el espectro del RCM-C-1999 para el grupo A, mientras que el espectro calculado por el MOC-2008 coincide con el EPU para $T_r=975$ años, el PGA del espectro calculado para $T_r=475$ años es de 0.3149g que es casi exactamente al calculado por el MOC-2008 con 0.313g pero menor al calculado por el RCM-C-1999 en donde se tiene 0.6g. Para estructuras del grupo B el EPU para $T_r=100$ años que tiene un poco de más coincidencia al espectro calculado por el RCM-C-1999, para el espectro calculado por el MOC-2008 los EPU que tienen más coincidencia son $T_r=475$ y 100 años pues se encuentra entremedio de estos. El PGA para $T_r=475$ y 100 años son de 0.3149 y 0.1777g, para el RCM-C-1999 es 0.4g y para el MOC-2008 es de 0.208g.

La aceleración máxima para $T_r=475$ años es 0.7105g y para 100 años es 0.3986g, para estructuras del grupo A para el RCM-C-1999 es 0.6g y para el MOC-2008 es de 0.782g, para estructura del grupo B la aceleración máxima calculada por el RCM-C-1999 es 0.4g y para el MOC-2008 es de 0.521g. El espectro de respuesta del sismo con $M=8.1$ tiene aceleraciones máximas en un periodo comprendido 0.6 a 1.1s con una aceleración máxima de 0.640g, el cual queda envuelto casi por completo por los espectros calculados por RCM-C-1999 y MOC-2008 para grupo A, pero también tiene un poco de coincidencia con el EPU para $T_r=475$ años. El espectro de respuesta del sismo con $M=7.5$ con un aceleración máxima de 0.477g y en donde se tienen aceleraciones máximas en periodos de 0.4 a 0.8 s, queda dentro del EPU para $T_r=475$ años.

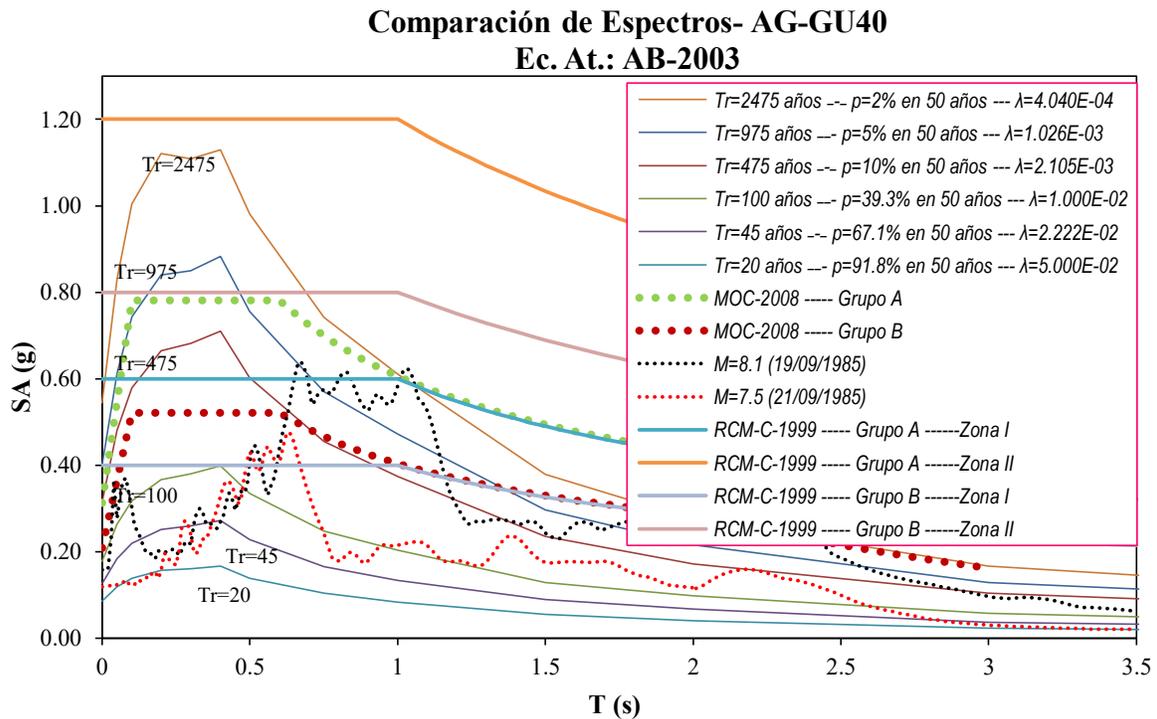


Figura V.7 Comparación de EPU (Ec. At.: AB-2003), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-C-1999 y Espectros de respuesta para los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1985 para el punto AG-GU40

- En la figura V.8 se muestran los EPU calculados para la ecuación de GA-2005, el EPU para $T_r=475$ años coincide con el espectro del RCM-C-1999 y el MOC-2008 para estructuras del grupo A, el PGA del espectro calculado para $T_r=475$ años es de 0.4491g,

el calculado por el MOC-2008 es 0.313g y para el RCM-C-1999 se tiene 0.6g. Para estructuras del grupo B el EPU para $T_r=100$ años coincide con el espectro calculado por el RCM-C-1999 y el MOC-2008. El PGA para $T_r=100$ años son de 0.23, para el RCM-C-1999 es 0.4g y para el MOC-2008 es de 0.208g.

La aceleración máxima para $T_r=475$ años es 1.002g, para estructuras del grupo A para el RCM-C-1999 es 0.6g y para el MOC-2008 es de 0.782g, para estructura del grupo B la aceleración máxima calculada para el EPU para $T_r=100$ años es 0.5327g por el RCM-C-1999 es 0.4g y para el MOC-2008 es de 0.521g. El espectro de respuesta de los sismos con $M=8.1$ y $M=7.5$ difiere de los EPU calculados con esta ecuación pues las aceleraciones máximas se presentan en periodos menores a 0.4 s.

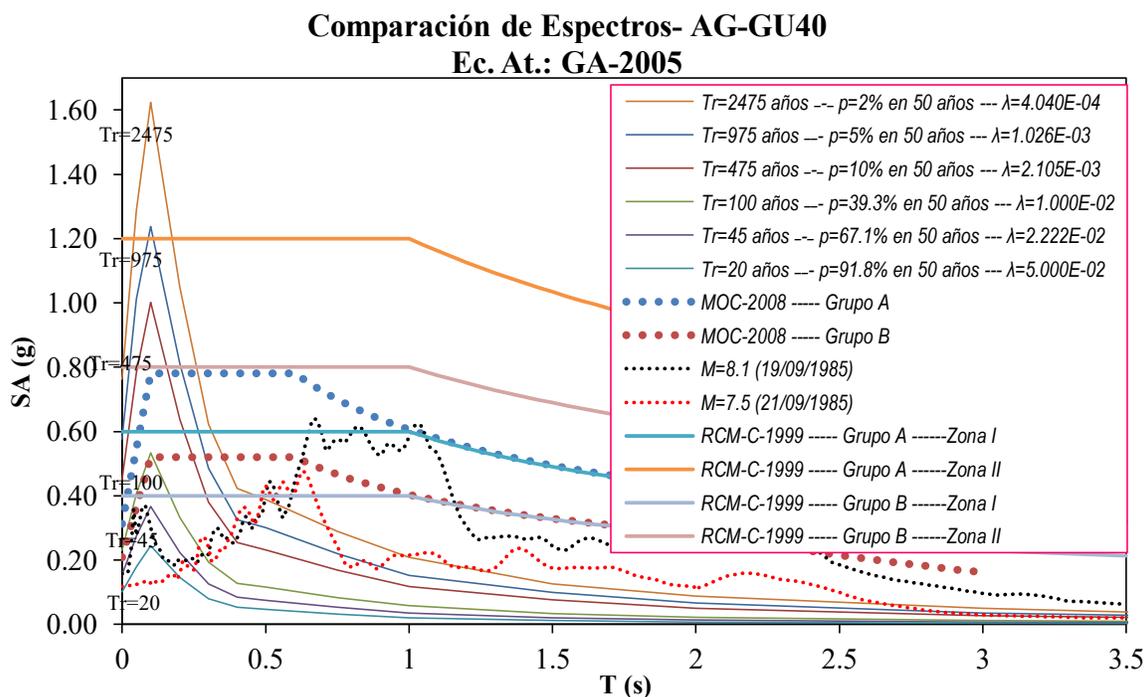


Figura V.8 Comparación de EPU (Ec. At.: GA-2005), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-C-1999 y Espectros de respuesta para los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1985 para el punto AG-GU40

- La figura V.9 muestra los EPU calculados con la ecuación de atenuación de YO-1997, el EPU para $T_r=475$ años coincide con el espectro del RCM-C-1999 para el grupo A mientras que el espectro calculado por el MOC-2008 coincide con el EPU para $T_r=975$ años, el PGA del espectro calculado para $T_r=475$ años es de 0.3149g que es casi

exactamente el calculado por el MOC-2008 con 0.313g pero menor al calculado por el RCM-C-1999 en donde se tiene 0.6g. Para estructuras del grupo B el EPU para $Tr=100$ años que tiene un poco de más coincidencia al espectro calculado por el RCM-C-1999, para el espectro calculado por el MOC-2008 los EPU que tienen más coincidencia son $Tr=475$ y 100 años pues se encuentra entre medio de estos. El PGA para $Tr=475$ y 100 años son de 0.3149 y 0.1777g, para el RCM-C-1999 es 0.4g y para el MOC-2008 es de 0.208g.

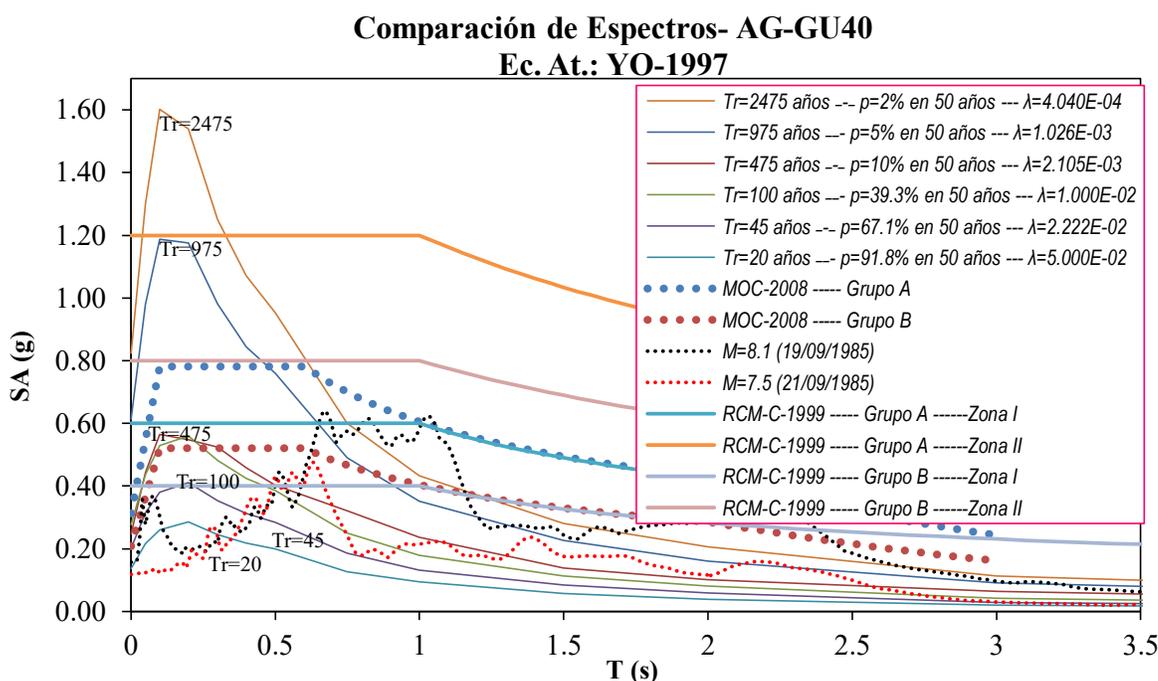


Figura V.9 Comparación de EPU (Ec. At.: YO-1997), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-C-1999 y Espectros de respuesta para los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1985 para el punto AG-GU40

La aceleración máxima para $Tr=475$ años es 0.7105g y para 100 años es 0.3986g, para estructuras del grupo A para el RCM-C-1999 es 0.6g y para el MOC-2008 es de 0.782g, para estructura del grupo B la aceleración máxima calculada por el RCM-C-1999 es 0.4g y para el MOC-2008 es de 0.521g. El espectro de respuesta del sismo con $M=8.1$ tiene una aceleración máxima de 0.640g y queda envuelto por el EPU para $Tr=2475$ años y para el espectro de respuesta del sismo con $M=7.5$ con un aceleración máxima de 0.477g queda dentro de los EPU para $Tr=475$ y 100 años.

- En la figura V.10, los EPU calculados son con la ecuación de atenuación de GA-2006, el EPU para $Tr=975$ años coincide con el espectro del RCM-C-1999 mientras que el espectro calculado por el MOC-2008 coincide con el EPU para $Tr=2475$ años, el PGA del espectro calculado para $Tr= 2475$ y 975 años es de $0.3191g$ y $0.2786g$, el calculado por el MOC-2008 con $0.313g$ y para el RCM-C-1999 se tiene $0.6g$, ambos para el grupo A. Para estructuras del grupo B el EPU para $Tr=100$ años coincide con el espectro calculado por el RCM-C-1999, para el espectro calculado por el MOC-2008 los EPU que coincide es $Tr=475$ años. El PGA para $Tr=475$ y 100 años son de $0.2467g$ y $0.1813g$, para el RCM-C-1999 es $0.4g$ y para el MOC-2008 es de $0.208g$.

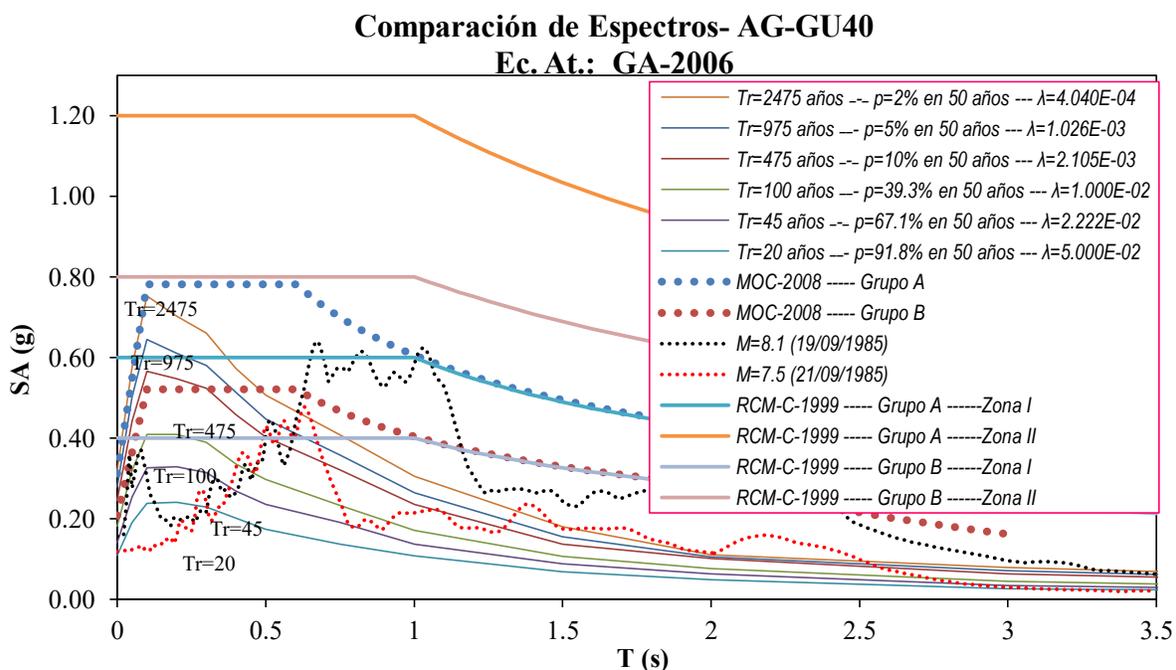


Figura V.10 Comparación de EPU (Ec. At.: GA-2006), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-C-1999 y Espectros de respuesta para los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1985 para el punto AG-GU40

La aceleración máxima para $Tr=2475$ años es 0.7532 , $Tr=475$ años es $0.5656g$ y para $Tr=100$ años es $0.4096g$, para estructuras del grupo A para el RCM-C-1999 es $0.6g$ y para el MOC-2008 es de $0.782g$, para estructura del grupo B la aceleración máxima calculada por el RCM-C-1999 es $0.4g$ y para el MOC-2008 es de $0.521g$. El espectro de

respuesta del sismo con $M=8.1$, la aceleración máxima se presenta en periodos de 0.6 a 1.1 s por lo que ningún EPU envuelve dicho espectro. El espectro de respuesta del sismo con $M=7.5$ con un aceleración máxima de 0.477g y lo cubre casi por completo el EPU para $Tr=2475$ años.

Tabla V.9 Aceleraciones máximas par las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 Y GO-2012 para el punto AG-GU40

Periodo/Probabilidad/Excedencia	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
$Tr=20$ años -- $p=91.8\%$ en 50 años --- $\lambda=5.000E-02$	0.1992	0.1436	0.1440
$Tr=45$ años -- $p=67.1\%$ en 50 años --- $\lambda=2.222E-02$	0.3172	0.2272	0.2110
$Tr=100$ años --- $p=39.3\%$ en 50 años --- $\lambda=1.000E-02$	0.4758	0.3264	0.2905
$Tr=475$ años -- $p=10\%$ en 50 años --- $\lambda=2.105E-03$	0.9270	0.5637	0.4749
$Tr=975$ años --- $p=5\%$ en 50 años --- $\lambda=1.026E-03$	1.1980	0.6987	0.5614
$Tr=2475$ años -- $p=2\%$ en 50 años --- $\lambda=4.040E-04$	1.6450	0.8648	0.6866

- En la tabla V.9 se muestra los valores de las aceleraciones máximas calculadas con las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-20012, para estructuras del grupo A la aceleración máxima para el RCM-C-1999 es 0.6g que es aproximada a la calculada por CL-2012 para $Tr=100$ años con 0.4758g, para GO-2005 para $Tr=475$ años con 0.5637g y por GO-2012 entre $Tr=975$ y 2475 años con 0.5614 y 0.6866g. Para el MOC-2008 la aceleración máxima es de 0.782g y los valores más cercanos son los obtenidos para $Tr=475$ años de CL-2012 con 0.9271g, $Tr=2475$ años de GO-2005 con 0.8648g y para GO-2012 la aceleración calculada es más baja que la calculada para este reglamento. Para estructura del grupo B la aceleración máxima calculada por el RCM-C-1999 es 0.4g y para el MOC-2008 es de 0.521g y tienen semejanza con la aceleración máxima para $Tr=100$ años de CL-2012 con 0.4758g, $Tr=475$ años de GO-2005 con 0.5637g y $Tr=975$ años de GO-2012 con 0.5614g. El espectro de respuesta del sismo con $M=8.1$ que tiene una aceleración máxima de 0.640g y queda dentro de los valores obtenidos para las ecuaciones CL-2012, GO-2005 y GO212 por lo que la aceleración máxima del sismo con $M=7.5$ (0.477g) también se encuentran dentro de los resultados.

En la figura V.11 a V.13 y tabla V.10 se compara los EPU y aceleraciones máximas para el punto AG-OA33 correspondiente a Oaxaca, Oax., con los coeficientes de diseño del RCM-O-1996 y Espectros diseño del MOC-2008, en donde se observa lo siguiente:

- Para los EPU calculados con la ecuación de atenuación de GA-2005 que se muestra en la figura V.11, se observa que los espectros de diseño calculados por el MC-2008 y el RCM-O-1996 son casi idénticos en zona I por lo que se puede referir a ambos como uno solo, en zona II y III el RCM-O-1996 también presentan los mismos valores. El EPU para $T_r=975$ años tiene similitud con el espectro de MOC-2008 para estructuras del grupo A. El espectro diseño de MOC-2008 se encuentra entre los EPU para $T_r=475$ y 100 años para estructuras del grupo B.

En estructura del grupo A, la aceleración máxima del terreno (PGA) para el EPU para $T_r=475$ años es 0.3456g que es mayor a la calculada por MOC-2008 con 0.304g y el obtenido por RCM-O-1996 con 0.3g. En estructura del grupo B, la aceleración máxima del terreno (PGA) para el EPU para $T_r=475$ y 100 años es 0.3456g y 0.1796g, la calculada por MOC-2008 es 0.203g y el RCM-O-1996 es de 0.2g. La aceleración máxima para el EPU para $T_r=475$ y 100 años es 0.7936g y 0.4255g, para estructuras del grupo A por el MOC-2008 es 0.76g y el obtenido por RCM-O-1996 es 0.75g, para estructuras del Grupo B para el MOC-2008 es 0.500g y para el RCM-O-1996 es de 0.507g.

El espectro de respuesta del sismo con $M=7.8$ presenta aceleraciones máximas en periodos comprendidos de 0.1 y 0.4 s con un valor máximo de 1.099g, es importante recordar que el registro acelerométrico se obtuvo en suelo con depósitos aluviales por lo que las aceleraciones que presenta el espectro son altas, el espectro de diseño que presenta el RCM-O-1996 para estructuras del grupo A en zona I y II cubre por completo dicho espectro. A pesar de que los EPU calculados con esta ecuación son para terreno firme se puede observar que si se toma la aceleración máxima del EPU para $T_r=2475$ años (1.22g) cubriría aproximadamente con la demanda esperada.

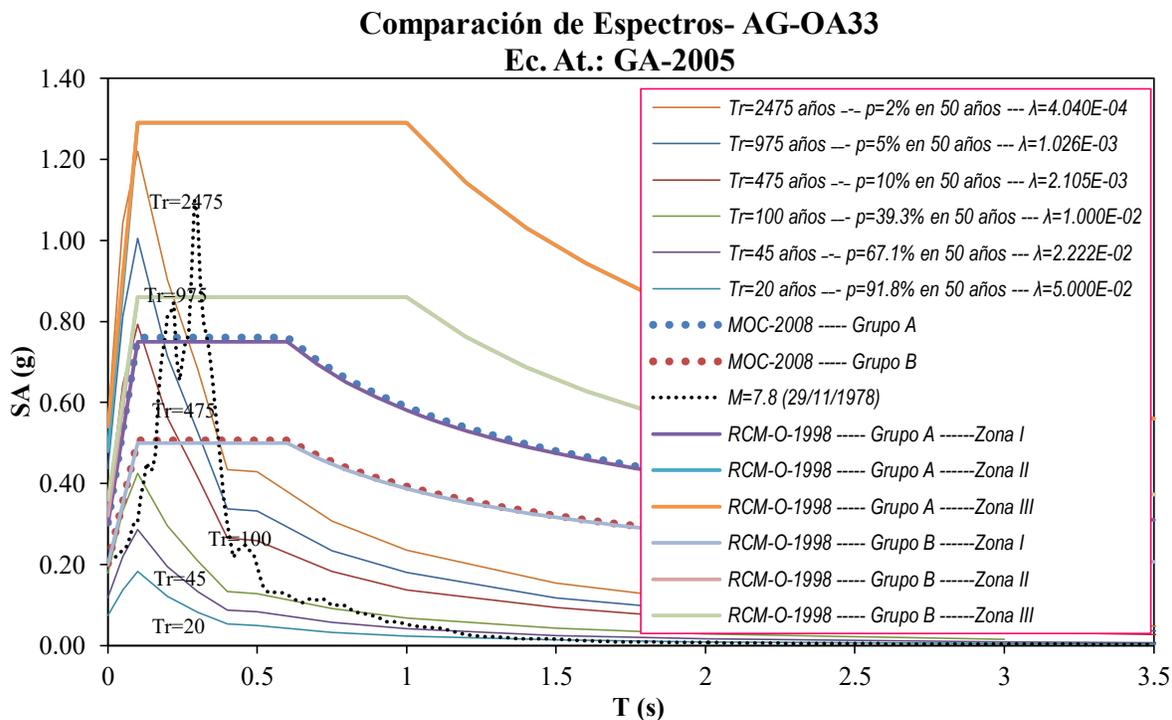


Figura V.11 Comparación de EPU (Ec. At.: GA-2005), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-O-1996 y Espectros de respuesta del sismo del 29 de noviembre de 1978 para el punto AG-OA33

- Para los EPU calculados con la ecuación de atenuación de GA-2005 que se muestra en la figura V.12. El EPU para $Tr=475$ años tiene similitud con el espectro de MOC-2008 para estructuras del grupo A. El espectro diseño de MOC-2008 se encuentra entre los EPU para $Tr=475$ y 100 años para estructuras del grupo B.

En estructura del grupo A, la aceleración máxima del terreno (PGA) para el EPU para $Tr=475$ años es 0.3914g que es mayor a la calculada por MOC-2008 con 0.304g y el obtenido por RCM-O-1996 con 0.3g. En estructura del grupo B, la aceleración máxima del terreno (PGA) para el EPU para $Tr=475$ y 100 años es 0.3914g y 0.2267g, la calculada por MOC-2008 es 0.203g y el RCM-O-1996 es de 0.2g. La aceleración máxima para el EPU para $Tr=475$ y 100 años es 0.7871g y 0.4705g, para estructuras del grupo A por el MOC-2008 es 0.76g y el obtenido por RCM-O-1996 es 0.75g, para estructuras del Grupo B para el MOC-2008 es 0.500g y para el RCM-O-1996 es de 0.507g.

El espectro de respuesta del sismo con $M=7.8$ queda envuelta por el EPU para $Tr=2475$ años y el cual tiene una aceleración máxima de 1.280g contra 1.099g del sismo presentado.

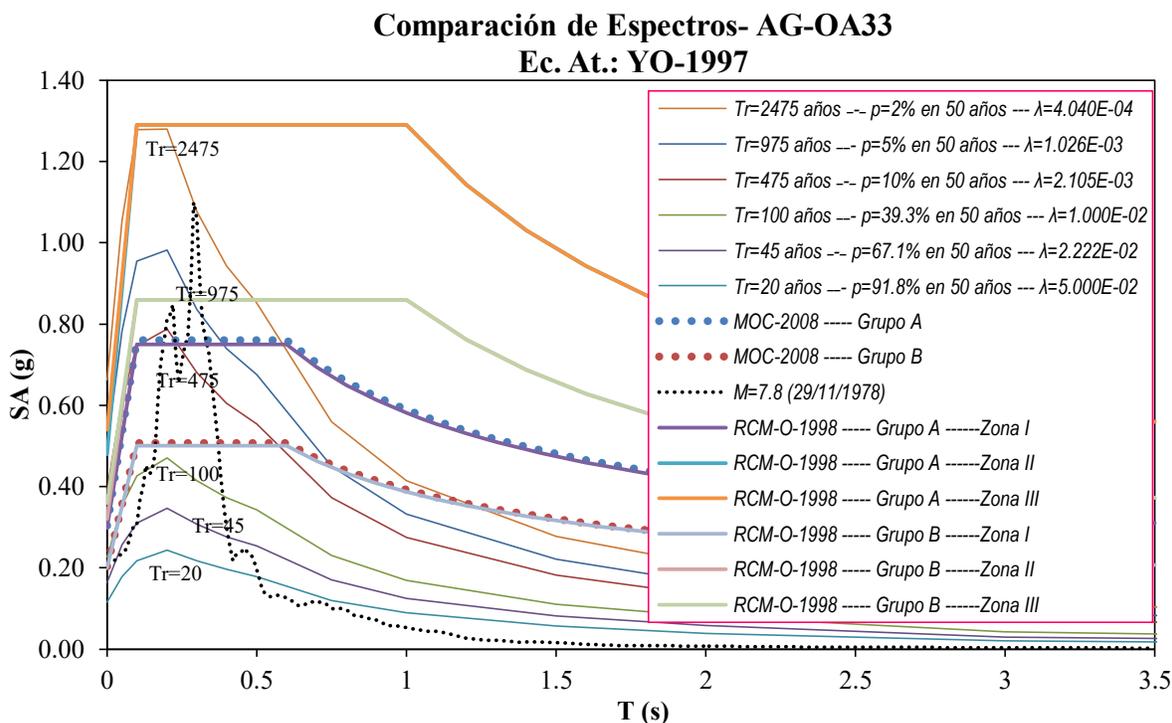


Figura V.12 Comparación de EPU (Ec. At.: YO-1997), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-O-1996 y Espectros de respuesta del sismo del 29 de noviembre de 1978 para el punto AG-OA33

- Para los EPU calculados con la ecuación de atenuación de GA-2006 que se muestra en la figura V.13. El EPU para $Tr=475$ años tiene similitud con el espectro de MOC-2008 para estructuras del grupo A. El espectro de diseño de MOC-2008 se encuentra entre los EPU para $Tr=100$ años para estructuras del grupo B.

En estructura del grupo A, la aceleración máxima del terreno (PGA) para el EPU para $Tr=475$ años es 0.2045g que es menor a la calculada por MOC-2008 con 0.304g y el obtenido por RCM-O-1996 con 0.3g. En estructura del grupo B, la aceleración máxima del terreno (PGA) para el EPU para $Tr=100$ años es 0.1401g, la calculada por MOC-2008 es 0.203g y el RCM-O-1996 es de 0.2g. La aceleración máxima para el EPU para $Tr=475$

y 100 años es 0.7871g y 0.4705g, para estructuras del grupo A por el MOC-2008 es 0.7939g y el obtenido por RCM-O-1996 es 0.75g, para el $T_r=100$ años es 0.54g y en estructuras del grupo B para el MOC-2008 es 0.500g y para el RCM-O-1996 es de 0.507g.

El espectro de respuesta del sismo con $M=7.8$ queda casi envuelto por el EPU para $T_r=2475$ años y el cual tiene una aceleración máxima de 1.000g contra 1.099g del sismo presentado.

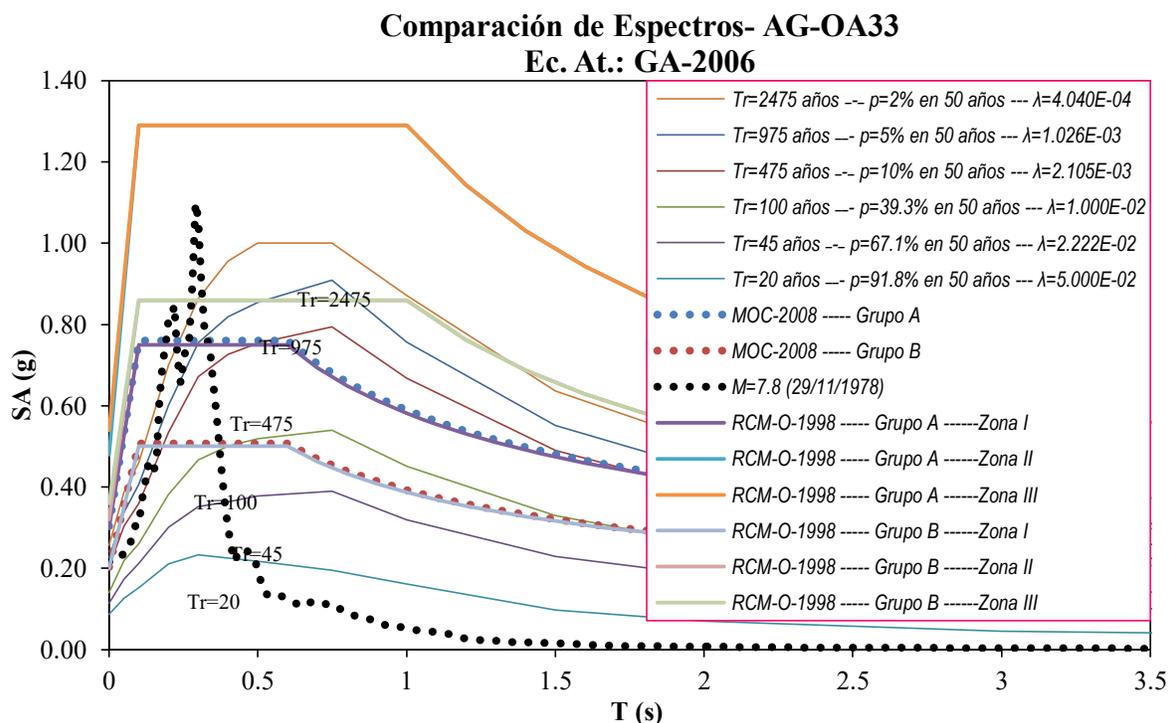


Figura V.13 Comparación de EPU (Ec. At.: GA-2006), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, Espectros de diseño calculados con el RCM-O-1996 y Espectros de respuesta del sismo del 29 de noviembre de 1978 para el punto AG-OA33

En la tabla V.10 se muestra los valores de las aceleraciones máximas calculadas con las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-20012, para estructuras del grupo A la aceleración máxima del terreno (PGA por MOC-2008 con 0.304g y el obtenido por RCM-O-1996 con 0.3g y la aceleración más cercana es para $T_r=100$ años para la ecuación de atenuación de GO-2005 y GO-2012 con 0.2931 y 0.2851g. En estructura del

grupo B, la aceleración máxima del terreno (PGA) para MOC-2008 es 0.203g y el RCM-O-1996 es de 0.2g y la aceleración más cercana es para $T_r=45$ años para ambas ecuaciones con 0.2121g y 0.2019g. La aceleración máxima para el EPU para $T_r=2475$ años para las ecuaciones es 0.7371g y 0.7391g para estructuras del grupo A mientras que para el MOC-2008 es 0.7939g y el obtenido por RCM-O-1996 es 0.75g. Para el $T_r=475$ años en las ecuaciones es 0.4881g y 0.4936g, y en estructuras del grupo B para el MOC-2008 es 0.500g y para el RCM-O-1996 es de 0.507g. En este punto se puede ver que las ecuaciones GO-2005 y GO-2012 tienen aproximadamente los mismos valores.

Tabla V.10 Aceleraciones máximas par las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-OA33

Periodo/Probabilidad/Excedencia	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T=20$ años -- $p=91.8\%$ en 50 años --- $\lambda=5.000E-02$	0.1417	0.1343
$T=45$ años -- $p=67.1\%$ en 50 años --- $\lambda=2.222E-02$	0.2121	0.2019
$T=100$ años -- $p=39.3\%$ en 50 años --- $\lambda=1.000E-02$	0.2931	0.2851
$T=475$ años -- $p=10\%$ en 50 años --- $\lambda=2.105E-03$	0.4881	0.4936
$T=975$ años -- $p=5\%$ en 50 años --- $\lambda=1.026E-03$	0.5891	0.5958
$T=2475$ años -- $p=2\%$ en 50 años --- $\lambda=4.040E-04$	0.7371	0.7391

En las figuras V.14 a V.25 y tablas V.11 a V.22, se comparan los EPU y las aceleraciones máximas calculadas para las diferentes ecuaciones de atenuación, presentadas en este trabajo para los puntos AG-MI20, AG-MI31, AG-MI32-AG-MI37, AG-GU09, AG-GU24, AG-GU27, AG-GU28, AG-GU31, AG-GU36, AG-GU42 y AG-GU43 con los espectros de diseño obtenidos por el MOC-2008 y espectros de respuestas para los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1995 y en algunos casos el 9 de octubre de 1995, las observaciones se presentan a continuación:

- Para el punto AG-MI20, en la figura V.14 en los incisos “a, b y c” se muestran los EPU calculados con la ecuación GA-2005 en donde, el EPU para $T_r=475$ y 100 años son aproximados al espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A, mientras que para YO-1997 el EPU para $T_r=475$ años y GA-2006 para $T_r=100$ años con los que más coinciden. Para estructuras del grupo B el $T_r=100$ años calculado por GA-2005, el $T_r=100$ años para YO-1997 y el EPU para $T_r=45$ años calculado por GA-2006 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. Los espectros de respuesta para los sismos de $M=8.1$ y $M=7.5$ quedan envueltos por los EPU para $T_r=20$ años en todas las ecuaciones.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=475$ y 100 años por GA-2005 es 0.47g y 0.239g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.347g y para $T_r=100$ años para GA-2006 es 0.230g mientras que para el MOC-2008 es 0.261g, las aceleraciones máximas para $T_r=475$ y 100 años por GA-2005 es 1.038g y 0.551g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.750g y para $T_r=100$ años para GA-2006 es 0.636g mientras que para el MOC-2008 es 0.653g, todo para estructuras del grupo A. En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.174 para $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.239g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.213g y para $T_r=100$ años para GA-2006 es 0.230g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.436g, para $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.551g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.461g y para $T_r=100$ años para GA-2006 es 0.636g, para los espectros de los sismos de $M=8.1$ y 7.5 son 0.216g y 0.067g.

