



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO**

***DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL***

**FUNCIONES DE DEMANDA
ESTRUCTURAL DE PUENTES
CARRETEROS TÍPICOS EN MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN INGENIERÍA EN EL ÁREA DE
ESTRUCTURAS**

PRESENTA

ING. MIRIAM GUADALUPE LÓPEZ CHÁVEZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. JOSÉ MANUEL JARA GUERRERO

Doctor en Ingeniería (Estructuras)

MORELIA, MICHOACÁN
JUNIO 2013

RESUMEN

El *modelo de demanda sísmica* para una estructura es uno de los componentes fundamentales de la metodología de *Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño* (PBEE Performance-Based Earthquake Engineering). Dicho modelo predice la probabilidad de exceder cierto *parámetro de demanda ingenieril* (PDI) dada una *medida de intensidad sísmica* (MI); a la relación MI-PDI se le conoce como *función de demanda estructural* o *función de demanda ingenieril*.

El objetivo de este trabajo de investigación es determinar las funciones de demanda estructural para puentes carreteros típicos en México. Para ello se modelaron un total de 32 puentes, cuya tipología varía en altura de pilas y longitud de claros, así como en el espectro de diseño para el que fueron diseñados. Los modelos fueron sometidos a la demanda sísmica proveniente de 124 registros sísmicos, correspondientes a los eventos de las fuentes sísmicas más importantes en México: 71 de sismos de subducción y 53 de sismos de fallamiento normal. Aplicando el método de escalamiento de amplitud, los registros sísmicos se escalan para un periodo de retorno tal que, para la mayor parte de los modelos analizados, se lograra llevar al colapso a la estructura.

Para establecer las relaciones MI-PDI, se seleccionó como MI la *seudoaceleración espectral asociada al periodo fundamental del puente*, $Sa(T)$, en la dirección de análisis correspondiente. Los PDIs utilizados fueron: la *rotación plástica*, θ_p ; la *distorsión angular* o *drift* en pilas, Δ ; el *índice de daño local* en pilas, ID_{local} , y el *índice de daño global* del puente, ID_{global} . Se llevaron a cabo 7936 análisis no lineales en la historia del tiempo, manejando por separado los análisis longitudinal y transversal de cada modelo.

Finalmente se plantearon las funciones de demanda estructural, mediante análisis de regresión lineal y con base en los resultados obtenidos de los análisis no lineales en la historia del tiempo de los modelos. Evaluando la dispersión y la correlación de las curvas de ajuste para las relaciones MI-PDI, se determinó que la relación MI-PDI óptima para el caso de los modelos estudiados es: $Sa(T) - \Delta$.

DEDICATORIA

*A mis padres, Ricardo López Godínez y Raquel Chávez Mendoza,
porque gracias a ustedes conocí este mundo,
porque gracias a ustedes hoy soy lo que soy.*

*A mis hermanos mayores, Raquel y Ricardo,
porque a pesar de los problemas salieron adelante
y han sido un gran ejemplo a seguir.*

*A mis hermanas, Angélica y Yesenia,
por compartir mil y un locuras conmigo.*

*A mi sobrina, Renata,
por robarme tantas sonrisas,
porque quiero que se sienta orgullosa de mí, ¡salud!*

*A mi novio, Marco,
¡tú sabes porqué!*

*A ti, que sin pronunciar palabra,
has compartido innumerables noches de desvelo a mi lado.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las instituciones que han hecho posible la realización del trabajo presentado en esta tesis. En primer lugar, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme una beca para manutención durante el periodo comprendido de marzo de 2011 a febrero de 2013. A la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), en especial a la División de Estudios de Posgrado, donde realicé mis estudios de maestría y donde, a través del centro de cómputo, fue posible llevar a cabo los análisis no lineales en la historia del tiempo de los modelos, base fundamental de la presente investigación.

Agradezco a mi asesor de tesis, Dr. José Manuel Jara Guerrero, por la acertada orientación, por el trabajo exigido que me hizo conocer mis límites, pero también así me hizo reconocer mis fortalezas. Gracias por su comprensión y apoyo, gracias por haber creído en mí.

Por supuesto, agradezco el conocimiento impartido y compartido por mis profesores: M.C. Rafael Rojas Rojas, Dr. Hugo Hernández Barrios, M.I. Eugenio Macías Cortés, Dr. José de Jesús Álvarez Sereno, Dra. Bertha Alejandra Olmos Navarrete; pero de manera especial agradezco al Dr. Manuel Jara Díaz y al Dr. Guillermo Martínez Ruíz, a los que recurría cuando alguna duda imprevista surgía y que jamás me negaron su conocimiento, ¡gracias por sus consejos!

A mis compañeros Marco, Gerardo y Arturo, gracias por el compañerismo, solidaridad, amistad...; y a ustedes Saraí, Paco e Iván, gracias por eso y por muchas cosas más.

A Angélica López Chávez y Marco Antonio León Ruíz, por ayudarme en la captura de resultados.

Finalmente, un agradecimiento especial a Juan Carlos López Calderón, quien ha sido un gran consejero y me ha escuchado en momentos de debilidad, pero sobre todo por el apoyo incondicional que me brindó.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
TABLA DE CONTENIDO	v
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1 MEDIDAS DE INTENSIDAD Y PARÁMETROS DE DEMANDA INGENIERIL	4
1.1. Parámetros de demanda ingenieril (PDIs)	5
1.2. Medidas de intensidad	6
1.3. Relaciones MI-PDI.....	7
1.3.1. MI-PDI óptimas	8
Capítulo 2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE PUENTES DE LONGITUD INTERMEDIA EN MÉXICO	11
2.1. Planos de proyecto tipo	12
2.2. Reportes SIPUMEX.....	15
2.3. Información bibliográfica	17
2.4. Inspección visual y levantamiento físico de puentes en México	21
Capítulo 3 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA	26
3.1. Características de la demanda sísmica	27
3.1.1. Principales características de la sismicidad en la zona de subducción de la costa del Pacífico mexicano	29
3.2. Proceso de selección de los registros sísmicos	31
3.2.1. Fuentes de información.....	31
3.2.1.1. Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes	31
3.2.1.2. COSMOS Virtual Data Center	32
3.2.2. Selección de los eventos sísmicos.....	32
3.2.3. Selección de las estaciones y de los acelerogramas.....	33
3.3. Base de datos de registros sísmicos.....	34
3.4. Modificación de los registros sísmicos	41
3.4.1. Métodos de escalamiento de amplitud.....	43
3.4.2. Métodos de coincidencia espectral	44
3.4.3. Método de modificación elegido.....	45
Capítulo 4 DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES ELÁSTICOS	50
4.1. Tipología estructural y componentes estructurales.....	52
4.1.1. Superestructura.....	52

4.1.2.	Apoyos de neopreno y juntas de expansión	53
4.1.3.	Subestructura	56
4.2.	Combinaciones de carga y acción sísmica de diseño	58
4.2.1.	Combinaciones de carga, según las AASHTO LRFD Bridge Design Specifications	58
4.2.1.1.	Estados límite	58
4.2.1.2.	Solicitaciones de carga Q_i	59
4.2.1.3.	Factores de carga γ_i	60
4.2.1.4.	Factor de modificación de las cargas η_i	61
4.2.1.5.	Combinación de carga RESISTENCIA I	62
4.2.1.6.	Combinaciones de carga EVENTO EXTREMO I	62
4.2.2.	Acción sísmica de diseño, según el Manual de Diseño de Obras Civiles	63
4.2.2.1.	Clasificación de las estructuras	64
4.2.2.2.	Estructuras Tipo 7. Puentes	64
4.2.2.3.	Factores de modificación del espectro de diseño	65
4.3.	Modelo y diseño de los puentes mediante SAP2000	67
4.3.1.	Propiedades de los materiales	68
4.3.2.	Elementos tipo placa (Shell)	68
4.3.3.	Elementos tipo barra	69
4.3.4.	Elementos tipo link	70
4.3.5.	Condiciones de frontera	71
4.3.6.	Solicitaciones de carga para los puentes en estudio	72
4.3.6.1.	Carga permanente	72
4.3.6.2.	Carga viva vehicular	73
4.3.6.3.	Espectros de diseño	75
4.3.7.	Resultados de diseño	76
4.3.7.1.	Requisitos del refuerzo longitudinal y transversal en columnas	76
4.3.7.2.	Diseño final de las pilas	77
Capítulo 5 MODELADO Y ANÁLISIS NO LINEAL EN LA HISTORIA DEL TIEMPO		79
5.1.	Modelado no lineal de los puentes	80
5.1.1.	Propiedades no lineales del material	81
5.1.2.	Discretización de elementos y asignación de masas	83
5.1.3.	Modelo de la superestructura	84
5.1.3.1.	Losa - diafragma rígido	85
5.1.3.2.	Trabes AASHTO tipo IV	87
5.1.4.	Modelo de los apoyos de neopreno y juntas de expansión	88
5.1.5.	Modelo de las pilas	88
5.1.5.1.	Relaciones Momento-Curvatura	90
5.1.5.2.	Superficies de interacción	103
5.1.6.	Condiciones de frontera	106

5.1.7.	Amortiguamiento.....	106
5.2.	Análisis no lineal en la historia del tiempo.....	108
5.2.1.	Medidas de intensidad utilizadas.....	108
5.2.2.	Parámetros de demanda ingenieril (PDIs) analizados.....	109
5.2.2.1.	Índice de daño.....	110
5.2.3.	Resultados.....	114
Capítulo 6	DETERMINACIÓN DE LAS FUNCIONES DE DEMANDA ESTRUCTURAL.....	116
6.1.	Regresión lineal simple y correlación.....	117
6.1.1.	Modelo de regresión lineal simple.....	117
6.1.2.	Método de los mínimos cuadrados.....	117
6.1.2.1.	Estimación de los parámetros β_0 y β_1	118
6.1.2.2.	Estimación del cuadrado medio residual, σ^2	119
6.1.3.	Coefficiente de determinación, R^2	120
6.1.4.	Coefficiente de correlación, r	120
6.1.5.	Transformación de relaciones no lineales.....	121
6.2.	Funciones de demanda estructural.....	121
6.2.1.	Relación $Sa(T) - \theta_p$	124
6.2.1.1.	Modelos con pilas $h = 5 m$	124
6.2.1.2.	Modelos con pilas $h = 10 m$	126
6.2.1.3.	Modelos con pilas $h = 15 m$	128
6.2.1.4.	Modelos con pilas $h = 20 m$	130
6.2.2.	Relación $Sa(T) - \Delta$	132
6.2.2.1.	Modelos con pilas $h = 5 m$	132
6.2.2.2.	Modelos con pilas $h = 10 m$	134
6.2.2.3.	Modelos con pilas $h = 15 m$	136
6.2.2.4.	Modelos con pilas $h = 20 m$	138
6.2.3.	Relación $Sa(T) - ID local$	140
6.2.3.1.	Modelos con pilas $h = 5 m$	140
6.2.3.2.	Modelos con pilas $h = 10 m$	142
6.2.3.3.	Modelos con pilas $h = 15 m$	144
6.2.3.4.	Modelos con pilas $h = 20 m$	146
6.2.4.	Relación $Sa(T) - ID global$	148
6.2.4.1.	Modelos con pilas $h = 5 m$	148
6.2.4.2.	Modelos con pilas $h = 10 m$	150
6.2.4.3.	Modelos con pilas $h = 15 m$	152
6.2.4.4.	Modelos con pilas $h = 20 m$	154
6.3.	Análisis de correlación y dispersión.....	156
CONCLUSIONES	159

REFERENCIAS	162
Apéndice A DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN Y CURVAS DE AJUSTE	169
LISTA DE TABLAS (Apéndice A)	172
LISTA DE FIGURAS (Apéndice A)	175
A.1. Relación $Sa(T) - \theta_p$	183
A.1.1. Modelos con pilas $h = 5 m$	183
A.1.1.1. Grupo P05-0	183
A.1.1.2. Grupo P05-1	185
A.1.1.3. Grupo P05-2	187
A.1.1.4. Grupo P05-3	189
A.1.2. Modelos con pilas $h = 10 m$	191
A.1.2.1. Grupo P10-0	191
A.1.2.2. Grupo P10-1	193
A.1.2.3. Grupo P10-2	195
A.1.2.4. Grupo P10-3	197
A.1.3. Modelos con pilas $h = 15 m$	199
A.1.3.1. Grupo P15-0	199
A.1.3.2. Grupo P15-1	201
A.1.3.3. Grupo P15-2	203
A.1.3.4. Grupo P15-3	205
A.1.4. Modelos con pilas $h = 20 m$	207
A.1.4.1. Grupo P20-0	207
A.1.4.2. Grupo P20-1	209
A.1.4.3. Grupo P20-2	211
A.1.4.4. Grupo P20-3	213
A.2. Relación $Sa(T) - \Delta$	215
A.2.1. Modelos con pilas $h = 5 m$	215
A.2.1.1. Grupo P05-0	215
A.2.1.2. Grupo P05-1	217
A.2.1.3. Grupo P05-2	219
A.2.1.4. Grupo P05-3	221
A.2.2. Modelos con pilas $h = 10 m$	223
A.2.2.1. Grupo P10-0	223
A.2.2.2. Grupo P10-1	225
A.2.2.3. Grupo P10-2	227
A.2.2.4. Grupo P10-3	229
A.2.3. Modelos con pilas $h = 15 m$	231
A.2.3.1. Grupo P15-0	231

A.2.3.2. Grupo P15-1	233
A.2.3.3. Grupo P15-2	235
A.2.3.4. Grupo P15-3	237
A.2.4. Modelos con pilas $h = 20 m$	239
A.2.4.1. Grupo P20-0	239
A.2.4.2. Grupo P20-1	241
A.2.4.3. Grupo P20-2	243
A.2.4.4. Grupo P20-3	245
A.3. Relación $Sa(T) - ID local$	247
A.3.1. Modelos con pilas $h = 5 m$	247
A.3.1.1. Grupo P05-0	247
A.3.1.2. Grupo P05-1	249
A.3.1.3. Grupo P05-2	251
A.3.1.4. Grupo P05-3	253
A.3.2. Modelos con pilas $h = 10 m$	255
A.3.2.1. Grupo P10-0	255
A.3.2.2. Grupo P10-1	257
A.3.2.3. Grupo P10-2	259
A.3.2.4. Grupo P10-3	261
A.3.3. Modelos con pilas $h = 15 m$	263
A.3.3.1. Grupo P15-0	263
A.3.3.2. Grupo P15-1	265
A.3.3.3. Grupo P15-2	267
A.3.3.4. Grupo P15-3	269
A.3.4. Modelos con pilas $h = 20 m$	271
A.3.4.1. Grupo P20-0	271
A.3.4.2. Grupo P20-1	273
A.3.4.3. Grupo P20-2	275
A.3.4.4. Grupo P20-3	277
A.4. Relación $Sa(T) - ID global$	279
A.4.1. Modelos con pilas $h = 5 m$	279
A.4.1.1. Grupo P05-0	279
A.4.1.2. Grupo P05-1	281
A.4.1.3. Grupo P05-2	283
A.4.1.4. Grupo P05-3	285
A.4.2. Modelos con pilas $h = 10 m$	287
A.4.2.1. Grupo P10-0	287
A.4.2.2. Grupo P10-1	289
A.4.2.3. Grupo P10-2	291

A.4.2.4. Grupo P10-3	293
A.4.3. Modelos con pilas $h = 15 m$	295
A.4.3.1. Grupo P15-0	295
A.4.3.2. Grupo P15-1	297
A.4.3.3. Grupo P15-2	299
A.4.3.4. Grupo P15-3	301
A.4.4. Modelos con pilas $h = 20 m$	303
A.4.4.1. Grupo P20-0	303
A.4.4.2. Grupo P20-1	305
A.4.4.3. Grupo P20-2	307
A.4.4.4. Grupo P20-3	309

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	Parámetros de demanda ingenieril para puentes carreteros (PDIs)	5
Tabla 1.2	Medidas de intensidad de uso común (MIs)	6
Tabla 2.1	Características de la superestructura de los puentes tipo [SOP, 1966]	12
Tabla 2.2	Características de la subestructura de los puentes tipo [SOP, 1966]	13
Tabla 2.3	Características de la superestructura de los puentes tipo [SAHOP, 1980]	14
Tabla 2.4	Características de la subestructura de los puentes tipo [SAHOP, 1980]	14
Tabla 2.5	Características de los materiales de los puentes tipo [SOP, 1966; SAHOP, 1980]	14
Tabla 2.6	Características de la superestructura de los puentes tipo [SAHOP, 1981]	15
Tabla 2.7	Características de la subestructura de los puentes tipo [SAHOP, 1981]	15
Tabla 2.8	Información recabada de los reportes SIPUMEX	16
Tabla 2.9	Características generales de los pasos superiores para vehículos construidos en México	18
Tabla 2.10	Tipo de superestructura	19
Tabla 2.11	Tipos de arcos en puentes	19
Tabla 2.12	Tipos de armaduras en puentes	20
Tabla 3.1	Eventos sísmicos interplaca de subducción	35
Tabla 3.2	Eventos sísmicos intraplaca de fallamiento normal	35
Tabla 3.3	Eventos sísmicos del Centro Virtual de Datos COSMOS	36
Tabla 3.4	Registros sísmicos interplaca de subducción	36
Tabla 3.5	Registros sísmicos intraplaca de fallamiento normal	38
Tabla 3.6	Factores de escala aplicados a los espectros de respuesta (Subducción)	46
Tabla 3.7	Factores de escala aplicados a los espectros de respuesta (Fallamiento Normal)	48
Tabla 4.1	Características geométricas generales de los puentes	51
Tabla 4.2	Rigideces horizontal y vertical de los apoyos de neopreno	55
Tabla 4.3	Combinaciones de cargas y factores de carga	60
Tabla 4.4	Factores de carga para cargas permanentes	60
Tabla 4.5	Propiedades de los materiales	68
Tabla 4.6	Espectros de diseño (Coordenadas y parámetros)	76
Tabla 4.7	Límites para la cuantía de acero longitudinal según AASHTO (2010)	77
Tabla 4.8	Resultados de diseño para las pilas	77
Tabla 5.1	Tipos de modelado de los componentes de los puentes [Adaptada de Aviram et al., 2008]	80
Tabla 5.2	Análisis de cargas	86
Tabla 5.3	Carga uniformemente distribuida en traveses	86
Tabla 5.4	Propiedades de las traveses AASHTO tipo IV	87
Tabla 5.5	Propiedades inelásticas de las columnas para puentes con claros de 20 m	98
Tabla 5.6	Propiedades inelásticas de las columnas para puentes con claros de 30 m	99
Tabla 5.7	Puntos de la curva monotónica YULRX, para puentes con claros de 20 m	101
Tabla 5.8	Puntos de la curva monotónica YULRX, para puentes con claros de 30 m	102
Tabla 5.9	Puntos para definir los diagramas de interacción	105
Tabla 5.10	Periodos fundamentales de los modelos y % de participación de masa (en cada dirección)	109
Tabla 5.11	Índices de daño asociados a ciertos niveles de daño	112
Tabla 5.12	Resultados del análisis estático lineal para pilas de puentes con claros de 20 m	113
Tabla 5.13	Resultados del análisis estático lineal para pilas de puentes con claros de 30 m	114
Tabla 6.1	Transformación de funciones intrínsecamente lineales [Devore, 2012]	121
Tabla 6.2	Definición de grupos para el manejo de resultados	122
Tabla 6.3	$Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m	124
Tabla 6.4	$Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m	125
Tabla 6.5	$Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m	126

Tabla 6.6 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m	127
Tabla 6.7 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m.....	128
Tabla 6.8 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m	129
Tabla 6.9 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m.....	130
Tabla 6.10 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m.....	131
Tabla 6.11 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m.....	132
Tabla 6.12 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m.....	133
Tabla 6.13 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m.....	134
Tabla 6.14 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m.....	135
Tabla 6.15 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m.....	136
Tabla 6.16 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m.....	137
Tabla 6.17 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m.....	138
Tabla 6.18 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m.....	139
Tabla 6.19 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m	140
Tabla 6.20 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m.....	141
Tabla 6.21 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m	142
Tabla 6.22 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m	143
Tabla 6.23 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m	144
Tabla 6.24 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m	145
Tabla 6.25 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m	146
Tabla 6.26 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m.....	147
Tabla 6.27 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m	148
Tabla 6.28 $Sa(T) - ID global$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m	149
Tabla 6.29 $Sa(T) - ID global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m.....	150
Tabla 6.30 $Sa(T) - ID global$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m.....	151
Tabla 6.31 $Sa(T) - ID global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m.....	152
Tabla 6.32 $Sa(T) - ID global$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m.....	153
Tabla 6.33 $Sa(T) - ID global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m.....	154
Tabla 6.34 $Sa(T) - ID global$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m.....	155
Tabla 6.35 Análisis de correlación y dispersión	157
Tabla 6.36 Determinación de la relación MI-PDI óptima.....	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Metodología PBEE [Adaptada de Porter, 2003]	1
Figura 1.1 Seudoaceleración & distorsión angular máxima [Tomada de Matsuki et al., 2006]	8
Figura 1.2 Configuraciones transversales y longitudinales de puentes carreteros típicos en California [Tomada de Mackie & Stojadinovic, 2003]	9
Figura 1.3 Modelo de puentes del primer conjunto del estudio de Mackie y Stojadinovic (2003) [Tomada de Mackie & Stojadinovic, 2003].....	9
Figura 1.4 Relación $Sa_{T1} - \Delta$ [Tomada de Mackie & Stojadinovic, 2003]	10
Figura 2.1 Número de puentes por entidad federativa [adaptada de Frías, 2010]	11
Figura 2.2 Clasificación de puentes por sistema constructivo de la superestructura [adaptada de Frías, 2010].....	16
Figura 2.3 Tipos de subestructura de puentes.....	20
Figura 2.4 Tipos de conexión entre la superestructura y la subestructura de puentes.....	21
Figura 2.5 Formatos de Inspección [Proyecto CONACyT 2004-C01-47314]	21
Figura 2.6 Simbología de los Formatos de Inspección [Proyecto CONACyT 2004-C01-47314].....	22
Figura 3.1 Cinturón o Anillo de Fuego del Pacífico [Tomada de http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pacific_Ring_of_Fire-es.svg?uselang=es].....	26
Figura 3.2 Placas tectónicas que interactúan en México [Tomada de http://www.ssn.unam.mx].....	27
Figura 3.3 Epicentros de sismos ocurridos en México entre 1964 y 1995 [Tomada de Kostoglodov & Pacheco, 1999].....	28
Figura 3.4 Movimientos de placas tectónicas [Tomada de CENAPRED, 2001]	29
Figura 3.5 Localización de los sismos más importantes en México [Tomada de Kostoglodov & Pacheco, 1999]	30
Figura 3.6 Zonas sísmicas intraplaca de fallamiento normal y profundidad intermedia, idealizadas por polígonos.....	30
Figura 3.7 Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes (BMDSF)	31
Figura 3.8 Espectros de respuesta elástica (amortiguamiento del 5%) del sismo del 09/19/1985 observados en CHI1 (Chilpancingo) y SCT (Ciudad de México) [Tomada de Gama et al., 2010]	34
Figura 3.9 Estaciones eliminadas y Cinturón Volcánico Mexicano	34
Figura 3.10 Ubicación de los eventos sísmicos y estaciones acelerográficas.....	36
Figura 3.11 Magnitud & Distancia epicentral del banco de registros sísmicos.....	39
Figura 3.12 Espectros de respuesta de seudoaceleración para un porcentaje de amortiguamiento crítico $\xi = 5\%$ (sismos de subducción)	39
Figura 3.13 Espectros de respuesta de seudoaceleración para un porcentaje de amortiguamiento crítico $\xi = 5\%$ (sismos de fallamiento normal).....	40
Figura 3.14 Acelerogramas registrados por la estación El Paraíso para los eventos sísmicos del 19 y 21 de septiembre de 1985.....	40
Figura 3.15 Espectros de respuesta elásticos. Eventos sísmicos de 19 y 21 de septiembre de 1985 (estación El Paraíso).....	41
Figura 3.16 Acelerogramas registrados por la estación Petatlan para el evento sísmico del 10 de diciembre de 1994.....	41
Figura 3.17 Método de escalamiento de amplitud. Espectros de respuesta (a) originales, (b) modificados [Tomado de Ay & Akkar, 2010].....	42
Figura 3.18 Método de coincidencia espectral. Registro sísmico y espectro de respuesta (a) original, (b) modificado [Tomado de Somerville, 2010].....	42
Figura 3.19 Espectros de peligro uniforme	46
Figura 3.20 Espectros de respuesta escalados (sismos de subducción)	49
Figura 3.21 Espectros de respuesta escalados (sismos de fallamiento normal).....	49
Figura 4.1 Puente simplemente apoyado	50
Figura 4.2 Sección transversal de la superestructura de los puentes (acotación en metros).....	52
Figura 4.3 Geometría de: (a) trabe AASTHO tipo IV, y (b) parapeto (acotación en metros)	53
Figura 4.4 Disposición transversal de los apoyos de neopreno.....	53
Figura 4.5 Disposición longitudinal de los apoyos de neopreno.....	54
Figura 4.6 Geometría del apoyo de neopreno: (a) fijo, y (b) móvil (acotación en metros).....	54

Figura 4.7 Junta de expansión típica.....	56
Figura 4.8 Disposición del acero de refuerzo longitudinal.....	56
Figura 4.9 Espaciamiento entre columnas en pilas con altura $5 \leq h \leq 15 \text{ m}$ (acotación en metros).....	57
Figura 4.10 Espaciamiento entre columnas en pilas con altura $h = 20 \text{ m}$ (acotación en metros).....	57
Figura 4.11 Programa para Diseño Sísmico (PRODISIS).....	63
Figura 4.12 Elementos tipo placa (rojo) y elementos tipo barra (azul).....	68
Figura 4.13 Elementos tipo barra y su correspondencia.....	69
Figura 4.14 Zonas rígidas en la unión columna-cabezal.....	70
Figura 4.15 Elementos rígidos auxiliares y elementos link.....	71
Figura 4.16 Condiciones de frontera.....	71
Figura 4.17 Carga uniformemente repartida en un elemento tipo placa.....	72
Figura 4.18 Ancho del carril de carga(acotación en metros).....	73
Figura 4.19 Ubicación de los ejes de carril de carga (acotación en metros).....	73
Figura 4.20 Pesos y dimensiones de los camiones de diseño: (a) HS-20; (b) T3-S3 Tipo 1, y (c) T3-S2-R4 Tipo 1 (acotación en metros).....	74
Figura 4.21 Ubicación de las ciudades de donde se obtienen los espectros de diseño.....	75
Figura 4.22 Espectros transparentes en roca (Grupo B).....	75
Figura 5.1 Modelo constitutivo para el concreto no confinado.....	82
Figura 5.2 Modelo constitutivo para el acero de refuerzo.....	82
Figura 5.3 Discretización de una pila de 10 m	83
Figura 5.4 Discretización de los elementos de un claro intermedio de 30 m	83
Figura 5.5 Masas nodales.....	84
Figura 5.6 Conjunto de restricciones en el claro central del puente.....	85
Figura 5.7 Ancho tributario.....	86
Figura 5.8 Carga uniformemente distribuida en traveses externos.....	87
Figura 5.9 Carga uniformemente distribuida en traveses internos.....	87
Figura 5.10 Comportamiento de las pilas para cargas aplicadas en dirección (a) longitudinal, y (b) transversal.....	89
Figura 5.11 Modelo de zona plástica para pilas, en dirección: (a) longitudinal, y (b) transversal.....	89
Figura 5.12 Utilidad Section Designer (SAP2000).....	91
Figura 5.13 Diagrama momento-curvatura: <i>curva de integración exacta</i>	91
Figura 5.14 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P05-0, y (b) C20P05-1.....	92
Figura 5.15 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P05-2, y (b) C20P05-3.....	92
Figura 5.16 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P10-0, y (b) C20P10-1.....	92
Figura 5.17 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P10-2, y (b) C20P10-3.....	93
Figura 5.18 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P15-0, y (b) C20P15-1.....	93
Figura 5.19 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P15-2, y (b) C20P15-3.....	93
Figura 5.20 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P20-0, y (b) C20P20-1.....	94
Figura 5.21 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P20-2, y (b) C20P20-3.....	94
Figura 5.22 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P05-0, y (b) C30P05-1.....	94
Figura 5.23 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P05-2, y (b) C30P05-3.....	95
Figura 5.24 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P10-0, y (b) C30P10-1.....	95
Figura 5.25 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P10-2, y (b) C30P10-3.....	95
Figura 5.26 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P15-0, y (b) C30P15-1.....	96
Figura 5.27 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P15-2, y (b) C30P15-3.....	96
Figura 5.28 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P20-0, y (b) C30P20-1.....	96
Figura 5.29 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P20-2, y (b) C30P20-3.....	97
Figura 5.30 Diagrama momento-curvatura basado en el Criterio de Diseño Sísmico Caltrans [Adaptada de Caltrans SDC, 2010].....	98
Figura 5.31 Curva monotónica idealizada, para una relación F-D [https://wiki.csiberkeley.com].....	100
Figura 5.32 Diagrama momento-curvatura y curva YULRX, modelo C20P20-2 (columna externa).....	101
Figura 5.33 Superficie de interacción: (a) $3D$; planos (b) $M2 - M3$, (c) $P - M2$, y (c) $P - M3$	103
Figura 5.34 Diagrama de interacción.....	104
Figura 5.35 Condiciones de frontera.....	106

Figura 5.36 Definición del Amortiguamiento de Rayleigh en PERFORM3D, $C = \beta K$	107
Figura 5.37 Curvas de capacidad de pilas, modelo C20P15-2, dirección de análisis: (a) Longitudinal, y (b) Transversal..	113
Figura 5.38 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	115
Figura 6.1 Desviaciones de los datos comparados con el modelo de regresión estimado	118
Figura 6.2 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupo P05-2, combinación de fuentes sísmica, curva de ajuste: (a) Potencial, y (b) Exponencial	123
Figura 6.3 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	124
Figura 6.4 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m	124
Figura 6.5 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	125
Figura 6.6 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m	125
Figura 6.7 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	126
Figura 6.8 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m	126
Figura 6.9 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	127
Figura 6.10 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m	127
Figura 6.11 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	128
Figura 6.12 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m	128
Figura 6.13 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	129
Figura 6.14 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m	129
Figura 6.15 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	130
Figura 6.16 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m	130
Figura 6.17 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	131
Figura 6.18 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m	131
Figura 6.19 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	132
Figura 6.20 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m	132
Figura 6.21 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	133
Figura 6.22 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m	133
Figura 6.23 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	134
Figura 6.24 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m	134
Figura 6.25 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	135
Figura 6.26 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m	135
Figura 6.27 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	136
Figura 6.28 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m	136
Figura 6.29 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	137
Figura 6.30 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m	137
Figura 6.31 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal	138
Figura 6.32 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m	138

Figura 6.33 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	139
Figura 6.34 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m.....	139
Figura 6.35 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	140
Figura 6.36 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m.....	140
Figura 6.37 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	141
Figura 6.38 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m.....	141
Figura 6.39 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	142
Figura 6.40 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m.....	142
Figura 6.41 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	143
Figura 6.42 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m.....	143
Figura 6.43 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	144
Figura 6.44 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m.....	144
Figura 6.45 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	145
Figura 6.46 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m.....	145
Figura 6.47 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	146
Figura 6.48 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m.....	146
Figura 6.49 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	147
Figura 6.50 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m.....	147
Figura 6.51 $Sa(T) - ID global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	148
Figura 6.52 $Sa(T) - ID global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m.....	148
Figura 6.53 $Sa(T) - ID global$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	149
Figura 6.54 $Sa(T) - ID global$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m.....	149
Figura 6.55 $Sa(T) - ID global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	150
Figura 6.56 $Sa(T) - ID global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m.....	150
Figura 6.57 $Sa(T) - ID global$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	151
Figura 6.58 $Sa(T) - ID global$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m.....	151
Figura 6.59 $Sa(T) - ID global$ dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	152
Figura 6.60 $Sa(T) - ID global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m.....	152
Figura 6.61 $Sa(T) - ID global$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	153
Figura 6.62 $Sa(T) - ID global$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m.....	153
Figura 6.63 $Sa(T) - ID global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	154
Figura 6.64 $Sa(T) - ID global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m.....	154
Figura 6.65 $Sa(T) - ID global$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	155
Figura 6.66 $Sa(T) - ID global$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m.....	155

Introducción

Durante los últimos años, el Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica del Pacífico (PEER Pacific Earthquake Engineering Research Center) ha enfocado sus esfuerzos en el desarrollo de procedimientos, conocimientos y herramientas para lograr una metodología de evaluación probabilística del desempeño sísmico de estructuras, desarrollando así la *Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño* (PBEE Performance-Based Earthquake Engineering).

Como se muestra en la Figura I.1, la metodología PBEE involucra cuatro etapas consecutivas (dada cierta localización y diseño de una estructura): análisis de peligro sísmico, análisis estructural, análisis de daño y análisis de pérdida. Así mismo, dicha metodología incluye cuatro variables: medida de intensidad, MI ; parámetro de demanda ingenieril, PDI ; medidas de daño, MD , y variable de decisión, VD .

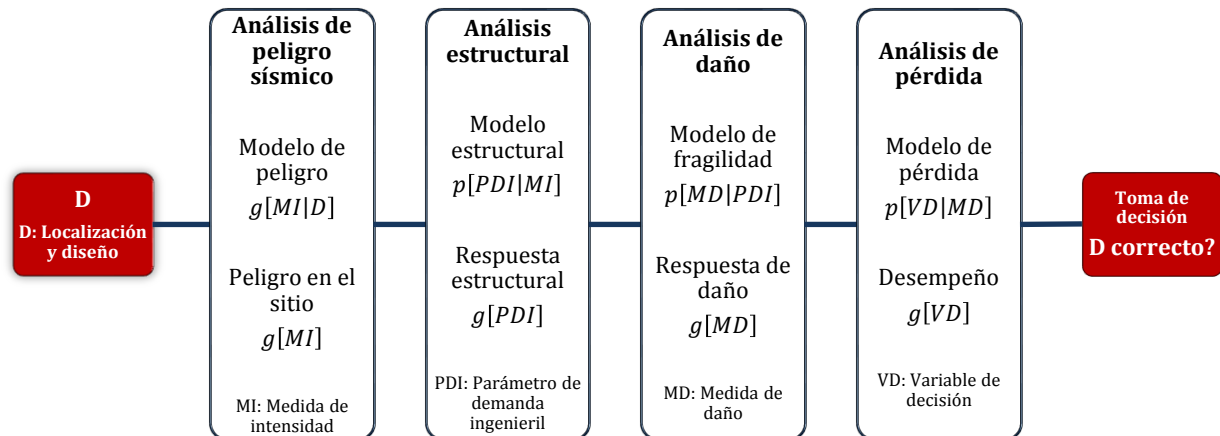


Figura I.1 Metodología PBEE [Adaptada de Porter, 2003]

De manera matemática, y utilizando el teorema de probabilidad total, la metodología PBEE se escribe como sigue:

$$g[VD|D] = \int \int \int p[VD|MD, D] p[MD|PDI, D] p[PDI|MI, D] g[MI|D] dMI dPDI dDM \quad (I.1)$$

Dentro de la etapa de *análisis estructural* de la metodología PBEE, es necesario construir un *modelo estructural* (o modelo de demanda sísmica) con el fin de estimar la respuesta estructural condicionada por la excitación sísmica ($p[PDI|MI]$). En otras palabras, el modelo estructural predice la probabilidad de exceder cierto *parámetro de demanda ingenieril* (PDI) dada una *medida de intensidad sísmica* (MI); por lo tanto, para la construcción de dicho modelo, resulta esencial determinar la relación MI-PDI, conocida como *función de demanda estructural* o *función de demanda ingenieril*.

Las funciones de demanda estructural se determinan utilizando un modelo matemático de la estructura y un método apropiado de análisis estructural, relacionando la respuesta del modelo ante un conjunto de registros sísmicos seleccionados. Comúnmente se asume que los PDIs, condicionados por cierta MI, tienen una distribución log-normal [Shome & Cornell, 1999], por lo tanto la relación MI-PDI tiene la siguiente forma:

$$PDI = a(MI)^b \quad (1.2)$$

Pocas investigaciones se han enfocado en el desarrollo de funciones de demanda estructural para puentes carreteros con tipología y componentes estructurales “estándar”; por ejemplo, Mackie & Stojadinovic (2003) realizaron una investigación para desarrollar un modelo probabilístico de demanda sísmica óptimo para el caso de puentes carreteros típicos en California, cuyo diseño se basó en Caltrans SDC (1999).

El objetivo de la presente investigación es determinar las funciones de demanda estructural para puentes carreteros típicos en México. Como primera etapa se realizó una revisión bibliográfica de las relaciones MI-PDI usualmente utilizadas en el caso de puentes carreteros (Capítulo 1), así como una revisión de las características generales de los puentes carreteros en México (Capítulo 2), a fin de establecer la tipología estructural de los modelos.

La demanda sísmica a la cual se sometieron los puentes se presenta a detalle en el Capítulo 3, eligiendo 124 registros sísmicos correspondientes a los eventos de las fuentes sísmicas más importantes en México: 71 de sismos de subducción y 53 de sismos de fallamiento normal. Aplicando el método de escalamiento de amplitud, los registros sísmicos se escalaron para un periodo de retorno tal que, para la mayor parte de los modelos analizados, se lograra llevar al colapso a la estructura.

Se modelaron un total de 32 puentes cuya tipología, componentes estructurales y método de diseño se detalla en el Capítulo 4, mientras que en el Capítulo 5 se presentan los criterios adoptados para realizar el modelado y el análisis no lineal en la historia del tiempo de las estructuras. Se llevaron a cabo 7936 análisis no lineales en la historia del tiempo, manejando por separado los análisis longitudinal y transversal de cada modelo.

En las relaciones MI- PDI analizadas se seleccionó como MI la *seudoaceleración espectral asociada al periodo fundamental del puente*, $S_a(T)$, en la dirección de análisis correspondiente. Los PDIs utilizados fueron: la

rotación plástica, θ_p ; la distorsión angular o drift en pilas, Δ ; el índice de daño local en pilas, ID_{local} , y el índice de daño global del puente, ID_{global} .

Finalmente, con base en los resultados obtenidos de los análisis no lineales en la historia del tiempo de los modelos y mediante análisis de regresión lineal, en el Capítulo 6 se plantean las funciones de demanda estructural. Analizando la dispersión y la correlación de las curvas de ajuste, se pretende definir las relaciones MI-PDI óptimas para los modelos en estudio.

Capítulo 1

MEDIDAS DE INTENSIDAD Y PARÁMETROS DE DEMANDA INGENIERIL

Uno de los componentes fundamentales de la metodología de Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño (PBEE Performance-Based Earthquake Engineering), desarrollada en el Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica del Pacífico (PEER Pacific Earthquake Engineering Research Center), es el *modelo estructural* o *modelo de demanda sísmica* para una estructura. Dicho modelo se construye con el fin de predecir la probabilidad de exceder cierto *parámetro de demanda ingenieril* (PDI) dada una *medida de intensidad sísmica* (MI). Por lo tanto, resulta esencial establecer relaciones entre las MIs y la respuesta de la estructura, representada por los PDIs.

Existen una gran cantidad de combinaciones entre las MIs y los PDIs. Matsuki, Billington, & Baker (2006) investigaron analíticamente la influencia del deterioro en columnas de concreto reforzado de puentes carreteros bajo acciones sísmicas. El impacto del deterioro, en la respuesta sísmica y en el desempeño, fueron analizados mediante la metodología PBEE, seleccionando como MI la pseudoaceleración espectral, S_a , y como PDI la distorsión angular máxima de la pila o *drift*, Δ , en la relación MI-PDI.

Mander, Bradley, & Dhakal (2007) describieron un método paramétrico para la estimación de pérdidas en una estructura específica y aplicaron dicho método para estudiar el caso de puentes típicos de Nueva Zelanda. A causa de que normalmente muestra una baja dispersión en la relación MI-PDI, la pseudoaceleración espectral asociada al periodo fundamental de la estructura fue seleccionada como MI. El PDI empleado fue la distorsión angular en el tablero, debido a que tiene una buena correlación con la demanda de curvatura en la zona de articulación plástica en la base de la pila. Otros autores han utilizado como relación MI-PDI la pseudoaceleración espectral contra la distorsión angular en sus investigaciones [Zhang, Acero, Conte, Yang, & Elgamal, 2004; Conte & Zhang, 2007; Nielson & Bowers, 2007].

El objetivo de este capítulo es describir las relaciones MI-PDI empleadas en diversas investigaciones y evaluar aquellas que sean adecuadas para el caso de puentes carreteros típicos en México.

1.1. PARÁMETROS DE DEMANDA INGENIERIL (PDIs)

Para establecer las relaciones MI-PDI es fundamental definir el tipo de estructura a analizar. Asociados al tipo de estructura se encuentran los parámetros de demanda ingenieril que pueden medirse durante el análisis, con el fin de calcular el comportamiento estructural esperado bajo los movimientos considerados [Mackie & Stojadinovic, 2003]. En el caso de edificios regulares, la respuesta del sistema generalmente queda definida con el desplazamiento lateral máximo del último nivel; sin embargo, para el análisis de puentes es necesario definir una medida capaz de describir el comportamiento del sistema durante una excitación dinámica y que sea fácilmente comparada con la medida de intensidad propuesta.

Como se describió anteriormente, en diversos artículos es posible encontrar varios parámetros de demanda ingenieril asociados al comportamiento de puentes. En la Tabla 1.1 se muestran los PDIs, considerados en los diferentes estudios, de importancia:

Tabla 1.1 Parámetros de demanda ingenieril para puentes carreteros (PDIs)

PDI	Definición
ε_s	Deformación unitaria en el acero
ε_c	Deformación unitaria en el concreto
f_s	Esfuerzo en el acero
f_c	Esfuerzo en el concreto
μ_φ	Ductilidad por curvatura
θ_p	Rotación plástica
p_t, p_c	Esfuerzos principales de tensión y compresión
Δ	Distorsión angular (<i>drift</i>)
μ_Δ	Ductilidad por desplazamiento
<i>RDI</i>	Índice de deformación residual

Los parámetros anteriormente enlistados se suelen clasificar en tres categorías: *globales*, *intermedios* y *locales*.

Definimos como PDIs locales a aquellos parámetros que describen la respuesta de los materiales en cualquier punto de interés en el puente. Entre ellos se encuentran las deformaciones unitarias en el acero y el concreto, ε_s y ε_c , así como los esfuerzos en dichos materiales, f_s y f_c .

Los PDIs intermedios son los que describen el comportamiento de los elementos estructurales del puente. Por ejemplo: la ductilidad por curvatura, μ_ϕ ; la rotación plástica, θ_p , y los esfuerzos principales de tensión y compresión, p_t y p_c , entre otros.

Clasificamos como parámetros de demanda ingenieril globales a aquellos que representan el comportamiento total de la estructura. En relación a la Tabla 1.1, los PDIs globales son: la distorsión angular o *drift*, Δ ; el factor de ductilidad por desplazamiento, μ_Δ , y el índice de deformación residual, *RDI*.

1.2. MEDIDAS DE INTENSIDAD

Dentro de un ámbito probabilístico, las medidas de intensidad (MI) definen las características más destacadas que afectan la respuesta estructural, en el marco de un estudio de peligro sísmico. Las MIs son comúnmente definidas por variables de un solo parámetro [Deierlein, Krawinkler, & Cornell, 2003]. En la Tabla 1.2 se enlistan medidas de intensidad tradicionalmente empleadas:

Tabla 1.2 Medidas de intensidad de uso común (MIs)

MI	Definición
<i>PGA</i>	Aceleración máxima del terreno
<i>PGV</i>	Velocidad máxima del terreno
<i>PGD</i>	Desplazamiento máximo del terreno
<i>Sa</i>	Seudoaceleración espectral elástica, 5% de amortiguamiento
<i>Sv</i>	Seudovelocidad espectral elástica, 5% de amortiguamiento
<i>Sd</i>	Desplazamiento espectral elástico, 5% de amortiguamiento

Las MIs antes enlistadas corresponden a medidas escalares; las limitaciones en su uso y eficiencia en las relaciones MI-PDI han sido tema de debate entre los investigadores, especialmente como función del tipo de estructura que se esté estudiando.

El emplear la aceleración máxima del terreno, *PGA*, como medida de intensidad en modelos de demanda sísmica puede ser atractivo. No obstante, se ha estudiado que la relación MI-PDI utilizando esta medida de intensidad tiene amplia variabilidad y dispersión [Deierlein et al., 2003]. A pesar de ello, es una de las medidas más utilizadas por la facilidad de conocer este parámetro en los catálogos sísmicos

De manera general, dentro de la evaluación del desempeño sísmico de estructuras, es utilizada la pseudoaceleración espectral asociada al periodo fundamental de la estructura, $S_a(T)$, la cual proporciona un parámetro más relacionado con la estructura que la *PGA*; sin embargo, esto no implica sea la “mejor” elección en cuanto a medidas de intensidad [Mackie & Stojadinovic, 2004b].

Las medidas espectrales, tales como S_a , S_v , S_d , trabajan de una manera adecuada en la caracterización de los efectos sísmicos en estructuras analizadas elásticamente, pero no necesariamente representan el comportamiento inelástico. Debido a esto existen desventajas al utilizar la $S_a(T)$ como MI, una de las más significativas es que no refleja muchos de los aspectos del movimiento sísmico que afectan la resistencia inelástica y la degradación de rigidez.

Actualmente se está investigando sobre medidas de intensidad que se correlacionen de una mejor manera con el daño en estructuras. Investigadores como Arias (1970) han trabajado en el desarrollo de nuevas maneras de medir la intensidad sísmica.

Tradicionalmente las MIs son definidas por un solo parámetro, Baker & Cornell (2004) proponen el uso de medidas de intensidad que consten de dos parámetros: la pseudoaceleración espectral en el primer modo de vibración (S_{aT_1}) junto con una medida de la forma espectral, definida como la relación entre la pseudoaceleración espectral en el segundo periodo de vibrar y el valor de la pseudoaceleración espectral original ($R_{T_1,T_2} = S_{aT_2}/S_{aT_1}$). Estas MIs son llamadas vectores de medida de intensidad (VMI). Los VMIs pueden contener más información acerca del movimiento del terreno y son más efectivos prediciendo la respuesta de la estructura. Cordova, Deierlein, Mehanny, & Cornell (2001) proponen un VMI que toma en cuenta la resistencia inelástica y la degradación de rigidez.

Debido a la naturaleza de la investigación objeto del presente trabajo, limitaremos las medidas de intensidad a aquellas MIs escalares, definidas por un solo parámetro. Esto nos permitirá filtrar y analizar las relaciones MI-PDI adecuadas en el caso de puentes carreteros típicos en México.

1.3. RELACIONES MI-PDI

Con la finalidad de establecer las relaciones adecuadas entre las medidas de intensidad y los parámetros de demanda ingenieril que serán utilizadas en la presente investigación, se realizó una revisión bibliográfica de las relaciones MI-PDI empleadas para conocer el daño en puentes carreteros. Los autores de los diversos estudios presentados fundaron sus investigaciones en la Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño (PBEE).

Matsuki et al. (2006) realizaron un estudio del impacto de la degradación a largo plazo de los materiales en puentes carreteros de concreto reforzado bajo desempeño sísmico. La relación MI-PDI empleada fue pseudoaceleración espectral, S_a , contra distorsión angular máxima en la pila, Δ (Figura 1.1). Los autores encontraron que las diferencias entre el estudio de un puente en “buen estado” y el caso de un puente deteriorado son menores si se analizan utilizando como PDI la distorsión angular máxima, bajo una serie de movimientos sísmicos considerados. Las diferencias más pronunciadas se encuentran en niveles altos de pseudoaceleración espectral, cercanos a $S_a = 0.6$.

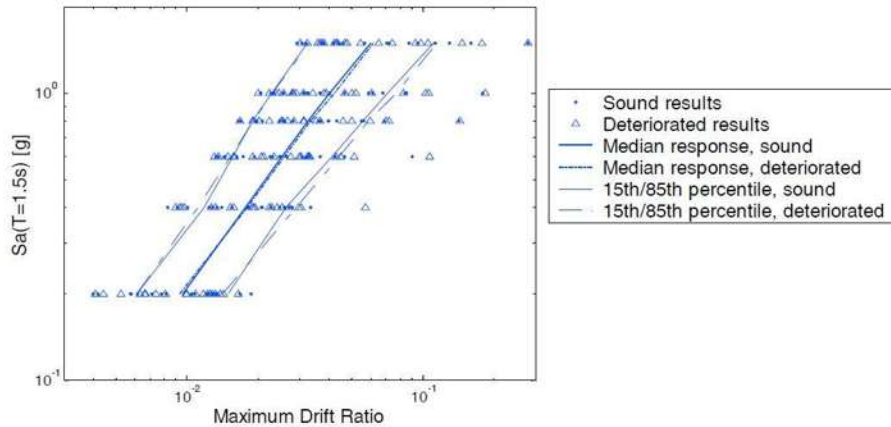


Figura 1.1 Seudoaceleración & distorsión angular máxima [Tomada de Matsuki et al., 2006]

Las curvas de fragilidad constituyen una forma racional y consistente para estimar el daño esperado y las pérdidas en estructuras. Mackie & Stojadinovic (2004a) realizaron un estudio de curvas de fragilidad para puentes carreteros de paso a desnivel. Para la construcción de dichas curvas es necesario establecer las relaciones MI-PDI, para lo cual fue empleada como MI la pseudoaceleración espectral asociada al primer modo, Sa_{T_1} . La investigación se dividió en dos partes: para el estudio a nivel de elementos del puente, el PDI utilizado fue la distorsión angular en la pila en la dirección longitudinal, Δ ; en el caso donde se deseaba estimar el comportamiento global del puente, fue necesario seleccionar como PDI la capacidad sísmica residual del puente después del evento sísmico.

En algunas otras investigaciones ha sido empleada como MI la pseudoaceleración espectral y como PDI la distorsión angular en la relación MI-PDI [Zhang, et al., 2004; Conte & Zhang, 2007; Nielson & Bowers, 2007].

1.3.1. MI-PDI ÓPTIMAS

Contando con una gran cantidad de combinaciones entre las medidas de intensidad y los parámetros de demanda ingenieril, se requiere reducir estas relaciones a aquellas que cumplan con la condición de ser óptimas en el contexto que se describe en el siguiente párrafo.

El requisito de practicidad sugiere que la relación MI-PDI sea realista en el sentido ingenieril. La efectividad refiere a la capacidad de ajustarse de forma aproximadamente lineal. Evaluando la dispersión en los ajustes lineales conocemos la eficiencia de la relación MI-PDI. Finalmente la suficiencia se cumple de no existir dependencia con otras variables.

Mackie & Stojadinovic (2003) realizaron una investigación para desarrollar un modelo probabilístico de demanda sísmica óptimo para puentes carreteros típicos en California. Los puentes en estudio fueron

diseñados basándose en Caltrans SDC (1999). Las configuraciones de dichos puentes se muestran en la Figura 1.2.

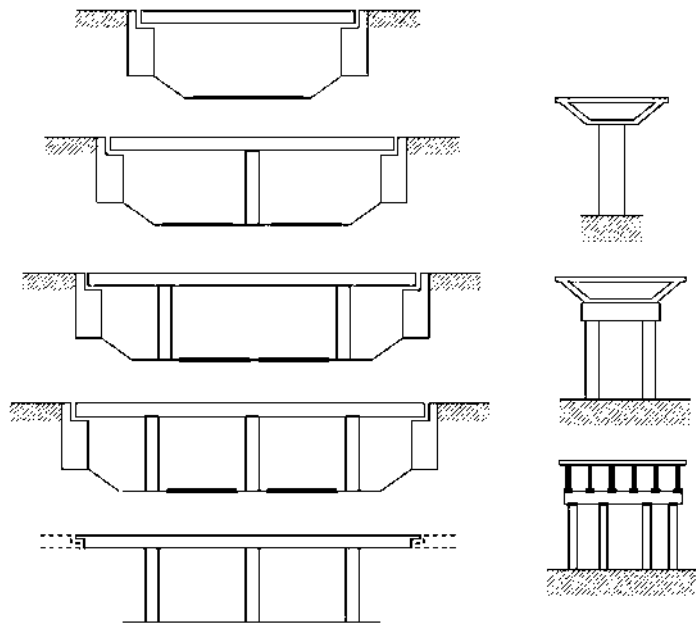


Figura 1.2 Configuraciones transversales y longitudinales de puentes carreteros típicos en California [Tomada de Mackie & Stojadinovic, 2003]

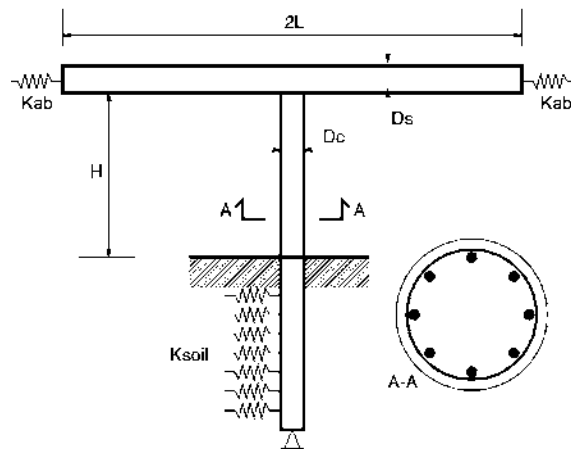


Figura 1.3 Modelo de puentes del primer conjunto del estudio de Mackie y Stojadinovic (2003) [Tomada de Mackie & Stojadinovic, 2003]

De acuerdo con los resultados de Mackie & Stojadinovic (2003) para un primer conjunto de modelos, limitado a puentes con dos claros iguales y una pila intermedia compuesta de una sola columna (Figura 1.3), se encontró que se obtienen relaciones MI-PDI óptimas utilizándose como MIs las medidas espectrales (Sa_{T_1} , Sv_{T_1} , Sd_{T_1}) asociadas al periodo fundamental del puente (T_1). En cuanto a los PDIs se encontró que las relaciones óptimas para PDIs locales se obtienen considerando los esfuerzos en el acero y en el concreto (σ_s ,

σ_c). Para PDIs intermedios se cumple con la optimización utilizando el momento máximo en la columna (M_{max}). Haciendo referencia a los PDIs globales, la selección óptima es la distorsión angular o *drift* (Δ).

Un segundo conjunto de modelos de puente, que incluyó las restantes configuraciones mostradas en la Figura 1.2, demostró que las relaciones MI-PDI óptimas derivadas del primer conjunto de modelos son también óptimas para modelos con múltiples pilas, y múltiples claros.

En la Figura 1.4 se muestra la relación MI-PDI óptima obtenida para modelos correspondientes al primer conjunto de puentes, considerando como PDI el *drift*. Se resumen los resultados obtenidos para distintos valores del parámetro de diseño D_c/D_s , que representa la relación entre el diámetro de la columna, D_c , y el peralte de la superestructura, D_s .

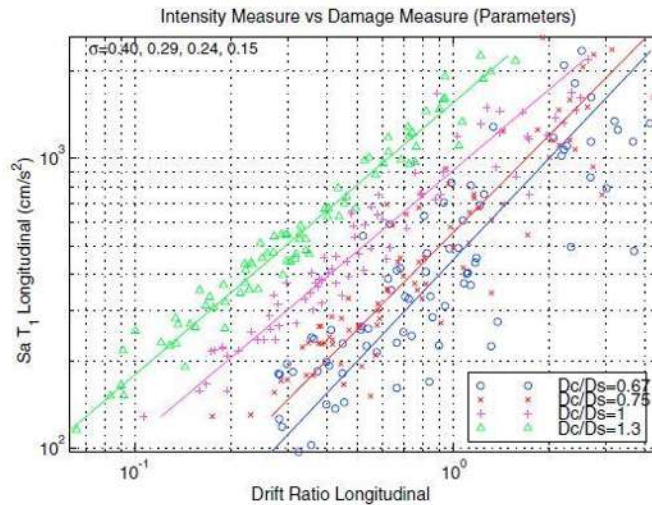


Figura 1.4 Relación $Sa_{T1} - \Delta$ [Tomada de Mackie & Stojadinovic, 2003]

Capítulo 2

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE PUENTES DE LONGITUD INTERMEDIA EN MÉXICO

Según información estadística de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), para finales de 2010 la Red Nacional Carretera en México estaba constituida por 371 936 km de longitud, de los cuales 48 972 km forman parte de la Red Federal Carretera. De esta última, el 17.15% corresponde a carreteras federales de cuota y el 82.85% restante corresponde a carreteras federales libres de peaje.

De acuerdo con los reportes del Sistema de Puentes Mexicanos (SIPUMEX), a 2009 se contaba con 7 514 puentes en carreteras federales, alcanzando más de 200 km de longitud en total. La Figura 2.1 muestra la cantidad de puentes por entidad federativa, observándose que el estado con mayor número de puentes es Michoacán.

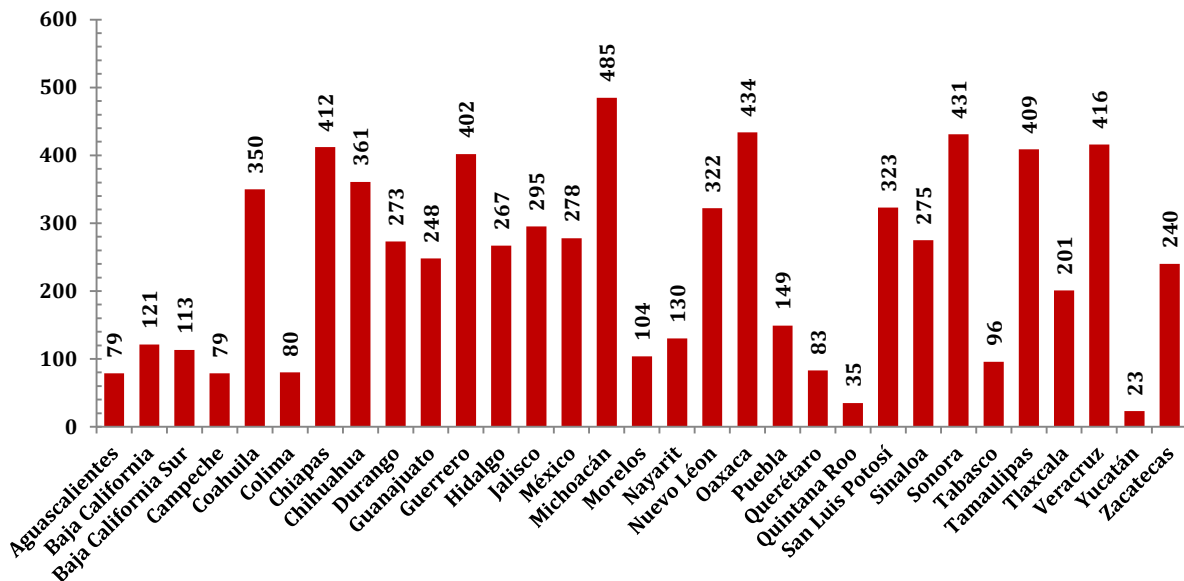


Figura 2.1 Número de puentes por entidad federativa [adaptada de Frías, 2010]

El presente capítulo tiene la finalidad de conocer las características generales de los puentes carreteros en México. Para esto, se recurrió a cuatro fuentes de información, las cuales se enlistan a continuación:

- Planos de proyecto tipo elaborados por la Secretaría de Obras Públicas (SOP) en 1965.
- Reportes SIPUMEX, elaborados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) desde 1992.
- Libros relacionados con la tipología de puentes, entre ellos el libro de Construcción de Puentes en México, editado por la SCT en 1985.
- Inspección visual y levantamiento físico de algunos puentes visitados.

Este capítulo se basa en el informe técnico desarrollado por Jara et al. (2009), en el cual se realiza una revisión de puentes tipo en México.

2.1. PLANOS DE PROYECTO TIPO

Desde la década de los años 60's y hasta parte de 1980 los puentes en México se construyeron con base en los planos tipo realizados por la SCT, que dieron origen a varios volúmenes.

Respecto a la subestructura, las publicaciones de planos tipo consultados cuentan con pilas y estribos de mampostería, los cuales se apoyan superficialmente y la altura se mide desde el nivel de desplante. No se mencionan topes sísmicos, por lo que se presume que los puentes de esta época carecen de esta protección.

1er Volumen de planos tipo [SOP, 1966]

La superestructura referente a los planos tipo del primer volumen [SOP, 1966] consiste en losas macizas y losas nervadas de concreto reforzado y presforzado. Son propuestos valores de 61 *cm* de longitud de asiento para claros de 8 *m*, y hasta 77 *cm* para claros de 30 *m*.

Tabla 2.1 Características de la superestructura de los puentes tipo [SOP, 1966]

Tipo de superestructura	Longitud del claro	Ancho total	Carga viva de diseño
Losas macizas	6 a 10 m	8.0 m	HS-15
2 Trabes de concreto reforzado	8 a 32 m		
3 Trabes de concreto reforzado	8 a 16 m		
Trabes de concreto presforzado	30 a 45 m		
Trabes de acero presforzado	30 a 45 m		

En la Tabla 2.1 se resumen las características de la superestructura de estos puentes tipo, mientras que en la Tabla 2.2 se resume lo referente a la subestructura.

Tabla 2.2 Características de la subestructura de los puentes tipo [SOP, 1966]

Tipo de superestructura	Longitud del claro	Altura de estribos	Altura de pilas
Losas planas macizas	6 a 10 m	4 a 10 m	4 a 10 m
2-3 Trabes de concreto reforzado	8 a 30 m	6 a 14 m	6 a 14 m

Los tipos de apoyo propuestos en estos planos son: apoyos de plomo, apoyos de neopreno y apoyos de acero.

Apoyos de plomo fijo: Consisten en una placa de acero conectada a la corona o cabezal de concreto, una placa de plomo de menor dimensión y otra placa de acero colocada por debajo de la nervadura o trabe de concreto. Se emplean pernos de 2.5 cm de diámetro.

Apoyos de plomo móviles: Son formados por las mismas placas de acero que en el caso de apoyos de plomo fijos y poseen un elemento de concreto de altura variable que funciona como una mecedora. Entre las placas de acero y la mecedora se colocan placas de plomo.

Apoyos de neopreno: Se recomienda que sean de una dureza Shore 60. Los apoyos fijos de esta naturaleza son de 1.3 cm de espesor y los móviles están reforzados con placas de acero, con un espesor total variable.

Apoyos de acero: Los apoyos fijos consisten en dos placas de acero, mientras que los apoyos móviles cuentan con dos placas de acero y una placa de plomo intercalada. Las conexiones se realizan con pernos de 2.5 cm de diámetro.

2do Volumen de planos tipo [SAHOP, 1980]

La superestructura propuesta en los planos tipo de este volumen está formada por losas planas macizas, losas planas aligeradas con tubos de cartón y losas con dos nervaduras de concreto reforzado. A diferencia del primer manual, los estribos incluyen aleros de mampostería. Información referente a la superestructura y subestructura se resume en las Tablas 2.3 y 2.4, respectivamente.

Se proponen apoyos de neopreno vulcanizado con placas de acero estructural, siendo el apoyo fijo de 2.5 cm de peralte, mientras que el apoyo móvil es de 4.1 a 7.3 cm dependiendo de la longitud del claro. Respecto a la longitud de asiento, esta varía entre los 58 cm para claros de 8 m, hasta 79 cm para 28 m de claro.

Tabla 2.3 Características de la superestructura de los puentes tipo [SAHOP, 1980]

Tipo de superestructura	Longitud del claro	Ancho total	Carga viva de diseño
Losas macizas	8 a 14 m	8.0 m	HS-15
Losas planas macizas		10.0 m	HS-20
Losas planas aligeradas	14 a 18 m	8.0 m	HS-15
		10.0 m	HS-20
Losa con dos nervaduras	15 a 28 m	8.0 m	HS-15
		10.0 m	HS-20

Tabla 2.4 Características de la subestructura de los puentes tipo [SAHOP, 1980]

Tipo de superestructura	Longitud del claro	Altura de estribos	Altura de pilas
Losas planas macizas	8 a 14 m	5.3 a 13 m	4 a 12 m
Losas nervadas	15 a 28 m	5 a 12.7 m	6 a 14 m

En cuanto a la infraestructura, incluyen cilindros huecos de concreto con diámetro exterior de 4 a 5 m, y espesor de pared de 0.8 m. Los pilotes propuestos son de sección cuadrada de 40 a 50 cm por lado.

Las características de los materiales utilizados en la construcción de los puentes, diseñados con base en planos tipo de los volúmenes anteriores, se resumen en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Características de los materiales de los puentes tipo [SOP, 1966; SAHOP, 1980]

Elemento estructural	f'_c	f_y
	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
Losas macizas y nervuradas	200	2300
Losas nervuradas de 25 a 30 m	250	4200
Trabes de concreto reforzado		
Trabes de concreto presforzado	350	19000
Losas aligeradas con tubos de cartón	250	4200
Cilindros		
Pilotes		

Proyectos tipo para Caminos Rurales [SAHOP, 1981]

Esta publicación es referente a los proyectos tipo de caminos rurales, cuya información sobre la superestructura y la subestructura se resume en las Tablas 2.6 y 2.7, respectivamente.

Tabla 2.6 Características de la superestructura de los puentes tipo [SAHOP, 1981]

Tipo de superestructura	Longitud del claro	Ancho total	Carga viva de diseño
Losas de sección trapecial	10 a 20 m	5.0 m	HS-15
Losas con dos nervaduras	7 a 30 m	4.6 m	

Tabla 2.7 Características de la subestructura de los puentes tipo [SAHOP, 1981]

Tipo de superestructura	Longitud del claro	Altura de estribos	Altura de pilas
Losas nervuradas	10.5 a 30 m	5 a 14 m	5 a 15 m

Los apoyos propuestos son de neopreno para claros de 7 a 30 m. La longitud de asiento varía desde 58 cm hasta 74 cm, para claros de 10.5 a 30 m.

2.2. REPORTES SIPUMEX

Dentro de los programas de conservación de puentes en México se encuentra el Sistema de Puentes Mexicanos (SIPUMEX) implantado por la SCT en 1992. Los reportes SIPUMEX tienen como objetivo principal el contar con un procedimiento sistemático para atender las necesidades de rehabilitación y mantenimiento de los puentes en México. De acuerdo con dichos reportes se obtuvo el inventario de los puentes existentes en la Red Federal Carretera, sabiendo que el total de puentes hasta 2009 era de 7514. La Figura 2.2 muestra los diferentes sistemas constructivos correspondientes a la superestructura de los puentes, según información del SIPUMEX en el año 2009.