En la tabla V.11 la aceleración máxima para $T_r=45$ años es de 0.217g para GO-2005 y 0.2317g para $T_r=100$ años para GO-2012 que coincide con el PGA calculado por MOC-2008 con 0.261g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.174g donde GO-2005 para $T_r=45$ años y para GO-20012 con $T_r=45$ años coinciden con dicho valor. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para

estructuras del grupo A es 0.653g y coinciden con el $T_r=475$ años con 0.6273g de GO-2005 y $T_r=2475$ años con 0.6066 de GO-2012, para estructuras del grupo B el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 0.436g y coinciden con el $T_r=475$ años con 0.4017g de GO-2012 y menos aproximadamente con el $T_r=100$ años con 0.333g de GO-2005

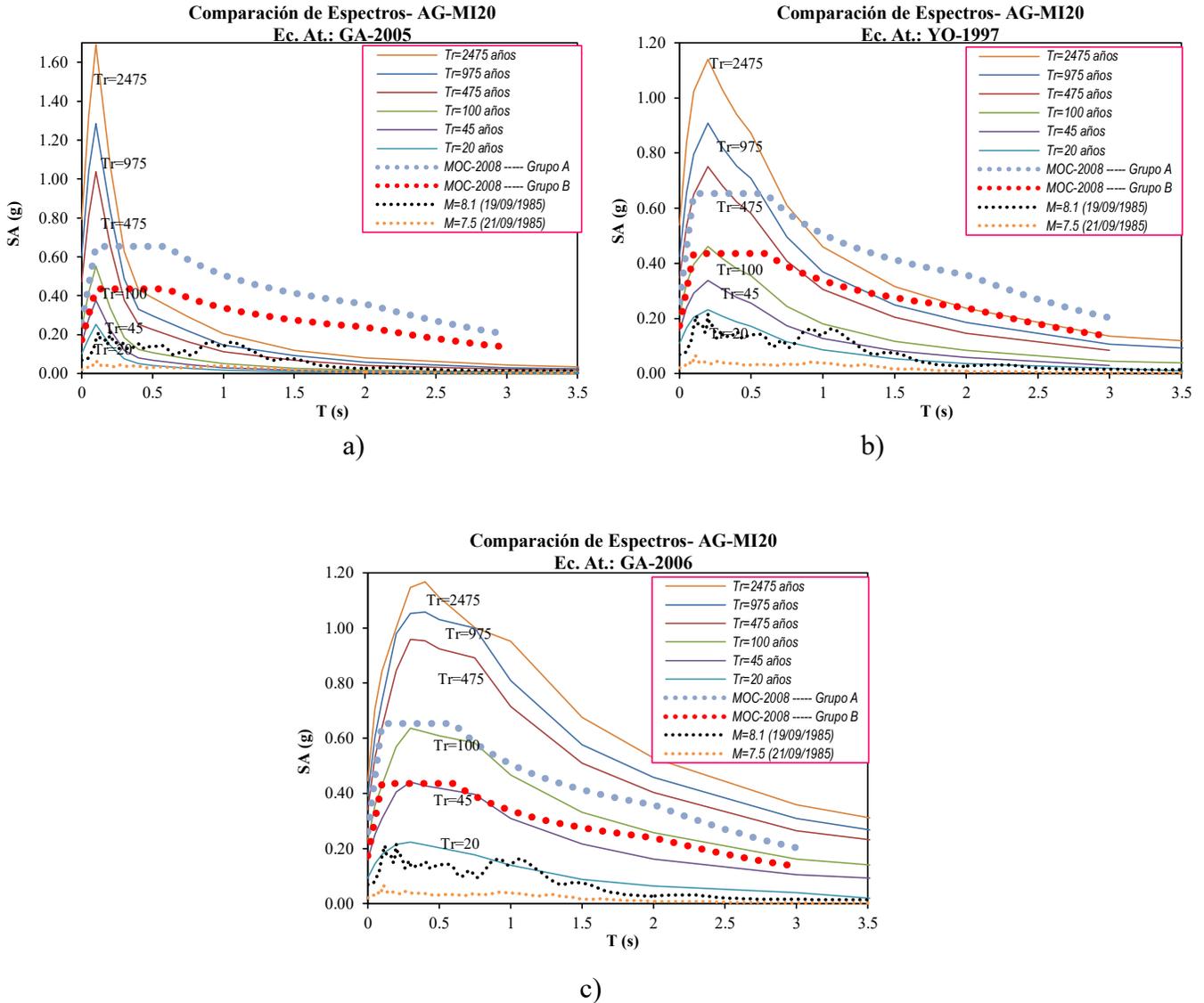


Figura V.14 Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b) y GA-2006 (c), Espectros de diseño calculados con PRODISIS, y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-MI20

Tabla V.11 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-MI20

Periodo de retorno	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1258	0.1155
$T_r=45$ años	0.2172	0.1659
$T_r=100$ años	0.3330	0.2317
$T_r=475$ años	0.6278	0.4017
$T_r=975$ años	0.7943	0.4923
$T_r=2475$ años	1.0300	0.6066

- Para el punto AG-MI31, en la figura V.15 en los incisos “a, b y c” se muestran que el EPU de GA-2005 para $T_r=100$ años coincide con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A, mientras que para YO-1997 es el EPU para $T_r=475$ años y GA-2006 se encuentra entre $T_r=475$ y 100 años. Para estructuras del grupo B el $T_r=45$ años calculado por GA-2005, el EPU para $T_r=100$ años de YO-1997 y el EPU para $T_r=45$ años calculado por GA-2006 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. Los espectros de respuesta del sismo $M=7.5$ quedan envueltos por los EPU para $T_r=20$ años en todas las ecuaciones, para el sismo de $M=8.1$ queda envuelto por el EPU para $T_r=475$ años de GA-2005, $T_r=100$ años de YO-1997 y $T_r=20$ años de GA-2006.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.236g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.314g y para $T_r=475$ y 100 años para GA-2006 es 0.239g y 0.157g mientras que para el MOC-2008 es 0.243g, las aceleraciones máximas para $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.545g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.665g y para $T_r=475$ y 100 años para GA-2006 es 0.780g y 0.515g mientras que para el MOC-2008 es 0.608g, todo para estructuras del grupo A. En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.162 para $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.236g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.188g y para $T_r=45$ años para GA-2006 es 0.115g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.405g, para $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.545g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.404g y para $T_r=45$ años para GA-2006 es 0.346g; para los espectros de los sismos de $M=8.1$ y 7.5 son 0.216g y 0.067g.

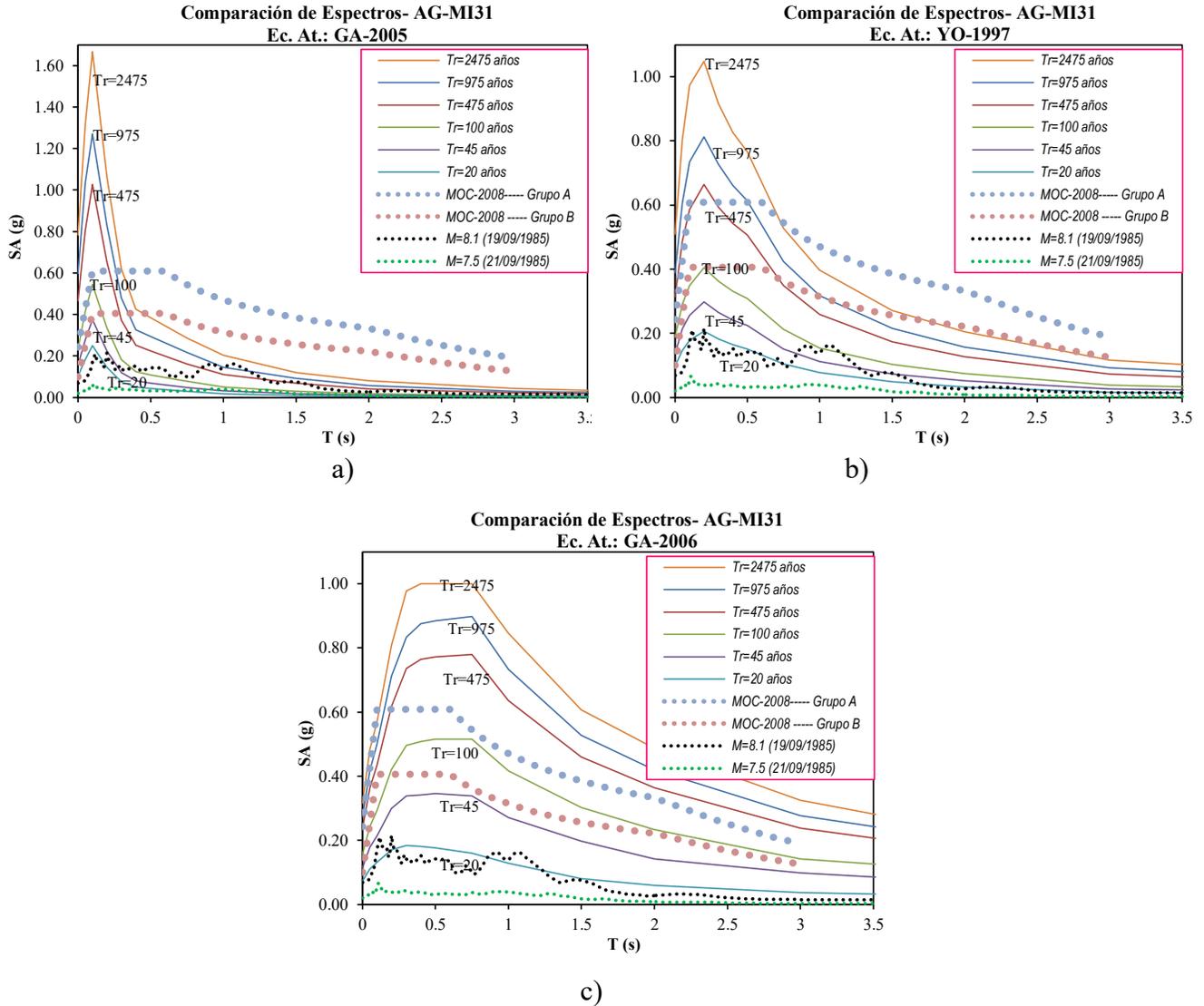


Figura V.15 Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b) y GA-2006 (c), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-MI31

En la tabla V.12 la aceleración máxima para $Tr=100$ años es de 0.262g para GO-2005 y 0.223g para $Tr=100$ años para GO-2012 que coinciden con el PGA calculado por MOC-2008 con 0.243g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.162g que coincide con GO-2005 para $Tr=45$ años con 0.177g y para GO-20012 con $Tr=45$ años que tiene 0.158g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 0.608g y coinciden con el $Tr=975$ años con 0.595g

de GO-2005 y $T_r=2475$ años con 0.6006 de GO-2012 para estructuras del grupo B por el MOC-2008 es 0.405g y coinciden con el $T_r=475$ años con 0.4779g de GO-2012 y para $T_r=475$ años con 0.3939g de GO-2005.

Tabla V.12 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-MI31

Periodo de retorno	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1105	0.1094
$T_r=45$ años	0.1768	0.1579
$T_r=100$ años	0.2617	0.2230
$T_r=475$ años	0.4779	0.3939
$T_r=975$ años	0.5954	0.4853
$T_r=2475$ años	0.7703	0.6006

- Para el punto AG-MI32, en la figura V.16 en los incisos “a, b y c” se muestran que el EPU de GA-2005 para $T_r=100$ años coincide con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A, mientras que para YO-1997 es el EPU para $T_r=475$ años y GA-2006 se encuentra entre $T_r=475$ años. Para estructuras del grupo B el $T_r=45$ años calculado por GA-2005, el EPU para $T_r=100$ años de YO-1997 y el EPU para $T_r=100$ años calculado por GA-2006 son los coinciden. Los espectros de respuesta del sismo $M=7.5$ quedan envueltos por los EPU para $T_r=20$ años en todas las ecuaciones, para el sismo de $M=8.1$ queda envuelto por el EPU para $T_r=475$ años de GA-2005, $T_r=100$ años de YO-1997 y $T_r=20$ años de GA-2006.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.244g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.336g y para $T_r=475$ años para GA-2006 es 0.224g mientras que para el MOC-2008 es 0.260g, las aceleraciones máximas para $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.562g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.7059g y para $T_r=475$ años para GA-2006 es 0.7858g y g mientras que para el MOC-2008 es 0.651g, todo para estructuras del grupo A. En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.174g para $T_r=45$ años por GA-2005 es 0.163g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.202g y para $T_r=100$ años para GA-2006 es 0.164g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es

de 0.434g, para $T_r=45$ años por GA-2005 es 0.387g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.427g y para $T_r=100$ años para GA-2006 es 0.520g; para los espectros de los sismos de $M=8.1$ y 7.5 son 0.216g y 0.067g.

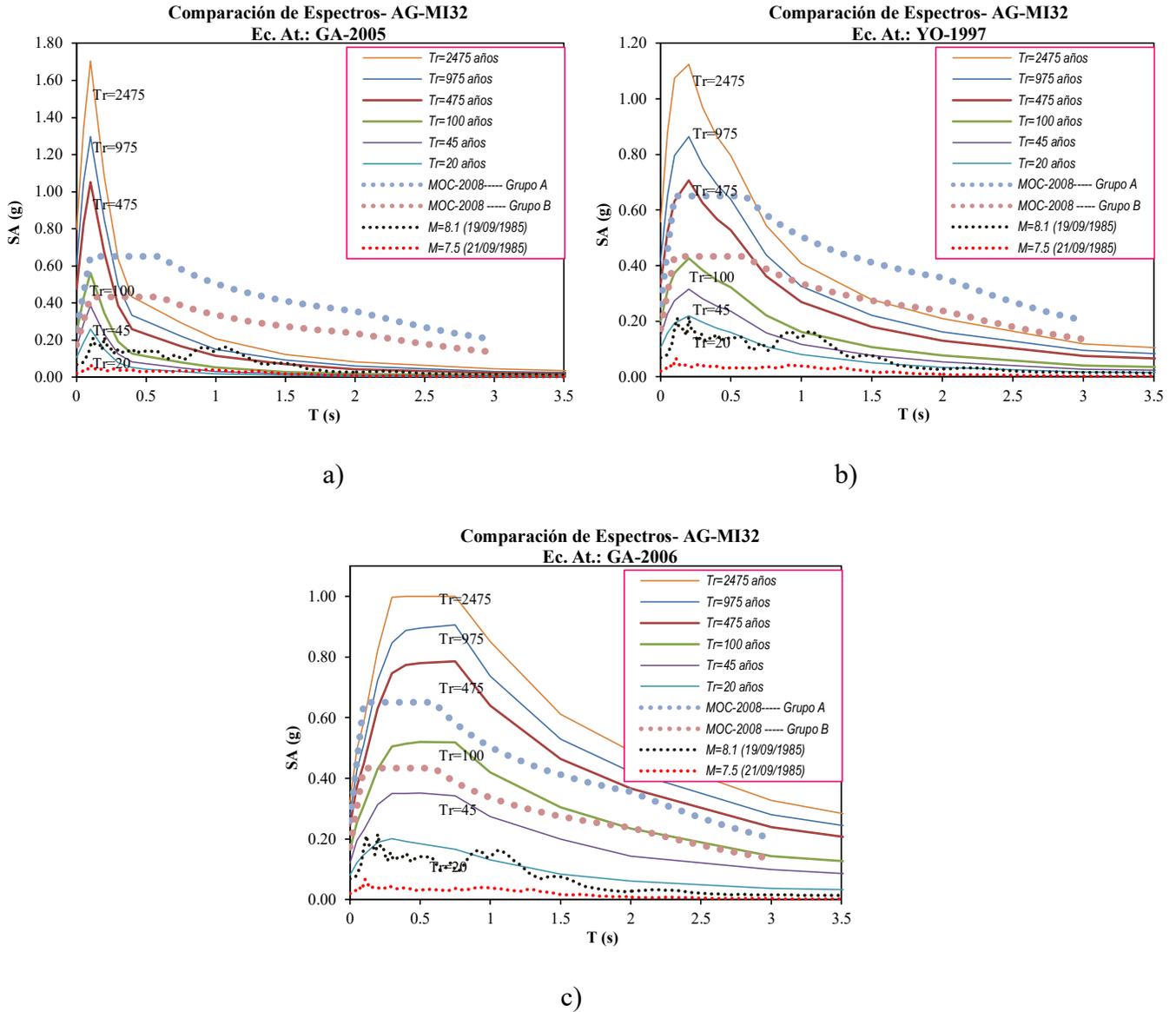


Figura V.16 Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b) y GA-2006 (c), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-MI32

Tabla V.13 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-MI32

Periodo de retorno	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1164	0.1149
$T_r=45$ años	0.1887	0.1665
$T_r=100$ años	0.2775	0.2341
$T_r=475$ años	0.5031	0.4086
$T_r=975$ años	0.6244	0.5017
$T_r=2475$ años	0.8020	0.6176

En la tabla V.13 la aceleración máxima para $T_r=100$ años es de 2775g para GO-2005 y 0.2341g para $T_r=100$ años de GO-2012 que coinciden con el PGA calculado por MOC-2008 con 0.260g para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.174g que coincide con GO-2005 para $T_r=45$ años con 0.1887g y para GO-20012 con $T_r=45$ años que tiene 0.1665g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 0.651g y coinciden con el $T_r=975$ años con 0.6244g de GO-2005 y $T_r=2475$ años con 0.6176g de GO-2012, para estructuras del grupo B por el MOC-2008 es 0.434g y coinciden con el $T_r=475$ años con 0.5031g de GO-2012 y para $T_r=475$ años con 0.4086g de GO-2005.

- Para el punto AG-MI37, en la figura V.17 los incisos “a, b y c” muestran que el EPU de GA-2005 para $T_r=2475$ años coincide con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A, mientras que para YO-1997 es el EPU para $T_r=475$ años y GA-2006 se encuentra entre $T_r=475$ años. Para estructuras del grupo B el $T_r=475$ años calculado por GA-2005, el EPU para $T_r=100$ años de YO-1997 y el EPU para $T_r=100$ años calculado por GA-2006 son los que coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. El espectro de respuesta para el sismo de $M=8.1$ queda envuelto por el EPU para $T_r=45$ años de YO-1997, $T_r=45$ y 20 años de GA-2006 mientras que para GA-2006 los EPU no envuelven dicho espectro.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=2475$ años por GA-2005 es 0.703g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.815g y para $T_r=475$ años para GA-2006 es

0.860g mientras que para el MOC-2008 es 0.567g, las aceleraciones máximas para $T_r=2475$ años por GA-2005 es 1.462g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 1.667g y para $T_r=475$ años para GA-2006 es 1.834g y g mientras que para el MOC-2008 es 1.415g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.377g para $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.404g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.448g y para $T_r=100$ años para GA-2006 es 0.522g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.943g, para $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.887g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.919g y para $T_r=100$ años para GA-2006 es 1.063g; para el espectro del sismo de $M=8.1$ es 0.435g.

Tabla V.14 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-MI37

Periodo de retorno	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1830	0.1623
$T_r=45$ años	0.4674	0.2374
$T_r=100$ años	8.4460	0.3279
$T_r=475$ años	23410.0000	0.5308
$T_r=975$ años	917100.0000	0.6306
$T_r=2475$ años	105800000.0000	0.7624

En la tabla V.14 la aceleración máxima para $T_r=475$ años es de 0.5308g para GO-2012 que coincide con el PGA calculado por MOC-2008 con 0.567g para estructuras del grupo A, los valores obtenidos por GO-2012 a partir del $T_r=100$ años son demasiado altos por lo que no sería correcto hacer comparaciones. Para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.377g que coincide con GO-2005 para $T_r=100$ años con 0.328g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 1.415g y para el B es de 0.943, pero la ecuación de GO-2012 no alcanza a cubrir estos valores.

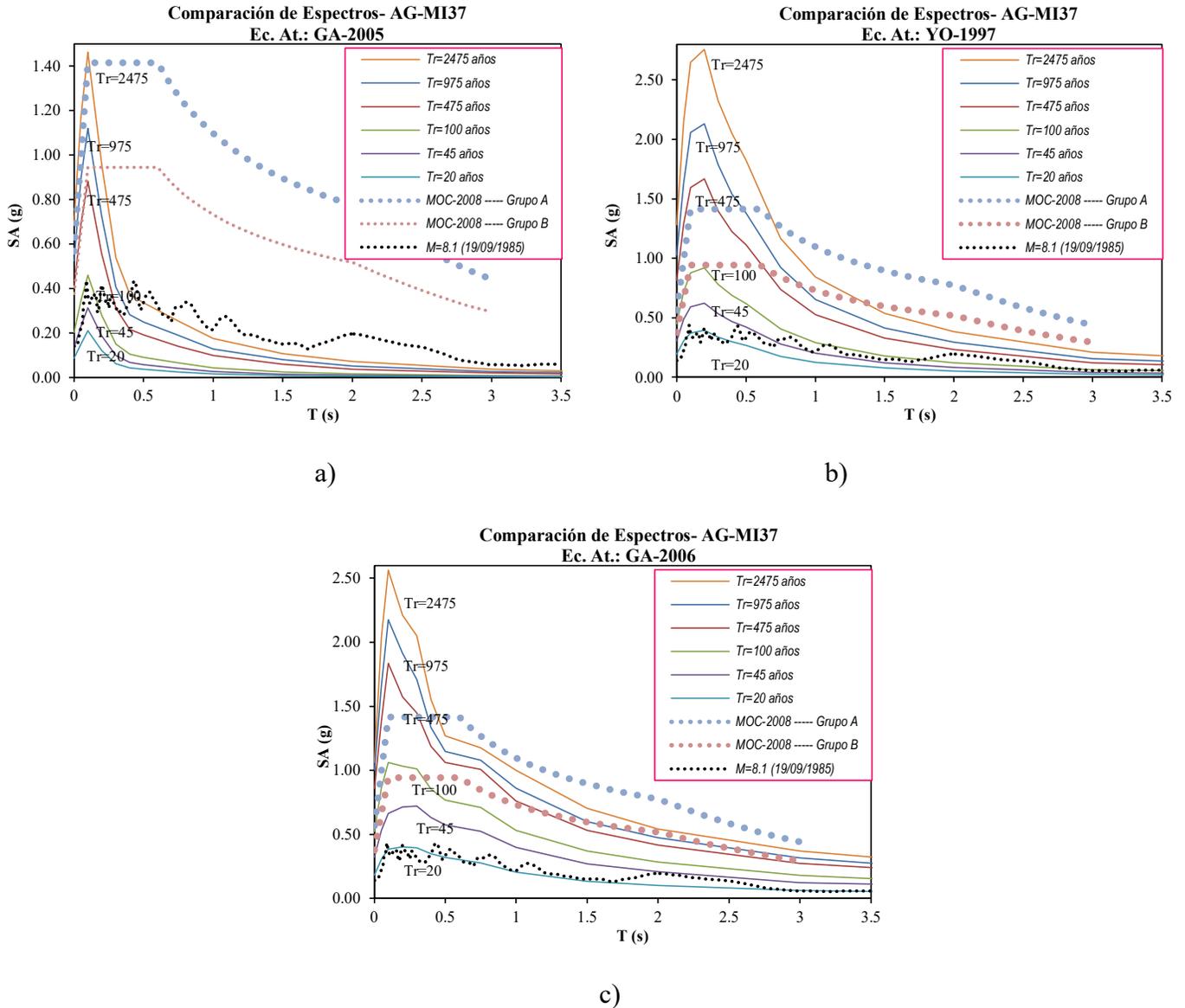


Figura V.17 Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b) y GA-2006 (c), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-MI37

- Para el punto AG-GU09, en la figura V.18 en los incisos “a, b, c y d” se muestran que el EPU de AB-2003 para $T_r=975$ años, $T_r=2475$ años de GA-2005, $T_r=475$ años de YO-1997 y $T_r=100$ años de GA-2006 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el $T_r=475$ años calculado por AB-2003, $T_r=475$ años de GA-2005, $T_r=45$ años de YO-1997 y $T_r=45$ años calculado

por GA-2006 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. Los espectros de respuesta de los sismos $M=8.1$ y $M=7.5$ quedan envueltos por los EPU para $Tr=20$ años en las ecuaciones de YO-2003 y GA-2006, en la ecuación de AB-2003 queda envuelto por el EPU para $Tr=100$ años y GA-2005 queda envuelto con el EPU para $Tr=2475$ años. Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $Tr=975$ años es de 0.547g de AB-2003, $Tr=2475$ años por GA-2005 es 0.728g, $Tr=475$ años para YO-1997 es 0.967g y $Tr=100$ años para GA-2006 es 0.727g mientras que para el MOC-2008 es 0.519g, las aceleraciones máximas para $Tr=975$ años por AB-2003 es 1.494g, $Tr=2475$ años es 1.526g de GA-2005, $Tr=475$ años para YO-1997 es 2.072g y para $Tr=100$ años para GA-2006 es 1.405g, mientras que para el MOC-2008 es 1.298g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.346g que coinciden con los EPU para $Tr=475$ años de AB-2003 es 0.465g, $Tr=475$ años por GA-2005 es 0.424g, para $Tr=45$ años para YO-1997 es 0.369g y para $Tr=45$ años para GA-2006 es 0.514g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.866g, para $Tr=475$ años de AB-2003 es $Tr=1.197g$, $Tr=475$ años por GA-2005 es 0.930g, para $Tr=45$ años para YO-1997 es 0.768g y para $Tr=45$ años para GA-2006 es 1.039g; para los espectros de los sismos de $M=8.1$ y 7.5 son 0.574g y 0.537g.

En la tabla V.15 la aceleración máxima para $Tr=475$ años es de 0.5343g para GO-2012 que coincide con el PGA calculado por MOC-2008 con 0.519g para estructuras del grupo A, los valores obtenidos por GO-2012 a partir del $Tr=45$ años son demasiado altos por lo que no sería correcto hacer comparaciones. Para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.346g que coincide con GO-2005 para $Tr=100$ años con 0.3301g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 1.298g y para el B es de 0.8680 pero la ecuación de GO-2012 no alcanza a cubrir estos valores.

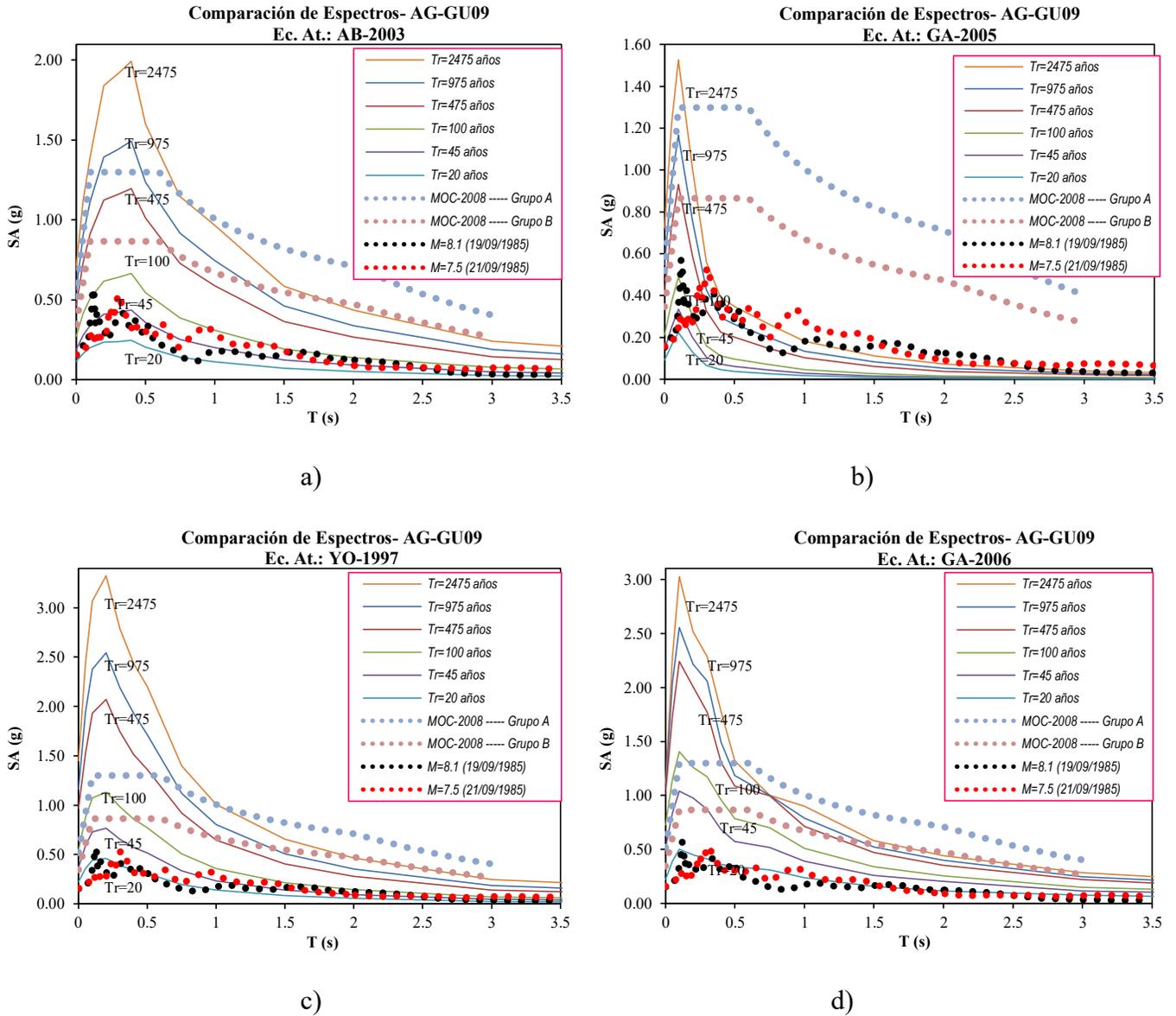


Figura V.18 Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-GU09

Tabla V.15 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU09

Periodo de retorno	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1239	0.2479	0.1627
$T_r=45$ años	0.2034	198900000.0000	0.2388
$T_r=100$ años	0.3077	-	0.3301
$T_r=475$ años	0.6042	-	0.5343
$T_r=975$ años	0.7906	-	0.6348
$T_r=2475$ años	1.0790	-	0.7661

- Para el punto AG-GU24, en la figura V.19 en los incisos “a, b, c y d” se muestran que el EPU de AB-2003 para $T_r=975$ años, $T_r=475$ años de GA-2005, $T_r=975$ años de YO-1997 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A de la ecuación de GA-2006 ningún EPU coincide. Para estructuras del grupo B el $T_r=475$ años calculado por AB-2003, $T_r=100$ años de GA-2005, $T_r=100$ años de YO-1997 y $T_r=2445$ años calculado por GA-2006 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. Los espectros de respuesta de los sismos $M=8.1$ y $M=7.5$ quedan envueltos por los EPU para $T_r=100$ años en las ecuaciones de AB-2003, YO-2003 y GA-2006, en la ecuación de GA-2005 queda envuelto por el EPU para $T_r=975$ años.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=975$ años es de 0.378g de AB-2003, $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.490g, $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.376g y $T_r=2745$ años para GA-2006 es 0.226g mientras que para el MOC-2008 es 0.294g, las aceleraciones máximas para $T_r=975$ años por AB-2003 es 0.697g, $T_r=475$ años es 1.068g de GA-2005, $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.753g mientras que para el MOC-2008 es 0.736g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.196g que coinciden con los EPU para $T_r=475$ años de AB-2003 es 0.287g, $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.252g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.220g y para $T_r=2475$ años para GA-2006 es 0.226g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.490g, para $T_r=475$ años de AB-2003 es 0.555g, $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.579g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.451g

y para $T_r=2475$ años para GA-2006 es 0.524g; para los espectros de los sismos de $M=8.1$, 7.5 y $M=7.6$ son 0.283g, 0.279g y 0.055g.

En la tabla V.15 la aceleración máxima para $T_r=45$ años es de 0.3096g para CL-2012, $T_r=100$ años con 0.4443g de GO-2005 y $T_r=100$ años con 0.2592g de GO-2012 coinciden con el PGA calculado por MOC-2008 con 0.294g para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.196g que coincide con CL-2012 para $T_r=20$ años con 0.1913g, $T_r=45$ años con 0.1802g de GO-2005 y $T_r=0.1889$ g de GO-2012. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 0.736g y coincide con $T_r=475$ años con 0.9376g de CL-2012 y $T_r=2475$ años con 0.6928g, para la ecuación de GO-2012 no coincide con el valor esperado. Para estructuras del grupo B para el MOC-2008 es de 0.490g y coincide con el $T_r=100$ años 0.4696g de CL-2012, $T_r=975$ años con 0.5449g de GO-2005 y $T_r=975$ años con 0.5149g de GO-2012.

Tabla V.16 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU24

Periodo de retorno	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1913	0.1177	0.1298
$T_r=45$ años	0.3096	0.1802	0.1889
$T_r=100$ años	0.4696	0.2560	0.2592
$T_r=475$ años	0.9376	0.4443	0.4295
$T_r=975$ años	1.2220	0.5449	0.5149
$T_r=2475$ años	1.7000	0.6928	0.6235

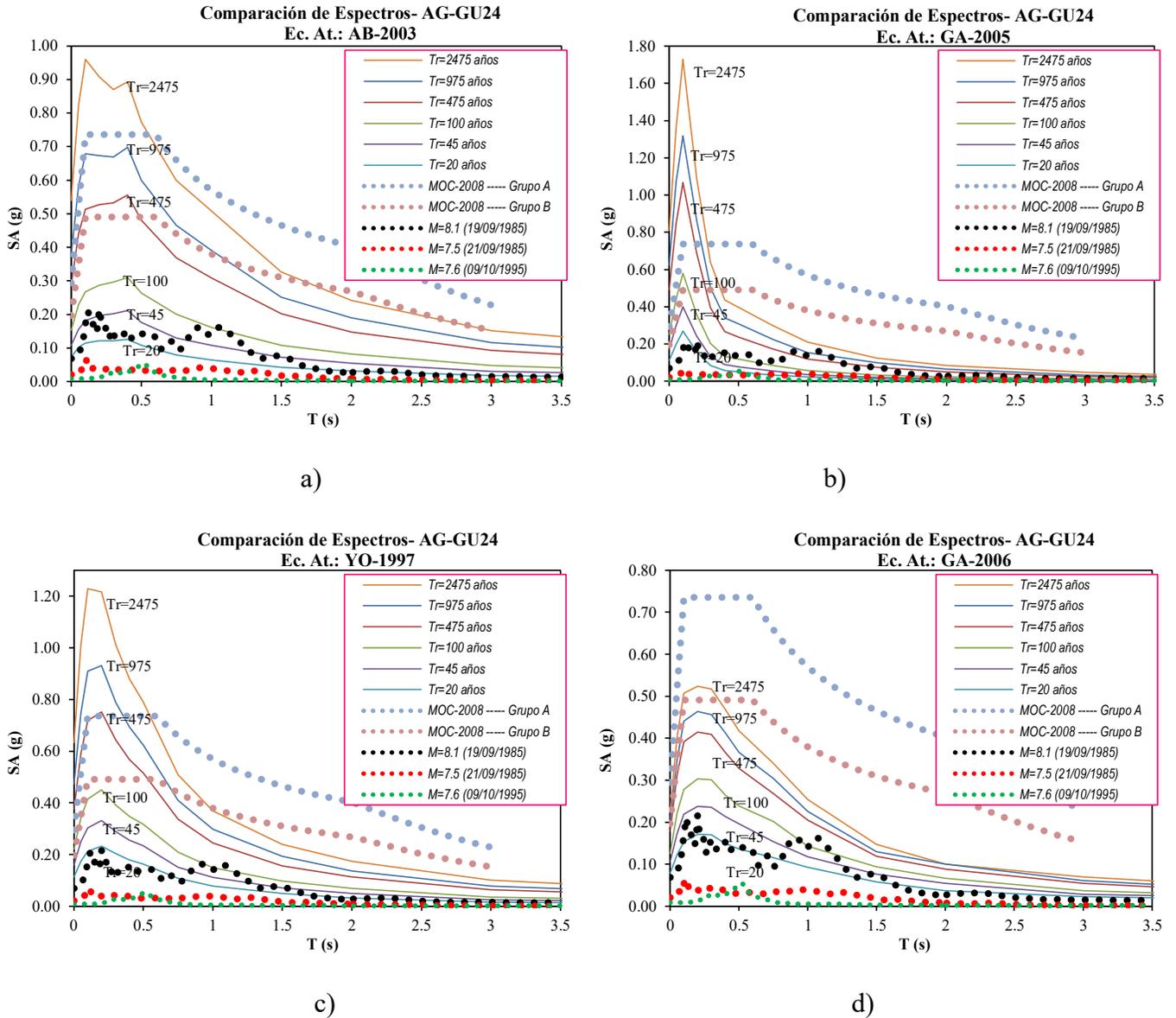


Figura V.19 Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismos del 19y 21 de septiembre de 1995 y 9 de octubre de 1995 para el punto AG-GU24

- Para el punto AG-GU27, en la figura V.20 en los incisos “a, b, c y d” se muestran que el EPU de AB-2003 para $T_r=975$ años, $T_r=2475$ años de GA-2005, $T_r=475$ años de YO-1997 y $T_r=475$ años de GA-2006 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el $T_r=475$ años calculado por AB-2003, $T_r=475$ años de GA-2005, $T_r=100$ años de YO-1997 y $T_r=45$ años calculado

por GA-2006 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. Los espectros de respuesta de los sismos $M=8.1$ y $M=7.5$ quedan envueltos por los EPU para $T_r=45$ años en las ecuaciones de YO-2003 y GA-2006, en la ecuación de AB-2003 queda envuelto por el EPU para $T_r=100$ años y para GA-2005 queda envuelto con el EPU para $T_r=2475$ años.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=975$ años es de 0.558g de AB-2003, $T_r=2475$ años por GA-2005 es 0.717g, $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.868g y $T_r=475$ años para GA-2006 es 0.860g mientras que para el MOC-2008 es 0.554g, las aceleraciones máximas para $T_r=975$ años por AB-2003 es 1.488g, $T_r=2475$ años es 1.145g de GA-2005, $T_r=475$ años para YO-1997 es 1.831g y para $T_r=475$ años para GA-2006 es 1.916g, mientras que para el MOC-2008 es 1.385g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.369g que coinciden con los EPU para $T_r=475$ años de AB-2003 es 0.461g, $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.413g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.503g y para $T_r=100$ años para GA-2006 es 0.591g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.923g, para $T_r=475$ años de AB-2003 es $T_r=1.194g$, $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.907g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 1.050g y para $T_r=45$ años para GA-2006 es 0.908g; para los espectros de los sismos de $M=8.1$ y 7.5 son 0.395g y 0.305g.

Tabla V.17 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU27

Periodo de retorno	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1272	0.2621	0.1625
$T_r=45$ años	0.2058	0.9729	0.2382
$T_r=100$ años	0.3079	2.1620	0.3291
$T_r=475$ años	0.5937	6.2150	0.5330
$T_r=975$ años	0.7720	10.1300	0.6333
$T_r=2475$ años	1.0470	19.0700	0.7648

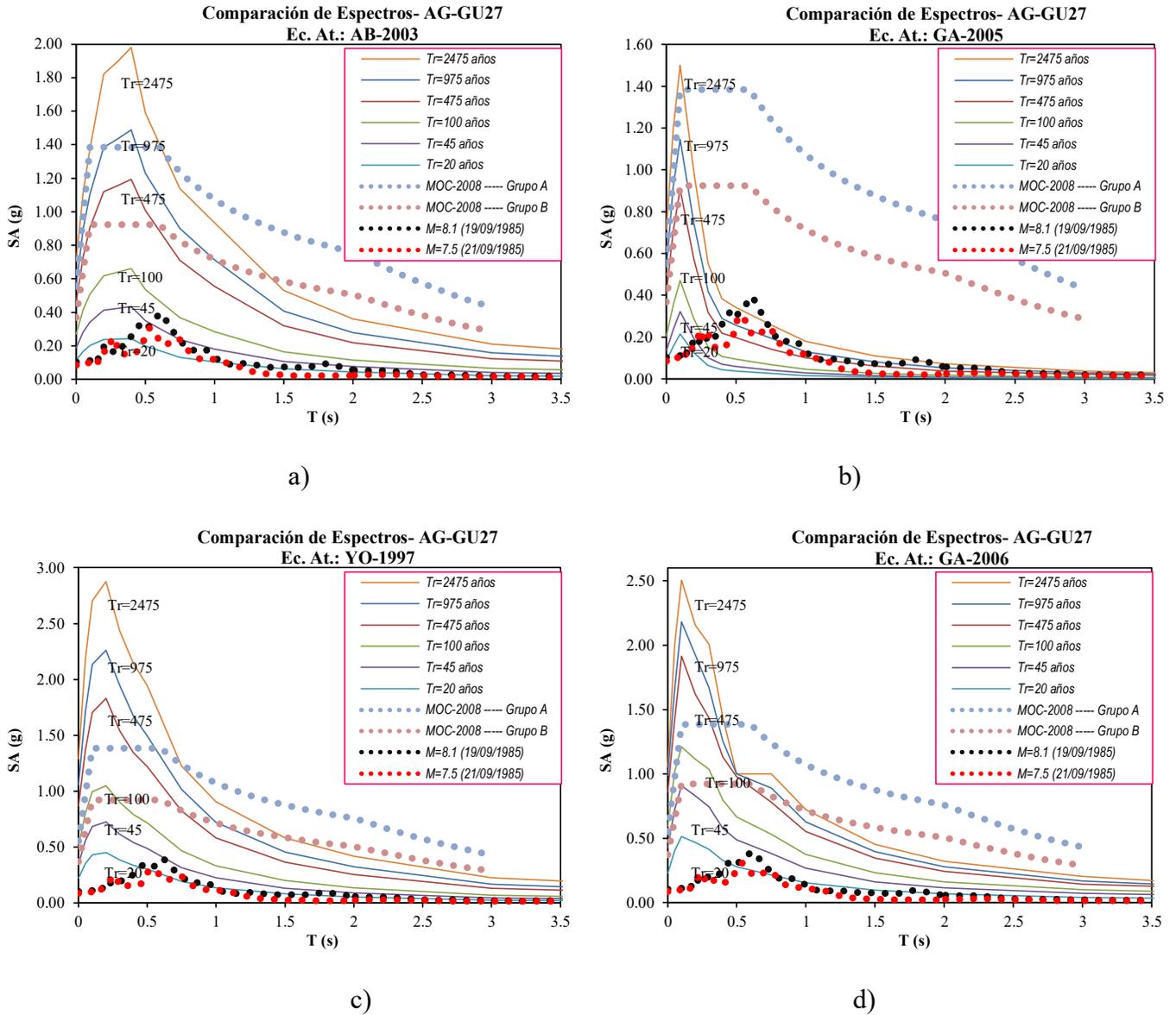


Figura V.20 Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1985 para el punto AG-GU27

En la tabla V.17 la aceleración máxima para $Tr=475$ años es de 0.5937g de CL-2012, $Tr=0.5330g$ de GO-2012 coinciden con el PGA calculado por MOC-2008 con 0.554g para estructuras del grupo A, los valores obtenidos por GO-2012 a partir del $Tr=100$ años son demasiado altos por lo que no sería correcto hacer comparaciones. Para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.369g coincide con CL-2012 para $Tr=100$ años

con 0.3079g y GO-2005 para $T_r=100$ años con 0.3291g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 1.385g pero ninguna ecuación coincide con este valor, para el B es de 0.923 y coincide con la ecuación de GO-2012 para $T_r=2475$ años con 1.0470g.

- Para el punto AG-GU28, en la figura V.21 en los incisos “a, b, c y d” se muestran que el EPU de AB-2003 para $T_r=975$ años, $T_r=2475$ años de GA-2005, $T_r=475$ años de YO-1997 y $T_r=475$ años de GA-2006 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el $T_r=475$ años calculado por AB-2003, $T_r=475$ años de GA-2005, $T_r=100$ años de YO-1997 y $T_r=100$ años calculado por GA-2006 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. Los espectros de respuesta de los sismos $M=8.1$ y $M=7.5$ quedan envueltos por los EPU para $T_r=20$ años en las ecuaciones de AB-2003, YO-2003, GA-2006 para GA-2005 queda envuelto con el EPU para $T_r=100$ años.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=975$ años es de 0.543g de AB-2003, $T_r=2475$ años por GA-2005 es 0.728g, $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.802g y $T_r=475$ años para GA-2006 es 0.742g mientras que para el MOC-2008 es 0.534g, las aceleraciones máximas para $T_r=975$ años por AB-2003 es 1.429g, $T_r=2475$ años es 1.529g de GA-2005, $T_r=475$ años para YO-1997 es 1.642g y para $T_r=475$ años para GA-2006 es 1.593g, mientras que para el MOC-2008 es 1.334g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.356g que coinciden con los EPU para $T_r=475$ años de AB-2003 es 0.445g, $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.420g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.465g y para $T_r=100$ años para GA-2006 es 0.512g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.890g, para $T_r=475$ años de AB-2003 es 1.150g, $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.925g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.969g y para $T_r=100$ años para GA-2006 es 1.079g; para los espectros de los sismos de $M=8.1$ y 7.5 son 0.218g y 0.354g.

En la tabla V.18 la aceleración máxima para $T_r=475$ años es de 0.6213g de CL-2012, $T_r=475$ años con 0.5348g de GO-2012 coinciden con el PGA calculado por MOC-2008 con 0.534g para estructuras del grupo A, los valores obtenidos por GO-2012 a partir del $T_r=100$ años son demasiado altos por lo que no sería correcto hacer comparaciones. Para

estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.356g coincide con CL-2012 para $T_r=100$ años con 0.3224g y GO-2005 para $T_r=100$ años con 0.3305g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 1.334g pero ninguna ecuación coincide con este valor, para el B es de 0.890 y coincide aproximadamente con la ecuación de GO-2012 para $T_r=2475$ años con 1.0890g.

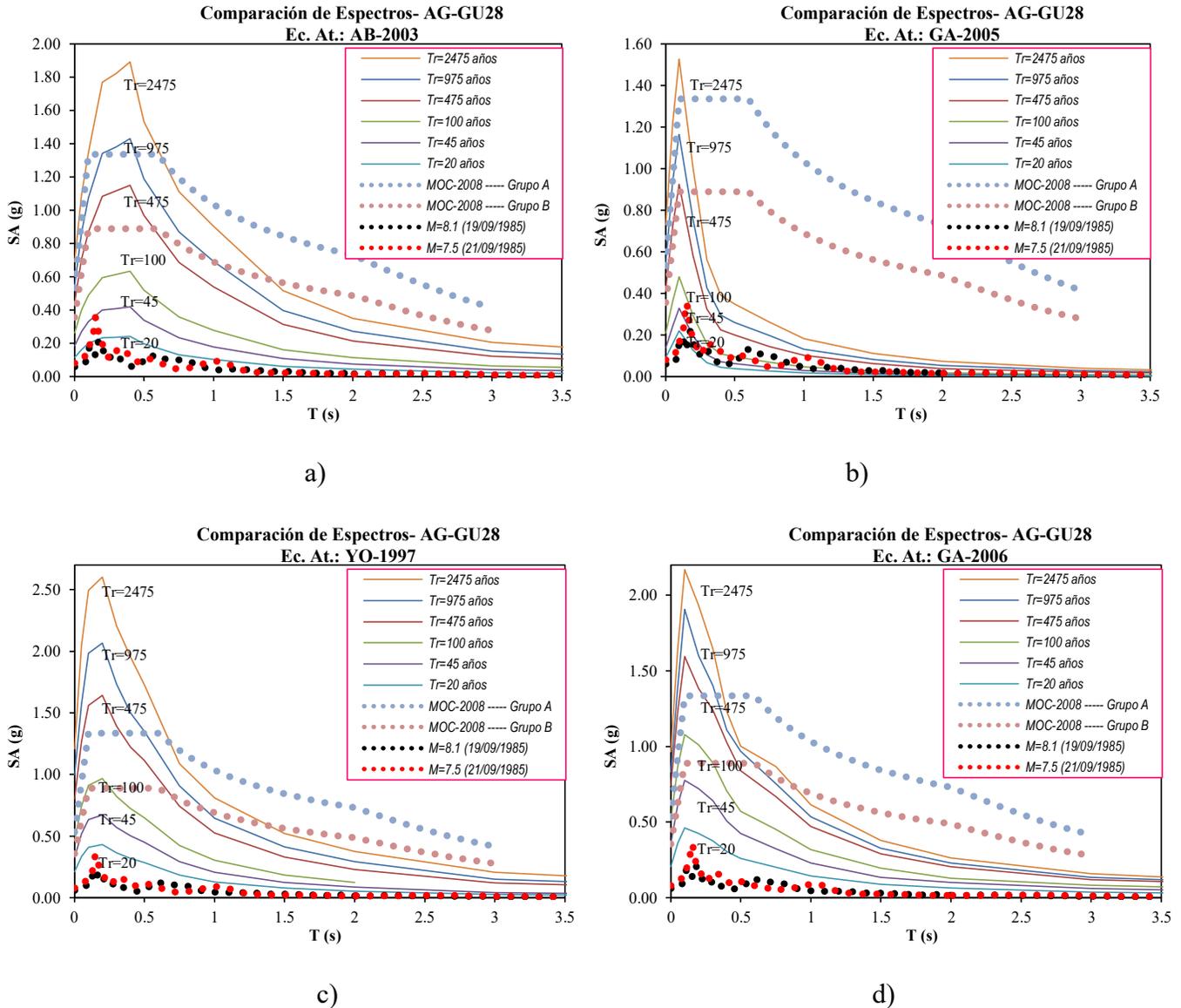


Figura V.21 Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1985 y para el punto AG-GU28

Tabla V.18 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU28

Periodo de retorno	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1337	0.2338	0.1637
$T_r=45$ años	0.2157	0.6044	0.2395
$T_r=100$ años	0.3224	1.1680	0.3305
$T_r=475$ años	0.6213	2.7040	0.5348
$T_r=975$ años	0.8062	3.7190	0.6356
$T_r=2475$ años	1.0890	5.6180	0.7667

- Para el punto AG-GU31, en la figura V.22 en los incisos “a, b, c y d” se muestran que el EPU de AB-2003 para $T_r=975$ años, $T_r=475$ años de GA-2005 y $T_r=975$ años de YO-1997 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A, ninguno de los EPU de la ecuación de GA-2006 coinciden con los del MOC-2008. Para estructuras del grupo B el $T_r=475$ años calculado por AB-2003, $T_r=100$ años de GA-2005 y $T_r=475$ años de YO-1997 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. El espectro de respuesta del sismo $M=7.6$ queda envuelto por todos los EPU de todas la ecuaciones.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=975$ años es de 0.374g de AB-2003, $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.470g, $T_r=975$ años para YO-1997 es 0.451g mientras que para el MOC-2008 es 0.293g, las aceleraciones máximas para $T_r=975$ años por AB-2003 es 0.665g, $T_r=475$ años es 1.039g de GA-2005, $T_r=975$ años para YO-1997 es 0.878g y para el MOC-2008 es 0.733g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.195g que coinciden con los EPU para $T_r=475$ años de AB-2003 es 0.273g, $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.244g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.346g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.489g, para $T_r=475$ años de AB-2003 es 0.486g, $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.562g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.685g; para los espectros de los sismos de $M=8.1$ y 7.5 son 0.218g y 0.354g.

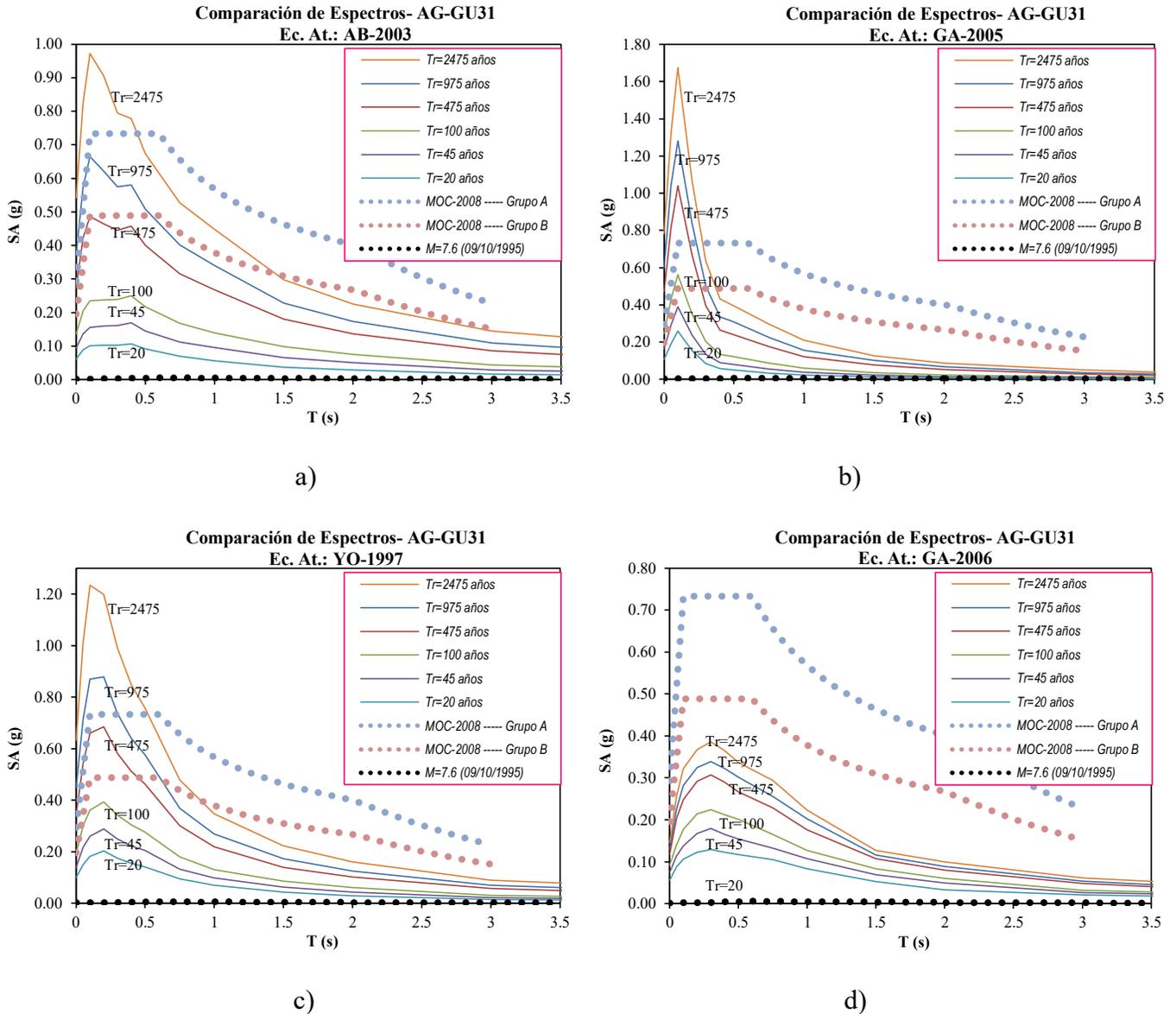


Figura V.22 Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta del sismo 9 de octubre de 1995 para el punto AG-GU31

En la tabla V.19 la aceleración máxima para $Tr=45$ años es de 0.3309g de CL-2012, $Tr=475$ años con 0.3621g de GO-2005, $Tr=100$ años con 0.2521g de GO-2012 coinciden con el PGA calculado por MOC-2008 con 0.293g para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.195g coincide con CL-2012 para $Tr=20$ años con 0.2062g, $Tr=100$ años con 0.2132g de GO-2005 y GO-2012 para $Tr=45$ años con 0.1806g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del

grupo A es 0.733g que coinciden $T_r=475$ años de CL-2012 pero para GO-2005 y GO-2012 no tienen un valor aproximado, para el B es de 0.489 y coinciden con la ecuación de GO-2012 para $T_r=100$ años con 0.5011g, $T_r=975$ años con 0.5722g de GO-2005 y $T_r=975$ años con 0.5170g de GO-2012.

Tabla V.19 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU31

Periodo de retorno	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.2062	0.1050	0.1232
$T_r=45$ años	0.3309	0.1512	0.1806
$T_r=100$ años	0.5011	0.2132	0.2521
$T_r=475$ años	0.9940	0.3621	0.4284
$T_r=975$ años	1.2850	0.4471	0.5170
$T_r=2475$ años	1.7910	0.5722	0.6298

- Para el punto AG-GU36, en la figura V.23 en los incisos “a, b, c y d” se muestran que el EPU de AB-2003 para $T_r=975$ años, $T_r=2475$ años de GA-2005 y $T_r=475$ años de YO-1997, $T_r=975$ años de GA-2006 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el $T_r=475$ años calculado por AB-2003, $T_r=975$ años de GA-2005, $T_r=100$ años de YO-1997 y $T_r=100$ años de GA-2006 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. Los espectros de respuesta de los sismos $M=8.1$ y 7.6 queda envuelto por todos los EPU para $T_r=20$ años de todas la ecuaciones.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=975$ años es de 0.571g de AB-2003, $T_r=2475$ años por GA-2005 es 0.700g, $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.451g, $T_r=475$ años es 0.903g de GA-2006 mientras que para el MOC-2008 es 0.572g, las aceleraciones máximas para $T_r=975$ años por AB-2003 es 1.538g, $T_r=2475$ años es 1.459g de GA-2005, $T_r=975$ años para YO-1997 es 1.985g, $T_r=475$ años con 2.039g de GA-2006 y para el MOC-2008 es 1.429g, todo para estructuras del grupo A.

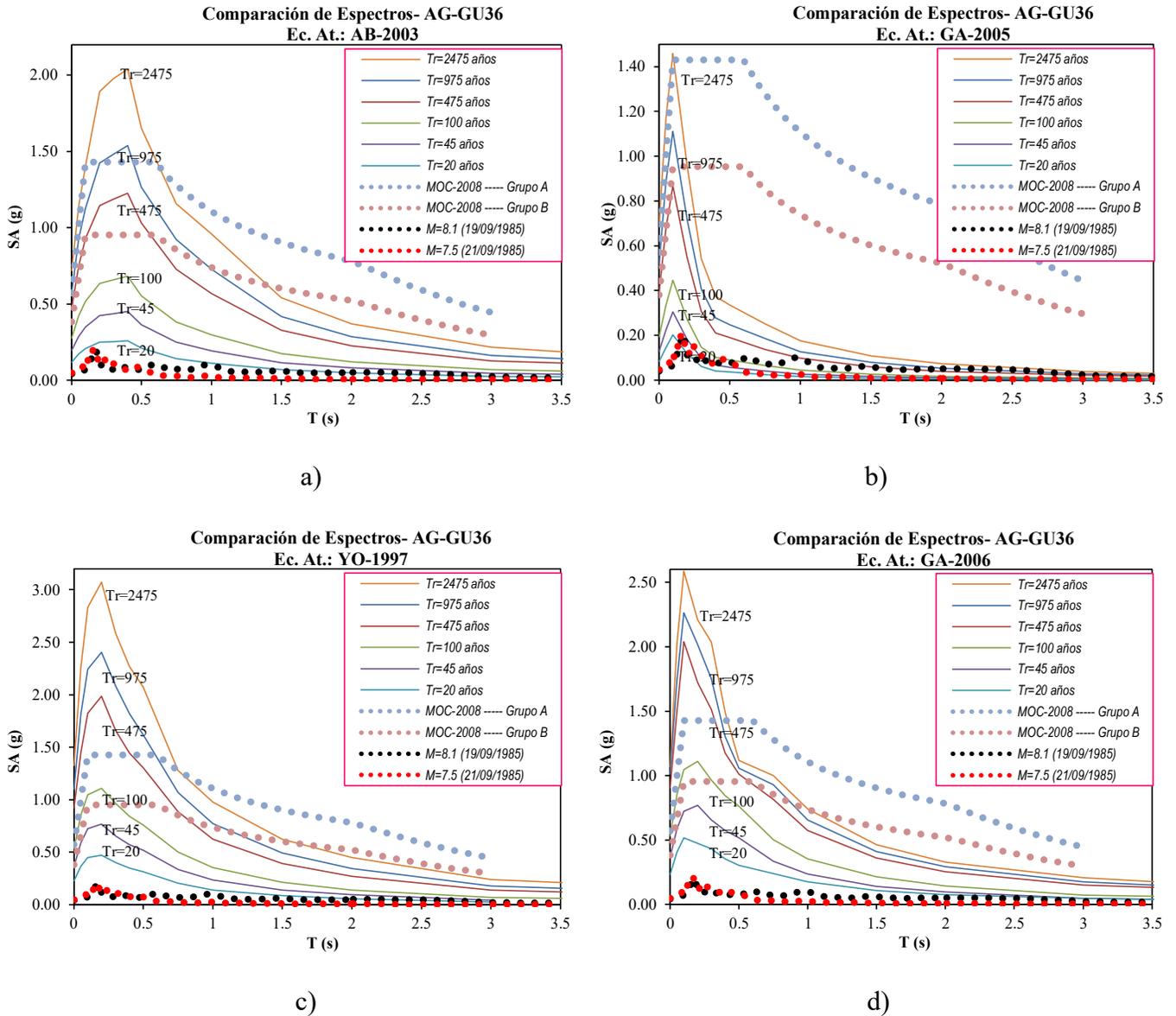


Figura V.23 Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-GU36

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.381g que coinciden con los EPU para $T_r=475$ años de AB-2003 es 0.470g, $T_r=975$ años por GA-2005 es 0.517g, $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.530g, $T_r=100$ años es 0.651g de GA-2006, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.953g, para $T_r=475$ años de AB-2003 es 1.226g, $T_r=975$ años por GA-2005 es 1.111g, $T_r=100$ años es 1.110g para YO-1997, $T_r=100$ años es

1.315g de GA-2006; para los espectros de los sismos de M=8.1 y 7.5 son 0.204g y 0.208g.

En la tabla V.20 la aceleración máxima para Tr=475 años es de 0.6087g de CL-2012 y Tr=975 años con 0.6322g de GO-2012 coinciden con el PGA calculado por MOC-2008 con 0.572g para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.381g coincide con CL-2012 para Tr=100 años con 0.2187g, Tr=100 años con 0.3289g de GO-2012. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 1.429g y para el B es de 0.953g este último solo coincide con Tr=2475 años de CL-2012 con 1.0610g, para GO-2005 muestra valores altos por lo que, la comparación de resultados no es posible.

Tabla V.20 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU36

Periodo de retorno	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
Tr=20 años	0.1331	0.3254	0.1629
Tr=45 años	0.2140	1.2850	0.2385
Tr=100 años	0.3187	2.5780	0.3289
Tr=475 años	0.6087	7.3870	0.5321
Tr=975 años	0.7872	12.0200	0.6322
Tr=2475 años	1.0610	22.5900	0.7639

- Para el punto AG-GU42, en la figura V.24 en los incisos “a, b, c y d” se muestran que el EPU de AB-2003 para Tr=475 años, Tr=975 años de GA-2005, Tr=475 años de YO-1997 y Tr=975 años de GA-2006 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el Tr=475 años calculado por AB-2003, Tr=475 años de GA-2005, Tr=100 años de YO-1997 y Tr=100 años de GA-2006 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. Los espectros de respuesta de los sismos M=8.1 y 7.6 queda envuelto por todos los EPU para Tr=20 años de todas la ecuaciones.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para Tr=975 años es de 0.524g de AB-2003, Tr=975 años por GA-2005 es 0.533g, Tr=475 años para YO-1997 es 0.722g,

Tr=975 años es 0.590g de GA-2006 mientras que para el MOC-2008 es 0.483g, las aceleraciones máximas para Tr=975 años por AB-2003 es 1.377g, Tr=975 años es 0.942g de GA-2005, Tr=475 años para YO-1997 es 1.207g, Tr=975 años con 1.300g de GA-2006 y para el MOC-2008 es 1.429g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.322g que coinciden con los EPU para Tr=475 años de AB-2003 es 0.431g, Tr=975 años por GA-2005 es 0.533g, Tr=100 años para YO-1997 es 0.427g, Tr=100 años es 0.390g de GA-2006, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.953g, para Tr=475 años de AB-2003 es 1.122g, Tr=975 años por GA-2005 es 1.147g, Tr=100 años es 0.878g para YO-1997, Tr=100 años es 0.865g de GA-2006; para los espectros de los sismos de M=8.1 y 7.5 son 0.091g y 0.062g.

Tabla V.21 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU42

Periodo de retorno	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
<i>T_r</i> =20 años	0.1580	0.2437	0.1658
<i>T_r</i> =45 años	0.2535	0.4525	0.2421
<i>T_r</i> =100 años	0.3792	0.7086	0.3336
<i>T_r</i> =475 años	0.7278	1.3000	0.5395
<i>T_r</i> =975 años	0.9415	1.6510	0.6417
<i>T_r</i> =2475 años	1.2540	2.1650	0.7718

En la tabla V.21 la aceleración máxima para Tr=475 años es de 0.3792g de CL-2012 que es el más aproximado, Tr=45 años con 0.4525g de GO-2005 y Tr=475 años con 0.5395g de GO-2012 coinciden con el PGA calculado por MOC-2008 con 0.483g para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.322g los más aproximados son CL-2012 para Tr=100 años con 0.3797g, Tr=20 años con 0.2437g de GO-2005 y Tr=100 años con 0.3336g de GO-2012. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 1.207g coinciden con Tr=2475 años con 1.2540g de CL-2012 y Tr=475 años con 1.300g de GO-2005, GO-2012 no tiene un valor aproximado para esta aceleración y para el B es de 0.805g coincide con Tr=975 años de

CL-2012 con 0.9415g, $T_r=100$ años con 0.7086g de GO-2005 y $T_r=2475$ años con 0.7718g de GO-2012.

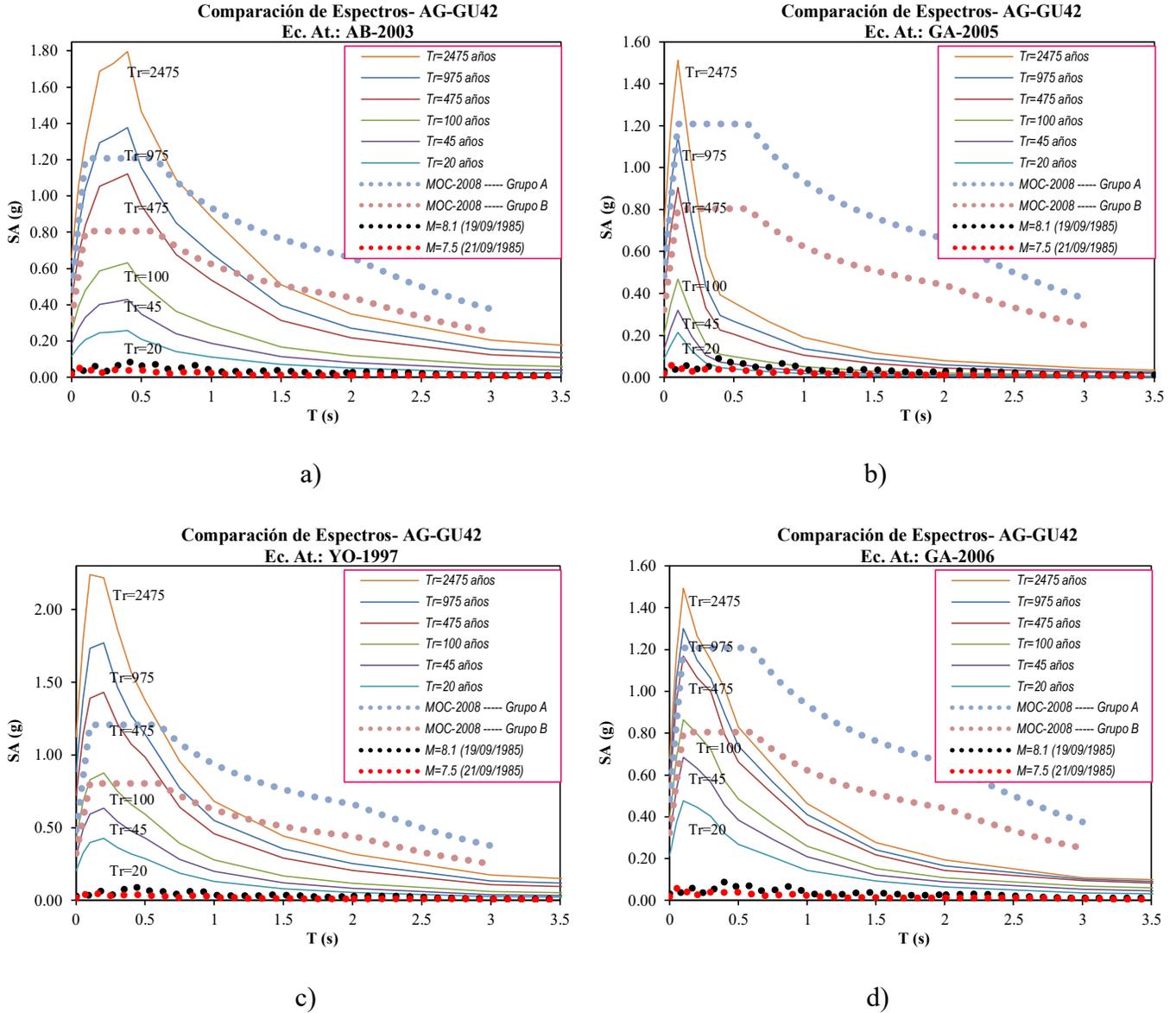


Figura V.24 Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1995 para el punto AG-GU42

- Para el punto AG-GU43, en la figura V.25 en los incisos “a, b, c y d” se muestran que el EPU de AB-2003 para $T_r=975$ años, $T_r=2475$ años de GA-2005, $T_r=475$ años de YO-

1997 y $T_r=475$ años de GA-2006 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el $T_r=475$ años calculado por AB-2003, $T_r=975$ años de GA-2005, $T_r=100$ años de YO-1997 y $T_r=100$ años de GA-2006 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. Los espectros de respuesta de los sismos $M=8.1$ y 7.6 queda envuelto por todos los EPU para $T_r=20$ años de todas la ecuaciones.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=975$ años es de $0.570g$ de AB-2003, $T_r=2475$ años por GA-2005 es $0.657g$, $T_r=475$ años para YO-1997 es $0.951g$, $T_r=475$ años es $0.989g$ de GA-2006 mientras que para el MOC-2008 es $0.585g$, las aceleraciones máximas para $T_r=975$ años por AB-2003 es $1.558g$, $T_r=975$ años es $1.379g$ de GA-2005, $T_r=475$ años para YO-1997 es $2.046g$, $T_r=475$ años con $2.140g$ de GA-2006 y para el MOC-2008 es $1.461g$, todo para estructuras del grupo A.

Tabla V.22 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU43

Periodo de retorno	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1306	0.3794	0.1613
$T_r=45$ años	0.2103	1.9970	0.2365
$T_r=100$ años	0.3130	29.2800	0.3265
$T_r=475$ años	0.5966	5413.0000	0.5295
$T_r=975$ años	0.7712	60580.0000	0.6292
$T_r=2475$ años	1.0400	1381000.0000	0.7613

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es $0.390g$ que coinciden con los EPU para $T_r=475$ años de AB-2003 es $0.473g$, $T_r=975$ años por GA-2005 es $0.484g$, $T_r=100$ años para YO-1997 es $0.545g$, $T_r=100$ años es $0.699g$ de GA-2006, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de $0.974g$, para $T_r=475$ años de AB-2003 es $1.248g$, $T_r=975$ años por GA-2005 es $1.052g$, $T_r=100$ años es $1.144g$ para YO-1997, $T_r=100$ años es $1.377g$ de GA-2006; para los espectros de los sismos de $M=8.1$ y 7.5 son $0.071g$ y $0.090g$.

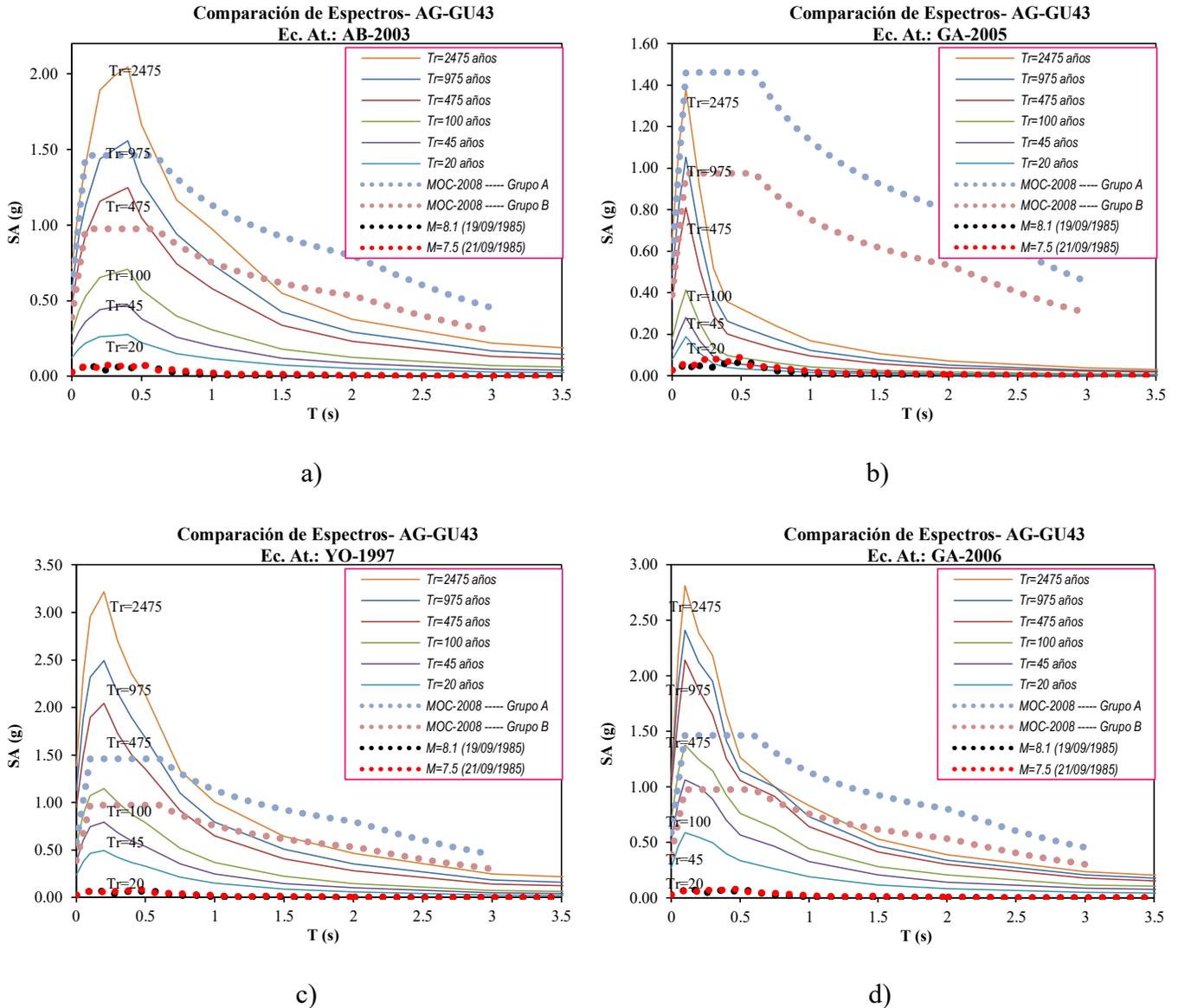


Figura V.25 Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), Espectros de diseño calculados con PRODISIS y Espectros de respuesta de los sismo del 19 y 21 de septiembre de 1985 para el punto AG-GU43

En la tabla V.22 la aceleración máxima para $T_r=475$ años es de 0.5966g de CL-2012 y $T_r=975$ años con 0.6292g de GO-2012 coinciden con el PGA calculado por MOC-2008 con 0.585g para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.390g los más aproximados son CL-2012 para $T_r=100$ años con 0.3130g y $T_r=100$ años con 0.3265g de GO-2012. En aceleraciones máximas para el MOC-2008

para estructuras del grupo A es 1.461g pero ninguna ecuación tiene un valor aproximado para esta aceleración para el estructuras del grupo B es de 0.974g coincide con $Tr=2475$ años de CL-2012 con 1.040g y para GO-2012 tampoco tiene valores aproximados a esta aceleración. En la Ecuación GO-2005 a partir de $Tr=100$ años tiene valores muy altos por lo que las comparaciones no pueden ser posibles.

En las figuras V.26 a V.36 y tablas V.23 a V.33, se comparan los EPU y las aceleraciones máximas calculadas para las diferentes ecuaciones de atenuación, presentadas en este trabajo para los puntos AG-MI44, AG-MI52, AG-GU11, AG-GU14, AG-GU19, AG-GU50, AG-OA04, AG-OA16, AG-OA26, AG-OA29 y AG-OA37 con los espectros de diseño obtenidos por el MOC-2008, las observaciones se presentan a continuación:

- Para el punto AG-MI44, en la figura V.26 en los incisos “a, b y c” se muestran que el EPU de GA-2005 para $Tr=475$ años coincide con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A, mientras que para YO-1997 es el EPU para $Tr=475$ años y GA-2006 se encuentra entre $Tr=475$ años. Para estructuras del grupo B el $Tr=100$ años calculado por GA-2005, el EPU para $Tr=100$ años de YO-1997 y el EPU para $Tr=100$ años calculado por GA-2006 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $Tr=475$ años por GA-2005 es 0.470g, para $Tr=475$ años para YO-1997 es 0.620g y para $Tr=475$ años para GA-2006 es 0.395g mientras que para el MOC-2008 es 0.369g, las aceleraciones máximas para $Tr=475$ años por GA-2005 es 1.031g, para $Tr=475$ años para YO-1997 es 1.203g y para $Tr=475$ años para GA-2006 es 0.902g y g mientras que para el MOC-2008 es 0.923g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.246g para $Tr=100$ años por GA-2005 es 0.239g, para $Tr=100$ años para YO-1997 es 0.345g y para $Tr=100$ años para GA-2006 es 0.273g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.615g, para $Tr=100$ años por GA-2005 es 0.547g, para $Tr=100$ años para YO-1997 es 0.699g y para $Tr=100$ años para GA-2006 es 0.614g.

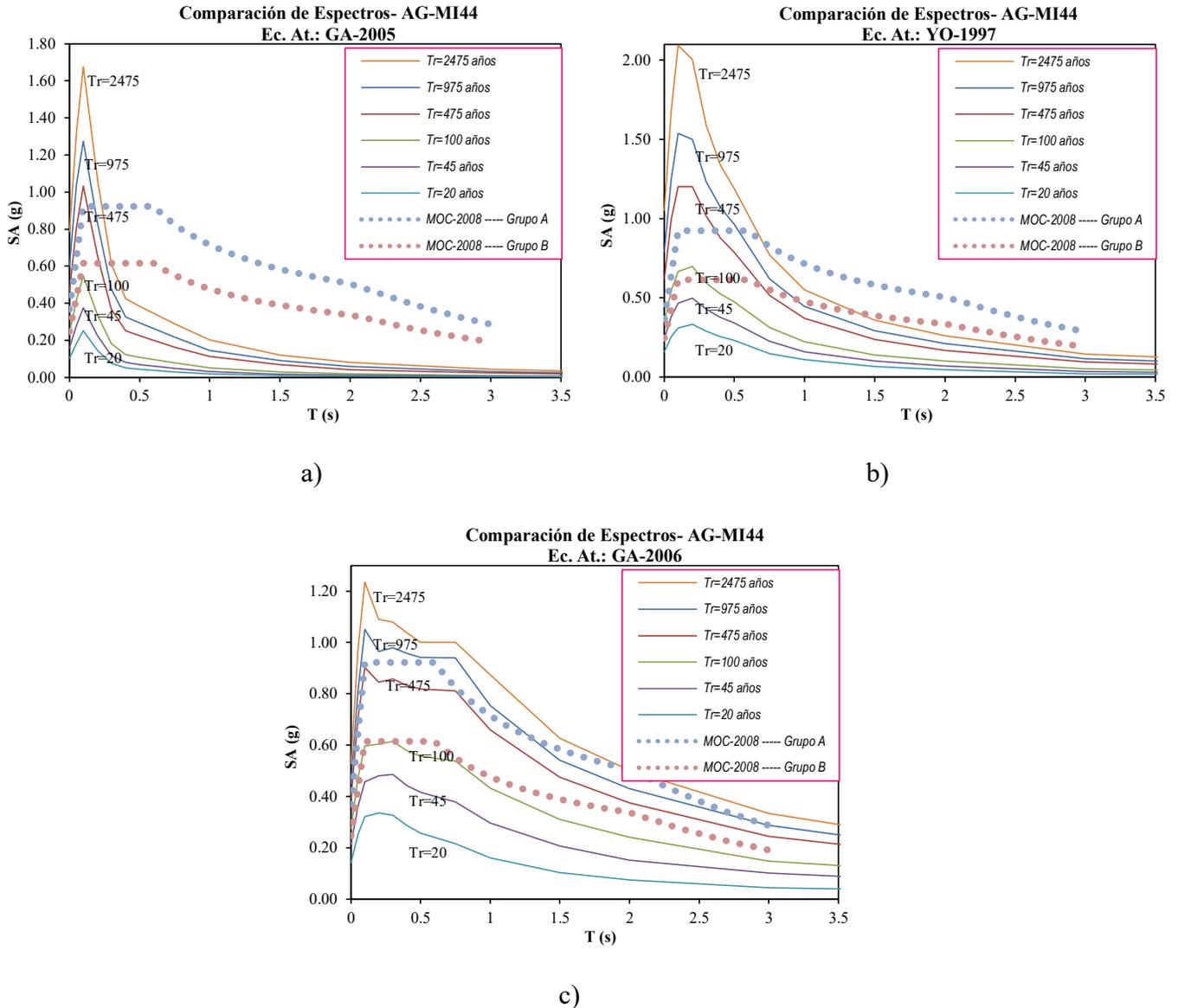


Figura V.26 Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-MI44

En la tabla V.23 la aceleración máxima para $T_r=100$ años es de 0.4237g para GO-2005 y 0.3179g para $T_r=100$ años para GO-2012 que son aproximados al PGA calculado por MOC-2008 con 0.369g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.246g que coincide con GO-2005 para $T_r=45$ años con 0.2743g y para GO-20012 con $T_r=100$ años que tiene 0.2284g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 0.923g y coinciden con el $T_r=975$ años con

1.018g de GO-2005 y GO-2012 no presenta ningún valor aproximada a esta aceleración, para estructuras del grupo B por el MOC-2008 es 0.615g y coinciden con el $T_r=475$ años con 0.7994g de GO-2005 y para $T_r=975$ años con 0.6265g de GO-2012.