Con el fin de conocer las características estructurales de los puentes en México, el informe [Jara et al., 2009] utiliza 76 reportes SIPUMEX correspondientes a 12 estados de la república. Se cuenta con 58 reportes SIPUMEX correspondientes a 7 estados localizados en zonas de moderada y alta sismicidad, y 18 reportes SIPUMEX referentes a 5 estados localizados en zonas de baja sismicidad. En la Tabla 2.8 se resumen los datos recabados a partir de dicha información disponible. Cabe resaltar que los datos mencionados, en su mayoría,

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Capítulo 2. Características generales de puentes de longitud intermedia en México

corresponde a caminos libres de cuota y que puede modificarse de contar con información suficiente para autopistas.

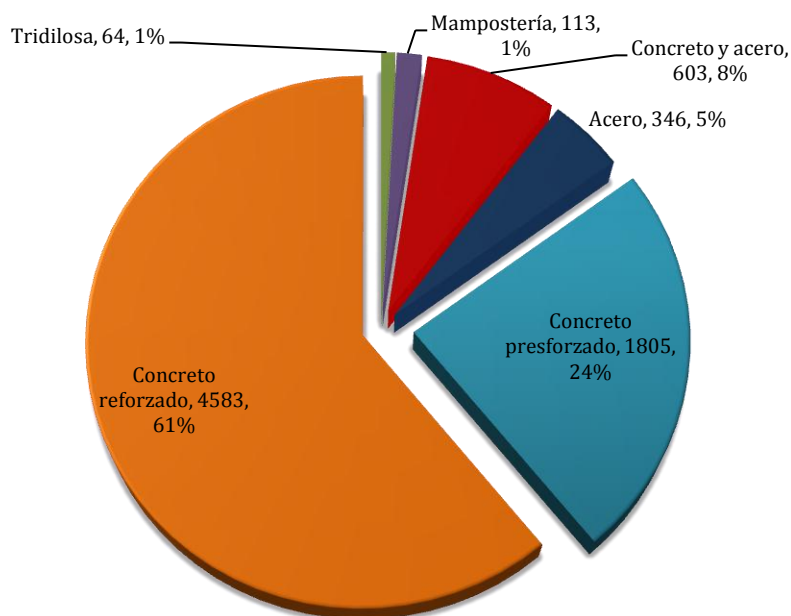


Figura 2.2 Clasificación de puentes por sistema constructivo de la superestructura [adaptada de Frías, 2010]

Tabla 2.8 Información recabada de los reportes SIPUMEX

Año de construcción	1930-1940	1941-1960	1961-1980	1981-2000			
% puentes	10.87	40.22	36.96	11.96			
Longitud total de los puentes	0-15	15-30	30-45	45-60	60-90	90-200	>200
% puentes	16.33	20.92	27.55	12.24	12.24	8.16	2.55
Longitud máxima por claro	<10	10-25	25-35	35-45			
% puentes	34.29	44.29	17.14	4.29			
Tipo de pilas	Muro de mampostería	Muro de C. Reforzado	Muro de C. Ciclópeo	Una columna	Marco de C. Reforzado		
% puentes	73.68	10.53	2.63	7.89	5.26		
Tipo de apoyos extremos	Estribo de mampostería	Estribo de C. Reforzado	Estribo de C. Ciclópeo	Caballote de C. Reforzado			
% puentes	74.63	5.97	1.49	17.91			
Tipo de apoyo	Neopreno	Cartón asfáltico	Placas de acero	Mecedora de concreto	Mecedora de acero		
% puentes	34.15	53.66	4.88	2.44	4.88		
Altura máxima de subestructura	<5	5-10	10-15	15-20			
% puentes	53.66	31.71	12.20	2.44			

Un alto porcentaje de los puentes se construyeron en el periodo 1941-1960, esto indica que probablemente fueron utilizados proyectos tipo de la época, lo que permite estimar los armados de los elementos y las características geométricas generales.

Se aprecia que la mayor parte de los puentes tienen una longitud total comprendida en el intervalo de 30-45 m, y se tiene un mayor porcentaje de puentes cuya longitud máxima por claro es de 10-25 m.

Existe un alto número de puentes con pilas de muro de mampostería. En cuanto a los apoyos extremos, también la mampostería es el material más utilizado en su construcción. Por lo que respecta al apoyo de la superestructura en las pilas, la mayor parte de los puentes antiguos se apoyan sobre cartón asfáltico; sin embargo, el número de puentes con este tipo de apoyos ha disminuido debido a la rehabilitación de los mismos, sustituyendo los apoyos por placas de neopreno.

No se cuenta con información explícita acerca de la altura de las pilas y los apoyos extremos de los puentes, pero se tiene información relativa a la altura máxima bajo las estructuras. Notamos que la mayor parte de los puentes tienen una altura menor a 5 m, no obstante, existe un porcentaje considerable de puentes con altura entre 5 m y 10 m.

Los reportes SIPUMEX proporcionan datos importantes para clasificar e identificar las estructuraciones típicas de puente en México, aunque no cuentan con toda la información suficiente para estimar las características dinámicas de ellos, lo que muestra que en esta época no se consideraba relevante el aspecto sísmico

2.3. INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

También se consultaron distintas referencias bibliográficas, entre las que se encuentra el libro *La Construcción de Puentes en México* [SCT, 1985]. Un resumen de los datos provenientes de dicha referencia se presenta en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Características generales de los pasos superiores para vehículos construidos en México

Tipo de puente	# de claros	Longitud de claros	Altura de pilas	Ancho de calzada	Peralte/Claro (superestructura)	Tipos de suelo
Puentes de armadura	1 a 7 tramos	$30m \leq L \leq 120m$	$5m \leq H \leq 60m$	$5m \leq AT \leq 10.5m$	$0.08 \leq h/l \leq 0.12$	Conglomerados compacto hasta roca sana
Tridilosa	1 a 7 tramos	$25m \leq L \leq 40m$	$7m \leq H \leq 22m$	$8m \leq AT \leq 10.1m$	$0.045 \leq h/l \leq 0.06$	Arcilla compacta hasta roca sana
Trabes metálicas	3 a 23 claros	$12m \leq L \leq 140m$	$16m \leq H \leq 109m$	$5.2m \leq AT \leq 20.7m$	$0.04 \leq h/l \leq 0.15$	Roca sana
Puentes de concreto reforzado	3 a 15 claros	$25m \leq L \leq 58m$	$9m \leq H \leq 39m$	$8.0m \leq AT \leq 9.4m$	$0.05 \leq h/l \leq 0.09$	Arcilla gris hasta roca sana
Puentes pretensados urbanos	3 a 15 claros	$15m \leq L \leq 35m$	$5m \leq H \leq 17m$	$11.25m \leq AT \leq 24.5m$	$0.05 \leq h/l \leq 0.06$	Arcilla
Puentes de concreto postensado	3 a 12 claros	$22m \leq L \leq 96m$	$4m \leq H \leq 125m$	$4.7m \leq AT \leq 12.8m$	$0.04 \leq h/l \leq 0.09$	Arcilla hasta roca sana
Tipo de puente	# de claros	Longitud de claros	Ancho de calzada	Flecha	Flecha/Claro	Tipos de suelo
Arcos metálicos	1 y 1 a 5 accesos	$70m \leq L \leq 150m$ (arcos)	$7.5m \leq AT \leq 10.2m$	$12.7m \leq H \leq 52m$	$0.14 \leq h/l \leq 0.35$	Conglomerados compacto hasta roca sana
		$10m \leq L \leq 30m$ (accesos)				
Arcos de concreto	1 y 1 a 6 accesos	$60m \leq L \leq 92m$	$8.2m \leq AT \leq 10.25m$	$11m \leq H \leq 25m$	$0.190 \leq h/l \leq 0.275$	Arena hasta roca sana
		$10m \leq L \leq 30m$ (accesos)				

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Capítulo 2. Características generales de puentes de longitud intermedia en México

Referente a la superestructura, la Tabla 2.10 muestra las estructuraciones más comunes y las longitudes de los claros en las que son aplicables.

Tabla 2.10 Tipo de superestructura

TIPO DE SUPERESTRUCTURA	CLARO (m)																				TIPO DE SUPERESTRUCTURA	CLARO (m)																			
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
 SBR	[Barra horizontal desde 2 hasta 12]																				 VIGA T	[Barra horizontal desde 24 hasta 36]																			
 T* INVERTIDA	[Barra horizontal desde 2 hasta 18]																				 VIGA DOBLE T	[Barra horizontal desde 24 hasta 36]																			
 VIGA EN T	[Barra horizontal desde 12 hasta 24]																				 VIGAS COLADAS IN SITU	[Barra horizontal desde 6 hasta 16]																			
 VIGA EN M	[Barra horizontal desde 12 hasta 24]																				 LOSA MACIZA	[Barra horizontal desde 6 hasta 16]																			
 VIGA T	[Barra horizontal desde 12 hasta 24]																				 LOSA ALIGERADA	[Barra horizontal desde 6 hasta 16]																			
 VIGA U	[Barra horizontal desde 12 hasta 24]																				 TRABE CAJON	[Barra horizontal desde 30 hasta 40]																			
 VIGA U	[Barra horizontal desde 12 hasta 24]																				 CAJON MULTICELULAR	[Barra horizontal desde 30 hasta 40]																			
 TABIETA	[Barra horizontal desde 12 hasta 24]																				 CAJON RECTANGULAR	[Barra horizontal desde 16 hasta 24]																			




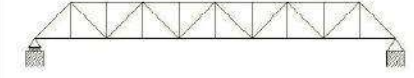
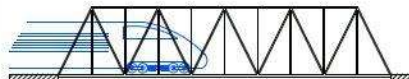
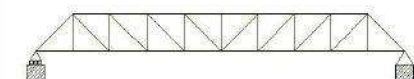
En cuanto a los puentes tipo arco, las configuraciones más comunes se presentan en la Tabla 2.11; los claros de estos tipos de puente quedan comprendidos entre 15 y 300 m.

Tabla 2.11 Tipos de arcos en puentes

 BI - ARTICULADO	 ARCO LANGER
 ARCO CON TENSORES	 ARCO LOHSE
 ARCO TIPO ARMADURA	 ARCO NIELSEN

Las configuraciones comunes de puentes de armadura están representadas en la Tabla 2.12; sus claros se encuentran entre 30 y 90 m.

Tabla 2.12 Tipos de armaduras en puentes

 <p>PASO INFERIOR</p>	 <p>ARMADURA TIPO WARREN</p>
 <p>PASO A TRAVÉS</p>	 <p>ARMADURA WARREN MODIFICADA</p>
 <p>PASO SUPERIOR</p>	 <p>ARMADURA PRATT</p>

Finalmente, información referente a la subestructura y a sus tipos de conexión con la superestructura queda resumida en las Figuras 2.3 y 2.4, respectivamente.

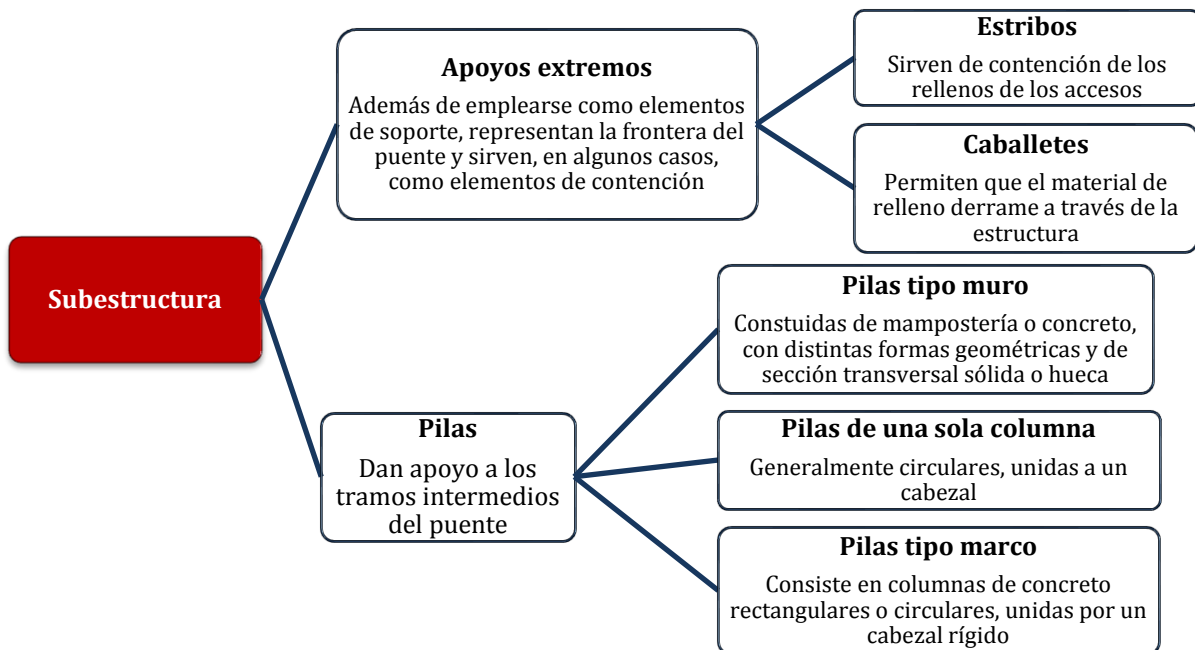


Figura 2.3 Tipos de subestructura de puentes

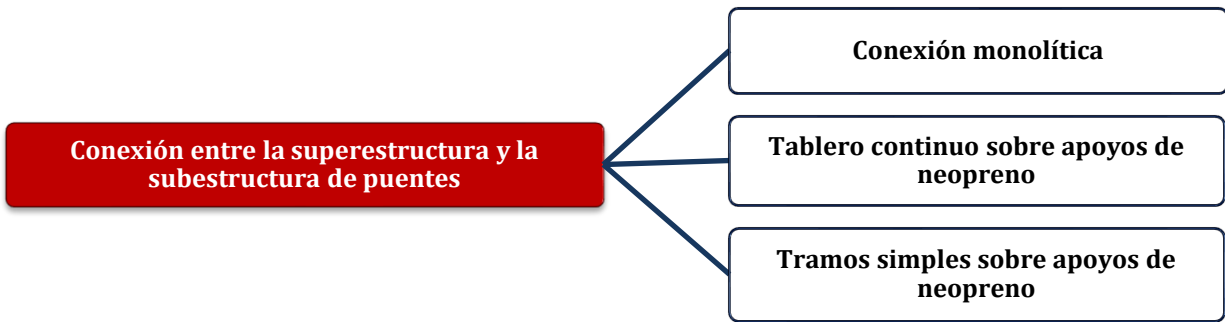


Figura 2.4 Tipos de conexión entre la superestructura y la subestructura de puentes

2.4. INSPECCIÓN VISUAL Y LEVANTAMIENTO FÍSICO DE PUENTES EN MÉXICO

Adicionalmente a los reportes SIPUMEX, Jara et al. (2009) realizaron visitas físicas con el propósito de identificar los parámetros estructurales más importantes que se deben conocer en los puentes, para estar en posibilidades de estimar su respuesta sísmica. Se elaboraron formatos de inspección incorporando variables no consideradas en los reportes SIPUMEX, los cuales se utilizaron para recabar información durante el levantamiento físico de puentes.

NOMBRE DEL PUENTE: **MOTÍN DE ORO** Proyecto CONAcYt SEP-2004-C01-47314

UBICACIÓN	KM	AÑO DE CONST	TIPO DE PTE	L TOTAL (m)
LC-MANZANILLO	103+900	1976	CAJÓN	163

APOYO EXT	TIPO	No COLUMNAS	MATERIAL	ALTURA
1	MU	0	CR	5.50
6	MU	0	CR	5.00

PILAS	TIPO	No COLUMNAS	SECCIÓN	MATERIAL	ALTURA (m)	DIMENSIONES (cm)		
						Bb - Bs	Lb - Ls	tb - ts
2	MU	0	RE-HU	CR	5.2	90-90	800-800	30-30
3	MU	0	RE-HU	CR	5.2	90-91	800-801	30-31
4	MU	0	RE-HU	CR	5.3	90-92	800-802	30-32
5	MU	0	RE-HU	CR	5.1	90-93	800-803	30-33

APOYOS	CONEXIÓN	TIPO	ESPESOR (cm)	DIMENSIONES (cm)	LONG ASIENTO (cm)
1	CN	NE	5.7	40 X 40	60
2	CN	NE	7.3	40 X 40	55
3	CN	NE	7.3	40 X 40	55
4	CN	NE	5.1	40 X 40	60

SUPER	TIPO	ANCHO TOTAL	ANCHO CALZADA	AREA	ESVAJE	L CLAROS	DIM TOPES	CURVATURA (Grados)	
		(m)	(m)				(m ²)	(m)	(cm)
1	CAJÓN CP	10.5	8.3	1683	0°	40	80 X 40	0°	0°
2	CAJÓN CP	10.5	8.3	1683	0°	40	80 X 40	0°	0°
3	CAJÓN CP	10.5	8.3	1683	0°	40	80 X 40	0°	0°
4	CAJÓN CP	10.5	8.3	1683	0°	40	80 X 40	0°	0°
5	CAJÓN CP	10.5	8.3	1683	0°	40	81 X 40	0°	0°

Figura 2.5 Formatos de Inspección [Proyecto CONAcYt 2004-C01-47314]

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Capítulo 2. Características generales de puentes de longitud intermedia en México

Dichos formatos de inspección capturan información específica de la subestructura, del tipo de conexión de los elementos, de las dimensiones de los topes sísmicos y de la longitud de asiento, entre otros parámetros que están relacionados con el comportamiento sísmico de puentes. En la Figura 2.5 se muestra un ejemplo de los formatos de inspección propuestos y en la Figura 2.6 la simbología manejada.

<p style="text-align: center;">SIMBOLOGÍA</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">TIPO DE APOYO EXTREMO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muro</td> <td>MU</td> </tr> <tr> <td>Caballote</td> <td>CA</td> </tr> <tr> <td>Otro</td> <td>OT</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">SECCION TRANSVERSAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>sólida</td> <td>SO</td> </tr> <tr> <td>hueca</td> <td>HU</td> </tr> <tr> <td>circular</td> <td>CI</td> </tr> <tr> <td>rectangular</td> <td>RE</td> </tr> <tr> <td>variable</td> <td>VA</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">CONEXION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Continua monolítica</td> <td>CM</td> </tr> <tr> <td>Continua no monolítica</td> <td>CN</td> </tr> <tr> <td>Simpl apoyado</td> <td>SA</td> </tr> </tbody> </table>	TIPO DE APOYO EXTREMO		Muro	MU	Caballote	CA	Otro	OT	SECCION TRANSVERSAL		sólida	SO	hueca	HU	circular	CI	rectangular	RE	variable	VA	CONEXION		Continua monolítica	CM	Continua no monolítica	CN	Simpl apoyado	SA	<p style="text-align: center;">FORMATO DE INSPECCIÓN DE PUENTES Proyecto CONACyT SEP-2004-C01-47314</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">TIPO DE PILAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muro sólido</td> <td>MU</td> </tr> <tr> <td>Muro hueco</td> <td>MH</td> </tr> <tr> <td>Una columna</td> <td>CO</td> </tr> <tr> <td>Marco</td> <td>MA</td> </tr> <tr> <td>Otro</td> <td>OT</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">MATERIAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mampostería</td> <td>MA</td> </tr> <tr> <td>Concreto ciclópeo</td> <td>CC</td> </tr> <tr> <td>Concreto reforzado</td> <td>CR</td> </tr> <tr> <td>Acero</td> <td>AC</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">TIPO DE APOYO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Neopreno</td> <td>NE</td> </tr> <tr> <td>Carón asfaltado</td> <td>CA</td> </tr> <tr> <td>Mecedoras</td> <td>ME</td> </tr> <tr> <td>Placas de acero</td> <td>PA</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">DIMENSIONES</p> <p style="margin-left: 20px;">Bb = Ancho en la base Bs = Ancho superior Lb = Longitud en la base Ls = Longitud superior tb = Espesor en la base ts = Espesor superior</p>	TIPO DE PILAS		Muro sólido	MU	Muro hueco	MH	Una columna	CO	Marco	MA	Otro	OT	MATERIAL		Mampostería	MA	Concreto ciclópeo	CC	Concreto reforzado	CR	Acero	AC	TIPO DE APOYO		Neopreno	NE	Carón asfaltado	CA	Mecedoras	ME	Placas de acero	PA
TIPO DE APOYO EXTREMO																																																													
Muro	MU																																																												
Caballote	CA																																																												
Otro	OT																																																												
SECCION TRANSVERSAL																																																													
sólida	SO																																																												
hueca	HU																																																												
circular	CI																																																												
rectangular	RE																																																												
variable	VA																																																												
CONEXION																																																													
Continua monolítica	CM																																																												
Continua no monolítica	CN																																																												
Simpl apoyado	SA																																																												
TIPO DE PILAS																																																													
Muro sólido	MU																																																												
Muro hueco	MH																																																												
Una columna	CO																																																												
Marco	MA																																																												
Otro	OT																																																												
MATERIAL																																																													
Mampostería	MA																																																												
Concreto ciclópeo	CC																																																												
Concreto reforzado	CR																																																												
Acero	AC																																																												
TIPO DE APOYO																																																													
Neopreno	NE																																																												
Carón asfaltado	CA																																																												
Mecedoras	ME																																																												
Placas de acero	PA																																																												

Figura 2.6 Simbología de los Formatos de Inspección [Proyecto CONACyT 2004-C01-47314]

Las siguientes fotografías muestran puentes en México visitados por Jara et al. (2009), en las cuales se pueden apreciar estructuraciones comunes. Bajo cada grupo de fotografías se describe brevemente el tipo de subestructura y superestructura de los puentes.



Fotografías 2.1 y 2.2

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Capítulo 2. Características generales de puentes de longitud intermedia en México

Fotografías 2.1 y 2.2: En la Fotografía 2.1 se muestra un puente cuya superestructura está formada por una trabe tipo cajón, mientras que el puente de la Fotografía 2.2 cuenta con traveses tipo AASTHO. La subestructura de ambos puentes es de pilas tipo muro.



Fotografías 2.3 y 2.4

Fotografías 2.3 y 2.4: Ambos puentes cuentan con subestructura formada por pilas de una columna circular. Las traveses que forman la superestructura del puente de la izquierda son rectangulares coladas in situ, mientras que las del puente de la derecha son tipo AASHTO.



Fotografías 2.5 y 2.6

Fotografías 2.5 y 2.6: La superestructura de ambos puentes está conformada por traveses tipo AASHTO simplemente apoyadas sobre el cabezal del puente. Las pilas de los puentes son de tipo marco compuesto por columnas circulares.



Fotografías 2.6 y 2.7

Fotografías 2.6 y 2.7: Ambos puentes cuentan con pilas tipo marco, formadas por dos columnas rectangulares unidas por un travesaño. Las traveses que integran la superestructura del puente de la Fotografía 2.6 son tipo AASHTO, mientras que la superestructura del puente de la derecha es de tipo arco de acero.



Fotografía 2.8

Fotografía 2.8: La subestructura está compuesta por pilas tipo marco, formadas por dos columnas circulares. Es posible apreciar en la fotografía la socavación, a través de la exposición de los pilotes de cimentación.



Fotografías 2.9 y 2.10 Topes sísmicos



Fotografías 2.11 y 2.12 Apoyos de neopreno

Capítulo 3

CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA

Los movimientos generados por las ondas sísmicas han sido la causa principal de daños en la infraestructura de las ciudades a nivel mundial [Jara & Jara, 2007], prueba de ello son los efectos devastadores de los terremotos que han ocurrido en las últimas décadas (p. e. Sumatra, Indonesia, 12/26/2004, $M_w = 9.2$; Sendai, Japón, 03/11/2011, $M_w = 9.1$; Michoacán, México, 09/19/1985, $M_w = 8.0$; Kobe, Japón, 01/16/1995, $M_w = 6.9$).

En el contexto de la sismicidad mundial, una buena parte del territorio mexicano tiene un alto nivel de exposición al peligro sísmico. Esto se debe a que México se encuentra asociado al *Cinturón o Anillo de Fuego del Pacífico*, también conocido como *Cinturón Circumpacífico* (Figura 3.1), donde tienen lugar más del 80% de los temblores registrados en el planeta [CENAPRED, 2001].

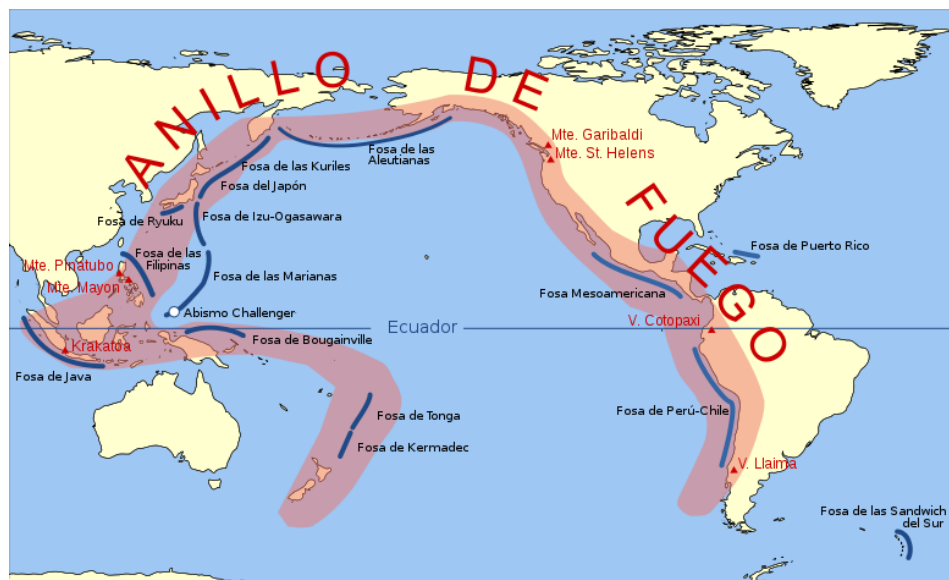


Figura 3.1 Cinturón o Anillo de Fuego del Pacífico [Tomada de http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pacific_Ring_of_Fire-es.svg?uselang=es]

Cada cuatro años ocurren en México un promedio de cinco sismos de magnitud mayor o igual a 6.5. En cuanto a magnitudes menores, la frecuencia de ocurrencia es mayor; por ejemplo, cada año se registran más de 100 sismos con magnitud mayor o igual a 4.5. De acuerdo a los reportes del Servicio Sismológico Nacional (SSN), ocurren un promedio de 4 sismos por día, de magnitud mayor a 3.0.

Sin embargo, nuestra preocupación es mayor cuanto mayor sea la magnitud del sismo. De acuerdo a Kostoglodov & Pacheco (1999) se espera un sismo con magnitud mayor o igual a 7.5 cada 10 años.

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA SISMICIDAD EN MÉXICO

El territorio mexicano se encuentra comprendido dentro de cinco placas tectónicas. La mayor parte del país se sitúa sobre la *Placa de Norteamérica*, la península de Baja California se ubica en la *Placa del Pacífico*, mientras que el sur de Chiapas queda englobado en parte dentro de la *Placa Caribe*. Las *Placas de Cocos* y de *Rivera* se disponen en la costa del Pacífico mexicano, completando así el rompecabezas tectónico del país (Figura 3.2).

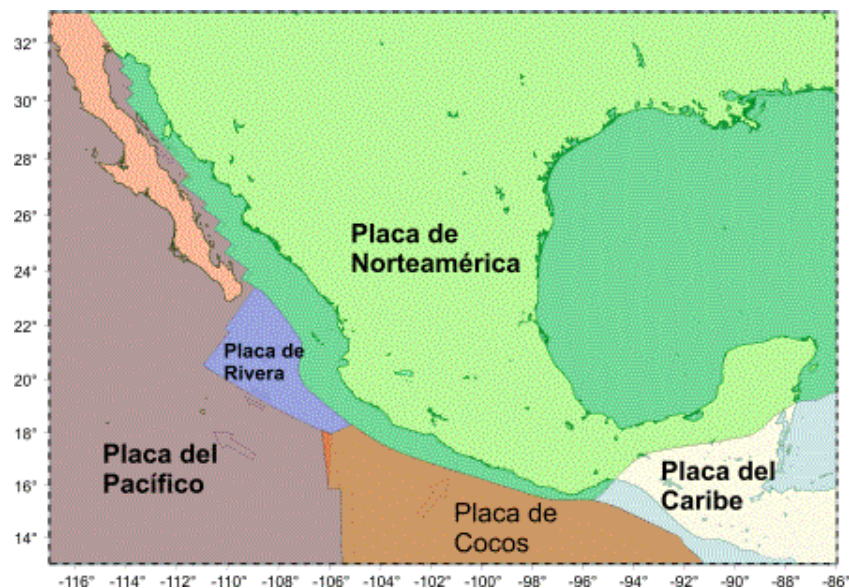


Figura 3.2 Placas tectónicas que interactúan en México [Tomada de <http://www.ssn.unam.mx>]

La interacción entre dichas placas caracteriza a México como una zona de alta sismicidad. Las principales fuentes sísmicas, generadoras de los temblores más importantes ocurridos en el país, son:

- *Zona de subducción*, comprendida entre el Golfo de Tehuantepec y el estado de Jalisco, en la frontera con el Océano Pacífico, donde las placas de Rivera y Cocos penetran por debajo de la placa Norteamericana;

- *Zona de transformación*, localizada en el norte del país, en la península de Baja California, donde existe un movimiento relativo entre las placas del Pacífico y de Norteamérica, cuya traza es visible en la superficie del terreno.

Los sismos que tienen lugar en las zonas de subducción y de transformación son conocidos como sismos *interplaca*. Los sismos *intraplaca* son aquellos que se generan en la parte interna de las placas y, a pesar de que estos sismos son menos frecuentes, pueden ser de elevada magnitud y, por consecuencia, la energía liberada llega a tener valores importantes.

Existen dos tipos principales de sismos intraplaca que tienen lugar en la zona de subducción de la costa del Pacífico mexicano: (1) *de fallamiento inverso*, cuyas profundidades focales oscilan entre 25 y 40 km; y (2) *de fallamiento normal*, a profundidades focales entre 40 y 150 km. De acuerdo al *Catálogo de Sismicidad Intraplaca en México Central en el siglo XX*, reportado en García (2001) y que constituye una versión preliminar de Singh, Pacheco, Mikumo, & Kostoglodov (2001), de un total de 81 sismos de magnitud $M_w \geq 5.4$ registrados hasta 2000, el 73.51% corresponden sismos intraplaca de fallamiento normal, mientras que solo el 7.41% están relacionados con fallamiento inverso.

En la Figura 3.3 se ubican los epicentros de sismos ocurridos entre 1964 y 1995 ($M \geq 4.5$), apreciando una gran concentración de sismos en la costa mexicana del Pacífico (zona de subducción entre las placas de Rivera y Cocos bajo la placa de Norteamérica). Los puntos rojos representan aquellos sismos cuya profundidad focal es menor a 40 km (sismos interplaca de subducción), y los puntos azules profundidades focales mayores a 40 km (sismos intraplaca).

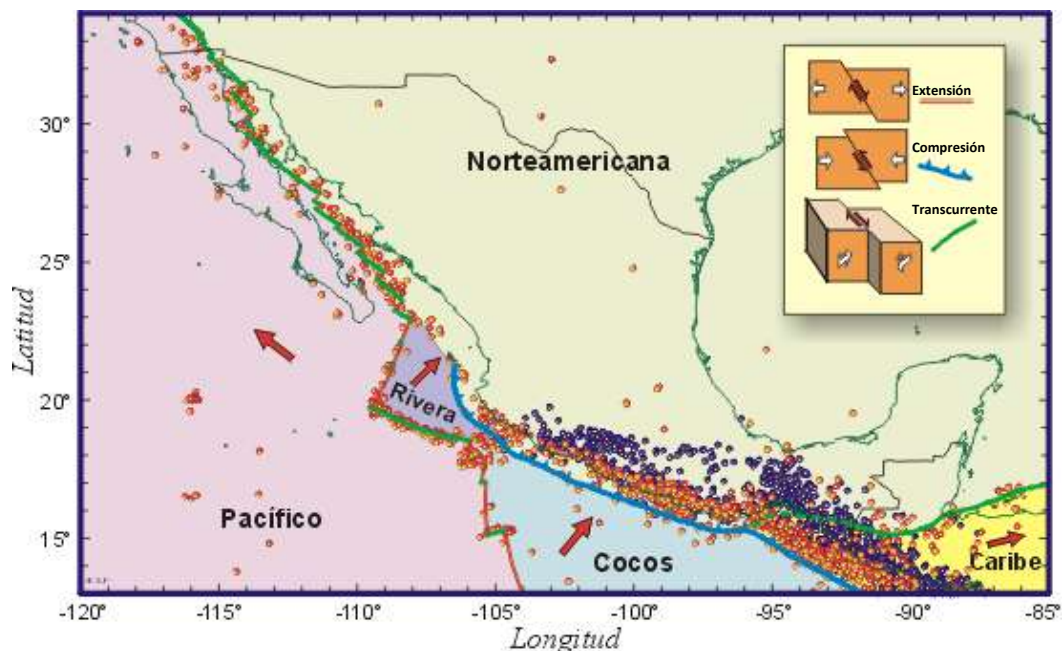


Figura 3.3 Epicentros de sismos ocurridos en México entre 1964 y 1995 [Tomada de Kostoglodov & Pacheco, 1999]

Con base en lo anteriormente expuesto, la presente investigación se centró en la sismicidad de la costa del Pacífico mexicano, enfocándonos en sismos interplaca de subducción y sismo intraplaca de fallamiento normal. En la siguiente sección se detallan las principales características de estas fuentes sísmicas en México.

3.1.1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA SISMICIDAD EN LA ZONA DE SUBDUCCIÓN DE LA COSTA DEL PACÍFICO MEXICANO

Gran parte de la actividad sísmica en México proviene del movimiento de las placas de Cocos y de Rivera al subducir por debajo de la placa de Norteamérica, donde la zona de subducción se extiende 1300 km a lo largo de la costa del Océano Pacífico. Las direcciones de desplazamiento de cada una de estas placas, así como sus velocidades relativas en *cm/año* se muestran en la Figura 3.4. Estas velocidades no son constantes; sus valores han sido determinados tomando en cuenta la movilidad promedio de las placas durante periodos largos [CENAPRED, 2001].

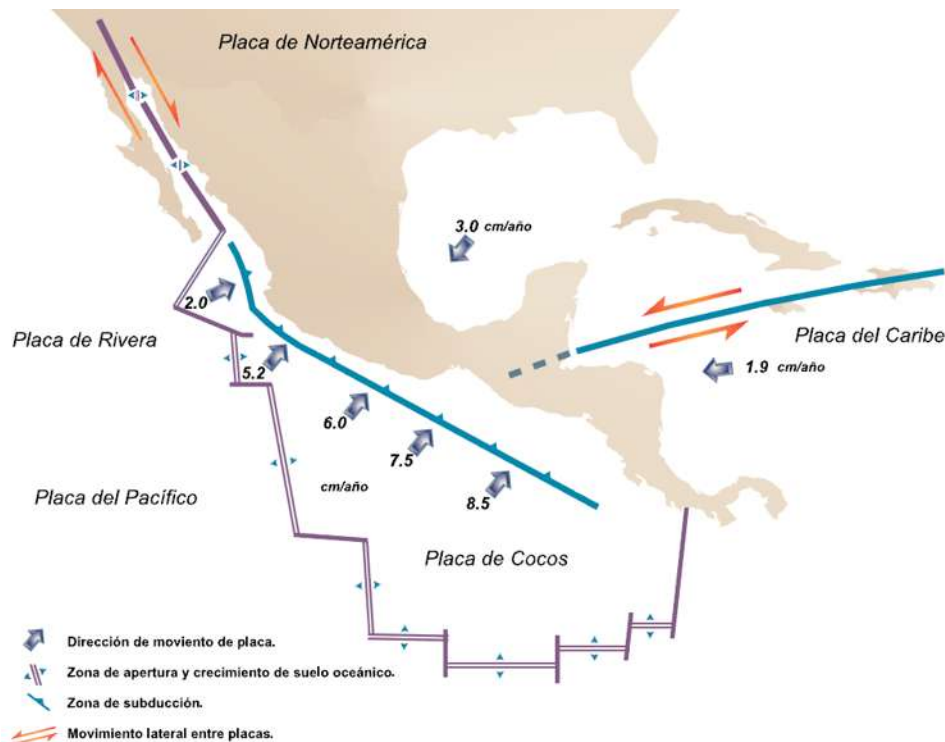


Figura 3.4 Movimientos de placas tectónicas [Tomada de CENAPRED, 2001]

Los grandes sismos de subducción ($M_w > 7.5$), así como los sismos de fallamiento normal ($M_w > 6.5$) han causado históricamente cuantiosos daños en la zona centro-sur de México. En la Figura 3.5 se presentan las áreas de ruptura de los mayores eventos sísmicos de subducción, así como la localización de los sismos de fallamiento normal (explosiones rojas).

Asociados al fenómeno de subducción presente en la costa del Pacífico mexicano se encuentran los eventos sísmicos intraplaca de profundidad intermedia y mecanismo normal de la zona central y oeste de México. Se caracterizan por tener un plano de falla de buzamiento variable, se presentan a profundidades entre 40 y 150 km y azimut paralelo a la fosa oceánica (NW – SE).

Para ubicarnos de forma espacial, la Figura 3.6 muestra los límites y ubicación de las principales fuentes sísmicas de profundidad intermedia idealizada por polígonos [Nishenko & Singh, 1987].

3.2. PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS REGISTROS SÍSMICOS

3.2.1. FUENTES DE INFORMACIÓN

3.2.1.1. Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes

Para la elección de los registros sísmicos se recurrió a la *Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes* (BMDSF) (Figura 3.7), la cual contiene datos sísmicos entre 1960 a 1999. Dicha base proporciona información sobre la instrumentación sísmica de temblores fuertes, estaciones acelerográficas, sismicidad y acelerogramas producidos en México. Algunas estadísticas importantes de la BMDSF son:

- 527 Estaciones acelerográficas,
- 1695 Temblores (Magnitud 1.3 a 8.1),
- Datos descriptivos de 10 914 registros acelerográficos.

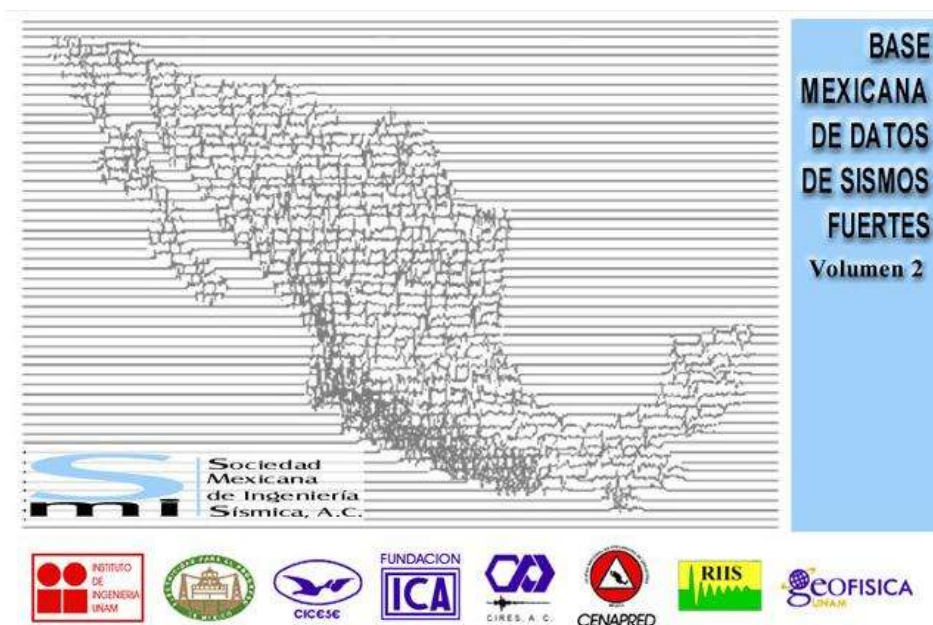


Figura 3.7 Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes (BMDSF)

La BMDSF maneja distintos tipos de magnitud para los eventos sísmicos, siendo estas: magnitud de ondas de cuerpo, M_b ; magnitud de ondas superficiales, M_s ; magnitud de coda, M_c , y M^* ; sin embargo, este tipo de magnitudes son consistentes en un cierto intervalo de magnitud, entre 5 y 6.5 aproximadamente, y se saturan para valores mayores, aun cuando la energía liberada por el sismo siga creciendo [Jara & Jara, 2007].

A fin de reducir las limitaciones de las escalas anteriores, Kanamori (1977) introdujo la escala de momento sísmico, M_w , la cual reúne las siguientes características: resulta calculable para eventos de todos los tamaños, es la única que tiene en cuenta parámetros físicos de la falla, no se satura, constituye una buena medida de la energía total radiada por el sismo, entre otras. Con el fin de uniformizar los datos sísmicos para su posterior manejo, en esta investigación utilizamos la escala de magnitud de momento sísmico.

3.2.1.2. COSMOS Virtual Data Center

El Centro Virtual de Datos COSMOS (*Consortium of Organizations for Strong Motion Observation System Virtual Data Center*) es un portal web que contiene datos sísmicos de Estados Unidos de América, así como de 14 países miembros del programa [Archuleta, Steidl, & Squibb, 2006]. México, a través del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II UNAM), es miembro de COSMOS y es posible obtener registros de sismos fuertes desde 1934 hasta 2006, provenientes de las estaciones acelerográficas a cargo del II UNAM.

Mediante COSMOS se obtuvieron registros sísmicos de 2000 a 2004, resultando de importancia para esta investigación los siguientes eventos: México Central, 07/21/2000, $M_w = 5.8$; Michoacán, 08/09/2000, $M_w = 6.5$; Costa de Jalisco, 01/22/2003, $M_w = 7.5$.

3.2.2. SELECCIÓN DE LOS EVENTOS SÍSMICOS

Como fue discutido en la sección 3.1, las fuentes más importantes para determinar la demanda sísmica para los puentes en estudio corresponden a la zona de subducción en el Pacífico y a los eventos generados dentro de la placa subducida, conocidos como sismos de fallamiento normal. Los criterios de selección de los eventos sísmicos se discuten a continuación:

- *Ubicación:* Se eligieron aquellos sismos cuyos epicentros se localicen en la costa del Pacífico mexicano, y dentro de los polígonos delimitados por Nishenko & Singh (1987) para la fuente intraplaca de fallamiento normal.
- *Profundidad:* Tomando como criterio la profundidad, se diferenciaron los sismos de subducción y sismos de fallamiento normal. Este filtro fue corroborado con la ubicación del epicentro, así

como con bases de datos de sismos utilizados para otras investigaciones [p. e. García, 2006; Iglesias, Singh, Santoyo, Pacheco, & Ordaz, 2007; CMT, 2012].

- *Magnitud*: Fueron seleccionados aquellos eventos sísmicos cuya magnitud fuera mayor a 5.5. Para ellos se obtuvo la magnitud de momento sísmico, M_w , a través de *Global Centroid Moment Tensor Catalog*, cuya base de datos contiene información de sismos a nivel mundial posteriores a 1976 [CMT, 2012]. Finalmente se analizaron sismos con magnitud $M_w \geq 5.8$.

3.2.3. SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES Y DE LOS ACELEROGRAMAS

De los eventos seleccionados a partir de los lineamientos de la sección anterior, se eligieron aquellos registros sísmicos provenientes de estaciones acelerográficas situadas en terreno duro (roca) y con aceleraciones máximas $PGA \geq 15 \text{ gales}$. Sin embargo, algunas estaciones en roca fueron omitidas debido a los efectos de sitio que presentan.

Se descartaron las estaciones ubicadas dentro del *Cinturón Volcánico Mexicano* (CMV), entre ellas: CU01, CUMV, CUIP, CUER, CSER, RIPC y SXCU. De acuerdo a trabajos previos, existen efectos de amplificación dentro del CMV [Ordaz & Singh, 1992, Shapiro et al., 1997; Furumura & Singh, 2002; Iida & Kawase, 2004; citados por Clemente, 2010]; según García (2001), el efecto de sitio en esta zona se debe a las condiciones regionales y locales.

A pesar de que la BMDSF ubique en roca caliza a la estación RICA y en roca a la estación CHI1, ambas estaciones y sus correspondientes acelerogramas fueron descartados de la presente investigación por los efectos de sitio que presentan. Dichas estaciones se encuentran localizadas en el Valle de Chilpancingo donde, de acuerdo a Gama, Gómez, & Aguirre (2010), la estratigrafía del lugar influye en la amplificación del movimiento del suelo.

Como ejemplo de lo anterior, se presentan los espectros de respuesta correspondientes al sismo del 19 de septiembre de 1985, registrados por las estaciones CHI1 (Chilpancingo) y SCT (Ciudad de México), siendo esta última estación una de las más representativas de amplificación dinámica a nivel mundial (Figura 3.8). La estación CHI1 registró aceleraciones muy elevadas para este evento, pese a una distancia epicentral de más de 300 km.

La ubicación de las estaciones descartadas, así como el Cinturón Volcánico Mexicano, son mostradas en la Figura 3.9. Adicionalmente, aquellos acelerogramas que se encontraron mal registrados o incompletos fueron eliminados.

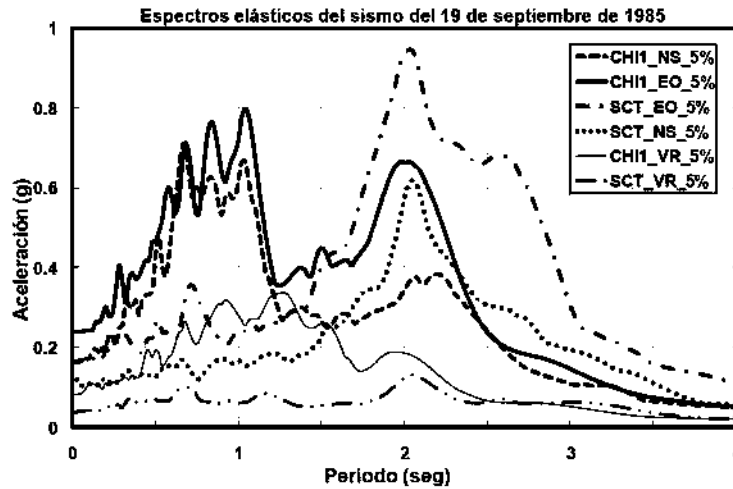


Figura 3.8 Espectros de respuesta elástica (amortiguamiento del 5%) del sismo del 09/19/1985 observados en CHI1 (Chilpancingo) y SCT (Ciudad de México) [Tomada de Gama et al., 2010]

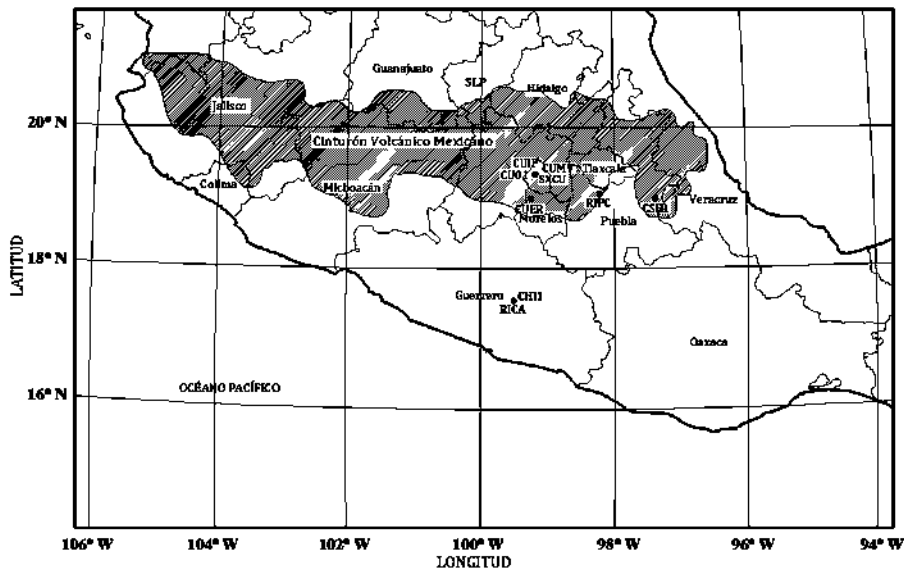


Figura 3.9 Estaciones eliminadas y Cinturón Volcánico Mexicano

3.3. BASE DE DATOS DE REGISTROS SÍSMICOS

Una vez realizada la selección de los eventos sísmicos y sus correspondientes registros, en esta sección se presenta un resumen de la base de datos creada para esta investigación. Las Tablas 3.1 y 3.2 contienen los datos principales de los sismos de subducción y de fallamiento normal, respectivamente. En la Tabla 3.3 se resumen los eventos sísmicos seleccionados a través del Centro Virtual de Datos COSMOS.

Tabla 3.1 Eventos sísmicos interplaca de subducción

Fecha	Hora	Clave del sismo	Coordenadas del epicentro		Prof. (km)	Magnitud				Corrección
			Lat. N	Long. W		Mb	Ms	Mc	Mw	
09/19/1985	13:17:42.6	850016	18.081	102.942	15.0	6.8	8.1	8.1	8.0	---
09/21/1985	01:37:18.4	850018	17.620	101.820	22.0	6.3	7.6	7.5	7.5	1
03/14/1979	11:07:14.6	790006	17.490	101.260	28.0	7.0	----	----	7.4	---
09/14/1995	14:04:30.5	950001	16.310	98.880	22.0	6.4	7.2	7.3	7.3	---
04/30/1986	07:07:18.9	860021	18.024	103.057	20.0	6.2	7.0	6.4	6.9	---
04/25/1989	14:29:00.4	890024	16.603	99.400	19.0	6.3	6.9	6.5	6.9	---
10/24/1993	07:52:18.2	930009	16.540	98.980	19.0	6.2	6.6	6.5	6.6	---
07/15/1996	21:23:38.5	960093	17.450	101.160	20.0	5.7	6.5	6.0	6.6	---
05/15/1993	03:11:56.0	930005	16.470	98.720	15.0	5.9	5.9	6.0	6.0	---
10/29/1985	15:02:26.1	850032	17.583	102.636	20.3	5.6	5.4	5.1	5.9	---
02/08/1988	13:51:29.9	880004	17.494	101.157	19.2	5.5	5.7	5.0	5.8	---
05/31/1990	07:35:26.9	900024	17.106	100.893	15.8	5.8	5.9	5.5	5.8	---

Formato de fecha: mm/aa/dd

1 Coordenadas del epicentro y profundidad corregidas [Iglesias et al., 2007]

Tabla 3.2 Eventos sísmicos intraplaca de fallamiento normal

Fecha	Hora	Clave del sismo	Coordenadas del epicentro		Prof. (km)	Magnitud				Corrección
			Lat. N	Long. W		Mb	Ms	Mc	Mw	
09/30/1999	16:31:14.8	990005	16.030	96.960	40.0	6.5	7.5	5.2	7.4	1
01/11/1997	20:28:27.2	970009	18.340	102.580	40.0	6.5	6.9	----	7.1	2
06/15/1999	20:42:07.1	990004	18.180	97.510	69.0	6.4	6.5	----	6.9	---
05/22/1997	07:50:55.7	970079	18.410	101.810	59.0	5.9	6.0	----	6.5	---
12/10/1994	16:17:40.9	940007	18.020	101.560	50.0	----	----	6.3	6.4	3
06/21/1999	17:43:05.5	990008	18.150	101.700	53.0	6.0	5.8	5.8	6.3	2
05/23/1994	01:41:46.0	940004	18.030	100.570	50.0	----	----	5.6	6.2	3
04/20/1998	22:59:17.6	980011	18.370	101.210	66.0	5.9	----	5.0	5.9	---
12/29/1999	05:19:46.0	990009	18.020	101.680	50.0	6.1	5.4	5.1	5.9	4

Formato de fecha: mm/aa/dd

1 Coordenadas del epicentro y profundidad corregidas [Iglesias et al., 2007]. Este sismo no está incluido dentro de los polígonos de Nishenko et al. (1987), a pesar de ello de incluyó en esta investigación por su importante magnitud, y la corroboración del tipo de sismo y ubicación.

2 Coordenadas del epicentro y profundidad corregidas [García, 2006; Iglesias et al., 2007]

3 Profundidad corregida [García, 2006; Iglesias et al., 2007]

4 Profundidad corregida [García, 2006]

Tabla 3.3 Eventos sísmicos del Centro Virtual de Datos COSMOS

Tipo de Sismo	Fecha	Hora	Coordenadas del epicentro		Prof. (km)	Magnitud M_w	Corrección
			Lat. N	Long. W			
Fallamiento Normal	07/21/2000	06:13:40	18.090	98.970	47.0	5.8	---
	08/09/2000	11:41:46	18.070	102.560	32.0	6.5	1
Subducción	01/22/2003	02:06:31	18.860	103.900	26.0	7.5	1

1 Coordenadas del epicentro y profundidad corregidas [Iglesias et al., 2007]

La ubicación de los epicentros de los sismos y estaciones acelerográficas se presentan en la Figura 3.10; fueron omitidas las ubicaciones de las estaciones descartadas de acuerdo a la sección 3.2.3.

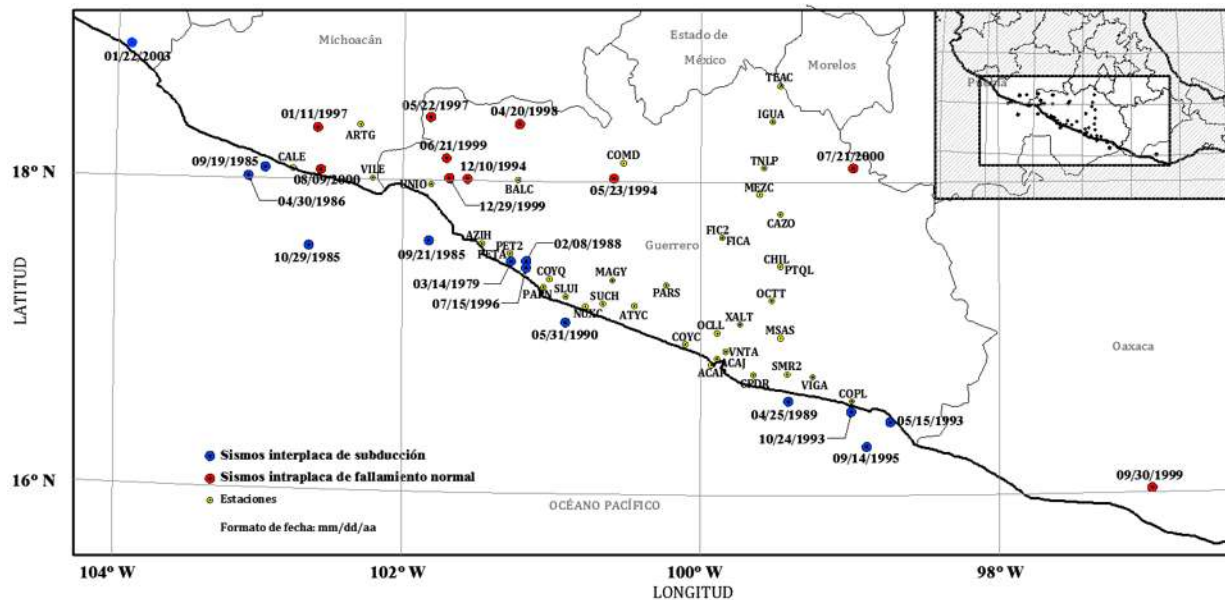


Figura 3.10 Ubicación de los eventos sísmicos y estaciones acelerográficas

En las Tablas 3.4 y 3.5 se enlistan los registros sísmicos que fueron utilizados en los análisis de los puentes, y en la Figura 3.11 son plasmadas la magnitud versus la distancia epicentral de dichos registros.

Tabla 3.4 Registros sísmicos interplaca de subducción

Fecha	Clave del sismo	M_w	Nombre del archivo	Nombre de la estación	Clave de la estación	Coordenadas de la estación		A_{max} (cm/s ²)	Distancia epicentral (km)
						Lat. N	Long. W		
09/19/1985	850016	8.0	UNIO8509.191	LA UNION	UNIO	17.982	101.805	165.29	120.76
			PAPN8509.191	PAPANOA	PAPN	17.328	101.040	154.95	218.24
			AZIH8509.191	AEROPUERTO ZIHUATANEJO	AZIH	17.603	101.455	153.93	166.17
			VILE8509.191	VILLITA MARGEN DERECHA	VILE	18.016	102.205	125.17	78.27
			PARS8509.191	EL PARAISO	PARS	17.344	100.214	109.82	300.44
			SUCH8509.191	EL SUCHIL	SUCH	17.226	100.642	103.12	261.66
			FICA8509.191	FILO DE CABALLO	FICA	17.652	99.842	69.18	331.62
			ATYC8509.191	ATOYAC	ATYC	17.211	100.431	59.96	283.19
			OCTT8509.191	EL OCOOTITO	OCTT	17.250	99.511	53.22	375.18
			COYC8509.191	COYUCA	COYC	16.968	100.084	42.04	327.43
			ACAP8509.191	ACAPULCO PELLANDINI	ACAP	16.836	99.914	27.72	349.84
			VNTA8509.191	LA VENTA	VNTA	16.923	99.816	20.08	355.72

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Capítulo 3. Caracterización de la demanda sísmica

Tabla 3.4 _ Continuación

Fecha	Clave del sismo	M _w	Nombre del archivo	Nombre de la estación	Clave de la estación	Coordenadas de la estación		A _{max} (cm/s ²)	Distancia epicentral (km)
						Lat. N.	Long. W		
09/21/1985	850018	7.5	PARS8509.211	EL PARAISO	PARS	17.344	100.214	625.78	173.12
			PAPN8509.211	PAPANOA	PAPN	17.328	101.040	242.69	88.90
			SUCH8509.211	EL SUCHIL	SUCH	17.226	100.642	85.98	132.47
			ATYC8509.211	ATOYAC	ATYC	17.211	100.431	79.66	154.27
			FICA8509.211	FILO DE CABALLO	FICA	17.652	99.842	56.90	209.69
			COYC8509.211	COYUCA	COYC	16.968	100.084	47.92	198.11
			VILE8509.211	VILLITA MARGEN DERECHA	VILE	18.016	102.205	41.10	60.02
			TEAC8509.211	TEACALCO	TEAC	18.618	99.453	30.74	273.73
			ACAP8509.211	ACAPULCO PELLANDINI	ACAP	16.836	99.914	26.37	220.46
			VNTA8509.211	LA VENTA	VNTA	16.923	99.816	18.50	226.52
XALT8509.211	XALTIANGUIS	XALT	17.095	99.720	17.19	230.46			
01/22/2003	----	7.5	CALE0301.221	CALETA DE CAMPOS	CALE	18.073	102.755	28.08	149.18
03/14/1979	790006	7.4	ACAP7903.141	ACAPULCO PELLANDINI	ACAP	16.836	99.914	34.31	160.48
09/14/1995	950001	7.3	VIGA9509.141	LAS VIGAS	VIGA	16.757	99.236	100.35	62.55
			OCTT9509.141	EL OCOTITO	OCTT	17.250	99.511	59.34	124.28
			CHIL9509.141	ESTACION No.2, CHILPANCINGO, Sup.	CHIL	17.466	99.452	26.31	142.26
			OCTT9509.142	EL OCOTITO	OCTT	17.250	99.511	17.23	124.28
			MEZC9509.141	ESTACION No.3, MEZCALA, superficie	MEZC	17.930	99.591	15.32	195.41
04/30/1986	860021	6.9	ARTG8604.301	ARTEAGA	ARTG	18.356	102.293	27.06	88.77
04/25/1989	890024	6.9	OCTT8904.251	EL OCOTITO	OCTT	17.250	99.511	201.16	72.93
			PARS8904.251	EL PARAISO	PARS	17.344	100.214	117.11	119.55
			ACAP8904.251	ACAPULCO PELLANDINI	ACAP	16.836	99.914	104.39	60.58
			COYC8904.251	COYUCA	COYC	16.968	100.084	85.08	83.39
			VNTA8904.251	LA VENTA	VNTA	16.923	99.816	62.03	56.83
			XALT8904.251	XALTIANGUIS	XALT	17.095	99.720	55.03	64.46
			OCLL8904.251	OCOTILLO	OCLL	17.038	99.875	30.93	69.99
			ATYC8904.251	ATOYAC	ATYC	17.211	100.431	19.18	128.88
			FIC28904.251	FILO DE CABALLO	FIC2	17.652	99.842	15.23	125.78
			MSAS9310.241	LAS MESAS	MSAS	17.007	99.456	119.05	72.58
10/24/1993	930009	6.6	OCTT9310.241	EL OCOTITO	OCTT	17.250	99.511	65.08	97.11
			SMR29310.241	SAN MARCOS	SMR2	16.776	99.408	62.21	52.62
			CPDR9310.241	CERRO DE PIEDRA	CPDR	16.769	99.633	60.29	74.10
			ACAJ9310.241	ESTACION No.1, ACAPULCO, superficie	ACAJ	16.873	99.877	28.56	102.48
			PTQL9310.241	PETAQUILLAS	PTQL	17.466	99.453	22.01	114.63
			COYC9310.241	COYUCA	COYC	16.968	100.084	21.05	126.85
			CHIL9310.241	ESTACION No.2, CHILPANCINGO, Sup.	CHIL	17.466	99.452	20.78	114.58
			OCLL9310.241	OCOTILLO	OCLL	17.038	99.875	18.18	110.23
			VNTA9310.241	LA VENTA	VNTA	16.923	99.816	17.09	98.71
			NUXC9607.151	NUXCO	NUXC	17.207	100.758	49.58	50.52
07/15/1996	960093	6.6	ATYC9607.151	ATOYAC	ATYC	17.211	100.431	26.88	81.84
			COMD9607.151	LA COMUNIDAD	COMD	18.124	100.507	22.24	101.99
			UNIO9607.151	LA UNION	UNIO	17.982	101.805	18.35	90.40
			OCTT9607.151	EL OCOTITO	OCTT	17.250	99.511	18.05	176.47
			VIGA9305.152	LAS VIGAS	VIGA	16.757	99.236	67.31	63.59
05/15/1993	930005	6.0	MSAS9305.152	LAS MESAS	MSAS	17.007	99.456	56.01	98.55
			OCTT9305.152	EL OCOTITO	OCTT	17.250	99.511	26.80	120.90
			SMR29305.152	SAN MARCOS	SMR2	16.776	99.408	25.06	80.84
10/29/1985	850032	5.9	CALE8510.291	CALETA DE CAMPOS	CALE	18.073	102.755	34.63	55.94
02/08/1988	880004	5.8	PARS8802.081	EL PARAISO	PARS	17.344	100.214	246.91	101.46
			MAGY8802.081	LOS MAGUEYES	MAGY	17.377	100.577	102.09	62.91
			ATYC8802.081	ATOYAC	ATYC	17.211	100.431	61.02	83.25
			BALC8802.081	EL BALCON	BALC	18.011	101.216	38.28	57.84
			SUCH8802.081	EL SUCHIL	SUCH	17.226	100.642	35.92	62.27
			COYC8802.081	COYUCA	COYC	16.968	100.084	26.65	128.13
			COMD8802.081	LA COMUNIDAD	COMD	18.124	100.507	19.36	98.22
05/31/1990	900024	5.8	ATYC9005.311	ATOYAC	ATYC	17.211	100.431	25.82	50.47
			COMD9005.311	LA COMUNIDAD	COMD	18.124	100.507	21.95	120.40
			BALC9005.311	EL BALCON	BALC	18.011	101.216	19.14	106.33
			CAZO9005.312	CAÑON DEL ZOPILOTE	CAZO	17.801	99.453	15.79	171.23

Tabla 3.5 Registros sísmicos intraplaca de fallamiento normal

Fecha	Clave del sismo	M _w	Nombre del archivo	Nombre de la estación	Clave de la estación	Coordenadas de la estación		A _{max} (cm/s ²)	Distancia epicentral (km)
						Lat. N.	Long. W		
09/30/1999	990005	7.4	VIGA9909.301	LAS VIGAS	VIGA	16.757	99.236	68.28	255.96
			COPL9909.301	COPALA	COPL	16.605	98.974	30.14	224.30
			COYQ9909.301	COYUQUILLA	COYQ	17.380	101.000	22.55	455.81
			CHIL9909.301	ESTACION No.2, CHILPANCINGO, Sup.	CHIL	17.466	99.452	16.80	309.76
			COYC9909.301	COYUCA	COYC	16.968	100.084	15.26	349.11
01/11/1997	970009	7.1	VILE9701.111	VILLITA MARGEN DERECHA	VILE	18.016	102.205	103.36	53.56
			UNIO9701.111	LA UNION	UNIO	17.982	101.805	77.81	91.07
			PETA9701.111	PETATLAN	PETA	17.542	101.271	59.58	164.51
			PAPN9701.111	PAPANOA	PAPN	17.328	101.040	53.35	198.13
06/15/1999	990004	6.9	TNLP9906.151	TONALAPA DEL SUR	TNLP	18.098	99.559	36.46	216.77
			TEAC9906.151	TEACALCO	TEAC	18.618	99.453	35.11	210.77
			MEZC9906.151	ESTACION No.3, MEZCALA, superficie	MEZC	17.930	99.591	31.90	221.81
			CHIL9906.151	ESTACION No.2, CHILPANCINGO, Sup.	CHIL	17.466	99.452	23.16	220.43
			IGUA9906.151	ESTACION No.4, IGUALA, superficie	IGUA	18.391	99.504	19.01	211.87
			VIGA9906.151	LAS VIGAS	VIGA	16.757	99.236	18.50	242.04
			COMD9906.151	LA COMUNIDAD	COMD	18.124	100.507	16.72	316.81
05/22/1997	970079	6.5	PAPN9705.221	PAPANOA	PAPN	17.328	101.040	41.75	145.35
			VILE9705.221	VILLITA MARGEN DERECHA	VILE	18.016	102.205	34.51	60.52
08/09/2000	----	6.5	UNIO0008.091	LA UNION	UNIO	17.982	101.805	36.07	95.87
			COYQ0008.091	COYUQUILLA	COYQ	17.380	101.000	15.89	191.64
12/10/1994	940007	6.4	PETA9412.101	PETATLAN	PETA	17.542	101.271	204.80	61.35
			PAPN9412.101	PAPANOA	PAPN	17.328	101.040	76.56	94.66
			COMD9412.101	LA COMUNIDAD	COMD	18.124	100.507	60.18	111.94
			SLUI9412.101	SAN LUIS DE LA LOMA	SLUI	17.272	100.891	23.98	109.32
			VILE9412.101	VILLITA MARGEN DERECHA	VILE	18.016	102.205	23.53	68.22
			NUXC9412.101	NUXCO	NUXC	17.207	100.758	22.29	124.12
			ATYC9412.101	ATOYAC	ATYC	17.211	100.431	18.49	149.74
06/21/1999	990008	6.3	COYQ9906.211	COYUQUILLA	COYQ	17.380	101.000	77.78	113.28
			PET29906.211	PETATLAN II	PET2	17.540	101.300	57.32	79.98
			AZIH9906.211	AEROPUERTO ZIHUATANEJO	AZIH	17.603	101.455	37.61	66.14
			COMD9906.211	LA COMUNIDAD	COMD	18.124	100.507	33.55	126.13
			VILE9906.211	VILLITA MARGEN DERECHA	VILE	18.016	102.205	30.34	55.44
05/23/1994	940004	6.2	PETA9405.231	PETATLAN	PETA	17.542	101.271	64.15	91.97
			ATYC9405.232	ATOYAC	ATYC	17.211	100.431	40.99	92.28
			BALC9405.231	EL BALCON	BALC	18.011	101.216	40.53	68.36
			PAPN9405.231	PAPANOA	PAPN	17.328	101.040	37.35	92.61
			CAZO9405.231	CAYON DEL ZOPILOTE	CAZO	17.801	99.453	36.85	120.93
			TNLP9405.231	TONALAPA DEL SUR	TNLP	18.098	99.559	35.31	107.17
			FIC29405.231	FILO DE CABALLO	FIC2	17.652	99.842	27.82	87.80
			OCTT9405.231	EL OCOTITO	OCTT	17.250	99.511	25.84	141.87
			NUXC9405.231	NUXCO	NUXC	17.207	100.758	24.05	93.68
			MEZC9405.231	ESTACION No.3, MEZCALA, superficie	MEZC	17.930	99.591	18.59	104.17
			SUCH9405.231	EL SUCHIL	SUCH	17.226	100.642	17.23	89.75
			ATYC9405.231	ATOYAC	ATYC	17.211	100.431	15.86	92.28
			COYC9405.231	COYUCA	COYC	16.968	100.084	15.31	128.88
04/20/1998	980011	5.9	COYQ9804.201	COYUQUILLA	COYQ	17.380	101.000	42.04	112.34
			UNIO9804.201	LA UNION	UNIO	17.982	101.805	21.20	76.26
			PET29804.201	PETATLAN II	PET2	17.540	101.300	20.52	92.81
12/29/1999	990009	5.9	COYQ9912.291	COYUQUILLA	COYQ	17.380	101.000	50.76	101.29
			PET29912.291	PETATLAN II	PET2	17.540	101.260	44.37	69.49
			AZIH9912.291	AEROPUERTO ZIHUATANEJO	AZIH	17.603	101.455	21.54	52.14
07/21/2000	----	5.8	TNLP0007.211	TONALAPA DEL SUR	TNLP	18.098	99.559	73.55	62.28
			TEAC0007.211	TEACALCO	TEAC	18.618	99.453	23.5	77.77

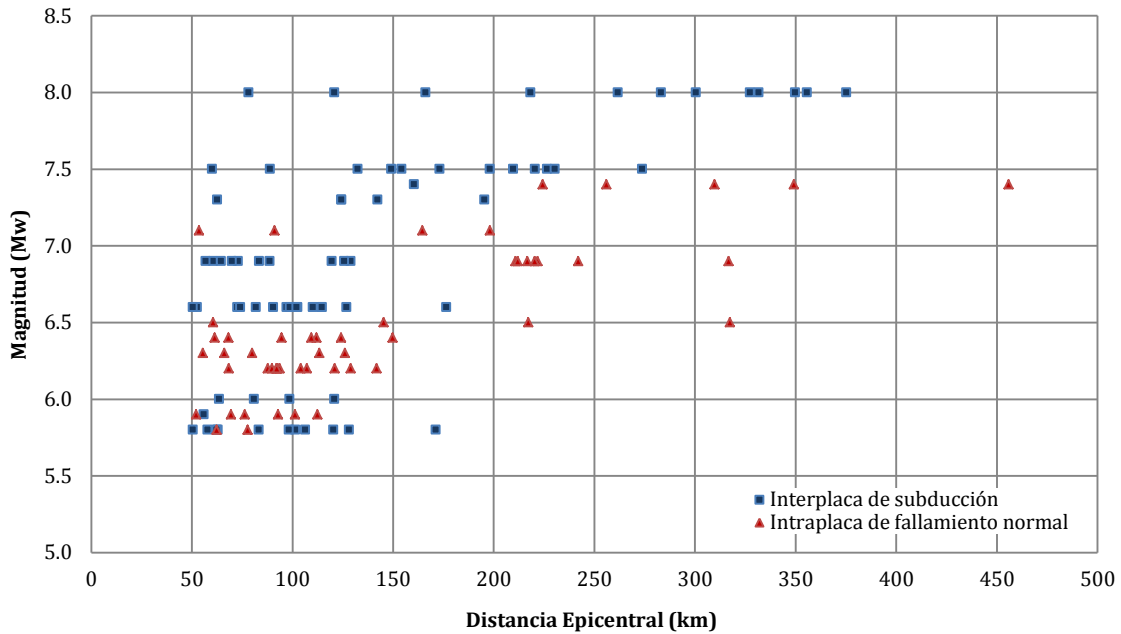


Figura 3.11 Magnitud & Distancia epicentral del banco de registros sísmicos

Se utilizó el programa DEGTRA A4 versión 9.1 [Ordaz & Montoya, 2002] para calcular los espectros de respuesta de pseudoaceleración para un porcentaje de amortiguamiento crítico $\xi = 5\%$ (Figura 3.12 y Figura 3.13).