Tabla V.23 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-MI44

Periodo de retorno	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1544	0.1550
$T_r=45$ años	0.2743	0.2284
$T_r=100$ años	0.4237	0.3179
$T_r=475$ años	0.7994	0.5251
$T_r=975$ años	1.0180	0.6265
$T_r=2475$ años	1.2900	0.7613

- Para el punto AG-MI52, en la figura V.27 en los incisos “a, b y c” se muestran que el EPU de GA-2005 para $T_r=2475$ años coincide con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A, mientras que para YO-1997 es el EPU para $T_r=475$ años y GA-2006 se encuentra entre $T_r=475$ años. Para estructuras del grupo B el $T_r=475$ años calculado por GA-2005, el EPU para $T_r=100$ años de YO-1997 y el EPU para $T_r=100$ años calculado por GA-2006 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=2475$ años por GA-2005 es 0.733g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.807g y para $T_r=475$ años para GA-2006 es 0.826g mientras que para el MOC-2008 es 0.511g, las aceleraciones máximas para $T_r=2475$ años por GA-2005 es 1.534g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 1.647g y para $T_r=475$ años para GA-2006 es 1.751g y g mientras que para el MOC-2008 es 1.277g, todo para estructuras del grupo A.

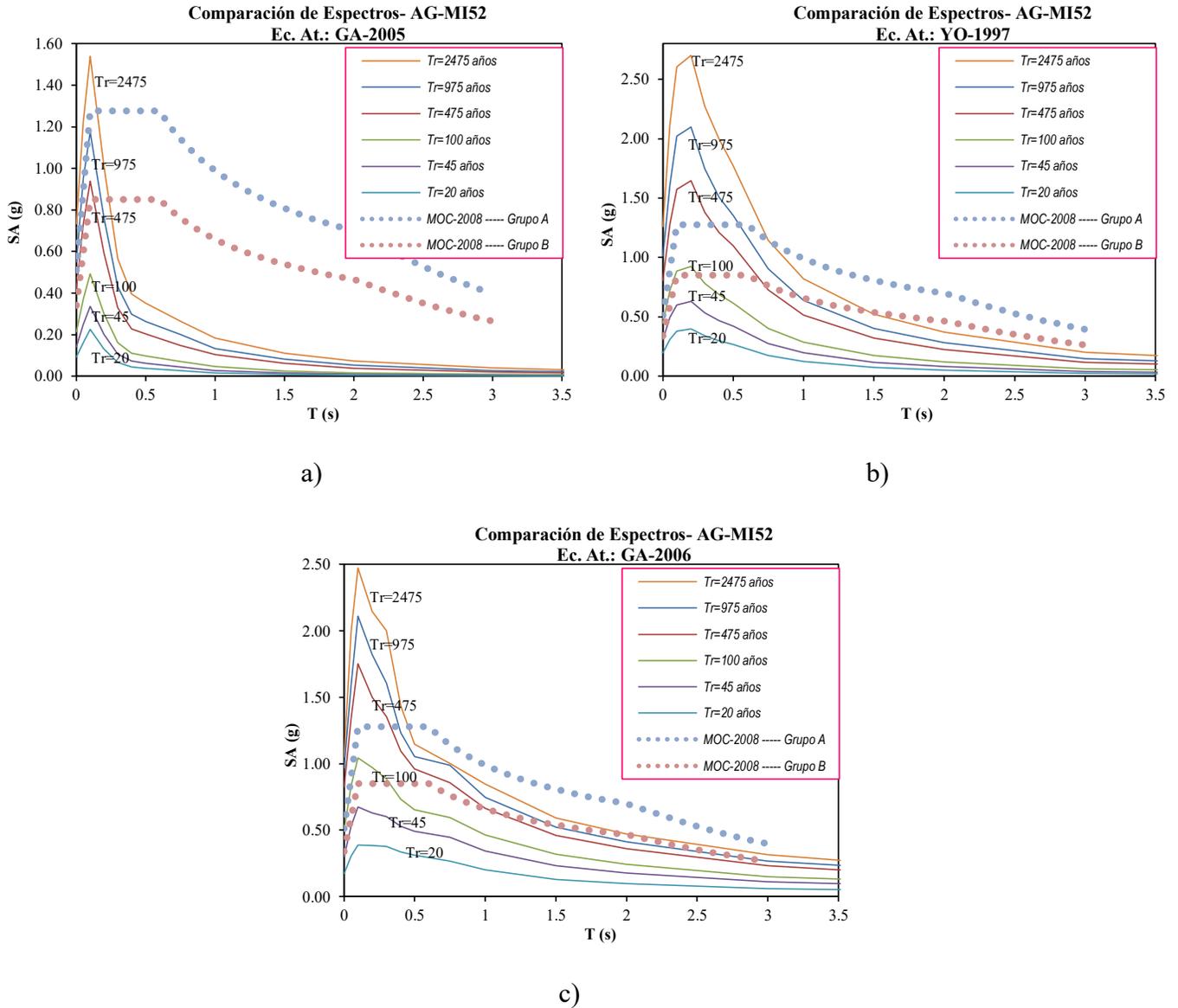


Figura V.27 Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-MI52

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.341g para Tr=475 años por GA-2005 es 0.427g, para Tr=100 años para YO-1997 es 0.451g y para Tr=100 años para GA-2006 es 0.502g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.851g, para Tr=475 años por GA-2005 es 0.939g, para Tr=100 años para YO-1997 es 0.926g y para Tr=100 años para GA-2006 es 1.044g.

En la tabla V.24 la aceleración máxima para $T_r=100$ años es de 0.4237g para GO-2005 y 0.3179g para $T_r=100$ años para GO-2012 que son aproximados al PGA calculado por MOC-2008 con 0.511g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.341g que coincide con GO-20012 con $T_r=100$ años que tiene 0.3305g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 1.277g y para el B es 0.851g el cual no coincide con ningún valor por GO-2012, en la ecuación por GO-2005 muestra resultados elevados por lo que no es posible la comparación de resultados.

Tabla V.24 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-MI52

Periodo de retorno	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1836	0.1631
$T_r=45$ años	0.4662	0.2392
$T_r=100$ años	2.3500	0.3305
$T_r=475$ años	29.5700	0.5350
$T_r=975$ años	95.4400	0.6357
$T_r=2475$ años	434.9000	0.7668

- Para el punto AG-GU11, en la figura V.28 en los incisos “a, b, c y d” se muestran que el EPU de AB-2003 para $T_r=975$ años, $T_r=475$ años de GA-2005, $T_r=975$ años de YO-1997 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A, para la ecuación de GA-2006 tiene valores pequeños para estas estructuras. Para estructuras del grupo B el $T_r=475$ años de AB-2003, $T_r=100$ años de GA-2005 y $T_r=475$ años de YO-1997 son los que tienen más coincidencia con el espectro calculado por MOC-2008. Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=975$ años por AB-2003 es 0.373g, $T_r=475$ años es 0.497g de GA-2005, $T_r=975$ años para YO-1997 es 0.430g mientras que para el MOC-2008 es 0.291g, las aceleraciones máximas para $T_r=975$ años por AB-2003 es 0.663g, $T_r=475$ años es g de GA-2005 es 1.077g, para $T_r=975$ años para YO-1997 es 0.857g mientras que para el MOC-2008 es 0.726g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.194g para $T_r=475$ años por AB-2003 es 0.279g, $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.258g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.340g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.484g para $T_r=475$ años de AB-2003 es 0.501g, $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.589g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.690g.

Tabla V.25 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU11

Periodo de retorno	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1795	0.1042	0.1217
$T_r=45$ años	0.2971	0.1568	0.1767
$T_r=100$ años	0.4565	0.2271	0.2460
$T_r=475$ años	0.9290	0.4025	0.4204
$T_r=975$ años	1.2190	0.5003	0.5106
$T_r=2475$ años	1.7070	0.6316	0.6248

En la tabla V.25 la aceleración máxima para $T_r=45$ años de CL-2012 es 0.2971g, $T_r=100$ años es de 0.2271g para GO-2005 y 0.2460g para $T_r=100$ años para GO-2012 que son aproximados al PGA calculado por MOC-2008 con 0.291g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.194g que coincide con CL-20012 para $T_r=20$ años con 0.1795g, GO-2005 para $T_r=45$ años con 0.1568g y para GO-20012 con $T_r=45$ años que tiene 0.1767g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 0.726g y coinciden con el $T_r=975$ años con 1.7070g de CL-2012, GO-2005 y GO-2012 no presenta ningún valor aproximada a esta aceleración, para estructuras del grupo B por el MOC-2008 es 0.484g y coinciden con el $T_r=100$ años con 0.4565g de CL-2012 y para GO-2005 y GO-2012 coindicen ambos con $T_r=100$ años con 0.4025g y 0.4204g.

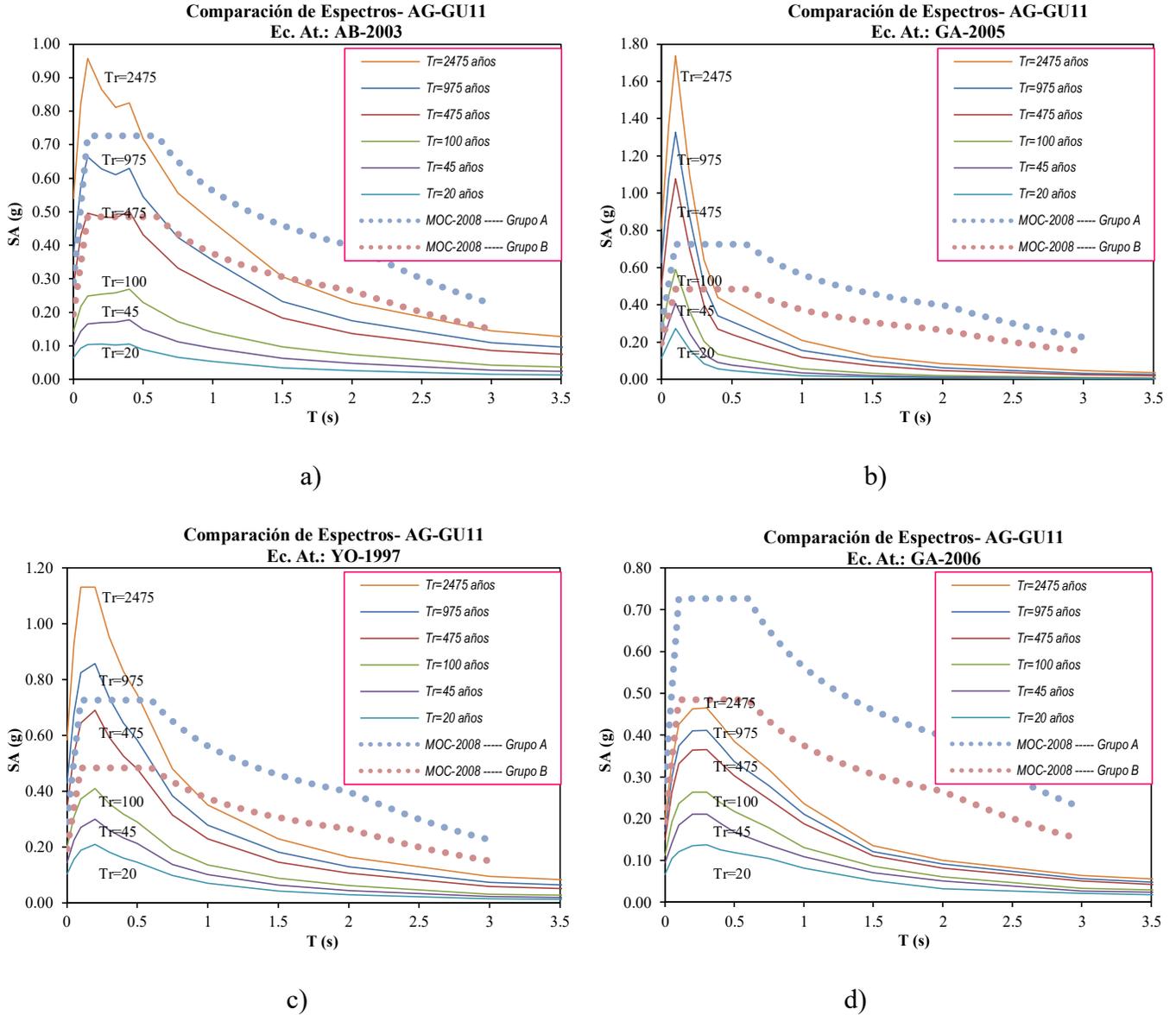


Figura V.28 Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-GU11

- Para el punto AG-GU14, en la figura V.29 en los incisos “a, b, c y d” se muestran que el EPU de AB-2003 para Tr=975 años, Tr=2475 años de GA-2005, Tr=475 años de YO-1997 y Tr=975 años de GA-2006 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008. Para estructuras del grupo B el Tr=475 años de AB-2003, Tr=475 años de GA-2005 y Tr=100 años de YO-1997 y Tr=475 años de GA-2006 son los que tienen más coincidencia con el espectro calculado por MOC-2008.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=975$ años por AB-2003 es 0.568g, $T_r=2475$ años es 0.731g de GA-2005, $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.881g y $T_r=975$ años de GA-2006 es 0.985g mientras que para el MOC-2008 es 0.521g, las aceleraciones máximas para $T_r=975$ años por AB-2003 es 1.511g, $T_r=2475$ años es g de GA-2005 es 1.534g, para $T_r=975$ años para YO-1997 es 1.867g y para GA-2006 es 1.925g mientras que para el MOC-2008 es 1.302g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.347g para $T_r=475$ años por AB-2003 es 0.470g, $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.426g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.511g y $T_r=475$ años es 0.858g de GA-2006, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.868g para $T_r=475$ años de AB-2003 es 1.211g, $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.936g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 1.068g y $T_r=475$ años de GA-2006 es 1.925g.

Tabla V.26 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU14

Periodo de retorno	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1267	0.2729	0.1629
$T_r=45$ años	0.2072	1.0350	0.2389
$T_r=100$ años	0.3128	2.1620	0.3302
$T_r=475$ años	0.6122	5.8600	0.5346
$T_r=975$ años	0.7995	9.2950	0.6354
$T_r=2475$ años	1.0880	16.8900	0.7666

En la tabla V.26 la aceleración máxima para $T_r=475$ años de CL-2012 es 0.6122g y 0.5346g para $T_r=475$ años para GO-2012 que son aproximados al PGA calculado por MOC-2008 con 0.521g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.347g que coincide con CL-20012 para $T_r=100$ años con 0.3128g y para GO-20012 con $T_r=100$ años que tiene 0.5346g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 1.302g pero CL-2012, GO-2005 y GO-2012 no presenta ningún valor aproximada a esta aceleración, para estructuras del grupo B por el MOC-2008 es 0.868g y solo coincide con el $T_r=2475$ años con 1.0880g de CL-2012.

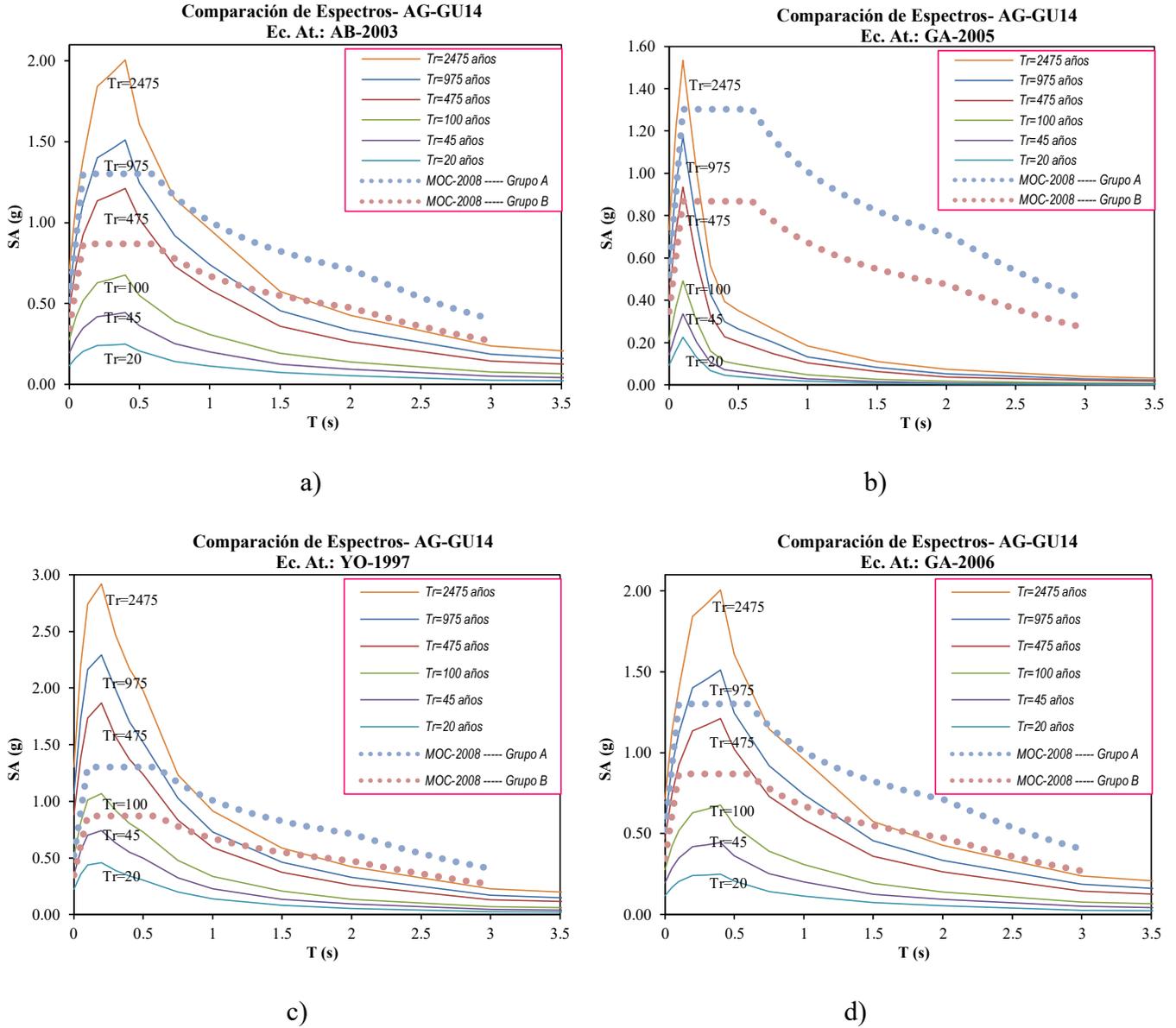


Figura V.29 Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-GU14

- Para el punto AG-GU19, en la figura V.30 en los incisos “a, b, c y d” se muestran que el EPU de AB-2003 para $T_r=975$ años, $T_r=2475$ años de GA-2005, $T_r=475$ años de YO-1997 y $T_r=100$ años de GA-2006 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008. Para estructuras del grupo B el $T_r=475$ años de AB-2003, $T_r=475$ años de GA-2005, $T_r=100$ años de YO-1997 y $T_r=45$ años de GA-2006 son los que tienen más coincidencia con el espectro calculado por MOC-2008.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=975$ años por AB-2003 es 0.593g, $T_r=2475$ años es 0.706g de GA-2005, $T_r=475$ años para YO-1997 es 1.004g y $T_r=100$ años de GA-2006 es 0.738g mientras que para el MOC-2008 es 0.571g, las aceleraciones máximas para $T_r=975$ años por AB-2003 es 1.614g, $T_r=2475$ años es g de GA-2005 es 1.470g, para $T_r=975$ años para YO-1997 es 2.160g y $T_r=100$ años para GA-2006 es 1.486g mientras que para el MOC-2008 es 1.427g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.380g para $T_r=475$ años por AB-2003 es 0.493g, $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.405g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.579g y $T_r=45$ años es 0.565g de GA-2006, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.951g para $T_r=475$ años de AB-2003 es 1.282g, $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.888g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 1.215g y $T_r=475$ años de GA-2006 es 1.142g.

Tabla V.27 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU19

Periodo de retorno	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1213	0.4882	0.1612
$T_r=45$ años	0.1965	4.3670	0.2367
$T_r=100$ años	0.2947	35.5200	0.3274
$T_r=475$ años	0.5704	2087.0000	0.5311
$T_r=975$ años	0.7435	13740.0000	0.6311
$T_r=2475$ años	1.0130	157600.0000	0.7629

En la tabla V.27 la aceleración máxima para $T_r=475$ años de CL-2012 es 0.5704g y 0.5311g para $T_r=475$ años para GO-2012 que son aproximados al PGA calculado por MOC-2008 con 0.571g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.380g que coincide con CL-20012 para $T_r=100$ años con 0.2947g y para GO-20012 con $T_r=100$ años que tiene 0.3274g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 1.427g pero CL-2012, GO-2005 y GO-2012 no presenta ningún valor aproximada a esta aceleración, para estructuras del grupo B por el MOC-2008 es 0.868g y solo coincide con el $T_r=2475$ años con 1.0130g de CL-2012.

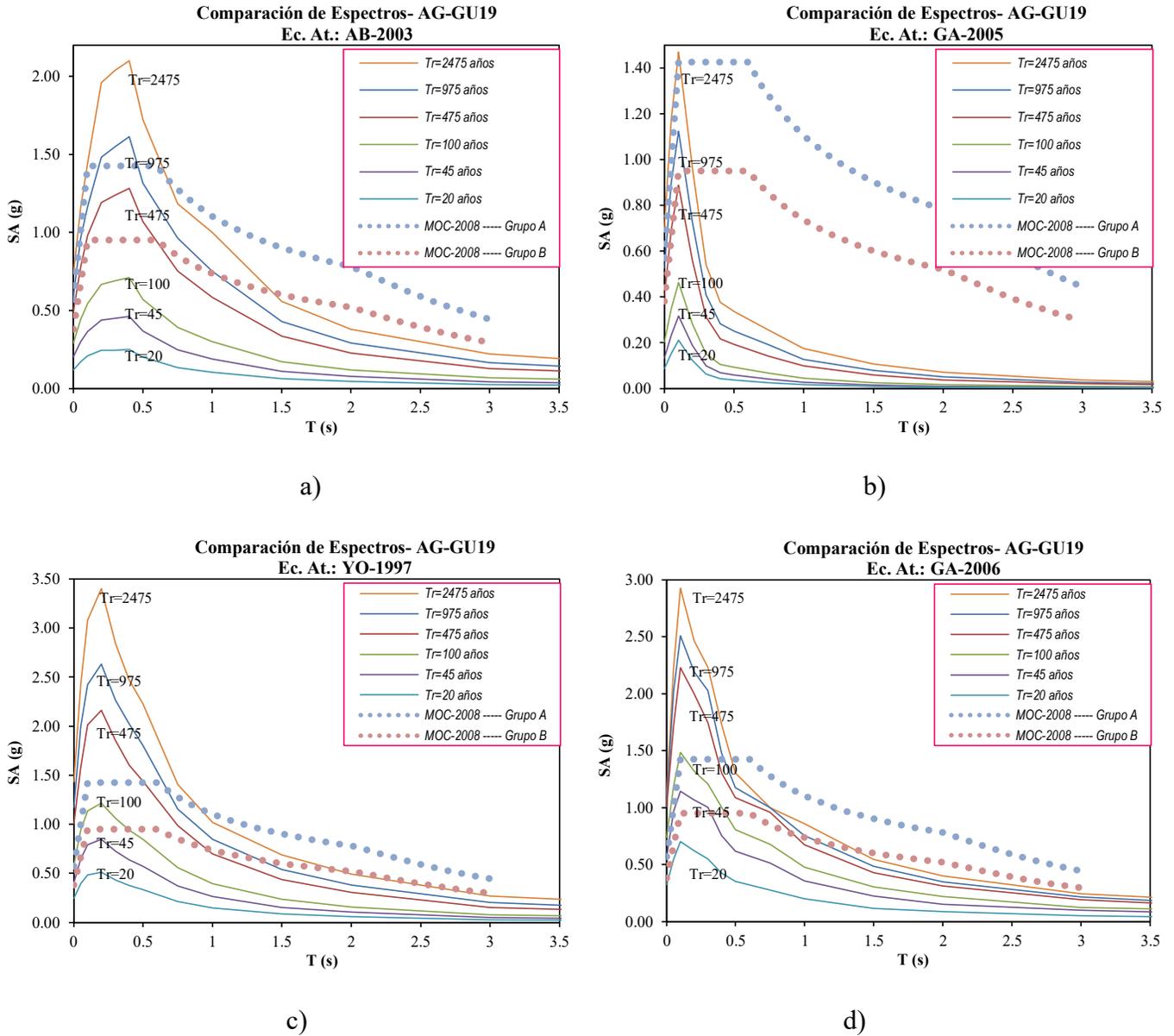


Figura V.30 Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-GU19

- Para el punto AG-GU50, en la figura V.31 en los incisos “a, b, c y d” se muestran que el EPU de AB-2003 para $Tr=975$ años, $Tr=2475$ años de GA-2005, $Tr=475$ años de YO-1997 y $Tr=475$ años de GA-2006 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el $Tr=475$ años de AB-2003, $Tr=975$ años de GA-2005, $Tr=100$ años de YO-1997 y $Tr=100$ años de GA-2006 son los que tienen más coincidencia con el espectro calculado por MOC-2008.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=975$ años por AB-2003 es 0.577g, $T_r=2475$ años es 0.594g de GA-2005, $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.921g y $T_r=475$ años de GA-2006 es 0.867g mientras que para el MOC-2008 es 0.589g, las aceleraciones máximas para $T_r=975$ años por AB-2003 es 1.610g, $T_r=2475$ años es g de GA-2005 es 1.265g, para $T_r=975$ años para YO-1997 es 1.985g y $T_r=475$ años para GA-2006 es 1.963g mientras que para el MOC-2008 es 1.472g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.392g para $T_r=475$ años por AB-2003 es 0.488g, $T_r=975$ años por GA-2005 es 0.438g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.550g y $T_r=45$ años es 0.626g de GA-2006, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.981g para $T_r=475$ años de AB-2003 es 1.301g, $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.967g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 1.156g y $T_r=475$ años de GA-2006 es 1.307g.

Tabla V.28 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación CL-2012, GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-GU50

Periodo de retorno	SA (g)		
	CL-2012	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1405	0.5060	0.1620
$T_r=45$ años	0.2275	1.2090	0.2377
$T_r=100$ años	0.3413	2.4020	0.3285
$T_r=475$ años	0.6603	7.5610	0.5338
$T_r=975$ años	0.8546	12.8500	0.6360
$T_r=2475$ años	1.1510	25.5400	0.7686

En la tabla V.28 la aceleración máxima para $T_r=475$ años de CL-2012 es 0.6603g y 0.5338g para $T_r=475$ años para GO-2012 que son aproximados al PGA calculado por MOC-2008 con 0.589g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.392g que coincide con CL-20012 para $T_r=100$ años con 0.3413g y para GO-20012 con $T_r=100$ años que tiene 0.3274g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 1.472g pero CL-2012 y GO-2012 no presenta ningún valor aproximada a esta aceleración, para estructuras del grupo B por el MOC-

2008 es 0.981g y solo coincide con el $T_r=2475$ años con 1.0130g de CL-2012, GO-2005 presenta aceleraciones mayores por lo que no es posible las comparaciones.

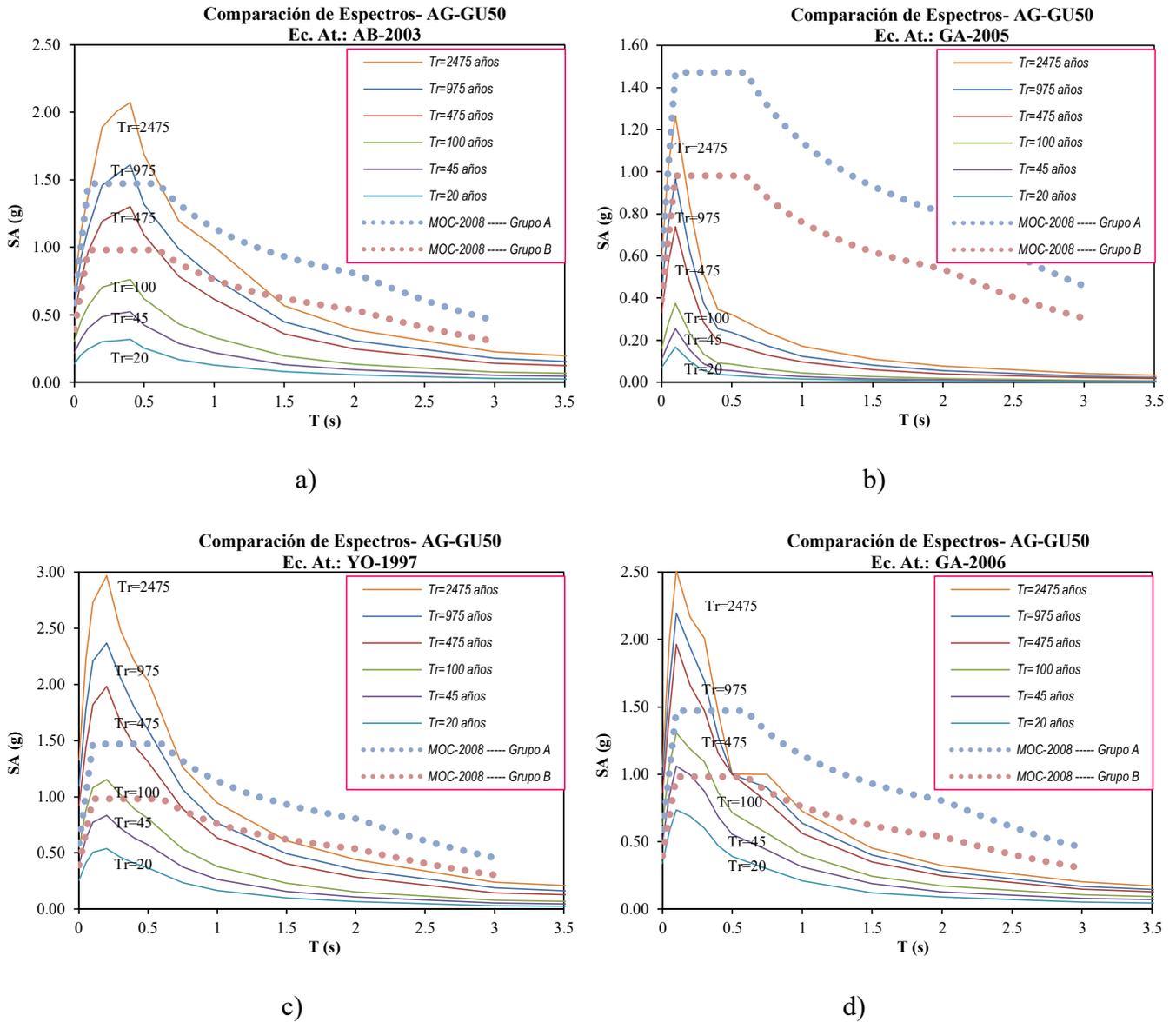


Figura V.31 Comparación de EPU para las ecuaciones: AB-2003(a), GA-2005(b), YO-1997(c), GA-2006 (d), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-GU50

- Para el punto AG-OA04, en la figura V.32 en los incisos “a, b y c” se muestran que el EPU de GA-2005 para $T_r=475$ años coincide con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A, mientras que para YO-1997 es el EPU para $T_r=475$ años. Para estructuras del grupo B el $T_r=100$ años calculado por GA-2005, el EPU para $T_r=100$ años de YO-1997 son los coinciden con el espectro calculado por MOC-2008. GA-2006 no tiene ninguna coincidencia para ambos grupos de estructuras.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.407g, para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.388g mientras que para el MOC-2008 es 0.303g, las aceleraciones máximas para $T_r=475$ años por GA-2005 es 0.916g y para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.764g mientras que para el MOC-2008 es 0.758g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.202g para $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.215g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.211g, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.505g, para $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.502g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.420g.

Tabla V.29 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-OA04

Periodo de retorno	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.1049	0.1290
$T_r=45$ años	0.1462	0.2010
$T_r=100$ años	0.2024	0.2907
$T_r=475$ años	0.3360	0.5069
$T_r=975$ años	0.4153	0.6067
$T_r=2475$ años	0.5459	0.7419

En la tabla V.25 la aceleración máxima para $T_r=475$ años es de 0.4360g para GO-2005 y 0.2907g para $T_r=100$ años para GO-2012 que son aproximados al PGA calculado por MOC-2008 con 0.303g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.202g que coincide con GO-2005 para $T_r=100$ años con 0.2024g y para GO-20012 con $T_r=45$ años que tiene 0.2010g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 0.758g y coinciden con el $T_r=2475$ años con

0.7419 de GO-2012, GO-2005 no presenta ningún valor aproximada a esta aceleración, para estructuras del grupo B por el MOC-2008 es 0.505g y coinciden con el $T_r=2475$ años con 0.5459g de GO-2005 y para $T_r=475$ años con 0.6067g de GO-2012.

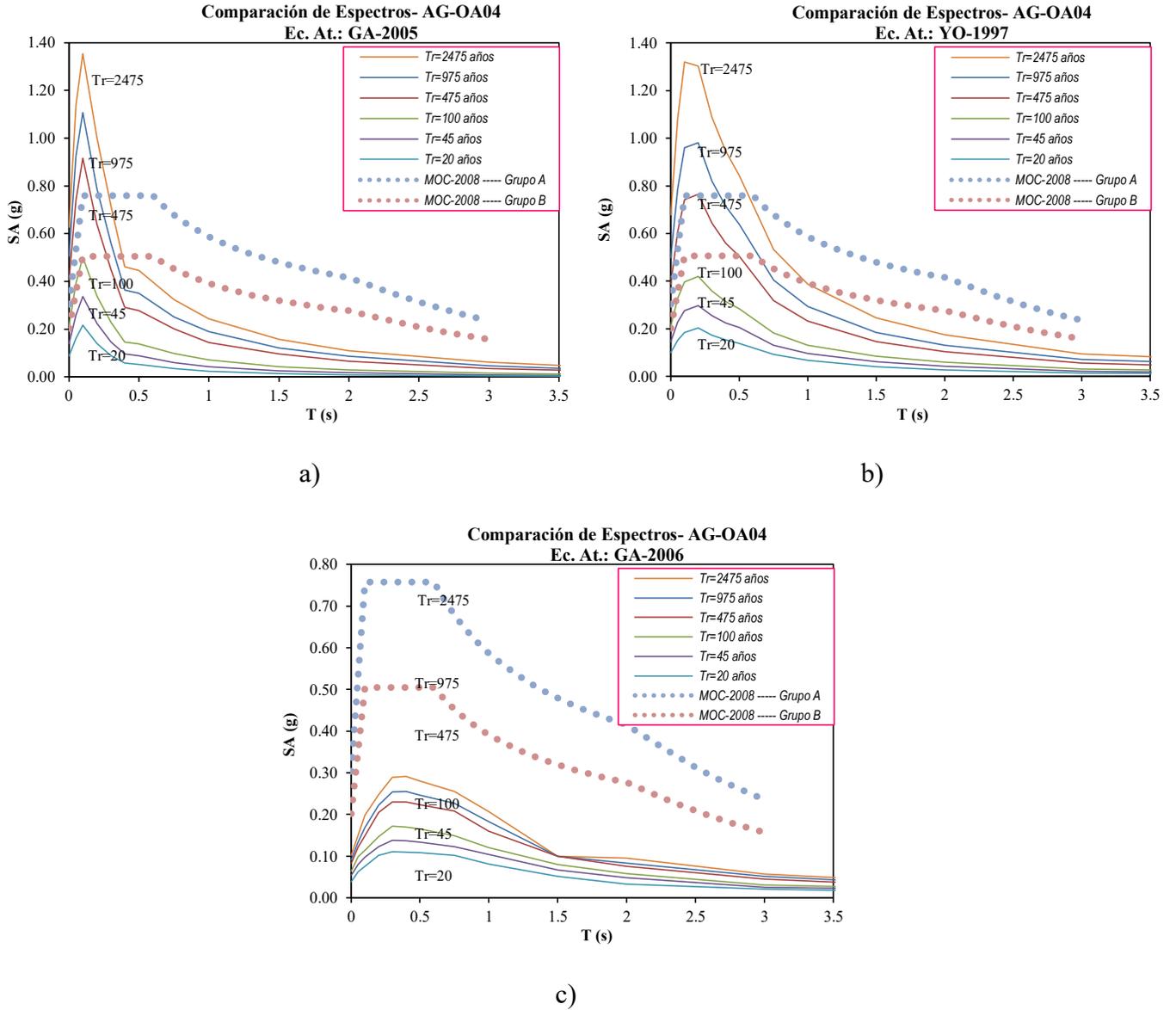


Figura V.32 Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-OA04

- Para el punto AG-OA16, en la figura V.33 en los incisos “a, b y c” se muestran que el EPU de YO-2003 para $T_r=475$ y $T_r=475$ años de GA-2006 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A, mientras que para GA-2005 no coincide ningún EPU. Para estructuras del grupo B el EPU para $T_r=2475$ años de GA-2005, $T_r=100$ años de YO-1997 y $T_r=100$ años de GA-2006 son los que coinciden con el espectro calculado por MOC-2008.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.881g y $T_r=475$ años de GA-2006 es 0.646g mientras que para el MOC-2008 es 0.571g, las aceleraciones máximas para $T_r=475$ años por YO-1997 es 1.740g y para $T_r=475$ años para GA-2006 es 1.425g mientras que para el MOC-2008 es 1.428g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.381g para $T_r=2475$ años por GA-2005 es 0.258g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.530g y para $T_r=100$ años de GA-2006 es 0.479, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.952g, para $T_r=2475$ años por GA-2005 es 1.049g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 1.073g y $T_r=100$ años de GA-2006 es 1.060g.

Tabla V.30 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-OA16

Periodo de retorno	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.3752	0.1861
$T_r=45$ años	0.6593	0.2671
$T_r=100$ años	1.0090	0.3643
$T_r=475$ años	1.8600	0.5873
$T_r=975$ años	2.3420	0.7079
$T_r=2475$ años	3.0810	0.8453

En la tabla V.30 la aceleración máxima para $T_r=45$ años es de 0.6593g para GO-2005 y 0.5873g para $T_r=475$ años para GO-2012 que son aproximados al PGA calculado por MOC-2008 con 0.571g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.381g que coincide con GO-2005 para $T_r=20$ años con 0.3752g y

para GO-20012 con $T_r=100$ años que tiene 0.3643g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 0.1.428g y coinciden con el $T_r=475$ años con 1.8600g de GO-2012, GO-2005 no presenta ningún valor aproximada a esta aceleración, para estructuras del grupo B por el MOC-2008 es 0.952g y coinciden con el $T_r=100$ años con 1.0090g de GO-2005 y para $T_r=2475$ años con 0.8453g de GO-2012.

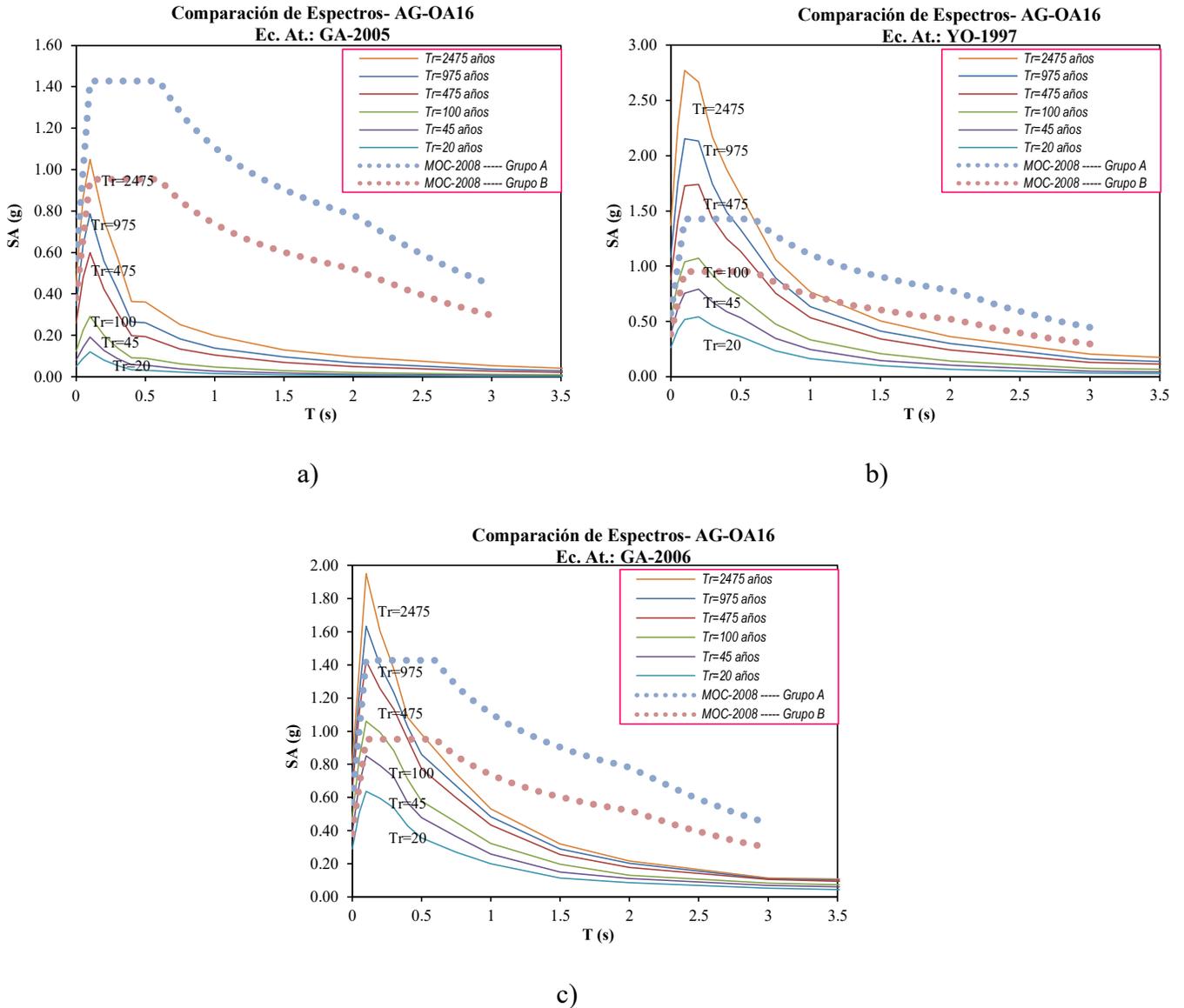


Figura V.33 Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-OA16

- Para el punto AG-OA26, en la figura V.34 en los incisos “a, b y c” se muestran que el EPU de YO-2003 para $T_r=475$ y $T_r=975$ años de GA-2006 coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A, mientras que para GA-2005 no coincide ningún EPU. Para estructuras del grupo B el EPU para $T_r=2475$ años de GA-2005, $T_r=100$ años de YO-1997 y $T_r=100$ años de GA-2006 son los que coinciden con el espectro calculado por MOC-2008.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.951g y $T_r=975$ años de GA-2006 es 0.851g mientras que para el MOC-2008 es 0.588g, las aceleraciones máximas para $T_r=475$ años por YO-1997 es 1.955g y para $T_r=975$ años para GA-2006 es 2.013g mientras que para el MOC-2008 es 1.471g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.392g para $T_r=2475$ años por GA-2005 es 0.447g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.530g y para $T_r=100$ años de GA-2006 es 0.581, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.952g, para $T_r=2475$ años por GA-2005 es 1.024g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 1.165g y $T_r=100$ años de GA-2006 es 1.235g.

Tabla V.31 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-OA26

Periodo de retorno	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.4783	0.1843
$T_r=45$ años	0.9301	0.2649
$T_r=100$ años	1.4140	0.3619
$T_r=475$ años	2.7200	0.5844
$T_r=975$ años	3.5210	0.7053
$T_r=2475$ años	4.9180	0.8419

En la tabla V.31 la aceleración máxima para $T_r=475$ años es de 0.5844g para GO-2012 es aproximado al PGA calculado por MOC-2008 con 0.588g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.392g que coincide con GO-2012 para $T_r=100$ años que tiene 0.3619g. En aceleraciones máximas para el MOC-

2008 para estructuras del grupo A y B son 1.471g y 0.981g el cual no presenta ningún valor aproximada a esta aceleración, GA-2005 presenta valores altos por lo que no es posible la comparación de resultados.

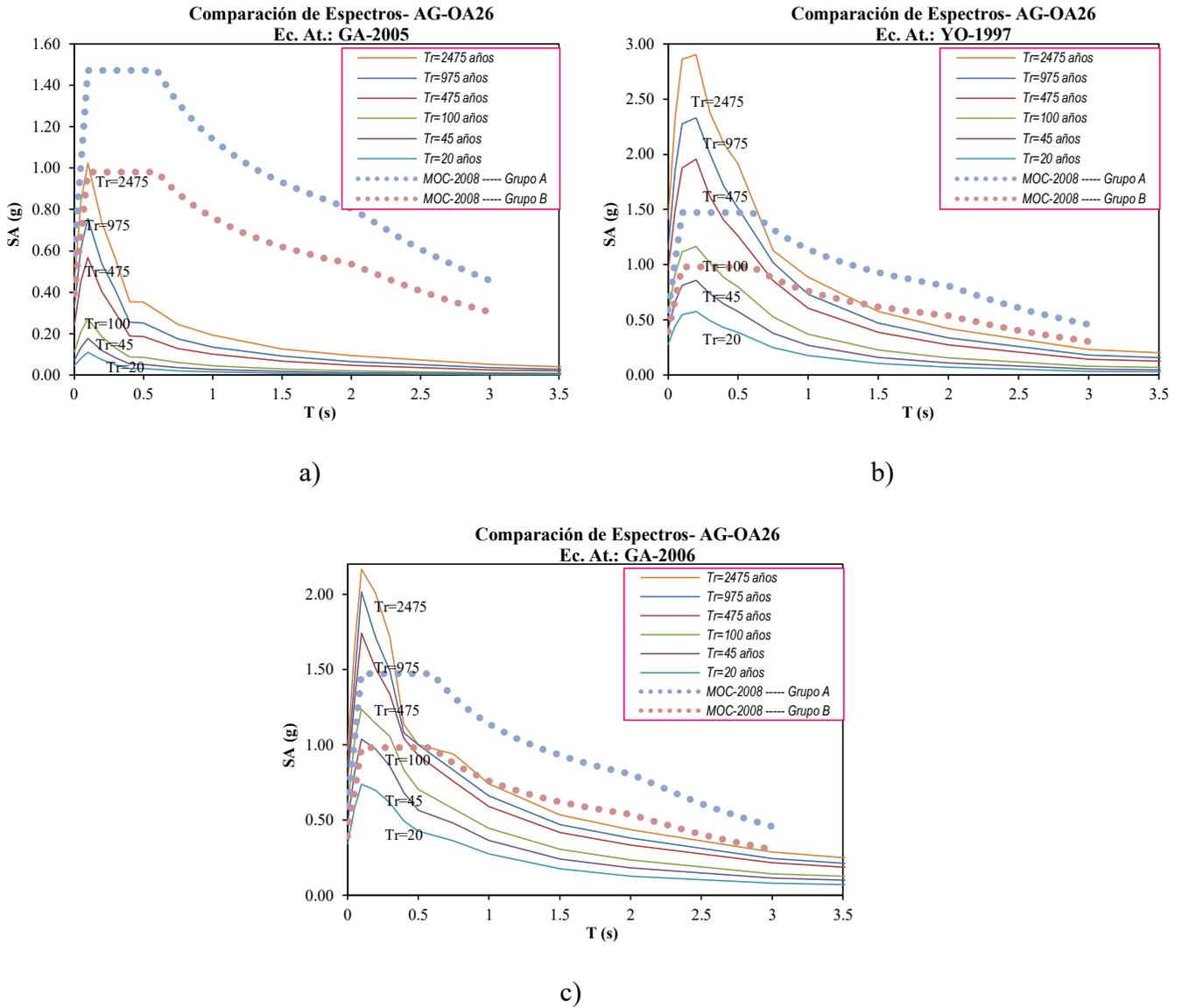


Figura V.34 Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-OA26

- Para el punto AG-OA29, en la figura V.35 en los incisos “a, b y c” se muestran que el EPU de GA-2005 para Tr=475 años, YO-2003 para Tr=475 y Tr=2475 años de GA-2006

coinciden con el espectro calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A. Para estructuras del grupo B el EPU para $T_r=100$ años de GA-2005, $T_r=100$ años de YO-1997 y $T_r=975$ años de GA-2006 son los que coinciden con el espectro calculado por MOC-2008.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=475$ años de GA-2005 es 0.414g, $T_r=475$ años para YO-1997 es 0.355g y $T_r=975$ años de GA-2006 es 0.283g mientras que para el MOC-2008 es 0.294g, las aceleraciones máximas para $T_r=475$ años de GA-2005 es 0.935g, $T_r=475$ años por YO-1997 es 0.713g y para $T_r=975$ años para GA-2006 es 0.741g mientras que para el MOC-2008 es 0.734g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.196g para $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.210g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.195g y para $T_r=975$ años de GA-2006 es 0.204, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 0.489g, para $T_r=100$ años por GA-2005 es 0.494g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.397g y $T_r=100$ años de GA-2006 es 0.530g.

Tabla V.32 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-OA29

Periodo de retorno	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.0582	0.1224
$T_r=45$ años	0.0939	0.1901
$T_r=100$ años	0.1351	0.2762
$T_r=475$ años	0.2497	0.4894
$T_r=975$ años	0.3160	0.5854
$T_r=2475$ años	0.4130	0.7202

En la tabla V.32 la aceleración máxima para $T_r=975$ años es de 0.3160g para GO-2005 y $T_r=100$ años de GO-2012 es 0.2762g son los más aproximados al PGA calculado por MOC-2008 con 0.294g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.196g que coincide con GA-2005 para $T_r=475$ años con 0.2497g y GO-20012 para $T_r=45$ años que tiene 0.1901g. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A es 0.734g que solo coincide con GO-2012 para

$T_r=2475$ años con 0.7202g, para estructuras del grupo B el MOC-2008 tiene 0.489 y GO-2005 para $T_r=2475$ años con 0.4130 y GO-2012 para $T_r=975$ años con 0.5854g son los que más coinciden.

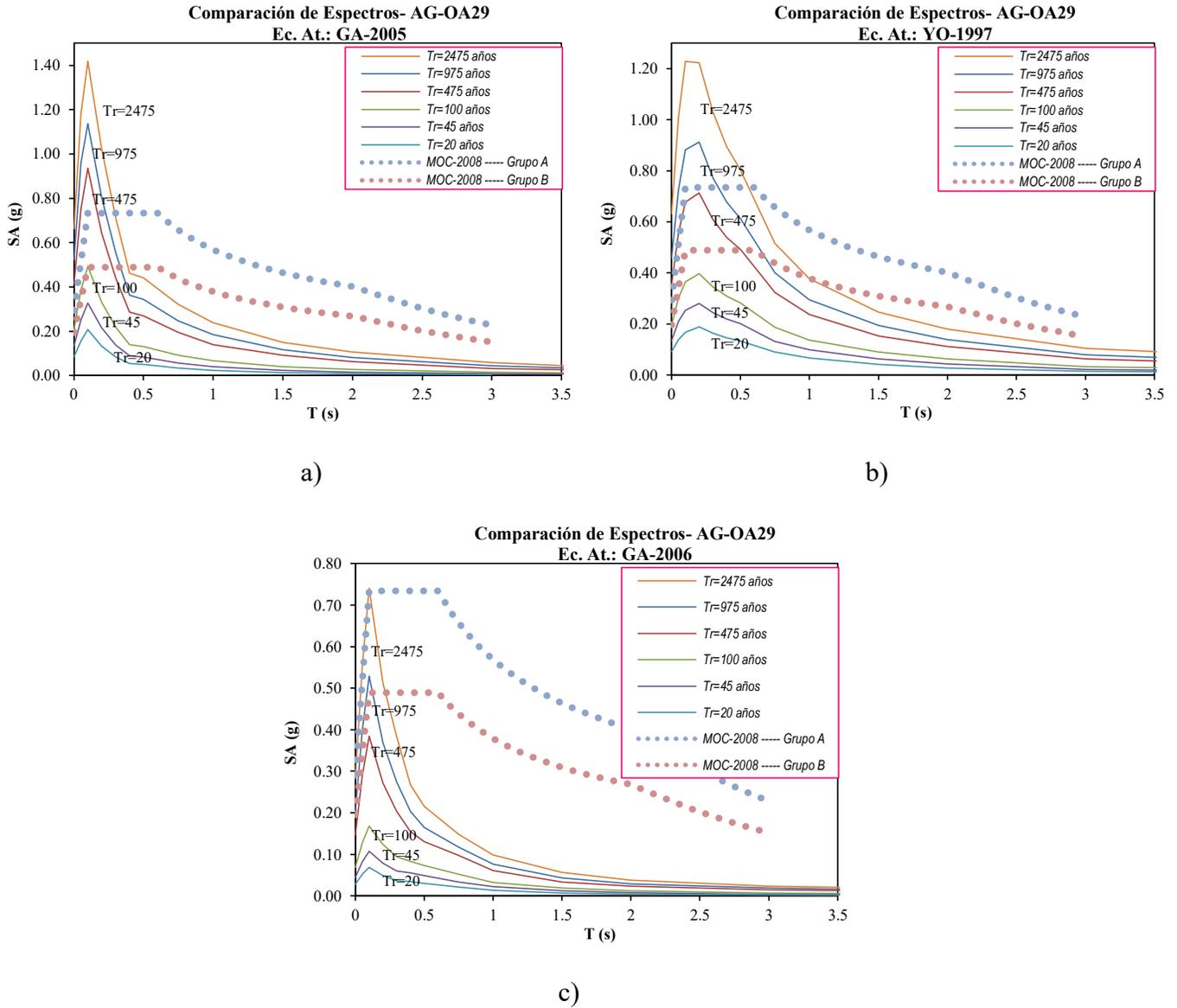


Figura V.35 Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-OA29

- Para el punto AG-OA36, en la figura V.36 en los incisos “a, b y c” se muestran que el EPU YO-2003 para $T_r=475$ y $T_r=100$ años de GA-2006 coinciden con el espectro

calculado por el MOC-2008 para estructuras del grupo A, GA-2005 no coincide para este grupo de estructuras. Para estructuras del grupo B el EPU para $T_r=24754$ años de GA-2005, $T_r=45$ años de YO-1997 y $T_r=100$ años de GA-2006 son los que coinciden con el espectro calculado por MOC-2008.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para $T_r=475$ años para YO-1997 es 1.046g y $T_r=100$ años de GA-2006 es 0.738g mientras que para el MOC-2008 es 0.607g, las aceleraciones máximas para $T_r=475$ años por YO-1997 es 2.212g y para $T_r=975$ años para GA-2006 es 1.520g mientras que para el MOC-2008 es 1.518g, todo para estructuras del grupo A.

En estructuras del grupo B el PGA del MOC-2008 es 0.405g, para $T_r=2475$ años por GA-2005 es 0.428g, para $T_r=45$ años para YO-1997 es 0.459g y para $T_r=100$ años de GA-2006 es 0.738, en aceleraciones máximas el MOC-2008 es de 1.012g, para $T_r=2475$ años por GA-2005 es 0.990g, para $T_r=100$ años para YO-1997 es 0.966g y $T_r=100$ años de GA-2006 es 1.52g.

Tabla V.33 Aceleraciones máximas para las ecuaciones de atenuación GO-2005 y GO-2012 para el punto AG-OA37

Periodo de retorno	SA (g)	
	GO-2005	GO-2012
$T_r=20$ años	0.7809	0.1812
$T_r=45$ años	2.0950	0.2615
$T_r=100$ años	3.9540	0.3581
$T_r=475$ años	13.5900	0.5798
$T_r=975$ años	24.0500	0.7010
$T_r=2475$ años	50.3600	0.8362

En la tabla V.33 la aceleración máxima para $T_r=475$ años de GO-2012 es 0.5798g son los más aproximados al PGA calculado por MOC-2008 con 0.607g para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B el PGA de MOC-2008 tiene 0.405g que coincide para $T_r=100$ años con 0.3581g de GO-20012. En aceleraciones máximas para el MOC-2008 para estructuras del grupo A y B son 1.518g y 1.012g en donde GO-2012 no tiene

valores aproximados. La ecuación GO-2005 presenta valores altos por lo que no es posible la comparación de resultados.

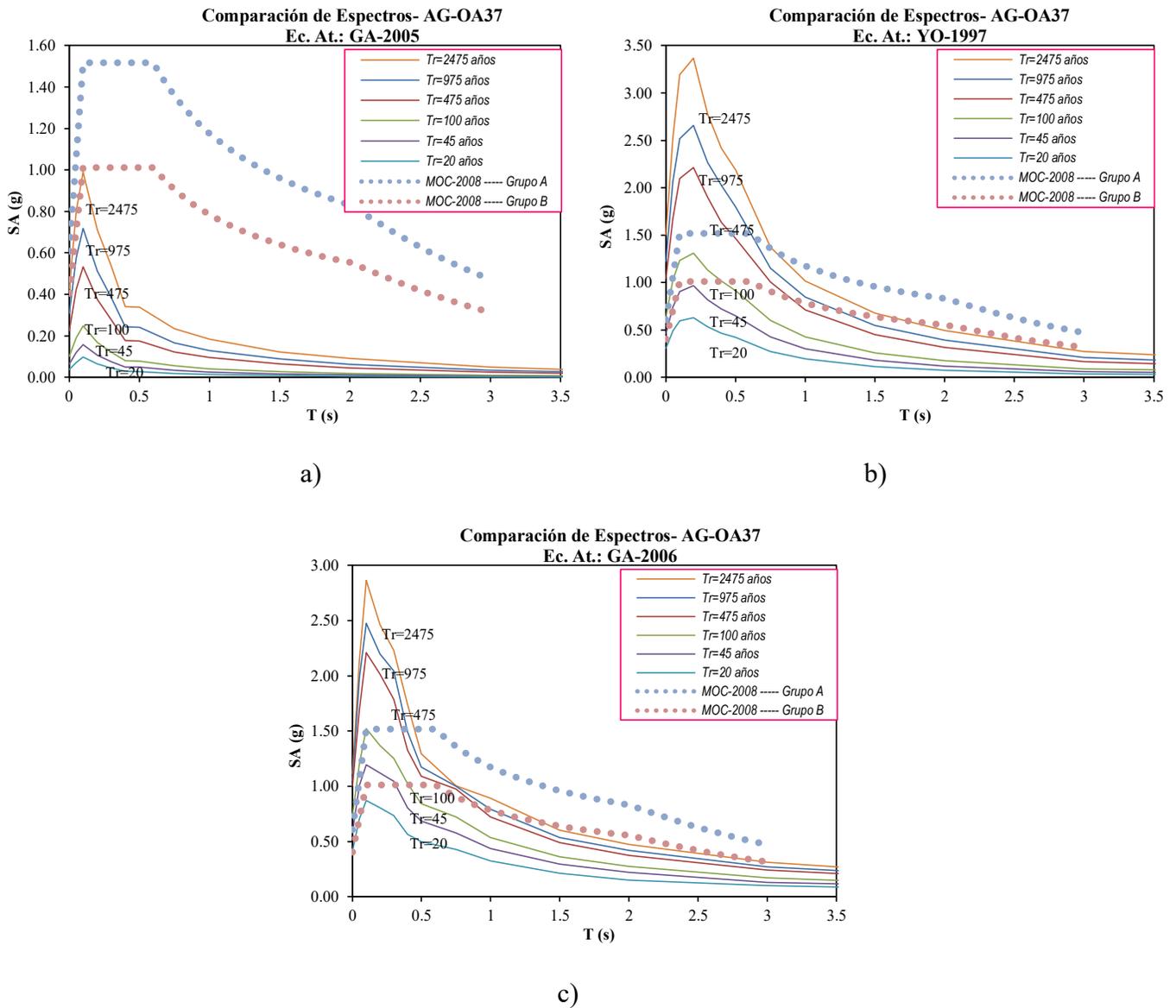


Figura V.36 Comparación de EPU para las ecuaciones: GA-2005(a), YO-1997(b), GA-2006 (c), y Espectros de diseño calculados con PRODISIS para el punto AG-OA37

V.4 Análisis de resultados obtenidos

Además de las coincidencias y aproximaciones de los EPU con los espectros calculados por los reglamentos y espectros de respuesta, se observa lo siguiente:

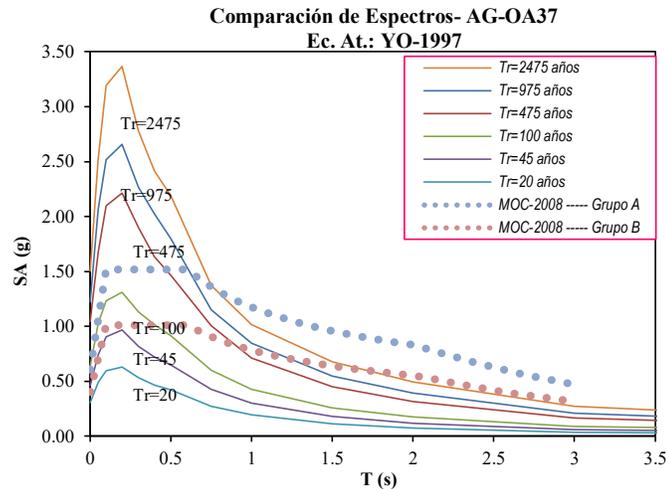


Figura V.37 EPU para el punto AG-OA37 (ecuación de atenuación YO-1997)

- Para la ecuación de AB-2003 las aceleraciones máximas se encuentran en periodos menores de 0.8 s casi para todos los puntos y es similar a los espectros calculados por el MOC-2008, para todos los puntos las ordenas empiezan a descender en periodos mayores de 6 s, a excepción de los espectros calculados por RCM-C-1999 en donde las ordenadas empiezan a descender en periodos mayores a 1s. Los espectros para estructuras del grupo A mayormente coinciden con los EPU para Tr=975 y 475 años, para el grupo B son los EPU para Tr=475 y 100 años.
- Las aceleraciones máximas calculadas por CL-2012 coinciden con los PGA y aceleraciones máximas con los que establecen los reglamentos para estructuras del grupo A y B cuando el sitio estudiado se encuentra lejos de la costa del Pacífico Mexicano. Por ejemplo; como puede verse en la tabla V.16 en donde las aceleraciones coinciden con los calculadas por el MOC-2008 para el punto AG-GU24 pues se encuentra retirado de las

costas mientras que en la tabla V.15 para el punto AG-GU09 la aceleración para $T_r=2475$ es menor a la calculada por MOC-2008.

- Los EPU calculados por GA-2005, las aceleraciones máximas se encuentran en periodos menores a 0.5 s para todos los casos, los EPU que más coinciden con los espectros calculados por los reglamentos son para $T_r=2475$ cuando el punto estudiado se encuentra en las costas, y para todos los demás son para $T_r=975$ y 475 años para estructuras del grupo A, para estructuras del grupo B son para $T_r=475$ y 100 años. Se observa que los EPU van disminuyendo cuando el punto se acerca más hacia el sur sobre las costas de Guerrero pero principalmente sobre las costas de Oaxaca como se puede ver en la figura V.36 para el punto AG-OA37 inciso a.
- Para la ecuación GA-2006 los EPU entre más alejado el sitio de estudio de las costas del Pacífico las ordenadas con más baja en comparación con los puntos cercanos, esto concuerda ya que solo lo afectan eventos interplaca y estas están cerca de las costas, además de la diferencia de las ordenadas, cuando el punto es cercano a las costas del pacífico las ordenadas máximas se encuentran entre periodos menores de 0.5 s y cuando este se encuentra lejano las aceleraciones máximas se encuentran en periodos de 0.5 a 1 s. Los EPU que concuerdan para estructuras del grupo A son $T_r=975$ y 475 años mientras que para el B son $T_r=475$ y 100 años.
- Las aceleraciones máximas para GO-2005 presenta valores realmente altos cuando los puntos de estudio se encuentran cerca de las costas como se puede ver en la tabla V.8 para el punto AG-MI47 y la tabla V.27 para el punto AG-GU19. En los puntos lejanos los PGA y aceleraciones máximas de los espectros de diseño de los reglamentos coinciden con los valores presentados por esta ecuación.
- La ecuación GO-2012 presenta valores que coinciden con los PGA y aceleraciones máximas de los reglamentos para estructuras del grupo A y B. Cuando el punto se acerca a la costa la única coincidencia es con los PGA y aceleraciones máximas para el grupo B, pues para el grupo A los valores de esta ecuación son pequeños.
- Para la ecuación de YO-1997 las aceleraciones máximas se encuentran en periodos menores de 1 s, que coinciden con la mayoría de los reglamentos. Los EPU que más coinciden son $T_r=975$, 475 y 100 años para estructuras del grupo A y para el B son $T_r=100$ y en algunos casos 45 años para todos los casos.

- Los espectros de respuesta para los sismos seleccionados, en la mayor parte de los puntos quedan envueltos por los EPU de todas las ecuaciones, incluso para la estación OAXM que se encuentra en suelo blando y tiene aceleraciones muy grandes. Pero es importante hacer revisiones para las condiciones de suelos blandos.
- Haciendo una revisión de puntos de estudio, se puede observar que a mayor distancia de las fuentes generadoras de sismos las aceleraciones espectrales disminuyen. También se puede observar que en la ecuación GA-2006 tiene menores aceleraciones que las demás, esto se debe a que esta ecuación sólo toma eventos intraplaca en donde se presentan sismos superficiales de magnitud no muy grande ($M < 7$) y que además no son muy recurrentes, mientras que los sismos con mayor recurrencia y de gran magnitud se encuentran en fuentes tipo falla.

La mayoría de los resultados de las ecuaciones aquí presentadas tienen aproximaciones a las de los reglamentos vigentes (principalmente para el MOC-2008) y espectros de sismos reales.

Con respecto a la construcción de espectros de diseño del MOC-2008.

CONCLUSIONES

- ❖ Se ha realizado un estudio del potencial sísmico para los estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca y de acuerdo con el método propuesto por Inca (2013) se obtuvo una malla en donde cada intersección de líneas es un punto de estudio y como resultado fueron 208 puntos, en los que para cada punto se obtuvieron EPU para diferentes periodos de retorno como se muestra en un ejemplo en la figura IV.12. Estos EPU pueden ser utilizados para el diseño sísmico de estructuras de acuerdo con la clasificación de acuerdo a MOC-2008 y Reglamentos de diseño. Las estructuras del grupo A coinciden en casi todos los EPU para periodos de retorno entre 475, 975 y 2475 años, mientras que para el B son periodos de 20, 45 y 100 años. También es importante resaltar, que esto, sólo representa la coincidencia con los espectros pero se debe de tomar en cuenta que la elección del EPU debe ser de acuerdo con el nivel de peligro sísmico aceptado en el lugar y al tipo de diseño que se desee realizar.
- ❖ La mayoría de los sismos que afecta la región estudiada tienen origen en la región costera entre los estados de Jalisco y Chiapas, donde se tiene el fenómeno de subducción entre las placas Norteamérica, Rivera y Cocos. Así mismo se ha observado que desde el siglo pasado, el periodo de recurrencia de las zonas de subducción que varía de 30 a 70 años.
- ❖ Se describió de manera muy general la geología del lugar. Se encontró que la región de estudio se encuentra en la Sierra Madre del Sur los estado de Michoacán, y Norte de Guerrero, está compuesta por complejos de rocas volcánicas del cretácico y roca metamórfica.

- ❖ Se identificó y caracterizaron las fuentes sismogénicas que contribuyen al peligro sísmico para los tres estados seleccionados, y se basó principalmente en informes y reportes sismológicos históricos. Dentro de las fuentes sismogénicas identificadas se encuentran: las fuentes tipo área (para sismos intraplaca someros: NAL, BB, GMX, MVB y NAM: para sismos de falla normal IN1, IN2 y IN3; para falla inversa: SUB) y fuentes tipo falla (Jalisco (JAL), Gap de colima (GCO), colima I (COL), Michoacán (MIC), Petatlán (PET), Guerrero central (GUE), San marcos (SAM), Ometepec (OME), Oaxaca occidental (OAO), Oaxaca central II (OACII), Oaxaca central I (OAC), Oaxaca oriental (OAR), Gap de Tehuantepec (TEH) y Chiapas (CHI))

- ❖ Se utilizaron 7 ecuaciones de atenuación las cuales de acuerdo a sus en donde dos de ellas se desarrollaron a nivel global y son Youngs y otros (1997)(YO-1997) y Atkinson y Boore (2003)(AB-2003) y las cinco restantes son para eventos generados en la zona de subducción de las costas del Pacífico las cuales son: Clemente y otros (2012), (CL-2012), García y otros (2005) (GA-2005), García y otros (2006) (GA-2006), Gómez y otros (2005), (GO-2005) y Gómez y otros (2012) (GO-2012). Todas las ecuaciones incluyen base de datos del estado de Guerrero pero no todas incluyen datos de Michoacán y Oaxaca. Las ecuaciones de YO-1997 y AB-2003 tienen más similitud constante con los espectros calculados por los reglamentos, mientras que para las demás ecuaciones presentan algunas diferencias de acuerdo al sitio de estudio.

- ❖ Se obtuvieron espectros de respuesta de sismos reales para la comparación de resultados, los cuales fueron: M=7.8 del día 29 de noviembre de 1978, M=8.1 del 19 de septiembre de 1985, M= 7.5 del 21 de septiembre de 1985 y M=7.6 del 9 de noviembre de 1995, la ubicación de estos se muestran en la figura V.1, estas comparaciones se considerarían las más adecuadas y representativas de los sitios estudiados pero debido a la escasa información no es posible para todo los puntos. Se observó que la mayoría de los EPU envuelven todos ellos por lo que puede indicar que los resultados aquí obtenidos cumplen con los valores esperados.

- ❖ Los EPU calculados son para terreno firme.

- ❖ Para las ecuaciones de atenuación se resume lo siguiente (para más detalle revise capítulo V – “Análisis de resultados”):
 - ✓ Para la ecuación de AB-2003 las aceleraciones máximas se encuentran en periodos menores de 0.8 s casi para todos los puntos y es similar a los espectros calculados por el MOC-2008, para todos los puntos las ordenas empiezan a descender en periodos mayores de 6 s, a excepción de los espectros calculados por RCM-C-1999 en donde las ordenadas empiezan a descender en periodos mayores a 1s.
 - ✓ Las aceleraciones máximas calculadas por CL-2012 coinciden con los PGA y aceleraciones máximas con los que establecen los reglamentos para estructuras del grupo A y B cuando el sitio estudiado se encuentra lejos de la costa del Pacífico Mexicano.
 - ✓ Los EPU calculados por GA-2005, las aceleraciones máximas se encuentran en periodos menores a 0.5 s para todos los casos. Se observa que los EPU van disminuyendo cuando el punto se acerca más hacia el sur sobre las costas de Guerrero pero principalmente sobre las costas de Oaxaca.
 - ✓ Para la ecuación GA-2006 los EPU entre más alejado el sitio de estudio de las costas del Pacífico las ordenadas con más baja en comparación con los puntos cercanos, esto concuerda ya que solo lo afectan eventos interplaca y estas están cerca de las costas, además de la diferencia de las ordenadas, cuando el punto es cercano a las costas del pacífico las ordenadas máximas se encuentran entre periodos menores de 0.5 s y cuando este se encuentra lejano las aceleraciones máximas se encuentran en periodos de 0.5 a 1 s.
 - ✓ Las aceleraciones máximas para GO-2005 presenta valores realmente altos cuando los puntos de estudio se encuentran cerca de las costas. En los puntos lejanos los PGA y aceleraciones máximas de los espectros de diseño de los reglamentos coinciden con los valores presentados por esta ecuación.
 - ✓ La ecuación GO-2012 presenta valores que coinciden con los PGA y aceleraciones máximas de los reglamentos para estructuras del grupo A y B. Cuando el punto se acerca a la costa la única coincidencia es con los PGA y

aceleraciones máximas para el grupo B, pues para el grupo A los valores de esta ecuación son pequeños.

- ✓ Para la ecuación de YO-1997 las aceleraciones máximas se encuentran en periodos menores de 1 s, que coinciden con la mayoría de los reglamentos.
 - ✓ Los espectros de respuesta para los sismos seleccionados, en la mayor parte de los puntos quedan envueltos por los EPU de todas las ecuaciones, incluso para la estación OAXM que se encuentra en suelo blando y tiene aceleraciones muy grandes. Pero es importante hacer revisiones para las condiciones de suelos blandos.
 - ✓ Haciendo una revisión de puntos de estudio, se puede observar que a mayor distancia de las fuentes generadoras de sismos las aceleraciones espectrales disminuyen. También se puede observar que en la ecuación GA-2006 tiene menores aceleraciones que las demás, esto se debe a que esta ecuación sólo toma eventos intraplaca en donde se presentan sismos superficiales de magnitud no muy grande ($M < 7$) y que además no son muy recurrentes, mientras que los sismos con mayor recurrencia y de gran magnitud se encuentran en fuentes tipo falla.
- ❖ Con respecto a trabajos futuros se debe considerar lo siguiente:
- ✓ Se debe revisar y actualizar las fuentes sismogénicas, debido a que a esta información dependerá que se obtengan resultados más confiables.
 - ✓ En este trabajo sólo se calcularon EPU para suelo firme, sin embargo sería importante identificar las zonas en donde pudieran haber efectos de sitio (amplificación de ondas)
 - ✓ Sólo Michoacán, Guerrero y Oaxaca fueron analizados, se debe ampliar a más puntos para poder abarcar toda la República Mexicana y obtener un catálogo más completo.

REFERENCIAS

- ABRAHAMSON, N., GREGOR, N. y ADDO, K., (2012). *BC Hydro Ground Motion Prediction Equations for Subduction Earthquakes, submitted to Earthquake Spectra.*
- ADAMS, J., Y HALCHUK, S., (2004). *Fourth generation seismic hazard maps of Canada: values for over 650 Canadian localities intended for the 2005 National Building Code of Canada, Open-File 4459, Geological Survey of Canada, Ottawa, Ontario, Canadá.*
- ADAMS, J., Y HALCHUK, S., (2008). *Fourth generation seismic hazard maps of Canada: Maps and grid values to be used with the 2005 national building code of Canada.* Informe técnico, Geological Survey of Canada. Disponible en: <http://www.earthquakescanada.nrcan.gc.ca/hazard-alea/zoning-zonage/haz-eng.php> (último acceso, Febrero, 2014).
- AGUIRRE, G. J., (2005). *Escenarios sísmicos a través de la caracterización de las fuentes sísmicas en México.* Memorias del XV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, México, D. F.
- ALGERMISSEN S. y LEYENDECKER, E., (1992). *A technique for uniform hazard spectra estimation in the US.* Tenth World Conference on Earthquake Engineering. pp 391-397.
- ANDERSON, J. G., BODIN P., BRUNE J. N., PRINCE J., SINGH S. K., QUAAS R. Y ONATE M., (1986). *Strong Ground Motion from the Michoacan, Mexico, Earthquake.* Articles, Science, Vol. 233.
- ANDERSON, J.G. Y TRIFUNAC, M.D., (1978). *Uniform risk functionals for characterization of strong earthquake ground motion.* Bull. Seism. Soc. Amer., Vol. 68, pp. 1205-1218.
- ANDERSON J. G., QUAAS R., SINGH S. K., ESPÍNDOLA J. M. Y YAMAMOTO J., (1989). *Seismic strain release in the Mexican subduction thrust,* Physics of the Earth and Planet Interiors 58, pp. 307-322.
- ANDERSON J. G., QUAAS R., SINGH S. K., ESPINOSA J. M., JIMENEZ A., LERMO J., CUENCA J., SÁNCHEZ F., MELI, R., ORDAZ M., ALCOCER S., LÓPEZ B., ALCÁNTARA L., MENA E. Y JAVIER C., (1995). *The Copala, Guerrero, Mexico Earthquake of September 14, 1995 (Mw=7.4): A preliminary report,* Seismological Research Letters, Vol. 66, No. 6, pp. 11-39.
- ANDERSON, J.G., SINGH, S.K., ESPÍNDOLA, J.M. Y YAMAMOTO, J., (1989). *Seismic strain release in the Mexican subduction thrust.* Phys. of the Earth and Planet. Int., 58, pp. 307-322.

- ARROYO, D., GARCÍA, D., ORDAZ, M., MORA, M. Y SINGH, S., (2010). *Strong ground-motion relations for mexican interplate earthquakes*, Journal of Seismology, vol. 14, pp. 769–785. ISSN 1383-4649.
- ASTIZ L., KANAMORI H. Y EISSLER H. (1987). “*Source characteristics of earthquakes in the Michoacán seismic gap in México*”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 77, No 4 pp. 1326-1346.
- ATKINSON, G. M. Y BOORE, D. M., (2003). *Empirical ground-motion relations for subduction zone earthquakes and their application to cascadia and other regions*. Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 93(4), pp. 1703–1729
- ÁVILA, B. L., (2007). *Hacia una regionalización del peligro sísmico ocasionado por réplicas, para sismos en la costa del Pacífico Mexicano. Tesis de doctorado*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- AY, B. O. y AKKAR, S., (2010). *Selecting and scaling of real accelerograms to reduce the scatter in dynamic response*. En 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, artículo Nro. 930, Toronto, Canadá.
- BAKER, J.W., (2010). *Conditional mean spectrum: Tool for ground-motion selection*. Journal of Structural Engineering, vol. 137(3), pp. 322–331.
- BARRIENTOS, A. L., FERNÁNDEZ D. J., RIVERO, A. F., (2007). *Análisis geográfico y estadístico de la sismicidad en la costa Mexicana del Pacífico*. Boletín de los sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica. Vol. 3, núm. 1. Instituto de Nacional de estadística, Geografía e Informática, México, D. F.
- BATH, M., (1979). *Introduction to Seismology*, Birkhauser Verlag, Basel.
- BEAUVAL, C., COTTON, F., ABRAHAMSON, N., THEODULIDIS, N., DELAUAUD, E., RODRIGUEZ, L., SCHERBAUM, F. y HAENDEL, A., (2012). *Regional differences in subduction group motions*. World Conference on Earthquake Engineering. Lisbon, Portugal
- BOLAÑOS, L. A. Y MONROY, R. O., (2004). *Espectros de peligro sísmico uniforme*. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- BOLT, B., (1999). “*Earthquakes*”. 4th. Edition. Freeman and Company.
- BRUNE J. N. (1970). “*Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquake*”, Journal of Geophysical Research, Vol. 75, pp. 4997-5009.
- BULLEN, K. E., (1980). *An Introduction to the Theory of Seismology*, Cambridge University Press, London (subsecuentes re-ediciones).
- CARREÑO, E., BRAVO, B., SUÁREZ, A. y TORDESILLAS, M. J., (1999). *Registro y tratamientos de acelerogramas*. Instituto Geográfico Nacional, pp. 81-111.
- CAMPA, M. F. y RAMÍREZ, J., (1979). *La evolución geológica y metalogénesis del Noroccidente de Guerrero*. Serie Técnica Científica, núm. 1, Universidad Autónoma de Guerrero, 102 pp.
- CHARLESTON, S., (1980). *Reflexiones sobre algunos de los problemas de la geología en la parte centromeridional de México*. En libro-guía de la excursión México-Oaxaca. Sociedad Geológica Mexicana, México, pp. 37-50.