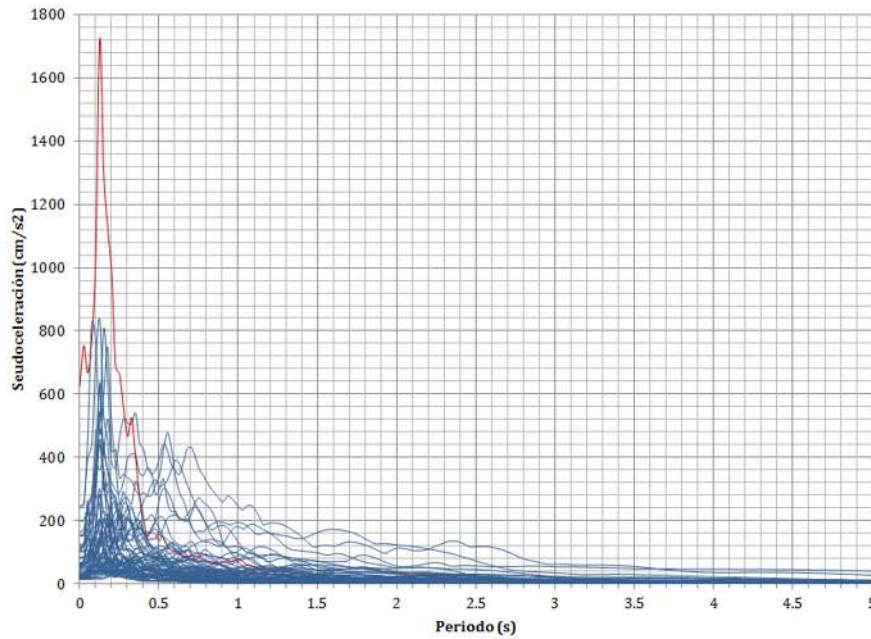


Figura 3.12 Espectros de respuesta de pseudoaceleración para un porcentaje de amortiguamiento crítico $\xi = 5\%$ (sismos de subducción)

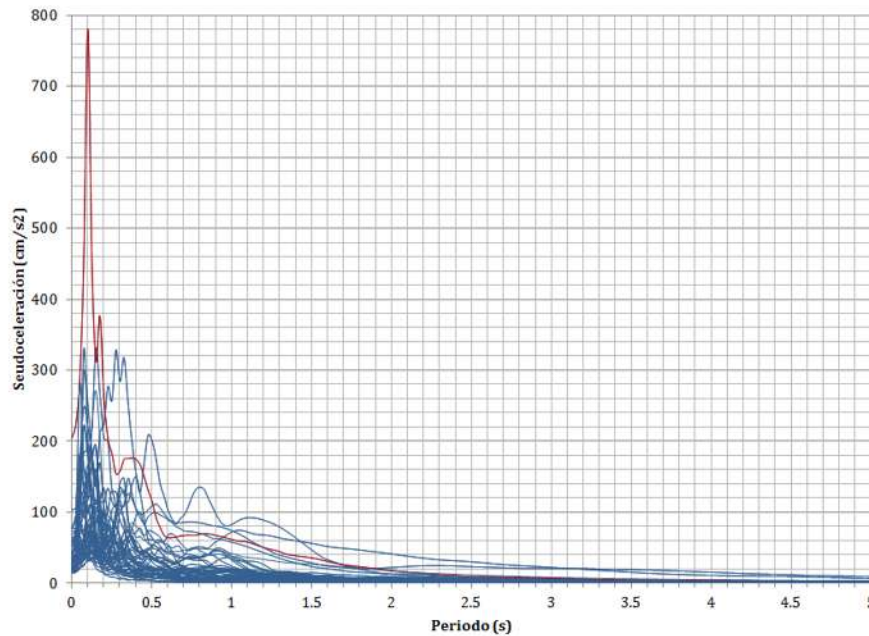


Figura 3.13 Espectros de respuesta de seudoceleración para un porcentaje de amortiguamiento crítico $\xi = 5\%$ (sismos de fallamiento normal)

En la Figura 3.12 se distingue en color rojo el espectro de respuesta que posee la mayor seudoceleración (1721.66 cm/s^2) del conjunto de espectros para eventos sísmicos de subducción. Dicho espectro corresponde al acelerograma registrado por la estación El Paraíso (PARS) para el evento del 21 de septiembre de 1985. En la Figura 3.14 se muestran los acelerogramas registrados por dicha estación para los eventos de 19 y 21 de septiembre de 1985, mientras que en la Figura 3.15 se aprecian sus respectivos espectros de respuesta elásticos.

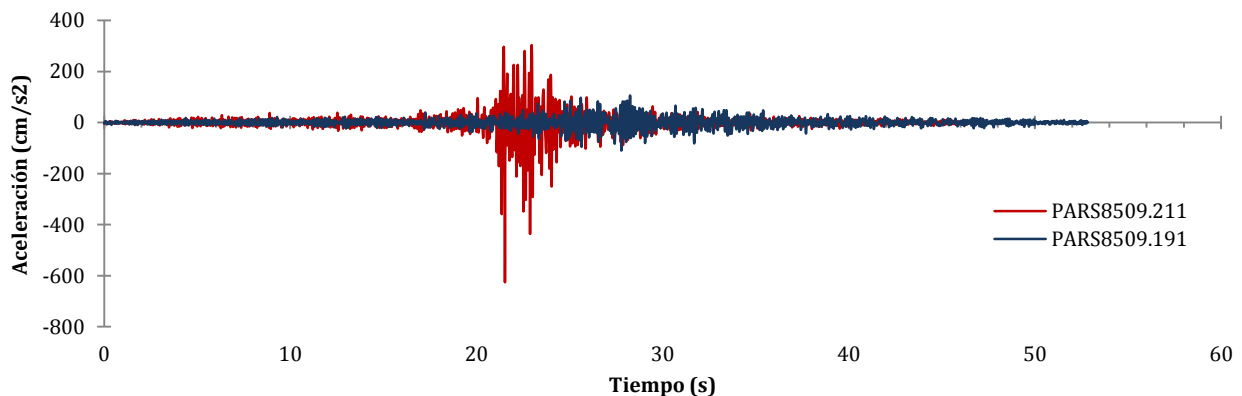


Figura 3.14 Acelerogramas registrados por la estación El Paraíso para los eventos sísmicos del 19 y 21 de septiembre de 1985

En Quaas et al. (1986) se presentan los registros sísmicos de la estación El Paraíso para los eventos mencionados, reportándose la correcta operación del acelerógrafo y reconociendo la calidad, amplitud y

precisión del tiempo de registro. A sabiendas de que dicha estación no tiene problemas de amplificación, sus registros no fueron descartados.

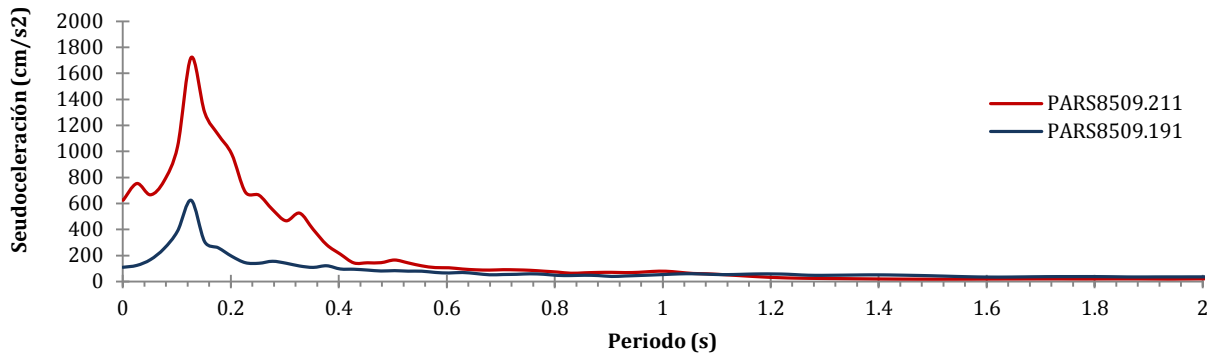


Figura 3.15 Espectros de respuesta elástica. Eventos sísmicos de 19 y 21 de septiembre de 1985 (estación El Paraíso)

El espectro de respuesta elástica que presenta el mayor valor de pseudoaceleración (780.78 cm/s^2) para eventos sísmicos de fallamiento normal corresponde al acelerograma registrado por la estación Petatlan (PETA) para el evento del 10 de diciembre de 1994 de magnitud $M_w = 6.4$, cuyo registro sísmico se presenta en la Figura 3.16.

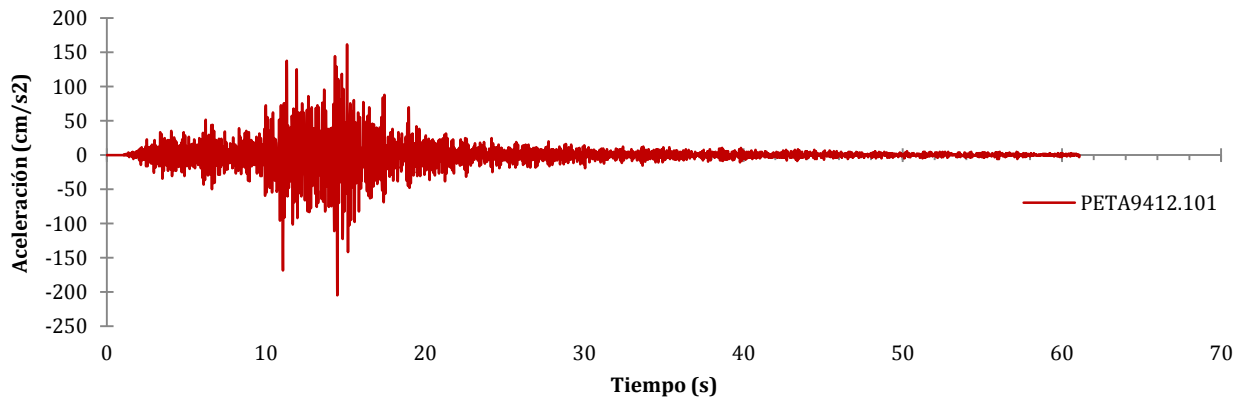


Figura 3.16 Acelerogramas registrados por la estación Petatlan para el evento sísmico del 10 de diciembre de 1994

3.4. MODIFICACIÓN DE LOS REGISTROS SÍSMICOS

Para realizar análisis no lineales en la historia del tiempo es necesario seleccionar y modificar apropiadamente un conjunto de registros sísmicos para hacerlos compatibles con el nivel de peligro específico del sitio considerado. Anteriormente fueron analizadas las distintas fuentes sísmicas que afectan a

los puentes en estudio, y se realizó la selección de los registros sísmicos con base en la magnitud del evento sísmico y la distancia epicentral. En esta sección se discuten distintos métodos de modificación de registros sísmicos a fin de elegir el adecuado para este estudio.

Uno de los objetivos principales de los métodos de modificación de los registros sísmicos es reducir la dispersión en las demandas sísmicas estimadas; además de ello, es importante preservar las características sísmológicas básicas de los registros después de ser modificados.

Es posible clasificar los métodos de modificación de los registros sísmicos en dos grandes categorías: *escalamiento de amplitud* (amplitude scaling) y *coincidencia espectral* (spectral matching) (Figura 3.17 y Figura 3.18, respectivamente). Cabe resaltar que algunos de los métodos llevan implícita la selección de los registros sísmicos; sin embargo, debido a la limitada base de datos con que se cuenta, solo nos enfocaremos a la modificación y no a la selección.

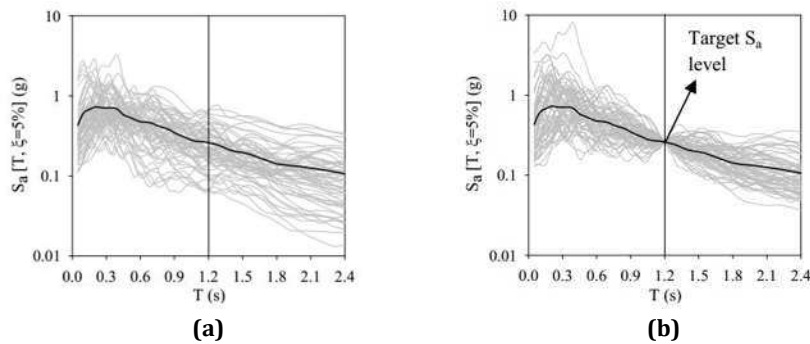


Figura 3.17 Método de escalamiento de amplitud. Espectros de respuesta (a) originales, (b) modificados [Tomado de Ay & Akkar, 2010]

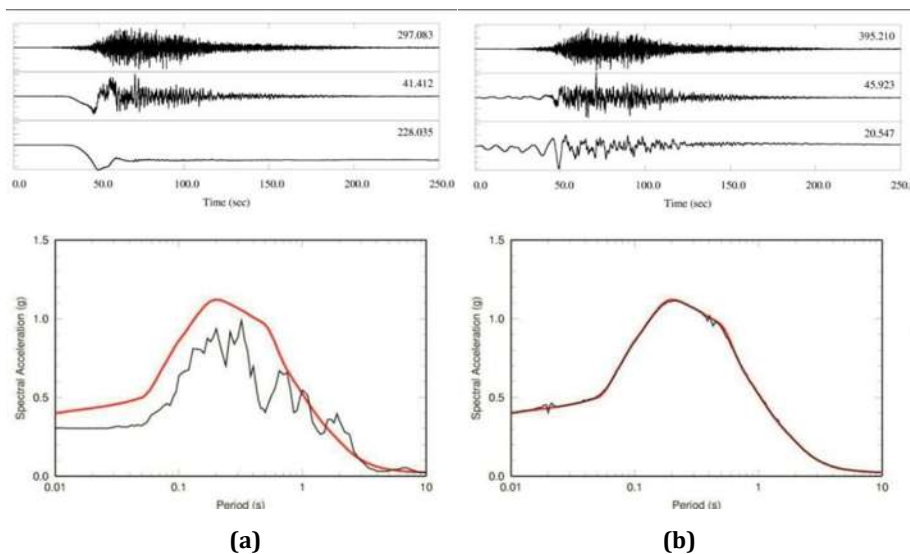


Figura 3.18 Método de coincidencia espectral. Registro sísmico y espectro de respuesta (a) original, (b) modificado [Tomado de Somerville, 2010]

Los métodos basados en el escalamiento de amplitud tienen como objetivo la coincidencia de un solo valor espectral para un periodo del espectro objetivo; es decir, se determina un factor de escala con el cual se afectará al registro sísmico original, tal que la ordenada espectral para un periodo determinado coincida con una ordenada espectral objetivo, asociada al mismo periodo. Para determinar el factor de escala apropiado, pueden ser utilizadas una o más medidas de intensidad sísmica (MIs).

Por otro lado, los métodos basados en la coincidencia espectral modifican los acelerogramas con el fin de que su espectro de respuesta coincida con el espectro de respuesta objetivo, en un intervalo específico de periodos. Estos últimos métodos pueden alterar las características físicas de los acelerogramas, al modificar el contenido de frecuencia del registro, mientras que los métodos de escalamiento preservan el contenido no estacionario original del movimiento sísmico y solo modifican su amplitud [Heo, Kunnath, & Abrahamson, 2011; O'Donnell, Beltsar, Kurama, Kalkan, & Taflanidis, 2011].

3.4.1. MÉTODOS DE ESCALAMIENTO DE AMPLITUD

Estos métodos determinan un factor de escala con el cual será afectado el registro sísmico original, basados en una o más medidas de intensidad. Se busca que la ordenada espectral para un periodo determinado del espectro de respuesta del registro escalado coincida con la ordenada espectral para el mismo periodo, correspondiente al espectro objetivo.

Se ha demostrado que el escalamiento de los registros sísmicos para que coincidan con una aceleración máxima objetivo (*PGA*) produce una estimación inexacta de la mediana de los parámetros de demanda ingenieril (*PDI*), con una gran dispersión en la respuesta [Nau & Hall, 1984; Miranda, 1993; Vidic, Fajfar, & Fischinger, 1994; Shome & Cornell, 1998; citados por O'Donnell et al., 2011]. Otros enfoques de escalamiento que utilizan como medida de intensidad sísmica (*MI*) la aceleración máxima efectiva, la intensidad de Arias o la velocidad máxima efectiva, han resultado inexactos e ineficientes [Kurama & Farrow, 2003].

Mejores métodos de escalamiento son obtenidos si es incluida una propiedad de vibración de la estructura. Shome, Cornell, Bazurro, & Carballo (1998) desarrollaron un método en el cual cada registro sísmico es escalado de modo que la pseudoaceleración espectral elástica asociada al periodo fundamental de la estructura analizada, Sa_{T1} , coincida con la pseudoaceleración del espectro objetivo, asociada al mismo periodo. Este método proporciona una mejor estimación de los *PDIs* para aquellas estructuras dominadas por el primer modo de vibrar. Sin embargo, se ha demostrado que este método es menos preciso y menos eficiente para las estructuras que responden de manera significativa a modos superiores o más lejos dentro del intervalo inelástico [Mehanny, 1999; Alavi & Krawinkler, 2000; Kurama & Farrow, 2003].

Kurama & Farrow (2003) realizaron una revisión de los métodos de escalamiento y mostraron que estos trabajan bien para movimientos sísmicos representativos de suelo rígido y condiciones lejanas a la falla, pero pierden efectividad en suelos blandos y condiciones cercanas a la falla.

Se han estudiado vectores de medida de intensidad (VMIs) basados en la aceleración espectral asociada al primer modo, $A(T_1)$, y la relación espectral $A(T_1)/A(T_2)$, para considerar la respuesta estructural en modos superiores [Bazurro, 1998; Shome & Cornell, 1999].

Los métodos de escalamiento descritos anteriormente no consideran explícitamente la respuesta no lineal de las estructuras, esto debido a que se basan en MIs relacionadas con su respuesta elástica. Mehanny (1999) y Cordova et al. (2001) propusieron MIs escalares las cuales reconocen el alargamiento (*lengthening*) del periodo de vibración debido a la fluencia de la estructura; diversos investigadores han propuesto métodos de escalamiento utilizando dichas MIs [Kennedy et al., 1984; Alavi & Krawinkler, 2004; Naeim, Alimoradi, & Pezeshk, 2004; Youngs, Power, Wang, Makdisi, & Chin, 2007; Malhotra, 2009; citados por O'Donnell et al., 2011 y Kalkan & Kwong, 2012].

Un ejemplo de lo anterior es el escalamiento basado en la aceleración espectral elástica media, $A(T_1 \rightarrow T_\mu)$ sobre un intervalo de periodos $T_1 \rightarrow T_\mu$, donde T_μ es el periodo alargado de la estructura, calculado mediante la rigidez secante k_μ , correspondiente a la demanda de desplazamiento lateral máximo estimada, Δ_{nlin} [Kennedy et al. 1984; Martinez-Rueda, 1998; Shome & Cornell, 1998; Shome et al., 1998; Kurama & Farrow, 2003; citados por O'Donnell et al., 2011].

3.4.2. MÉTODOS DE COINCIDENCIA ESPECTRAL

El objetivo de los métodos de coincidencia espectral es la generación de acelerogramas modificados cuyo espectro de respuesta coincida con un espectro objetivo. Habitualmente, el espectro de respuesta del acelerograma inicial tiene crestas y valles que se desvían del espectro objetivo y se pretende reducir estas desviaciones en un intervalo de periodos importante para la estructura analizada. La coincidencia espectral se lleva a cabo mediante la adición o sustracción de ondas (*wavelets*) del acelerograma inicial, y se puede realizar periodo a periodo o por grupo de periodos, siendo esta última opción la que proporciona una mejor convergencia.

Para lograr la convergencia entre espectros es necesario un número importante de iteraciones, pero deben evitarse iteraciones excesivas a fin de conservar las características no estacionarias del acelerograma inicial, las cuales son críticas en un análisis no lineal. Para lograr una rápida convergencia es esencial seleccionar un acelerograma cuyo espectro de respuesta sea lo más parecido al espectro objetivo, en el intervalo de periodos de interés.

Es posible realizar la coincidencia espectral tanto en el dominio del tiempo [p. e. Lilhanand & Tseng, 1988; Abrahamson, 1992], como en el dominio de la frecuencia [p. e. Gasparini & Vanmarcke, 1976; Silva & Lee, 1987; Bolt & Gregor, 1993]; la coincidencia espectral en el dominio del tiempo es más complicada de llevar a cabo, pero tiene una mejor convergencia.

3.4.3. MÉTODO DE MODIFICACIÓN ELEGIDO

Fueron descartados los métodos de coincidencia espectral como consecuencia de las complicaciones que presentan para ser utilizados en esta investigación. Para estos métodos, a fin de preservar las características no estacionarias del acelerograma inicial, es necesario contar con un conjunto de registros sísmicos cuyo espectro de respuesta sea lo más parecido al espectro de respuesta objetivo y, en el presente estudio, contamos con una limitada base de registros sísmicos.

En primera instancia se optó por utilizar un método de escalamiento basado en la pseudoaceleración espectral [Shome et al., 1998], el cual consiste en aplicar determinados factores a los acelerogramas a fin de que todos posean la misma pseudoaceleración espectral para el periodo fundamental del puente analizado. Sin embargo, el intervalo de periodos para los puentes en estudio se encuentra entre $0.74 \leq T \leq 2.06$, para la dirección longitudinal, y $0.67 \leq T \leq 1.57$, para la dirección transversal, y las pseudoaceleraciones espectrales máximas de los registros sísmicos seleccionados se concentran entre los periodos $0 \leq T \leq 0.50$; lo anterior provoca que, al escalar todos los espectros para que tengan la misma pseudoaceleración espectral asociada a un mismo periodo, se tengan factores de escalamiento muy grandes y, por ende, pseudoaceleraciones espectrales con un valor excesivo.

Por lo anteriormente expuesto, se eligió escalar los espectros correspondientes a cada registro sísmico a fin de que todos ellos tuvieran la misma pseudoaceleración máxima, correspondiente a la pseudoaceleración máxima del espectro objetivo, para $T = 0.15 \text{ seg}$.

Normalmente se utiliza el espectro de diseño como espectro objetivo, sin embargo este espectro sobrestima algunas intensidades sísmicas debido a su forma paramétrica. Una mejor opción es utilizar el *espectro de peligro uniforme* (EPU) del sitio en estudio, el cual está basado en leyes de atenuación espectral donde todas las ordenadas están asociadas a una misma tasa de excedencia [Jara & Jara, 2007].

Los espectros de peligro uniforme mostrados en la Figura 3.19 se construyeron con base en un estudio de peligro sísmico del estado de Michoacán, donde se consideraron tres fuentes sísmicas: fallas de subducción, normales y locales. Dicho estudio se considera adecuado para representar el peligro sísmico en zonas cercanas a la costa del Pacífico mexicano y es el utilizado para el escalamiento de los registros sísmicos.

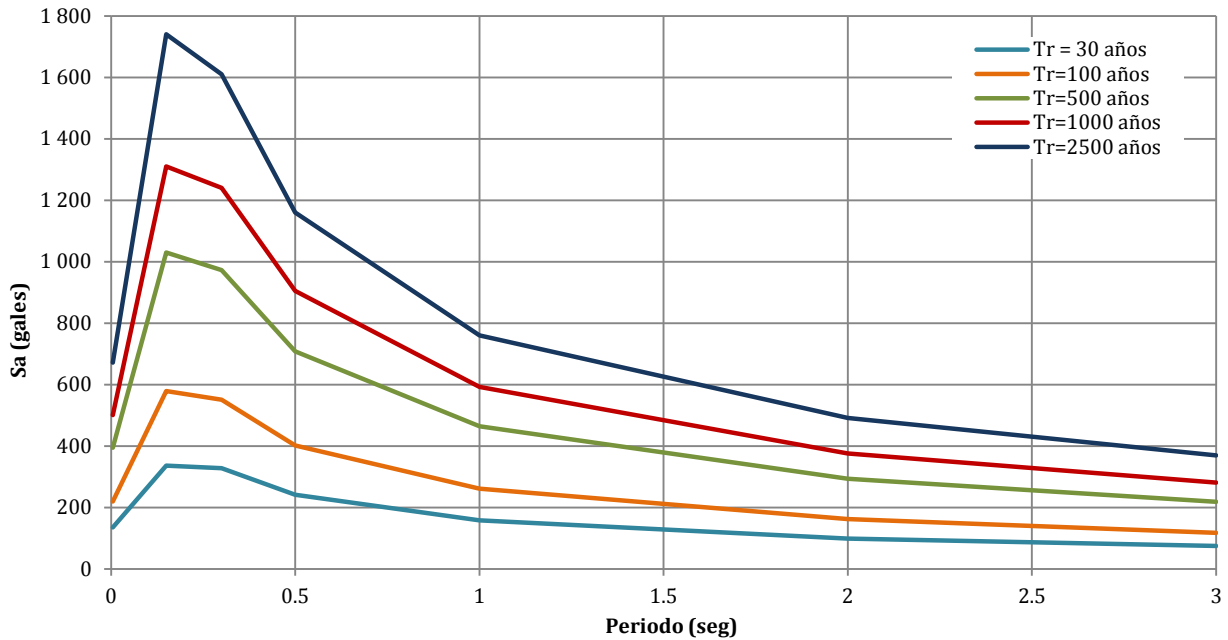


Figura 3.19 Espectros de peligro uniforme

Para el presente estudio se escalaron los espectros de respuesta para cierto periodo de retorno tal que, para la mayor parte de los modelos de puente analizados, se lograra llevar a la estructura al colapso al someterla a la acción sísmica.

En las Tablas 3.6 y 3.7 se muestran los factores de escala, FS, aplicados a los espectros de respuesta de pseudoaceleracion para sismos de subducción y fallamiento normal, respectivamente. Cabe aclarar que se aplican los mismos factores de escala para el análisis en dirección longitudinal y transversal de los puentes, ya que su escalamiento no depende del periodo fundamental del puente en la dirección del análisis.

Tabla 3.6 Factores de escala aplicados a los espectros de respuesta (Subducción)

Fecha	Clave del sismo	Mw	Nombre del archivo	FS
09/19/1985	850016	8.0	UNIO8509.191	14.73
			PAPN8509.191	15.22
			AZIH8509.191	14.67
			VILE8509.191	16.88
			PARS8509.191	12.77
			SUCH8509.191	20.39
			FICA8509.191	29.48
			ATYC8509.191	38.84
			OCTT8509.191	32.92
			COYC8509.191	39.54
			ACAP8509.191	112.92
			VNTA8509.191	127.77

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Capítulo 3. Caracterización de la demanda sísmica

Tabla 3.6 _ Continuación

Fecha	Clave del sismo	Mw	Nombre del archivo	FS
09/21/1985	850018	7.5	PARS8509.211	4.52
			PAPN8509.211	8.79
			SUCH8509.211	26.28
			ATYC8509.211	22.58
			FICA8509.211	39.42
			COYC8509.211	39.07
			VILE8509.211	70.75
			TEAC8509.211	74.58
			ACAP8509.211	90.69
			VNTA8509.211	177.18
XALT8509.211	129.03			
01/22/2003	----	7.5	CALE0301.221	93.15
03/14/1979	790006	7.4	ACAP7903.141	58.10
09/14/1995	950001	7.3	VIGA9509.141	17.90
			OCTT9509.141	28.17
			CHIL9509.141	127.37
			OCTT9509.142	171.03
			MEZC9509.141	121.25
04/30/1986	860021	6.9	ARTG8604.301	112.60
04/25/1989	890024	6.9	OCTT8904.251	9.46
			PARS8904.251	17.30
			ACAP8904.251	35.58
			COYC8904.251	27.94
			VNTA8904.251	44.74
			XALT8904.251	28.76
			OCLL8904.251	86.50
			ATYC8904.251	103.27
FIC28904.251	142.69			
10/24/1993	930009	6.6	MSAS9310.241	12.38
			OCTT9310.241	26.32
			SMR29310.241	31.28
			CPDR9310.241	51.10
			ACAJ9310.241	87.93
			PTQL9310.241	142.02
			COYC9310.241	73.12
			CHIL9310.241	144.89
			OCLL9310.241	139.08
VNTA9310.241	136.30			
07/15/1996	960093	6.6	NUXC9607.151	53.94
			ATYC9607.151	80.27
			COMD9607.151	114.07
			UNIO9607.151	97.34
			OCTT9607.151	94.05
05/15/1993	930005	6.0	VIGA9305.152	26.68
			MSAS9305.152	25.41
			OCTT9305.152	89.92
			SMR29305.152	79.63
10/29/1985	850032	5.9	CALE8510.291	59.62
02/08/1988	880004	5.8	PARS8802.081	9.22
			MAGY8802.081	31.28
			ATYC8802.081	39.50
			BALC8802.081	74.22
			SUCH8802.081	65.50
			COYC8802.081	71.45
			COMD8802.081	123.94
05/31/1990	900024	5.8	ATYC9005.311	109.10
			COMD9005.311	135.59
			BALC9005.311	168.05
			CAZO9005.312	104.75

Tabla 3.7 Factores de escala aplicados a los espectros de respuesta (Fallamiento Normal)

Fecha	Clave del sismo	Mw	Nombre del archivo	FS
09/30/1999	990005	7.4	VIGA9909.301	34.30
			COPL9909.301	70.31
			COYQ9909.301	79.88
			CHIL9909.301	118.52
			COYC9909.301	142.05
01/11/1997	970009	7.1	VILE9701.111	24.55
			UNIO9701.111	24.80
			PETA9701.111	34.35
			PAPN9701.111	40.64
06/15/1999	990004	6.9	TNLP9906.151	52.76
			TEAC9906.151	54.27
			MEZC9906.151	72.99
			CHIL9906.151	112.64
			IGUA9906.151	128.63
			VIGA9906.151	106.19
			COMD9906.151	154.79
05/22/1997	970079	6.5	PAPN9705.221	71.44
			VILE9705.221	58.86
08/09/2000	----	6.5	UNIO0008.091	68.82
			COYQ0008.091	100.48
12/10/1994	940007	6.4	PETA9412.101	9.02
			PAPN9412.101	30.53
			COMD9412.101	47.10
			SLUI9412.101	127.21
			VILE9412.101	159.01
			NUXC9412.101	146.71
			ATYC9412.101	143.52
06/21/1999	990008	6.3	COYQ9906.211	28.08
			PET29906.211	41.71
			AZIH9906.211	75.43
			COMD9906.211	72.78
			VILE9906.211	79.40
05/23/1994	940004	6.2	PETA9405.231	22.54
			ATYC9405.232	56.92
			BALC9405.231	64.90
			PAPN9405.231	60.08
			CAZO9405.231	73.99
			TNLP9405.231	43.36
			FIC29405.231	105.15
			OCTT9405.231	77.80
			NUXC9405.231	95.69
			MEZC9405.231	145.87
			SUCH9405.231	159.74
			ATYC9405.231	123.13
COYC9405.231	127.47			
04/20/1998	980011	5.9	COYQ9804.201	42.47
			UNIO9804.201	84.15
			PET29804.201	105.10
12/29/1999	990009	5.9	COYQ9912.291	43.32
			PET29912.291	50.55
			AZIH9912.291	129.62
07/21/2000	----	5.8	TNLP0007.211	24.21
			TEAC0007.211	120.17

Los espectros de respuesta, una vez afectados por los factores de escala presentados anteriormente, se muestran en la Figura 3.20 (sismos de subducción) y Figura 3.21 (sismos de fallamiento normal).

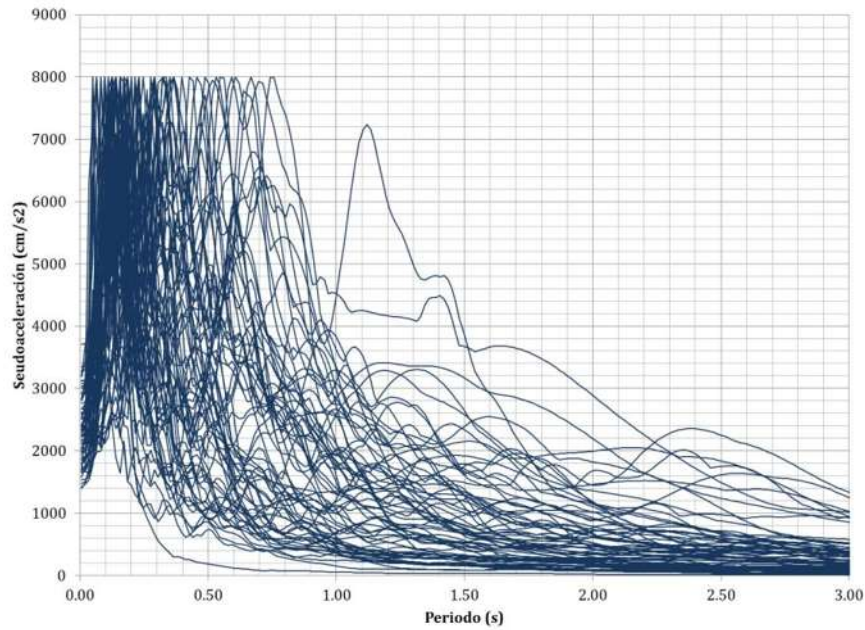


Figura 3.20 Espectros de respuesta escalados (sismos de subducción)

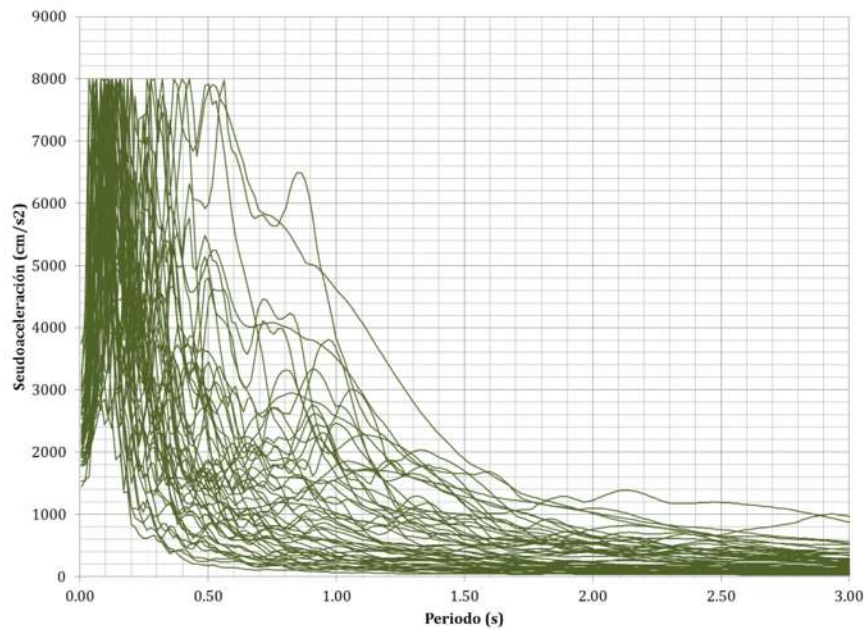


Figura 3.21 Espectros de respuesta escalados (sismos de fallamiento normal)

Capítulo 4

DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES ELÁSTICOS

Un paso fundamental para determinar las relaciones que existen entre los parámetros de demanda ingenieril (PDIs) y las medidas de intensidad (MIs) es precisar la *clase de estructura* que será analizada. Una clase de estructura es definida mediante la tipología estructural, los componentes estructurales típicos y el método de diseño. A sabiendas de que, en México, los puentes carreteros más comunes son aquellos de concreto reforzado, simplemente apoyados y de longitud intermedia, para este estudio se eligió analizar este tipo de estructura. Una de las características de los puentes simplemente apoyados es que la superestructura no posee continuidad, es decir, que en cada pila existen dos apoyos y, entre ellos, la superestructura se encuentra dividida por una junta de expansión (Figura 4.1).

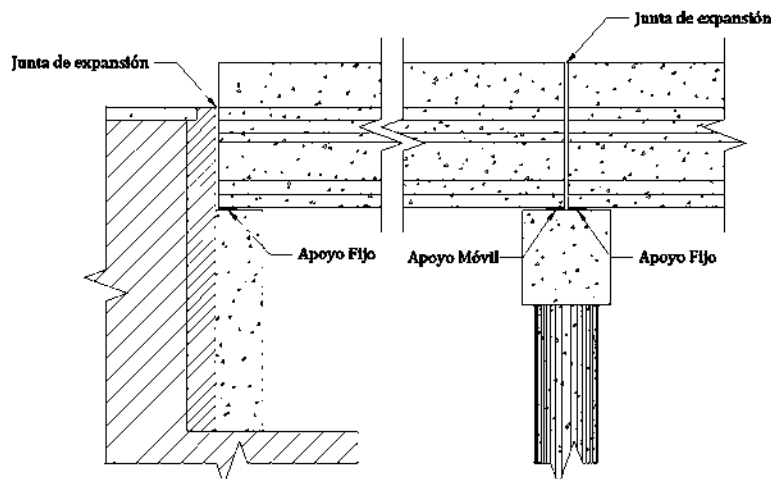


Figura 4.1 Puente simplemente apoyado

De manera general, los puentes con los que se trabajó son de losa de concreto reforzado apoyada en traveses de concreto presforzado AASTHO tipo IV; en cada extremo de cada claro y en puntos intermedios están ubicados

diafragmas con el fin de proporcionar rigidez lateral a la superestructura. La subestructura está conformada por pilas tipo marco, compuestas por 4 columnas de sección circular constante; la superestructura se encuentra soportada mediante apoyos de neopreno ubicados entre cada trabe y el cabezal de la pila.

Los puentes analizados están conformados por 5 claros, teniendo dos grandes categorías según su longitud de claro: (1) puentes con claros de 20 m, y (2) puentes con claros de 30 m. Según la altura de las pilas, se tienen cuatro subcategorías: (1) pilas de 5 m; (2) 10 m; (3) 15 m, y (4) 20 m. Finalmente cada puente, con las características geométricas descritas anteriormente, fue diseñado para las combinaciones de carga establecidas en las Especificaciones AASHTO para el Diseño de Puentes por el Método LRFD-2010 (AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Fifth Edition-2010) [AASHTO, 2010]. Para tomar en cuenta la acción sísmica se consideraron 4 distintos espectros de diseño, correspondientes a las siguientes ciudades: Morelia, Michoacán; Aguililla, Michoacán; Lázaro Cárdenas, Michoacán, y Acapulco, Guerrero. De esta manera, para la presente investigación, se modelaron, diseñaron y analizaron un total de 32 puentes. En la Tabla 4.1 se clarifica lo anteriormente descrito y se asigna nombre a cada modelo.

Tabla 4.1 Características geométricas generales de los puentes

Número de claros	Longitud de claro (m)	Altura de pilas (m)	Espectro de Diseño	Nombre del modelo	Número de claros	Longitud de claro (m)	Altura de pilas (m)	Espectro de Diseño	Nombre del modelo
5	20	5	Morelia	C20P05-0	5	30	5	Morelia	C30P05-0
			Aguililla	C20P05-1				Aguililla	C30P05-1
			Lázaro Cárdenas	C20P05-2				Lázaro Cárdenas	C30P05-2
			Acapulco	C20P05-3				Acapulco	C30P05-3
		10	Morelia	C20P10-0			10	Morelia	C30P10-0
			Aguililla	C20P10-1				Aguililla	C30P10-1
			Lázaro Cárdenas	C20P10-2				Lázaro Cárdenas	C30P10-2
			Acapulco	C20P10-3				Acapulco	C30P10-3
		15	Morelia	C20P15-0			15	Morelia	C30P15-0
			Aguililla	C20P15-1				Aguililla	C30P15-1
			Lázaro Cárdenas	C20P15-2				Lázaro Cárdenas	C30P15-2
			Acapulco	C20P15-3				Acapulco	C30P15-3
	20	Morelia	C20P20-0	20	Morelia	C30P20-0			
		Aguililla	C20P20-1		Aguililla	C30P20-1			
		Lázaro Cárdenas	C20P20-2		Lázaro Cárdenas	C30P20-2			
		Acapulco	C20P20-3		Acapulco	C30P20-3			

Cabe aclarar que cada modelo de puente generado en este estudio no intenta corresponder directamente al diseño de un puente existente, sino a la tipología correspondiente

4.1. TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL Y COMPONENTES ESTRUCTURALES

4.1.1. SUPERESTRUCTURA

El modelo de la superestructura consta de una losa de concreto reforzado de 0.20 m de espesor, sobre la cual descansa una carpeta asfáltica de 0.10 m de espesor. Se cuenta con parapetos de concreto reforzado para vehículos automotores a lo largo de los extremos longitudinales de la estructura; no se consideran banquetas, guarniciones, ni parapetos para peatones o bicicletas. El ancho total del puente es de 10.60 m , teniendo un ancho de calzada de 9.80 m medido entre las caras interiores de los parapetos. El concreto utilizado en la construcción tanto de la losa como de los parapetos tiene un $f'_c = 2500\text{ t/m}^2$.

La losa se encuentra apoyada sobre ocho traveses de concreto presforzado AASHTO tipo IV espaciadas cada 1.30 m centro a centro, con un cantiliver de 0.75 m sobre la trabe extrema. El concreto utilizado en la fabricación de las traveses cuenta con un $f'_c = 3500\text{ t/m}^2$. Detalles geométricos de la superestructura son mostrados en la Figura 4.2; las secciones transversales del parapeto y de la trabe AASHTO tipo IV se detallan en la Figura 4.3.

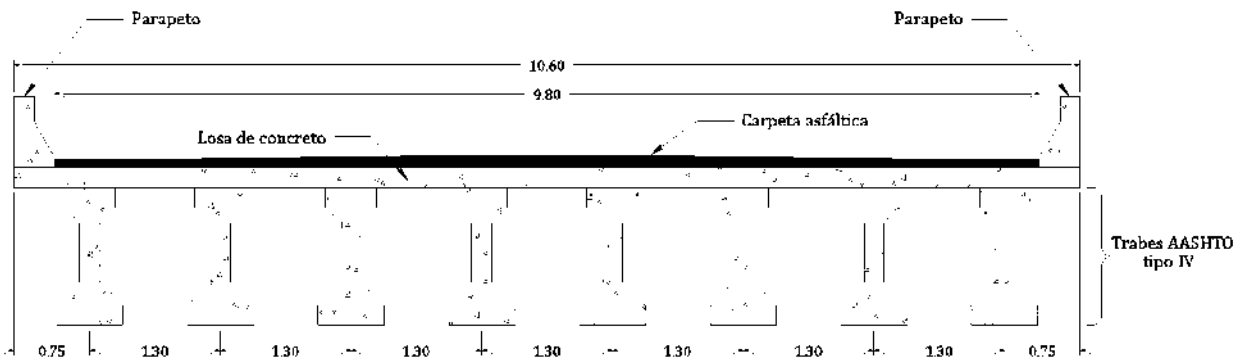


Figura 4.2 Sección transversal de la superestructura de los puentes (acotación en metros)

Con la finalidad de proporcionar rigidez lateral a las traveses y a la superestructura en general, se consideran en los puentes en estudio *diafragmas* extremos e intermedios, consistentes en traveses transversales secundarias de concreto reforzado, con un $f'_c = 2500\text{ t/m}^2$. Tanto diafragmas extremos como intermedios son de sección transversal rectangular, de peralte $h = 0.94\text{ m}$ y un ancho $b = 0.30\text{ m}$.

Los diafragmas extremos se localizan al inicio y fin de cada claro, uniendo a las traveses principales entre sí y con la losa, aportando así una gran rigidez al puente. Para restringir el pandeo lateral de las traveses AASTHO, garantizando el trabajo en conjunto y un adecuado funcionamiento a flexión, se colocan diafragmas intermedios en los puentes, cuya cantidad y separación está en función de la longitud de claro. Los puentes con longitud de claro de 20 m poseen un diafragma intermedio en la parte central de cada claro, mientras que aquellos con longitud de claro de 30 m tienen dos diafragmas intermedios a cada tercio del claro.

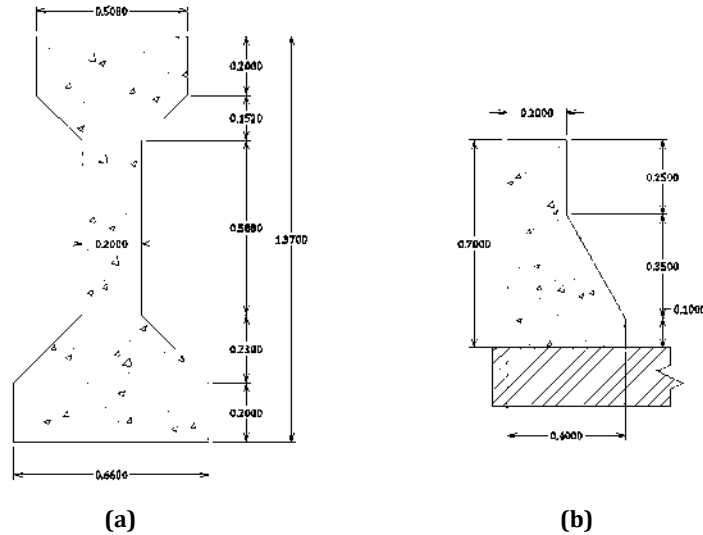


Figura 4.3 Geometría de: (a) trabe AASTHO tipo IV, y (b) parapeto (acotación en metros)

4.1.2. APOYOS DE NEOPRENO Y JUNTAS DE EXPANSIÓN

La superestructura está soportada mediante dos apoyos de neopreno colocados entre el cabezal y el extremo de cada trabe AASTHO que llega a él, con la finalidad de representar una superestructura simplemente apoyada. Los apoyos de neopreno son empleados con el fin de absorber las deformaciones verticales y horizontales producto de las cargas vehiculares, sismos o por cambios de temperatura en la zona de apoyo [N-CMT-2-08/04]; estos pueden ser fijos o móviles, cuyas disposiciones transversal y longitudinal para los puentes en estudio se muestran en las Figuras 4.4 y 4.5, respectivamente.

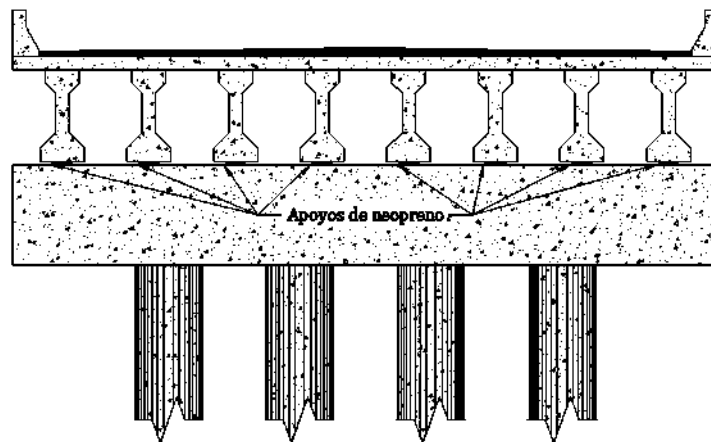


Figura 4.4 Disposición transversal de los apoyos de neopreno

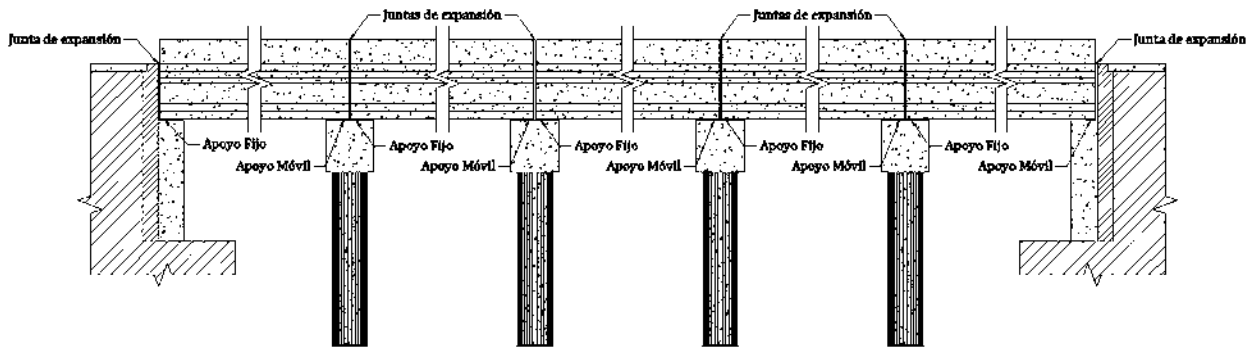


Figura 4.5 Disposición longitudinal de los apoyos de neopreno

Los apoyos de neopreno son elementos fabricados con varias capas de elastómero, vulcanizados de una sola pieza, con placas de acero intercaladas a manera de refuerzo. La rigidez de los apoyos es inversamente proporcional al espesor del neopreno, de esta manera un menor espesor de neopreno brinda mayor rigidez al apoyo.

La geometría de los apoyos de neopreno utilizados en los modelos es equivalente en planta, siendo de sección transversal rectangular $b = d = 0.30 \text{ m}$ y $A = 0.09 \text{ m}^2$; la diferencia radica en la altura del apoyo y en la cantidad de acero de refuerzo, teniendo los apoyos fijos una altura de $h = 0.041 \text{ m}$ con 3 láminas de acero intermedias, mientras que los apoyos móviles tienen una altura de $h = 0.057 \text{ m}$ con 4 láminas de acero de refuerzo (Figura 4.6). Los espesores de cada elemento son los siguientes: recubrimiento de neopreno $e_r = 0.003 \text{ m}$, cada placa de acero de refuerzo $e_a = 0.003 \text{ m}$ y cada placa de neopreno intermedia $e_n = 0.013 \text{ m}$. Con lo anterior, el espesor efectivo de neopreno para cada tipo de apoyo resulta: fijo $h_t = 0.032 \text{ m}$ y móvil $h_t = 0.045 \text{ m}$.

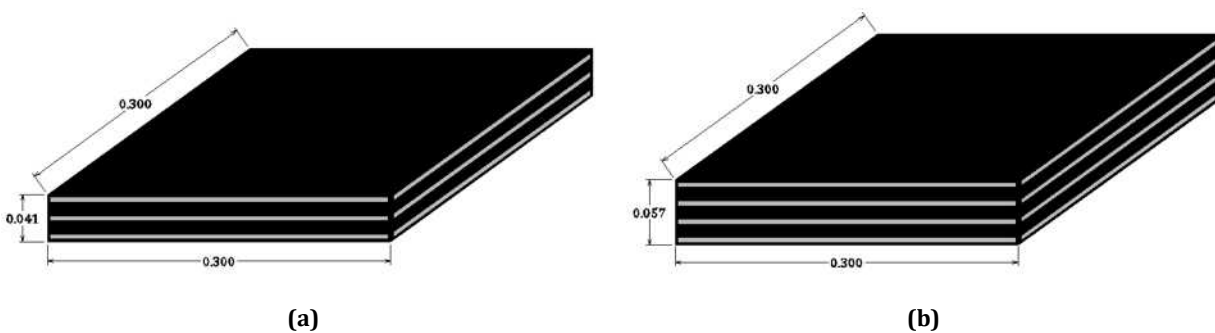


Figura 4.6 Geometría del apoyo de neopreno: (a) fijo, y (b) móvil (acotación en metros)

Los apoyos de neopreno cuentan con dureza Shore 60, módulo de rigidez a cortante $G = 1.0 \text{ MPa} = 101.97 \text{ t/m}^2$ y módulo de compresibilidad $k = 16.86 \text{ MPa} = 1719.24 \text{ t/m}^2$. Utilizaremos las ecuaciones (4.1) y (4.2) para calcular la rigidez horizontal y vertical de los apoyos de neopreno, respectivamente.

Rigidez horizontal

$$K_h = \frac{GA}{h_t} \quad (4.1)$$

Rigidez vertical

$$K_v = \frac{6GS^2Ak}{(6GS^2 + k)h_t} \quad (4.2)$$

donde

- K_h Rigidez horizontal del apoyo de neopreno
- K_v Rigidez vertical del apoyo de neopreno
- G Módulo de rigidez a cortante
- A Área del apoyo de neopreno
- h_t Espesor efectivo de neopreno
- k Módulo de compresibilidad
- S Factor de forma de una capa de neopreno, que se calcula mediante ecuación (4.3)

$$S = \frac{bd}{2e_n(b + d)} \quad (4.3)$$

donde

- b y d Dimensiones en planta del apoyo de neopreno
- e_n Espesor de capa intermedia de neopreno

En la Tabla 4.2 se presentan las rigideces obtenidas para cada tipo de apoyo de neopreno. Como la sección transversal de los neoprenos es cuadrada, la rigidez horizontal es igual en dirección longitudinal, x , y en dirección transversal, y .

Tabla 4.2 Rigideces horizontal y vertical de los apoyos de neopreno

Tipo de apoyo	K_h	K_v
	(t/m)	(t/m)
Fijo	286.80	4458.92
Móvil	203.94	3170.79

Con la finalidad de permitir la expansión o contracción de la estructura a consecuencia de los cambios de temperatura, se consideraron *juntas de expansión* en los extremos y en secciones intermedias de la superestructura del puente. Estas últimas juntas son las que le dan la característica a los puentes de ser

simplemente apoyados, ya que rompen con la continuidad de la superestructura; se encuentran localizadas al final de cada claro de 20 m o 30 m, según sea el caso. La localización de las juntas de expansión puede ser consultada en la Figura 4.5.

Las juntas de expansión deben ser flexibles, consiguiéndolo ya sea con materiales elastoméricos o ensambles de un mecanismo metálico integrado con otros materiales plásticos, y deben ser capaces de absorber las expansiones o contracciones producidas y ser impermeables. En la Figura 4.7 se muestra una junta de expansión típica.

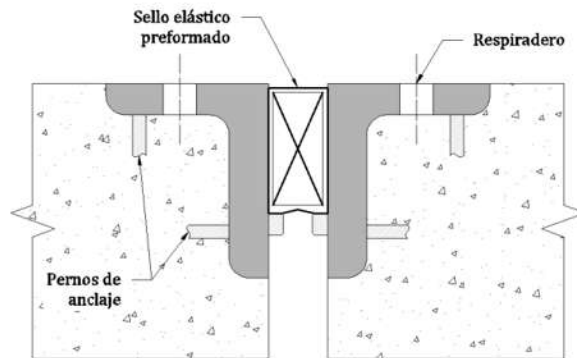


Figura 4.7 Junta de expansión típica

4.1.3. SUBESTRUCTURA

Cada puente cuenta con 4 pilas tipo marco, espaciadas de manera longitudinal a cada 20 m o 30 m, dependiendo del modelo de puente que se trate. Cada pila consta de 4 columnas de sección circular constante, cuyo diámetro y refuerzo varía entre modelos.

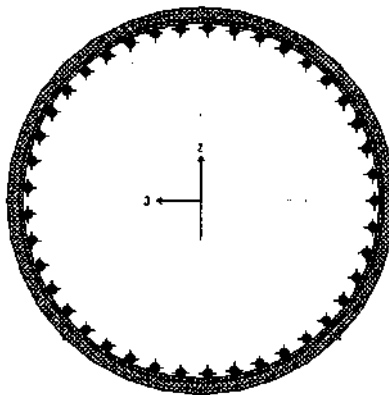


Figura 4.8 Disposición del acero de refuerzo longitudinal

La disposición del acero de refuerzo longitudinal en las columnas de las pilas es circular (Figura 4.8), compuesta de barras #8 o #10, uniformemente distribuidas en el perímetro. Para el acero transversal se utilizaron barras #4 o #5 en forma de anillos circulares paralelos, cuya separación depende del diseño de cada pila. El espesor de recubrimiento es de 0.04 m .

Los resultados del diseño de las columnas para las pilas de cada modelo de puente se presentan en la sección 4.3.7.2 del presente capítulo.

Las pilas varían en altura entre $5 \leq h \leq 20\text{ (m)}$, como se explica en la Tabla 4.1. El espaciamiento entre columnas para pilas con altura entre $5 \leq h \leq 15\text{ (m)}$ es de 1.97 m , medido centro a centro (Figura 4.9); para pilas con altura $h = 20\text{ m}$ dicho espaciamiento se considera de 2.50 m (Figura 4.10).

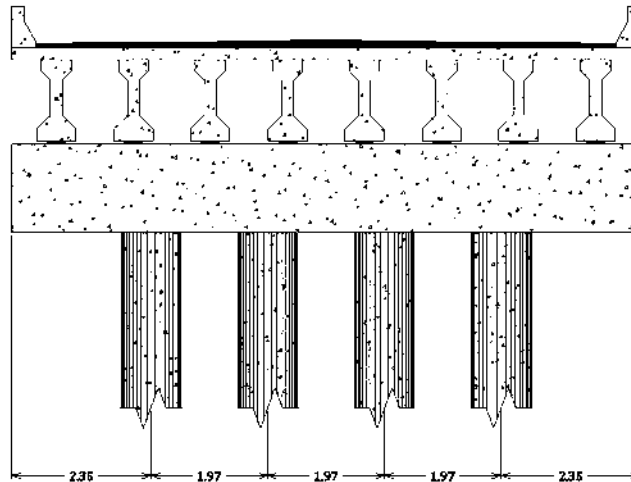


Figura 4.9 Espaciamiento entre columnas en pilas con altura $5 \leq h \leq 15\text{ (m)}$ (acotación en metros)

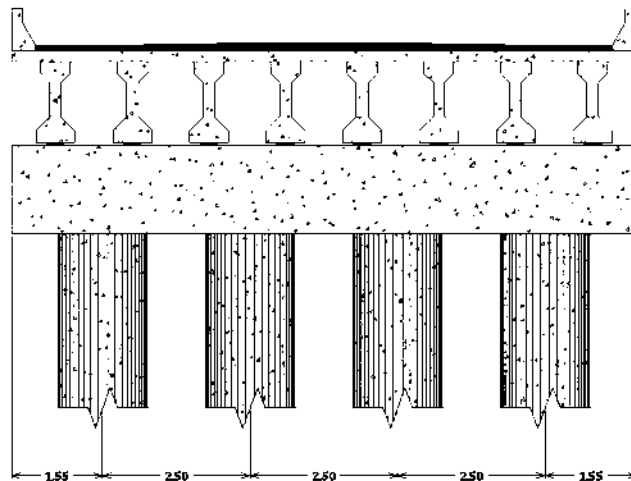


Figura 4.10 Espaciamiento entre columnas en pilas con altura $h = 20\text{ m}$ (acotación en metros)

El cabezal de las pilas cuenta con un peralte de 1.50 m; su ancho está en función del diámetro de columna, D_c , resultante del diseño, siendo este $D_c + 0.40$ m. La resistencia a compresión de concreto para columnas y cabezales es de $f'_c = 2500$ t/m², mientras que el acero de refuerzo tiene resistencia de fluencia $F_y = 42184.18$ t/m².

4.2. COMBINACIONES DE CARGA Y ACCIÓN SÍSMICA DE DISEÑO

Para realizar el diseño de los puentes es necesario utilizar combinaciones de carga a las que se someterá la estructura. A continuación se definen dichas combinaciones y se especifica la fuente para tomar en cuenta la acción sísmica de diseño.

4.2.1. COMBINACIONES DE CARGA, según las AASHTO LRFD Bridge Design Specifications

Las consideraciones para definir las combinaciones de carga son las siguientes:

1. La estructura cumple con las especificaciones para ser considerada dúctil.
2. La estructura tiene niveles convencionales de redundancia.

Las combinaciones de carga se plantearon con base en las Especificaciones AASTHO para el Diseño de Puentes por el Método LRFD 2010 (AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Fifth Edition-2010) [AASHTO, 2010]. De acuerdo a dichas especificaciones, el efecto total de la fuerza factorizada se deberá tomar como:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \quad (4.4)$$

donde

η_i	Factor de modificación de las cargas
Q_i	Solicitaciones de carga
γ_i	Factores de carga

4.2.1.1. Estados límite

Para esta investigación se utilizan las combinaciones de carga correspondientes a los siguientes estados límite:

- RESISTENCIA I – Combinación de cargas básica que representa el uso vehicular normal del puente, sin viento.
- EVENTO EXTREMO I – Combinación de cargas que incluye sismo.