- CFE, (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad*. Diseño por Sismo, Instituto de Investigaciones Eléctricas de la CFE.
- CLEMENTE, C. A., (2010). *Ley de atenuación de aceleración (PGA) y escalamiento de forma espectral sísmica para Querétaro, deducidos por análisis de trayectorias: aplicada a Guerrero-Querétaro*. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.
- CHÁVEZ , A. C., ARROYO, G. M., ZÚÑIGA, R., FIGUEROA, Á., PÉREZ, M. A. & LÓPEZ, C. S. (2012). *Relación de atenuación del movimiento del suelo para la aceleración máxima (PGA) sobre el cinturón volcánico mexicano (MVB); análisis por trayectoria: GUERRERO- QUERÉTARO*. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (87) 67-93. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61825179004>
- CONEY, P., (1983). *Un Modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y el Caribe*. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*. Vol. 15, No. j, pp. 6-15
- CONTE, J. P. Y PENG, B. F., (1996). *Nonstationary earthquake ground motion model*. Department of civil Engineering, Rice University, P. O. Box 1892, Houston.
- CORNELL, C. A., (1968). *Engineering seismic risk analysis*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 58(5), pp. 1583–1606.
- DÁVILA, M. R., (2011). *Notas introductorias Sismología*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- DEAN, B. W. Y DRAKE C. L., (1978). *Focal mechanism solutions and tectonics of the Middle America*. *Arc. Journal of Geology*, Vol. 86, pp.111-128.
- DEWEY, J.W. Y SUÁREZ., G., (1991). *Seismotectonic of Middle America, en Neotectonics of North America*. Decade map Volume 1, Slemmons, D.B., Engdahl, E.R., Zoback, M.D. and Blackwell, D.D., eds., Geological Society of America, Boulder, Colorado, pp. 309-321.
- DRUMMOND, K., (1981). *Mapa tectónico de placas de la región circumpacífica, cuadrante noreste*. Consejo Circumpacífico para la Energía y los Yacimientos Minerales, EUA.
- DUARTE R., CAMPOS-COSTA, A., (1992). *Non-stationary models of ground motion*. Earthquake Engineering, Tenth World Conference. Belkema, Rotterdam. ISBN 905410605. Lisbon, Portugal.
- EISSLER, H.K. y McNALLY, K., 1984. Seismicity and tectonics of the Rivera plate and implications for the 1932 Jalisco, Mexico, earthquake. *J. Geophys. Res.*, 89, pp. 4520-4530.
- ENGDAHL, E.R. Y VILLASEÑOR, A., 2002. Global Seismicity: 1900-1999. In: Lee, W.H.K., Kanamori, H., Jennings, P.C., Kisslinger, C. (Eds.), *International Hand- book of Earthquake and Engineering Seismology*, Cap. 41, Parte A, pp. 665-690.
- ESTEVA, M. L. (1970). *Regionalización sísmica de México para fines de ingeniería*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ESTEVA, M. L., (1970). *Seismic risk and seismic design decisions*. *Journal of Seismic Designfor Nuclear Power Plants*, pp. 82–142.
- ESTEVA, M. L. Y RUIZ, S., (1989). *Seismic failure rates of multistory frames*. *Journal of Structural Engineering*, vol. 115(2), pp. 268–284.

- ESTEVA, L, O DÍAZ-LÓPEZ, J GARCÍA-PÉREZ, G SIERRA Y E ISMAEI (2002). Life-cycle optimization in the establishment of performance-acceptance parameters for seismic design. *Structural Safety*, Vol. 24, pp. 187-204.
- FRANKEL, A (1995). Mapping seismic hazard in the central and eastern United States. *Seism. Res. Lett.*, Vol. 66, pp. 8-21.
- FRANKEL, A, C MUELLER, T BARNHARD, D PERKINS, E V LEYENDECKER, N DICKMAN, S HANSON, Y M HOPPER (1996). National seismic hazard maps. *Open-File 96-532*, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Denver, CO.
- GAMA, G. A., (2010). *Estudio de peligro sísmico para la ciudad de Chilpancingo, Guerrero*. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- GAMA, G. A., GÓMEZ, B. A. Y AGUIRRE, G. J., (2005). *Estimación del peligro sísmico en sitios cercanos a la fuente sísmica*. GEOS Vol. 30, No. 2, pp. 203-225.
- GARCÍA, J. D. (2001). *Atenuación sísmica. Aplicación a terremotos intraplaca en México central*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.
- GARCÍA, S. A., POZOS, E. A., HONG, H. y GÓMEZ, M. R. (2012). *Estimación del peligro sísmico debido a sismos interplaca e inslab y sus implicaciones en el diseño sísmico*. Revista de Ingeniería sísmica No. 86, pp. 27-54. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, Distrito Federal, México.
- GARCÍA, D., SINGH, S. K., HERRÁIZ, M., ORDAZ, M. Y PACHECO, J. F., (2005). *Inslab earthquakes of central Mexico: Peak ground-motion parameters and response spectra*. Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 95(6), pp. 2272–2282.
- GARCÍA, D., SINGH, S. K., HERRÁIZ, M., ORDAZ, M. Y PACHECO, J. F., (2006). *Estimación de parámetros del movimiento fuerte del suelo para terremotos interplaca e intraslab en México central*. Tesis de doctorado. Universidad Complutense de Madrid.
- GINER-ROBLES, J.L., POZO, R. M., CARENAS F. B., DOMÍNGUEZ D. C., GARCÍA R. A., REGADÍO, G. M. Y SOTO, G. I.S. (2007) *Riesgo sísmico*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- GÓMEZ, B. A., JUÁREZ G., H. Y CORONA, M., (1999). *Peligro sísmico en el valle de Chilpancingo, Guerrero*. En Memorias XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, vol. 1. Sociedad Mexicana de Ingeniería sísmica, Michoacán, Morelia.
- GÓMEZ B, A., JUÁREZ G., H. Y CORONA, M (2009). *Análisis de peligro para la ciudad de Chilpancingo, Guerrero*. En Memorias XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Puebla.
- GÓMEZ-BERNAL, A., LECEA, M. Y JUÁREZ GARCÍA, H., (2012). *Empirical attenuation relationship for arias intensity in Mexico and their relation with the damage potential*. En 15th World Conference on Earthquake Engineering. Lisboa, Portugal.
- GÓMEZ, S. C., ORDAZ, S. M., TENA, C. A., (2005). *Leyes de atenuación en desplazamiento y aceleración para el diseño sísmico de estructuras con aislamiento en la costa del Pacífico*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. México.

- GUTENBERG, B., (1945). *Magnitude determination for deep focus earthquakes*. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 35, pp. 117-130.
- GUTIÉRREZ, M. C., QUAAS, W. R., ORDÁZ, S. M., GUEVARA, O. E., MURIÁ, V. D. y KRISHNA, S. S., (2005). *Serie Fascículos "SISMOS"*. CENAPRED. Secretaría de gobernación. México, D.F.
- GUTIÉRREZ, M. C., (2006). *Integración de información para la estimación del peligro sísmico*. Fenómenos Geológicos- CENAPRED. Secretaría de gobernación. México, D.F.
- GUZMÁN-SPEZIALE, (2010). *Beyond the Motagua and Polochic faults: Active strikeslip faulting along the Western North America-Caribbean plate boundary zone*, *Tectonophysics*, 496, pp. 17-27.
- HERNÁNDEZ, J. R., DÍAZ, A. R., MAGAZ, G. R., GONZÁLEZ, O. A., PORTELA, A. H. y ARTEAGA, B. F., (1991). *Criterios geomorfológicos para clasificación morfotectónica de Cuba oriental*. En *Morfotectónica de Cuba Oriental*. Editorial academia, La Habana. 43 pp.
- HERNÁNDEZ, J. R., (1987). *Geomorfología estructural y geodinámica reciente de Cuba Sudoriental en la zona de interacción de la microplaca cubana y la fosa profunda de Bartleu (en ruso)*. Instituto de Geografía, Academia de ciencias de Rusia. Moscú, 264 pp.
- HONG, H., (2012). *Peligro, riesgo y diseño sísmico óptimo*. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de México, México, D. F.
- IGLESIAS, M. A., (2004). *Algunos eventos recientes asociados a la brecha sísmica de guerrero: Implicaciones para la sismotectónica y el peligro sísmico de la región*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- INAFED, (2010). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Estado de Guerrero* (En línea). Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Secretaría de gobernación. Disponible en <http://inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM12guerrero/index.html> (último acceso febrero de 2014).
- INAFED, (2010). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Estado de Michoacán* (En línea). Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Secretaría de gobernación. Disponible en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/index.html> (último acceso febrero de 2014).
- INAFED, (2010). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Estado de Oaxaca* (En línea). Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Secretaría de gobernación. Disponible en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/presentacion.html> (último acceso febrero de 2014).
- INCA, C. E., (2013). *Estudio de peligro sísmico para la ciudad de Ometepec y otras ciudades aledañas del estado de Guerrero*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- INEGI, (1985). *Geología de la República Mexicana*. En INEGI, 88 pp.
- INEGI, (2012). *Información por identidad: Estado de Guerrero* (En línea). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/gro/default.aspx?tema=me&e=12> (último acceso febrero de 2014).

- INEGI, (2012). *Información por identidad: Estado de Michoacán* (En línea). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/default.aspx?tema=me&e=16> (último acceso febrero de 2014).
- INEGI, (2012). *Información por identidad: Estado de Oaxaca* (En línea). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/oax/default.aspx?tema=me&e=20> (último acceso febrero de 2014).
- JAIMES, T. M. A. Y REINOSO, A. E., (2001). *Peligro sísmico en la ciudad de México debido a sismos de subducción, falla normal e intraplaca*. En Memorias XIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Guadalajara, Jalisco.
- JARA, J. M. Y ROSENBLUETH, M. E., (1988). The Mexico Earthquake of September 19, 1985-Probability Distribution of Times Between characteristic subduction Earthquakes. Vol. 4, pp. 499-529.
- JUÁREZ, G. H., GÓMEZ, B. A., RANGEL, N. N. J. L., TENA, C. A., ROLDÁN, I. J. N. Y PELCASTRE, P. E., (2012). *The march 20, 2012, ometepec, mexico, earthquake*. En Special Earthquake Report (editado por S. Nathe), Learning from Earthquakes. EERI.
- KANAMORI, H., (1977). *The Energy Release in Great Earthquakes*. Journal of Geophys. Research, Vol. 82, pp.2981-2987.
- KRAMER, S. L., (1996), Geotechnical earthquake engineering. *Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, c1996, **vol. 1**.
- KOSTOGLODOV, V. Y PACHECO, J., (1999). *Cien años de sismicidad en México*. Instituto de Geofísica, UNAM.
- LEYTON, F., RUIZ, S., SEPÚLVEDA, S. (2010). *Reevaluación del peligro sísmico probabilista en Chile central*. Formerly Revista Geológica de Chile.
- MALDONADO-KOERDELL, M. (1970). *Perspectivas y apreciación del área Oaxaqueña en sus aspectos geodésicos, geofísicos y geomorfológicos y como ámbito humano*. Libro-Guía de la excursión México-Oaxaca. Sociedad Geológica Mexicana, México. Pp. 33-36.
- MANEA, M., MANEA, V.C., KOSTOGLODOV, V. Y GUZMAN-SPEZIALE, M., (2005). Elastic thickness of the oceanic lithosphere beneath Tehuantepec ridge. *Geofísica Inter- nacional*, 44, 2, pp. 157-168.
- MENDOZA, P. A., (2012). *Estudio de la estabilidad del valor b para regiones sismotectónicas de México*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- McGUIRE, R. K., (2004). *Seismic hazard and risk analysis*. Earthquake Engineering Research. Institute, Oakland, CA.
- NATALI, S. Y SBAR, M., 1982. Seismicity in the epicentral region of the 1887 northeastern Sonora earthquake, Mexico. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 72, pp. 181-196.
- NAVA, A. F., (1987). *Terremotos*, Fondo de Cultura Económica, Colección La Ciencia desde México, México.

- NIST, (2011). *Selecting and scaling earthquake ground motions for performing response history analyses*. NIST GCR 11-917-15, preparado por NEHRP Consultants Joint Venture para el National Institute of Standards and Technology: Redwood City, California.
- NÚÑEZ-CORNÚ, F. J., (1996). *A double seismic front and earthquake cycles along the coast of Oaxaca, Mexico*. Seismological Research Letters, vol. 67(6), pp. 33–39.
- NÚÑEZ-CORNÚ, F. Y PONCE, L., (1989). *Zonas sísmicas de Oaxaca, México: Sismos máximos y tiempos de recurrencia para el período 1542-1988*. Geofísica Internacional, v 28, pp. 587-641.
- NYFFENEGGER, P., (1997). *Earthquakes Basic*. University of Texas Institute for Geophysics
- ORDÁZ, M. Y REYES, C., (1999). "Earthquake hazard in Mexico City: Observations versus computations", *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 89, No. 5, pp. 1379–1383.
- ORDÁZ, M, L E PÉREZ-ROCHA Y J ALEMÁN VELÁSQUEZ (2007). "Definición de sismos máximos para el diseño sísmico de estructuras", *XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Ixtapa- Zihuatanejo, Guerrero, México.
- ORTEGA, F., (1981). *Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance*. Geofísica Internacional, vol. 20, núm. 20, pp. 117-202.
- ORTUÑO, A. S., (1985). *Geología del área la Zacatera, Oaxaca*. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería. UNAM, México, 95 pp.
- ORTÍZ, M., SINGH, S. K., KOSTOGLODOV, V. Y PACHECO, J., (2000). *Source areas of the Acapulco-San Marcos, Mexico earthquakes of 1962 (M 7.1; 7.0) and 1957 (M 7.7), as constrained by tsunami and uplift records*. Geofísica Internacional. Vol. 39, Núm. 4, pp. 337-348.
- PANTOJA, J. y ROBINSON, R. A., (1985). *Geología del área la Zacateca, Oaxaca*. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería. UNAM, México.
- PARDO, M., SUÁREZ, G., (1995). *Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in Southern Mexico: Seismic and tectonic implications*. Journal Geophysical Research, Vol. 100, No. B7, pp. 12,357-12,373.
- RCOIMM, (1995). *Reglamento para la Construcción y Obras de Infraestructura del Municipio de Morelia, Michoacán*. H. Ayuntamiento Municipal Constitucional de Morelia, Michoacán.
- RCMC, (1999). *Reglamento de Construcciones para el Municipio de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero*. H. Ayuntamiento Municipal Constitucional de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero.
- RCMO, (1998). *Reglamento de Construcciones para el Municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca*. H. Ayuntamiento Municipal Constitucional de Oaxaca de Juárez, Oaxaca.
- REYES, C., MIRANDA, E., ORDAZ, M. Y MELI, R., (2002). Estimación de espectros de aceleraciones correspondientes a diferentes periodos de retorno para las distintas zonas sísmicas de la ciudad de México, *Revista de Ingeniería Sísmica*, No. 66, pp. 95-121.
- ROSENBLUETH, E. Y ESTEVA, L., (1972). *Reliability Basis for Some Mexican Codes Publication*, *ACI Special Publication*, Vol. 31, pp. 1-42.

- ROSENBLUETH, E. Y GÓMEZ, R., (1991), *Comentarios y ejemplos a las normas técnicas complementarias para diseño por sismo*, DDF, *Serie de Instituto de Ingeniería*, ES-7, UNAM, México.
- ROSENBLUETH, E. Y JARA, J. (1991), Constant versus time dependent seismic design coefficients, *Proceedings of the 3rd IFIP WG 7.5 Conference on Reliability and Optimization of Structural Systems '90*, Springer-Verlag, Berlin, Germany, Vol. 1, pp. 315-327.
- REYES, C., MIRANDA, E., ORDAZ, M. y MELI, R. (2002). *Estimación de espectros de aceleraciones correspondientes a diferentes periodos de retorno para las distintas zonas sísmicas de la ciudad de México*. Universidad Autónoma de México, México.
- RICHTER, C. F., (1958). *Elementary Seismology*, W. H. Freeman and Co. Eds., San Francisco.
- RISK-ENGINEERING, (2011). *Ez-Frisk v.7.62, Manual de usuario*. Risk Engineering, Inc., Golden, Colorado, USA.
- RUDOLF-NAVARRO, A., MUÑOZ-DIOSDADO, A. Y ANGULO-BRONW, A., (2010). *Seismic quiescence patterns as possible precursors of great earthquakes in Mexico*. *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 5 (6), pp. 651-670
- SCHMIDT, D.V. Y QUIRÓS, S. C. (2007). *Caracterización de los registros acelerográficos obtenidos en el laboratorio de ingeniería sísmica de la universidad de Costa Rica*. *Ingeniería* 17, ISSN: 1409-2441. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica pp. 27-41.
- SHEPARD, D., (1968). *A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data*. En *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference*, pp. 517-524.
- SINGH, S., MENA, E., L. Y CASTRO, R., (1988). *Some aspects of the source characteristic and the group motion amplifications in and near México City from the acceleration data the September, 1985, Michoacán, México Earthquakes*. *Bull. Seism. Soc. Am.* Núm 78, pp. 451-477.
- SINGH, S., MORI, A., L. MENA, R., KRÜGER, F. Y KIND, R., (1990). *Evidence for anomalous body-wave radiation between 0.3 and 0.7 from the 1985 september 19 Michoacán, México Earthquake*. *Geophys. J. int.* Núm 101, pp. 37-48.
- SINGH, S., SUÁREZ, G., L. Y DOMINGUÉZ, T., (1985a). *The Oaxaca, México earthquake of 1931: lithospheric normal faulting of the subducted Cocos plate*. *Nature*, núm 317, pp. 56-58
- SINGH, S., ASTIZ, L. Y HAVSKOV, J., (1981). *Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: a reexamination*. *Bulletin of the seismological Society of America*, vol. 71(3), pp. 827-843.
- SINGH, S., PONCE, L. Y NISHENKO, S., (1985b). *The great Jalisco, Mexico, earthquakes of 1932: Subduction of the Rivera Plate*. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 75, pp. 1301-1313.
- SUÁREZ, G. Y ALBAINI, P., (2009). *Evidence for Great Tsunamiogenic Earthquakes (M 8.6) along the Mexican Subduction Zone*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 99, No. 2A, pp. 892-896

- SSN, (2012). *Tectónica de placas*. (En línea). Servicio Sismológico Nacional, México, disponible en http://www.rodolfocorona.com/archivos/pdf/2012_reporte_sismo_ometepep_pinotepa_mex_unam.pdf (último acceso e día 23 de marzo de 2014)
- SSN, (2014). *Catálogo de sismos fuertes*. (En línea). Servicio Sismológico Nacional, México, disponible en <http://www2.ssn.unam.mx:8080/website/jsp/fuertes.jsp> (último acceso e día 30 de julio de 2014)
- STEIN, S. Y WYSESSION, M., (2003.). *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. 498 pp. Oxford: Blackwell Science. ISBN 0 865 42078 5.
- SUTER, M., (1987). *Orientational data on the state of stress in Northeastern Mexico as inferred from stress-induced borehole elongations*. J. Geophys. Res., 92, pp. 2617- 2626.
- TAPIA, H. E. y TENA, C. A. (2013), "Diseño sísmico de marcos de acero contraventeados. Parte 2: Evaluación de la metodología", *Revista de Ingeniería Sísmica, SMIS*. No.88. pp. 43-68. ISSN-0185-092X.
- URRUTIA, J., (1980), *Palaeomagnetic studies of Mexican Rocks*. Doctoral Thesis . University of Newcastle upon Tyne, Inglaterra., pp. 689
- VIDAL, R. M., CAMPA, F., HUITRÓN, B., ALENCASTER, G., (1980). *el conjunto petrotectónico de Zihuatanejo, Guerrero-Coalmán, Michoacán*. *Sociedad Geológica Mexicana*. Resúmenes de la V Convención Nacional, pp. 11-112
- WATKINS, J. S., McMILLEN K. J., BACHMAN, S. B., SHIPLEY, T. H. MOORE, J. C. Y ANGEVINE, C. H., (1982). *Tectonic synthesis. Leg 66-transect and vicinity: Inital Report od the Deep Sea Drilling Project, vol. 66, pp. 837-849*
- YOUNGS, R., CHIOU, S. J., SILVA, W. Y HUMPHREY, J., (1997). *Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes*. *Seismological Research Letters*, vol. 68(1), pp. 58–73.
- ZÚÑIGA, R., SUÁREZ, G., ORDAZ, M. Y GARCÍA-ACOSTA, V., (1997). *Peligro sísmico en Latinoamérica y el caribe*. Reporte Final IPGH. Capítulo 2, México.
- ZÚÑIGA, F.R. Y WYSS, M., (2001). *Most and Least Likely Locations of Large to Great Earthquakes along the Pacific Coast of Mexico, Estimated from Local Recurrence Times Based on b- values*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91, pp. 1717-1728.
- ZÚÑIGA, F.R. (2011). *Sismología*. Notas introductorias Posgrado en Ciencias de la Tierra. Centro de Ciencias. UNAM-Campus JURQUILA

ANEXOS

Anexo 1

Tabla 1.1 Datos utilizados para el análisis de Peligro sísmico de la región de estudio

NÚM.	CLAVE	LOCALIDAD	ESTADO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE SUELO	FUENTES SISMOGÉNICAS			LEY DE ATENUACIÓN
								ÁREAS (sismos someros)	Áreas (sismos profundos)	FALLAS	
1	AG-MI01	Cuchilla	MICHOACÁN	545	18.900151°	-103.316997°	FIRME	NAL,RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
2	AG-MI02	Las Morenas	MICHOACÁN	1276	18.81169°	-103.454955°	FIRME	NAL,RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
3	AG-MI03	Aguila	MICHOACÁN	210	18.598368°	-103.503178°	FIRME	NAL,RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
4	AG-MI04	Placita Morelos	MICHOACÁN	25	18.531968°	-103.589455°	FIRME	NAL,RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
5	AG-MI05	Monteleon	MICHOACÁN	1564	20.308978°	-102.209950°	FIRME	NAL,RIV3, BB, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
6	AG-MI06	La Sauceda	MICHOACÁN	1581	20.094875°	-102.345017°	FIRME	NAL, RIV2, RIV3, BB, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
7	AG-MI07	Guáscuaro de Múgica	MICHOACÁN	1717	19.796503°	-102.519778°	FIRME	NAL,RIV2, RIV3, BB, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
8	AG-MI08	La Taberna	MICHOACÁN	871	19.513463°	-102.653577°	FIRME	NAL, BB, RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
9	AG-MI09	Tepalcatepec	MICHOACÁN	383	19.183450°	-102.849969°	FIRME	NAL,RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
10	AG-MI10	El Resumidero	MICHOACÁN	1892	18.934844°	-103.018824°	FIRME	NAL,RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
11	AG-MI11	Coacámán de Vázquez Pallares	MICHOACÁN	1021	18.774674°	-103.159437°	FIRME	NAL,RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
12	AG-MI12	Las Joyas	MICHOACÁN	1227	18.706150°	-103.236762°	FIRME	NAL,RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
13	AG-MI13	El Coire	MICHOACÁN	623	18.394369°	-103.317706°	FIRME	NAL,RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
14	AG-MI14	Colola	MICHOACÁN	14	18.298129°	-103.411859°	FIRME	NAL,RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
15	AG-MI15	El Palmito	MICHOACÁN	1687	20.211776°	-101.945723°	FIRME	NAL, BB, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
16	AG-MI16	Tlazazalca	MICHOACÁN	1805	19.970274°	-102.056232°	FIRME	NAL, BB, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
17	AG-MI17	Charapan	MICHOACÁN	2369	19.648913°	-102.250936°	FIRME	NAL, BB, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
18	AG-MI18	Apo	MICHOACÁN	2131	19.427030°	-102.412432°	FIRME	NAL, RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997

Tabla 1.1 Datos utilizados para el análisis de Peligro sísmico para la región de estudio (continuación)

NÚM.	CLAVE	LOCALIDAD	ESTADO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE SUELO	FUENTES SISMOGÉNICAS			LEY DE ATENUACIÓN
								ÁREAS (sismos someros)	Áreas (sismos profundos)	FALLAS	
19	AG-MI19	Buenavista Tomatlán	MICHOACÁN	455	19.20814°	-102.586962°	FIRME	NAL.RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
20	AG-MI20	Pinzandaro	MICHOACÁN	261	19.107328°	-102.544088°	FIRME	NAL.RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
21	AG-MI21	El Aguaje	MICHOACÁN	283	18.991311°	-102.711148°	FIRME	NAL. RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
22	AG-MI22	Aguililla	MICHOACÁN	924	18.737642°	-102.788110°	FIRME	NAL.RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
23	AG-MI23	Barranca Seca	MICHOACÁN	975	18.575644°	-102.887770°	FIRME	NAL.RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
24	AG-MI24	La Parota	MICHOACÁN	547	18.318104°	-103.032622°	FIRME	NAL.RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
25	AG-MI25		MICHOACÁN	16	18.199329°	-103.079737°	FIRME	NAL.RIV2, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
26	AG-MI26	Nuevo Progreso	MICHOACÁN	1958	20.046075°	-101.649581°	FIRME	NAL, BB, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
27	AG-MI27	Zacapu	MICHOACÁN	1999	19.81206°	-101.794566°	FIRME	NAL, BB, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
28	AG-MI28	Paracho	MICHOACÁN	2232	19.643230°	-102.048026°	FIRME	NAL, BB, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
29	AG-MI29	Tingambato	MICHOACÁN	1980	19.502309°	-101.853955°	FIRME	NAL, BB, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
30	AG-MI30	Úruapan	MICHOACÁN	1626	19.414926°	-102.052374°	FIRME	NAL, BB, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
31	AG-MI31	Parácuaro	MICHOACÁN	601	19.146026°	-102.219182°	FIRME	NAL.RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
32	AG-MI32	Antúnez	MICHOACÁN	371	19.015677°	-102.201997°	FIRME	NAL, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
33	AG-MI33		MICHOACÁN	1379	18.717087°	-102.424500°	FIRME	NAL, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
34	AG-MI34	Tumbiscatio	MICHOACÁN	931	18.524378°	-102.378056°	FIRME	NAL, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
35	AG-MI35	La Maguayera	MICHOACÁN	2088	18.397349°	-102.567518°	FIRME	NAL.RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
36	AG-MI36		MICHOACÁN	388	18.194485°	-102.709477°	FIRME	NAL, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
37	AG-MI37	Caleta de campos	MICHOACÁN	47	18.076515°	-102.755468°	FIRME	NAL, RIV3, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
38	AG-MI38	Huandacareo	MICHOACÁN	1855	19.989375°	-101.275240°	FIRME	NAL, BB, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	GCO, COL, MIC, PET	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997

Tabla 1.1 Datos utilizados para el análisis de Peligro sísmico para la región de estudio (continuación)

NÚM.	CLAVE	LOCALIDAD	ESTADO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE SUELO	FUENTES SISMOGÉNICAS			LEY DE ATENUACIÓN
								ÁREAS (sismos someros)	Áreas (sismos profundos)	FALLAS	
39	AG-MI39	Quiroga	MICHOACÁN	2083	19.664890°	-101.522603°	FIRME	NAL, BB, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
40	AG-MI40	Santa Clara del Cobre	MICHOACÁN	2235	19.405880°	-101.639985°	FIRME	NAL, BB, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
41	AG-MI41		MICHOACÁN	980	19.170932°	-101.826922°	FIRME	NAL, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
42	AG-MI42	Zicuirán	MICHOACÁN	198	18.876797°	-101.969237°	FIRME	NAL, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
43	AG-MI43		MICHOACÁN	513	18.558674°	-102.130340°	FIRME	NAL, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
44	AG-MI44	Arteaga	MICHOACÁN	840	18.361634°	-102.293384°	FIRME	NAL, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
45	AG-MI45	Mira La	MICHOACÁN	46	18.032089°	-102.325364°	FIRME	NAL, RIV2, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
46	AG-MI46	Las Peñas	MICHOACÁN	21	18.021740°	-102.501490°	FIRME	NAL, RIV2, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
47	AG-MI47	Morelia	MICHOACÁN	191	19.704514°	-101.198105°	FIRME	NAL, BB, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-B, IN2-C	GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
48	AG-MI48	Villa Madero	MICHOACÁN	2194	19.390999°	-101.280184°	FIRME	NAL, BB, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-B, IN2-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
49	AG-MI49	Tacámbaro	MICHOACÁN	1614	19.233972°	-101.453071°	FIRME	NAL, BB, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-B, IN2-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
50	AG-MI50	Puruarán	MICHOACÁN	1113	19.095879°	-101.521994°	FIRME	NAL, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
51	AG-MI51		MICHOACÁN	803	18.742424°	-101.662470°	FIRME	NAL, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
52	AG-GU01		GUERRERO	248	18.473125°	-101.836230°	FIRME	NAL, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
53	AG-GU02		GUERRERO	382	18.166992°	-102.005664°	FIRME	NAL, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
54	AG-MI52	Lázaro Cardenas	MICHOACÁN	11	17.953902°	-102.195373°	FIRME	NAL, RIV2, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
55	AG-MI53		MICHOACÁN	1952	19.617432°	-100.790871°	FIRME	NAL, BB, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	COL, MIC, PET, GUE	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
56	AG-MI54		MICHOACÁN	853	19.386904°	-100.869161°	FIRME	NAL, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	COL, MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
57	AG-MI55		MICHOACÁN	1092	19.123667°	-101.016730°	FIRME	NAL, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
58	AG-MI56		MICHOACÁN	406	18.847951°	-101.181483°	FIRME	NAL, SUBI, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997

Tabla 1.1 Datos utilizados para el análisis de Peligro sísmico para la región de estudio (continuación)

NÚM.	CLAVE	LOCALIDAD	ESTADO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE SUELO	FUENTES SISMOGÉNICAS			LEY DE ATENUACIÓN
								ÁREAS (sismos someros)	Áreas (sismos profundos)	FALLAS	
59	AG-MIS7		MICHOACÁN	271	18.575373°	-101.349334°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
60	AG-GU03		GUERRERO	1178	18.275552°	-101.499855°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
61	AG-GU04		GUERRERO	594	18.012632°	-101.657451°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
62	AG-GU05	Lagunillas	GUERRERO	52	17.825273°	-101.711480°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	JAL, GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
63	AG-MIS8	Zitácuaro	MICHOACÁN	1965	19.434256°	-100.357158°	FIRME	NAL, BB, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
64	AG-MIS9	Tuzantla	MICHOACÁN	591	19.205850°	-100.573721°	FIRME	NAL, BB, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
65	AG-MI60	Tiquicheo	MICHOACÁN	379	18.901574°	-100.737474°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	COL, MIC, PET, GUE, SAM	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
66	AG-MI61	Huetamo	MICHOACÁN	301	18.628549°	-100.899580°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
67	AG-GU06	Zirándaro	GUERRERO	213	18.475296°	-100.978963°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
68	AG-GU07		GUERRERO	1513	18.130901°	-101.159175°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
69	AG-GU08		GUERRERO	543	17.920688°	-101.322107°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
70	AG-GU09	Zihuatanejo	GUERRERO	16	17.645990°	-101.552958°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B	GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
71	AG-GU10	Otlatepec	GUERRERO	351	18.509117°	-100.499902°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
72	AG-GU11	Ciudad Altamirano	GUERRERO	249	18.358743°	-100.670291°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
73	AG-GU12		GUERRERO	1248	17.989567°	-100.858277°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
74	AG-GU13		GUERRERO	904	17.720985°	-101.016102°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
75	AG-GU14	Petatlán	GUERRERO	36	17.539378°	-101.270461°	FIRME	NAL, SUB1, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	GCO, COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
76	AG-GU15	Arcelia	GUERRERO	389	18.313331°	-100.283150°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME, OAD	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
77	AG-GU16	El Terrero	GUERRERO	318	18.130132°	-100.317439°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME, OAD	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
78	AG-GU17		GUERRERO	116	17.841866°	-100.501866°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	COL, MIC, PET, GUE, SAM, OME, OAD	AB-2003, CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997

Tabla 1.1 Datos utilizados para el análisis de Peligro sísmico para la región de estudio (continuación)

NÚM.	CLAVE	LOCALIDAD	ESTADO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE SUELO	FUENTES SISMOGÉNICAS			LEY DE ATENUACIÓN
								ÁREAS (sismos someros)	Áreas (sismos profundos)	FALLAS	
79	AG-GU18		GUERRERO	728	17.542875°	-100.668673°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A	COL. MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
80	AG-GU19	San Luis San Pedro	GUERRERO	18	17.265485°	-100.883368°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	COL. MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
81	AG-GU20	Taxco de Alarcón	GUERRERO	1755	18.556470°	-99.603978°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
82	AG-GU21	Teloloapan	GUERRERO	1674	18.367009°	-99.871165°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
83	AG-GU22	Iguala de la Independencia	GUERRERO	745	18.343772°	-99.537428°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
84	AG-GU23	Apaxtla de Castrejón	GUERRERO	1220	18.129834°	-99.932462°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
85	AG-GU24		GUERRERO	422	17.947040°	-100.017314°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
86	AG-GU25	Las Juntas	GUERRERO	1684	17.652693°	-100.169113°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
87	AG-GU26	Pie de la Cuesta	GUERRERO	1049	17.471743°	-100.370562°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
88	AG-GU27	Tecpan de Galeana	GUERRERO	41	17.219981°	-100.628963°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	COL. MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
89	AG-GU28	Atoyac de Álvarez	GUERRERO	49	17.207921°	-100.434221°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	COL. MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
90	AG-GU29	Hacienda de Cabañas	GUERRERO	11	17.097000°	-100.471808°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	COL. MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
91	AG-GU30	Huitzoco de los Figueroa	GUERRERO	944	18.303960°	-99.333226°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
92	AG-GU31	Tonalapa del Sur	GUERRERO	735	18.097965°	-99.560671°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
93	AG-GU32	Xochipala	GUERRERO	1072	17.811661°	-99.641069°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
94	AG-GU33	Chichihualco	GUERRERO	1171	17.656842°	-99.677504°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
95	AG-GU34	Jaleaca de Catalán	GUERRERO	776	17.446288°	-99.859925°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
96	AG-GU35		GUERRERO	892	17.275530°	-99.940663°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
97	AG-GU36	Coyuca de Benítez	GUERRERO	17	17.007495°	-100.086327°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
98	AG-GU37	Atenango del Río	GUERRERO	634	18.104190°	-99.107523°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM. OME. DAO. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997

Tabla 1.1 Datos utilizados para el análisis de Peligro sísmico para la región de estudio (continuación)

NÚM.	CLAVE	LOCALIDAD	ESTADO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE SUELO	FUENTES SISMOGÉNICAS			LEY DE ATENUACIÓN
								ÁREAS (sismos someros)	Áreas (sismos profundos)	FALLAS	
99	AG-GU38	Tuliman	GUERRERO	1099	18.029537°	-99.254166°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM.OME. DAO. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
100	AG-GU39	Apango	GUERRERO	1098	17.741205°	-99.327741°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM.OME. DAO. DACII. DAC	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
101	AG-GU40	Chilpancingo de los Bravo	GUERRERO	1274	17.553652°	-99.500703°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM.OME. DAO. DACII. DAC	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
102	AG-GU41	Acahuzotla	GUERRERO	828	17.360513°	-99.467150°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM.OME. DAO. DACII. DAC	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
103	AG-GU42	Xaltianguis	GUERRERO	545	17.098450°	-99.714032°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM.OME. DAO. DACII. DAC	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
104	AG-GU43	Acapulco	GUERRERO	42	16.864939°	-99.896621°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM.OME. DAO. DAC. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
105	AG-GU44		GUERRERO	1183	17.981033°	-98.818836°	FIRME	NAL. GMX. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	PET. GUE. SAM.OME. DAO. DACII. DAC	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
106	AG-GU45	Tecolcuautla	GUERRERO	1060	17.785774°	-98.948318°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	PET. GUE. SAM.OME. DAO. DACII. DAC	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
107	AG-GU46	Chilapa de Álvarez	GUERRERO	1416	17.593571°	-99.176760°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM.OME. DAO. DACII. DAC	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
108	AG-GU47	Atlixac	GUERRERO	1684	17.563035°	-98.934307°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM.OME. DAO. DACII. DAC	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
109	AG-GU48		GUERRERO	621	17.243827°	-99.205394°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM.OME. DAO. DACII. DAC	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
110	AG-GU49		GUERRERO	604	16.994896°	-99.376515°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	MIC. PET. GUE. SAM.OME. DAO. DAC. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
111	AG-GU50	Monte Alto	GUERRERO	38	16.716329°	-99.464247°	FIRME	NAL. GMX. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	PET. GUE. SAM.OME. DAO. DAC. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
112	AG-GU51	Huamuxtítlan	GUERRERO	904	17.803237°	-98.563386°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	PET. GUE. SAM.OME. DAO. DACII. DAC	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
113	AG-GU52	Tlapa de Comonfort	GUERRERO	1134	17.540935°	-98.577854°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	PET. GUE. SAM.OME. DAO. DAC. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
114	AG-GU53	Acatepec	GUERRERO	1744	17.324959°	-98.909832°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	PET. GUE. SAM.OME. DAO. DAC. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
115	AG-GU54	Tlacoapa	GUERRERO	1408	17.262340°	-98.748529°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	PET. GUE. SAM.OME. DAO. DAC. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
116	AG-GU55	Ayutla de los Libres	GUERRERO	281	16.964274°	-99.097430°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	PET. GUE. SAM.OME. DAO. DAC. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
117	AG-GU56	Cruz Grande	GUERRERO	50	16.722380°	-99.123456°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	PET. GUE. SAM.OME. DAO. DAC. DACII	AB-2003. CL-2012. GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997
118	AG-A001	Guadalupe de Ramirez	OAXACA	1179	17.758156°	-98.165457°	FIRME	NAL. SUB2. SUB3. MVB. NAM. GMX	INI-B. INI-C. INI-A. IN2-A. IN2-B. IN2-C	GUE. SAM.OME. DAO. DAC. DACII. DAR	GA-2005. GA-2006. GO-2005. GO-2012. YO-1997

Tabla 1.1 Datos utilizados para el análisis de Peligro sísmico para la región de estudio (continuación)

NÚM.	CLAVE	LOCALIDAD	ESTADO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE SUELO	FUENTES SISMOGÉNICAS			LEY DE ATENUACIÓN
								ÁREAS (sismos someros)	Áreas (sismos profundos)	FALLAS	
119	AG-A002	San Francisco Tlapacingo	OAXACA	1386	17.484235°	-98.269150°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM, GMX	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	PET, GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
120	AG-GU57	Metlatonoc	GUERRERO	2026	17.194715°	-98.407071°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	PET, GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	AB-2003, CI-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
121	AG-GU58	Pueblo Hidalgo	GUERRERO	915	16.951404°	-98.654750°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	PET, GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	AB-2003, CI-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
122	AG-GU59	San Luis Acatlán	GUERRERO	279	16.807934°	-98.735781°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	PET, GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	AB-2003, CI-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
123	AG-GU60	Marquelia	GUERRERO	13	16.582553°	-98.815707°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	PET, GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	AB-2003, CI-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
124	AG-DA03	San Juan Bautista Suchiteoec	OAXACA	1859	17.971871°	-97.659825°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM, GMX	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
125	AG-DA04	Huajuapam de León	OAXACA	1603	17.806856°	-97.784022°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM, GMX	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
126	AG-DA05		OAXACA	1914	17.571681°	-97.795792°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM, GMX	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
127	AG-DA06	santiago juxtlahuaca	OAXACA	1692	17.334486°	-98.011369°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
128	AG-DA07		OAXACA	1273	17.066358°	-98.049847°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
129	AG-GU61	Xochistlahuaca	GUERRERO	380	16.792118°	-98.242102°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	PET, GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	AB-2003, CI-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
130	AG-GU62	Cuajicuilapa	GUERRERO	56	16.471572°	-98.413658°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	PET, GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	AB-2003, CI-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
131	AG-DA08	Santiago Tepextla	OAXACA	61	16.339660°	-98.446592°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, MVB, NAM	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C	PET, GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
132	AG-DA09	Teotitlan de Flores Magón	OAXACA	1063	18.130482°	-97.067825°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, OACII, DAC, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
133	AG-DA10	Santa Maria Ixcatlan	OAXACA	1910	17.853931°	-97.192637°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
134	AG-DA11		OAXACA	2404	17.658033°	-97.355158°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-B, INI-C, INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
135	AG-DA12	Santiago Yolomecatl	OAXACA	2153	17.473026°	-97.570368°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
136	AG-DA13		OAXACA	2861	17.164214°	-97.651731°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
137	AG-DA14		OAXACA	1008	16.906947°	-97.790250°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
138	AG-DA15	La Reforma	OAXACA	847	16.625816°	-97.846778°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, OACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997

Tabla 1.1 Datos utilizados para el análisis de Peligro sísmico para la región de estudio (continuación)

NÚM.	CLAVE	LOCALIDAD	ESTADO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE SUELO	FUENTES SISMOGÉNICAS			LEY DE ATENUACIÓN
								ÁREAS (sismos someros)	Áreas (sismos profundos)	FALLAS	
139	AG-DA16	Pinotepa Nacional	OAXACA	211	16.337803°	-98.051836°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
140	AG-DA17	Corralero	OAXACA	8	16.236482°	-98.188958°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
141	AG-DA18	Río Sapo	OAXACA	115	18.271583°	-96.718643°	FIRME	NAL, SUB3, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OME, DAO, DACII, DAC, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
142	AG-DA19	Chiquihuitlán de Benito Juárez	OAXACA	1220	17.996021°	-96.744849°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
143	AG-DA20	San Juan Abutista Cuicatlan	OAXACA	635	17.799947°	-96.958922°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
144	AG-DA21		OAXACA	1410	17.518154°	-97.028343°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
145	AG-DA22	Santa Ines de Zaragoza	OAXACA	1761	17.228595°	-97.158996°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
146	AG-DA23	San Pedro Teozacoalco	OAXACA	1596	17.016133°	-97.287103°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
147	AG-DA24	SanSebastián Yutanino	OAXACA	1247	16.790277°	-97.460124°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
148	AG-DA25		OAXACA	732	16.470825°	-97.588758°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
149	AG-DA26	Piedra Ancha	OAXACA	36	16.184581°	-97.750317°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
150	AG-DA27	El Azufre	OAXACA	6	15.987569°	-97.780274°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
151	AG-DA28	Tuxtepec	OAXACA	29	18.087651°	-96.127174°	FIRME	NAL, GMX, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	DAO, DACII, DAC, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
152	AG-DA29	San Lucas Ojitlán	OAXACA	134	18.059974°	-96.395827°	FIRME	NAL, GMX, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	DAO, DACII, DAC, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
153	AG-DA30		OAXACA	902	17.825172°	-96.427628°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
154	AG-DA31	San Juan Quiotepec	OAXACA	1987	17.601394°	-96.587431°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
155	AG-DA32	san miguel aloapam	OAXACA	2307	17.412342°	-96.692156°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
156	AG-DA33	Oaxaca de Juárez	OAXACA	1554	17.060336°	-96.721514°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
157	AG-DA34		OAXACA	2797	16.840522°	-96.981417°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
158	AG-DA35	San Lorenzo Texmelucan	OAXACA	1411	16.584922°	-97.198819°	FIRME	NAL, GMX, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997

Tabla 1.1 Datos utilizados para el análisis de Peligro sísmico para la región de estudio (continuación)

NÚM.	CLAVE	LOCALIDAD	ESTADO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE SUELO	FUENTES SISMOGÉNICAS			LEY DE ATENUACIÓN
								ÁREAS (sismos someros)	Áreas (sismos profundos)	FALLAS	
159	AG-DA36	Santa Catarina Juquila	OAXACA	1466	16.237042°	-97.291400°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
160	AG-DA37	Río Grande	OAXACA	28	16.011936°	-97.435189°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B	GUE, SAM, OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
161	AG-DA38	Loma Bonita	OAXACA	36	18.108169°	-95.879700°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
162	AG-DA39	Ayotzintepec	OAXACA	126	17.671638°	-96.128992°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
163	AG-DA40	san juan yaé	OAXACA	1473	17.431692°	-96.282575°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
164	AG-DA41	Santa María Yavesia	OAXACA	1998	17.235394°	-96.428703°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
165	AG-DA42	San Juan Guelavia	OAXACA	1602	16.954812°	-96.543958°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
166	AG-DA43	San José del Progreso	OAXACA	1594	16.685644°	-96.684869°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, INI-C, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
167	AG-DA44	San Vicente Coatlán	OAXACA	1375	16.391075°	-96.844103°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, INI-B, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
168	AG-DA45	Soledad Piedra	OAXACA	924	16.135578°	-97.027081°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-A, INI-B, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
169	AG-DA46	Puerto Escondido	OAXACA	81	15.870886°	-97.076722°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM	INI-A, INI-B, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
170	AG-DA47	Montenegro	OAXACA	78	17.592360°	-95.865455°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
171	AG-DA48	Chinantequilla	OAXACA	1217	17.307403°	-95.988586°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
172	AG-DA49	San Pedro y San Pablo Ayutla	OAXACA	2069	17.028236°	-96.075959°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
173	AG-DA50	San Baltazar Guelavilla	OAXACA	1594	16.796808°	-96.303705°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
174	AG-DA51	Río Seco	OAXACA	1074	16.541453°	-96.399906°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
175	AG-DA52	Miahuatlan	OAXACA	1563	16.328397°	-96.594317°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
176	AG-DA53		OAXACA	773	16.045106°	-96.698036°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, NAM, MVB	INI-A, IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
177	AG-DA54	San Juanito a la Botija	OAXACA	112	15.791152°	-96.785829°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, NAM, MVB	IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B	SAM, OME, DAO, DAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
178	AG-DA55		OAXACA	102	17.608017°	-95.394819°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	IN2-A, IN2-B, IN2-C, IN3-A, IN3-B, IN3-C	DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997

Tabla 1.1 Datos utilizados para el análisis de Peligro sísmico para la región de estudio (continuación)

NÚM.	CLAVE	LOCALIDAD	ESTADO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE SUELO	FUENTES SISMOGÉNICAS			LEY DE ATENUACIÓN
								ÁREAS (sismos someros)	Áreas (sismos profundos)	FALLAS	
179	AG-DA56		OAXACA	209	17.373194°	-95.537261°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
180	AG-DA57		OAXACA	1031	17.126828°	-95.680861°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
181	AG-DA58		OAXACA	1268	16.900814°	-95.826256°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OME, OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
182	AG-DA59	Soledad Salinas	OAXACA	788	16.661125°	-96.000883°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, MVB, NAM, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OME, OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
183	AG-DA60		OAXACA	1131	16.406944°	-96.116783°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OME, OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
184	AG-DA61	Santo Domingo Ozolotepec	OAXACA	2316	16.149849°	-96.309997°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OME, OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
185	AG-DA62	Pluma Hidalgo	OAXACA	1342	15.925628°	-96.418496°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, NAM, MVB	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OME, OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
186	AG-DA63	Pochutla	OAXACA	151	15.742616°	-96.466929°	FIRME	NAL, SUB2, SUB3, SUB4, NAM, MVB	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OME, OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
187	AG-DA64		OAXACA	53	17.348274°	-95.080472°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
188	AG-DA65	Revolución	OAXACA	105	17.174258°	-95.192558°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
189	AG-DA66		OAXACA	415	16.949667°	-95.322569°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
190	AG-DA67	Santiago Lachiguiri	OAXACA	773	16.685461°	-95.532925°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
191	AG-DA68	Magdalena Tequisistlan	OAXACA	220	16.397242°	-95.601303°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
192	AG-DA69	San Miguel Suchiltepec	OAXACA	420	16.260656°	-95.755569°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
193	AG-DA70		OAXACA	429	16.015361°	-95.888256°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OME, OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
194	AG-DA71	Barra de la Cruz	OAXACA	13	15.838544°	-95.970283°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OME, OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
195	AG-DA72	La Esmeralda	OAXACA	118	17.165975°	-94.787950°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OACII, OAC, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
196	AG-DA73		OAXACA	207	17.027542°	-94.861244°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OACII, OAC, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
197	AG-DA74	Matías Romero	OAXACA	211	16.876856°	-95.037703°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997
198	AG-DA75	Ixtepic	OAXACA	61	16.552400°	-95.097681°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAD, OAC, DACII, OAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YO-1997

Tabla 1.1 Datos utilizados para el análisis de Peligro sísmico para la región de estudio (continuación)

NÚM.	CLAVE	LOCALIDAD	ESTADO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	TIPO DE SUELO	FUENTES SISMOGÉNICAS			LEY DE ATENUACIÓN
								ÁREAS (sismos someros)	Áreas (sismos profundos)	FALLAS	
199	AG-DA76	Tehuantepec	OAXACA	43	16.323553°	-95.237483°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	DAQ, OAC, DACII, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YQ-1997
200	AG-DA77	Santa Cruz Bamba	OAXACA	23	16.032297°	-95.425603°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	DAQ, OAC, DACII, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YQ-1997
201	AG-DA78		OAXACA	831	17.087008°	-94.425225°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAC, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YQ-1997
202	AG-DA79		OAXACA	746	16.867928°	-94.548103°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAC, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YQ-1997
203	AG-DA80	La Blanca	OAXACA	61	16.593311°	-94.692386°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAC, DACII, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YQ-1997
204	AG-DA81	Unión Hidalgo	OAXACA	14	16.472158°	-94.832176°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAC, DACII, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YQ-1997
205	AG-DA82		OAXACA	961	16.928369°	-94.134128°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAC, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YQ-1997
206	AG-DA83		OAXACA	1208	16.710917°	-94.246317°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAC, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YQ-1997
207	AG-DA84	Santo Domingo Zanatepec	OAXACA	67	16.478204°	-94.352652°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAC, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YQ-1997
208	AG-DA85	San Francisco Ixhuatán	OAXACA	18	16.350456°	-94.483561°	FIRME	NAL, SUB3, SUB4, NAM, MVB, GMX	IN2 A, IN2 B, IN2 C, IN3 A, IN3 B, IN3 C	OAC, DAR, TEH, CHI	GA-2005, GA-2006, GO-2005, GO-2012, YQ-1997

Anexo 2

Tabla 2.1 Base de datos¹

NÚM.	CLAVE	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	LEY DE ATENUACIÓN	EPU																
						T= 20 AÑOS																
						T (s)	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4			
1	AG-MI01	545	18.900151°	-103.316997°	GA-2005	SA (g)	0.0975	0.1722	0.2376	0.1367	0.0702	0.0471	0.0389	0.0261	0.0164	0.0084	0.0048	0.0024	0.0013			
					GD-2005		0.2993	0.2993	0.2993	0.2993	0.2993	0.2993	0.2993	0.2993	0.2993	0.2993	0.2993	0.2993	0.2993	0.2993	0.2993	0.2993
					GD-2012		0.1725	0.1725	0.1725	0.1725	0.1725	0.1725	0.1725	0.1725	0.1725	0.1725	0.1725	0.1725	0.1725	0.1725	0.1725	0.1725
					YD-1997		0.2154	0.4063	0.4952	0.5346	0.4612	0.4058	0.3691	0.2419	0.1690	0.1043	0.0699	0.0325	0.0250			
					GA-2006		0.2273	0.3907	0.4955	0.4774	0.4380	0.3778	0.3337	0.2665	0.1925	0.1245	0.0887	0.0544	0.0398			

¹ La tabla solo presenta el punto AG-MI01 y para Tr=20 años, los resultados completos de este y todos los puntos se anexan en una unidad de CD.

Anexo 3

EZ-FRISK™

1. Descripción del programa

El programa de cómputo EZ-FRISK. v7.62 desarrollado por Risk Engineering Inc., permite al usuario realizar análisis en tres módulos diferentes, los principales son: Peligro Sísmico (Probabilista y Determinista), Ajuste de Espectros (Spectral Matching) y Análisis de Respuesta de Sitio como se observa en la figura No. 1, mediante una interfaz gráfica amigable y con opciones de modificación de variables en donde se permite agregar parámetros de análisis para diferentes casos y en diferentes regiones del mundo, pero siempre y cuando se cuente con la base de datos del lugar para los análisis correspondientes.

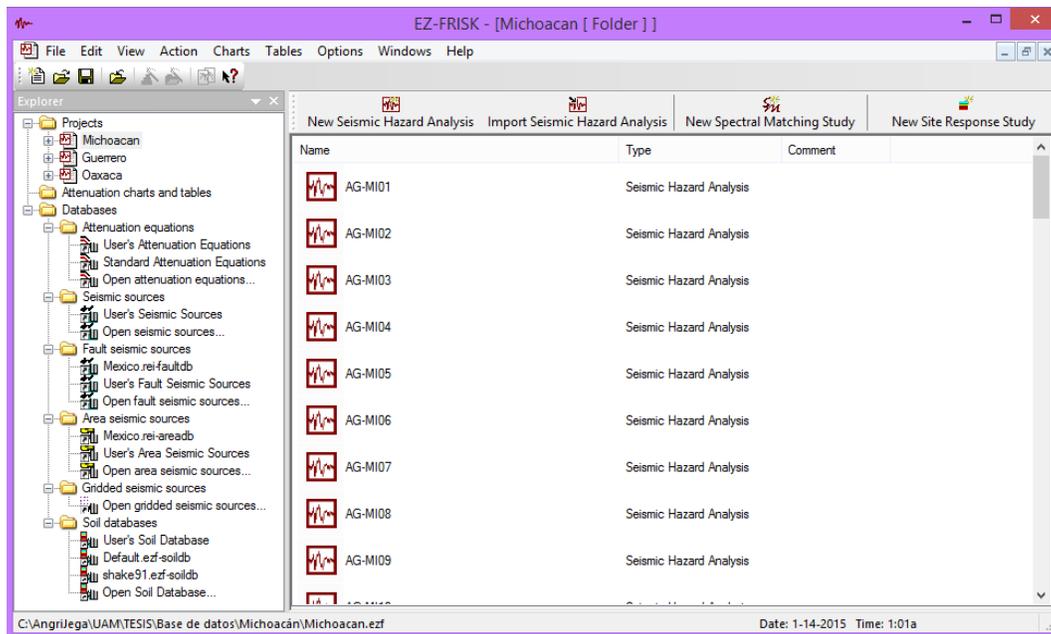


Figura No.1 Pantalla inicial del programa EZ-FRIK™ v7.62

En este trabajo se utilizó el módulo de Peligro sísmico como se muestra en la figura No.2, el programa permite el análisis probabilista y determinista. Los resultados del análisis probabilista son frecuencias de excedencia anuales para diferentes niveles de movimiento de terreno para el sitio en estudio, también realiza el cálculo del promedio y las demás distribuciones de magnitud,

distancia y ϵ (número de veces la desviación estándar de la ordenada de un espectro con la ordenada de la relación de atenuación utilizada) que causan la excedencia de un nivel específico de movimiento de terreno. Los resultados del análisis determinista estiman los movimientos de suelo (para la media y cuartiles especificados por el usuario) que corresponden a la mayor magnitud que puede ocurrir en cada fuente sísmica a la distancia más cercana al sitio. El análisis de peligro sísmico con EZ-FRISK™ es a partir de bases de datos de ecuaciones de atenuación y fuentes sísmicas que el programa tiene incluido, de acuerdo a la región donde se realiza el análisis (base de datos precargada). Pero además EZ-FRISK™ provee al usuario herramientas para crear nuevas bases de datos para poder hacer nuevos análisis, como se muestra más adelante.



Figura No.2 Selección del módulo de Peligro sísmico del programa EZ-FRIK™ v7.62

2. Introducción de datos

Cuando se selecciona , se crea un nuevo proyecto y se abre una nueva ventana como la que se muestra en la figura No. 3, esta ventana tiene una barra de herramientas y una de pestañas, la barra de herramientas es la de Análisis de peligro sísmico como se muestra en la figura No. 4

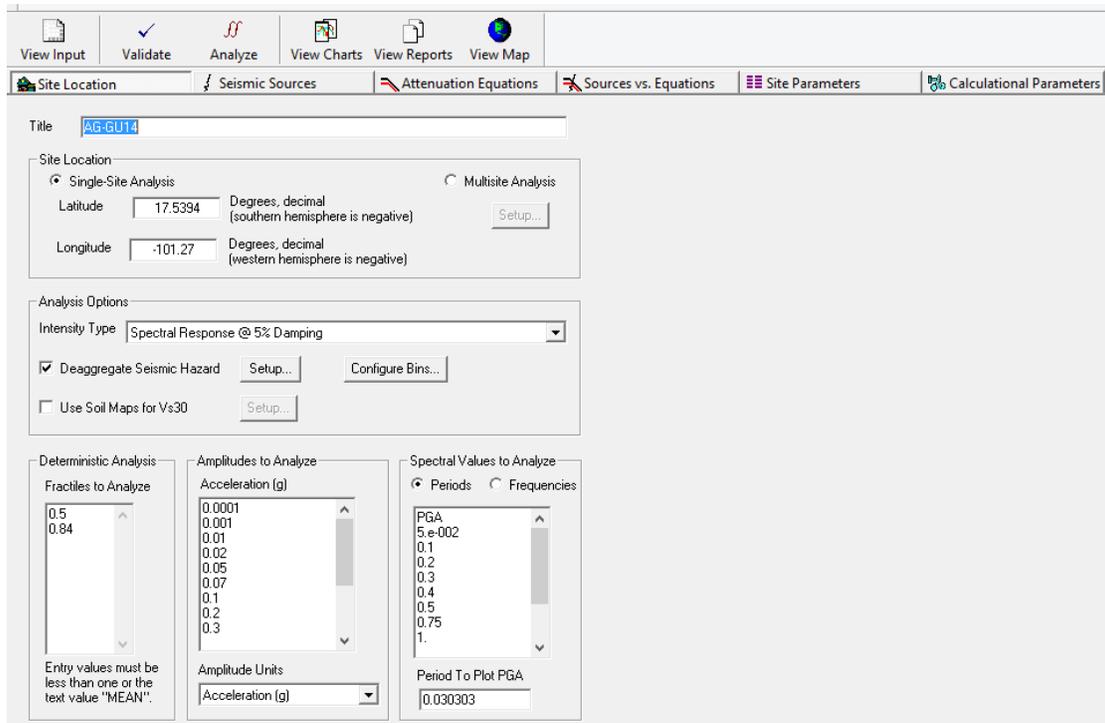


Figura No.3 Ventana para la introducción de datos para el peligro sísmico

Para iniciar el análisis de peligro sísmico se deben ingresar algunos parámetros, para la entrada de estos datos la barra de pestañas está organizada en Ubicación de sitio (Site Location):, Fuentes sísmicas (Seismic Sources), Ecuaciones de atenuación (Attenuation Equations), Fuentes vs. Ecuaciones (Sources vs. Equations), Parámetros de Sitio (Site Parameters) y Parámetros de cálculo (Calculational Parameters), como se muestra en la figura No. 5. A continuación se describe cada una de ellas.



Figura No.4 Barra de herramienta para el análisis de peligro sísmico

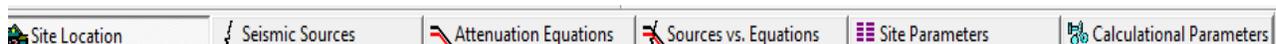


Figura No.5 Pestañas para la entrada de datos

1. Ubicación del sitio (*Site Location*): se especifica en Latitud y Longitud el punto en donde se requiera el análisis, si se desean varios sitios se realiza un análisis múltiple. Se debe especificar el tipo de parámetro de intensidad, en este estudio se trabajó con un análisis de Respuesta Espectral con 5% de amortiguamiento. Para finalizar, se deben seleccionar parámetros para el análisis determinista (cuartiles), las amplitudes de aceleración a utilizar en función de la gravedad y los valores de periodo espectrales que se utilizarán. En la figura No. 6 se puede observar los datos introducidos para el punto AG-GU14.

The screenshot shows the 'Site Location' configuration window. The title is 'AG-GU14'. The 'Site Location' section has 'Single-Site Analysis' selected, with Latitude 17.5394 and Longitude -101.27. The 'Analysis Options' section has 'Spectral Response @ 5% Damping' selected, and 'Deaggregate Seismic Hazard' checked. The 'Deterministic Analysis' section shows fractiles 0.5 and 0.84. The 'Amplitudes to Analyze' section shows a list of acceleration values from 0.0001 to 0.3. The 'Spectral Values to Analyze' section has 'Periods' selected, with a list of values from 0.0001 to 1.0, and 'Period To Plot PGA' set to 0.030303.

Figura No.6 Datos para introducidos en la pestaña de “ubicación del sitio” para el punto AG-GU-14

2. Fuentes Sísmicas (*Seismic Sources*): Se seleccionan las fuentes sísmicas, de acuerdo a la región de estudio y a la base de datos; en el programa es posible definir nuevas fuentes sísmicas. En este trabajo se utilizó la regionalización sísmica hecha por Zúñiga et al. (1997) y Nishenko y Singh (1987), EZ-FRISK™ tiene una base de datos Mexicana definida, en la figura No. 7 se muestran las fuentes sísmicas disponibles.

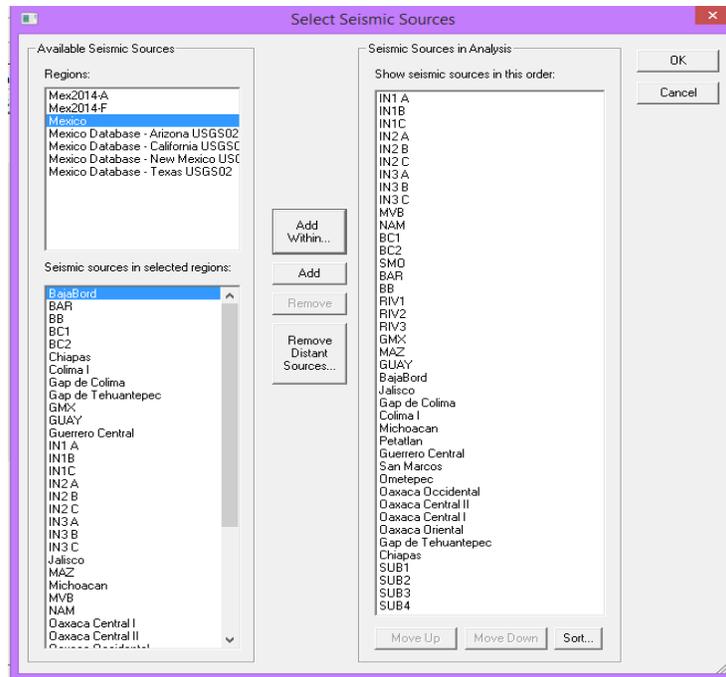


Figura No.7 Fuentes sísmicas para México

En el análisis de peligro sísmico, la fuente tipo falla se modelaron considerando la geometría con dos dimensiones: la línea media de la falla en planta (*fault trace*) y sección vertical. La línea media de la falla en planta se representa por puntos conectados por segmentos de línea definidos por latitud y longitud. La sección transversal se caracteriza por dos ángulos (*dip 1 y 2*) y tres profundidades que especifican la altura mínima de liberación de energía, todo es constante en toda la falla. La figura No. 11 muestra una vista en planta y una sección transversal (A-A) de la falla (Inca, 2013):

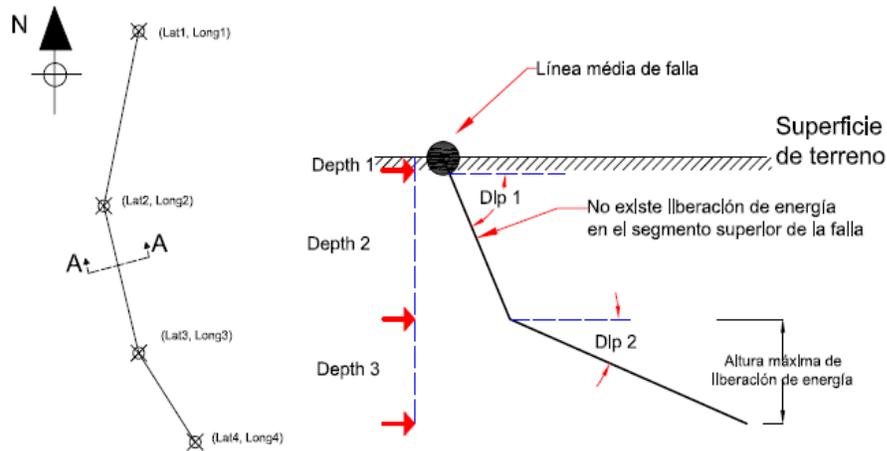


Figura No.8 Geometría de fallas

(Inca, 2013)

El cálculo del peligro sísmico para una falla j se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda_x = v_j \int_m f_{M_j}(m) \int_l f_{LR}(l) \int_r P[Y > x|m, r] f_{R_j|M_j, LR}(r, m, l) dr dl dm \quad (1)$$

Las integrales sobre m y l (la longitud de ruptura de la falla) se resuelven numéricamente, la integración de r (distancia a la fuente) se realiza sobre los ejes horizontal y vertical de la ruptura.

Las fuentes tipo área se analizan como polígonos en el plano horizontal y una profundidad definida por el usuario. Las dimensiones del polígono se definen por puntos unidos por segmentos que deben indicar las coordenadas (latitud y longitud) de la falla. Se asume distribución uniforme de los sismos dentro el área del polígono. Las distancias de la fuente al sitio se calculan asumiendo que el perfil de la ruptura es vertical y que la superficie de la ruptura esta uniformemente distribuida con la profundidad y que la ruptura se puede modelar como un punto o con longitud finita. La orientación de la ruptura respecto al sitio se modela con diferentes azimuts, en la figura No. 9 se tiene una representación gráfica de una fuente tipo área (Inca, 2013):

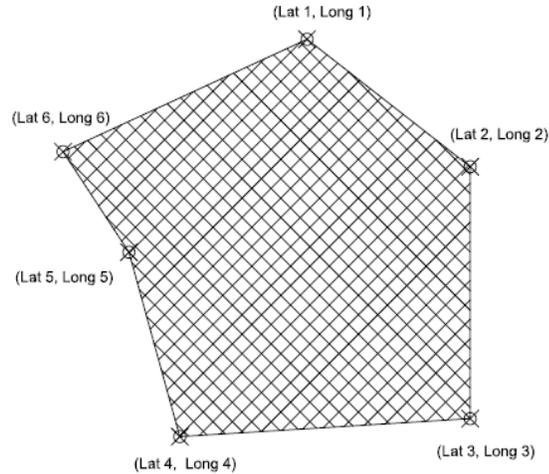


Figura No.9 Geometría de áreas
(Inca, 2013)

El cálculo del peligro sísmico para la fuente tipo área j se realiza con la ecuación mostrada a continuación, donde ρ es la distancia horizontal desde el sitio, $arc_j(\rho)$ es la longitud de la intersección entre el polígono de la fuente y un círculo con centro en el sitio y con radio ρ :

$$\lambda_x = v_j \int_{\rho} \frac{arc_j(\rho)}{Area_j} \left[\int_m P[Y > x|m, r(\rho)] f_{M_j}(m) dm \right] d\rho \quad (2)$$

Estas fuentes sísmicas se actualizaron (principalmente en el rango de magnitudes, en los cuales se incluyen eventos recientes y la tasa de recurrencia de las fuentes, en algunos casos la ubicación de las coordenadas) para poder actualizarlas se crearon nuevas fuentes sísmicas en base a las ya existentes. Para la creación de las nuevas fuentes tipo falla, se abren la base de datos siguiendo los pasos \rightarrow *Databases* \rightarrow *Seismic Sources* \rightarrow *User's Seismic Source* \rightarrow en *Region* incluir nuevo New \rightarrow incluir nuevas fuentes sísmicas *Seismic Source New*, como se muestra en la figura No. 10 y en *Fault Seismic Sources* \rightarrow se edita las propiedades de fuente, como en la figura N. 11.

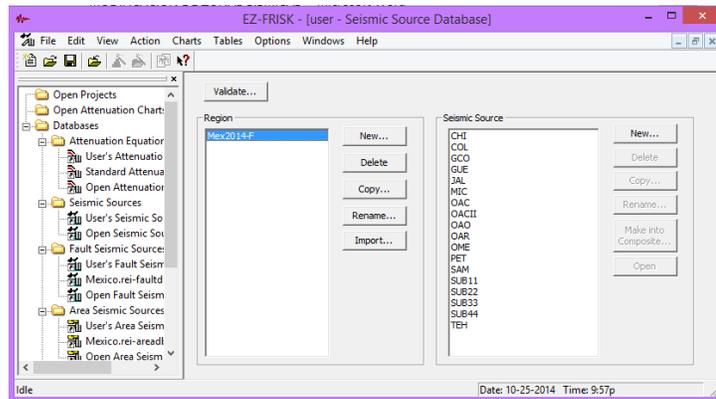
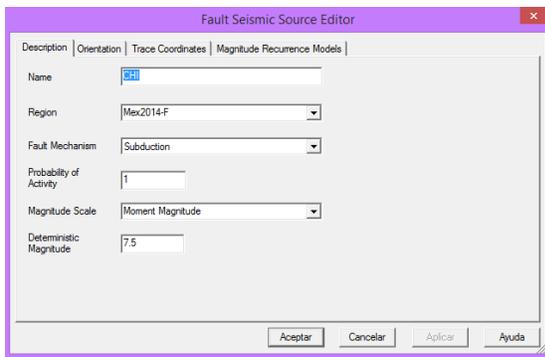
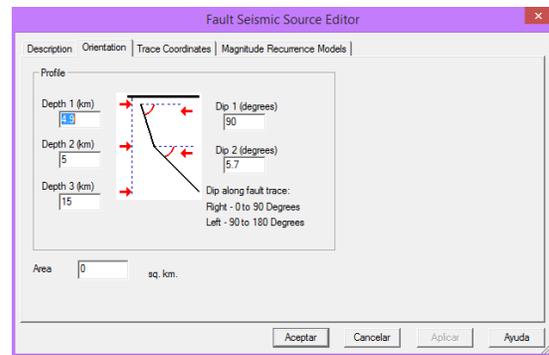


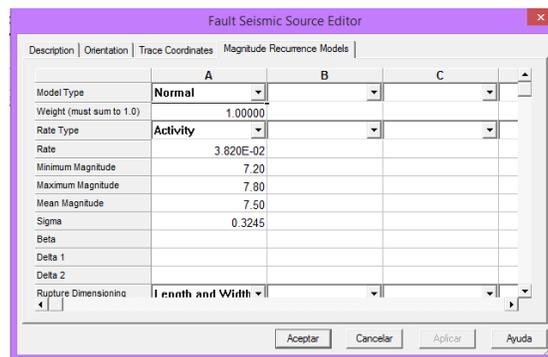
Figura No.10 Fuentes sísmicas para México



a)



b)



c)

Figura No.11 Creación de fuente sísmogénica tipo falla

En el caso de las fallas tipo área, se ingresa a *Databases* → *Area seismic Sources* → *User's Area Seismic Sources* → *Region* se crea una nueva (New), como se muestra en la figura No.12 y además se crea una nueva fuente tipo área en *area sources*. Ya definidas

las fuentes sísmicas en los modelos de peligro sísmico puede seleccionar las regiones creadas, y luego seleccionar las fuentes de cada región, tanto para las fallas como las de tipo área.

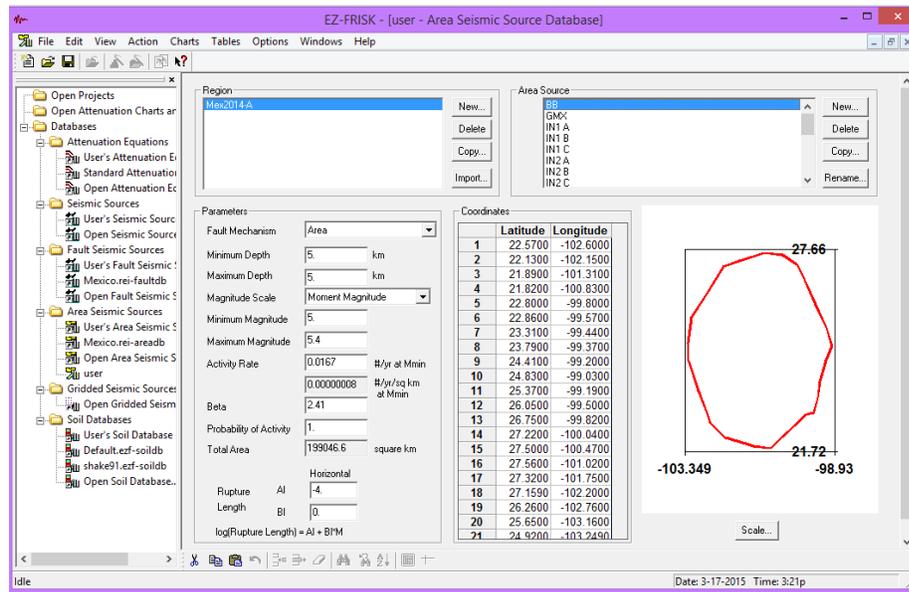


Figura No.12 Creación de fuente sismogénica tipo falla

3. Ecuaciones de Atenuación (*Attenuation Equations*): Para el análisis de Peligro Sísmico deben definirse las ecuaciones o leyes de atenuación que mejor describan la región de estudio, este trabajo se utilizaron dos ecuaciones de atenuación que se encuentran definidas en la base de datos del programa: Youngs et al. (1997) (YO-1997) y Atkinson y Boore (2003) (AB-2003), para movimientos interplaca como intraplaca como se muestra en la figura No.13. Se introdujeron tres ecuaciones de atenuación CL-2012, GA-2005, GA-2006, GO-2005 y GO-2012.

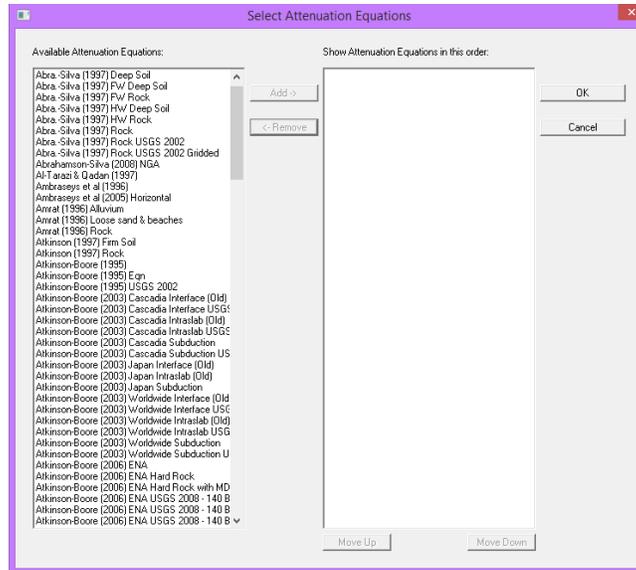


Figura No.13 Ecuaciones de atenuación para diferentes regiones del mundo

Existen dos métodos para definir nuevas ecuaciones de atenuación, el primero es mediante la introducción de código que describa las ecuaciones y variables utilizadas para la relación de atenuación, estas modificaciones se realizan en *Databases* → *User's attenuation equation* → *Configure* en donde saldrá la ventana de *evaluación de ecuaciones (expression evaluator attenuation equation editor)*, aquí es en donde se definen variables y condicionantes de cada ecuación, un ejemplo de este método se puede observar el código en la figura No. 14 y en la figura 15 las variables a las que recurre la ecuación, en este caso son los coeficientes C1 a C5 y el logaritmo de la desviación estándar. El segundo método, consiste en introducir en una base de datos (formato de tabla) los valores del parámetro sísmico a utilizar para diferentes periodos y magnitudes, en la figura No.16 se muestra un ejemplo en donde se introdujeron valores del logaritmo natural de la aceleración espectral (SA) para diferentes periodos, magnitudes y distancias a la fuente (R) para un periodo de 0.3 s.

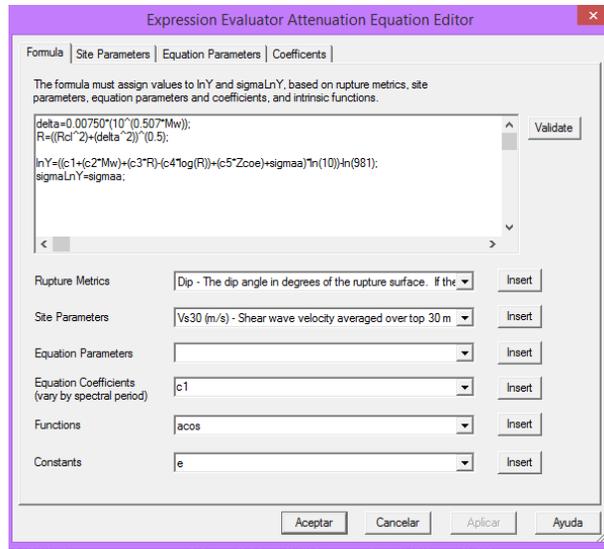


Figura No.14 Ecuaciones de atenuación por medio de código

COEFFICIENTS - Units of Acceleration (g)								
	Period	Fault Mechanism	c1	c2	c3	c4	c5	sigmaa
1	PGA	Area	-0.2	0.59	-0.0039	1	0.008	0.28
2	0.04	Area	0.03	0.59	-0.0043	1	0.007	0.32
3	0.05	Area	0.1	0.58	-0.0043	1	0.008	0.34
4	0.075	Area	0.2	0.57	-0.0043	1	0.008	0.34
5	0.1	Area	0.4	0.55	-0.0041	1	0.008	0.33
6	0.2	Area	0.05	0.59	-0.0037	1	0.007	0.28
7	0.3	Area	-0.3	0.63	-0.0033	1	0.005	0.28
8	0.4	Area	-0.6	0.64	-0.0028	1	0.005	0.27
9	0.5	Area	-0.8	0.67	-0.0024	1	0.004	0.26
10	0.7519	Area	-1.3	0.71	-0.002	1	0.004	0.27
11	1	Area	-1.7	0.75	-0.0017	1	0.003	0.28
12	1.4925	Area	-2.3	0.81	-0.0014	1	0.002	0.28
13	2	Area	-2.7	0.85	-0.0012	1	0.001	0.26
14	3.0303	Area	-3.3	0.89	-0.0009	1	0.0009	0.26
15	4	Area	-3.9	0.94	-0.0008	1	0.0009	0.25
16	5	Area	-4.3	0.97	-0.0007	1	0.001	0.25
17								

Figura No.15 Parámetros de la relación de atenuación mediante código

COEFFICIENTS - Units of Acceleration (g)									
Intensity Type	Magnitudes		Distances		Amplitude		Sigma(n/Y)		
Spectral Response @ 5%	A	B	C	D	E	F	G		
Amplitude Units	Magnitude		log(R)						
Acceleration (g)	R, km								
Periods									
0.2	1	0.0000	1.830E-01	2.246E-01	2.736E-01	3.300E-01	3.932E-01		
0.3	2.00	0.3010	1.025E-01	1.273E-01	1.577E-01	1.946E-01	2.388E-01		
0.4	3.00	0.4771	7.228E-02	8.995E-02	1.118E-01	1.387E-01	1.717E-01		
0.5	5.00	0.6990	4.615E-02	5.751E-02	7.153E-02	8.915E-02	1.109E-01		
0.75	10.00	1.0000	2.469E-02	3.078E-02	3.837E-02	4.763E-02	5.960E-02		
1	15.00	1.1751	1.689E-02	2.106E-02	2.626E-02	3.274E-02	4.081E-02		
1.49	20.00	1.3010	1.276E-02	1.594E-02	1.987E-02	2.476E-02	3.089E-02		
2	30.00	1.4771	8.466E-03	1.056E-02	1.316E-02	1.642E-02	2.047E-02		
3	50.00	1.6990	4.804E-03	5.991E-03	7.471E-03	9.316E-03	1.162E-02		
4	70.00	1.8451	3.166E-03	3.948E-03	4.923E-03	6.139E-03	7.655E-03		
5	100.00	2.0000	1.923E-03	2.398E-03	2.990E-03	3.728E-03	4.649E-03		
6	120.00	2.0792	1.445E-03	1.803E-03	2.249E-03	2.804E-03	3.497E-03		
7	150.00	2.1751	9.847E-04	1.228E-03	1.531E-03	1.909E-03	2.381E-03		
8	200.00	2.3010	5.579E-04	6.967E-04	8.676E-04	1.082E-03	1.340E-03		

Figura No.16 Ecuaciones de atenuación mediante base de datos (formato de tabla)

(Inca, 2013)

- Fuentes vs. Ecuaciones (*Sources vs. Equations*), se seleccionan las ecuaciones aplican para cada una de las fuentes sísmicas como se muestra en la figura No.17.