4.2.1.2. Solicitaciones de carga Q_i

Las cargas permanentes y transitorias a considerar serán:

- Cargas permanentes
 - DC → peso propio de los componentes estructurales y accesorios no estructurales.
 - DW → peso propio de las superficies de rodamiento e instalaciones para servicios públicos.
- Cargas transitorias
 - EQ → sismo
 - IM → incremento por carga vehicular dinámica
 - LL → carga viva vehicular

Con el propósito de considerar las cargas DC y DW como una sola carga, a su suma algebraica la llamaremos posteriormente PL (Permanent Load), es decir:

$$PL = DC + DW \quad (4.5)$$

El factor que modifica a la carga viva vehicular debido al incremento por carga vehicular dinámica, IM , se deberá tomar como: $(1 + IM/100)$. El valor de IM se obtiene de la tabla 3.6.2.1-1 [AASHTO, 2010], siendo $IM = 33\%$ para todos los componentes del puente (excepto las juntas del tablero), aplicable para todos los estados límites considerados en este trabajo. De esta manera, la carga viva vehicular será afectada por 1.33:

$$\left(1 + \frac{IM}{100}\right) = \left(1 + \frac{33}{100}\right) = 1.33$$

Las combinaciones de solicitaciones sísmicas deberán ser:

- 100 por ciento del valor absoluto de las solicitaciones en una de las direcciones perpendiculares combinado con 30 por ciento del valor absoluto de las solicitaciones en la segunda dirección perpendicular, $(EQ_x + 0.30EQ_y)$, y
- 100 por ciento del valor absoluto de las solicitaciones en la segunda dirección perpendicular combinado con 30 por ciento del valor absoluto de las solicitaciones en la primera dirección perpendicular $(EQ_y + 0.30EQ_x)$.

4.2.1.3. Factores de carga γ_i

Los factores de carga son multiplicadores de base estadística que se aplican a las solicitaciones. Con base en la tabla 3.4.1-1 [AASHTO, 2010], para los estados límite y las distintas solicitaciones de carga consideradas, los factores de carga a utilizar se muestran en la Tabla 4.3. Los factores de carga para cargas permanentes se obtienen de la tabla 3.4.1-2 [AASHTO, 2010] y se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4.3 Combinaciones de cargas y factores de carga

Estado Límite	Combinación de cargas		
	Cargas permanentes	Cargas transitorias	
	<i>DC</i>	<i>LL</i>	<i>EQ</i>
	<i>DW</i>	<i>IM</i>	
RESISTENCIA I		1.75	---
EVENTO EXTREMO I			1.00

Tabla 4.4 Factores de carga para cargas permanentes

Tipo de carga	Factores de Carga	
	Máximo	Mínimo
<i>DC</i>	1.25	0.90
<i>DW</i>	1.50	0.65

De acuerdo con la ecuación (4.5), consideramos una sola carga permanente, *PL*, que es la combinación de *DC* y *DW*. Debido a ello, optamos por utilizar un factor de carga máximo $\gamma_p = 1.25$.

De acuerdo al comentario C3.4.1 [AASHTO, 2010], debe ser considerada la posibilidad de carga viva parcial con sismo (EVENTO EXTREMO I), esto es $\gamma_{EQ} < 1.0$. Para la combinación de cargas no relacionadas se aplica la regla de Turkstra [Turkstra & Madsen, 1980], que indica que $\gamma_{EQ} = 0.50$ es un valor razonable para un amplio intervalo de valores de tráfico medio diario de camiones.

4.2.1.4. Factor de modificación de las cargas η_i

Para calcular el valor del factor de modificación de las cargas, η_i , el cual está relacionado con la ductilidad, redundancia e importancia operativa, se tienen dos ecuaciones cuya aplicación depende del valor del factor de carga, γ_i , a utilizar. Así:

Para cargas para las cuales un valor máximo de γ_i es apropiado:

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0.95 \tag{4.6}$$

Para cargas para las cuales un valor mínimo de γ_i es apropiado:

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \leq 1.0 \tag{4.7}$$

donde

- η_D Factor relacionado con la ductilidad
- η_R Factor relacionado con la redundancia
- η_I Factor relacionado con la importancia operativa

Con fundamento en que las estructuras en la presente investigación son dúctiles, para el estado límite de resistencia el valor del factor relacionado con la ductilidad se tomará igual a la unidad, es decir, $\eta_D = 1.0$; el mismo valor es tomado para los demás estados límite.

Tomando en consideración niveles convencionales de redundancia, el factor relacionado con ésta tiene un valor $\eta_R = 1.0$, tanto para el estado límite de resistencia como para todos los demás estados.

Para seleccionar el valor del factor relacionado con la importancia operativa haremos referencia a C1.3.5 [AASHTO, 2010], donde se plantea que los puentes con nivel de importancia “crítica” o “esencial” deberían de considerarse de “importancia operativa”. Conforme a lo anterior y considerando que los puentes en esta investigación son esenciales, el factor relacionado con la importancia operativa deberá ser $\eta_I \geq 1.05$ para el estado límite de resistencia y $\eta_I = 1.00$ para todos los demás estados límite.

Ya que se optó por utilizar el valor máximo para γ_i , aplicaremos la ecuación (4.6). Sustituyendo valores tenemos:

Para el estado límite RESISTENCIA I: $\eta_i = (1.00)(1.00)(1.05) = 1.05$

Para el estado límite EVENTO EXTREMO I: $\eta_i = (1.00)(1.00)(1.00) = 1.00$

4.2.1.5. Combinación de carga RESISTENCIA I

Construyendo la combinación de carga correspondiente al estado límite RESISTENCIA I resulta:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i$$

donde

para cargas permanentes:

$$\gamma_i = 1.25$$

$$Q_i = PL = DC + DW$$

para cargas transitorias:

$$\gamma_i = 1.75$$

$$Q_i = LL \left(1 + \frac{IM}{100} \right) = 1.33LL$$

en ambas cargas:

$$\eta_i = 1.05$$

$$Q_{RESISTENCIA I} = 1.05[1.25PL + 1.75(1.33LL)] \quad (4.8)$$

4.2.1.6. Combinaciones de carga EVENTO EXTREMO I

Construyendo la combinación de carga correspondiente al estado límite EVENTO EXTREMO I resulta:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i$$

donde

para cargas permanentes:

$$\gamma_i = 1.25$$

$$Q_i = PL = DC + DW$$

para cargas transitorias vehiculares:

$$\gamma_i = 0.50$$

$$Q_i = LL \left(1 + \frac{IM}{100} \right) = 1.33LL$$

para cargas transitorias debidas a sismo:

$$\gamma_i = 1.00$$

$$Q_i = \begin{cases} EQ_x + 0.30EQ_y \\ EQ_y + 0.30EQ_x \end{cases}$$

en todas las cargas:

$$\eta_i = 1.00$$

$$Q_{EVENTO EXTREMO I} = \begin{cases} 1.25PL + 0.50(1.33LL) + EQ_x + 0.30EQ_y \\ 1.25PL + 0.50(1.33LL) + EQ_y + 0.30EQ_x \end{cases} \quad (4.9)$$

4.2.2. ACCIÓN SÍSMICA DE DISEÑO, según el Manual de Diseño de Obras Civiles

Para considerar la acción sísmica en el diseño de los puentes se utilizaron espectros de diseño, especificados en el *Manual de Diseño de Obras Civiles-Diseño por Sismo* (MDOC) de la *Comisión Federal de Electricidad* [CFE, 2008]. Los espectros de diseño se obtienen mediante el programa de cómputo denominado PRODISIS (Figura 4.11).

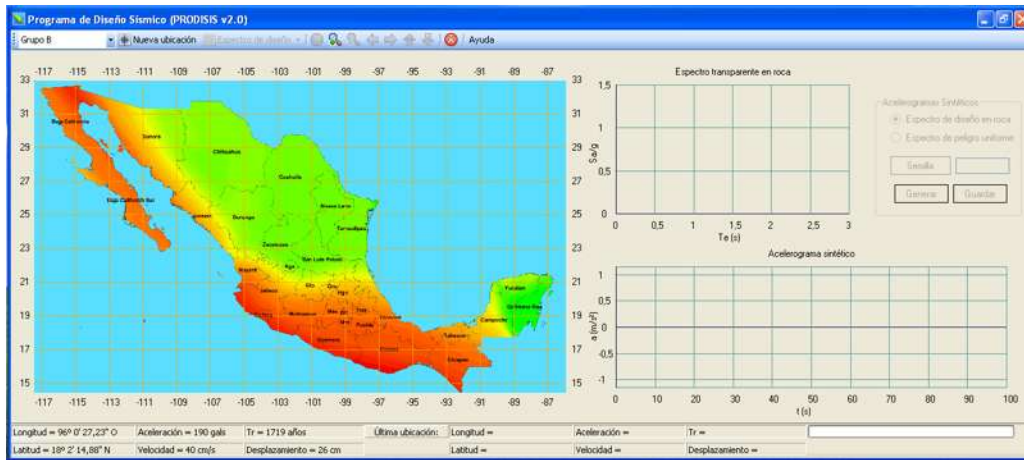


Figura 4.11 Programa para Diseño Sísmico (PRODISIS)

Los espectros de diseño estipulados en el MDOC son transparentes, por reflejar la totalidad del peligro sísmico. Para la construcción y/o modificación de dichos espectros resulta esencial tomar en cuenta el tipo de estructura, la importancia estructural y, para el estado límite de colapso, las reducciones por ductilidad y sobrerresistencia.

Conforme a la filosofía de diseño sísmico de puentes, se proponen dos niveles de estado límite: el *nivel de servicio* y el *nivel de prevención del colapso*. En el primero se pretende que, ante la ocurrencia de un evento sísmico pequeño o moderado, los puentes sean funcionales y que sus componentes estructurales

permanezcan dentro del régimen elástico; para el segundo nivel de estado límite se acepta cierto nivel de daño en el puente después de la ocurrencia de un sismo extraordinario, pero sin que se ponga en riesgo la estabilidad de la estructura. Para esta investigación se diseñará para el nivel de prevención del colapso.

4.2.2.1. Clasificación de las estructuras

Dentro del MDOC existen dos tipos de clasificación de las estructuras: según su *estructuración* y según su *destino*. La clasificación según su estructuración se indica en la tabla 2.2 de la sección 3.2.3 del MDOC, atendiendo a las características estructurales que influyen en la respuesta sísmica. Así, los puentes están clasificados dentro del Tipo 7, siendo estructuras destinadas a cubrir grandes claros, y las fuerzas laterales son soportadas principalmente por columnas trabajando en cantiliver.

En la tabla 2.1 de la Sección 3.2.2 del MDOC se clasifica a las estructuras según su destino; sin embargo, para el caso de puentes atenderemos la clasificación realizada en la sección 3.10.2.1 de dicho manual.

4.2.2.2. Estructuras Tipo 7. Puentes

Los requisitos mínimos que deben considerarse en el diseño sísmico de un *puente estándar* se señalan en la sección 3.10 del MDOC, entendiéndose como puente estándar aquél que cumple con las siguientes características:

- Claros entre apoyos de hasta 100 m;
- Construidos con concreto de peso normal, acero estructural o mixto;
- Elementos de la superestructura continuos o articulados con la subestructura, o bien, simplemente apoyados;
- Apoyos convencionales;
- Subestructura formada por pilas y estribos o caballetes;
- Cimentaciones a base de zapatas, pilotes o pilas;
- Suelo no susceptible de licuación;
- Distancia a cualquier falla activa > 15 km en los que se produzcan efectos de campo cercano.

Los puentes estándar se clasifican, según su destino, en dos tipos: los puentes comunes (Grupo B), que representan la mayor parte de los puentes convencionales; y los puentes de especial importancia (Grupo A), siendo aquellas estructuras para las que se espera que mantengan su funcionalidad tras un desastre, debido a su importancia como vía de comunicación, como por su costo o riesgo de vida. Los puentes en nuestro estudio quedan comprendidos dentro del Grupo A.

4.2.2.3. Factores de modificación del espectro de diseño

4.2.2.3.1. Factor de importancia estructural

Para evaluar la demanda sísmica tanto en la etapa constructiva, como para los distintos niveles de estado límite, debe adoptarse cierto factor de importancia estructural que modificará las ordenadas del espectro de diseño. Para puentes de especial importancia (Grupo A), el factor para modificar el espectro de diseño correspondiente al nivel de prevención del colapso es 1.5.

Si para estructuras del Grupo B el espectro de diseño para el estado límite de colapso se define como Sa_{col}^B , entonces para estructuras del Grupo A, el espectro correspondiente Sa_{col}^A se obtendrá al multiplicar todas las ordenadas espectrales Sa_{col}^B por el factor de importancia estructural 1.5, es decir:

$$Sa_{col}^A = 1.5 Sa_{col}^B \tag{4.10}$$

4.2.2.3.2. Factor reductor por ductilidad

Para obtener las fuerzas sísmicas reducidas, los espectros de diseño deben ser modificados por el factor reductor por ductilidad Q' . Esto se realiza para tomar en cuenta el comportamiento inelástico de la estructura en el estado límite de colapso, para fines de diseño. El factor reductor por ductilidad se calcula como sigue:

$$Q' = \begin{cases} 1 + (Q - 1) \sqrt{\frac{\beta T_e}{k T_b}} & \text{si } T_e \leq T_b \\ 1 + (Q - 1) \sqrt{\frac{\beta p}{k}} & \text{si } T_e > T_b \end{cases} \tag{4.11}$$

donde

- Q Factor de comportamiento sísmico
- β Factor de amortiguamiento
- T_b Límite superior de la meseta del espectro de diseño
- T_e Periodo estructural
- k Parámetro que controla la caída del espectro
- p Factor empleado para definir la variación del espectro en la rama descendente, calculado de la siguiente forma:

$$p = k + (1 - k) \left(\frac{T_b}{T_e}\right)^2 \tag{4.12}$$

El empleo del factor de comportamiento sísmico Q es la forma más adecuada de caracterizar las estructuras en función de su ductilidad. En este trabajo utilizaremos un factor de comportamiento sísmico $Q = 2.0$.

El factor de amortiguamiento permite modificar las ordenadas del espectro de diseño debido a valores de amortiguamiento estructural diferentes a 5.0%, o bien, debido a los efectos de interacción suelo-estructura. Para amortiguamientos estructurales $\xi_e = 5.0\%$, en ausencia de los efectos de interacción suelo-estructura, se tiene $\beta = 1.0$.

Teniendo en cuenta que los puentes están desplantados en roca, el valor del límite superior de la meseta del espectro de diseño se toma igual a $T_b = 0.6 \text{ seg}$; el parámetro k que controla la caída del espectro tiene un valor de $k = 2.0$.

A fin de obtener la ecuación del factor reductor por ductilidad en función del periodo estructural, sustituimos los valores anteriores en la ecuación (4.12) y posteriormente en la (4.11), quedando dichas ecuaciones en función del periodo estructural del puente:

$$p = 2.0 - \frac{0.36}{(T_e)^2} \quad (4.13)$$

$$Q' = \begin{cases} 1 + 1.1785T_e & \text{si } T_e \leq 0.6 \\ 1 + \sqrt{1 - \frac{0.18}{(T_e)^2}} & \text{si } T_e > 0.6 \end{cases} \quad (4.14)$$

4.2.2.3.3. Factor de sobrerresistencia

El efecto de la sobrerresistencia que se obtiene al diseñar un elemento de concreto se debe a:

- La mayor resistencia del acero de refuerzo debida al endurecimiento por deformación y al valor real del esfuerzo de fluencia;
- La mayor resistencia del concreto que la utilizada en el diseño, como consecuencia del confinamiento, aumento de la resistencia con la edad, y al efecto de la aplicación de las cargas dinámicas.

Según Paulay & Priestley (1992), citados por CFE (2008), al tomar en cuenta estos efectos, la sobrerresistencia puede alcanzar valores mayores que el 50% de la resistencia de diseño. Conforme a lo anterior, para el caso de puentes de concreto, el factor de sobrerresistencia para reducir las ordenadas espectrales se estipula en la sección 3.10.3.2 del MDOC, donde se recomienda utilizar un valor $F_R = 1.50$.

En resumen, los espectros de diseño para el Grupo B obtenidos mediante PRODISIS se verán afectados por los siguientes factores:

1. Factor de importancia estructural, 1.50;
2. Factor reductor por ductilidad, que se obtiene mediante las ecuaciones (4.13) y (4.14), y
3. Factor de sobrerresistencia, $F_R = 1.50$.

Debido a que los espectros de diseño son adimensionales, suministrados como una fracción de la aceleración de la gravedad, es necesario introducir un factor de normalización de 9.81 m/s^2 .

4.3. MODELO Y DISEÑO DE LOS PUENTES MEDIANTE SAP2000

En esta sección se presentan las condiciones de modelado y diseño de los puentes realizados mediante el programa SAP2000 [CSI, 2007].

Elementos estructurales tales como diafragmas, trabes principales y losa mantienen un diseño constante entre modelos y solamente se revisó que no excedieran su capacidad para la demanda de diseño. Los únicos elementos que se diseñaron fueron las pilas, asumiendo que el comportamiento no lineal se concentraría en ellas.



Figura 4.10. Puente modelado en SAP2000.

El código de diseño utilizado es el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal [RCDF, 2001] y sus correspondientes Normas Técnicas Complementarias; con la variante de considerar las combinaciones de carga, así como el efecto de la acción sísmica, descritas en la sección 4.2.

4.3.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Los materiales definidos para los puentes son el concreto y el acero; el asfalto, como se verá más adelante, se consideró como un peso adicional en la losa, tomando en cuenta sólo su peso volumétrico.

Una propiedad importante del concreto es su resistencia especificada a compresión, f'_c ; el acero de refuerzo utilizado corresponde a barras corrugadas *ASTM A615 G60*, para el cual es necesario conocer las siguientes propiedades que lo definen: el valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia, F_y ; el esfuerzo mínimo esperado de ruptura en tensión, F_u ; el esfuerzo de fluencia esperado, F_{ye} , y el esfuerzo de tensión esperado, F_{ue} .

Algunas otras propiedades de los materiales son: módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young, E ; coeficiente de Poisson, ν ; coeficiente de expansión térmica, α ; módulo de elasticidad transversal o módulo de cortante, G , y el peso volumétrico, γ (Tabla 4.5).

Tabla 4.5 Propiedades de los materiales

Material	f'_c	F_y	F_u	F_{ye}	F_{ue}	E	ν	α	G	γ
	(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)		($mm/mm/^\circ C$)	(t/m^2)	(t/m^3)
Concreto	2500.00	---	---	---	---	2213594.36	0.2	9.90E-06	922330.98	2.4028
	3500.00	---	---	---	---	2619160.17	0.2	9.90E-06	1091316.74	2.4028
Acero	---	42184.18	63276.27	46402.60	69603.89	20389019.00	0.3	1.17E-05	7841930.38	7.8490

4.3.2. ELEMENTOS TIPO PLACA (Shell)



Figura 4.12 Elementos tipo placa (rojo) y elementos tipo barra (azul)

La losa fue modelada con elementos finitos tipo placa (*Shell-Thin*) de concreto con una resistencia a compresión de $f'_c = 2500 \text{ t/m}^2$ y un espesor de membrana de 0.20 m . En la Figura 4.12 se muestran en color rojo dichos elementos.

4.3.3. ELEMENTOS TIPO BARRA

Elementos tipo barra fueron utilizados para modelar las traveses AASTHO tipo IV, diafragmas, cabezales y columnas de las pilas. Se utilizó concreto con $f'_c = 3500 \text{ t/m}^2$ para las traveses principales y $f'_c = 2500 \text{ t/m}^2$ para los demás elementos; las secciones transversales utilizadas pueden ser consultadas en la sección 4.1.

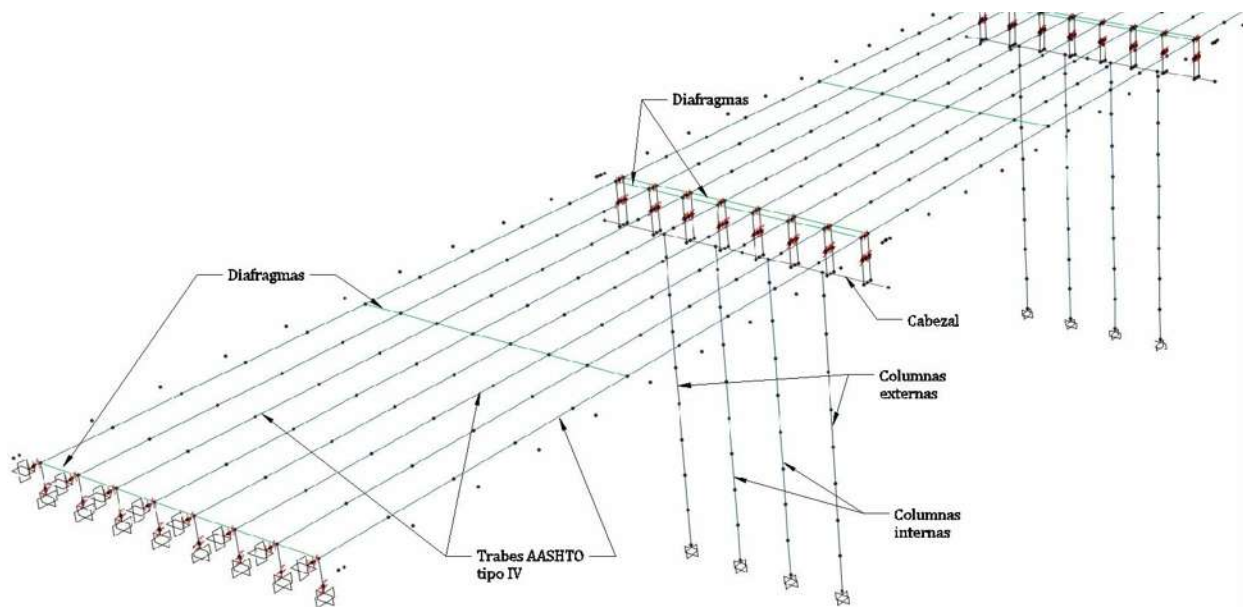


Figura 4.13 Elementos tipo barra y su correspondencia

Para modelar las pilas, es recomendable definir un elemento separado en la parte superior de cada columna, con dimensión igual a la mitad del peralte del cabezal, con el fin de representar la porción de columna que se encuentra embebida en el cabezal. Para lo anterior, deben definirse *zonas rígidas*, ZR , tanto en el cabezal como en las columnas; la ZR correspondiente a las columnas tiene una longitud de 0.75 m , mientras que para los cabezales dicha dimensión depende del diámetro de la columna, teniendo que definir una zona rígida a cada lado de la unión columna-cabezal con una longitud igual a la mitad del diámetro de la columna correspondiente.

La altura libre de las pilas, h , es 5 m , 10 m , 15 m y 20 m , según el modelo de puente que se trate; por otro lado la altura total de las pilas, h_T , es igual a $h_T = h + ZR$, donde $ZR = 0.75 \text{ m}$. Las zonas rígidas, así como la altura

libre y total de una pila, es posible observarlas en la Figura 4.14. Para definir las zonas rígidas en SAP2000 se especificó un factor de zona rígida de 1.0, a fin de tomar en cuenta la gran rigidez de la unión.

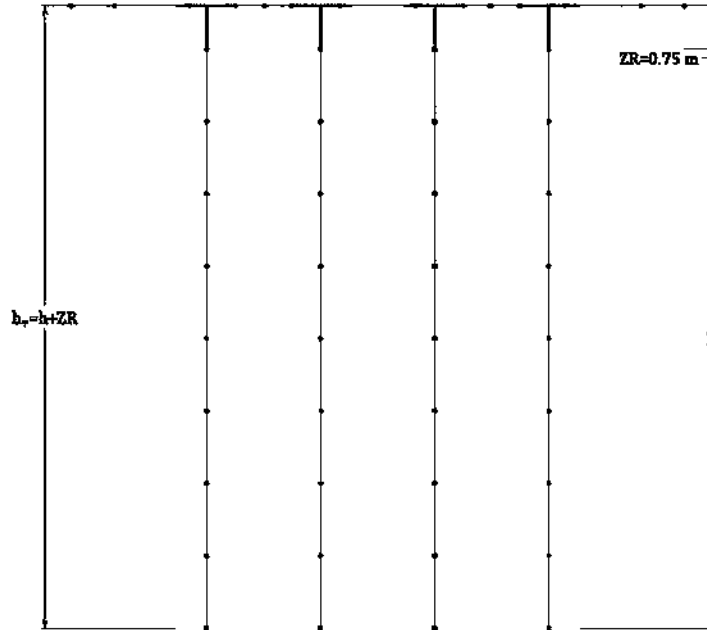


Figura 4.14 Zonas rígidas en la unión columna-cabezal

La conexión entre ciertos elementos es excéntrica, es decir, los ejes de los elementos no se intersectan. Ejemplo de ello es la conexión entre el cabezal y los apoyos de neopreno, o entre estos y las trabes principales. Debido a lo anterior fue necesario el uso de elementos rígidos adicionales para lograr la conexión, cuyo peso propio fuera despreciable y lo suficientemente rígidos para que no modificaran el comportamiento de la estructura. Dichos elementos rígidos o *barras rígidas auxiliares* pueden ser observados en la Figura 4.15.

4.3.4. ELEMENTOS TIPO LINK

Tanto los apoyos de neopreno como las juntas de expansión es posible modelarlos mediante elementos tipo *link*. Los apoyos de neopreno se representaron mediante elementos *link lineales*, definidos mediante las rigideces propias del apoyo (ver sección 4.1.2). Por otro lado, las juntas de expansión son modeladas mediante elementos *link no lineales* o *gap*, considerando una rigidez y amortiguamiento efectivos nulos para análisis lineales; para análisis no lineales se considera un espaciamiento igual al ancho de la junta de expansión y cuando este se cierra, el elemento adquiere una rigidez infinita. El peso propio de los elementos tipo *link*, tanto lineales como no lineales, es despreciable.

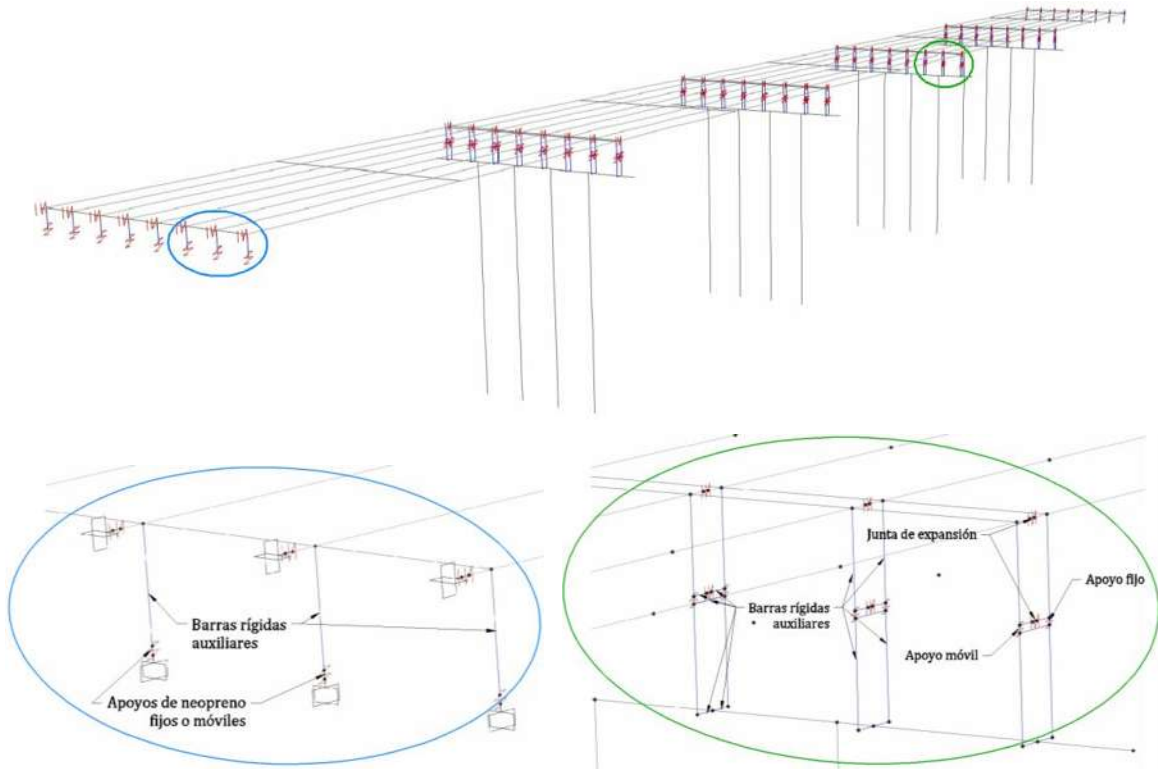


Figura 4.15 Elementos rígidos auxiliares y elementos link

4.3.5. CONDICIONES DE FRONTERA

Se supone que tanto la cimentación como los estribos son rígidos; en tal caso, los desplazamientos y rotaciones en todas las direcciones se encuentran restringidos. Por lo tanto, se considera que la estructura se encuentra empotrada en dichos puntos.

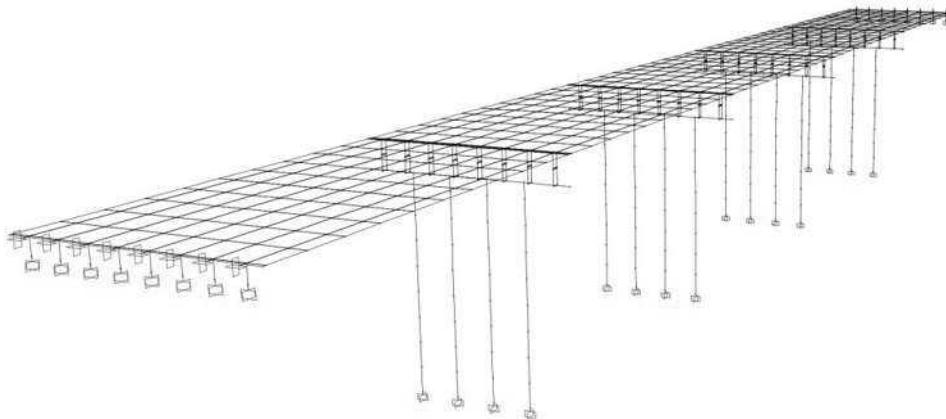


Figura 4.16 Condiciones de frontera

4.3.6. SOLICITACIONES DE CARGA PARA LOS PUENTES EN ESTUDIO

Para aplicar las combinaciones de carga definidas en la sección 4.2.1 resulta necesario conocer la carga permanente (PL), la carga viva vehicular (LL) y la acción sísmica que actúa sobre los puentes (EQ).

4.3.6.1. Carga permanente

La carga permanente está conformada por el peso propio de los componentes estructurales y accesorios no estructurales, DC , así como por el peso propio de las superficies de rodamiento e instalaciones para servicios públicos, DW .

Una vez definidas las secciones de los elementos placa o elementos barra, y asignado el tipo de material con su correspondiente peso volumétrico, el programa SAP2000 calcula de manera automática el peso propio de dichos elementos mediante el patrón de carga $DEAD$. Por esa razón, solamente se describe en esta sección el análisis de carga permanente debida a elementos adicionales.

Debido a que la losa de concreto fue representada mediante elementos placa, la carga permanente debida al peso propio de la carpeta asfáltica y los parapetos se consideró como una carga uniformemente distribuida sobre el área de los elementos placa que modelan a la losa.

El peso volumétrico de la carpeta asfáltica es $\gamma = 2.20 \text{ t/m}^3$; para los parapetos, siendo de concreto, es de $\gamma = 2.40 \text{ ton/m}^3$. Para conocer la carga uniformemente distribuida sobre la losa debida a la carpeta asfáltica multiplicamos el valor de su peso volumétrico por su espesor, siendo este de 0.10 m . Por lo tanto $w_{asfalto} = \gamma e_{asfalto} = 2.20 \text{ t/m}^3 (0.10\text{m}) = 0.22 \text{ t/m}^2$. A partir de la sección transversal de los parapetos sería posible conocer su peso total y después repartir este sobre la losa, sin embargo la normativa AASHTO permite simplificar la carga muerta debida a elementos como parapetos, considerando su peso como una carga uniformemente repartida de $w_{parapetos} = 0.080 \text{ t/m}^2$.

Por lo tanto, la carga que se consideró uniformemente repartida sobre los elementos placa que representan a la losa fue de $w = 0.22 + 0.080 = 0.30 \text{ t/m}^2$ (Figura 4.17).

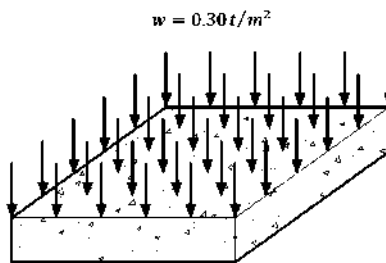


Figura 4.17 Carga uniformemente repartida en un elemento tipo placa

4.3.6.2. Carga viva vehicular

El número de carriles de carga que son tomados en cuenta para el diseño de los puentes es de dos. El ancho de cada carril de carga es de 3.0 m y la longitud medida centro a centro de los ejes de neumáticos es de 1.80 m (Figura 4.18).

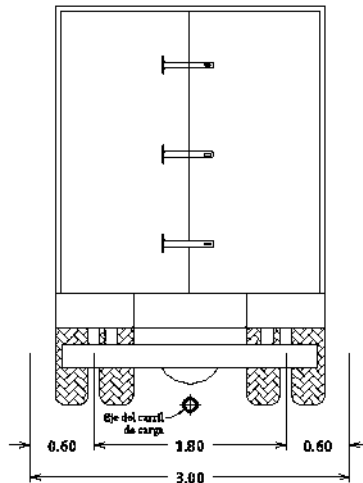


Figura 4.18 Ancho del carril de carga (acotación en metros)

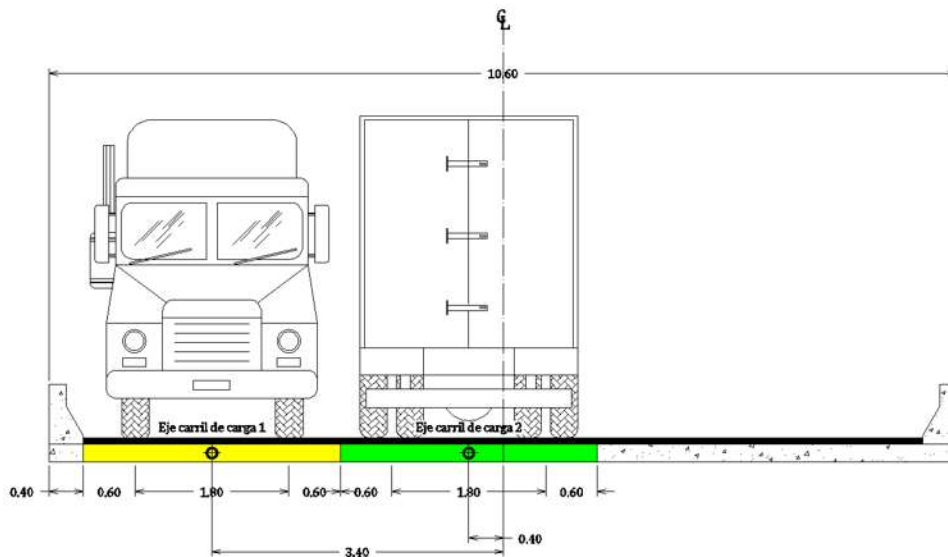


Figura 4.19 Ubicación de los ejes de carril de carga (acotación en metros)

Para ubicar el eje del primer carril de carga se considera que el eje de neumáticos más cercano al parapeto está separado del mismo a una distancia mínima de 0.60 m; de esta manera, la distancia medida entre el centro de línea del puente, *CL*, y el eje del *carril de carga 1* es igual a 3.40 m. Cada carril se forma con el ancho de 1.80 m entre las ruedas del vehículo y 0.60 m libres a cada lado, de manera que dos carriles contiguos de

circulación quedan ubicados como se muestra en la Figura 4.19. Así, el eje del *carril de carga 2* se encuentra a 0.40 m del CL del puente.

Se considera que los puentes en estudio se encuentran ubicados en carreteras tipo B2, las cuales constan de dos carriles y forman parte de la red primaria, de acuerdo a la clasificación que realiza la SCT en el *Apéndice para la Clasificación de los Caminos y Puentes a que se refiere el artículo 6º del Reglamento Sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal* [SCT, 2006].

Para el análisis de la carga vehicular para puentes en carreteras tipo B2, la SCT establece que deben analizarse las diferentes condiciones de simultaneidad que se establezcan entre un carril cargado con un camión T3-S3 Tipo 1 (48.50 ton) o T3-S2-R4 Tipo 1 (72.50 ton) y el carril restante cargado con un camión HS-20, para así definir la condición más desfavorable que gobierna el diseño. Dichas condiciones deben ser afectadas por los factores de presencia múltiple que establecen las Especificaciones AASHTO [AASHTO, 2010], teniendo un valor de 1.20 para un carril cargado y de 1.00 para dos carriles cargados.

Los pesos y dimensiones de los camiones de diseño se muestran en la Figura 4.20.

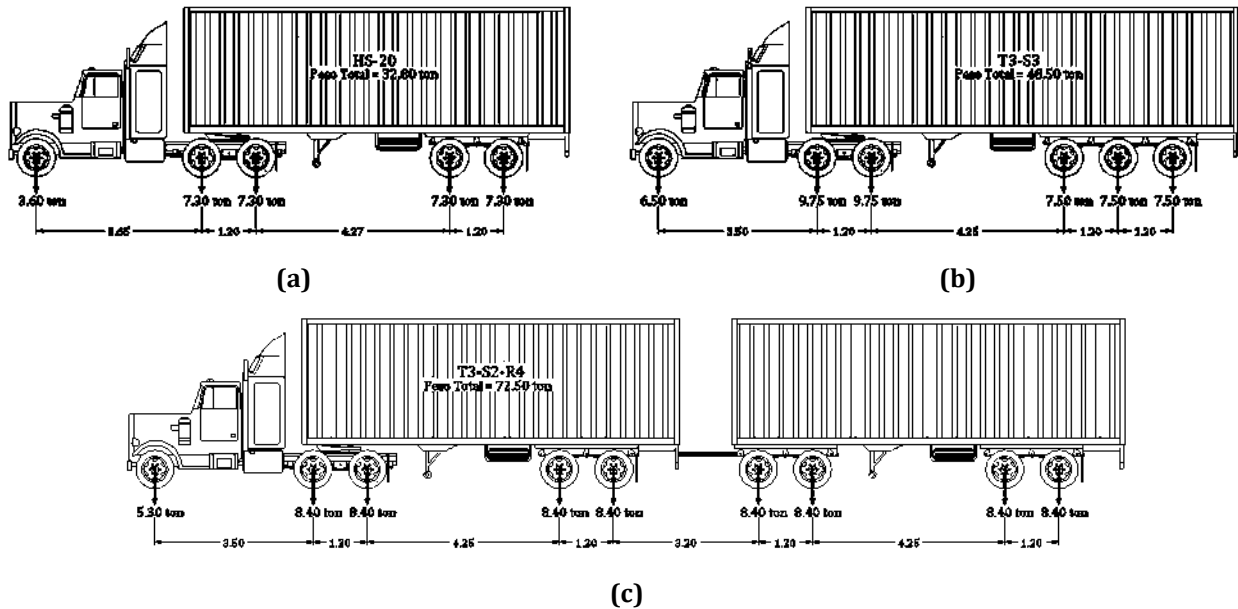


Figura 4.20 Pesos y dimensiones de los camiones de diseño: (a) HS-20; (b) T3-S3 Tipo 1, y (c) T3-S2-R4 Tipo 1 (acotación en metros)

4.3.6.3. Espectros de diseño

Como se mencionó al inicio de este capítulo, los puentes fueron diseñados para cuatro distintos espectros de diseño, a fin de considerar la acción sísmica. Los espectros de diseño seleccionados corresponden a las siguientes ciudades: Morelia, Michoacán; Aguililla, Michoacán; Lázaro Cárdenas, Michoacán, y Acapulco, Guerrero (Figura 4.21).

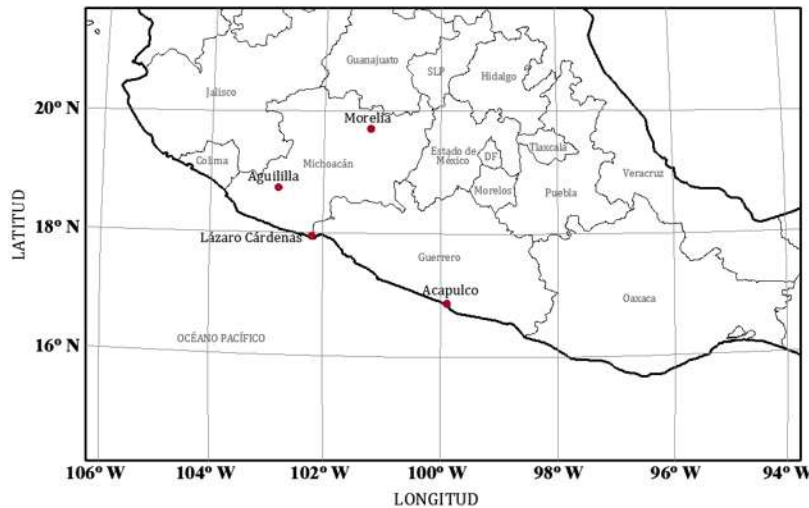


Figura 4.21 Ubicación de las ciudades de donde se obtienen los espectros de diseño

Mediante el programa PRODISIS y las coordenadas de las mencionadas ciudades se obtuvieron los espectros transparentes en roca para estructuras del Grupo B (Figura 4.22); para el diseño de los puentes, dichos espectros fueron afectados por los factores especificados en la sección 4.2.2.3.

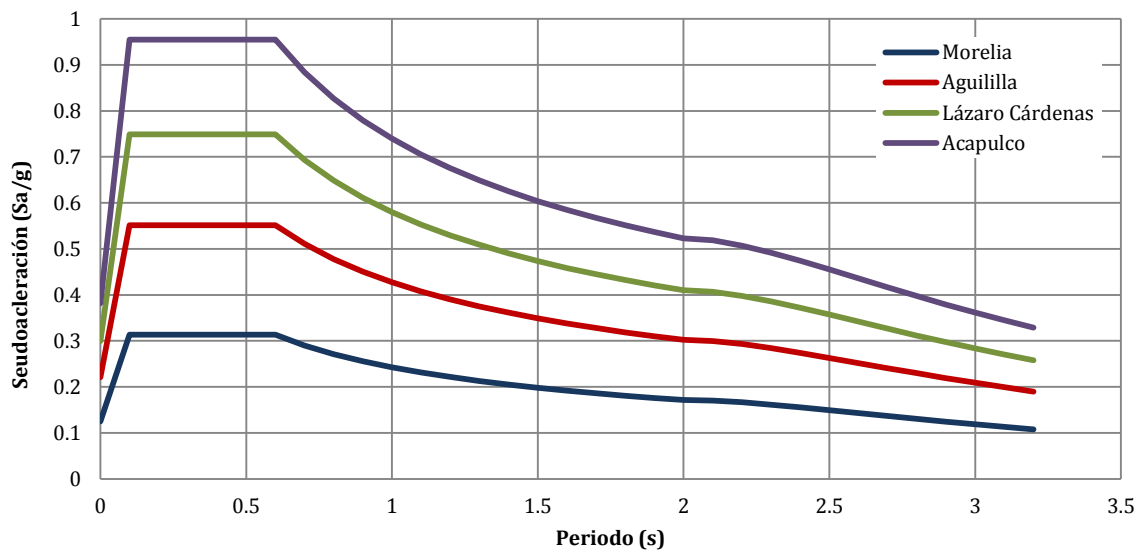


Figura 4.22 Espectros transparentes en roca (Grupo B)

Los espectros de diseño están definidos por los siguientes parámetros: aceleración máxima del terreno, a_0 ; ordenada espectral máxima o coeficiente de diseño, c ; periodos característicos del espectro, T_a y T_b , que para terreno rocoso tienen valores $T_a = 0.1 s$ y $T_b = 0.6 s$; caída de la rama espectral descendente, k , cuyo valor para terreno rocoso es $k = 2.0$.

Las coordenadas de las ciudades de donde se obtuvieron los espectros de diseño, así como los valores de los parámetros c y a_0 (expresados como fracción de la gravedad), se indican en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Espectros de diseño (Coordenadas y parámetros)

Ubicación		Coordenadas		a_0	c
Municipio	Estado	Latitud	Longitud		
Morelia	Michoacán	19.70°	-101.19°	0.1253	0.3132
Aguililla		18.74°	-102.79°	0.2207	0.5517
Lázaro Cárdenas		17.95°	-102.20°	0.2995	0.7488
Acapulco	Guerrero	16.86°	-99.88°	0.3819	0.9548

4.3.7. RESULTADOS DE DISEÑO

Como se aclaró antes, los únicos elementos diseñados fueron las pilas. Las columnas son de sección circular constante y con su diseño se determina el diámetro, y la cantidad y disposición del acero de refuerzo. Por otro lado, el ancho del cabezal está en función del diámetro de las columnas, mientras su peralte es constante $h = 1.50 m$.

Una vez sometidos los puentes a las combinaciones de carga establecidas con anterioridad, el diseño se rigió por la combinación de carga más desfavorable para la estructura. Aunado a esto, se eligió el diseño de la columna más desfavorable para ser adoptado en todas las demás columnas, siguiendo la práctica común en proyectos reales.

Los requisitos que las columnas debieron cumplir con relación al refuerzo longitudinal y transversal se detallan a continuación.

4.3.7.1. Requisitos del refuerzo longitudinal y transversal en columnas

De acuerdo con las Especificaciones AASHTO [AASHTO, 2010] la cuantía de acero longitudinal, considerando diseño por sismo, tiene los límites especificados en la Tabla 4.7. De acuerdo al comentario C5.10.11.4.1a de

dichas especificaciones, el límite inferior se establece a razón de la preocupación por el efecto de las deformaciones dependientes del tiempo, así como para evitar diferencias importantes entre los momentos de fisuración por flexión y fluencia; además que las columnas con una cuantía de acero inferior al 1.0% no muestran una ductilidad adecuada [Halvorsen, 1987, citado por AASHTO, 2010]. El límite superior se marca con la finalidad de evitar la congestión y limitar la fisuración por contracción, así como para permitir el anclaje de las barras de acero longitudinal.

Tabla 4.7 Límites para la cuantía de acero longitudinal según AASHTO (2010)

Zona sísmica	Cuantía de acero longitudinal	
	<i>min</i>	<i>max</i>
1	0.01	0.06
2 y 3	0.01	0.04

Según las NTCC-2004 (2004), la cuantía de acero longitudinal de la sección no será menor que $20/f_y$ (f_y en kg/cm^2) ni mayor que 0.06. En cuanto al refuerzo transversal en columnas, la separación entre estribos no deberá ser mayor que: (a) $850/\sqrt{f_y}$ veces el diámetro de la barra de refuerzo longitudinal (f_y en kg/cm^2); (b) 48 diámetros de la barra del estribo; ni que (c) la mitad de la menor dimensión de la columna.

4.3.7.2. Diseño final de las pilas

En la siguiente tabla se resume el diseño final de las pilas para cada modelo.

Tabla 4.8 Resultados de diseño para las pilas

Longitud de claro (m)	Altura de pilas (m)	Espectro de Diseño	Ancho del cabezal (m)	Diámetro de la columna (m)	Refuerzo longitudinal		Refuerzo Transversal	Modelo
					Num#Var	ρ (%)	#Var@(m)	
20	5	Morelia	1.20	0.80	18#8	1.8252%	#4@0.19	C20P05-0
		Aguililla	1.35	0.95	34#8	2.4449%	#4@0.16	C20P05-1
		Lázaro Cárdenas	1.50	1.10	42#8	2.2526%	#4@0.14	C20P05-2
		Acapulco	1.60	1.20	32#10	2.3184%	#5@0.20	C20P05-3
	10	Morelia	1.25	0.85	23#8	2.0659%	#4@0.18	C20P10-0
		Aguililla	1.40	1.00	39#8	2.5310%	#4@0.15	C20P10-1
		Lázaro Cárdenas	1.70	1.30	36#10	2.2224%	#5@0.18	C20P10-2
		Acapulco	1.80	1.40	48#10	2.5550%	#5@0.17	C20P10-3

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Capítulo 4. Descripción de los modelos estructurales elásticos

Tabla 4.8 _ Continuación

Longitud de claro (m)	Altura de pilas (m)	Espectro de Diseño	Ancho del cabezal (m)	Diámetro de la columna (m)	Refuerzo longitudinal		Refuerzo Transversal	Modelo
					Num#Var	ρ (%)	#Var@(m)	
20	15	Morelia	1.40	1.00	34#8	2.2065%	#4@0.15	C20P15-0
		Aguililla	1.55	1.15	53#8	2.6008%	#4@0.13	C20P15-1
		Lázaro Cárdenas	1.80	1.40	41#10	2.1824%	#5@0.17	C20P15-2
		Acapulco	1.90	1.50	57#10	2.6430%	#5@0.16	C20P15-3
	20	Morelia	1.50	1.10	53#8	2.8426%	#4@0.14	C20P20-0
		Aguililla	1.70	1.30	70#8	2.6880%	#4@0.12	C20P20-1
		Lázaro Cárdenas	1.85	1.45	54#10	2.6796%	#5@0.16	C20P20-2
		Acapulco	2.00	1.60	62#10	2.5267%	#5@0.15	C20P20-3
30	5	Morelia	1.25	0.85	26#8	2.3354%	#4@0.18	C30P05-0
		Aguililla	1.45	1.05	41#8	2.4134%	#4@0.15	C30P05-1
		Lázaro Cárdenas	1.60	1.20	48#8	2.1632%	#4@0.13	C30P05-2
		Acapulco	1.70	1.30	37#10	2.2841%	#5@0.18	C30P05-3
	10	Morelia	1.30	0.90	34#8	2.7241%	#4@0.17	C30P10-0
		Aguililla	1.55	1.15	53#8	2.5517%	#4@0.13	C30P10-1
		Lázaro Cárdenas	1.75	1.35	46#10	2.6333%	#5@0.18	C30P10-2
		Acapulco	1.85	1.45	58#10	2.8780%	#5@0.16	C30P10-3
	15	Morelia	1.50	1.10	38#8	2.0381%	#4@0.14	C30P15-0
		Aguililla	1.65	1.25	62#8	2.5751%	#4@0.12	C30P15-1
		Lázaro Cárdenas	1.85	1.45	53#10	2.6299%	#5@0.16	C30P15-2
		Acapulco	1.95	1.55	69#10	2.9963%	#5@0.15	C30P15-3
	20	Morelia	1.65	1.25	46#8	1.9106%	#4@0.12	C30P20-0
		Aguililla	1.80	1.40	52#10	2.7679%	#5@0.17	C30P20-1
		Lázaro Cárdenas	2.00	1.60	56#10	2.2822%	#5@0.15	C30P20-2
		Acapulco	2.20	1.80	81#10	2.6082%	#5@0.13	C30P20-3

Capítulo 5

MODELADO Y ANÁLISIS NO LINEAL EN LA HISTORIA DEL TIEMPO

Las demandas sísmicas de una estructura tipo puente sometida a un movimiento sísmico particular pueden ser estimadas a través del análisis equivalente de un modelo matemático que incorpore el comportamiento de cada uno de los elementos que conforman el puente. Dicho modelo idealizado debe representar apropiadamente la geometría actual, condiciones de frontera, carga gravitacional, masa distribuida, disipación de energía, y propiedades no lineales de todos los componentes principales del puente, a fin de obtener resultados confiables para una variedad de escenarios sísmicos [Aviram, Mackie, & Stojadinovic, 2008].

El modelado y análisis no lineal de una estructura permite una determinación más precisa de los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos de los componentes críticos en el puente. En cambio, al utilizar un modelo elástico lineal de una estructura tipo puente, el análisis correspondiente solo captura con precisión el comportamiento estático y dinámico del sistema cuando los esfuerzos en todos los elementos del puente no excedan su límite elástico.

Para representar apropiadamente la respuesta esperada de los puentes ante ciertos niveles de demanda sísmica, es posible incorporar dos categorías de comportamiento no lineal a los modelos: *no linealidad geométrica* y *no linealidad del material*. La primera categoría consiste en incluir los efectos de deformaciones y desplazamientos en la formulación de las ecuaciones de equilibrio. La segunda categoría de no linealidad es debida al comportamiento inelástico de los elementos a causa de las relaciones esfuerzo-deformación no lineales del material, así como por la presencia de juntas de expansión, resortes no lineales, entre otros componentes.

Aviram et al. (2008) recomiendan adoptar ciertos criterios para el modelo inelástico de los elementos primarios de una estructura tipo puente estándar. La Tabla 5.1 resume dichos criterios, aclarando que

elementos como la cimentación y los estribos no fueron incluidos en dicha tabla, a razón de que fueron supuestos como empotrados para los modelos de puente en estudio.

Tabla 5.1 Tipos de modelado de los componentes de los puentes [Adaptada de Aviram et al, 2008]

Componente	Tipo de modelado	
	Elástico-Lineal	No lineal
Superestructura	X	
Columna-Zona de articulación plástica		X
Columna-Fuera de la zona de articulación plástica	X	
Cabezal	X	
Juntas de expansión		X

Para los análisis no lineales de los puentes en estudio se descartó el incluir la no linealidad geométrica, considerando así solamente la no linealidad del material.

En el presente capítulo se describen los modelos no lineales de los puentes realizados mediante el programa de cómputo PERFORM3D [CSI, 2006] y las consideraciones para llevar a cabo los análisis no lineales. Se definen los parámetros de demanda ingenieril (PDIs) que serán monitoreados durante los análisis no lineales en la historia del tiempo de los modelos, sometidos a los registros sísmicos seleccionados en el Capítulo 3.

Con el conjunto de PDIs que se obtengan de dichos análisis y relacionándolos con la medida de intensidad (MI) correspondiente a la demanda sísmica, será posible construir los diagramas de dispersión MI-PDI de los cuales se obtendrán las funciones de demanda estructural, lo cual se trata con detalle en el Capítulo 6.

5.1. MODELADO NO LINEAL DE LOS PUENTES

Como fue detallado en el Capítulo 4, los puentes en SAP2000 hasta ese momento se modelaron para realizar solamente análisis elástico-lineal, es decir, no se consideró la no linealidad debida al comportamiento inelástico de los materiales.

Para llevar a cabo los análisis no lineales en la historia del tiempo de los puentes, es necesario determinar el modelo constitutivo de los materiales, así como definir el comportamiento no lineal que tendrá lugar en las pilas. También es necesario considerar el comportamiento no lineal de componentes adicionales en el puente, tal es el caso de las juntas de expansión.

El modelado y análisis no lineal se realizó mediante el programa PERFORM3D. La geometría del puente, las secciones transversales de los elementos, las condiciones de frontera, los apoyos de neopreno, entre otros aspectos, fueron descritos en el Capítulo 4. Para los modelos en PERFORM3D, todos los elementos estructurales (a excepción de los apoyos de neopreno y juntas de expansión) fueron modelados como elementos barra.

En los modelos de puente destinados a los análisis no lineales se crearon diafragmas rígidos a fin de evitar el uso de elementos placa, ya que el considerar a la losa como elementos placa trae consigo un aumento considerable en el tiempo en el que se ejecutan los análisis no lineales en la historia del tiempo. Por ese motivo, la carga muerta debida al peso de la losa, la carpeta asfáltica y los parapetos se distribuye de manera uniforme en las trabes principales. Lo anterior se verá con más detalle en la sección 5.1.3.

En la presente sección se describe también la forma de modelar las columnas, a fin de considerar las articulaciones plásticas que puedan formarse en ellas, así como el tratamiento especial que se le debe dar a las trabes AASHTO tipo IV en el programa PERFORM3D.

5.1.1. PROPIEDADES NO LINEALES DEL MATERIAL

Con el objetivo de capturar con una mayor precisión la capacidad y el comportamiento de los puentes, es necesario establecer las relaciones esfuerzo-deformación ($\sigma - \varepsilon$) para el concreto confinado y no confinado, así como para el acero de refuerzo.

En el caso del concreto, se utiliza con frecuencia el modelo de Mander, Priestley, & Park (1998) para representar el comportamiento esfuerzo-deformación uniaxial para concreto confinado y no confinado. En el caso del concreto confinado la relación $\sigma - \varepsilon$ depende de la geometría de la sección, así como de la disposición del acero de refuerzo, por lo que no serán detallados en esta sección. Para el acero de refuerzo, el modelo esfuerzo deformación adoptado fue propuesto por Park & Paulay (1975).

Los modelos constitutivos para el concretos no confinado con resistencias a compresión $f'_c = 2500 \text{ t/m}^2$ y $f'_c = 3500 \text{ t/m}^2$ son mostrados en la Figura 5.1, mientras que el modelo para el acero de refuerzo se ilustra en la Figura 5.2.

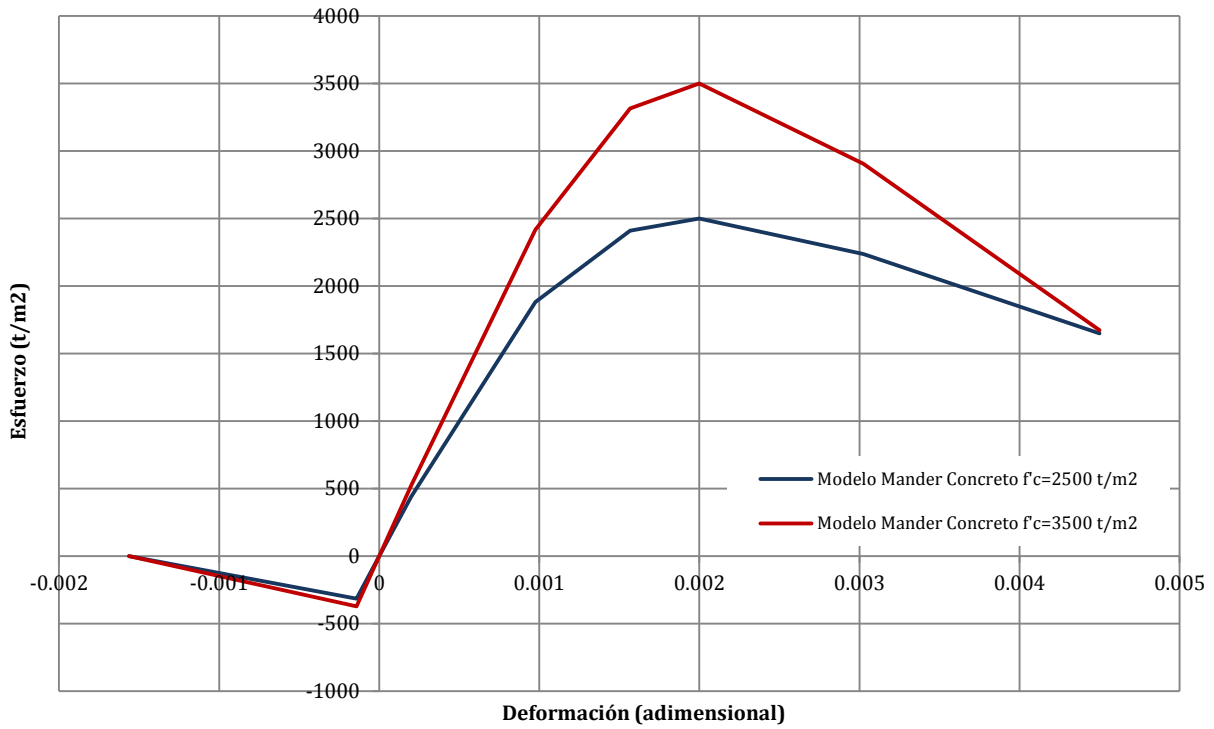


Figura 5.1 Modelo constitutivo para el concreto no confinado

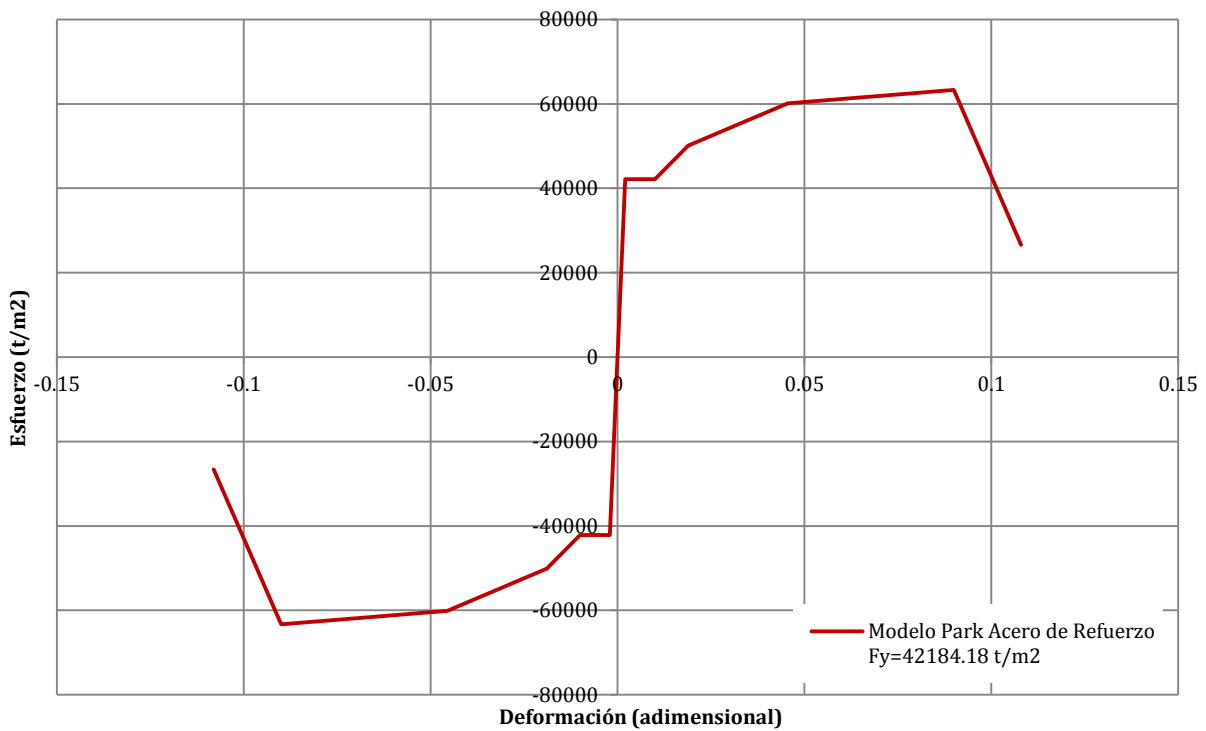


Figura 5.2 Modelo constitutivo para el acero de refuerzo

5.1.2. DISCRETIZACIÓN DE ELEMENTOS Y ASIGNACIÓN DE MASAS

Se recomienda que los elementos barra que representen elementos tales como las columnas, cabezales y traves, sean discretizados utilizando un mínimo de cinco elementos de igual longitud, excepto para claros con juntas de expansión o articulaciones intermedias [Aviram et al., 2008].

Las columnas fueron discretizadas en 5 segmentos en pilas con altura de 5.0 m, en todos los demás casos fueron discretizadas en 8 segmentos de igual longitud. Además, en cada columna existe un segmento adicional de 0.75 m, donde se asigna la zona rígida de la columna en su conexión con el cabezal.

El cabezal tiene una discretización no regular, ya que debe estar dividido en su conexión con las columnas, así como con las traves principales, como se ejemplifica en la Figura 5.3 para una pila de 10 m.

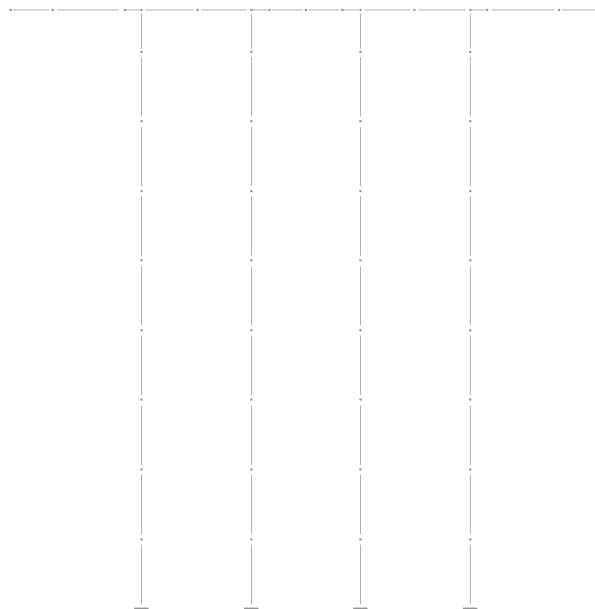


Figura 5.3 Discretización de una pila de 10 m

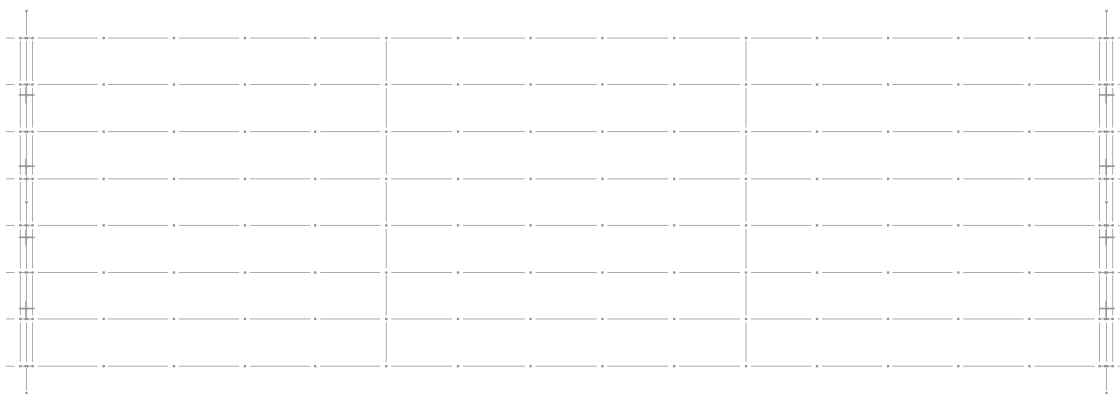


Figura 5.4 Discretización de los elementos de un claro intermedio de 30 m

Las traveses tipo AASHTO están divididas, entre diafragmas, en 5 segmentos de igual longitud. Por otro lado los diafragmas, por su intersección con las traveses principales, se encuentran divididos en 7 segmentos.

Conociendo el peso volumétrico de los materiales y las secciones transversales de los elementos, se determina el peso por metro lineal de los elementos barra. Sin embargo, el programa PERFORM3D, como otros tantos programas de análisis, calcula automáticamente la masa traslacional de todos los elementos en las tres direcciones globales del puente (longitudinal, transversal y vertical) y le asigna la correspondiente masa concentrada a cada nodo, basado en las longitudes tributarias de los mismos (Figura 5.5).

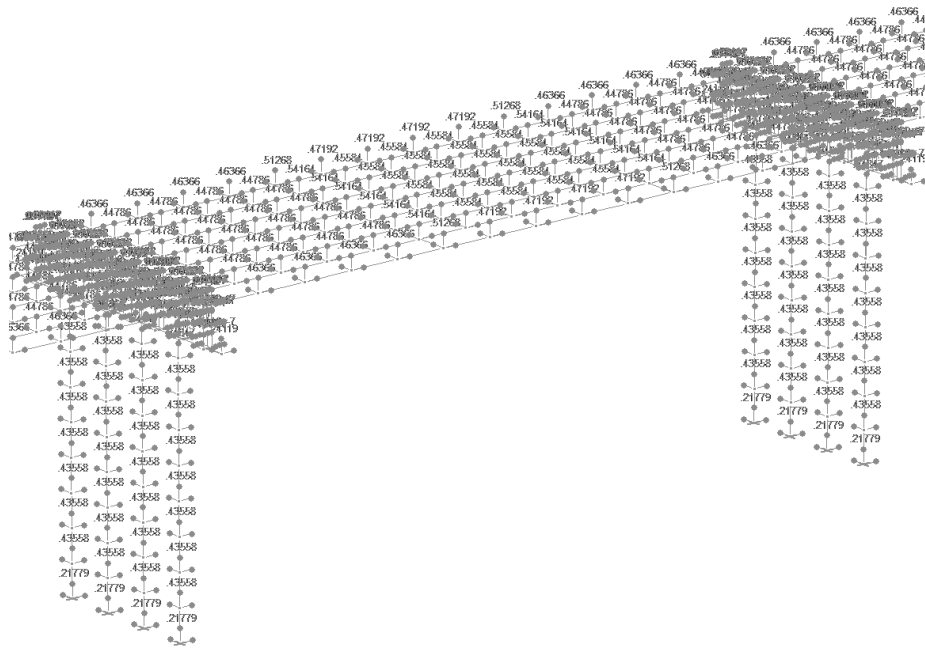


Figura 5.5 Masas nodales

Además de la masa nodal proveniente del peso propio de los elementos, existe una asignación de masa adicional a los nodos de las traveses principales, lo cual es tratado a detalle en la sección 5.1.3.

5.1.3. MODELO DE LA SUPERESTRUCTURA

Elementos como traveses secundarias (diafragmas) y barras rígidas adicionales, siguen los mismos lineamientos descritos en el Capítulo 4. Para el modelo no lineal, a continuación se describe como se consideró a la losa y a las traveses AASHTO en el programa PERFORM3D.

5.1.3.1. Losa - diafragma rígido

Como se mencionó anteriormente, en los puentes destinados a los análisis no lineales se crearon diafragmas rígidos a fin de evitar el uso de elementos placa para modelar la losa, con lo que el tiempo de análisis se ve reducido. Para modelar los diafragmas rígidos es necesario establecer un conjunto de restricciones (*constraints*) en todos los nodos pertenecientes a cada claro; por lo que, en cada puente, existirá un total de cinco conjuntos de restricciones.

El tipo de restricción utilizada es la *restricción de piso rígido (rigid floor constraint)*. Para este tipo de restricción, todos los nodos pertenecientes al mismo conjunto deben tener la misma coordenada vertical. Las restricciones hacen que los desplazamientos en los ejes longitudinal y transversal, así como las rotaciones alrededor el eje vertical, sean las mismas para todos los nodos pertenecientes al mismo conjunto.

Los nodos en los que se aplican dichas restricciones pertenecen a los elementos barras que representan a las traveses principales y traveses secundarias. En la Figura 5.6 se observa un conjunto de restricciones en el claro central de uno de los modelos.

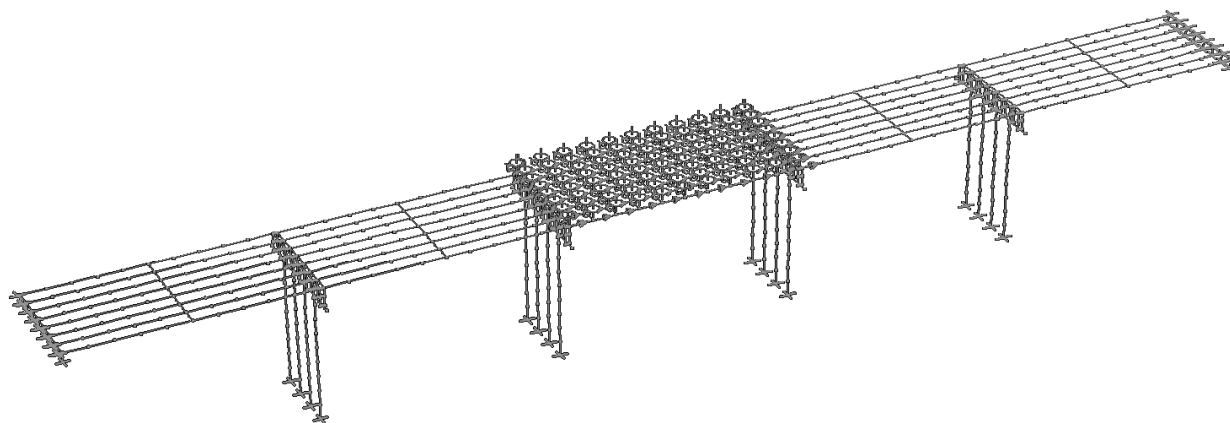


Figura 5.6 Conjunto de restricciones en el claro central del puente

Recordemos que en los puentes modelados para llevar a cabo análisis estático-lineal, la losa de concreto fue modelada mediante elementos placa, mientras que el peso debido a la carpeta asfáltica y a los parapetos se consideró como una carga uniformemente distribuida sobre el área de los elementos placa.

En el caso de considerar a la losa como diafragmas rígidos, la carga muerta debida al peso de la losa, la carpeta asfáltica y los parapetos se distribuye de manera uniforme en las traveses principales. El análisis de cargas por m^2 de los elementos anteriores se muestra en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Análisis de cargas

Elemento	γ	<i>espesor</i>	<i>w</i>
	(t/m^3)	(<i>m</i>)	(t/m^2)
Losa de concreto	2.4028	0.20	0.4806
Carpeta asfáltica	2.2000	0.10	0.2200
Parapetos	---	---	0.08
		$\sum w = w_T$	0.7806

Para determinar la carga que sería asignada a cada trabe, es necesario conocer el ancho tributario de cada trabe, siendo este de 1.40 m para traveses externos y 1.30 m para traveses internos (Figura 5.7). Dichos anchos tributarios se multiplican por la carga total por unidad de superficie, w_T , y obtenemos como resultado la carga por unidad de longitud que debe aplicarse a cada trabe (Tabla 5.3).

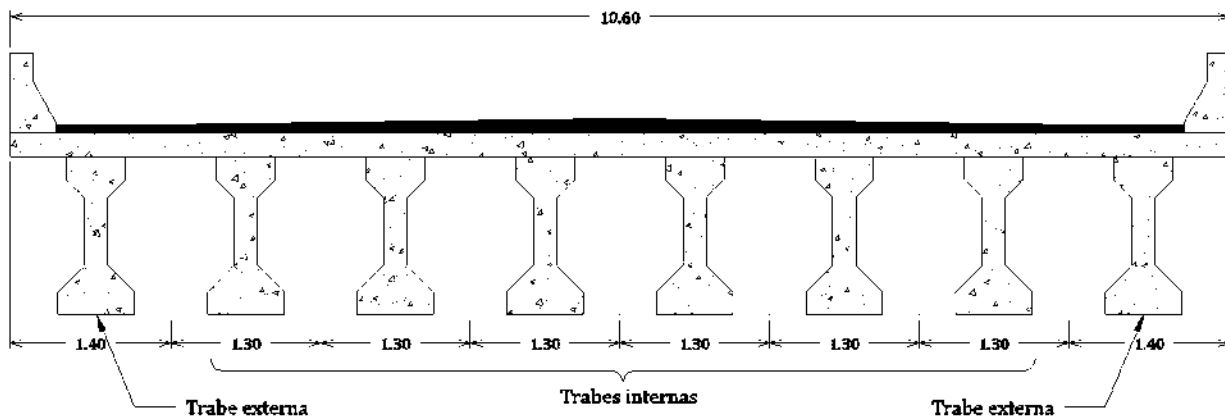


Figura 5.7 Ancho tributario

Tabla 5.3 Carga uniformemente distribuida en traveses

Ubicación de la trabe	Ancho tributario	w_T	Carga uniformemente distribuida
	(<i>m</i>)	(t/m^2)	(t/m)
Externa	1.40	0.7806	1.0928
Interna	1.30		1.0147

Las Figuras 5.8 y 5.9 muestran la asignación de cargas adicionales a las traveses principales externas e internas en el programa PERFORM3D, respectivamente.

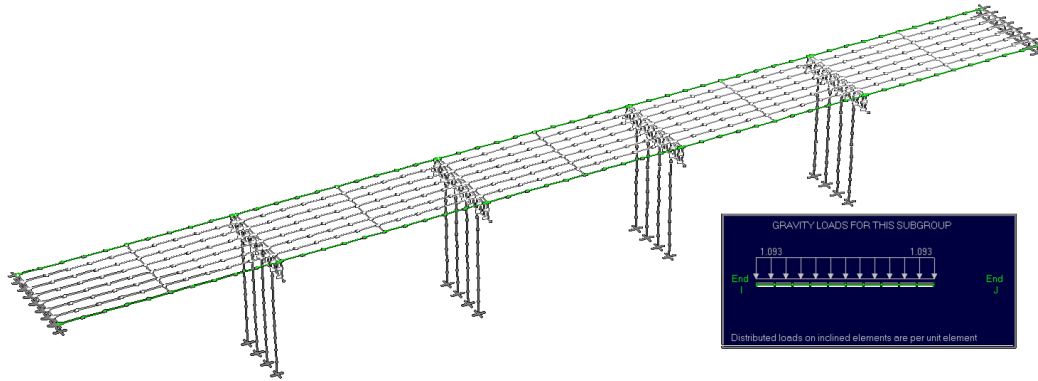


Figura 5.8 Carga uniformemente distribuida en travesas externas

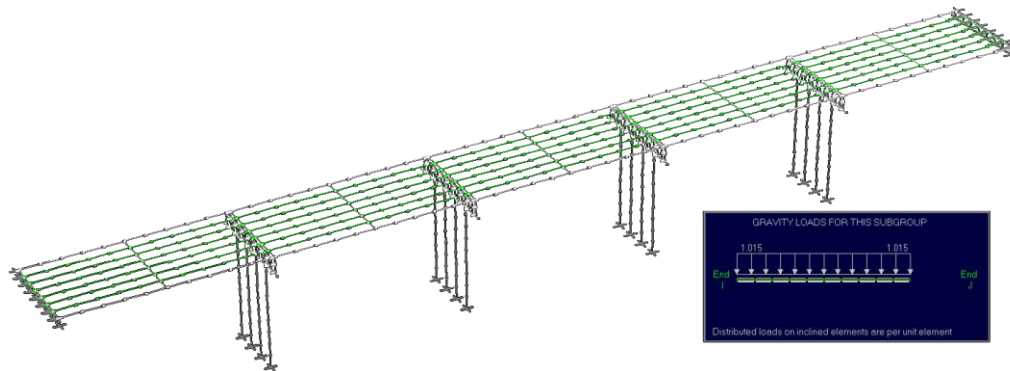


Figura 5.9 Carga uniformemente distribuida en travesas internas

5.1.3.2. Travesas AASHTO tipo IV

La trabe AASHTO tipo IV no puede ser utilizada como tal en PERFORM3D, por lo que estos elementos se debieron tratar como *sección general*, asignándoles las propiedades de las travesas originales que se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Propiedades de las travesas AASHTO tipo IV

<p>The diagram shows a cross-section of an AASHTO Type IV girder. It has a wide top flange, a narrow web, and a wide bottom flange. A vertical axis labeled '2' points upwards, and a horizontal axis labeled '3' points to the right.</p>	Área de la sección transversal (axial)	0.5039	m^2
	Área de cortante (eje 2)	0.2034	m^2
	Área de cortante (eje 3)	0.4707	m^2
	Inercia torsional	0.0134	m^4
	Inercia a flexión (alrededor del eje 2)	9.997E-03	m^4
	Inercia a flexión (alrededor del eje 3)	0.1077	m^4

5.1.4. MODELO DE LOS APOYOS DE NEOPRENO Y JUNTAS DE EXPANSIÓN

En los modelos realizados en PERFORM3D, los apoyos de neopreno se modelaron mediante *aisladores sísmicos de neopreno*, proporcionándoles las características de rigidez correspondientes, descritas en la sección 4.1.2 del Capítulo 4.

Las juntas de expansión fueron modeladas como elementos tipo *barra simple*, cuya característica es que solamente resiste fuerza axial. Dentro de este tipo, se eligió la opción de *barra simple gap-hook elástica no lineal*, para la cual es necesario definir la abertura (0.05 m) y la rigidez que adquiere cuando se cierra la junta, considerándola infinita.

5.1.5. MODELO DE LAS PILAS

Las secciones transversales de los cabezales y las pilas, así como el armado de las pilas es posible consultarlo en la sección 4.3.7 del Capítulo 4. Al igual que en los modelos en SAP2000, en los modelos realizados en PERFORM3D se consideran las zonas rígidas producto de la unión columnas-cabecial.

Los cabezales de las pilas son modelados como elementos tipo barra, sin consideraciones no lineales en los mismos; por otro lado, las columnas son modeladas mediante elementos inelásticos. Existen varias formas de modelar columnas inelásticas en PERFORM3D: (1) Modelos preestablecidos basados en FEMA 356 [FEMA, 2000]; (2) Modelo de articulación plástica, (3) Modelo de zona plástica, y (4) Modelo mediante elementos finitos.

Para modelar las columnas de los puentes se eligió el *modelo de zona plástica*, donde la deformación plástica es distribuida sobre zonas plásticas de longitud finita, llamada *longitud de articulación plástica*. Para columnas de concreto reforzado en cantiliver, Paulay & Priestley (1992) sugieren las siguientes ecuaciones para el cálculo de la longitud de articulación plástica:

$$L_p = 0.08L + 0.15d_b F_y \quad (\text{unidades ksi}) \quad (5.1)$$

$$L_p = 0.08L + 0.022d_b F_y \quad (\text{unidades MPa}) \quad (5.2)$$

donde

L_p	Longitud de articulación plástica
L	Longitud en cantiliver (distancia al punto de inflexión de la columna)
d_b	Diámetro de la barra de acero de refuerzo longitudinal
F_y	Esfuerzo de fluencia del acero

Para determinar la longitud en cantiliver de las columnas, es necesario conocer su comportamiento en dirección longitudinal y transversal. Para un caso de carga en la dirección longitudinal del puente, el comportamiento de las columnas en toda su longitud es similar a una viga en *cantiliver*, es decir, se deforman en curvatura simple (Figura 5.10a). Por lo tanto, la longitud en cantiliver será igual a la altura total de la columna. En cambio, para una carga aplicada en dirección transversal las columnas se deforman en curvatura doble (Figura 5.10b) existiendo así un punto de inflexión, por lo que la longitud en cantiliver es la mitad de la altura de la columna.

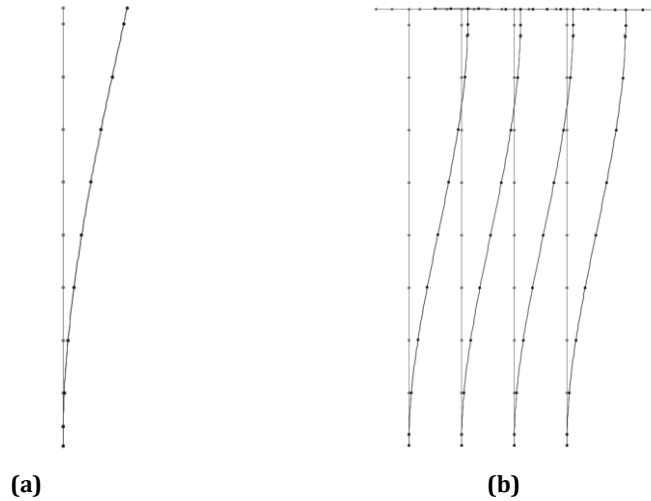


Figura 5.10 Comportamiento de las pilas para cargas aplicadas en dirección (a) longitudinal, y (b) transversal

Con los criterios anteriores, los modelos de zona plástica adoptados para las pilas en dirección longitudinal y transversal se muestran en las Figuras 5.11a y 5.11b, respectivamente

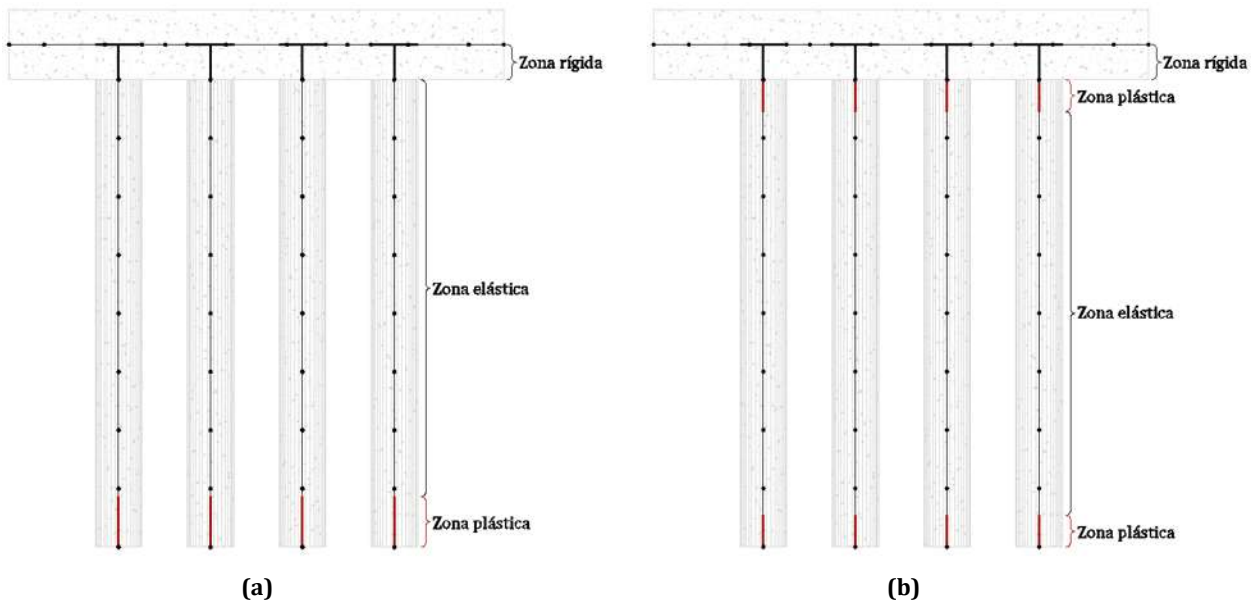


Figura 5.11 Modelo de zona plástica para pilas, en dirección: (a) longitudinal, y (b) transversal

Dentro del segmento de columna donde se encuentra la *zona plástica* debe ser definido un componente para modelar la flexión inelástica, siendo este una *articulación plástica-rígida (rigid-plastic hinge)*. El comportamiento de la pila en dirección longitudinal supone la formación de articulaciones plásticas en el extremo inferior de cada columna. Por otro lado, el comportamiento en dirección transversal sugiere la formación de articulaciones plásticas tanto en la parte superior, como en la parte inferior de cada columna.

El programa PERFORM3D permite que tal tipo de articulaciones plásticas sean definidas mediante su curvatura o rotación. Para este estudio, las articulaciones plásticas fueron definidas utilizando los diagramas momento-curvatura propios de las columnas y la longitud de articulación plástica, L_p . Debido a que las columnas están sujetas a flexión biaxial, las articulaciones estarán sujetas también a una interacción $P - M2 - M3$, por lo que resulta esencial conocer las superficies de interacción que describen este comportamiento.

Las relaciones momento-curvatura para las columnas se tratarán en la sección 5.1.5.1, mientras que las superficies de interacción $P - M2 - M3$ se describen en la sección 5.1.5.2.

5.1.5.1. Relaciones Momento-Curvatura

Un *análisis momento-curvatura* está basado en los principios de compatibilidad de deformaciones y equilibrio de fuerzas, y deriva de las curvaturas asociadas a un intervalo de momentos para una sección transversal dada, sujeta a una carga monotónica [Caltrans SDC, 2010].

La relación momento-curvatura de una sección transversal de concreto armado se obtiene a partir de los modelos constitutivos del concreto y del acero, de la geometría de la sección, así como del refuerzo longitudinal y transversal de la misma. El análisis momento curvatura se realiza bajo cierto nivel de carga axial; solo realizaremos el análisis para la carga axial en cada columna proveniente de la condición permanente del puente, es decir, para la carga muerta del mismo.

Debido a que la carga axial para las columnas externas e internas de un mismo puente no son iguales, para cada puente se obtuvieron dos diagramas momento-curvatura. Las cargas axiales pueden ser consultadas en la Tabla 5.5 para modelos con claros de 20 m y en la Tabla 5.6 para modelos con claros de 30 m.

Existen distintos programas para realizar análisis momento curvatura, ejemplo de ello son el *Xtract* o el *X-Section*. Para nuestro caso, realizamos dichos análisis mediante la utilidad de SAP2000: *Section Designer* (Figura 5.12).

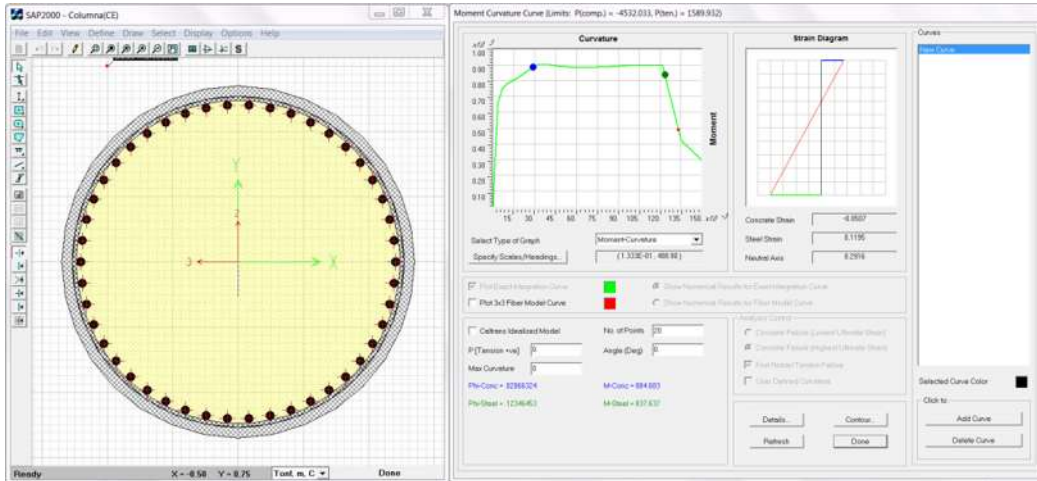


Figura 5.12 Utilidad Section Designer (SAP2000)

La curva que se obtiene con el programa SAP2000 es la *curva de integración exacta*, la cual permite observar aspectos importantes del comportamiento de la sección transversal de concreto reforzado, tales como: el agrietamiento del concreto, la fluencia del acero, el endurecimiento por deformación, la resistencia última, el límite dúctil, la pérdida de resistencia y la resistencia residual. Lo anterior se detalla de manera gráfica en la Figura 5.13.

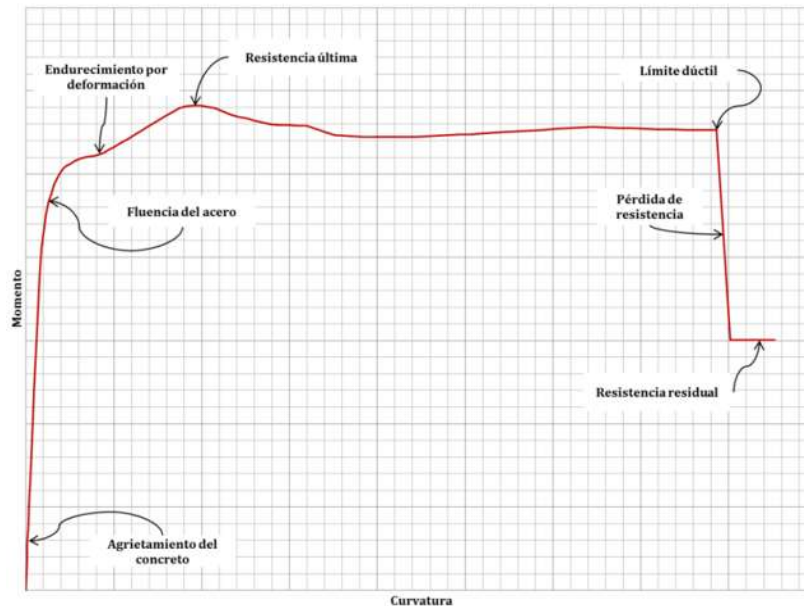


Figura 5.13 Diagrama momento-curvatura: *curva de integración exacta*

En las siguientes figuras se muestran los diagramas momento-curvatura para las columnas externa (línea continua azul) e interna (línea punteada roja) de cada modelo de puente, obtenidos mediante la herramienta *Section Designer*

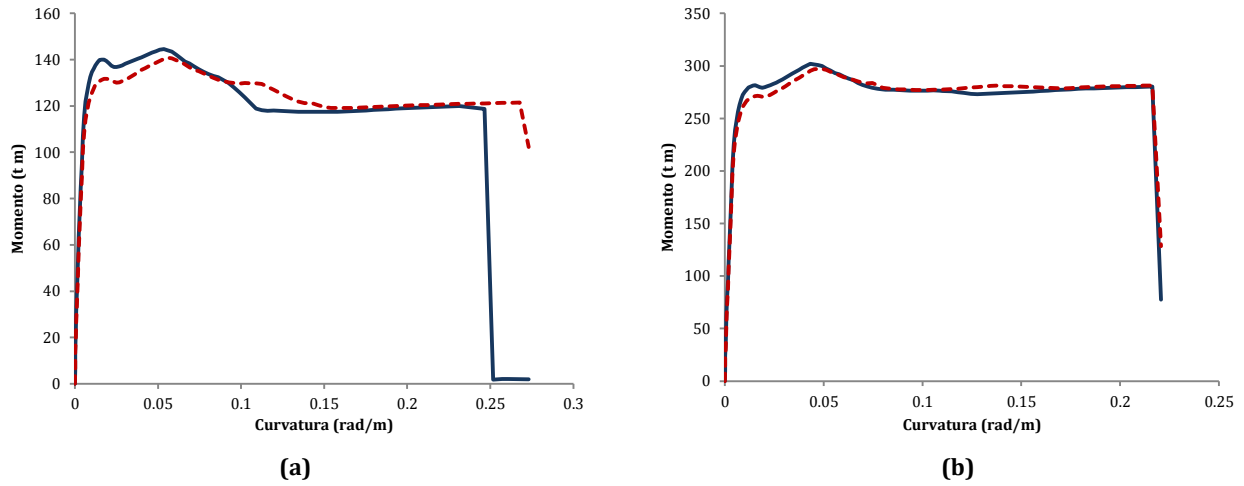


Figura 5.14 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P05-0, y (b) C20P05-1

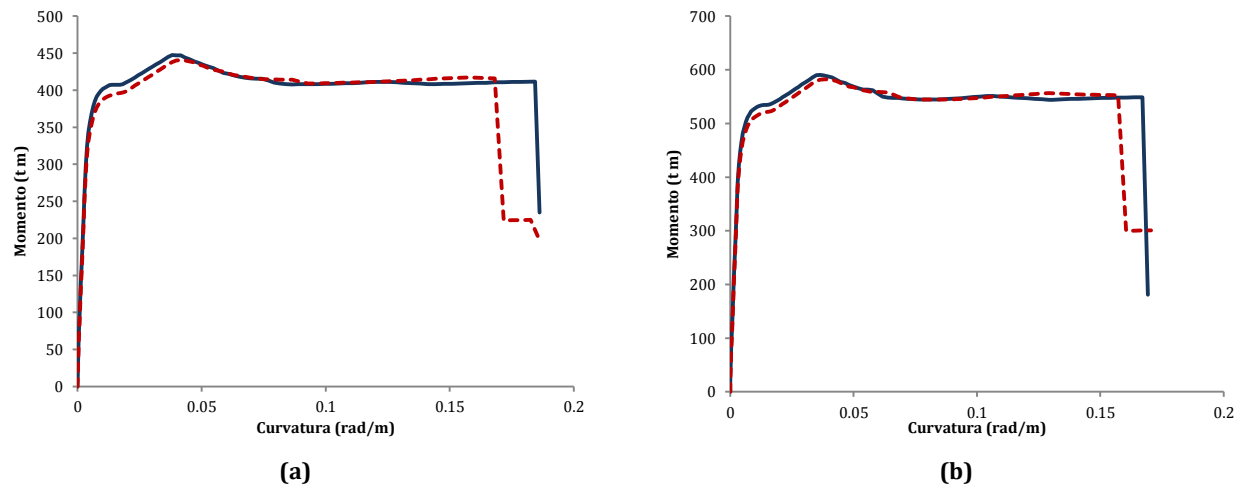


Figura 5.15 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P05-2, y (b) C20P05-3

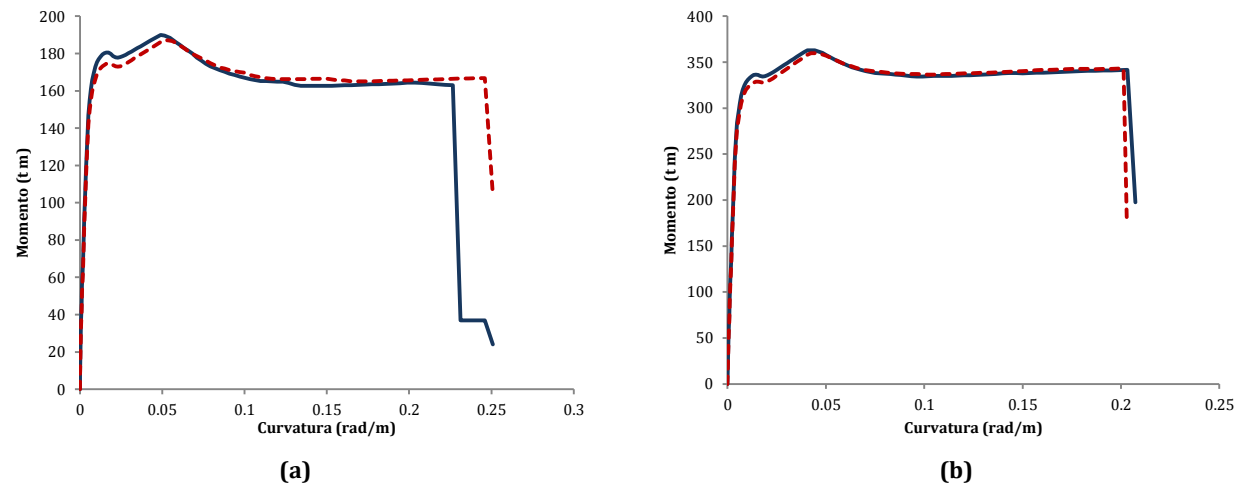


Figura 5.16 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P10-0, y (b) C20P10-1

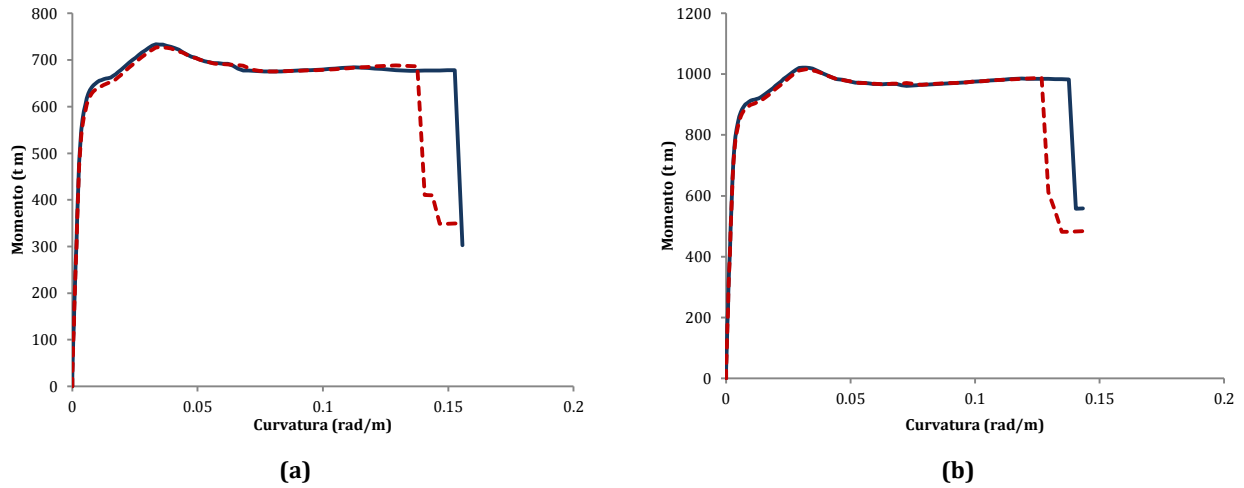


Figura 5.17 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P10-2, y (b) C20P10-3

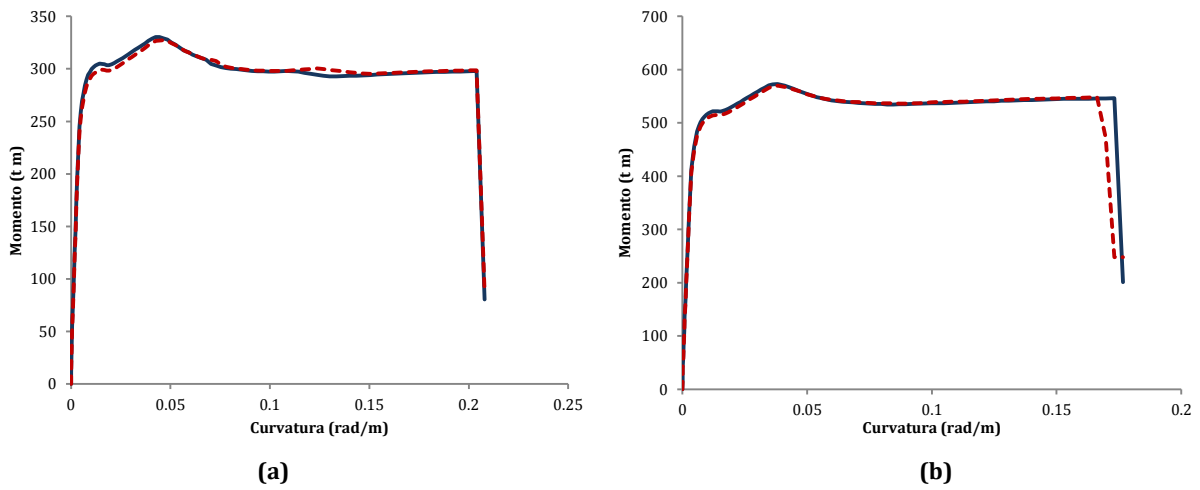


Figura 5.18 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P15-0, y (b) C20P15-1

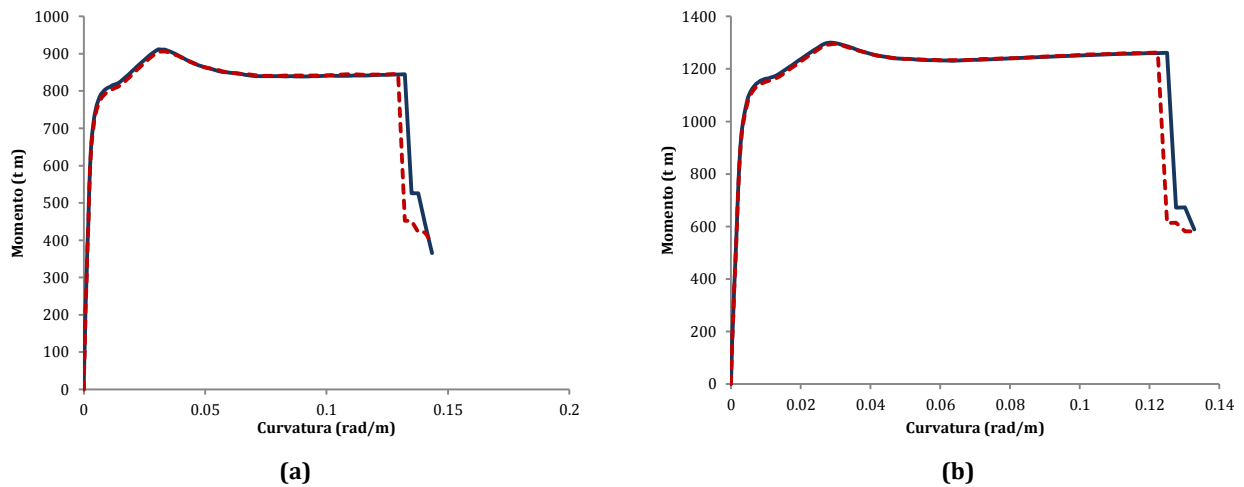


Figura 5.19 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P15-2, y (b) C20P15-3

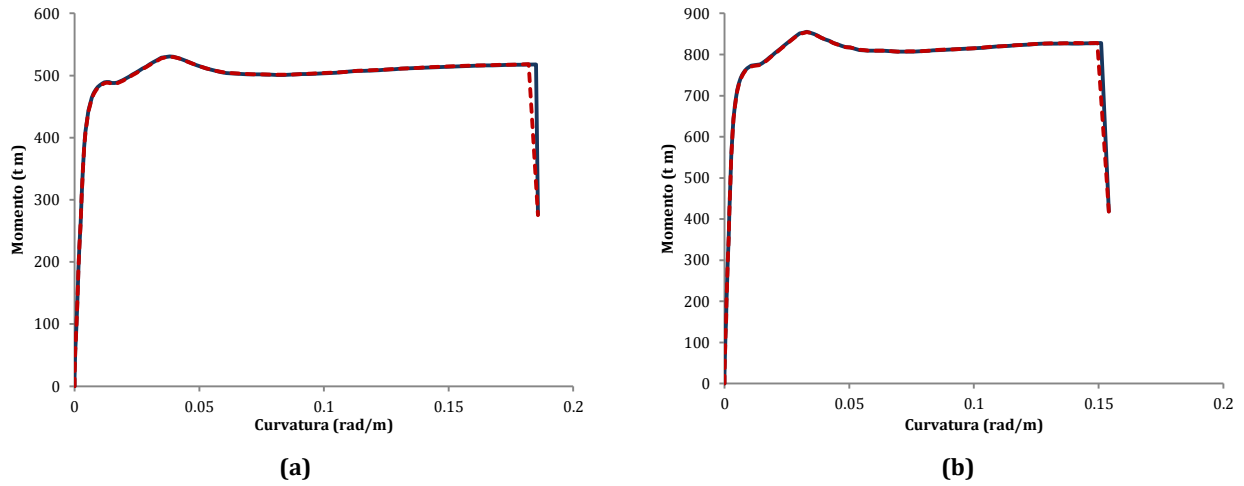


Figura 5.20 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P20-0, y (b) C20P20-1

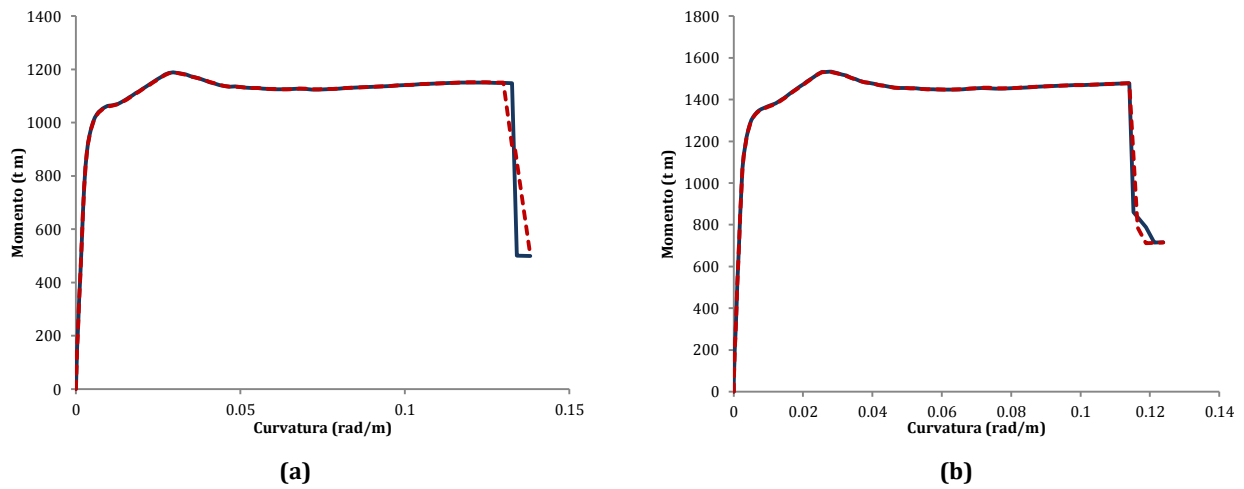


Figura 5.21 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C20P20-2, y (b) C20P20-3

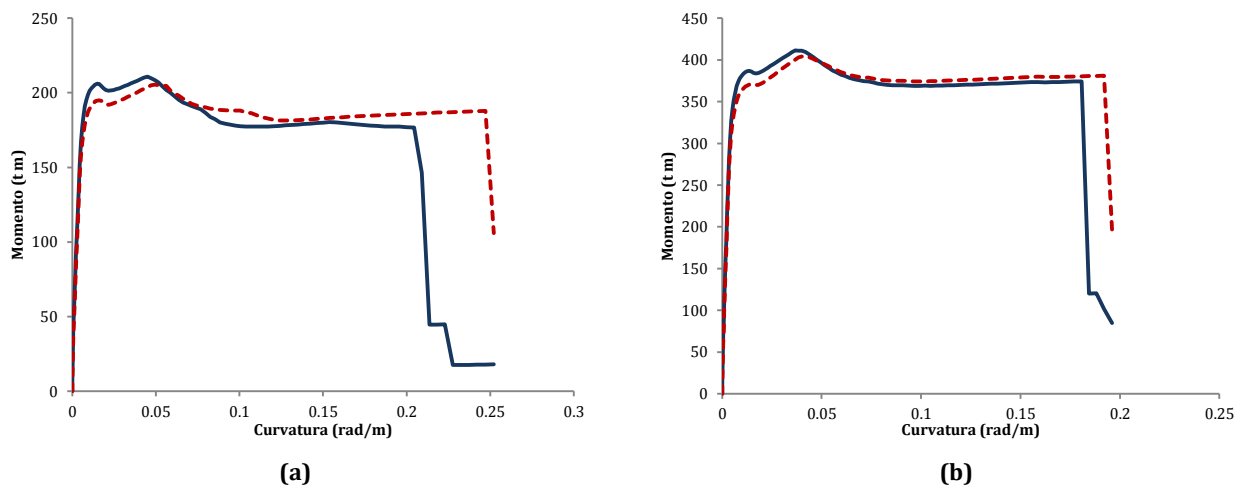


Figura 5.22 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P05-0, y (b) C30P05-1

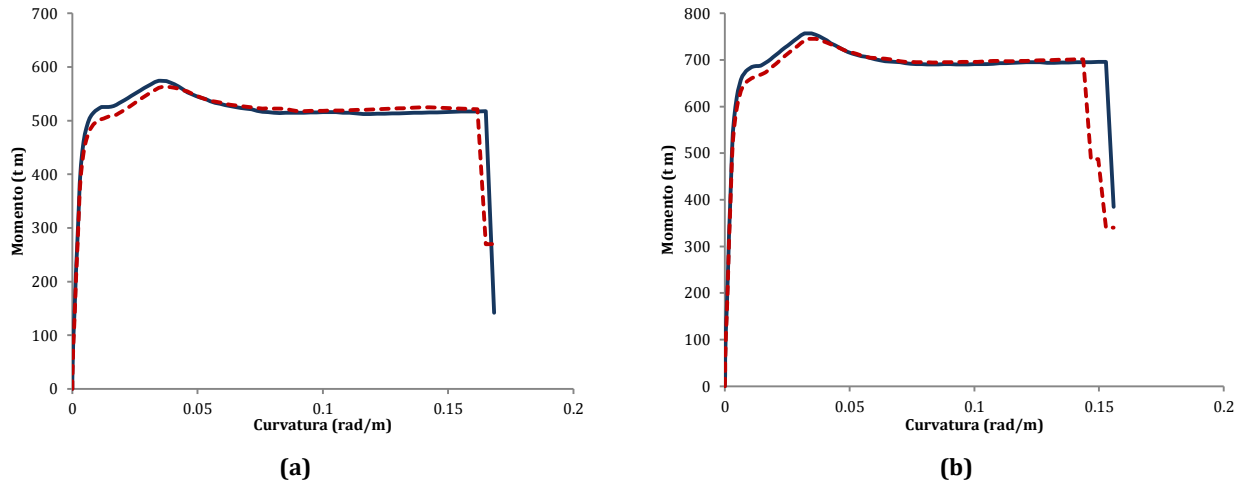


Figura 5.23 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P05-2, y (b) C30P05-3

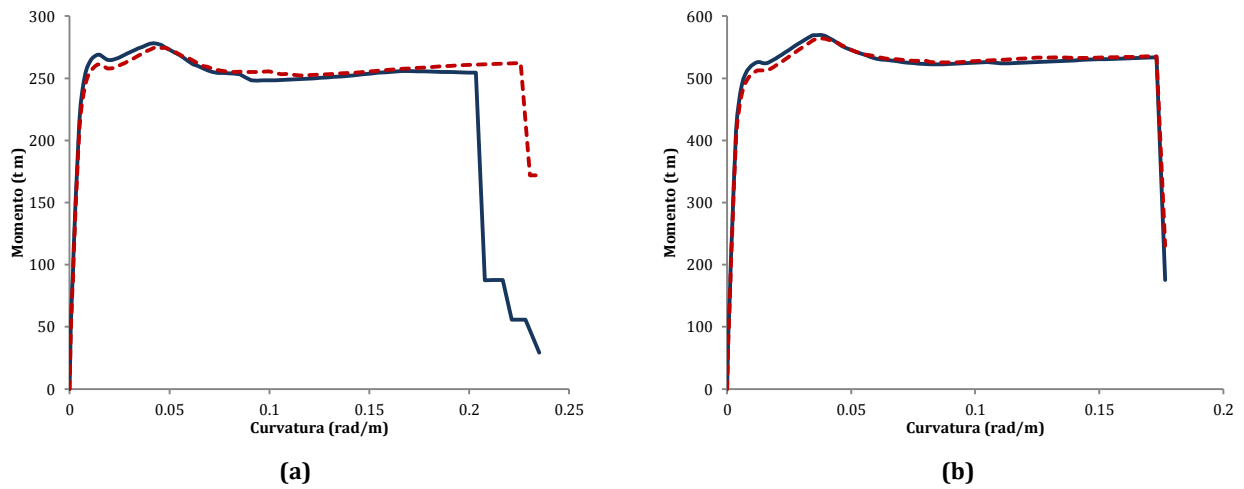


Figura 5.24 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P10-0, y (b) C30P10-1

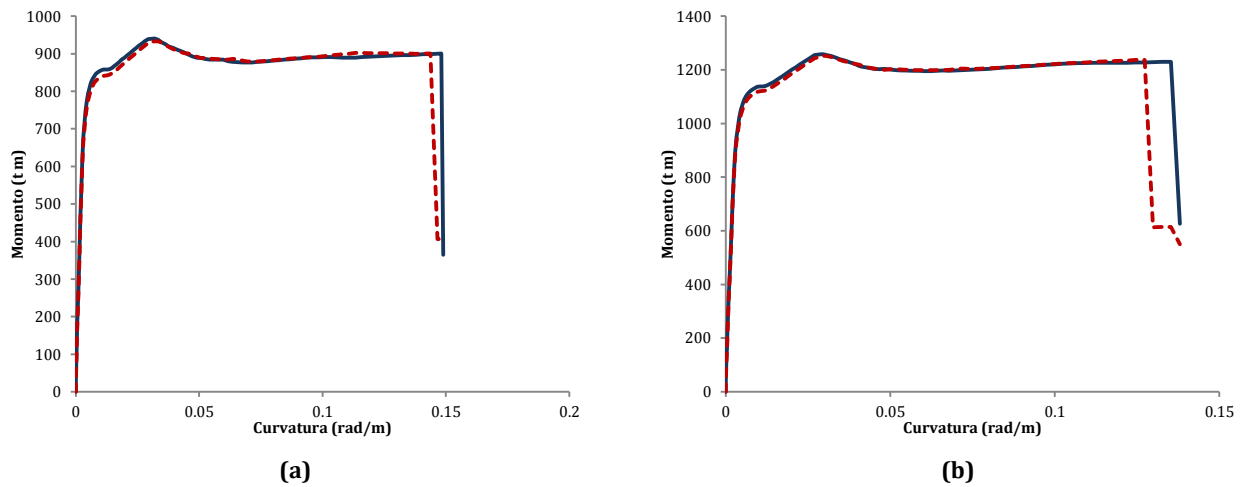


Figura 5.25 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P10-2, y (b) C30P10-3

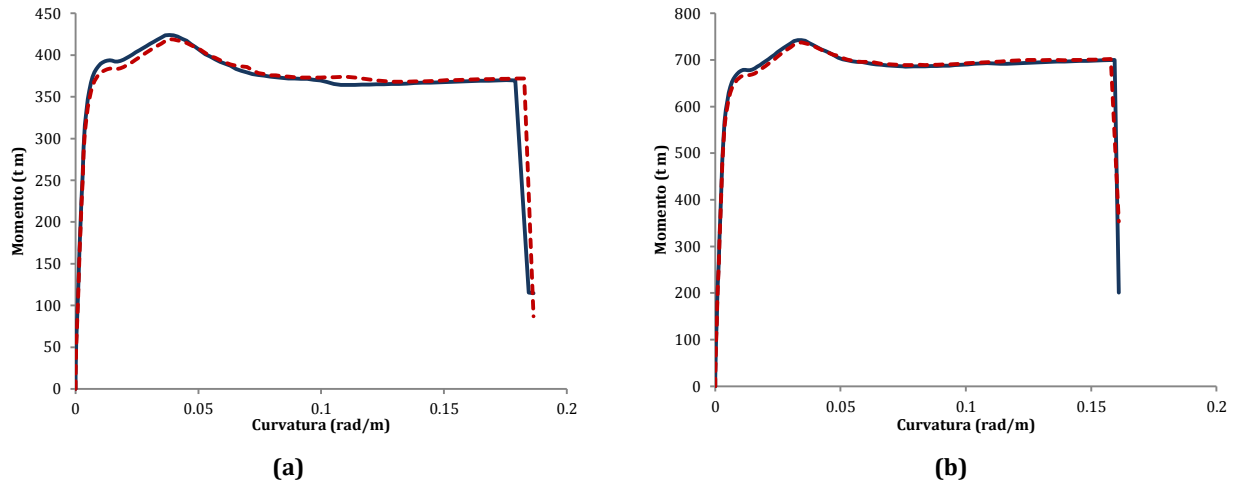


Figura 5.26 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P15-0, y (b) C30P15-1

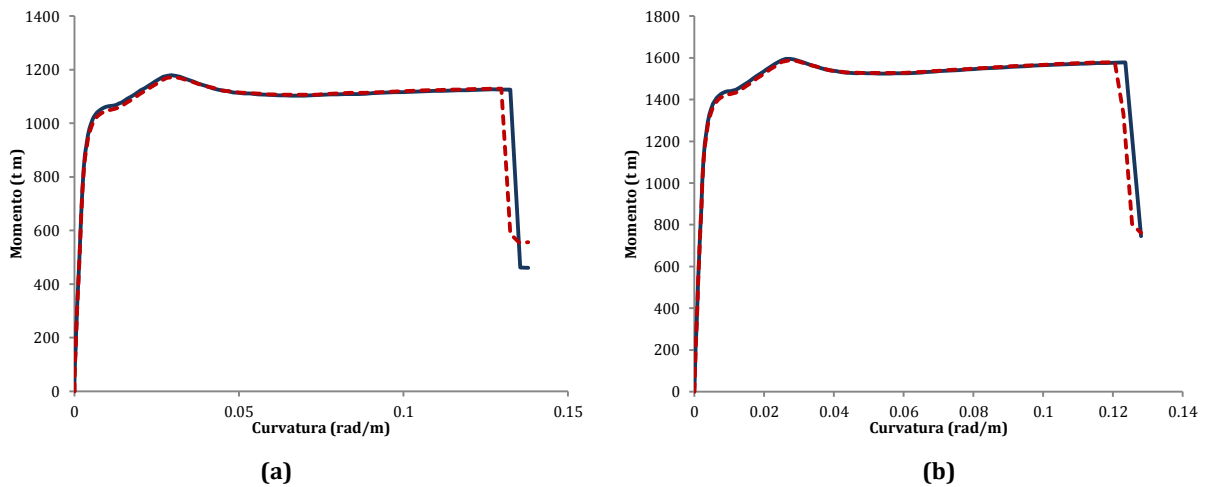


Figura 5.27 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P15-2, y (b) C30P15-3

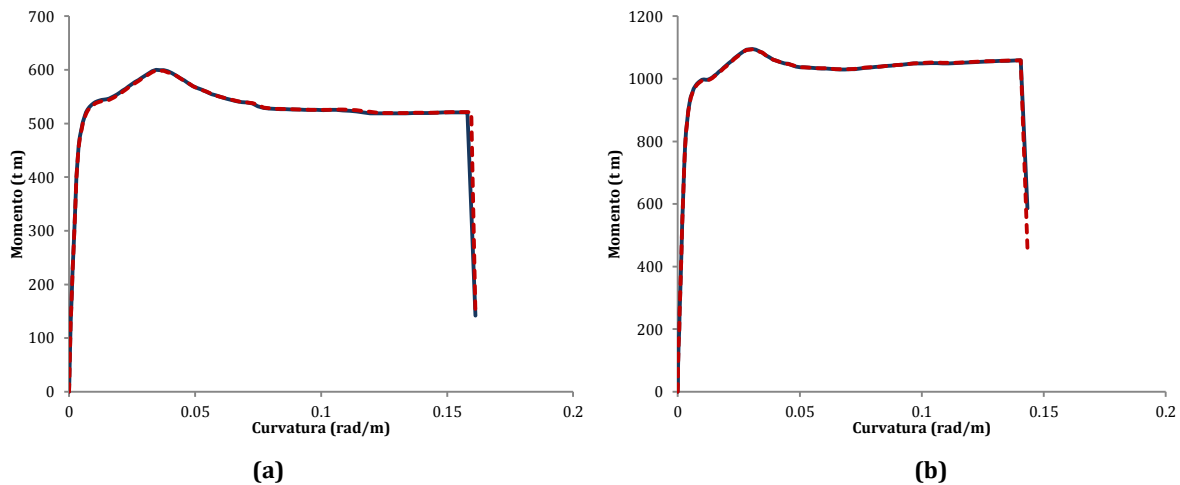


Figura 5.28 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P20-0, y (b) C30P20-1

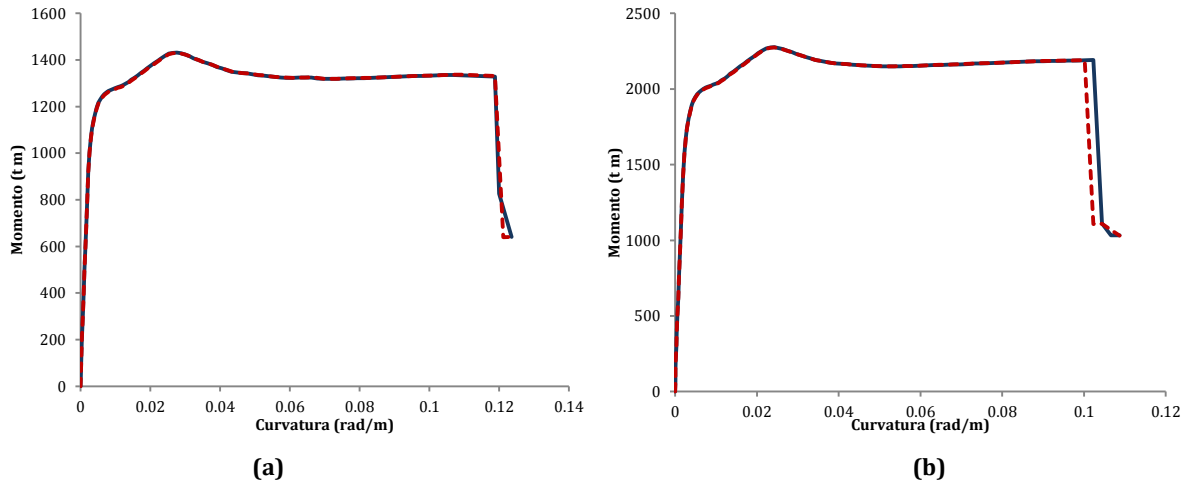


Figura 5.29 Diagramas momento-curvatura para las columnas de los puentes (a) C30P20-2, y (b) C30P20-3

Como se observa en los diagramas anteriores, determinar el punto exacto de la fluencia del acero resulta una tarea subjetiva, ya que la transición entre el agrietamiento del concreto y la fluencia del acero es gradual. Con el fin de establecer un criterio invariable para conocer el momento de fluencia de la sección, M_y , se optó por realizar un análisis estático no lineal (*pushover*) a una pila aislada de cada modelo de puente, aplicando una carga monótona en los nodos superiores de la pila, en dirección longitudinal, y revisando el momento de fluencia de las articulaciones plásticas. Análisis estáticos no lineales en ambas direcciones, así como las curvas de capacidad de las pilas se presentan a detalle en la sección 5.2.2.1.2.

En los modelos no lineales es recomendable utilizar la inercia efectiva o inercia agrietada de las columnas, I_{eff} , en la longitud total del elemento, tanto en la zona elástica como en la zona inelástica. El uso de las propiedades efectivas o agrietadas de la sección es una práctica común, debido fundamentalmente a que el agrietamiento del concreto aparece para bajos niveles de deformación.

Mediante el diagrama momento-curvatura basado en el criterio de diseño sísmico Caltrans (Figura 5.30) [Caltrans SDC, 2010], el cual es posible calcularlo también mediante la herramienta Section Designer, se obtuvo el valor de la inercia efectiva de cada columna. Conocido el valor de I_{eff} , el momento de fluencia, M_y , así como el módulo de elasticidad del concreto, E , es posible conocer el valor de la curvatura de fluencia, φ_y , a través de la ecuación (5.3). Dicho punto no recae propiamente en la curva de integración exacta, pero resulta útil para la idealización que debe llevarse a cabo en PERFORM3D, que será explicada más adelante.

$$I_{eff} = \frac{M_y}{E\varphi_y} \quad (5.3)$$

donde

- I_{eff} Inercia efectiva o inercia agrietada
- M_y Momento de fluencia

E Módulo de elasticidad del concreto

φ_y Curvatura de fluencia

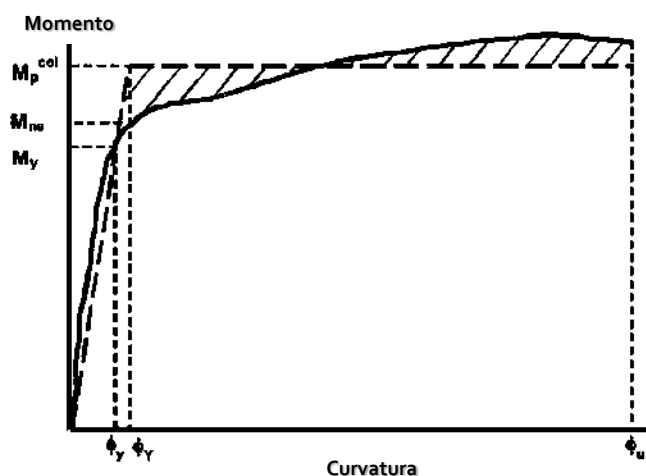


Figura 5.30 Diagrama momento-curvatura basado en el Criterio de Diseño Sísmico Caltrans [Adaptada de Caltrans SDC, 2010]

Las propiedades inelásticas de las columnas, así como la carga axial para la cual se realizó el análisis momento-curvatura, se resumen en las Tablas 5.5 y 5.6, para puentes con claros de 20 m y 30 m, respectivamente.

Tabla 5.5 Propiedades inelásticas de las columnas para puentes con claros de 20 m

Modelo	Ubicación de la columna	Carga axial (t)	Longitud de AP (m)		Inercia efectiva I_{eff} (m^4)	Fluencia del acero		Resistencia última	
			L_{px}	L_{py}		φ_y (rad/m)	M_y ($t \cdot m$)	φ_u (rad/m)	M_u ($t \cdot m$)
			(m)	(m)					
C20P05-0	Externa	-135.91	0.6276	0.4552	0.010	0.005197	115.04	0.0535	144.62
	Interna	-90.46							
C20P05-1	Externa	-142.09	0.6276	0.4552	0.024	0.004750	252.37	0.0432	301.93
	Interna	-92.81							
C20P05-2	Externa	-147.89	0.6276	0.4552	0.040	0.004221	373.78	0.0381	447.30
	Interna	-96.51							
C20P05-3	Externa	-151.64	0.6894	0.5789	0.058	0.003879	498.05	0.0365	590.56
	Interna	-99.63							
C20P10-0	Externa	-137.15	1.0276	0.6276	0.014	0.004971	154.06	0.0491	189.96
	Interna	-105.50							
C20P10-1	Externa	-145.96	1.0276	0.6276	0.030	0.004600	305.50	0.0443	363.04
	Interna	-110.74							
C20P10-2	Externa	-164.72	1.0894	0.6894	0.078	0.003592	620.27	0.0333	734.02
	Interna	-125.53							
C20P10-3	Externa	-171.38	1.0894	0.6894	0.116	0.003412	876.02	0.0320	1021.98
	Interna	-131.67							

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Capítulo 5. Modelado y análisis no lineal en la historia del tiempo

Tabla 5.5_ Continuación

Modelo	Ubicación de la columna	Carga axial (t)	Longitud de AP		Inercia efectiva I_{eff} (m ⁴)	Fluencia del acero		Resistencia última	
			L_{px}	L_{py}		φ_y (rad/m)	M_y (t · m)	φ_u (rad/m)	M_u (t · m)
			(m)	(m)					
C20P15-0	Externa	-151.16	1.4276	0.8276	0.027	0.004571	273.19	0.0426	330.41
	Interna	-124.30			0.027	0.004571	273.19	0.0464	327.31
C20P15-1	Externa	-163.31	1.4276	0.8276	0.054	0.004063	485.70	0.0382	573.14
	Interna	-134.06			0.053	0.004129	484.42	0.0382	569.85
C20P15-2	Externa	-185.72	1.4894	0.8894	0.105	0.003275	761.17	0.0307	911.65
	Interna	-154.08			0.104	0.003298	759.13	0.0334	905.73
C20P15-3	Externa	-195.46	1.4894	0.8894	0.158	0.003191	1116.03	0.0284	1300.47
	Interna	-163.37			0.157	0.003206	1114.24	0.0296	1295.10
C20P20-0	Externa	-159.09	1.8276	1.0276	0.047	0.004355	453.10	0.0381	530.62
	Interna	-153.37			0.047	0.004355	453.10	0.0381	530.27
C20P20-1	Externa	-179.79	1.8276	1.0276	0.091	0.003624	729.92	0.0330	855.22
	Interna	-173.84			0.090	0.003657	728.58	0.0330	854.52
C20P20-2	Externa	-197.41	1.8894	1.0894	0.139	0.003309	1018.14	0.0295	1188.49
	Interna	-191.18			0.139	0.003309	1018.14	0.0295	1187.70
C20P20-3	Externa	-216.84	1.8894	1.0894	0.200	0.002940	1301.40	0.0276	1534.04
	Interna	-210.22			0.199	0.002950	1299.49	0.0276	1533.19

Tabla 5.6 Propiedades inelásticas de las columnas para puentes con claros de 30 m

Modelo	Ubicación de la columna	Carga axial (t)	Longitud de AP		Inercia efectiva I_{eff} (m ⁴)	Fluencia del acero		Resistencia última	
			L_{px}	L_{py}		φ_y (rad/m)	M_y (t · m)	φ_u (rad/m)	M_u (t)
			(m)	(m)					
C30P05-0	Externa	-194.79	0.6276	0.4552	0.015	0.005139	170.65	0.0450	210.78
	Interna	-127.62			0.014	0.005473	169.62	0.0494	205.41
C30P05-1	Externa	-203.38	0.6276	0.4552	0.036	0.004285	341.47	0.0367	411.34
	Interna	-131.05			0.035	0.004397	340.70	0.0419	404.20
C30P05-2	Externa	-209.12	0.6276	0.4552	0.057	0.003762	474.63	0.0345	574.40
	Interna	-135.45			0.056	0.003820	473.52	0.0376	563.30
C30P05-3	Externa	-212.77	0.6894	0.5789	0.081	0.003537	634.23	0.0319	757.26
	Interna	-139.10			0.079	0.003614	632.06	0.0348	745.51
C30P10-0	Externa	-193.77	1.0276	0.6276	0.021	0.005031	233.87	0.0420	278.19
	Interna	-146.67			0.020	0.005259	232.83	0.0440	275.18
C30P10-1	Externa	-209.67	1.0276	0.6276	0.054	0.003998	477.89	0.0378	569.83
	Interna	-156.21			0.053	0.004066	476.97	0.0378	564.41
C30P10-2	Externa	-222.78	1.0894	0.6894	0.104	0.003475	800.06	0.0320	941.01
	Interna	-167.08			0.102	0.003537	798.62	0.0320	933.12
C30P10-3	Externa	-229.54	1.0894	0.6894	0.147	0.003320	1080.24	0.0295	1258.53
	Interna	-173.51			0.145	0.003359	1078.21	0.0295	1252.03

Tabla 5.6_ Continuación

Modelo	Ubicación de la columna	Carga axial (t)	Longitud de AP		Inercia efectiva I_{eff} (m ⁴)	Fluencia del acero		Resistencia última	
			L_{px} (m)	L_{py} (m)		ϕ_y (rad/m)	M_y (t · m)	ϕ_u (rad/m)	M_u (t)
C30P15-0	Externa	-211.81	1.4276	0.8276	0.039	0.003987	344.16	0.0382	424.02
	Interna	-171.27			0.038	0.004073	342.60	0.0382	418.95
C30P15-1	Externa	-224.91	1.4276	0.8276	0.076	0.003716	625.14	0.0344	742.95
	Interna	-181.85			0.075	0.003756	623.51	0.0344	737.49
C30P15-2	Externa	-243.68	1.4894	0.8894	0.139	0.003257	1002.10	0.0295	1179.46
	Interna	-198.80			0.138	0.003276	1000.71	0.0308	1171.21
C30P15-3	Externa	-253.66	1.4894	0.8894	0.200	0.003103	1373.71	0.0274	1594.99
	Interna	-208.45			0.198	0.003130	1371.68	0.0274	1589.06
C30P20-0	Externa	-222.09	1.8276	1.0276	0.063	0.003468	483.66	0.0345	600.13
	Interna	-213.97			0.062	0.003512	482.02	0.0345	598.62
C30P20-1	Externa	-239.10	1.8894	1.0894	0.125	0.003380	935.11	0.0307	1095.28
	Interna	-230.76			0.124	0.003403	933.96	0.0307	1094.50
C30P20-2	Externa	-264.69	1.8894	1.0894	0.188	0.002872	1195.35	0.0276	1431.91
	Interna	-255.68			0.188	0.002872	1195.35	0.0276	1430.35
C30P20-3	Externa	-293.28	1.8894	1.0894	0.333	0.002617	1929.15	0.0243	2276.46
	Interna	-283.82			0.332	0.002620	1925.69	0.0243	2274.89

Para ingresar la información de la relación momento-curvatura en el programa PERFORM3D es necesario establecer una curva idealizada. La curva elegida es una curva monotónica, donde el par fuerza-deformación ($F - D$) tienen una relación trilineal, con pérdida de resistencia, también llamada curva YULRX (Figura 5.31).