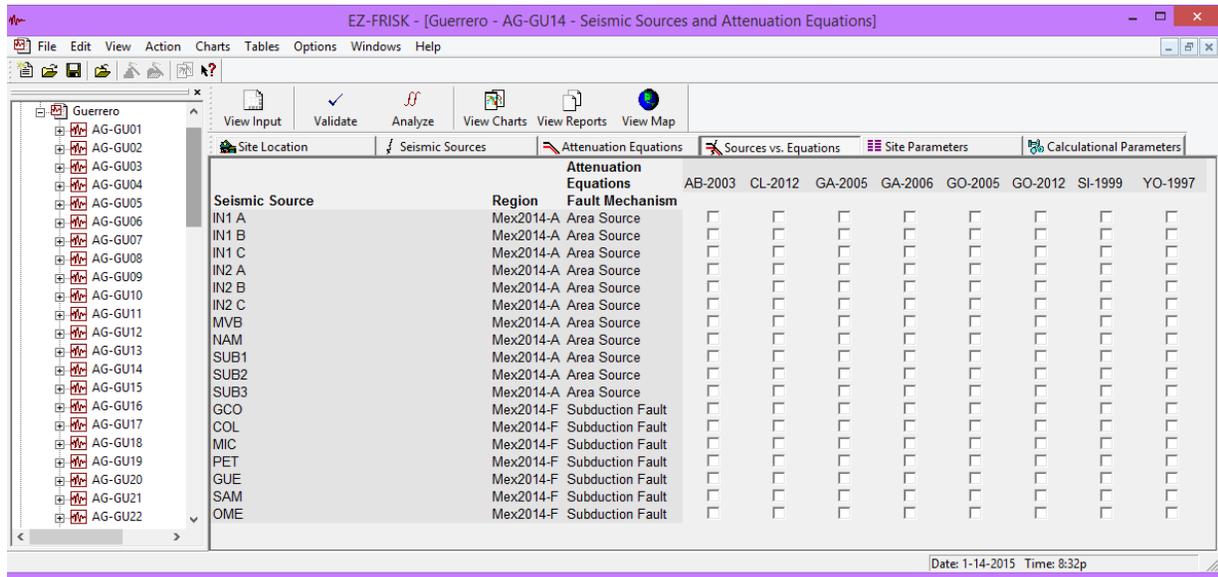


Figura No. 17 Fuentes vs Ecuaciones de atenuación

- Parámetros de Sitio (*Site Parameters*) y especifican algunos parámetros de cálculo (*Calculational Parameters*) como: la distancia máxima de inclusión en el análisis, la discretización de distancias horizontal como vertical, esto es para fallas como para fuentes tipo área. Además se debe realizar la validación y análisis del modelo y revisar los resultados obtenidos.

3. Resultados

Una vez introducidos todos los datos y hechos los análisis, los resultados pueden observarse en gráficas para ciertos parámetros o en forma de tablas con resultados generales. Los principales resultados del análisis de peligro sísmico son:

- Curvas de peligro sísmico, cuyas ordenadas contienen información de la tasa de excedencia anual y las abscisas muestran una cierta aceleración en función de la

gravedad, para ciertos periodos, en donde se calcula para cada ecuación de atenuación definida y posteriormente se hace un promedio de los resultados.

- b) Tasa de actividad de cada fuente sísmica, los resultados que se obtienen son gráficos que muestran el número de eventos esperados mayores a una magnitud esperada M en un año para todas las fuentes en el análisis. Es una representación del valor b de Richter y está basado en los parámetros definidos por cada fuente.
- c) Contribución de cada fuente al peligro, se obtienen curvas de peligro sísmico de cada fuente, para cada ecuación de atenuación y para cada periodo, de esta forma es posible conocer la contribución de cada fuente sísmica contribuye al peligro sísmico del sitio.
- d) Espectros de Peligro Uniforme, son los resultados más importantes obtenidos, representan una envolvente de muchos resultados, para cierta probabilidad uniforme o periodo de retorno asignado.
- e) Curvas de peligro sísmico determinista, la curva de peligro determinista para un determinado cuartil o cuartiles definidos en la introducción de datos, muestra las aceleraciones espectrales en función de los periodos. En los resultados también se indican las magnitudes y distancias usadas para cada fuente sísmica.
- f) Desagregación del peligro sísmico, se presentan en forma de gráficas 2D y 3D o tabulares, se muestra la contribución en función de probabilidad para ciertos parámetros de un evento sísmico (distancia y aceleración espectral).

Anexo 4

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

PRODISIS es un programa que calcula espectros de diseño, a partir de espectros de peligro sísmico uniforme (EPU) (pseudoaceleración, 5% del amortiguamiento crítico) basado en un enfoque probabilista para estimar el peligro sísmico, es decir, son espectros cuyas ordenadas tienen la misma probabilidad de ser excedidas en un lapso dado y además son calculados para la condición de terreno firme o roca.

El método para la obtención de los espectros de diseño con PRODISIS, es el siguiente:

- ✓ Revisión de la sismicidad local de la región, en este caso la república mexicana. Del estudio la República Mexicana se ha dividido en 43 fuentes generadoras de sismos. Estas fuentes están dictadas por la tectónica del país y por la historia instrumental de sismos registrados (Zúñiga y Guzmán, 1994; Zúñiga, *et al*, 1997). Cada una de estas fuentes genera temblores a una tasa constante por unidad de área.
- ✓ La actividad de la i -ésima fuente sísmica se especifica en términos de la tasa de excedencia de las magnitudes, $\lambda_i(M)$, que ahí se generan. La tasa de excedencia de magnitudes mide qué tan frecuentemente se generan en una fuente temblores con magnitud superior a una dada. La utilizada es la propuesta por Cornell y Vanmarcke (1969):
- ✓ Ecuaciones de atenuación. En este estudio se han usado tres leyes de atenuación:
 - a) Temblores costeros. Se utiliza la ley de atenuación propuesta por Ordaz *et al*, (1989) para la aceleración máxima del terreno provocada por temblores generados en la costa sur del Pacífico. Esta ley fue construida a partir de numerosos registros de aceleración obtenidos por la Red Acelerográfica de Guerrero, que incluyen los del gran temblor del 19 de septiembre de 1985. La relación entre la aceleración máxima del terreno y las ordenadas del espectro de respuesta a otros periodos, $S_a(T_e)/a_0$, se obtiene del modelo teórico de fuente y trayecto (Singh *et al*, 1989).
 - b) Temblores de profundidad intermedia. Se emplea en este caso el modelo de atenuación descrito por García *et al*, (2005). Se trata de un modelo empírico, que fue generado utilizando datos registrados de temblores de este tipo en México,

incluyendo los numerosos registros obtenidos entre 1990 y 2000 por la redes acelerográficas nacionales. Para la aceleración máxima del suelo, la ley de atenuación es la siguiente:

$$\log[a_0(M, R)] = -0.1 + 0.57M - 0.0034R - \log R + 0.005H_f$$

Donde,

H_f es la profundidad focal

R_{RUP} es la distancia mínima distancia al área de ruptura

$$R = \sqrt{R_{RUP}^2 + \Delta^2}$$

$$\Delta = 0.007510^{0.507M}$$

- c) Temblores superficiales. Para modelar la atenuación de los temblores superficiales, tanto los que ocurren en el Eje Neovolcánico como los que se presentan en la parte noroeste del país y en las fallas Polochic–Motagua, se utilizan leyes de atenuación construidas con datos registrados en California (Abrahamson y Silva, 1997). De entre las varias opciones de parámetros presentados en el trabajo referido, se han escogido los siguientes: suelo firme, fallas de rumbo (strike–slip) y sin considerar el efecto de “hanging wall”.
- ✓ Cálculo del peligro sísmico
El peligro sísmico para el MOC-2008 es calculado con las ecuaciones propuestas por Esteva (1967) y Cornell (1968), dividen a la fuente en sub-elementos y obtiene la probabilidad de que la aceleración máxima exceda un valor “u” para la distancia del punto de análisis al subelemento e integra con respecto a las magnitudes mínimas y máximas.
 - ✓ Una vez calculadas las aceleraciones máximas del terreno, este es afectado por ciertos factores de sitio, y con ello se obtienen los espectros de diseño.

Las principales diferencias del método propuesto por PRODISIS con las de este trabajo son las siguientes:

- En el trabajo propuesto el peligro sísmico es definido por McGuire (2004) que hace una modificación de la ecuación propuesta por Kramer (1996) para obtener ecuaciones para las fuentes tipo área y tipo falla. En esta ecuación interviene las relaciones de predicción (ecuaciones de atenuación) y recurrencia de magnitudes, para finalmente integrar con respecto a longitudes de las zonas de ruptura tomando en cuenta ejes horizontales y verticales de la ruptura para el caso de fallas y para el caso de fuentes tipo área asume distribución uniforme de los sismos dentro el área del polígono. Además las distancias de la fuente al sitio se calculan asumiendo que el perfil de la ruptura es vertical y que la superficie de la ruptura esta uniformemente distribuida con la profundidad y que la ruptura se puede modelar como un punto o con longitud finita. Mientras que para el MOC-2008 es con la ecuación propuesta por Esteva (1967) y Cornell (1968).
- En este trabajo se realizan estudios con 7 diferentes ecuaciones de atenuación García (2005), García (2005), Atkinson-Boore (2003), Young (1997), Gómez (2012), Gómez (2005) y Clemente (2012), y coincidiendo solo una ecuación con el MOC-2008, que es la de García (2005) pero en el MOC-2008 solo es utilizada para calcular la aceleración máxima.

Aunque el método para determinar los espectros de peligro uniforme en el programa PRODISIS es similar al método presentado en este trabajo, no son iguales esto, debido a que se utilizan diferentes ecuaciones de peligro, tasas de excedencia y diferentes ecuaciones de atenuación (a excepción la ecuación de GA-2005 que coinciden en ambos. Una vez que PRODISIS obtiene EPU estos son afectados por factores, principalmente de sitio que toman en cuenta las condiciones del terreno, además de criterios de diseños óptimos para finalmente obtener los espectros de diseño para cada lugar y para los diferentes grupos de estructuras. En este trabajo solo se presentan EPU que no son afectados por ningún factor por lo que, la comparación de Espectros sólo es con fines de referencia de parámetros.

A pesar de estas diferencias, se hace una pequeña comparación de espectros obtenidos en este trabajo y los obtenidos con PRODISIS, es decir, buscar una similitud de datos para poder hacer

comparación de resultados y ver las diferentes variaciones que tienen ambos métodos. En cuestiones de planteamientos es imposible comparar, debido a que no se cuenta con suficiente información de PRODISIS, pues solo se tienen los aspectos importantes (p. ej. Método y ecuaciones utilizadas, pero no se tienen los datos ni criterios ó alguna referencia de estos). Un punto de comparación el cual puede ser posible coincidir con PRODISIS, es que este proporciona para cada espectro de diseño cierto periodo de retorno, por lo que es posible modificar nuestros datos y seleccionar el mismo periodo de retorno para poder observar las variaciones.

Para hacer esta comparación, se hace un análisis de 4 puntos. Los puntos corresponden a las ciudades de Petatlán, Gro., Chilpancingo de los Bravo, Gro., Morelia Mich. y Oaxaca de Juárez, Oax., los resultados son los siguientes:

Analizando el punto AG-GU14, correspondiente a Petatlán, Gro.

Se obtuvieron 4 gráficas, correspondientes a las ecuaciones de atenuación de AB-2003, GA-2005, YO-1997 y GA-2006, así también se obtuvieron aceleraciones máximas con las ecuaciones de CL-2012, GO-2005 y GO-2012. Del programa PRODISIS se tienen que para espectros de diseño para estructuras del grupo A, se tiene un periodo de retorno de 6169 años, mientras que para el grupo B es de 785 años.

En la figura No. 18 se muestran los EPU para la ecuación de atenuación de AB-2003 (inciso a), se puede observar que; el EPU para $T_r=785$ años tiene coincidencia con el espectro del grupo A en donde la aceleración máxima es de 1.4500 g mientras que para el otro caso tiene 1.3021 g. Para el EPU con $T_r=6169$ años sobre pasa el espectro del grupo A siendo su aceleración máxima de 2.3700 g. El espectro para el grupo B queda por debajo de los calculados por la ecuación de AB-2003 para ambos periodos de retorno.

Para la ecuación de GA-2005 (figura No. 18 inciso b) se tiene el EPU para $T_r=785$ años queda por arriba del espectro del grupo B pero por debajo con respecto al del grupo A, este tiene una aceleración de 1.1400 g., el EPU con $T_r=6169$ años queda por arriba del espectro del grupo A y tiene una aceleración máxima de 2.0000 g.

La ecuación de YO-1997 (figura No. 18 inciso c) los EPU para $T_r=785$ y $T_r=6169$ años, sobrepasan ambos espectros para los diferentes grupos, teniendo una aceleración máxima de 2.2100 y 3.3600 g respectivamente. La ecuación de GA-2006 (figura No. 18 inciso d) muestran mayores aceleraciones que las presentadas por PRODISIS teniendo aceleraciones máximas de 2.1400 y 2.88 g para $T_r=785$ y 6169 años. La aceleración máxima calculada con la ecuación de CL-2012 es para $T_r=785$ y 6169 años son 0.7600 y 1.5 g. la primera aceleración es menor a la presentada por PRODISIS para ese mismo periodo de retorno mientras que para el segundo caso, sobrepasa la aceleración máxima. Las aceleraciones presentadas por GO-2012 son mucho menores a las de PRODISIS, para $T_r=785$ y 6169 años son 0.6200 y 0.9100 g. ambas están por debajo de las aceleraciones máximas para los diferentes grupos pero cerca de los PGA.

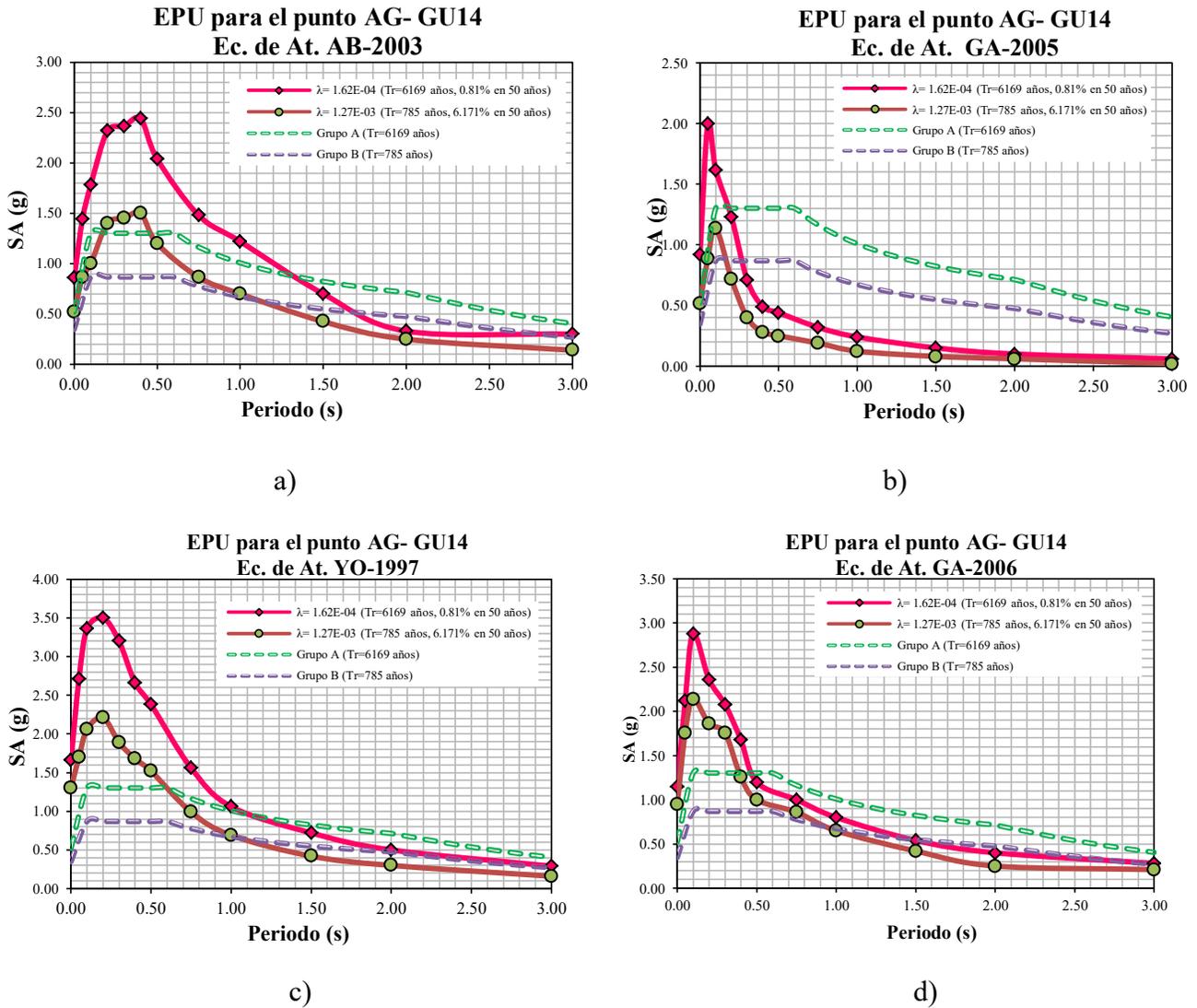


Figura No. 18 EPU para Petatlán, Gro. (AG-GU14). Incisos a) Ecuación de atenuación de AB-2003, b) Ecuación de atenuación de GA-2005, c) Ecuación de atenuación de YO-1997 y d) Ecuación de atenuación de GA-2006

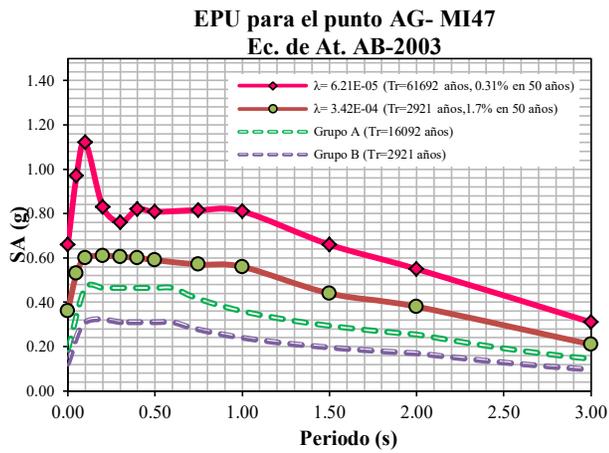
Analizando el punto AG-MI47, correspondiente a Morelia, Mich.

Se obtuvieron 4 gráficas, correspondientes a las ecuaciones de atenuación de AB-2003, GA-2005, YO-1997 y GA-2006, así también se obtuvieron aceleraciones máximas con las ecuaciones de CL-2012, GO-2005 y GO-2012. Del programa PRODISIS se tienen que para espectros de diseño para estructuras del grupo A, se tiene un periodo de retorno de 16092 años, mientras que para el grupo B es de 2921 años.

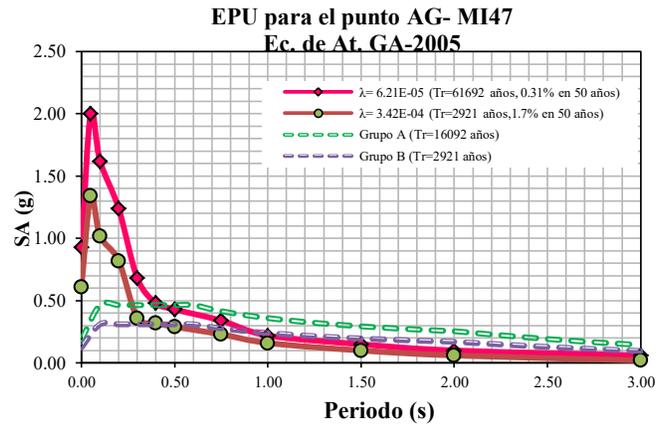
En la figura No. 19 inciso “a” se muestran los EPU para la ecuación de atenuación de AB-2003 (inciso a), se puede observar que; los EPU para $Tr=2921$ y $Tr=16092$ años sobrepasan ambos espectros de diseño (grupo A y grupo B) las aceleraciones máximas son 0.6100 y 1.2100 g. mientras que los de calculados por PRODISIS son 0.3098 y 0.4646 g.

Para la ecuación de GA-2005 (figura No. 19 inciso b) se tiene el EPU para $Tr=2921$ años queda por arriba del espectro del grupo B y del grupo A, las aceleraciones máximas son de 1.3400 y 2.0000 g ambas son grandes a comparación con las obtenidas por PRODISIS.

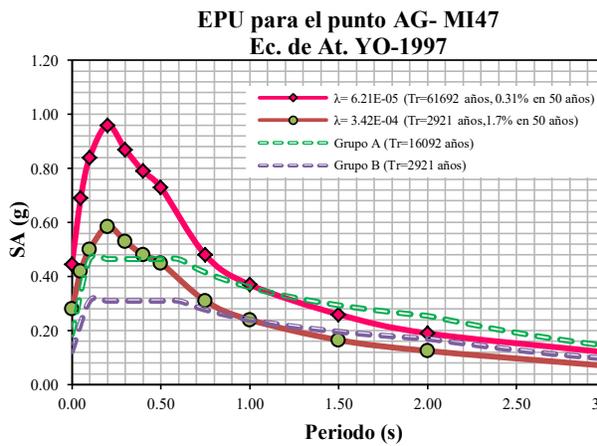
La ecuación de YO-1997 (figura No. 19 inciso c) los EPU para $Tr=2921$ tiene coincidencia con el espectro del grupo A, con una aceleración máxima de 0.5850 g., el EPU con $Tr=16092$ años, sobrepasa ambos espectros para los diferentes grupos, teniendo una aceleración máxima de 0.9600 g respectivamente. La ecuación de GA-2006 (figura No. 19 inciso d) muestras mayores aceleraciones que las presentadas por PRODISIS teniendo aceleraciones máximas de 0.7200 y 0.8800 g para $Tr=2921$ y 16092 años. La aceleración máxima calculada con la ecuación de CL-2012 es para $Tr=2921$ y 16902 años son 1.06 y 1.8200 g. ambas aceleraciones son mayores a las presentadas por PRODISIS para ese mismo periodo de retorno. Las aceleraciones presentadas por GO-2012 son mucho menores a las de PRODISIS, para $Tr=2921$ y 16092 años son 0.4700 y 0.6600 g. la primera es igual a la aceleración máxima presentada por PRODISIS para estructuras del grupo A, mientras que la segunda es superior.



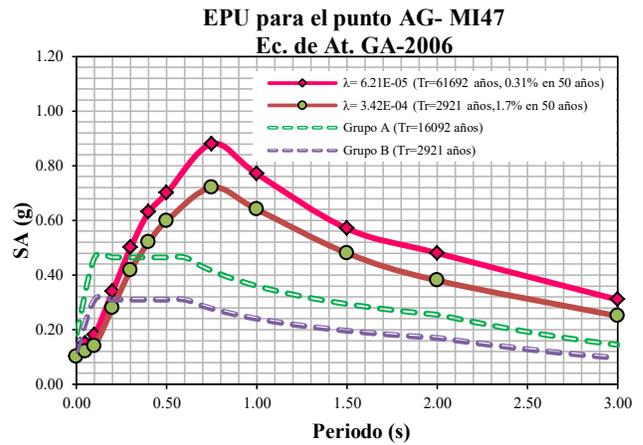
a)



b)



c)



d)

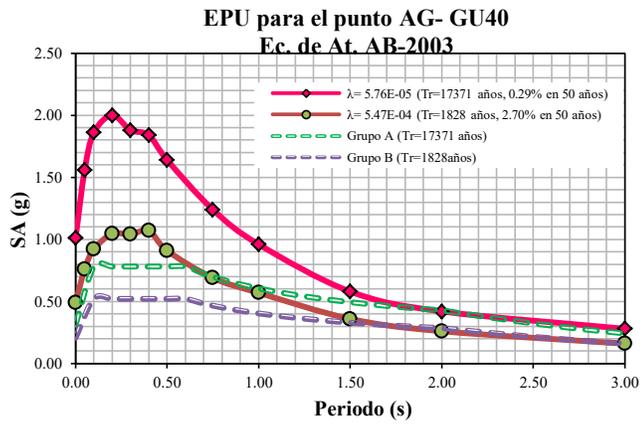
Figura No. 19 EPU para Morelia, Mich. (AG-MI47). Incisos a) Ecuación de atenuación de AB-2003, b) Ecuación de atenuación de GA-2005, c) Ecuación de atenuación de YO-1997 y d) Ecuación de atenuación de GA-2006

Analizando el punto AG-GU40, correspondiente a Chilpancingo de los Bravo, Gro.

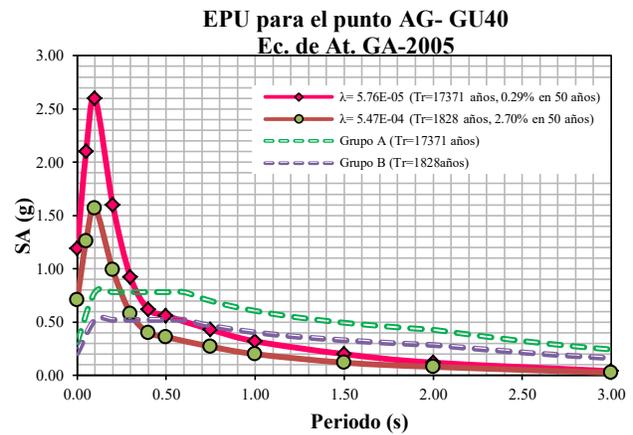
Se obtuvieron 4 gráficas, correspondientes a las ecuaciones de atenuación de AB-2003, GA-2005, YO-1997 y GA-2006, así también se obtuvieron aceleraciones máximas con las ecuaciones de CL-2012, GO-2005 y GO-2012. Del programa PRODISIS se tienen que para espectros de diseño para estructuras del grupo A, se tiene un periodo de retorno de 17371 años, mientras que para el grupo B es de 1828 años.

Para estructuras del grupo A PRODISIS tiene un coeficiente de 0.7815 g, el periodo de retorno para este espectro es 17317 años, en la figura No. 20 se muestran los EPU para la ecuación de atenuación de AB-2003 (inciso a), se puede observar que; el EPU para $Tr=1828$ años tiene coincidencia con el espectro del grupo A en donde la aceleración máxima es de 1.045 g, para el EPU con $Tr=17317$ años sobre pasa el espectro del grupo A siendo su aceleración máxima 2.0000 g. Para la ecuación de GA-2005 (figura No. 20 inciso b) se tiene el EPU para $Tr=1828$ y 17371 años quedan por arriba del espectro del grupo B como los del grupo A, tienen una aceleración máxima de 0.9900 y 2.6000 g.

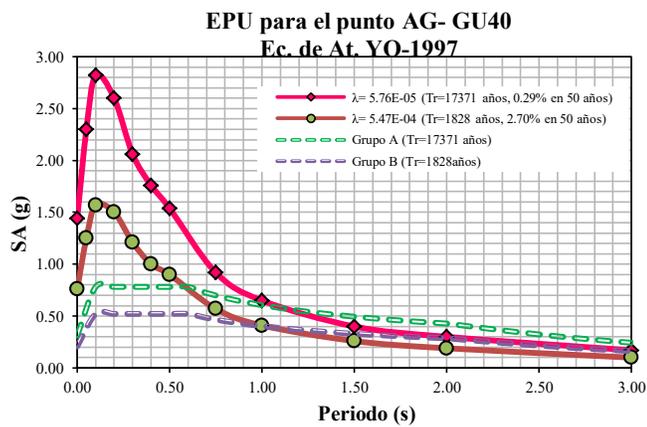
La ecuación de YO-1997 (figura No. 20 inciso c) los EPU para $Tr=1828$ y $Tr=17371$ años, sobrepasan ambos espectros para los diferentes grupos, teniendo una aceleración máxima de 1.5700 y 2.8200 g respectivamente. La ecuación de GA-2006 (figura No. 20 inciso d) muestra aceleraciones similares a las presentadas por PRODISIS teniendo aceleraciones máximas de 0.7200 y 1.0200 g para $Tr=1828$ y 17371 años y en donde; el EPU con $Tr=1828$ años queda un poco por debajo del espectro del grupo A pero por arriba del grupo B. La aceleración máxima calculada con la ecuación de CL-2012 es para $Tr=1828$ y 17371 años son 1.5600 y 2.9200 g. ambas aceleraciones son altas a las presentada por PRODISIS para ese mismo periodo de retorno. Las aceleraciones presentadas por GO-2012 son mucho menores a las de PRODISIS, para $Tr=1828$ y 17371 años son 0.6500 y 0.93 g. ambas están por arriba de las aceleraciones máximas para los diferentes grupos.



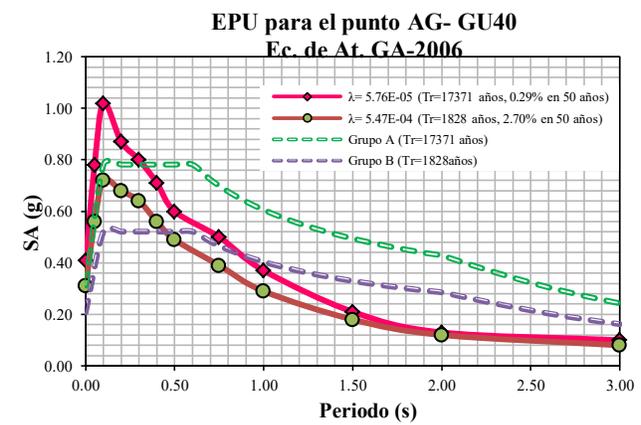
a)



b)



c)



d)

Figura No. 20 EPU para Chilpancingo de los Bravo, Gro. (AG-GU40). Incisos a) Ecuación de atenuación de AB-2003, b) Ecuación de atenuación de GA-2005, c) Ecuación de atenuación de YO-1997 y d) Ecuación de atenuación de GA-2006

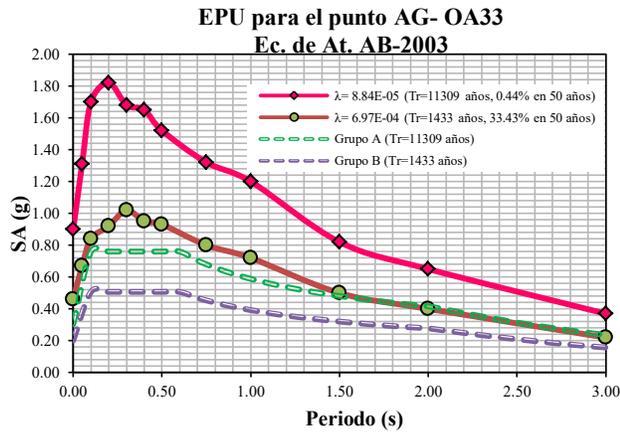
Analizando el punto AG-OA33, correspondiente a Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

Se obtuvieron 4 gráficas, correspondientes a las ecuaciones de atenuación de AB-2003, GA-2005, YO-1997 y GA-2006, así también se obtuvieron aceleraciones máximas con las ecuaciones de CL-2012, GO-2005 y GO-2012. Del programa PRODISIS se tienen que para espectros de diseño para estructuras del grupo A, se tiene un periodo de retorno de 11309 años, mientras que para el grupo B es de 1433 años y coeficiente de 0.7603 y 0.5068 g.

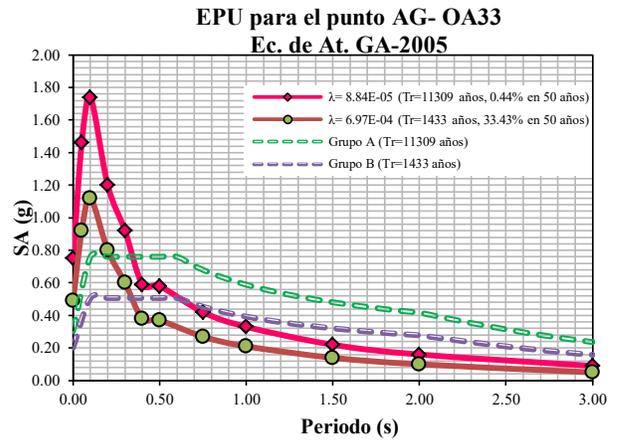
En la figura No. 21 se muestran los EPU para la ecuación de atenuación de AB-2003 (inciso a), se puede observar que; el EPU para $Tr=1433$ años tiene coincidencia con el espectro del grupo A en donde la aceleración máxima es de 1.0200 g, para el EPU con $Tr=11309$ años la aceleración máxima de 1.8200 g. Ambos EPU quedan por arriba de los espectros calculados por PRODISIS, pero el EPU con $Tr=1433$ años es muy similar al espectro del grupo A.

Para la ecuación de GA-2005 (figura No. 21 inciso b) se tiene el EPU para $Tr=1433$ años queda por arriba del espectro del grupo A y el grupo B, este tiene una aceleración de 1.1200 g., el EPU con $Tr=11309$ años también queda por arriba de los espectros y tiene una aceleración máxima de 1.74 g.

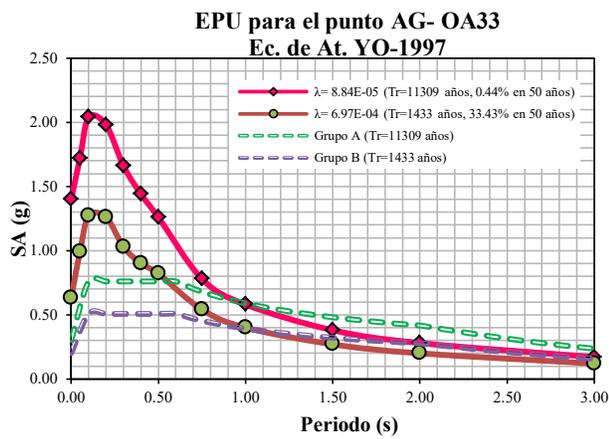
La ecuación de YO-1997 (figura No. 21 inciso c) los EPU para $Tr=1433$ y $Tr=11309$ años, sobrepasan ambos espectros para los diferentes grupos, teniendo una aceleración máxima de 1.2700 y 2.0400 g respectivamente. La ecuación de GA-2006 (figura No. 21 inciso d) muestra mayores aceleraciones que las presentadas por PRODISIS teniendo aceleraciones máximas de 0.9800 y 1.0000 g para $Tr=1433$ y 11309 años. La aceleración máxima calculada con la ecuación de CL-2012 es para $Tr=1433$ y 11309 años son 1.9100 y 3.0000 g. ambas aceleraciones sobrepasan a los coeficientes de PRODISIS. Las aceleraciones presentadas por GO-2012 son mucho menores a las de PRODISIS, para $Tr=1433$ y 11309 años son 0.6600 y 0.9700 g., la primera queda por debajo del espectro del grupo A pero por arriba del grupo B, mientras que la segunda queda por arriba de los coeficientes del grupo A y B.



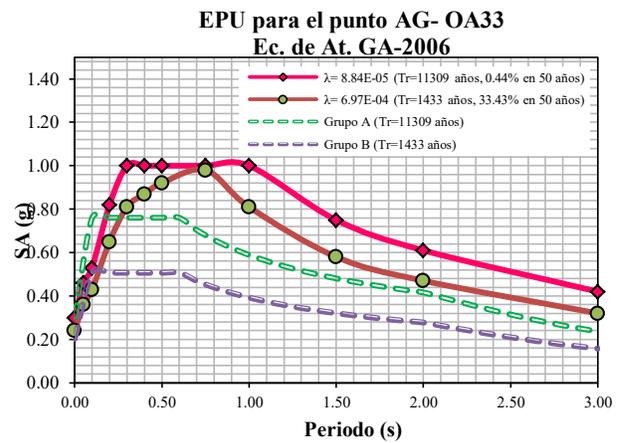
a)



b)



c)



d)

Figura No. 21 EPU para Oaxaca de Juárez, Oax. (AG-OA33). Incisos a) Ecuación de atenuación de AB-2003, b) Ecuación de atenuación de GA-2005, c) Ecuación de atenuación de YO-1997 y d) Ecuación de atenuación de GA-

2006

RESULTADOS GENERALES

Para estructuras del grupo A, los periodos de retorno que maneja PRODISIS son muy cercanos a la media, mientras que para el grupo B conforme se va alejando de las costas la probabilidad de excedencia es mayor. Al comparar los espectros se obtiene que los EPU calculados en este trabajo, quedan por arriba a los calculados por PRODISIS, esto puede deberse a las reducciones por diferentes factores que se aplican el MOC-2008, y por lo que las aceleraciones obtenidas en este trabajo son mayores.

Aunque la ecuación de GA-2005 es utilizada en ambos métodos, dan resultados diferentes, en la mayoría de los casos los EPU calculados en esta ecuación dan espectros por arriba a los calculados por PRODISIS, esto puede deberse a que se calculan con diferentes ecuaciones de peligro y recurrencia.

La ecuación presentada por GO-2012 que nos da aceleraciones máximas, tiene mejores aproximaciones a las calculadas por PRODISIS en ambos grupos y para la mayoría de casos, a comparación de las demás ecuaciones aquí presentadas, y se demuestra que los periodos calculados (2475, 975, 475, 100, 45 y 20 años, inicialmente propuestos por Eliana (Inca, 2013)) son adecuados pues se tienen menores aceleraciones que para los periodos estimados por PRODISIS, aunque es importante señalar, que sería interesante que una vez terminado este y los futuros trabajos sobre la obtención de EPU, poder revisar las consideraciones y todos los efectos de sitio que se puedan presentar en las zonas de estudios, y así, poder hacer un estudio detallado sobre la aplicación de factores a los EPU para poder hacer una comparación adecuada de espectros.