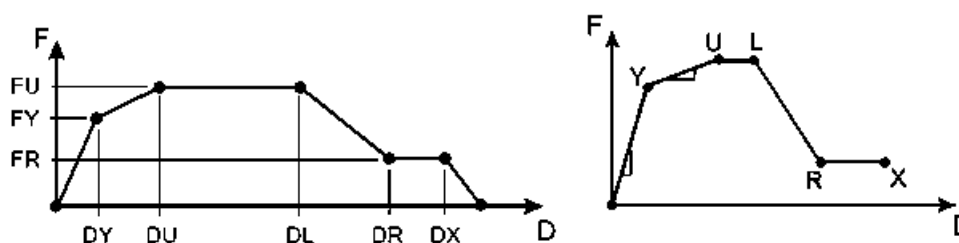


Figura 5.31 Curva monotónica idealizada, para una relación F-D [https://wiki.csiberkeley.com]

Los puntos que definen a la curva YURLX son los siguientes:

- Y Punto de fluencia, donde inicia el comportamiento no lineal
- U Punto de resistencia última, donde se alcanza la máxima resistencia
- L Punto del límite dúctil, donde inicia la pérdida de resistencia
- R Punto de resistencia residual, donde se alcanza la resistencia residual mínima.
- X Punto de máxima deformación.

En las Tablas 5.7 y 5.8 se muestran los valores de los puntos de la curva monótonica *YULRX* para las columnas, ya sean internas o externas, de los modelos de puentes con claros de 20 m y 30 m, respectivamente.

En la Figura 5.32 se muestra como ejemplo el diagrama momento-curvatura de una pila externa perteneciente al modelo C20P20-2 (línea continua azul), así como la curva monótonica *YULRX* correspondiente (línea roja discontinua).

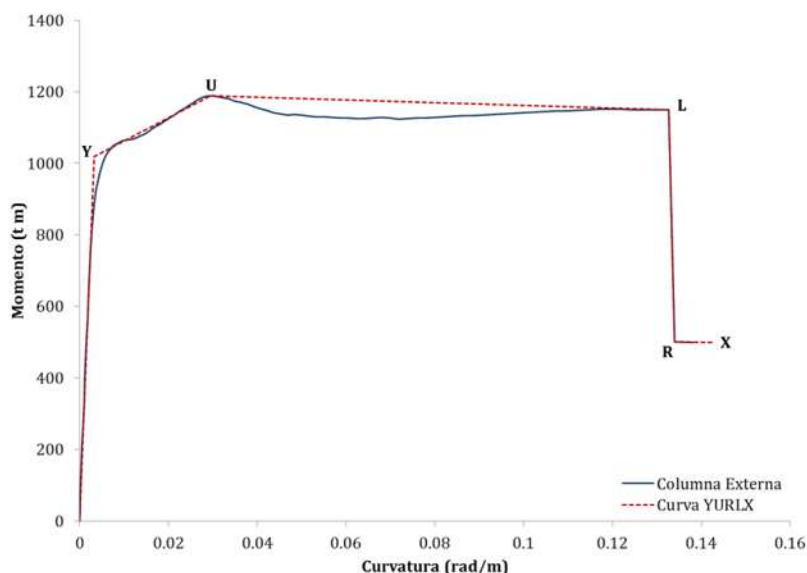


Figura 5.32 Diagrama momento-curvatura y curva YULRX, modelo C20P20-2 (columna externa)

Tabla 5.7 Puntos de la curva monótonica YULRX, para puentes con claros de 20 m

Modelo	Col.	Y		U		L		R		X	
		φ_Y	M_Y	φ_U	M_U	φ_L	M_L	φ_R	M_R	φ_X	M_X
		(rad/m)	(t·m)	(rad/m)	(t·m)	(rad/m)	(t·m)	(rad/m)	(t·m)	(rad/m)	(t·m)
C20P05-0	Ext.	0.005197	115.04	0.0535	144.62	0.2466	118.70	0.2518	1.82	0.2731	1.97
C20P05-0	Int.	0.005708	113.71	0.0559	140.83	0.2677	121.43	0.2731	102.29	0.2905	102.29
C20P05-1	Ext.	0.004750	252.37	0.0432	301.93	0.2163	280.27	0.2207	77.49	0.2348	77.49
C20P05-1	Int.	0.004939	251.44	0.0493	297.20	0.2163	281.43	0.2207	128.35	0.2348	128.35
C20P05-2	Ext.	0.004221	373.78	0.0381	447.30	0.1844	411.75	0.1862	234.84	0.1981	234.84
C20P05-2	Int.	0.004319	372.83	0.0416	440.51	0.1682	416.09	0.1717	224.21	0.1862	197.51
C20P05-3	Ext.	0.003879	498.05	0.0365	590.56	0.1671	548.90	0.1692	180.71	0.1800	180.71
C20P05-3	Int.	0.003936	496.64	0.0380	582.24	0.1572	552.56	0.1604	300.41	0.1706	300.58
C20P10-0	Ext.	0.004971	154.06	0.0491	189.96	0.2265	162.93	0.2313	36.88	0.2509	24.07
C20P10-0	Int.	0.005307	152.72	0.0514	187.15	0.2459	166.84	0.2509	104.34	0.2669	104.34
C20P10-1	Ext.	0.004600	305.50	0.0443	363.04	0.2032	341.52	0.2073	197.39	0.2205	197.39
C20P10-1	Int.	0.004741	304.32	0.0443	359.76	0.2014	343.20	0.2029	179.31	0.2159	179.31
C20P10-2	Ext.	0.003592	620.27	0.0333	734.02	0.1526	678.23	0.1557	302.42	0.1656	302.42
C20P10-2	Int.	0.003633	619.24	0.0348	727.40	0.1377	686.24	0.1406	410.25	0.1557	349.70
C20P10-3	Ext.	0.003412	876.02	0.0320	1021.98	0.1377	982.63	0.1405	557.74	0.1495	558.31
C20P10-3	Int.	0.003436	874.69	0.0320	1016.50	0.1267	987.91	0.1294	611.75	0.1433	483.23

Tabla 5.7_ Continuación

Modelo	Col.	Y		U		L		R		X	
		φ_Y	M_Y	φ_U	M_U	φ_L	M_L	φ_R	M_R	φ_X	M_X
		(rad/m)	(t · m)	(rad/m)	(t · m)	(rad/m)	(t · m)	(rad/m)	(t · m)	(rad/m)	(t · m)
C20P15-0	Ext.	0.004571	273.19	0.0426	330.41	0.2039	297.88	0.2080	80.55	0.2213	80.55
C20P15-0	Int.	0.004571	273.19	0.0464	327.31	0.2039	298.66	0.2080	87.58	0.2213	87.58
C20P15-1	Ext.	0.004063	485.70	0.0382	573.14	0.1732	546.18	0.1767	201.09	0.1880	201.09
C20P15-1	Int.	0.004129	484.42	0.0382	569.85	0.1663	548.03	0.1732	248.06	0.1843	248.18
C20P15-2	Ext.	0.003275	761.17	0.0307	911.65	0.1322	844.71	0.1350	525.76	0.1436	364.92
C20P15-2	Int.	0.003298	759.13	0.0334	905.73	0.1295	845.64	0.1322	451.80	0.1434	390.79
C20P15-3	Ext.	0.003191	1116.03	0.0284	1300.47	0.1250	1261.26	0.1276	672.16	0.1343	588.99
C20P15-3	Int.	0.003206	1114.24	0.0296	1295.10	0.1224	1262.44	0.1250	613.44	0.1330	581.97
C20P20-0	Ext.	0.004355	453.10	0.0381	530.62	0.1851	518.07	0.1858	276.32	0.1977	276.32
C20P20-0	Int.	0.004355	453.10	0.0381	530.27	0.1821	518.14	0.1858	275.40	0.1977	275.40
C20P20-1	Ext.	0.003624	729.92	0.0330	855.22	0.1511	827.77	0.1541	419.09	0.1639	419.09
C20P20-1	Int.	0.003657	728.58	0.0330	854.52	0.1495	827.87	0.1541	417.72	0.1639	417.72
C20P20-2	Ext.	0.003309	1018.14	0.0295	1188.49	0.1326	1148.72	0.1340	500.65	0.1426	499.38
C20P20-2	Int.	0.003309	1018.14	0.0295	1187.70	0.1299	1150.95	0.1381	502.70	0.1469	502.70
C20P20-3	Ext.	0.002940	1301.40	0.0276	1534.04	0.1141	1478.15	0.1153	859.97	0.1238	715.98
C20P20-3	Int.	0.002950	1299.49	0.0276	1533.19	0.1141	1478.18	0.1165	786.19	0.1239	714.02

Tabla 5.8 Puntos de la curva monótonica YULRX, para puentes con claros de 30 m

Modelo	Col.	Y		U		L		R		X	
		φ_Y	M_Y	φ_U	M_U	φ_L	M_L	φ_R	M_R	φ_X	M_X
		(rad/m)	(t · m)	(rad/m)	(t · m)	(rad/m)	(t · m)	(rad/m)	(ton · m)	(rad/m)	(t · m)
C30P05-0	Ext.	0.005139	170.65	0.0450	210.78	0.2044	176.65	0.2276	17.46	0.2521	17.85
C30P05-0	Int.	0.005473	169.62	0.0494	205.41	0.2471	187.93	0.2521	105.87	0.2682	105.87
C30P05-1	Ext.	0.004285	341.47	0.0367	411.34	0.1807	374.29	0.1844	120.15	0.1962	84.83
C30P05-1	Int.	0.004397	340.70	0.0419	404.20	0.1921	381.07	0.1960	196.66	0.2085	196.66
C30P05-2	Ext.	0.003762	474.63	0.0345	574.40	0.1650	517.68	0.1684	142.03	0.1791	142.03
C30P05-2	Int.	0.003820	473.52	0.0376	563.30	0.1617	521.24	0.1650	269.63	0.1755	270.08
C30P05-3	Ext.	0.003537	634.23	0.0319	757.26	0.1528	695.97	0.1559	384.73	0.1659	384.73
C30P05-3	Int.	0.003614	632.06	0.0348	745.51	0.1437	701.74	0.1528	340.27	0.1626	340.50
C30P10-0	Ext.	0.005031	233.87	0.0420	278.19	0.2034	254.46	0.2078	87.49	0.2350	29.25
C30P10-0	Int.	0.005259	232.83	0.0440	275.18	0.2257	262.31	0.2304	171.94	0.2451	171.97
C30P10-1	Ext.	0.003998	477.89	0.0378	569.83	0.1731	533.57	0.1766	175.68	0.1879	175.68
C30P10-1	Int.	0.004066	476.97	0.0378	564.41	0.1731	535.51	0.1766	230.41	0.1879	230.41
C30P10-2	Ext.	0.003475	800.06	0.0320	941.01	0.1481	900.29	0.1489	364.34	0.1584	364.34
C30P10-2	Int.	0.003537	798.62	0.0320	933.12	0.1437	901.02	0.1466	406.19	0.1560	406.67
C30P10-3	Ext.	0.003320	1080.24	0.0295	1258.53	0.1353	1230.35	0.1380	626.85	0.1468	626.85
C30P10-3	Int.	0.003359	1078.21	0.0295	1252.03	0.1273	1237.63	0.1299	613.07	0.1382	549.36
C30P15-0	Ext.	0.003987	344.16	0.0382	424.02	0.1790	369.77	0.1845	115.25	0.1963	114.64
C30P15-0	Int.	0.004073	342.60	0.0382	418.95	0.1827	372.02	0.1864	87.17	0.1983	87.17
C30P15-1	Ext.	0.003716	625.14	0.0344	742.95	0.1594	699.82	0.1610	201.03	0.1713	201.03
C30P15-1	Int.	0.003756	623.51	0.0344	737.49	0.1578	701.89	0.1610	353.42	0.1713	353.42
C30P15-2	Ext.	0.003257	1002.10	0.0295	1179.46	0.1325	1126.40	0.1355	461.74	0.1441	461.06
C30P15-2	Int.	0.003276	1000.71	0.0308	1171.21	0.1298	1129.64	0.1325	586.81	0.1410	556.19
C30P15-3	Ext.	0.003103	1373.71	0.0274	1594.99	0.1236	1577.98	0.1281	744.81	0.1363	744.81
C30P15-3	Int.	0.003130	1371.68	0.0274	1589.06	0.1205	1579.67	0.1230	1331.33	0.1309	760.40

Tabla 5.8_ Continuación

Modelo	Col.	Y		U		L		R		X	
		φ_Y	M_Y	φ_U	M_U	φ_L	M_L	φ_R	M_R	φ_X	M_X
		(rad/m)	(t · m)	(rad/m)	(t · m)	(rad/m)	(t · m)	(rad/m)	(ton · m)	(rad/m)	(t · m)
C30P20-0	Ext.	0.003468	483.66	0.0345	600.13	0.1580	520.92	0.1612	142.00	0.1715	142.00
C30P20-0	Int.	0.003512	482.02	0.0345	598.62	0.1596	521.49	0.1612	144.92	0.1715	144.92
C30P20-1	Ext.	0.003380	935.11	0.0307	1095.28	0.1405	1059.13	0.1433	585.84	0.1524	585.84
C30P20-1	Int.	0.003403	933.96	0.0307	1094.50	0.1405	1059.50	0.1433	460.55	0.1524	460.55
C30P20-2	Ext.	0.002872	1195.35	0.0276	1431.91	0.1188	1329.02	0.1200	825.82	0.1277	640.72
C30P20-2	Int.	0.002872	1195.35	0.0276	1430.35	0.1188	1332.11	0.1212	639.86	0.1289	640.52
C30P20-3	Ext.	0.002617	1929.15	0.0243	2276.46	0.1023	2191.70	0.1044	1112.15	0.1111	1033.67
C30P20-3	Int.	0.002620	1925.69	0.0243	2274.89	0.1002	2190.61	0.1023	1108.00	0.1088	1030.02

5.1.5.2. Superficies de interacción

A la representación gráfica de las combinaciones de carga axial, P , y momento flexionante, $M = Pe$, que provocan la falla de una sección transversal dada de columna se le conoce como *diagrama de interacción*, donde e representa la excentricidad. En otras palabras, los diagramas de interacción proporcionan información sobre la capacidad o resistencia del elemento.

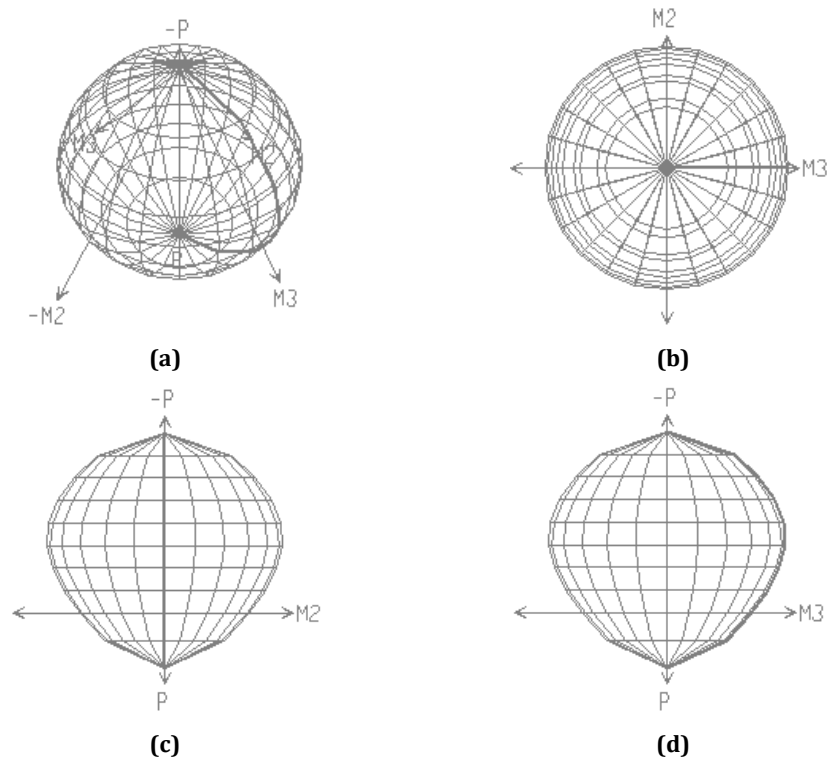


Figura 5.33 Superficie de interacción: (a) 3D; planos (b) $M_2 - M_3$, (c) $P - M_2$, y (d) $P - M_3$

Las columnas de pilas de puentes son elementos sujetos a flexión alrededor de ambos ejes principales simultáneamente, es decir, están sometidos a flexión biaxial ($P - M_2 - M_3$). La resistencia de las columnas

con flexión biaxial se ilustra mediante las *superficies de interacción* (Figura 5.33), las cuales son un conjunto de diagramas de interacción dados distintos ángulos de inclinación del eje neutro respecto de los ejes principales [Park & Paulay, 1975]. Cada punto de dicha superficie representa una combinación ($P - M2 - M3$) que produce la falla del elemento.

La simetría de una superficie de interacción es *circular simétrica* para una columna circular con arreglo circular simétrico de al menos 8 barras de acero de refuerzo. En otras palabras, el plano $M2 - M3$ será un círculo perfecto si el acero de refuerzo está dispuesto de forma circular, y el número de barras es mayor a 8 y cumple con ser múltiplo de 4.

No todos los diseño de columnas para la pilas de los modelos cumple con la condición de que el número de barras sea múltiplo de 4, por lo tanto el arreglo del acero de refuerzo no es circular simétrico. Sin embargo, con fines de simplicidad se supondrá que para todas las columnas la simetría de la superficie de interacción es circular simétrica, una vez que la diferencia entre serlo o no suele ser insignificante.

Para determinar una superficie de interacción circular simétrica basta con definir solamente una curva ($P - M2 - M3$). Debido a que $M2 = 0$ para un ángulo de inclinación igual a 0° , dicha curva ($P - M2 - M3$) se simplifica a un diagrama de interacción para flexión uniaxial ($P - M3$); de forma equivalente, para $M3 = 0$ a 90° se utiliza el diagrama de interacción para flexión uniaxial ($P - M2$).

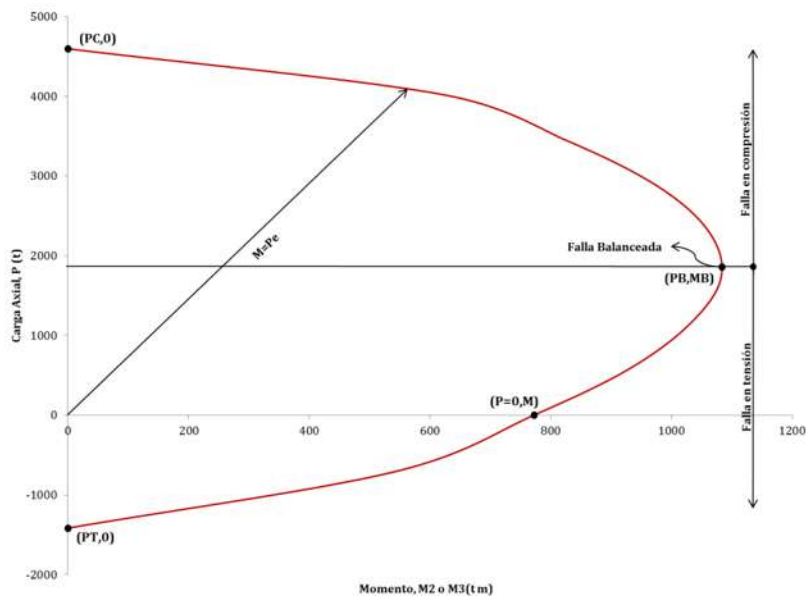


Figura 5.34 Diagrama de interacción

Un diagrama de interacción uniaxial es definido por los siguientes puntos:

- (PT, 0) Carga axial máxima a tensión
- (PC, 0) Carga axial máxima a compresión

- ($P = 0, M$) Momento flexionante máximo para la condición $P = 0$
 (PB, MB) Carga axial y momento flexionante correspondientes a la falla balanceada

Los puntos anteriores, señalados en un diagrama de interacción, se muestran en la Figura 5.34.

Los puntos de cada uno de los diagramas de interacción para las columnas de los puentes en estudio se resumen en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Puntos para definir los diagramas de interacción

Modelo	Carga axial @			Momento @	
	PT	PC	PB	MB	$P = 0$
	(t)	(t)	(t)	($t \cdot m$)	($t \cdot m$)
C20P05-0	387.06	1428.80	535.80	169.62	117.05
C20P05-1	731.06	2190.77	821.54	341.34	255.70
C20P05-2	903.03	2864.03	1074.01	520.28	379.40
C20P05-3	1106.08	3438.23	1289.34	686.64	504.88
C20P10-0	494.47	1667.69	625.39	218.91	156.14
C20P10-1	838.47	2454.54	920.45	409.54	309.94
C20P10-2	1244.23	3984.09	1494.03	866.34	629.22
C20P10-3	1659.07	4825.69	1809.63	1175.89	887.68
C20P15-0	730.91	2352.45	882.17	381.32	276.47
C20P15-1	1139.43	3275.17	1228.19	647.37	492.07
C20P15-2	1416.93	4595.93	1723.47	1082.19	771.83
C20P15-3	1970.22	5601.99	2100.75	1485.13	1130.60
C20P20-0	1139.39	3088.62	1158.23	589.59	459.11
C20P20-1	1505.21	4231.68	1586.88	965.11	739.33
C20P20-2	1866.39	5258.93	1972.10	1348.41	1031.94
C20P20-3	2142.79	6280.17	2355.06	1772.00	1319.52
C30P05-0	558.97	1728.95	648.35	232.73	172.66
C30P05-1	881.43	2665.35	999.50	465.34	345.98
C30P05-2	1031.93	3367.93	1262.97	669.98	481.25
C30P05-3	1278.98	4016.91	1506.34	878.66	642.21
C30P10-0	731.01	2037.38	764.02	303.67	235.34
C30P10-1	1118.01	3254.75	1220.53	640.86	484.30
C30P10-2	1589.84	4532.03	1699.51	1064.46	810.48
C30P10-3	2004.62	5390.22	2021.33	1401.68	1093.73
C30P15-0	816.90	2782.36	1043.38	495.35	349.35
C30P15-1	1332.95	3856.91	1446.34	836.55	633.69
C30P15-2	1831.75	5226.11	1959.79	1335.88	1015.94
C30P15-3	2385.15	6248.75	2343.28	1766.20	1391.38
C30P20-0	989.17	3530.24	1323.84	717.50	490.84
C30P20-1	1797.40	4956.98	1858.87	1228.67	947.30
C30P20-2	1935.68	6083.23	2281.21	1678.89	1212.66
C30P20-3	2799.75	8031.42	3011.78	2604.39	1954.08

5.1.6. CONDICIONES DE FRONTERA

Al ser considerado que los puentes se cimentan en terreno firme y que los estribos son rígidos, no se considera la no linealidad de estos componentes, por lo que las condiciones de frontera no cambian en los modelos no lineales y sigue siendo considerado el empotramiento tanto en la cimentación como en los estribos.

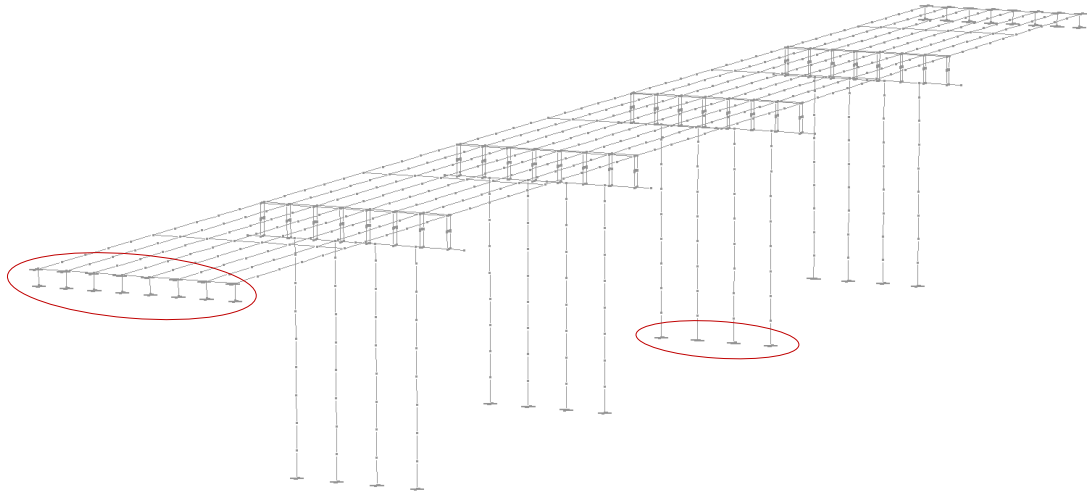


Figura 5.35 Condiciones de frontera

5.1.7. AMORTIGUAMIENTO

El amortiguamiento es un mecanismo de disipación de energía, que resulta de la desintegración del movimiento en un sistema de vibración lineal o no lineal bajo fuerzas excitantes o deformaciones impuestas [Aviram et al., 2008]. Una estructura disipa energía mediante varios mecanismos, siendo el *amortiguamiento viscoso* el más utilizado, el cual está destinado a modelar la disipación de energía dentro del límite elástico-lineal de la estructura.

PERFORM3D permite el uso de dos tipos de amortiguamiento viscoso, el *amortiguamiento modal* y el *amortiguamiento de Rayleigh*. Para el amortiguamiento modal es necesario definir un coeficiente de amortiguamiento viscoso equivalente en cada modo de vibrar. En nuestro estudio, utilizaremos un coeficiente de amortiguamiento viscoso constante para todos los modos, con un valor de 5%.

Si solamente definimos el valor del amortiguamiento modal, las únicas formas de la estructura deformada que tienen amortiguamiento son las correspondientes a los modos de vibrar (elásticas). Siendo que el número de grados de libertad de una estructura siempre es mayor que el número de modos de vibrar determinados por el programa, habrá muchas formas de vibrar que no estarán amortiguadas al adoptar el anterior criterio de

amortiguamiento. Por lo anterior, PERFORM3D recomienda utilizar una combinación de amortiguamiento modal y amortiguamiento Rayleigh para asegurar que las formas de modos de vibrar superiores estén amortiguadas.

El amortiguamiento *Rayleigh* asume que la estructura tiene una matriz de amortiguamiento, C , dada por:

$$C = \alpha M + \beta K \tag{5.4}$$

donde

- M Matriz de masas de la estructura
- K Matriz de rigideces elásticas
- α y β Coeficientes

PERFORM3D sugiere que, para la combinación de amortiguamientos modal y Rayleigh, se especifique solamente la parte βK de la ecuación (5.4), es decir, se desprecia el amortiguamiento de Rayleigh proporcional a la matriz de masas. Para definir el amortiguamiento βK es necesario conocer la relación T_A/T_1 , donde T_A corresponde al periodo del modo mayor calculado (PERFORM3D permite calcular hasta el modo 50), mientras T_1 corresponde al periodo del primer modo de vibrar. Se recomienda adoptar un porcentaje de amortiguamiento del 0.2%.

En la Figura 5.36 se muestra la forma de ingresar el amortiguamiento de Rayleigh. El parámetro β es calculado automáticamente por el programa, una vez conocidos los modos de vibrar.

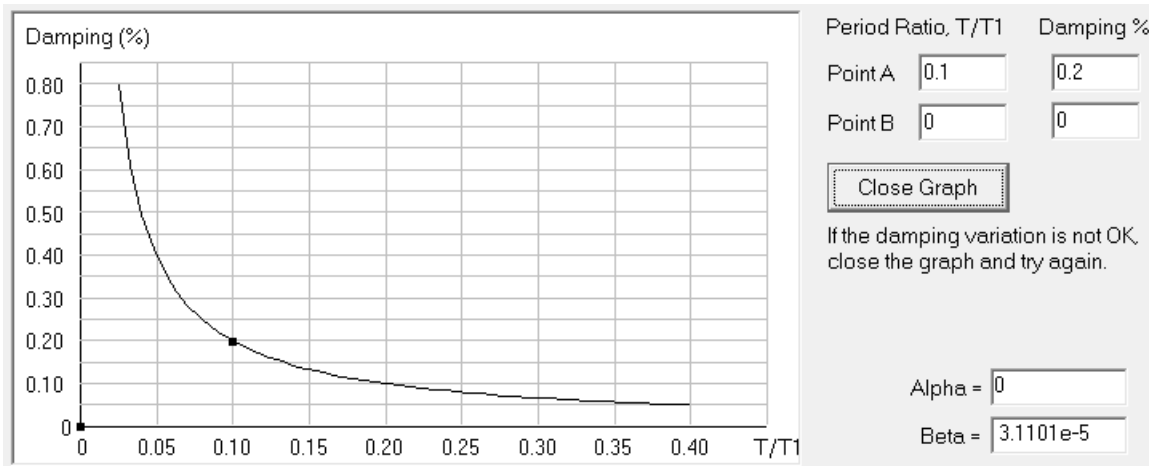


Figura 5.36 Definición del Amortiguamiento de Rayleigh en PERFORM3D, $C = \beta K$

5.2. ANÁLISIS NO LINEAL EN LA HISTORIA DEL TIEMPO

Para los análisis no lineales en la historia del tiempo, llevados a cabo en el programa PERFORM3D, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones, algunas de las cuales fueron explicadas en las secciones precedentes del presente capítulo:

- Todos los elementos fueron modelados mediante elementos barra, a excepción de los apoyos de neopreno y juntas de expansión.
 - Los apoyos de neopreno se modelaron mediante elementos inelástico, del tipo aislador sísmico de neopreno.
 - Las juntas de expansión se modelaron mediante elementos elásticos no lineales.
 - Se definieron diafragmas rígidos para representar a la losa; el peso propio de la misma, aunado al peso de la carpeta asfáltica y parapetos, se distribuyó de manera uniforme en las trabes AASHTO tipo IV.
- Se considera sólo la no linealidad del material y no se toma en cuenta la no linealidad geométrica.
- No se tomó en cuenta la degradación de rigidez.
- Se utilizó una combinación de amortiguamiento modal y amortiguamiento Rayleigh.
- Los análisis no lineales en la historia del tiempo continúan del análisis estático por carga gravitacional (carga muerta).

5.2.1. MEDIDAS DE INTENSIDAD UTILIZADAS

El escalamiento de los registros sísmicos, así como los factores de escala utilizados, fueron definidos previamente en la sección 3.4.3 del Capítulo 3. Una vez hecho esto, resulta fundamental definir la medida de intensidad (MI) que será utilizada a fin de definir las relaciones MI-PDI que buscamos.

Para nuestro estudio, se eligió como medida de intensidad la *seudoaceleración espectral asociada al periodo fundamental de la estructura*, $S_a(T)$, en la dirección de análisis correspondiente. Para ello, en la Tabla 5.10 se muestran los periodos fundamentales en cada dirección de los puentes, obtenidos mediante el análisis modal de cada modelo considerando su rigidez elástica, así como la masa total y el % de participación de masa en cada dirección.

La *seudoaceleración asociada al periodo fundamental de la estructura*, $S_a(T)$, es la ordenada del espectro de respuesta del registro sísmico en cuestión (una vez escalado), correspondiente al periodo T en la dirección de análisis.

Tabla 5.10 Periodos fundamentales de los modelos y % de participación de masa (en cada dirección)

Modelo	Masa total ($t \cdot s^2/m$)	Longitudinal			Transversal		
		Modo	T	% de participación de masa	Modo	T	% de participación de masa
	(s)		(s)				
C20P05-0	223.29	1	1.0250	80.94%	4	0.7219	80.94%
C20P05-1	230.13	1	0.8672	78.58%	4	0.6885	73.40%
C20P05-2	238.11	1	0.7753	75.55%	4	0.6726	71.48%
C20P05-3	243.95	1	0.7366	73.39%	4	0.6665	70.57%
C20P10-0	236.37	1	1.5328	80.71%	2	1.0286	78.53%
C20P10-1	248.23	1	1.3069	79.19%	3	0.8708	75.90%
C20P10-2	274.87	1	0.9848	74.37%	3	0.7368	67.36%
C20P10-3	285.99	1	0.9146	72.15%	3	0.7163	64.37%
C20P15-0	263.59	1	1.7147	78.40%	2	1.2749	77.37%
C20P15-1	280.71	1	1.5313	76.74%	2	1.0625	75.55%
C20P15-2	315.59	1	1.2554	73.37%	3	0.8674	69.59%
C20P15-3	331.59	1	1.1641	71.74%	3	0.8212	66.42%
C20P20-0	293.87	1	1.8813	76.27%	2	1.5699	76.31%
C20P20-1	327.35	1	1.6903	74.00%	2	1.2357	74.58%
C20P20-2	356.03	1	1.5416	72.21%	2	1.0755	72.24%
C20P20-3	386.67	1	1.4010	70.32%	3	0.9632	68.96%
C30P05-0	320.52	1	1.1706	81.14%	4	0.8691	77.27%
C30P05-1	330.18	1	0.9756	78.48%	4	0.8321	74.82%
C30P05-2	338.78	1	0.8988	76.10%	3	0.8198	73.42%
C30P05-3	344.10	1	0.8662	74.49%	3	0.8148	72.68%
C30P10-0	334.77	1	1.7508	81.12%	3	1.1711	79.21%
C30P10-1	356.18	1	1.3536	78.68%	3	0.9597	74.65%
C30P10-2	375.98	1	1.1453	75.64%	3	0.8897	69.96%
C30P10-3	385.82	1	1.0712	73.75%	3	0.8692	67.63%
C30P15-0	369.58	1	1.9014	78.81%	2	1.3486	77.79%
C30P15-1	389.22	1	1.6863	77.28%	3	1.1661	75.48%
C30P15-2	417.98	1	1.4411	74.75%	3	1.0222	70.86%
C30P15-3	434.10	1	1.3401	73.22%	3	0.9761	68.11%
C30P20-0	413.62	1	2.0591	76.46%	2	1.5468	76.62%
C30P20-1	441.14	1	1.8774	74.87%	2	1.3344	74.66%
C30P20-2	481.50	1	1.6496	72.50%	3	1.1507	70.70%
C30P20-3	528.42	1	1.4548	69.77%	3	1.0364	65.44%

5.2.2. PARÁMETROS DE DEMANDA INGENIERIL (PDIs) ANALIZADOS

Dada cierta medida de intensidad, los parámetros de demanda ingenieril (PDI) registrados durante los análisis no lineales en la historia del tiempo de los modelos de los puentes fueron:

- La curvatura plástica, θ_p , máxima y mínima de las articulaciones plásticas (AP).

- La energía histéretica disipada por las APs.
- La distorsión angular máxima y mínima o *drift*, Δ , de cada una de las columnas, tomando como referencia la altura libre de columna, h .

A partir de las PDI anteriores,

- La rotación máxima absoluta en las APs.
- La energía histerética total disipada por las pilas.
- La distorsión angular máxima absoluta o *drift*, Δ , de las pilas.
- Los índices de daño de las pilas (*ID local*) y el índice de daño global del puente (*ID global*), cuyo fundamento de cálculo se describe en la siguiente sección.

5.2.2.1. Índice de daño

A nivel mundial la normativa actual de diseño sísmico emplea el desplazamiento máximo esperado por una estructura durante un evento sísmico como indicador de su comportamiento estructural. De igual manera, se establece que, si el desplazamiento máximo de la estructura no excede su desplazamiento último ante carga monotónica, se tendrá un nivel de seguridad adecuado para el estado límite de colapso.

Sin embargo, se reconoce que el desempeño estructural no depende solamente de la demanda máxima de desplazamiento, sino también del daño acumulado; usualmente la energía histerética plástica es utilizada como parámetro de respuesta que mejor se correlaciona con dicho daño.

Prueba de lo anterior son las diversas investigaciones que demuestran que, para caracterizar correctamente casos como el de una estructura sujeta a eventos de larga duración, es necesario relacionar la demanda máxima de desplazamiento con otros parámetros que contemplen el efecto de la acumulación de las demandas plásticas [Fajfar, 1992; Ballio & Castiglioni, 1994; Manfredi, 2001; Malhotra, 2002; Chou & Uang, 2003; Boomer, Magenes, Hancock, & Penazzo, 2004; Chai, 2005; Iervolino, Manfredi, & Conenza, 2006; Bojórquez, Iervolino, Manfredi, & Conenza, 2006; Hancock & Bommer, 2006; citados por Bojórquez, Terán-Gilmore, Bojórquez, & Ruiz, 2009].

Una forma de considerar la degradación en las estructuras son los *modelos de daño*. De manera conceptual, un modelo de daño es una formulación analítica en la cual, dada la *demanda* y la *capacidad* de la estructura, se calcula un índice que refleje el daño en la misma; tal índice se conoce como *índice de daño*, *ID*. Los modelos de daño pueden ser locales, los cuales describen el comportamiento de elementos estructurales; o globales, los cuales proporcionan información respecto un sistema estructural complejo.

Probablemente el modelo de daño más reconocido y utilizado es el propuesto por Park & Ang (1985), el cual se encuentra definido mediante la combinación lineal del desplazamiento máximo y la demanda de energía histerética normalizada.

5.2.2.1.1. Modelo de daño de Park & Ang (1985)

El modelo de daño de Park & Ang (1985) es expresado como una combinación lineal del daño causado por la deformación máxima y la contribución en el daño por la disipación de energía histerética debida a ciclos de carga repetidos. Considerando las deformaciones como desplazamientos, la formulación para calcular el índice de daño local es la siguiente:

$$ID_l = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_u} + \beta \frac{E_h}{F_y \Delta_u} \quad (5.5)$$

donde

ID_l	Índice de daño local
Δ_{max}	Demanda de desplazamiento máxima, bajo cargas cíclicas
Δ_u	Capacidad de desplazamiento última, bajo carga monotónica
β	Parámetro que representa la ponderación para el efecto de disipación de energía en la acumulación de daño
E_h	Demanda de energía histerética, bajo cargas cíclicas
F_y	Fuerza de fluencia

El parámetro β es función de la relación volumétrica de acero de refuerzo transversal, la relación de cortante del claro, la fuerza axial normalizada y de la relación de acero longitudinal. Park, Ang, & Wen (1987) citado por Bazan & Sasani (2004), sugiere un valor de $\beta = 0.05$ para vigas y columnas de concreto reforzado; por otro lado Cosenza, Manfredi, & Ramasco (1993), citados por Bojórquez et al. (2009) proponen un valor de $\beta = 0.15$ para estructuras con detallado sísmico adecuado. En este trabajo utilizaremos $\beta = 0.15$.

El modelo de daño global, basado en el modelo de Park & Ang (1985), depende del daño local en los elementos estructurales que conforman el sistema, proponiendo un promedio pesado del daño local, como función de la demanda de energía histerética de cada elemento. El índice de daño global se calcula con la siguiente expresión:

$$ID_g = \frac{\sum_{i=1}^n ID_{l_i} E_{h_i}}{\sum_{i=1}^n E_{h_i}} \quad (5.6)$$

donde

ID_g Índice de daño global

ID_i Índice de daño local del elemento i

E_h Demanda de energía histerética del elemento i , bajo cargas cíclicas

En general, los modelos de daño catalogan el daño que sufre el elemento o la estructura dentro de un intervalo $0 \leq ID \leq 1.0$, donde el límite inferior $ID = 0$ representa un estado de no daño, mientras el límite superior $ID = 1.0$ indica el colapso. En la Tabla 5.11 se muestra una clasificación detallada de los niveles de daño en las estructuras asociados a los índices de daño, propuesta por Park, Ang, & Wen (1985).

Tabla 5.11 Índices de daño asociados a ciertos niveles de daño

Nivel de daño	Índice de daño	Estado de daño	
I	$ID < 0.10$	Sin daño	Grietas pequeñas localizadas
II	$0.10 \leq ID < 0.25$	Daño menor	Grietas ligeras en todo el elemento
III	$0.25 \leq ID < 0.40$	Daño moderado	Agrietamiento severo, desprendimientos de concreto localizados
IV	$0.40 \leq ID < 1.0$	Daño severo	Aplastamiento del concreto, exposición del acero de refuerzo.
V	$ID \geq 1.0$	Colapso	

5.2.2.1.2. Análisis estático no lineal (*Pushover*) para pilas aisladas

Se llevaron a cabo análisis estáticos no lineales (*pushover*), en dirección longitudinal y transversal, a una pila aislada de cada modelo de puente, con la finalidad de conocer la capacidad de desplazamiento última bajo carga monotónica, Δ_u , así como la fuerza de fluencia, F_y , parámetros que son necesarios para calcular el índice de daño (ID local) en las pilas.

De dichos análisis se obtuvieron las curvas de capacidad de cada pila aislada, que relacionan el cortante basal con el desplazamiento lateral máximo en la parte superior de la pila. En la Figura 5.37 se muestran las curvas de capacidad, para cada dirección de análisis, obtenidas para una pila aislada del modelo C20P15-2.

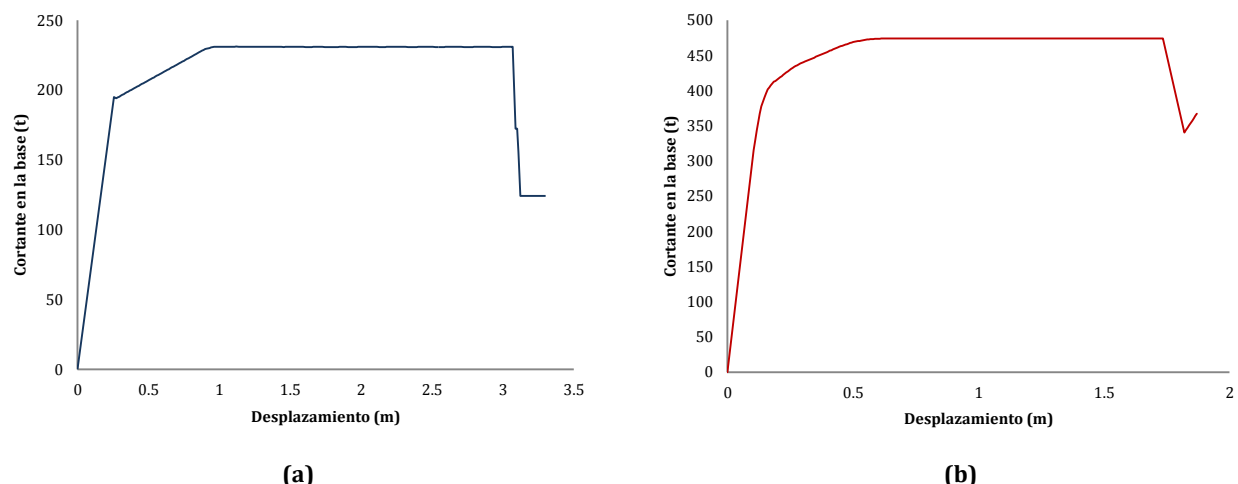


Figura 5.37 Curvas de capacidad de pilas, modelo C20P15-2, dirección de análisis: (a) Longitudinal, y (b) Transversal

De las curvas de capacidad se obtienen los siguientes parámetros: el desplazamiento de fluencia, Δ_y ; la fuerza de fluencia, F_y ; la capacidad de desplazamiento última, Δ_u , y la fuerza última, F_u . Las Tablas 5.12 y 5.13 muestran los resultados para las pilas de modelos de puentes con longitud de claro de 20 m y 30 m, respectivamente.

Tabla 5.12 Resultados del análisis estático lineal para pilas de puentes con claros de 20 m

Modelo (Pila)	Longitudinal				Transversal			
	Δ_y	F_y	Δ_u	F_u	Δ_y	F_y	Δ_u	F_u
	(m)	(t)	(m)	(t)	(m)	(t)	(m)	(t)
C20P05-0	0.0470	76.99	0.8648	49.60	0.0282	183.26	0.5985	149.20
C20P05-1	0.0430	173.85	0.7451	71.95	0.0267	398.46	0.5159	297.27
C20P05-2	0.0384	260.25	0.6022	233.46	0.0246	594.71	0.4173	614.42
C20P05-3	0.0354	347.93	0.5980	167.82	0.0251	782.10	0.4833	672.78
C20P10-0	0.1746	56.17	2.7763	26.43	0.1005	122.86	1.6134	77.49
C20P10-1	0.1608	112.97	2.2776	70.10	0.0929	241.68	1.3532	209.01
C20P10-2	0.1261	232.36	1.7433	161.83	0.0810	489.65	1.0648	479.78
C20P10-3	0.1198	328.68	1.6073	217.84	0.0773	684.05	0.9771	642.58
C20P15-0	0.3560	70.30	4.8106	21.37	0.2053	144.96	2.6473	123.93
C20P15-1	0.3165	123.76	4.0492	57.06	0.1855	255.51	2.2419	207.63
C20P15-2	0.2554	194.96	3.3023	124.27	0.1598	401.88	1.8700	367.28
C20P15-3	0.2489	286.15	3.0610	163.85	0.1598	584.87	1.7467	488.78
C20P20-0	0.5991	88.43	7.4799	53.18	0.3476	181.39	4.0230	159.15
C20P20-1	0.4987	141.70	6.1752	80.75	0.2955	289.62	3.3405	212.86
C20P20-2	0.4555	198.72	5.5431	96.71	0.2690	402.51	3.0323	322.33
C20P20-3	0.4049	253.44	4.8502	158.59	0.2485	514.17	2.6337	504.08

Tabla 5.13 Resultados del análisis estático lineal para pilas de puentes con claros de 30 m

Modelo (Pila)	Longitudinal				Transversal			
	Δ_y	F_y	Δ_u	F_u	Δ_y	F_y	Δ_u	F_u
	(m)	(t)	(m)	(t)	(m)	(t)	(m)	(t)
C30P05-0	0.0465	116.07	0.8004	77.88	0.0296	272.91	0.5717	145.33
C30P05-1	0.0389	237.13	0.6262	154.90	0.0244	537.62	0.4307	500.01
C30P05-2	0.0342	331.17	0.5601	143.29	0.0225	744.88	0.3909	541.35
C30P05-3	0.0323	441.19	0.5698	252.60	0.0231	994.18	0.4610	852.03
C30P10-0	0.1762	86.03	2.4682	48.42	0.1056	187.27	1.4144	179.62
C30P10-1	0.1402	178.42	1.9685	75.76	0.0790	376.73	1.1020	304.47
C30P10-2	0.1220	298.59	1.7375	143.05	0.0774	628.83	1.0593	517.85
C30P10-3	0.1167	404.18	1.5513	300.34	0.0753	842.96	0.9395	825.27
C30P15-0	0.3107	87.46	4.2607	25.73	0.1831	182.07	2.3487	152.63
C30P15-1	0.2895	159.72	3.7419	70.37	0.1754	329.96	2.0639	252.26
C30P15-2	0.2540	256.80	3.2452	133.51	0.1628	527.43	1.8533	442.26
C30P15-3	0.2421	351.41	3.0573	263.76	0.1545	718.26	1.7637	636.78
C30P20-0	0.4778	93.77	6.3573	27.67	0.2829	194.39	3.4279	161.81
C30P20-1	0.4652	181.79	5.9181	100.86	0.2803	370.23	3.2854	273.22
C30P20-2	0.3957	233.45	4.9909	141.37	0.2474	473.91	2.7220	462.45
C30P20-3	0.3607	376.03	4.2456	214.20	0.2348	761.64	2.3418	647.27

5.2.3. RESULTADOS

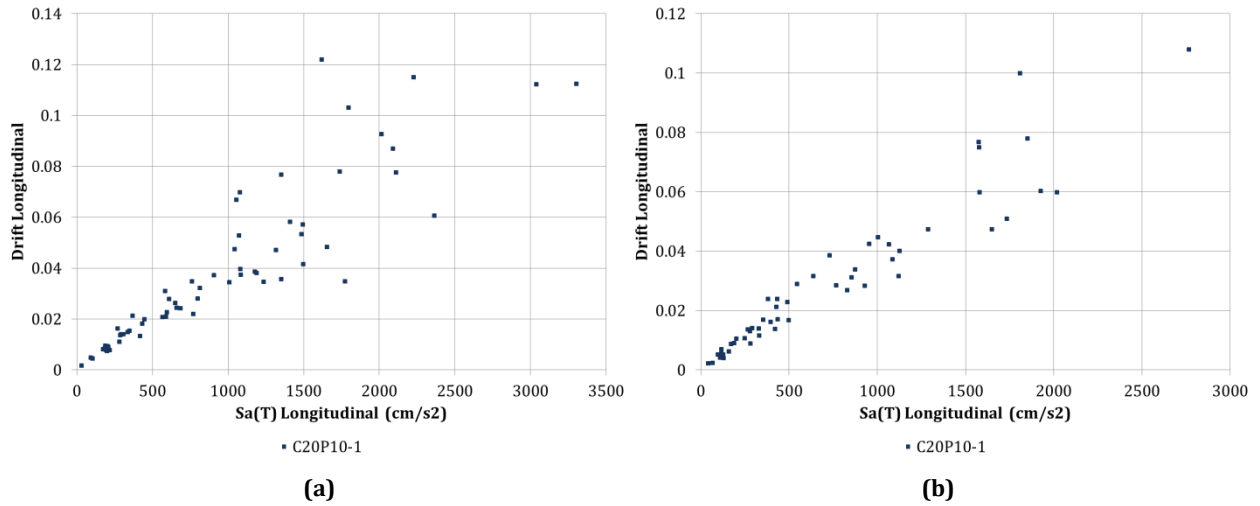
Para cada modelo de puente se llevaron a cabo 124 análisis no lineales en la historia del tiempo, en cada dirección (longitudinal y transversal), correspondientes a los 71 acelerogramas provenientes de la fuente sísmica de subducción y 53 de fallamiento normal seleccionados en el Capítulo 3. De esta manera, para esta investigación se realizaron un total de 7936 análisis no lineales en la historia del tiempo.

Una vez capturados los parámetros de demanda ingenieril (PDI), resultados de cada análisis, se procedió a relacionarlos con su correspondiente medida de intensidad (MI). Así fue posible construir los diagramas de dispersión de cada relación MI-PDI dada, para cada dirección de análisis, siendo estas:

- $Sa(T) - \theta_p$
- $Sa(T) - \Delta$
- $Sa(T) - ID \text{ local}$
- $Sa(T) - ID \text{ global}$

A manera de ejemplo, en la Figura 5.38 se muestran los diagramas de dispersión de la pseudoaceleración asociada al periodo fundamental de la estructura contra la distorsión angular máxima, $Sa(T) - \Delta$, para el

modelo C20P10-1. El conjunto total de diagramas de dispersión de las relaciones MI-PDI, para cada modelo de puente analizado, se presenta en el Apéndice A.



(a) **(b)**
Figura 5.38 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

Capítulo 6

DETERMINACIÓN DE LAS FUNCIONES DE DEMANDA ESTRUCTURAL

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de los análisis no lineales en la historia del tiempo, expresados mediante los parámetros de demanda ingenieril (PDIs), y su relación con la correspondiente medida de intensidad (MI), en el presente capítulo se determinarán las funciones de demanda estructural (MI-PDI) mediante un análisis de regresión.

El *análisis de regresión* es una técnica estadística para investigar y modelar la relación entre variables. El primer paso para realizar un análisis de regresión radica en construir el *diagrama de dispersión*, consistente en una gráfica en la cual cada par (x_i, y_i) es representado como un punto graficado en un sistema coordenado de dos dimensiones. Para nuestro estudio, dicho par (x_i, y_i) corresponde a un punto (MI, PDI).

Un conjunto de datos contenidos dentro de un diagrama de dispersión pueden ser ajustados mediante curvas lineales o no lineales, llamando así a dos tipos de análisis de regresión: *lineal* y *no lineal*. Mediante el análisis de regresión no lineal es posible ajustar un conjunto de datos a una curva cuadrática, cúbica, exponencial, potencial o geométrica, logística, entre otras.

Para la determinación de las funciones de demanda estructural se realizará el ajuste de los resultados a través de regresión lineal simple; sin embargo, como se explica más adelante, es posible ajustar relaciones no lineales a través de este tipo de regresión. Se busca que la curva de ajuste sea óptima, por lo que se explorará la posibilidad de que las funciones sean ajustadas con distintas funciones, eligiendo aquella que presente la mayor correlación y la menor dispersión.

6.1. REGRESIÓN LINEAL SIMPLE Y CORRELACIÓN

6.1.1. MODELO DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

El modelo de *regresión lineal simple* considera solo una variable *regresor* o *predictor*, x , y una variable *respuesta*, y , las cuales mantienen una relación lineal. La razón por la que las variables x y y sean llamadas de la manera anterior y no como habitualmente se acostumbra (variable independiente y variable dependiente, respectivamente) se debe a que a menudo causa confusión con el concepto de independencia estadística.

El modelo de regresión lineal simple es el siguiente:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (6.1)$$

donde β_0 y β_1 son los coeficientes de regresión no conocidos, representando la intersección con el eje y la pendiente, respectivamente; ε es el error o residuo, el cual muestra la discrepancia entre el valor verdadero de y y el aproximado, que predijo la ecuación lineal. Se asume que los errores tienen media cero y varianza no conocida, σ^2 ; se asume también que son no correlacionados, es decir, que el valor de un error no tiene influencia en el valor de cualquier otro error.

El valor esperado de y para cada valor de x es:

$$E(y|x) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (6.2)$$

Mientras la varianza está dada por la siguiente ecuación:

$$V(y|x) = V(\beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon) = \sigma^2 \quad (6.3)$$

Para llevar a cabo la regresión y ajustar los datos que relacionan las PDIs y las MIs, aplicaremos el método de los mínimos cuadrados, cuyas bases se explican a continuación.

6.1.2. MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS

Un criterio para la estimación de los coeficientes de regresión es el *método de los mínimos cuadrados*, propuesto por el científico alemán Karl Gauss (1777-1855). Dicho método estima los coeficientes de regresión tal que la suma de los cuadrados de las diferencias entre las observaciones y_i y la línea recta (conocidas como desviaciones verticales) sea la mínima (Figura 6.1).

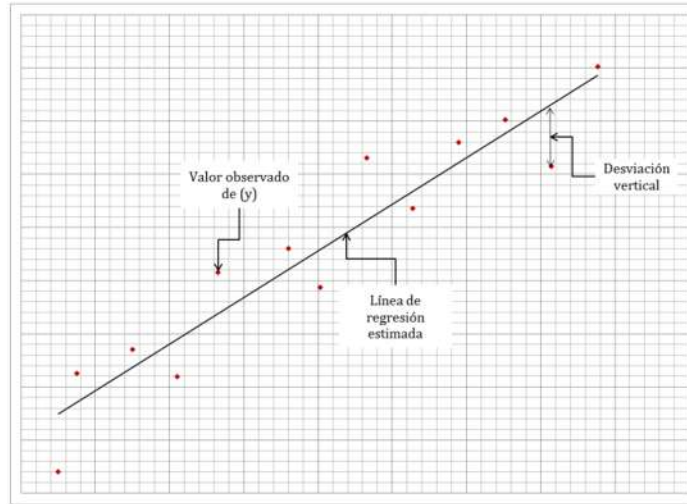


Figura 6.1 Desviaciones de los datos comparados con el modelo de regresión estimado

6.1.2.1. Estimación de los parámetros β_0 y β_1

La ecuación (6.1), para n observaciones, puede ser escrita de la siguiente manera:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.4)$$

El criterio de los mínimos cuadrados se expresa:

$$S(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \quad (6.5)$$

Los estimadores mínimos cuadrados de β_0 y β_1 , llamados $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$, deben satisfacer:

$$\left. \frac{\partial S}{\partial \beta_0} \right|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i) = 0 \quad (6.6)$$

$$\left. \frac{\partial S}{\partial \beta_1} \right|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i) x_i = 0 \quad (6.7)$$

Mediante la simplificación de las ecuaciones (6.6) y (6.7) obtenemos

$$n \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \quad (6.8)$$

$$\hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n x_i + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i x_i \quad (6.9)$$

Las ecuaciones (6.8) y (6.9) son conocidas como *ecuaciones normales de mínimos cuadrados*, y de su solución se encuentra el valor de los estimadores mínimos cuadrados $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$, siendo estos:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (6.10)$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} \quad (6.11)$$

donde

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad y \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

De esta manera, $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$ en las ecuaciones (6.10) y (6.11) son los estimadores mínimos cuadrados de la intersección con el eje y la pendiente, respectivamente. Finalmente, el modelo ajustado de regresión lineal simple es:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x \quad (6.12)$$

6.1.2.2. Estimación del cuadrado medio residual, σ^2

Adicionalmente a la estimación de β_0 y β_1 , existe otro parámetro desconocido para el modelo de regresión lineal por mínimos cuadrados, σ^2 , el cual representa la varianza del error o residuo y que se conoce como *cuadrado medio del error* o *cuadrado medio residual*. Para obtener su valor debemos conocer la *suma de los cuadrados de los errores*, SS_E :

$$SS_E = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (6.13)$$

Se considera que SS_E posee $n - 2$ grados de libertad, debido a que dos grados de libertad están involucrados en la obtención de \hat{y}_i , asociados a los estimadores $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$ (ecuación (6.12)); así, el valor esperado de SS_E es $E(SS_E) = (n - 2)\sigma^2$. Entonces, un estimador sin sesgo de σ^2 es:

$$\sigma^2 = \frac{SS_E}{n - 2} \quad (6.14)$$

La raíz cuadrada del cuadrado medio residual es conocida como el *error estándar de la regresión* o *error estándar del estimado*, mediante el cual podemos conocer la dispersión de los datos observados alrededor de la línea de regresión.

$$\sigma = \sqrt{\frac{SS_E}{n-2}} \quad (6.15)$$

6.1.3. COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN, R^2

El *coeficiente de determinación*, R^2 , es frecuentemente utilizado para considerar la adecuación de un modelo de regresión y se obtiene mediante:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (6.16)$$

Debido a que $SS_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ (ecuación (6.13)) y si consideramos $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = S_{yy}$, tenemos que:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{S_{yy}} \quad (6.17)$$

S_{yy} es una medida de la variabilidad en y sin considerar el efecto de la variable regresor x , mientras que SS_E es una medida de la variabilidad en y una vez que la variable x ha sido considerada. De acuerdo con esto, el coeficiente de determinación es, a menudo, llamada la *proporción de variación explicada mediante el regresor x* .

Los valores que puede adoptar R^2 se ubican en el intervalo $0 \leq R^2 \leq 1$, a consecuencia de que $0 \leq SS_E \leq S_{yy}$. Un valor de R^2 cercano a 1 implica que la mayor parte de la variabilidad de y es explicada mediante el modelo de regresión

6.1.4. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN, r

El *coeficiente de correlación* o *coeficiente de correlación de Pearson*, r , es un indicador que mide la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. Su valor es igual a la raíz cuadrada del coeficiente de determinación, es decir $r = \sqrt{R^2}$. Otra forma de obtenerlo es mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n y_i (x_i - \bar{x})}{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]^{1/2}} \quad (6.18)$$

6.1.5. TRANSFORMACIÓN DE RELACIONES NO LINEALES

Asumir que la relación entre variables es lineal es el punto de inicio de un análisis de regresión; sin embargo, en ocasiones el modelo de regresión lineal simple (ecuación (6.1)) es inapropiado debido a que la verdadera función de regresión es no lineal. Para estos casos se pueden utilizar técnicas de regresión polinomial; otra opción consiste en utilizar transformaciones para expresar los datos en una forma que sea compatible con la regresión lineal. Aquellos modelos no lineales en los que es posible realizar esta transformación se les conoce como *funciones intrínsecamente lineales*. En la Tabla 6.1 se muestran las transformaciones de las funciones intrínsecamente lineales más comunes.

Tabla 6.1 Transformación de funciones intrínsecamente lineales [Devore, 2012]

Función		Transformación		Forma Lineal
Potencial	$y = \beta_0 x^{\beta_1}$	$y' = \log y$	$x' = \log x$	$y' = \log \beta_0 + \beta_1 x'$
Exponencial	$y = \beta_0 e^{\beta_1 x}$	$y' = \ln y$		$y' = \ln \beta_0 + \beta_1 x$
Logarítmica	$y = \beta_0 + \beta_1 \log x$		$x' = \log x$	$y = \beta_0 + \beta_1 x'$
Recíproca	$y = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{x}$		$x' = \frac{1}{x}$	$y = \beta_0 + \beta_1 x'$

6.2. FUNCIONES DE DEMANDA ESTRUCTURAL

Las funciones de demanda estructural muestran la relación existente entre una medida de intensidad dada (MI) y cierto parámetro de demanda ingenieril (PDI). Para plantear las relaciones MI-PDI, en el presente estudio se eligió como MI la pseudoaceleración espectral asociada al periodo fundamental del puente, $Sa(T)$, y como PDIs se emplearon: la rotación máxima absoluta alcanzada en una articulación plástica, θ_p ; la distorsión angular o *drift* máximo alcanzado en una pila, Δ ; el índice de daño local máximo en cierto elemento (pilas), $ID local$; y el índice de daño global del puente, $ID global$. De esta forma, se estudiaron las siguientes relaciones MI-PDI:

- $Sa(T) - \theta_p$
- $Sa(T) - \Delta$
- $Sa(T) - ID local$
- $Sa(T) - ID global$

Para una relación MI-PDI dada, la manera de presentar los resultados en esta sección es la siguiente.

- a) Los resultados de modelos con una misma altura de pilas y diseñados para el mismo espectro de diseño se presentan en conjunto, y a este nuevo conjunto o grupo de resultados se le nombra con los últimos 5 caracteres del nombre del modelo original. Así, por ejemplo, el grupo P05-0 combina los

resultados de los modelos con altura de pila de 5 m, diseñados para el espectro de diseño de Morelia, Michocán (C20P05-0 y C30P05-0). Lo anterior se explica en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Definición de grupos para el manejo de resultados

Altura de pilas (m)	Grupo	Modelos	Coefficiente sísmico c	Altura de pilas (m)	Grupo	Modelos	Coefficiente sísmico c
5	P05-0	C20P05-0	0.3132	15	P15-0	C20P15-0	0.3132
		C30P05-0				C30P15-0	
	P05-1	C20P05-1	0.5517		P15-1	C20P15-1	0.5517
		C30P05-1				C30P15-1	
	P05-2	C20P05-2	0.7488		P15-2	C20P15-2	0.7488
		C30P05-2				C30P15-2	
	P05-3	C20P05-3	0.9548		P15-3	C20P15-3	0.9548
		C30P05-3				C30P15-3	
10	P10-0	C20P10-0	0.3132	20	P20-0	C20P20-0	0.3132
		C30P10-0				C30P20-0	
	P10-1	C20P10-1	0.5517		P20-1	C20P20-1	0.5517
		C30P10-1				C30P20-1	
	P10-2	C20P10-2	0.7488		P20-2	C20P20-2	0.7488
		C30P10-2				C30P20-2	
	P10-3	C20P10-3	0.9548		P20-3	C20P20-3	0.9548
		C30P10-3				C30P20-3	

En el Apéndice A se encuentran el conjunto de gráficas que muestran los diagramas de dispersión y las curvas de ajuste para todos los modelos analizados en la presente investigación, así como para los grupos creados, de acuerdo al inciso a). Con base en lo presentado en dicho apéndice, en esta sección se muestran solamente las curvas de ajuste para los grupos creados, y no para los modelos aislados.

- b) Se presentan tres gráficas para una misma dirección de análisis, donde una misma gráfica muestra las curvas de ajuste de los resultados de los grupos con la misma altura de pilas. La primer gráfica muestra los resultados de los modelos sometidos a sismos de subducción, la segunda a sismos de fallamiento normal, mientras que la última muestra la combinación de resultados, sin importar la fuente sísmica. Así, por ejemplo, en una misma gráfica se muestran las curvas de ajuste para los grupos P10-0, P10-1, P10-2 y P10-3; es decir, para los modelos con altura de pila de 10 m.
- c) Se anexa una tabla donde, de las curvas de ajuste para cada fuente sísmica para cada grupo, se muestran los valores de los siguientes parámetros:

Columna (a) → Parámetro β_0 ,

(b) → Parámetro β_1 ,

(c) → Error estándar de la estimación, σ ,

(d) → Coeficiente de correlación, r .

Los parámetros β_0 y β_1 dependen de la curva de ajuste de que se trate, pudiendo ser *exponencial* o *potencial*, según se especifique. De acuerdo a la Tabla 6.1, la función potencial tiene la forma $y = \beta_0 x^{\beta_1}$, y la función exponencial $y = \beta_0 e^{\beta_1 x}$.

De acuerdo con lo anterior, la relación MI-PDI potencial tiene la siguiente forma:

$$PDI = \beta_0(MI)^{\beta_1} \tag{6.19}$$

y para la relación MI-PDI exponencial tenemos:

$$PDI = \beta_0 e^{\beta_1 MI} \tag{6.20}$$

A excepción del caso que se plantea a continuación, las relaciones MI-PDI fueron ajustadas mediante curvas potenciales, debido a que este tipo de curva mostró una alta correlación y un bajo error estándar.

Para todos los resultados MI- PDI de los modelos de puentes con altura de pilas de 5 m, analizados en dirección transversal, se realizó el ajuste para una curva exponencial, a causa de que este tipo de ajuste mostró una correlación notablemente mayor comparada con el ajuste a una curva potencial. En el siguiente párrafo se explica el comportamiento de una relación MI-PDI para un análisis particular, aclarando que comportamientos similares fueron observados para las relaciones que se marcan en esta excepción.

En las siguientes figuras se muestran, para la relación $Sa(T) - \Delta$ del grupo P05-2 analizado en dirección transversal, el caso de un ajuste potencial (Figura 6.2a) y un ajuste exponencial (Figura 6.2b). Se aprecia claramente que un ajuste potencial, para este caso, es inadecuado; la curva de ajuste no sigue la tendencia de los datos, ni aun considerando sólo la parte inicial de los puntos ($Sa(T) \leq 2000 \text{ m/s}^2$); se nota también una alta dispersión por encima de la curva de ajuste para pseudoaceleraciones mayores a 2000 cm/s^2 . Ajustando los datos a una curva exponencial, lo anterior mejora de manera notable.

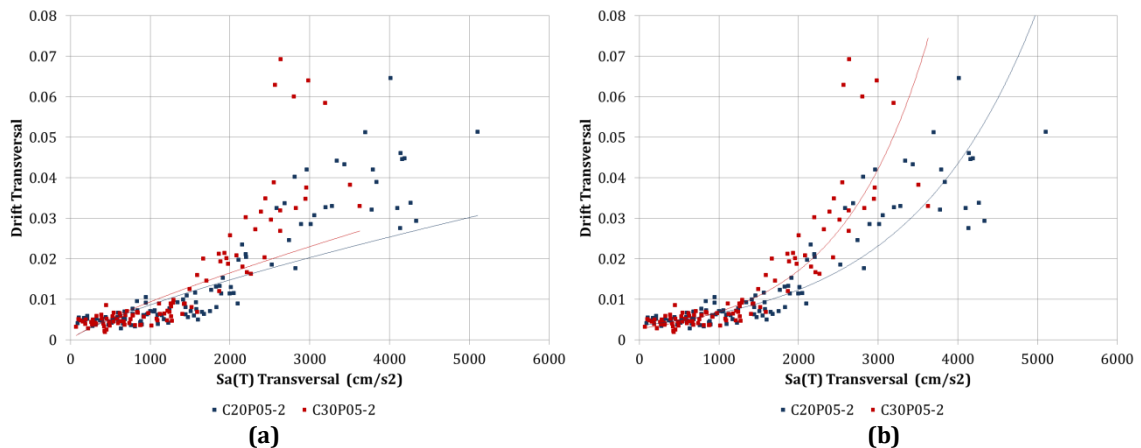


Figura 6.2 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupo P05-2, combinación de fuentes sísmica, curva de ajuste: (a) Potencial, y (b) Exponencial

6.2.1. RELACIÓN $Sa(T) - \theta_p$

6.2.1.1. MODELOS CON PILAS $h = 5 m$

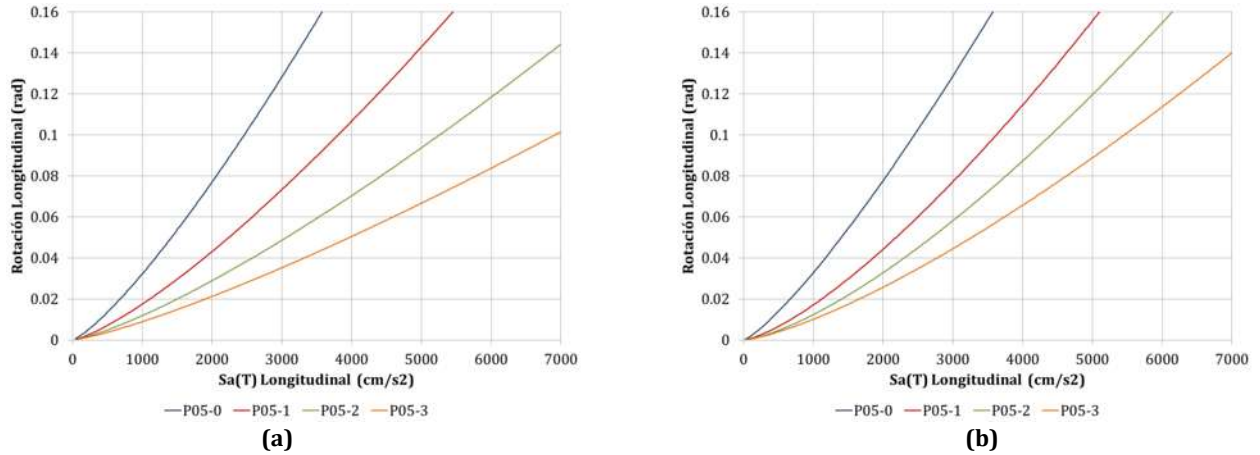


Figura 6.3 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

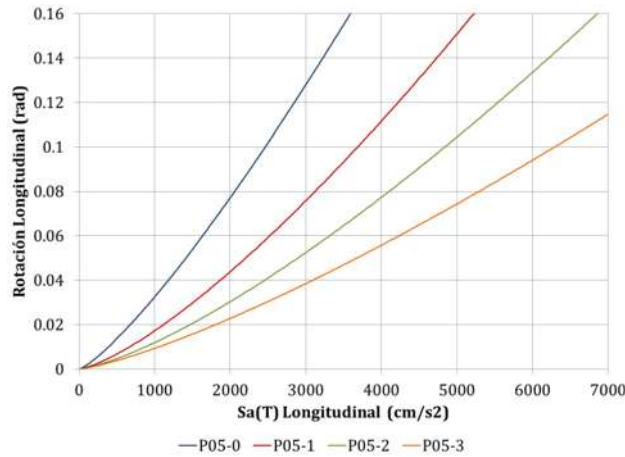


Figura 6.4 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Tabla 6.3 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
						β_0	β_1	σ	r
Longitudinal	5	0.3132	S	$Sa(T)$	θ_p	5.42E-06	1.2579	0.1747	0.9312
			FN			6.04E-06	1.2450	0.1809	0.9448
			S y FN			5.82E-06	1.2487	0.1768	0.9395
		0.5517	S			2.09E-06	1.3072	0.2079	0.9066
			FN			1.29E-06	1.3736	0.1744	0.9571
			S y FN			1.54E-06	1.3492	0.1925	0.9379
		0.7488	S			1.67E-06	1.2840	0.2040	0.9065
			FN			7.13E-07	1.4125	0.1860	0.9489
			S y FN			1.07E-06	1.3492	0.1964	0.9330
		0.9548	S			1.59E-06	1.2498	0.2092	0.9068
			FN			8.72E-07	1.3539	0.2026	0.9392
			S y FN			1.26E-06	1.2894	0.2077	0.9253

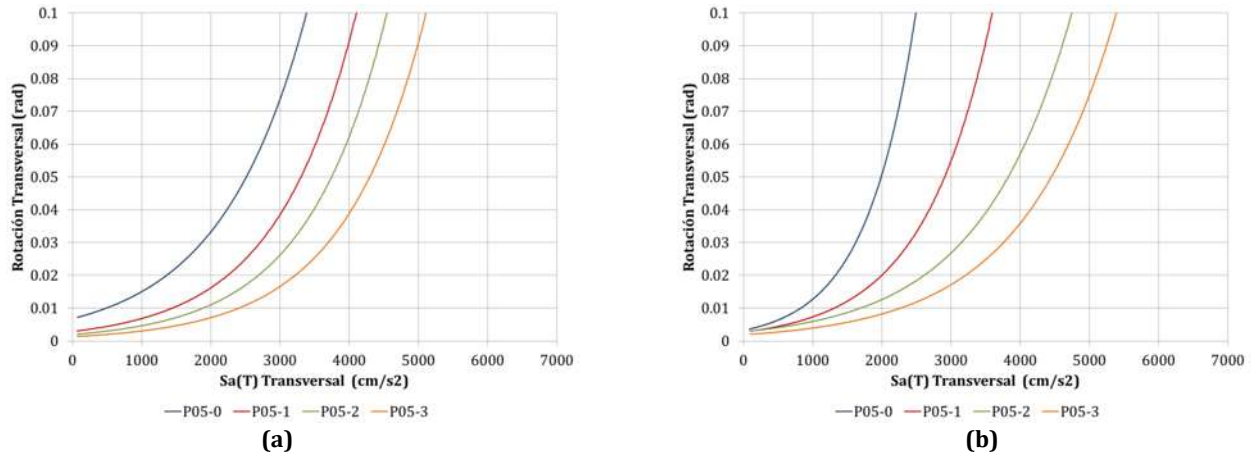


Figura 6.5 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

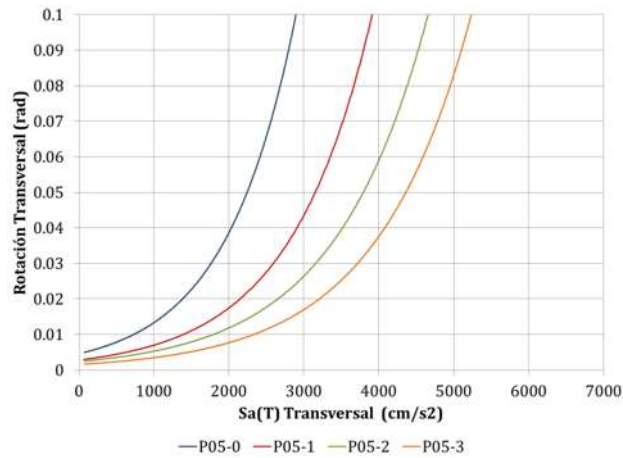


Figura 6.6 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Tabla 6.4 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Exponencial			
						β_0	β_1	σ	r
						Transversal	5	$Sa(T)$	θ_p
P05-0	5	0.3132	S	$Sa(T)$	θ_p	6.76E-03	7.96E-04	0.5567	0.7672
			FN			3.17E-03	1.38E-03	0.5666	0.8605
			S y FN			4.60E-03	1.06E-03	0.5983	0.8093
P05-1	5	0.5517	S			2.86E-03	8.66E-04	0.4826	0.8927
			FN			2.66E-03	1.01E-03	0.5325	0.8763
			S y FN			2.80E-03	9.14E-04	0.5134	0.8821
P05-2	5	0.7488	S			1.94E-03	8.67E-04	0.4851	0.9015
			FN			2.79E-03	7.54E-04	0.3739	0.8879
			S y FN			2.37E-03	8.03E-04	0.4490	0.8911
P05-3	5	0.9548	S			1.29E-03	8.51E-04	0.5473	0.9044
			FN			1.87E-03	7.38E-04	0.4127	0.8816
			S y FN			1.57E-03	7.93E-04	0.5030	0.8955

6.2.1.2. MODELOS CON PILAS $h = 10\text{ m}$

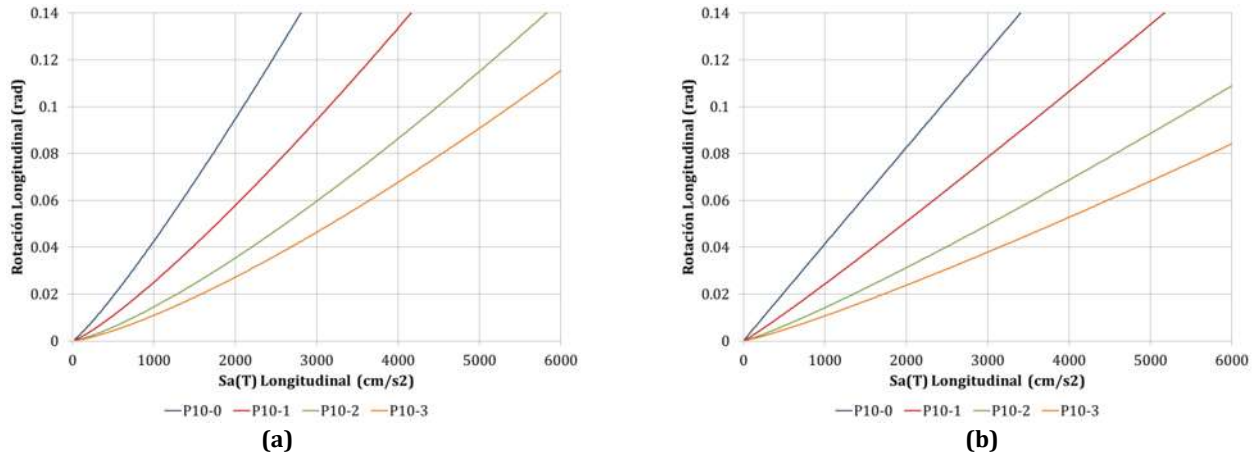


Figura 6.7 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

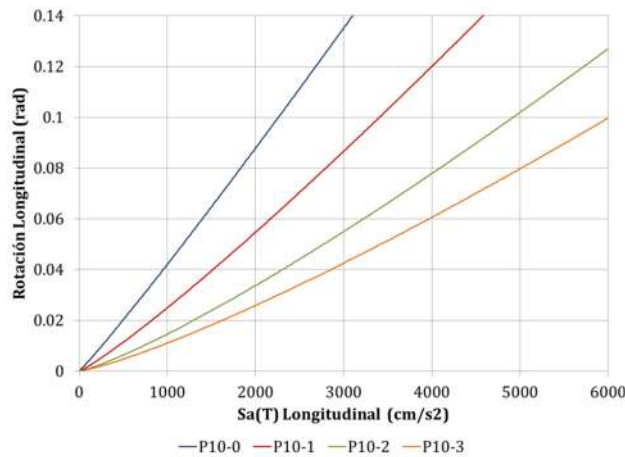


Figura 6.8 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Tabla 6.5 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste:		Potencial	
						β_0	β_1	σ	r
						Longitudinal	10		$Sa(T)$
P10-0	10	0.3132	S	Sa(T)	θ _p	1.48E-05	1.1528	0.1413	0.9544
			FN			4.31E-05	0.9943	0.1840	0.9147
			S y FN			2.70E-05	1.0637	0.1667	0.9337
P10-1	10	0.5517	S			6.01E-06	1.2067	0.1633	0.9501
			FN			1.55E-05	1.0654	0.1698	0.9385
			S y FN			9.80E-06	1.1349	0.1686	0.9440
P10-2	10	0.7488	S			2.01E-06	1.2865	0.1894	0.9361
			FN			5.54E-06	1.1366	0.1714	0.9481
			S y FN			3.43E-06	1.2091	0.1837	0.9416
P10-3	10	0.9548	S	1.25E-06	1.3146	0.1930	0.9356		
			FN	3.77E-06	1.1512	0.1709	0.9523		
			S y FN	2.25E-06	1.2300	0.1861	0.9433		

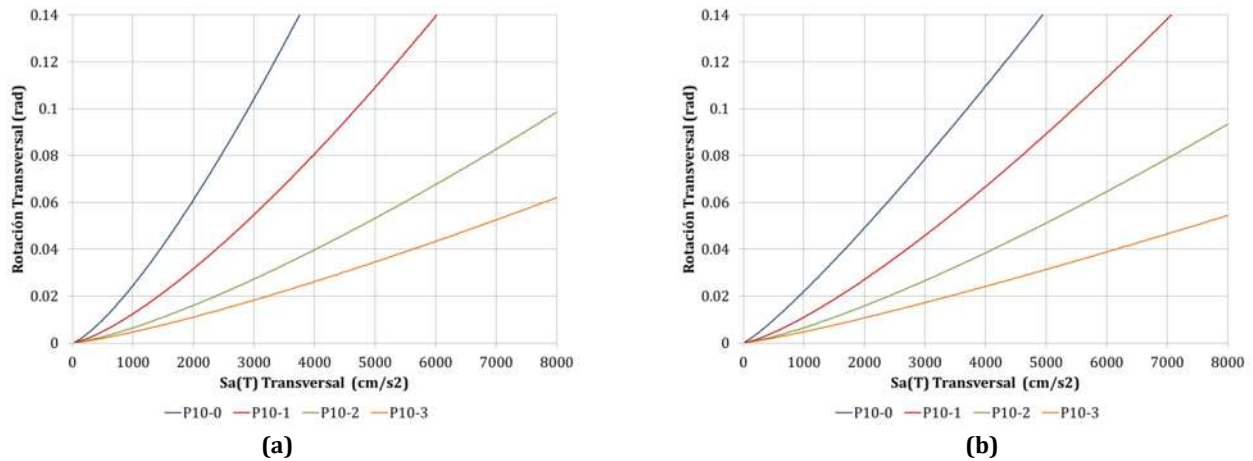


Figura 6.9 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

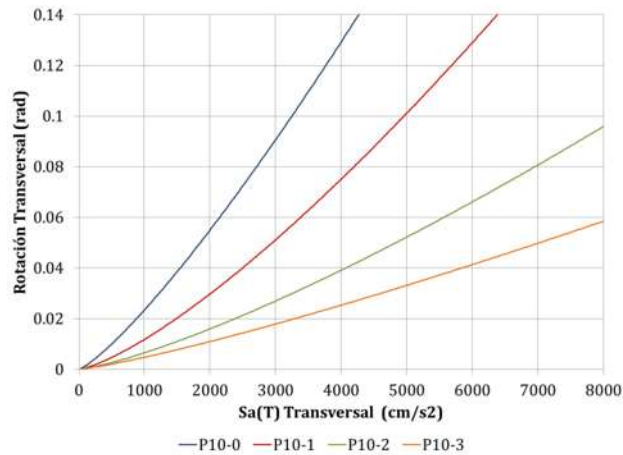


Figura 6.10 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Tabla 6.6 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
						β_0	β_1	σ	r
						Transversal	10	$Sa(T)$	θ_p
P10-0	10	0.3132	S	$Sa(T)$	θ_p	2.69E-06	1.3194	0.1702	0.9460
			FN			7.33E-06	1.1590	0.1677	0.9515
			S y FN			4.66E-06	1.2334	0.1717	0.9475
P10-1	10	0.5517	S			1.11E-06	1.3500	0.1839	0.9332
			FN			1.36E-06	1.3019	0.1595	0.9631
			S y FN			1.16E-06	1.3353	0.1745	0.9506
P10-2	10	0.7488	S			7.63E-07	1.3095	0.1962	0.9223
			FN			9.38E-07	1.2805	0.1639	0.9586
			S y FN			8.58E-07	1.2934	0.1818	0.9438
P10-3	10	0.9548	S			8.55E-07	1.2454	0.1949	0.9237
			FN			1.43E-06	1.1735	0.1771	0.9428
			S y FN			1.12E-06	1.2083	0.1871	0.9364

6.2.1.3. MODELOS CON PILAS $h = 15\text{ m}$

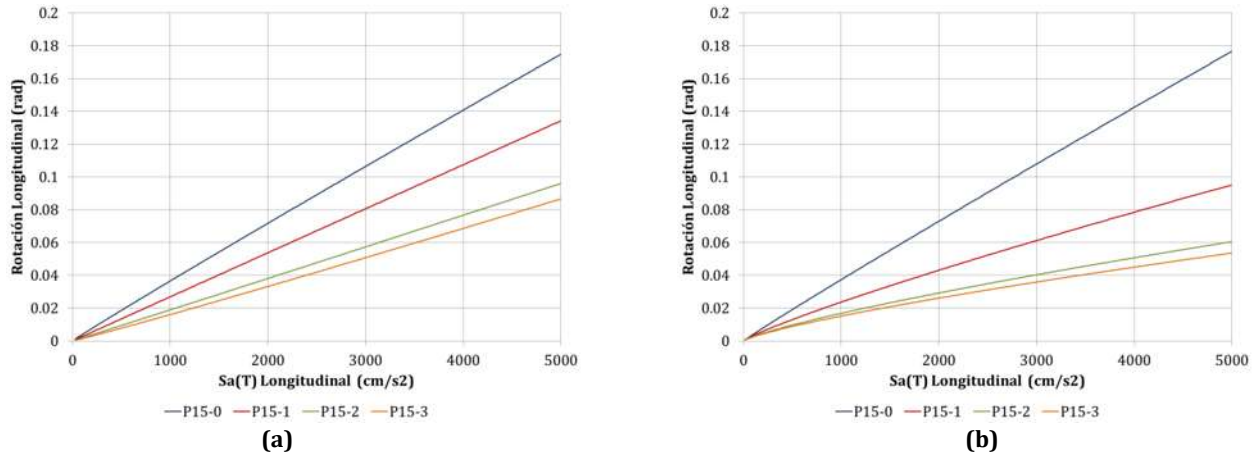


Figura 6.11 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

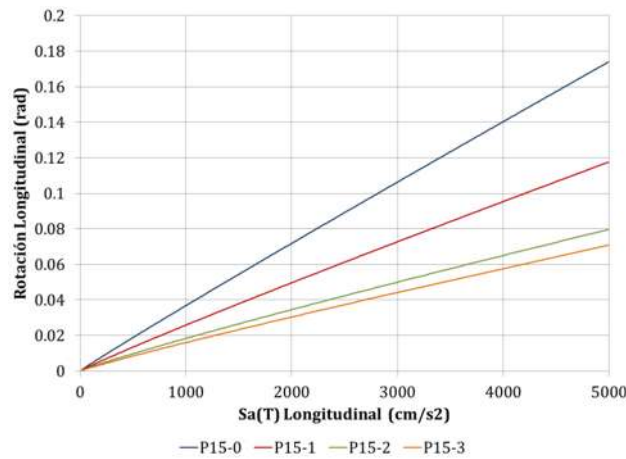


Figura 6.12 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Tabla 6.7 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste:		Potencial	
						β_0	β_1	σ	r
						Longitudinal	15	$Sa(T)$	θ_p
P15-0	15	0.3132	S	$Sa(T)$	θ_p	4.42E-05	0.9724	0.1864	0.9104
			FN			4.76E-05	0.9651	0.1614	0.9249
			S y FN			4.67E-05	0.9657	0.1754	0.9202
P15-1	15	0.5517	S			2.71E-05	0.9991	0.1914	0.9084
			FN			6.05E-05	0.8642	0.1934	0.8814
			S y FN			3.87E-05	0.9417	0.1935	0.9009
P15-2	15	0.7488	S			1.78E-05	1.0090	0.1872	0.9159
			FN			6.98E-05	0.7943	0.1989	0.8668
			S y FN			3.37E-05	0.9124	0.1969	0.8963
P15-3	15	0.9548	S			1.17E-05	1.0465	0.1712	0.9327
			FN			6.76E-05	0.7839	0.1830	0.8824
			S y FN			2.74E-05	0.9228	0.1848	0.9092

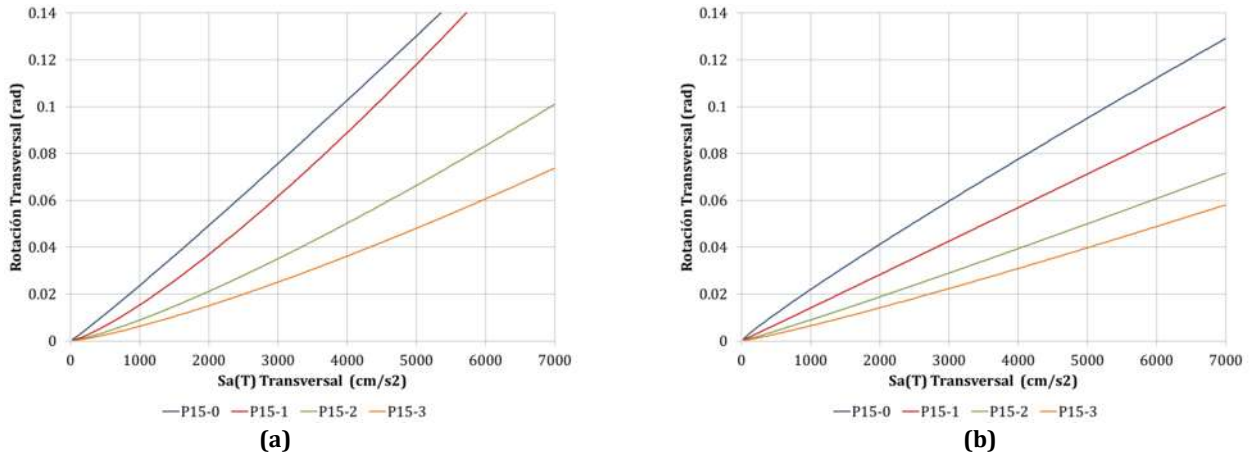


Figura 6.13 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

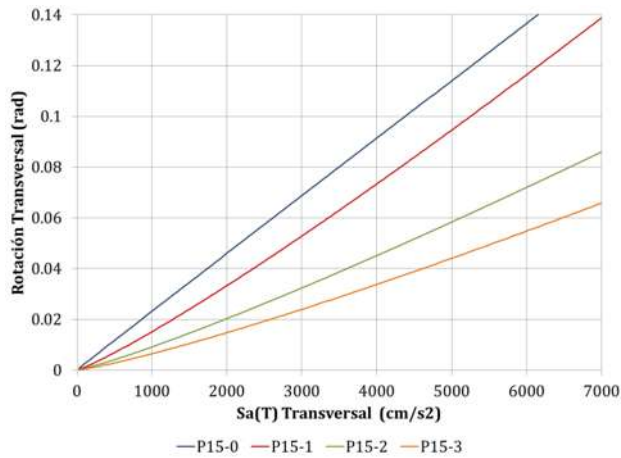


Figura 6.14 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Tabla 6.8 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste:		Potencial	
						β_0	β_1	σ	r
Transversal	P15-0	0.3132	S	Sa(T)	θ_p	1.54E-05	1.0615	0.1678	0.9362
			FN			4.04E-05	0.9116	0.1842	0.9067
			S y FN			2.45E-05	0.9917	0.1774	0.9241
	P15-1	0.5517	S			2.39E-06	1.2689	0.1626	0.9522
			FN			1.34E-05	1.0076	0.1846	0.9248
			S y FN			5.69E-06	1.1410	0.1803	0.9377
	P15-2	0.7488	S			1.61E-06	1.2479	0.1754	0.9397
			FN			5.61E-06	1.0679	0.1698	0.9448
			S y FN			3.15E-06	1.1537	0.1764	0.9416
	P15-3	0.9548	S			9.56E-07	1.2711	0.1694	0.9453
			FN			2.67E-06	1.1284	0.1502	0.9594
			S y FN			1.68E-06	1.1948	0.1637	0.9521

6.2.1.4. MODELOS CON PILAS $h = 20\text{ m}$

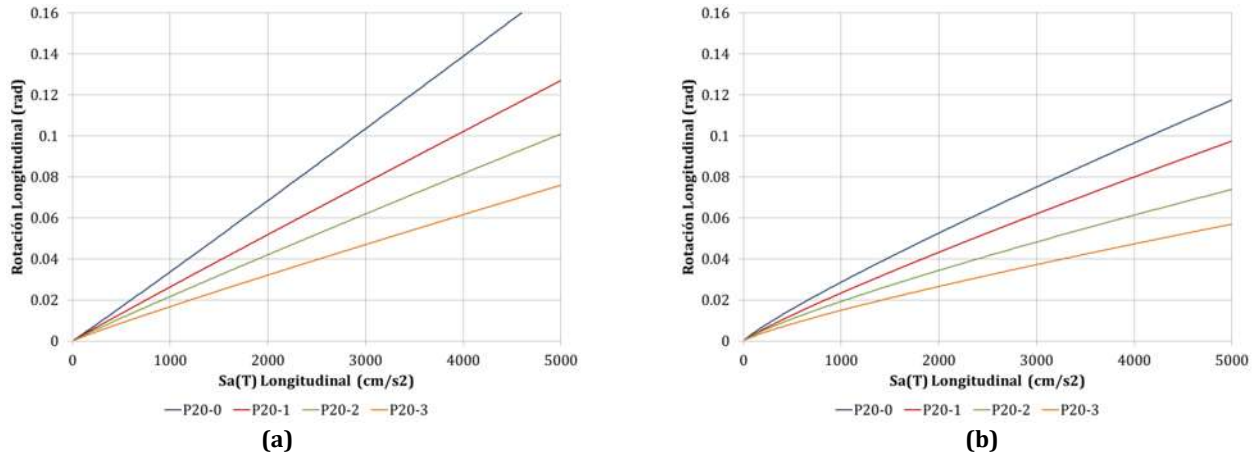


Figura 6.15 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

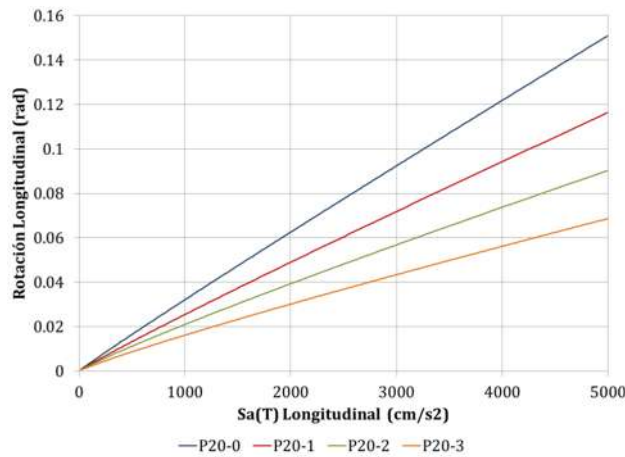


Figura 6.16 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Tabla 6.9 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Longitudinal	Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste:		Potencial	
							β_0	β_1	σ	r
Longitudinal	P20-0	20	0.3132	S	$Sa(T)$	θ_p	2.92E-05	1.0210	0.1558	0.9415
				FN			6.73E-05	0.8764	0.1508	0.9198
				S y FN			4.16E-05	0.9624	0.1558	0.9350
	P20-1			S			3.07E-05	0.9777	0.1627	0.9311
				FN			5.10E-05	0.8870	0.1461	0.9273
				S y FN			3.74E-05	0.9444	0.1564	0.9335
	P20-2			S			2.94E-05	0.9560	0.1827	0.9124
				FN			6.05E-05	0.8346	0.1811	0.8868
				S y FN			3.98E-05	0.9072	0.1830	0.9065
	P20-3			S			2.55E-05	0.9392	0.1924	0.9031
				FN			4.75E-05	0.8324	0.1652	0.9081
				S y FN			3.26E-05	0.8984	0.1821	0.9080

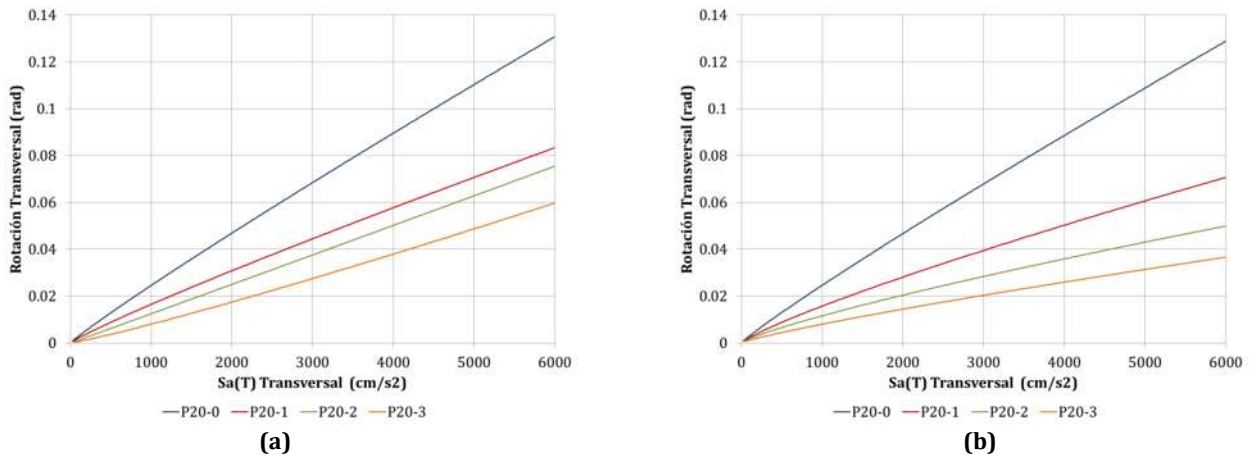


Figura 6.17 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

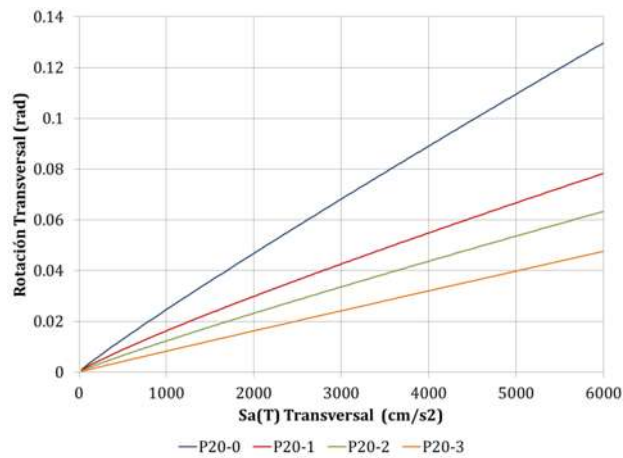


Figura 6.18 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Tabla 6.10 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
						β_0	β_1	σ	r
						Transversal	P20-0	0.3132	S
FN	4.14E-05	0.9245	0.1590	0.9242					
S y FN	4.01E-05	0.9290	0.1698	0.9218					
P20-1	0.5517	S	3.15E-05	0.9058	0.1996		0.8897		
		FN	4.76E-05	0.8396	0.1755		0.9014		
		S y FN	3.77E-05	0.8780	0.1893		0.8979		
P20-2	0.7488	S	1.19E-05	1.0063	0.1885		0.9078		
		FN	4.17E-05	0.8148	0.1865		0.8915		
		S y FN	2.20E-05	0.9157	0.1912		0.9007		
P20-3	0.9548	S	3.49E-06	1.1205	0.1938		0.9141		
		FN	2.29E-05	0.8479	0.1786		0.9100		
		S y FN	9.53E-06	0.9789	0.1953		0.9072		

6.2.2. RELACIÓN $Sa(T) - \Delta$

6.2.2.1. MODELOS CON PILAS $h = 5 m$

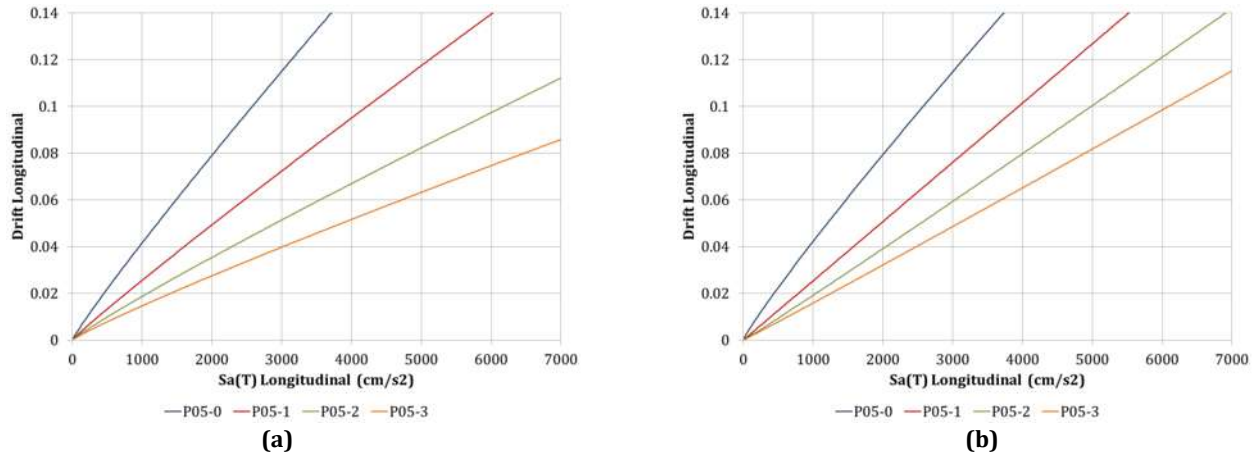


Figura 6.19 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

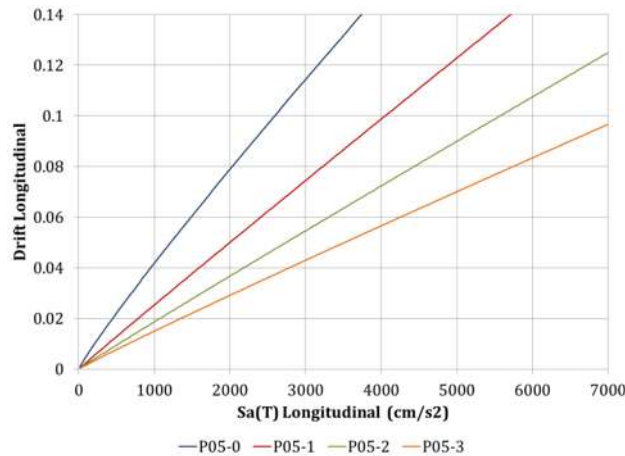


Figura 6.20 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Tabla 6.11 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Longitudinal	Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste:		Potencial	
							β_0	β_1	σ	r
	P05-0	5	0.3132	S	$Sa(T)$	Δ	6.91E-05	0.9265	0.1165	0.9425
				FN			7.83E-05	0.9107	0.1273	0.9486
				S y FN			7.49E-05	0.9158	0.1213	0.9465
	P05-1		S	3.67E-05			0.9474	0.1445	0.9132	
			FN	2.52E-05			1.0008	0.1244	0.9588	
			S y FN	2.91E-05			0.9803	0.1352	0.9416	
	P05-2		S	3.22E-05			0.9213	0.1395	0.9140	
			FN	1.57E-05			1.0287	0.1285	0.9537	
			S y FN	2.20E-05			0.9766	0.1354	0.9387	
	P05-3		S	2.76E-05			0.9085	0.1456	0.9136	
			FN	1.39E-05			1.0192	0.1454	0.9443	
			S y FN	2.03E-05			0.9567	0.1473	0.9310	

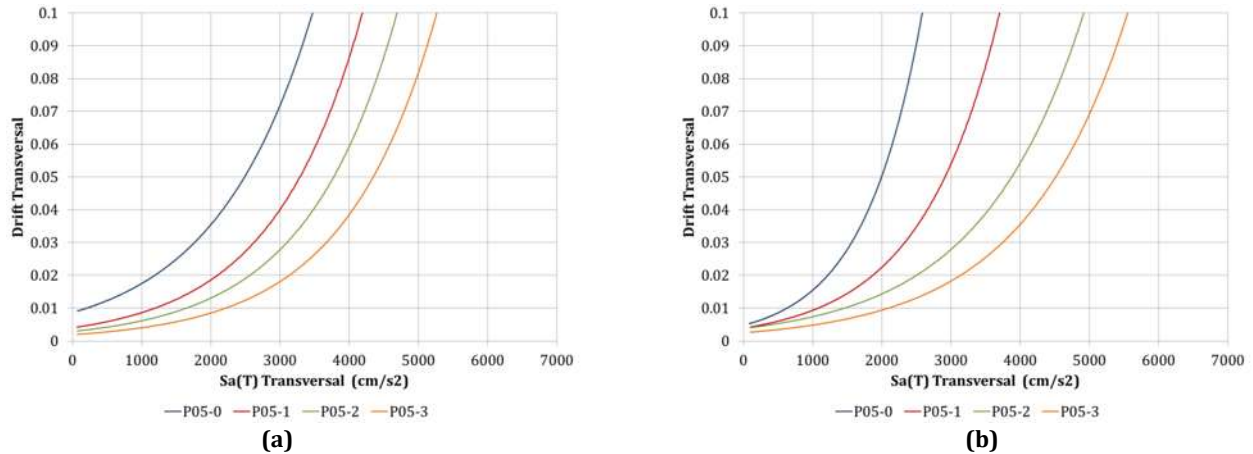


Figura 6.21 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

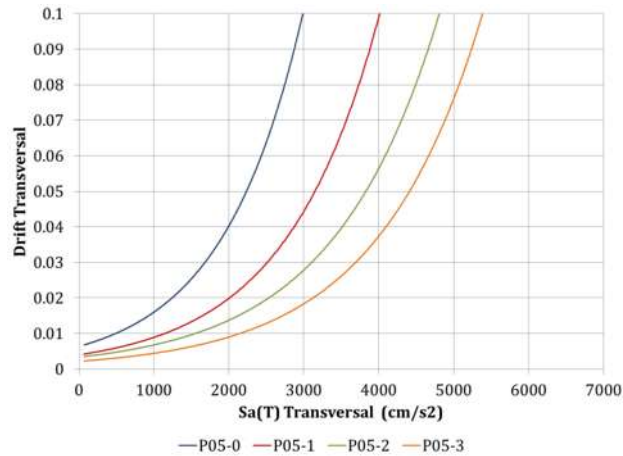


Figura 6.22 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Tabla 6.12 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Exponencial			
						β_0	β_1	σ	r
Transversal	P05-0	0.3132	S	Sa(T)	Δ	8.62E-03	7.06E-04	0.4877	0.7713
			FN			4.74E-03	1.18E-03	0.4655	0.8684
			S y FN			6.36E-03	9.22E-04	0.5013	0.8188
	P05-1	0.5517	S			3.99E-03	7.69E-04	0.4035	0.9031
			FN			3.87E-03	8.78E-04	0.4143	0.8976
			S y FN			3.99E-03	8.03E-04	0.4146	0.8977
	P05-2	0.7488	S			2.87E-03	7.56E-04	0.3936	0.9131
			FN			3.78E-03	6.66E-04	0.3113	0.8984
			S y FN			3.34E-03	7.07E-04	0.3656	0.9047
	P05-3	0.9548	S			1.88E-03	7.54E-04	0.4691	0.9098
			FN			2.47E-03	6.66E-04	0.3459	0.8955
			S y FN			2.17E-03	7.11E-04	0.4250	0.9056

6.2.2.2. MODELOS CON PILAS $h = 10\text{ m}$

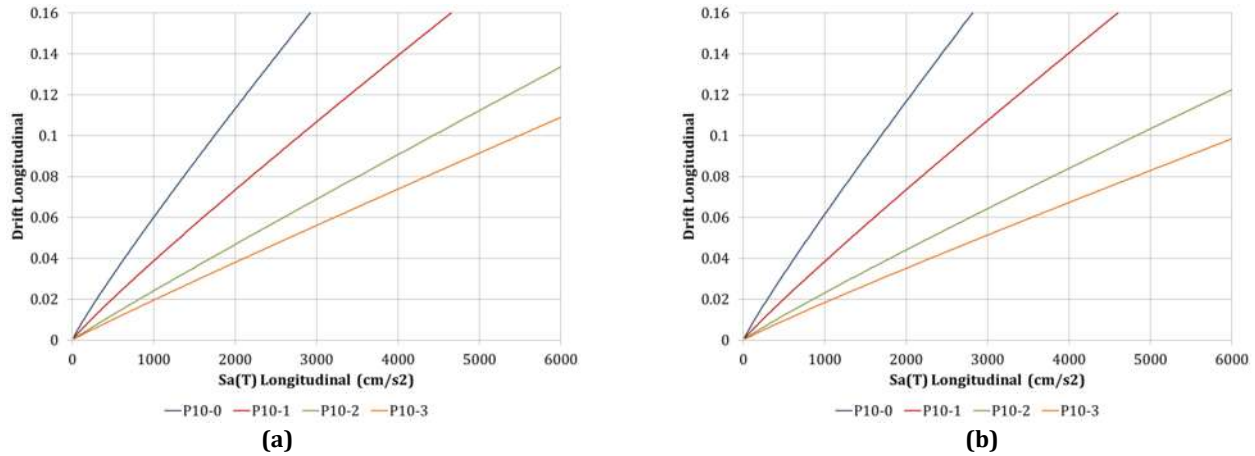


Figura 6.23 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

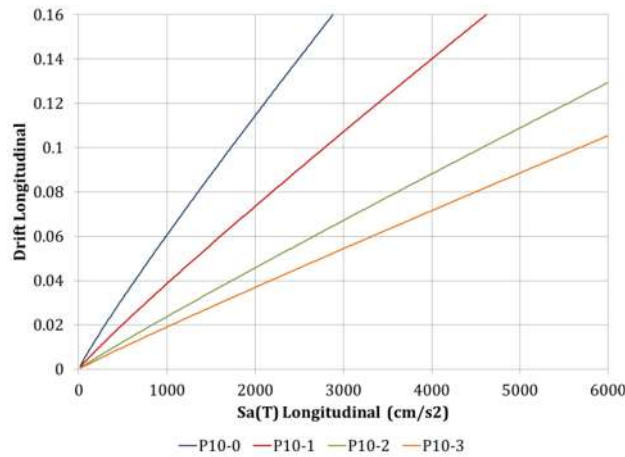


Figura 6.24 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Tabla 6.13 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste:		Potencial	
						β_0	β_1	σ	r
Longitudinal	10	0.3132	S	$Sa(T)$	Δ	1.08E-04	0.9145	0.0866	0.9720
			FN			1.04E-04	0.9236	0.1086	0.9628
			S y FN			1.07E-04	0.9176	0.0970	0.9682
		0.5517	S			6.59E-05	0.9230	0.1026	0.9655
			FN			6.07E-05	0.9340	0.0919	0.9751
			S y FN			6.29E-05	0.9293	0.0976	0.9708
		0.7488	S			3.26E-05	0.9563	0.1302	0.9446
			FN			3.75E-05	0.9301	0.1127	0.9656
			S y FN			3.44E-05	0.9465	0.1227	0.9564
		0.9548	S			2.61E-05	0.9585	0.1292	0.9449
			FN			2.81E-05	0.9383	0.1100	0.9694
			S y FN			2.61E-05	0.9544	0.1216	0.9588

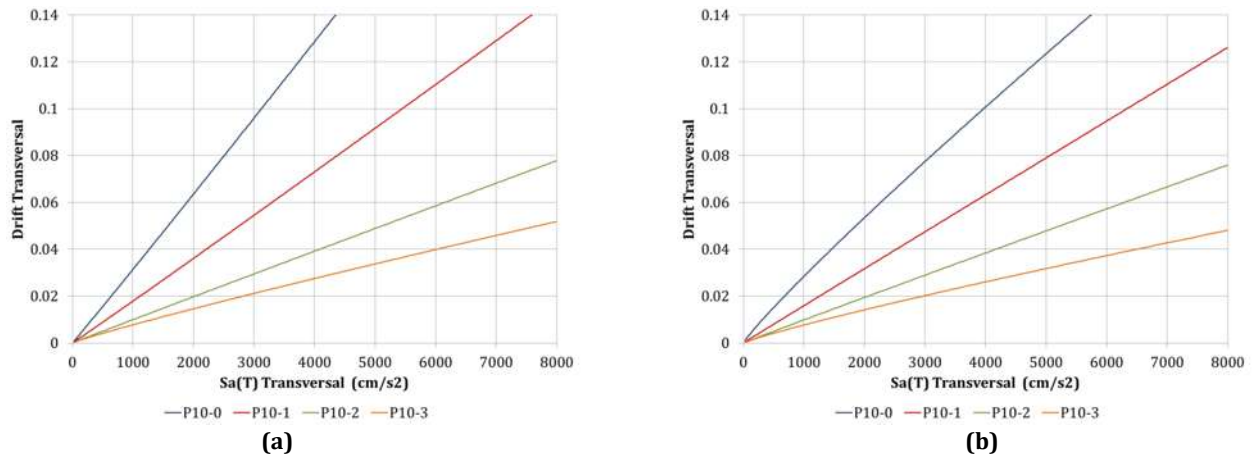


Figura 6.25 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

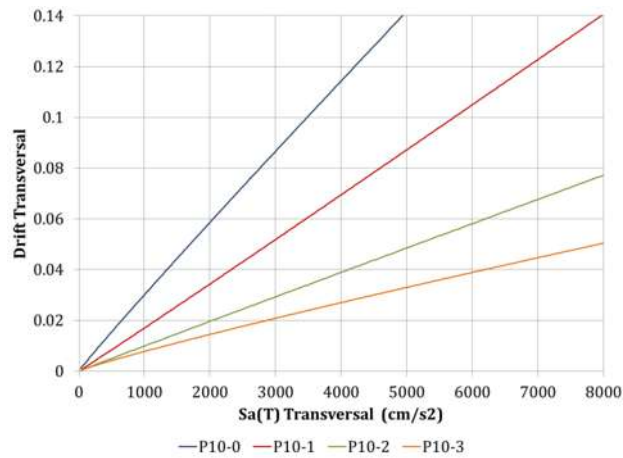


Figura 6.26 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Tabla 6.14 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
						β_0	β_1	σ	r
						Transversal			
P10-0	10	0.3132	S	Sa(T)	Δ	2.76E-05	1.0184	0.1306	0.9465
			FN			5.18E-05	0.9131	0.1315	0.9519
			S y FN			3.86E-05	0.9638	0.1328	0.9484
P10-1	10	0.5517	S			1.59E-05	1.0170	0.1395	0.9323
			FN			1.63E-05	0.9965	0.1218	0.9632
			S y FN			1.51E-05	1.0172	0.1334	0.9502
P10-2	10	0.7488	S			1.06E-05	0.9905	0.1575	0.9137
			FN			1.09E-05	0.9844	0.1228	0.9605
			S y FN			1.07E-05	0.9887	0.1424	0.9412
P10-3	10	0.9548	S			1.40E-05	0.9145	0.1532	0.9140
			FN			1.71E-05	0.8833	0.1281	0.9469
			S y FN			1.53E-05	0.9011	0.1423	0.9341

6.2.2.3. MODELOS CON PILAS $h = 15\text{ m}$

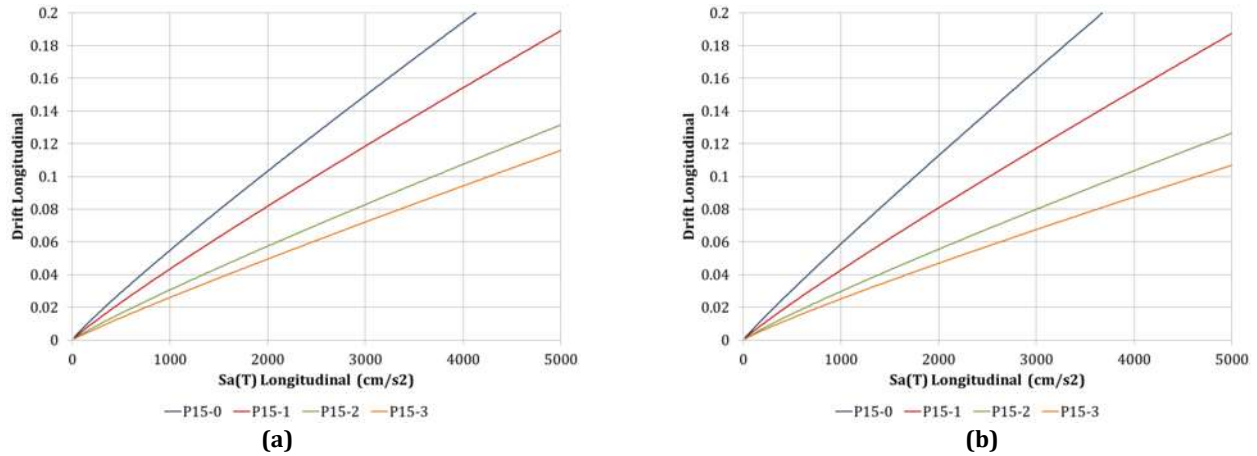


Figura 6.27 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

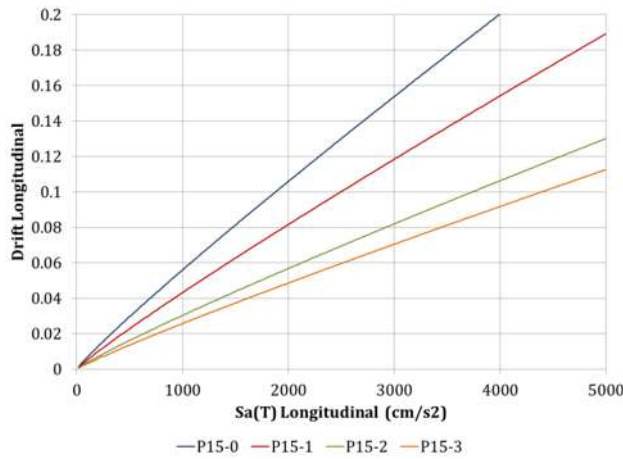


Figura 6.28 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Tabla 6.15 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste:		Potencial	
						β_0	β_1	σ	r
Longitudinal	P15-0	0.3132	S	Sa(T)	Δ	1.00E-04	0.9125	0.0889	0.9743
			FN			8.86E-05	0.9406	0.0882	0.9744
			S y FN			9.80E-05	0.9192	0.0888	0.9754
	P15-1	0.5517	S			7.87E-05	0.9141	0.0875	0.9745
			FN			7.57E-05	0.9175	0.0899	0.9736
			S y FN			7.64E-05	0.9177	0.0883	0.9755
	P15-2	0.7488	S			5.97E-05	0.9039	0.1075	0.9627
			FN			6.02E-05	0.8982	0.0905	0.9742
			S y FN			5.89E-05	0.9041	0.1003	0.9692
	P15-3	0.9548	S			4.28E-05	0.9281	0.1047	0.9662
			FN			5.11E-05	0.8978	0.0933	0.9730
			S y FN			4.59E-05	0.9165	0.0998	0.9704

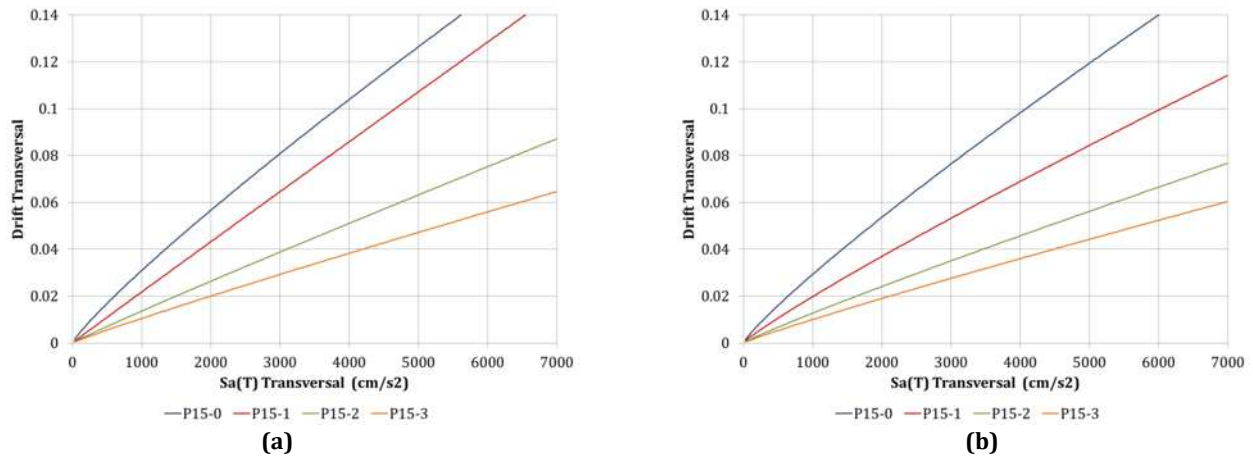


Figura 6.29 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

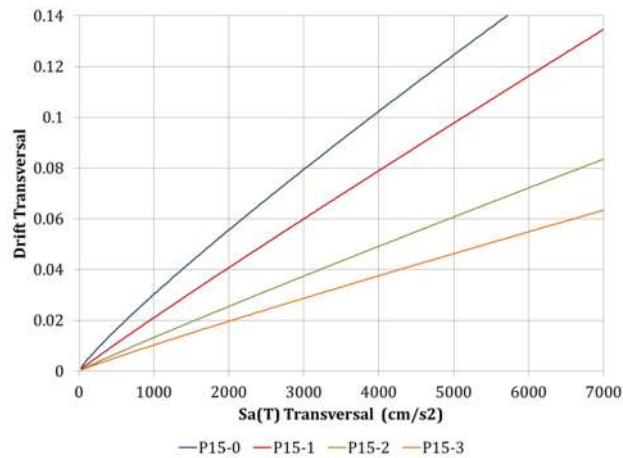


Figura 6.30 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Tabla 6.16 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
						β_0	β_1	σ	r
Transversal	P15-0	0.3132	S	Sa(T)	Δ	7.22E-05	0.8769	0.1230	0.9487
			FN			6.95E-05	0.8745	0.1229	0.9515
			S y FN			6.89E-05	0.8805	0.1230	0.9516
	P15-1	0.5517	S			2.29E-05	0.9923	0.1091	0.9642
			FN			3.88E-05	0.9021	0.1058	0.9670
			S y FN			2.87E-05	0.9546	0.1098	0.9655
	P15-2	0.7488	S			1.84E-05	0.9561	0.1324	0.9414
			FN			2.12E-05	0.9253	0.1109	0.9675
			S y FN			1.90E-05	0.9475	0.1240	0.9562
	P15-3	0.9548	S			1.62E-05	0.9365	0.1254	0.9448
			FN			1.68E-05	0.9248	0.1001	0.9726
			S y FN			1.59E-05	0.9361	0.1152	0.9608

6.2.2.4. MODELOS CON PILAS $h = 20\text{ m}$

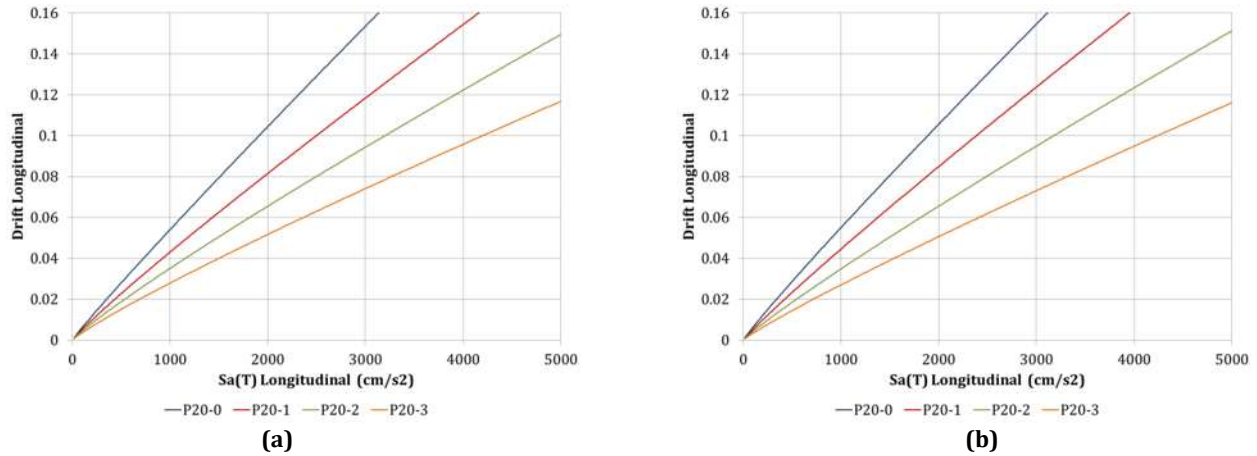


Figura 6.31 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

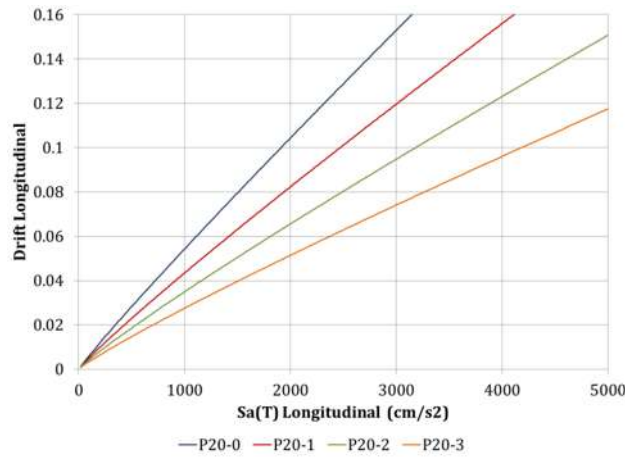


Figura 6.32 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Tabla 6.17 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste:		Potencial	
						β_0	β_1	σ	r
Longitudinal	P20-0	0.3132	S	Sa(T)	Δ	7.57E-05	0.9512	0.0766	0.9826
			FN			8.31E-05	0.9404	0.0730	0.9820
			S y FN			8.04E-05	0.9431	0.0750	0.9831
			S			7.38E-05	0.9219	0.0805	0.9795
			FN			7.17E-05	0.9310	0.0763	0.9804
			S y FN			7.43E-05	0.9223	0.0787	0.9810
	P20-2	0.7488	S			6.94E-05	0.9011	0.0879	0.9748
			FN			6.34E-05	0.9132	0.0886	0.9739
			S y FN			6.59E-05	0.9083	0.0879	0.9759
	P20-3	0.9548	S			5.96E-05	0.8900	0.0943	0.9711
			FN			5.15E-05	0.9065	0.0815	0.9789
			S y FN			5.43E-05	0.9017	0.0892	0.9756

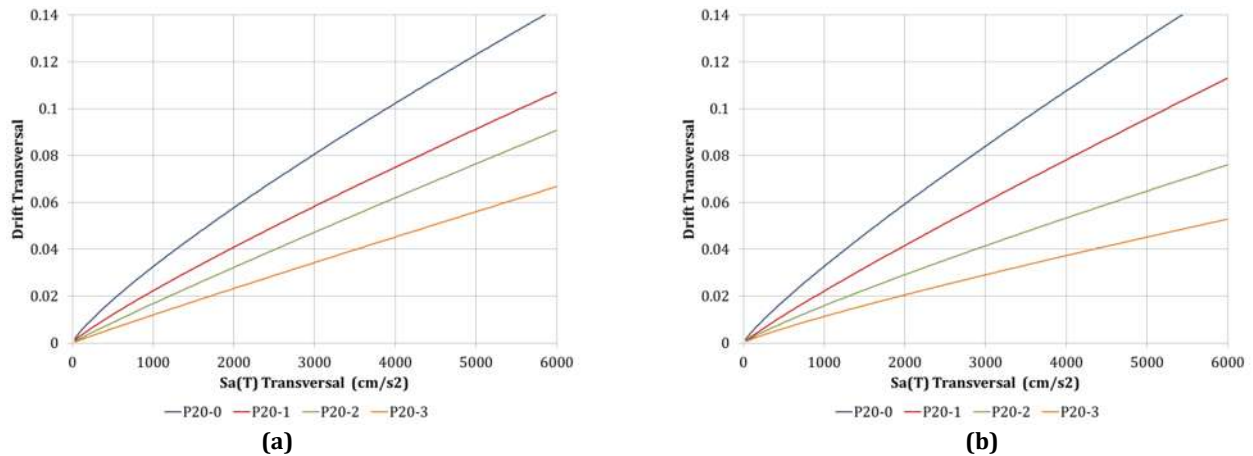


Figura 6.33 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

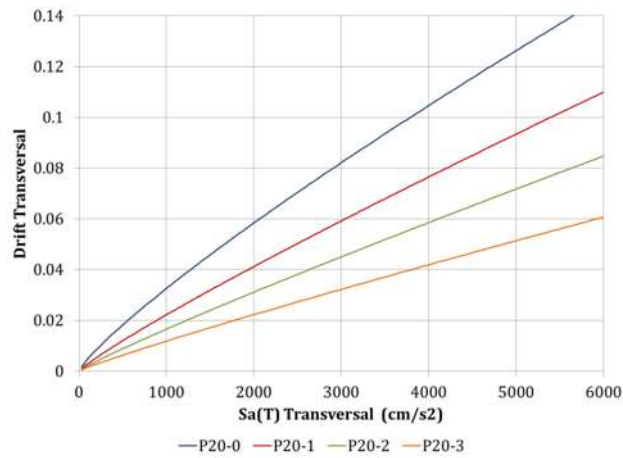


Figura 6.34 $Sa(T) - \Delta$, dirección FN transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Tabla 6.18 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial					
						β_0	β_1	σ	r		
Transversal	P20-0	0.3132	S	Sa(T)	Δ	1.08E-04	0.8265	0.1204	0.9474		
			FN			8.60E-05	0.8598	0.1137	0.9531		
			S y FN			9.63E-05	0.8428	0.1173	0.9523		
			P20-1			0.5517	S	5.19E-05	0.8773	0.1093	0.9604
							FN	4.11E-05	0.9105	0.0928	0.9737
							S y FN	4.60E-05	0.8942	0.1024	0.9677
	P20-2	0.7488	S			2.50E-05	0.9423	0.1152	0.9574		
			FN			3.80E-05	0.8737	0.0948	0.9722		
			S y FN			3.01E-05	0.9129	0.1077	0.9648		
	P20-3	0.9548	S			1.58E-05	0.9600	0.1132	0.9572		
			FN			2.94E-05	0.8615	0.0953	0.9725		
			S y FN			2.12E-05	0.9148	0.1080	0.9644		

6.2.3. RELACIÓN $Sa(T) - ID local$

6.2.3.1. MODELOS CON PILAS $h = 5 m$

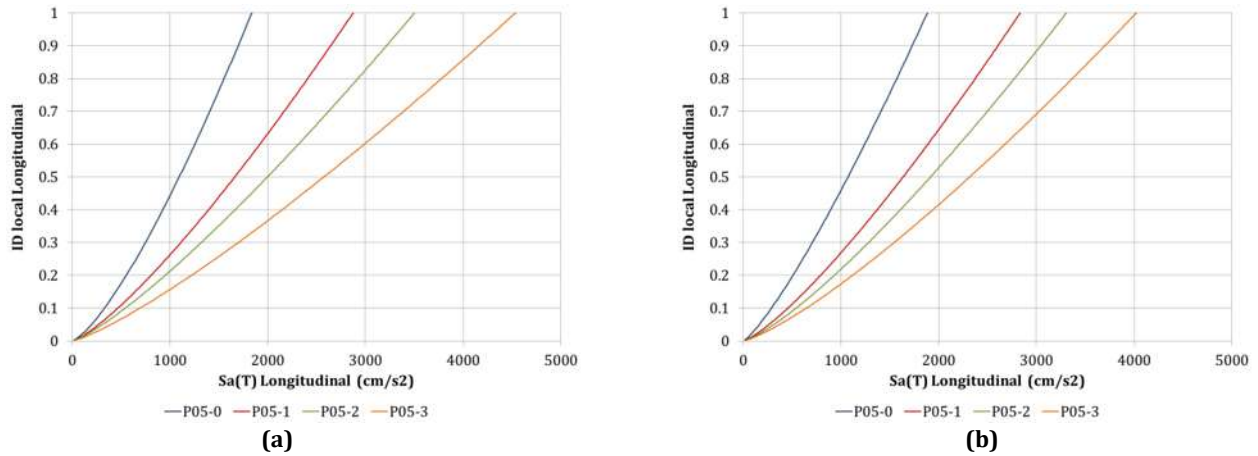


Figura 6.35 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

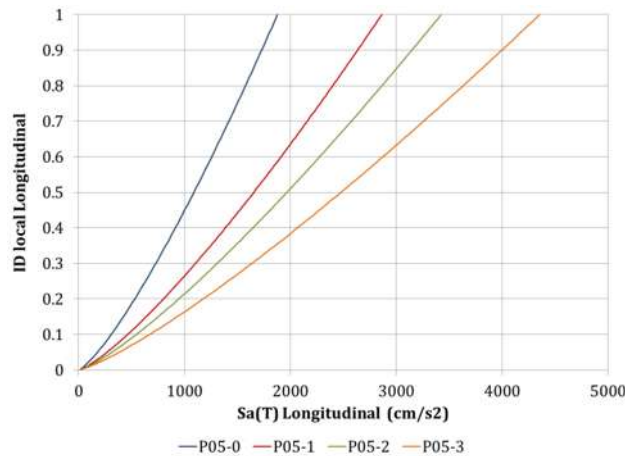


Figura 6.36 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Tabla 6.19 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Longitudinal	Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
							β_0	β_1	σ	r
Longitudinal	P05-0	5	0.3132	S	Sa(T)	ID local	4.18E-05	1.3416	0.1964	0.9244
				FN			9.46E-05	1.2287	0.1713	0.9489
				S y FN			6.93E-05	1.2707	0.1863	0.9355
	P05-1			S			4.14E-05	1.2674	0.2221	0.8898
				FN			4.38E-05	1.2626	0.1568	0.9589
				S y FN			4.34E-05	1.2620	0.1933	0.9294
	P05-2			S			4.20E-05	1.2350	0.2147	0.8909
				FN			3.36E-05	1.2712	0.1785	0.9425
				S y FN			3.79E-05	1.2509	0.1982	0.9221
	P05-3			S			3.29E-05	1.2261	0.2120	0.9014
				FN			2.94E-05	1.2574	0.1904	0.9379
				S y FN			3.37E-05	1.2292	0.2026	0.9222

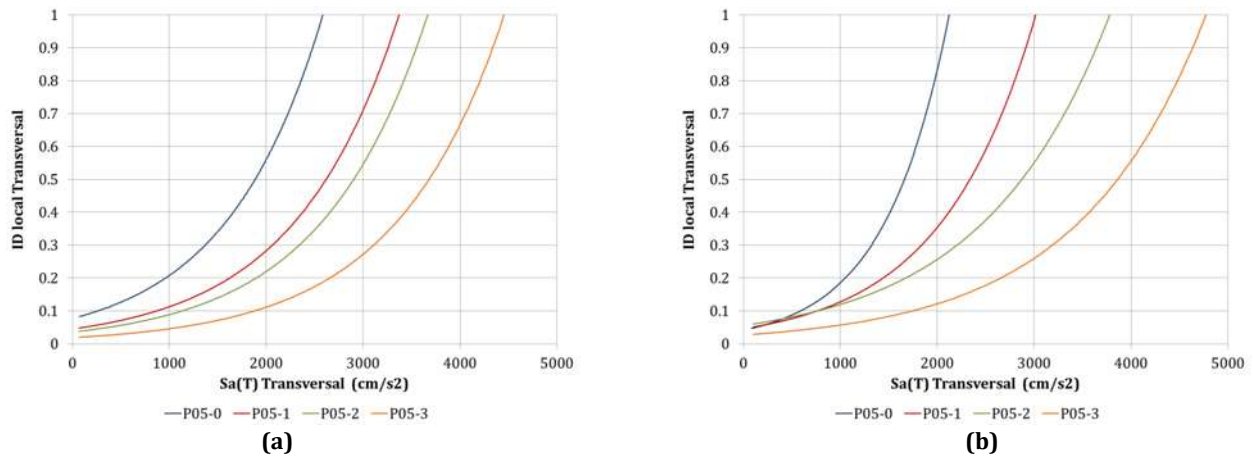


Figura 6.37 $Sa(T) - ID$ local, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

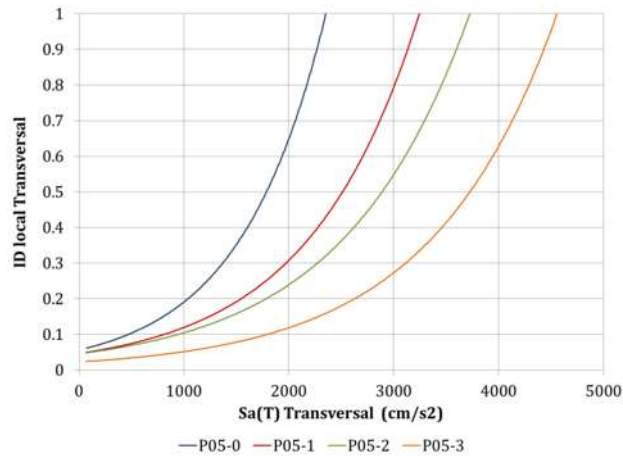


Figura 6.38 $Sa(T) - ID$ local, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Tabla 6.20 $Sa(T) - ID$ local, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Exponencial			
						β_0	β_1	σ	r
Transversal	5	0.3132	S	$Sa(T)$	ID local	7.70E-02	9.92E-04	0.5493	0.8339
			FN			4.10E-02	1.50E-03	0.5323	0.8902
			S y FN			5.60E-02	1.22E-03	0.5640	0.8598
		0.5517	S			4.48E-02	9.21E-04	0.5200	0.8903
			FN			4.58E-02	1.02E-03	0.5652	0.8665
			S y FN			4.62E-02	9.48E-04	0.5477	0.8765
		0.7488	S			3.56E-02	9.09E-04	0.4568	0.9184
			FN			5.55E-02	7.64E-04	0.3946	0.8800
			S y FN			4.55E-02	8.29E-04	0.4485	0.8971
	0.9548	S	1.86E-02			8.94E-04	0.5207	0.9196	
		FN	2.66E-02			7.60E-04	0.4312	0.8787	
		S y FN	2.23E-02			8.34E-04	0.4922	0.9078	

6.2.3.2. MODELOS CON PILAS $h = 10\text{ m}$

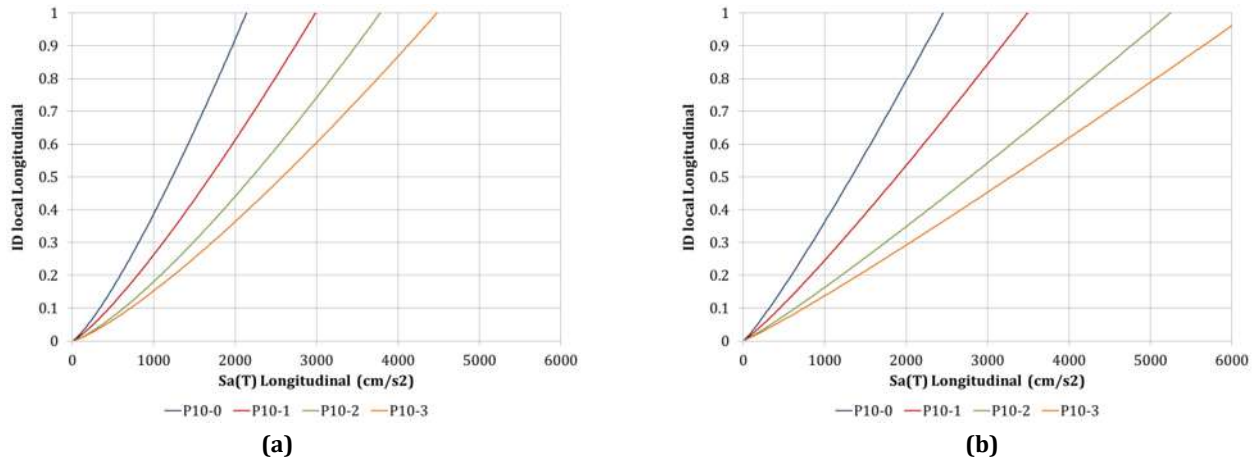


Figura 6.39 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

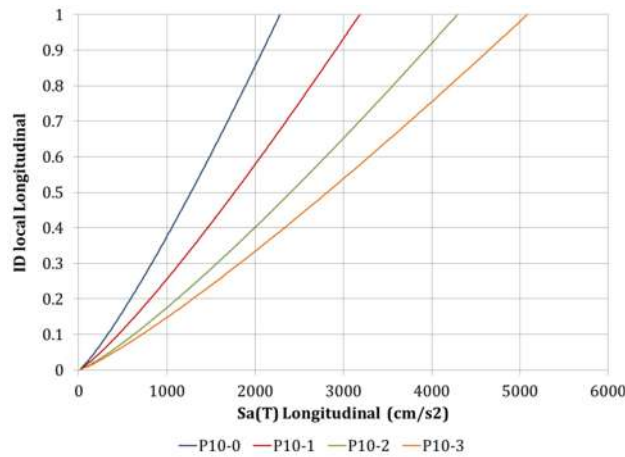


Figura 6.40 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Tabla 6.21 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Longitudinal	Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
							β_0	β_1	σ	r
							P10-0	0.3132	S	Sa(T)
P10-1	0.5517	FN	1.48E-04	1.1297	0.1804	0.9344				
		S y FN	1.04E-04	1.1861	0.1732	0.9417				
		S	5.64E-05	1.2225	0.1420	0.9625				
P10-2	0.7488	FN	1.05E-04	1.1231	0.1252	0.9684				
		S y FN	7.62E-05	1.1755	0.1357	0.9650				
		S	2.50E-05	1.2861	0.1831	0.9399				
P10-3	0.9548	FN	8.55E-05	1.0936	0.1497	0.9567				
		S y FN	4.60E-05	1.1941	0.1736	0.9461				
		S	2.62E-05	1.2549	0.1756	0.9410				
				FN	7.70E-05	1.0841	0.1435	0.9615		
				S y FN	4.45E-05	1.1742	0.1666	0.9496		

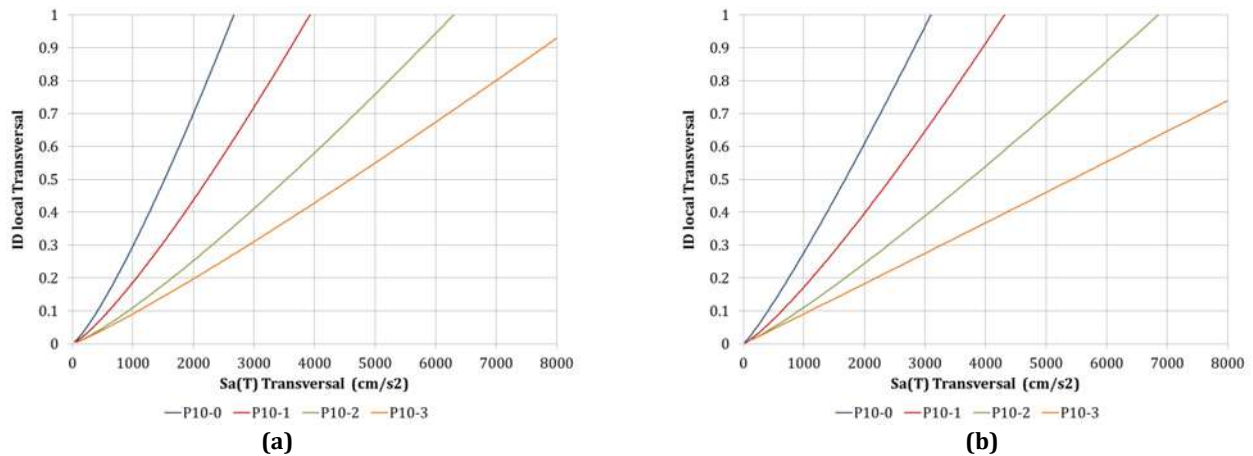


Figura 6.41 $Sa(T)$ – ID local, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

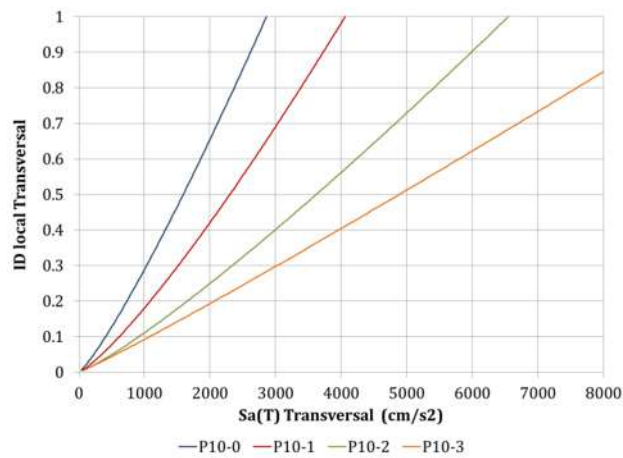


Figura 6.42 $Sa(T)$ – ID local, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Tabla 6.22 $Sa(T)$ – ID local, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
						β_0	β_1	σ	r
Transversal	P10-0	0.3132	S	Sa(T)	ID local	5.78E-05	1.2371	0.1474	0.9534
			FN			1.09E-04	1.1345	0.1350	0.9664
			S y FN			8.20E-05	1.1822	0.1427	0.9597
	P10-1	0.5517	S			3.87E-05	1.2276	0.1638	0.9357
			FN			4.23E-05	1.2033	0.1287	0.9715
			S y FN			3.89E-05	1.2220	0.1491	0.9565
	P10-2	0.7488	S			2.78E-05	1.1995	0.1802	0.9220
			FN			4.07E-05	1.1446	0.1490	0.9573
			S y FN			3.43E-05	1.1700	0.1665	0.9425
	P10-3	0.9548	S			4.04E-05	1.1175	0.1846	0.9161
			FN			8.59E-05	1.0082	0.1586	0.9383
			S y FN			5.88E-05	1.0653	0.1743	0.9297

6.2.3.3. MODELOS CON PILAS $h = 15\text{ m}$

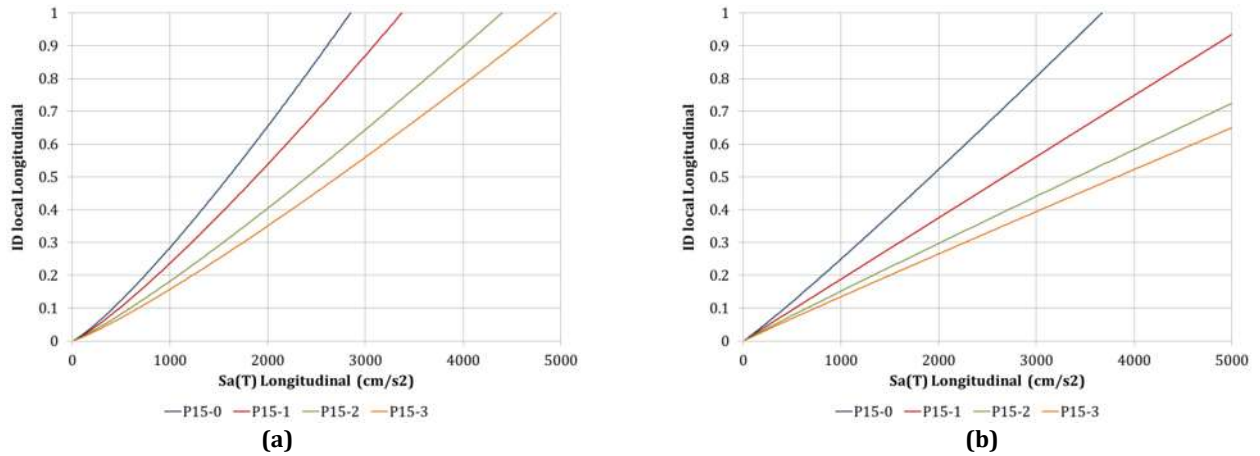


Figura 6.43 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

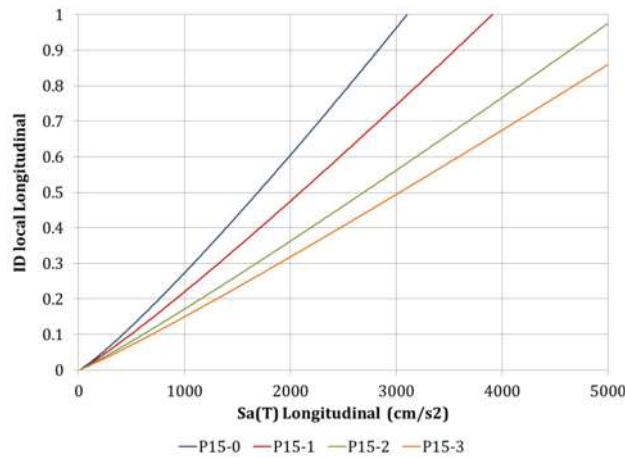


Figura 6.44 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Tabla 6.23 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m

	Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste:		Potencial	
							β_0	β_1	σ	r
Longitudinal	P15-0	15	0.3132	S	$Sa(T)$	$ID\ local$	7.13E-05	1.2005	0.1658	0.9504
				FN			1.56E-04	1.0681	0.1500	0.9452
				S y FN			1.00E-04	1.1451	0.1608	0.9500
	P15-1		0.5517	S			6.58E-05	1.1853	0.1606	0.9509
				FN			1.94E-04	0.9958	0.1491	0.9413
				S y FN			1.03E-04	1.1106	0.1605	0.9471
	P15-2		0.7488	S			6.48E-05	1.1497	0.1593	0.9504
				FN			1.84E-04	0.9719	0.1243	0.9594
				S y FN			9.98E-05	1.0787	0.1504	0.9525
	P15-3		0.9548	S			5.37E-05	1.1556	0.1398	0.9615
				FN			1.57E-04	0.9777	0.1219	0.9618
				S y FN			8.42E-05	1.0838	0.1381	0.9601

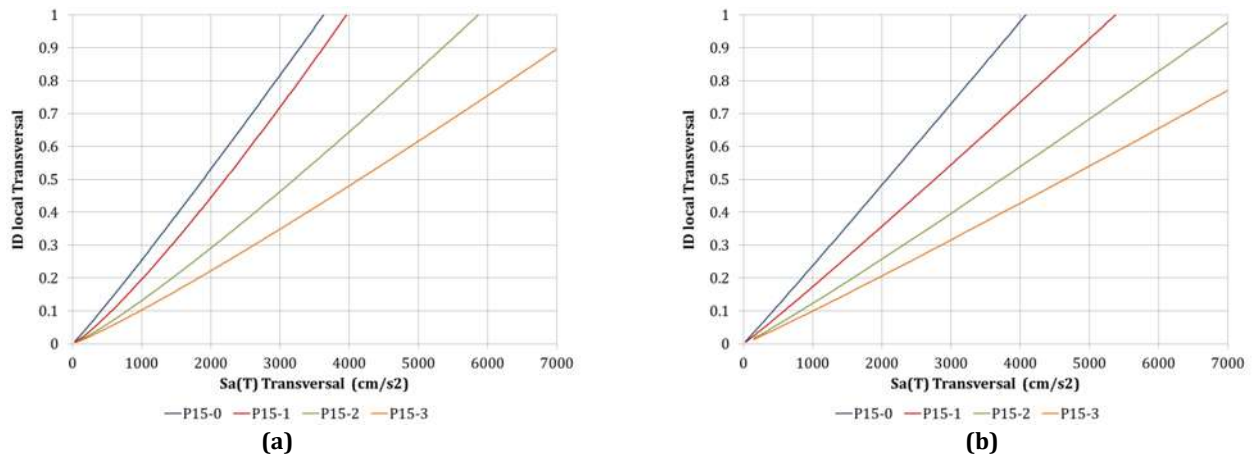


Figura 6.45 $Sa(T)$ – ID local, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

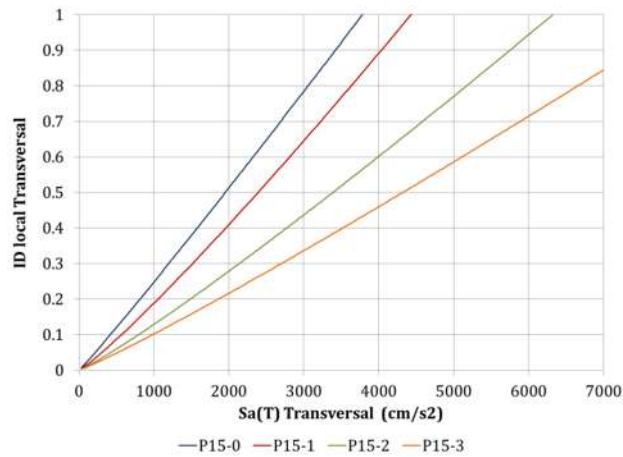


Figura 6.46 $Sa(T)$ – ID local, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Tabla 6.24 $Sa(T)$ – ID local, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste:		Potencial	
						β_0	β_1	σ	r
P15-0	15	0.3132	S	Sa(T)	ID local	1.65E-04	1.0627	0.1325	0.9588
			FN			2.01E-04	1.0235	0.1317	0.9588
			S y FN			1.76E-04	1.0490	0.1322	0.9600
P15-1	15	0.5517	S			5.39E-05	1.1864	0.1219	0.9685
			FN			1.29E-04	1.0424	0.1151	0.9706
			S y FN			8.02E-05	1.1232	0.1233	0.9684
P15-2	15	0.7488	S			4.71E-05	1.1483	0.1569	0.9427
			FN			7.88E-05	1.0645	0.1195	0.9714
			S y FN			5.95E-05	1.1117	0.1431	0.9576
P15-3	15	0.9548	S			4.63E-05	1.1149	0.1504	0.9441
			FN			6.90E-05	1.0527	0.1124	0.9733
			S y FN			5.57E-05	1.0874	0.1357	0.9598

6.2.3.4. MODELOS CON PILAS $h = 20\text{ m}$

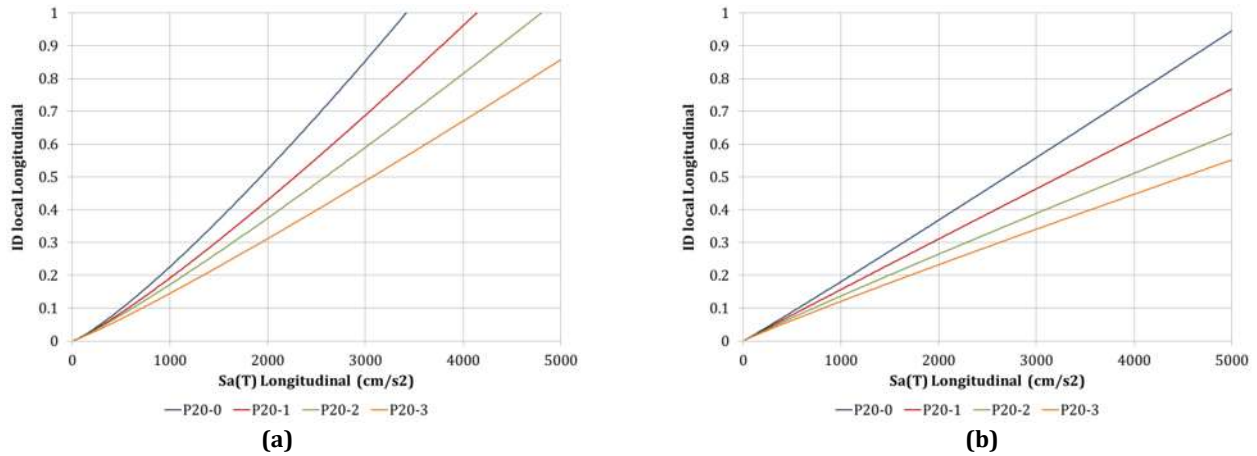


Figura 6.47 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

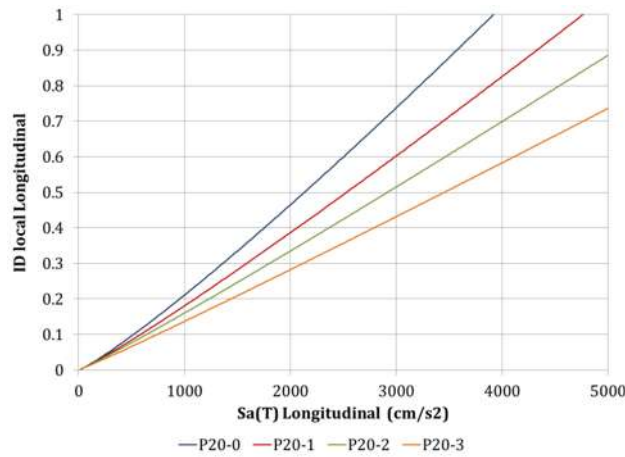


Figura 6.48 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Tabla 6.25 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Longitudinal	Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
							β_0	β_1	σ	r
	P20-0	20	0.3132	S	$Sa(T)$	$ID\ local$	5.33E-05	1.2094	0.1618	0.9541
				FN			1.48E-04	1.0289	0.1322	0.9528
				S y FN			8.09E-05	1.1389	0.1538	0.9535
	P20-1		0.5517	S			6.21E-05	1.1633	0.1398	0.9623
				FN			1.70E-04	0.9880	0.1138	0.9624
				S y FN			9.38E-05	1.0951	0.1338	0.9621
	P20-2		0.7488	S			7.42E-05	1.1218	0.1521	0.9529
				FN			1.92E-04	0.9510	0.1376	0.9446
				S y FN			1.05E-04	1.0609	0.1508	0.9501
	P20-3		0.9548	S			7.09E-05	1.1037	0.1535	0.9517
				FN			1.77E-04	0.9446	0.1119	0.9641
				S y FN			1.01E-04	1.0442	0.1417	0.9555

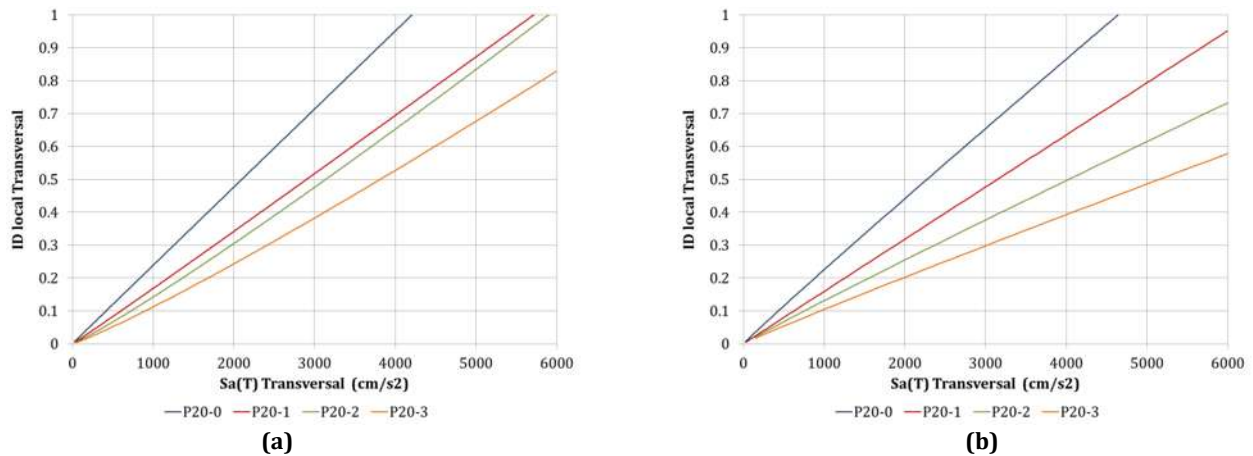


Figura 6.49 $Sa(T)$ – ID local, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

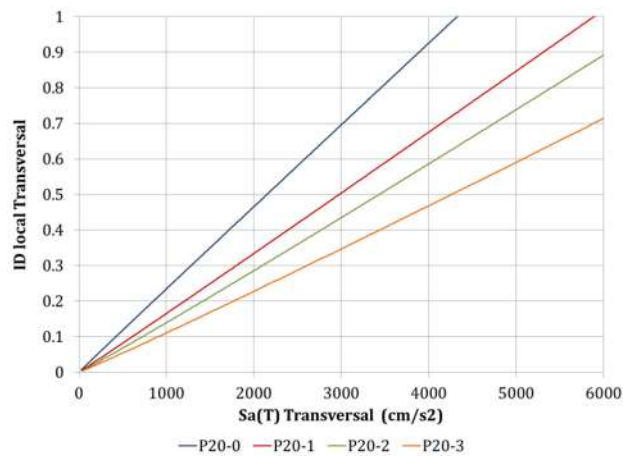


Figura 6.50 $Sa(T)$ – ID local, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Tabla 6.26 $Sa(T)$ – ID local, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
						β_0	β_1	σ	r
Transversal	20	0.3132	S	Sa(T)	ID local	2.42E-04	0.9979	0.1439	0.9483
			FN			2.73E-04	0.9721	0.1358	0.9480
			S y FN			2.48E-04	0.9916	0.1402	0.9509
		0.5517	S			1.43E-04	1.0230	0.1228	0.9631
			FN			1.61E-04	0.9983	0.0943	0.9772
			S y FN			1.47E-04	1.0165	0.1114	0.9703
		0.7488	S			7.15E-05	1.0995	0.1364	0.9562
			FN			1.71E-04	0.9615	0.1127	0.9677
			S y FN			1.07E-04	1.0375	0.1299	0.9606
		0.9548	S			4.99E-05	1.1171	0.1370	0.9539
			FN			1.40E-04	0.9570	0.1033	0.9738
			S y FN			8.28E-05	1.0417	0.1284	0.9613

6.2.4. RELACIÓN $Sa(T) - ID_{global}$

6.2.4.1. MODELOS CON PILAS $h = 5 m$

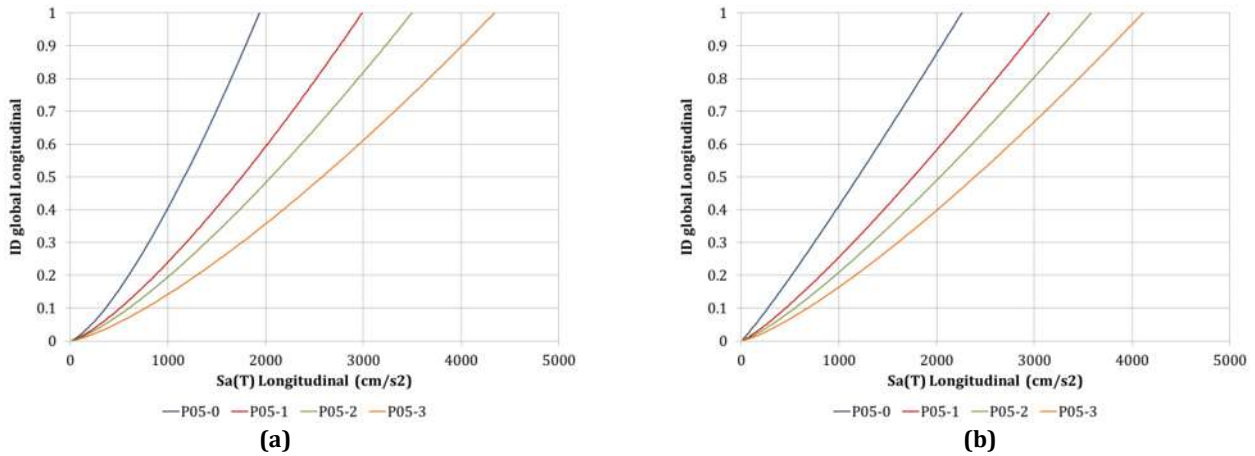


Figura 6.51 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

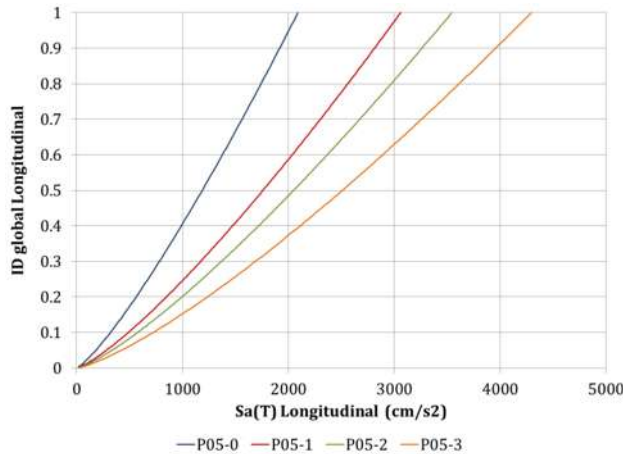


Figura 6.52 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Tabla 6.27 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Longitudinal	Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
							β_0	β_1	σ	r
							P05-0	5	0.3132	S
			FN	2.24E-04	1.0885	0.1717	0.9033			
			S y FN	8.70E-05	1.2231	0.1830	0.8986			
P05-1		0.5517	S	2.95E-05	1.3037	0.2128	0.8516			
			FN	6.91E-05	1.1892	0.1538	0.9108			
			S y FN	4.32E-05	1.2523	0.1907	0.8723			
P05-2		0.7488	S	2.38E-05	1.3050	0.1978	0.8609			
			FN	4.41E-05	1.2254	0.1779	0.8797			
			S y FN	3.24E-05	1.2649	0.1895	0.8684			
P05-3		0.9548	S	1.47E-05	1.3284	0.1844	0.8865			
			FN	2.42E-05	1.2774	0.1887	0.8787			
			S y FN	2.07E-05	1.2893	0.1871	0.8813			

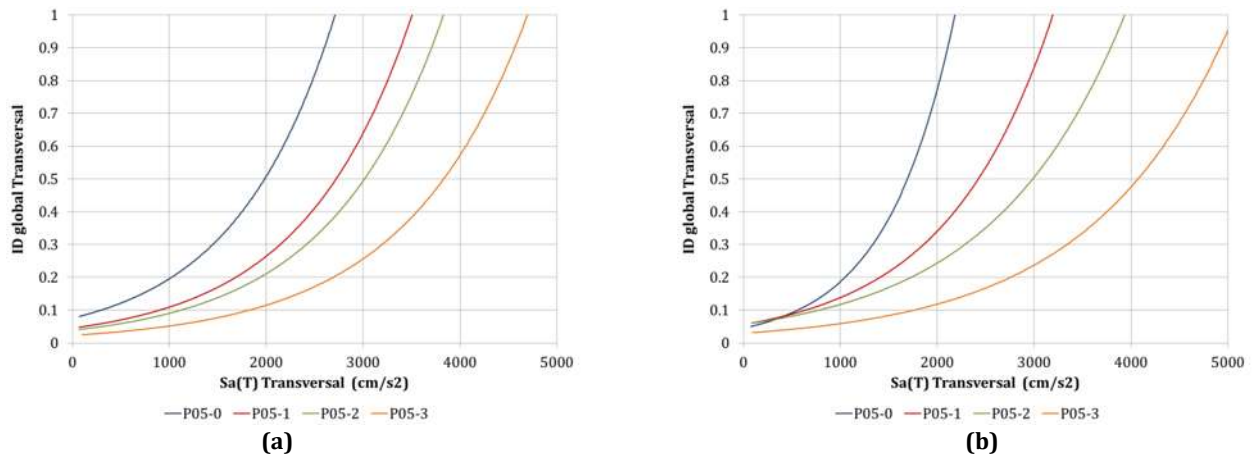


Figura 6.53 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

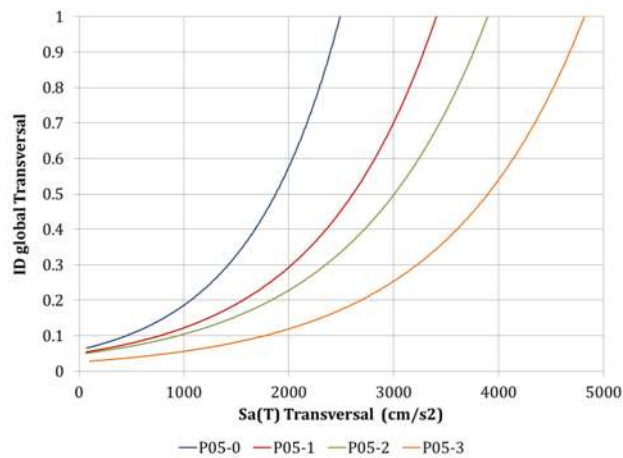


Figura 6.54 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Tabla 6.28 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 5 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Exponencial			
						β_0	β_1	σ	r
						Transversal	P05-0	0.3132	S
FN	4.49E-02	1.42E-03	0.4667	0.8984					
S y FN	6.02E-02	1.13E-03	0.5295	0.8531					
P05-1	0.5517	S	4.50E-02	8.84E-04	0.5106		0.8860		
		FN	5.59E-02	9.03E-04	0.4919		0.8713		
		S y FN	5.11E-02	8.73E-04	0.5138		0.8725		
P05-2	0.7488	S	3.85E-02	8.50E-04	0.4376		0.9142		
		FN	5.65E-02	7.30E-04	0.3899		0.8730		
		S y FN	4.80E-02	7.80E-04	0.4304		0.8935		
P05-3	0.9548	S	2.31E-02	8.02E-04	0.5192		0.8970		
		FN	2.94E-02	6.96E-04	0.4167		0.8701		
		S y FN	2.64E-02	7.55E-04	0.4757		0.8975		

6.2.4.2. MODELOS CON PILAS $h = 10\text{ m}$

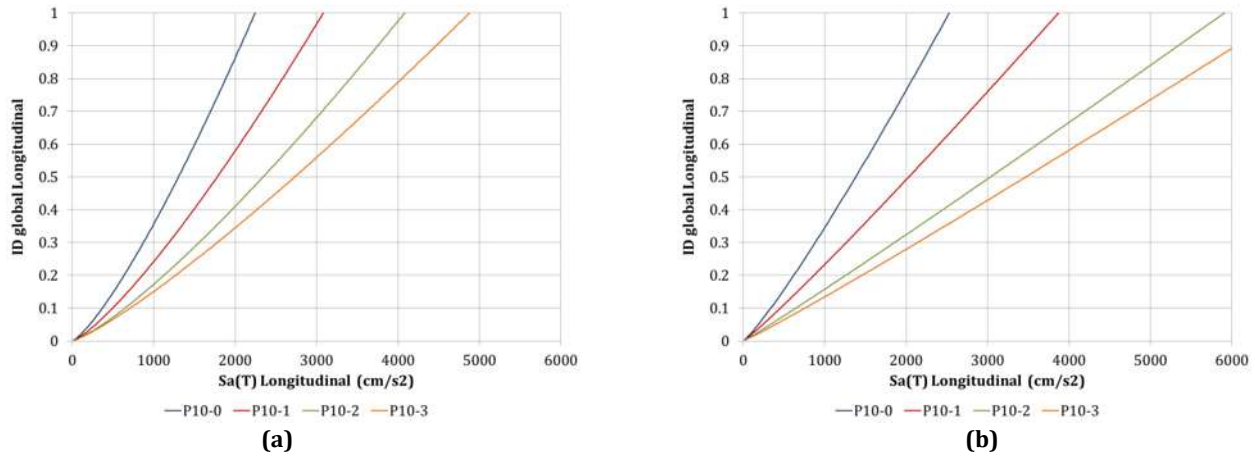


Figura 6.55 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

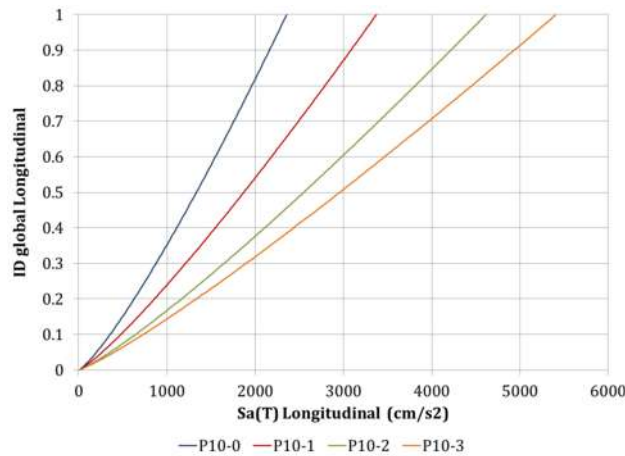


Figura 6.56 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Tabla 6.29 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
						β_0	β_1	σ	r
						Longitudinal	P10-0	0.3132	S
FN	1.26E-04	1.1461	0.1828	0.8851					
S y FN	7.86E-05	1.2172	0.1721	0.9053					
P10-1	0.5517	S	3.96E-05	1.2618	0.1401		0.9305		
		FN	1.38E-04	1.0763	0.1309		0.9319		
		S y FN	7.12E-05	1.1755	0.1382		0.9292		
P10-2	0.7488	S	3.07E-05	1.2498	0.1821		0.8652		
		FN	1.19E-04	1.0406	0.1622		0.8788		
		S y FN	5.25E-05	1.1681	0.1781		0.8687		
P10-3	0.9548	S	3.92E-05	1.1948	0.1632		0.8785		
		FN	9.07E-05	1.0568	0.1573		0.8655		
		S y FN	5.17E-05	1.1482	0.1652		0.8685		

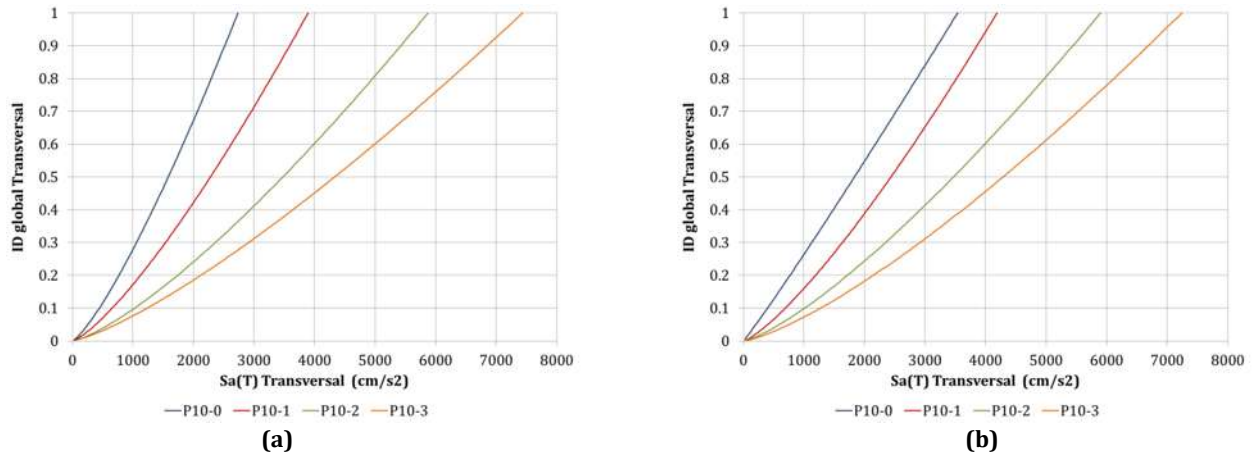


Figura 6.57 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

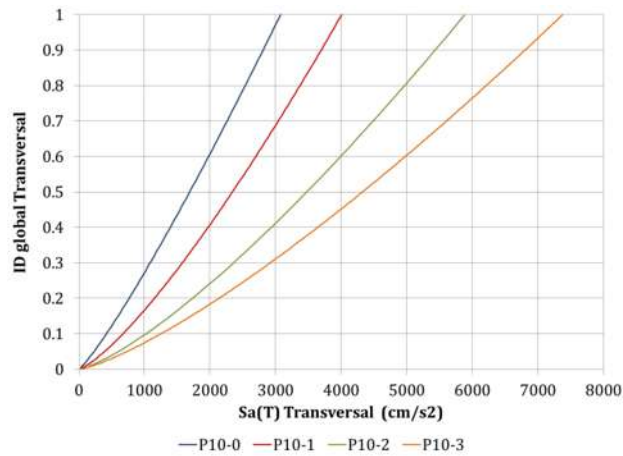


Figura 6.58 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Tabla 6.30 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 10 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
						β_0	β_1	σ	r
Transversal	10	0.3132	S	Sa(T)	ID global	4.33E-05	1.2695	0.1374	0.9387
			FN			1.80E-04	1.0550	0.1374	0.9370
			S y FN			9.23E-05	1.1568	0.1410	0.9341
		0.5517	S			2.22E-05	1.2964	0.1557	0.9229
			FN			2.30E-05	1.2806	0.1272	0.9469
			S y FN			2.25E-05	1.2900	0.1452	0.9314
		0.7488	S			1.05E-05	1.3214	0.1588	0.9166
			FN			1.19E-05	1.3062	0.1381	0.9293
			S y FN			1.10E-05	1.3154	0.1505	0.9211
		0.9548	S			1.08E-05	1.2830	0.1497	0.9247
			FN			7.76E-06	1.3239	0.1310	0.9245
			S y FN			9.56E-06	1.2978	0.1424	0.9259

6.2.4.3. MODELOS CON PILAS $h = 15\text{ m}$

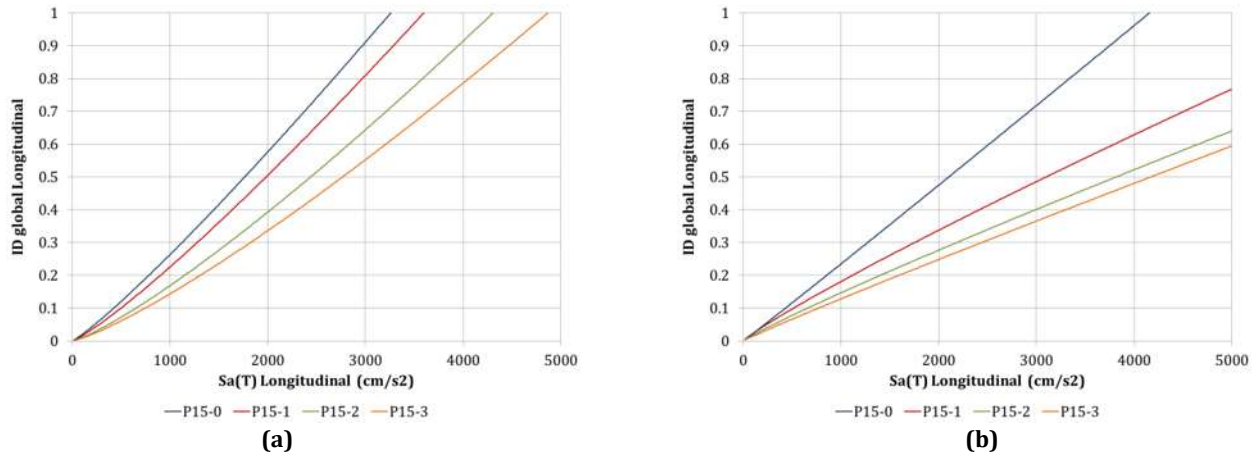


Figura 6.59 $Sa(T) - ID\ global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

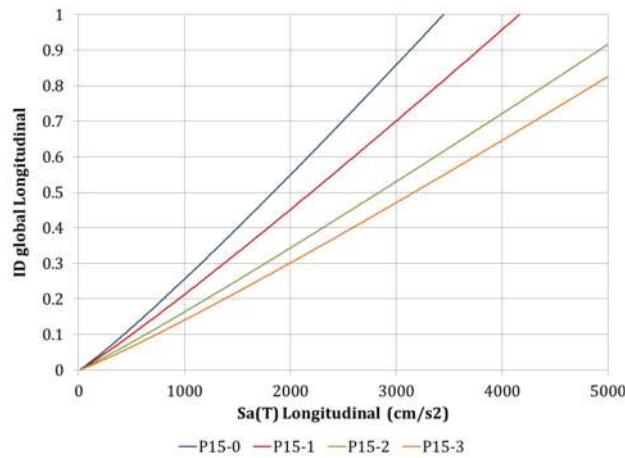


Figura 6.60 $Sa(T) - ID\ global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Tabla 6.31 $Sa(T) - ID\ global$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Longitudinal	Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
							β_0	β_1	σ	r
							P15-0	0.3132	S	Sa(T)
P15-1	0.5517	FN	2.08E-04	1.0174	0.1456	0.9006				
		S y FN	1.27E-04	1.1020	0.1542	0.9277				
		S	7.24E-05	1.1644	0.1453	0.9430				
P15-2	0.7488	FN	3.70E-04	0.8969	0.1465	0.8874				
		S y FN	1.18E-04	1.0850	0.1522	0.9254				
		S	3.70E-05	1.2195	0.1517	0.9078				
P15-3	0.9548	FN	2.62E-04	0.9158	0.1271	0.9350				
		S y FN	1.01E-04	1.0700	0.1507	0.9165				
		S	3.00E-05	1.2266	0.1332	0.9315				
				FN	1.78E-04	0.9524	0.1321	0.9323		
				S y FN	7.13E-05	1.0986	0.1405	0.9307		

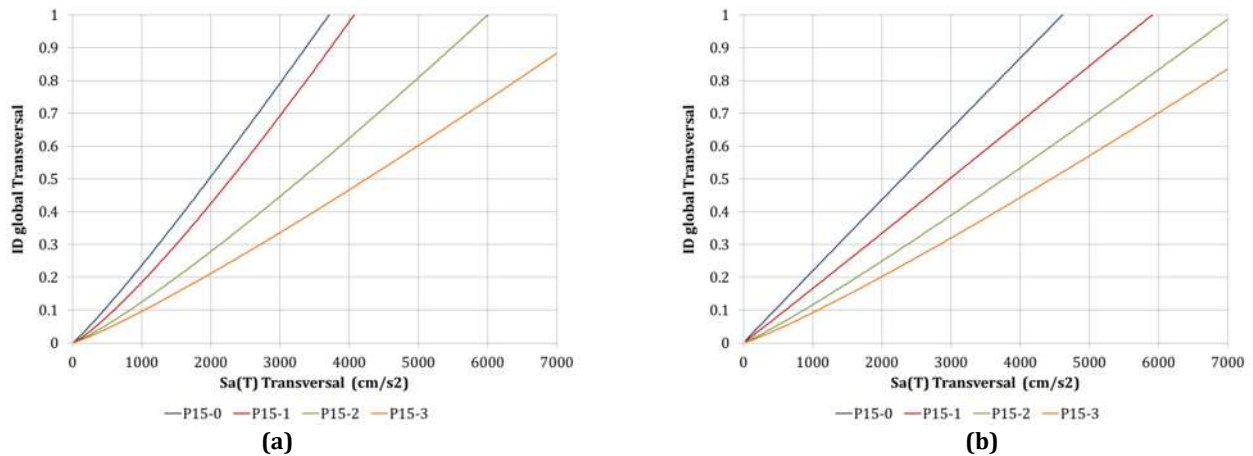


Figura 6.61 $Sa(T)$ – ID global, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

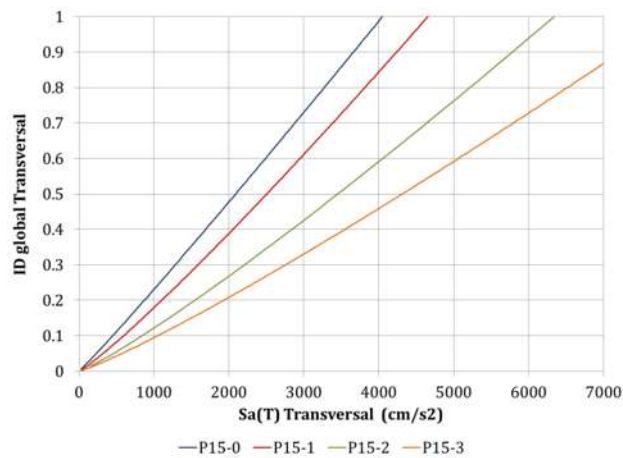


Figura 6.62 $Sa(T)$ – ID global, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Tabla 6.32 $Sa(T)$ – ID global, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 15 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
						β_0	β_1	σ	r
						Transversal	P15-0	0.3132	S
FN	2.30E-04	0.9928	0.1311	0.9460					
S y FN	1.65E-04	1.0486	0.1344	0.9415					
P15-1	0.5517	S	4.46E-05	1.2053	0.1200		0.9451		
		FN	1.52E-04	1.0128	0.1165		0.9517		
		S y FN	7.79E-05	1.1200	0.1242		0.9457		
P15-2	0.7488	S	4.03E-05	1.1631	0.1587		0.9083		
		FN	5.86E-05	1.0992	0.1116		0.9546		
		S y FN	4.55E-05	1.1421	0.1434		0.9259		
P15-3	0.9548	S	3.64E-05	1.1403	0.1529		0.9041		
		FN	3.67E-05	1.1332	0.1051		0.9387		
		S y FN	3.61E-05	1.1394	0.1376		0.9139		

6.2.4.4. MODELOS CON PILAS $h = 20\text{ m}$

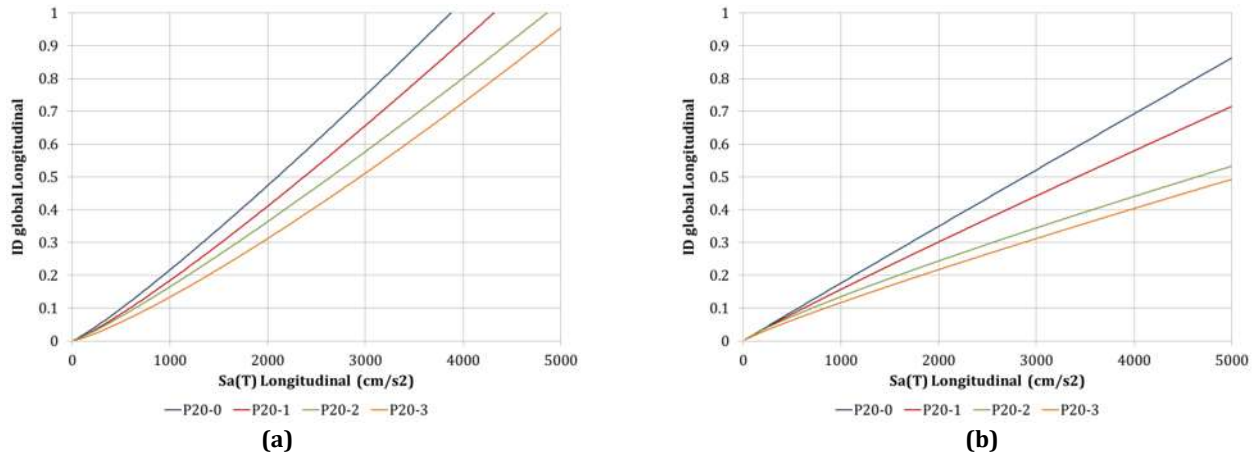


Figura 6.63 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

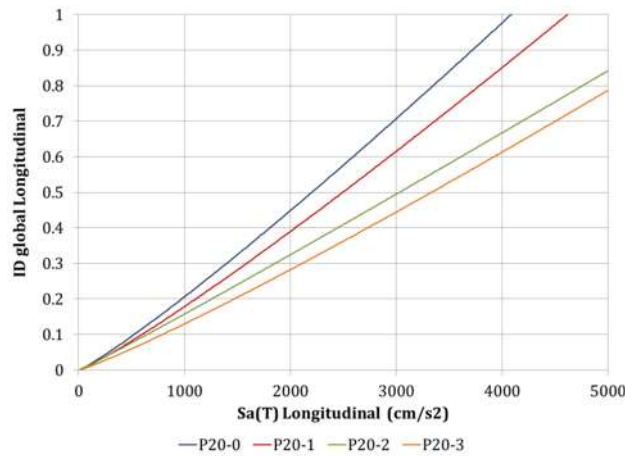


Figura 6.64 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Tabla 6.33 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
						β_0	β_1	σ	r
						Longitudinal	P20-0	0.3132	S
FN	1.93E-04	0.9867	0.1354	0.8114					
S y FN	8.89E-05	1.1219	0.1496	0.8891					
P20-1	0.5517	S	6.22E-05	1.1571	0.1409		0.9330		
		FN	2.35E-04	0.9416	0.1142		0.8619		
		S y FN	7.49E-05	1.1259	0.1343		0.9224		
P20-2	0.7488	S	6.31E-05	1.1393	0.1364		0.9322		
		FN	3.71E-04	0.8535	0.1279		0.9054		
		S y FN	1.20E-04	1.0402	0.1406		0.9237		
P20-3	0.9548	S	2.93E-05	1.2200	0.1457		0.9186		
		FN	2.44E-04	0.8938	0.1224		0.8910		
		S y FN	5.78E-05	1.1178	0.1445		0.9081		

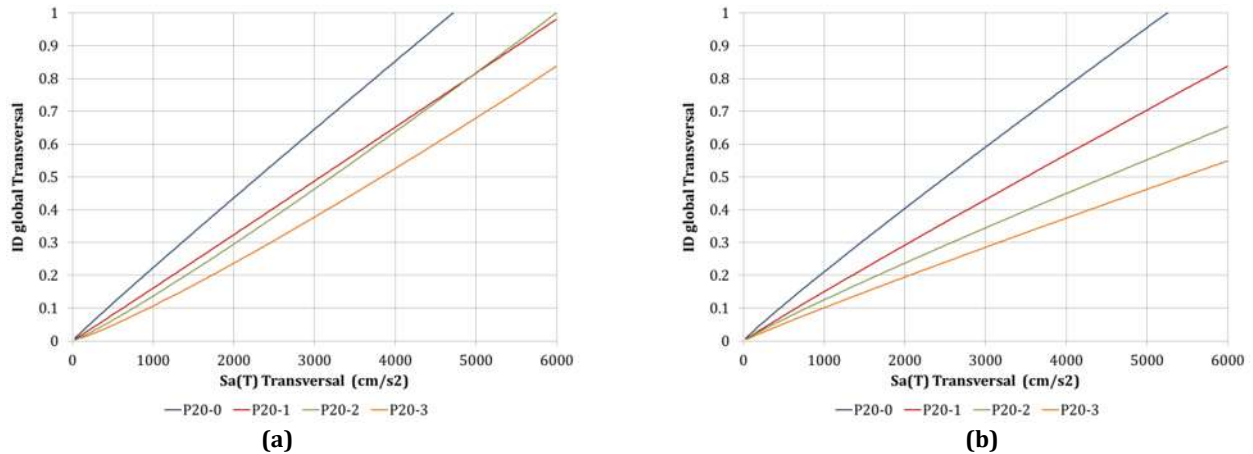


Figura 6.65 $Sa(T) - ID$ global, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

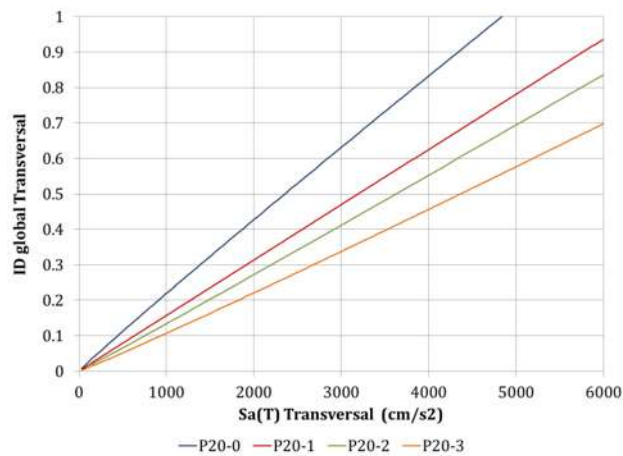


Figura 6.66 $Sa(T) - ID$ global, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Tabla 6.34 $Sa(T) - ID$ global, dirección transversal, grupos de modelos con pilas de 20 m

Grupo	Altura de pilas (m)	Coeficiente sísmico c	Fuente sísmica	MI	PDI	Curva de ajuste: Potencial			
						β_0	β_1	σ	r
						Transversal	P20-0	0.3132	S
FN	3.20E-04	0.9396	0.1349	0.9093					
S y FN	2.83E-04	0.9628	0.1415	0.9279					
P20-1	0.5517	S	1.51E-04	1.0094	0.1264		0.9528		
		FN	1.98E-04	0.9600	0.0872		0.9696		
		S y FN	1.61E-04	0.9965	0.1119		0.9600		
P20-2	0.7488	S	6.32E-05	1.1116	0.1318		0.9370		
		FN	2.14E-04	0.9224	0.1119		0.9579		
		S y FN	1.15E-04	1.0221	0.1291		0.9447		
P20-3	0.9548	S	3.78E-05	1.1502	0.1354		0.9159		
		FN	1.49E-04	0.9441	0.1055		0.9605		
		S y FN	7.68E-05	1.0478	0.1304		0.9342		

6.3. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y DISPERSIÓN

En esta sección se examinan la correlación y la dispersión de las curvas de ajuste con respecto a los datos contenidos en los diagramas de dispersión de las relaciones MI-PDI de los puentes carreteros típicos en México, con la finalidad de definir cuál es la relación óptima entre la medida de intensidad elegida ($Sa(T)$) y cierto parámetro de demanda ingenieril analizado.

Recordemos que las relaciones MI-PDI estudiadas son las siguientes:

- $Sa(T) - \theta_p$
- $Sa(T) - \Delta$
- $Sa(T) - ID \text{ local}$
- $Sa(T) - ID \text{ global}$

En la Tabla 6.35 se presentan los promedios obtenidos del *coeficiente de correlación*, r , y del *error estándar de la regresión*, σ , de las curvas de ajuste, agrupando los modelos de acuerdo con la altura de pilas. Al determinar el valor del error estándar de la regresión, σ , se conoce la dispersión de los datos observados alrededor de la línea de regresión; por otro lado, el coeficiente de correlación, r , es un indicador que mide la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas.

A partir de la Tabla 6.35 se construye la Tabla 6.36, donde se realiza una serie de promedios consecutivos hasta llegar a un promedio final que nos determina, de manera general, el error estándar y el coeficiente de correlación para cada una de las relaciones MI-PDI planteadas. Cabe resaltar que, en dicha tabla, no se consideran los resultados de las curvas de ajuste para los modelos con pilas de 5 m (P05), analizados en la dirección transversal; lo anterior obedece a que, en este caso, las curvas de ajuste son exponenciales y no potenciales, como se planteó para las demás relaciones.

Se observa que la pseudoaceleración espectral asociada al periodo fundamental del puente, $Sa(T)$, es una medida de intensidad adecuada para establecer una relación MI-PDI, ya que muestra un coeficiente de correlación $r \geq 0.90$ en el 85.42% de las relaciones MI-PDI establecidas, para los análisis en dirección longitudinal, y en el 79.17% de los análisis en dirección transversal (Tabla 6.35).

La relación MI-PDI que se considera óptima por mostrar, de manera general, una mayor correlación y dispersiones bajas se establece entre la pseudoaceleración espectral asociada al periodo fundamental del puente, $Sa(T)$, y la distorsión angular o *drift* máximo alcanzado en una pila, Δ . Dicha relación muestra, en promedio, un coeficiente de correlación $r = 0.9626$ con un error estándar de la estimación $\sigma = 0.1050$, para análisis en dirección longitudinal; en la dirección transversal estos valores son $r = 0.9538$ y $\sigma = 0.1202$.

Tabla 6.35 Análisis de correlación y dispersión

Relación MI-PDI	Dirección de análisis	Altura de pilas	Fuente sísmica	Promedio	
				σ	r
$Sa(T) - \theta_p$	Longitudinal	P05	S	0.1989	0.9128
			FN	0.1860	0.9475
			S Y FN	0.1934	0.9339
		P10	S	0.1718	0.9440
			FN	0.1740	0.9384
			S Y FN	0.1763	0.9406
		P15	S	0.1841	0.9169
			FN	0.1842	0.8889
			S Y FN	0.1876	0.9067
		P20	S	0.1734	0.9220
			FN	0.1608	0.9105
			S Y FN	0.1694	0.9208
$Sa(T) - \Delta$	Longitudinal	P05	S	0.1365	0.9208
			FN	0.1314	0.9514
			S Y FN	0.1348	0.9395
		P10	S	0.1122	0.9567
			FN	0.1058	0.9682
			S Y FN	0.1097	0.9635
		P15	S	0.0972	0.9695
			FN	0.0905	0.9738
			S Y FN	0.0943	0.9726
		P20	S	0.0848	0.9770
			FN	0.0799	0.9788
			S Y FN	0.0827	0.9789
$Sa(T) - ID local$	Longitudinal	P05	S	0.2113	0.9016
			FN	0.1743	0.9470
			S Y FN	0.1951	0.9273
		P10	S	0.1663	0.9478
			FN	0.1497	0.9553
			S Y FN	0.1623	0.9506
		P15	S	0.1564	0.9533
			FN	0.1363	0.9519
			S Y FN	0.1525	0.9524
		P20	S	0.1518	0.9552
			FN	0.1239	0.9560
			S Y FN	0.1450	0.9553
$Sa(T) - ID global$	Longitudinal	P05	S	0.1942	0.8768
			FN	0.1730	0.8931
			S Y FN	0.1876	0.8802
		P10	S	0.1621	0.8985
			FN	0.1583	0.8903
			S Y FN	0.1634	0.8930
		P15	S	0.1472	0.9293
			FN	0.1378	0.9138
			S Y FN	0.1494	0.9251
		P20	S	0.1443	0.9216
			FN	0.1249	0.8674
			S Y FN	0.1423	0.9108
$Sa(T) - \theta_p$	Transversal	P05	S	0.5179	0.8665
			FN	0.4714	0.8766
			S Y FN	0.5160	0.8695
		P10	S	0.1863	0.9313
			FN	0.1670	0.9540
			S Y FN	0.1788	0.9446
		P15	S	0.1688	0.9434
			FN	0.1722	0.9339
			S Y FN	0.1744	0.9389
		P20	S	0.1901	0.9064
			FN	0.1749	0.9068
			S Y FN	0.1864	0.9069
$Sa(T) - \Delta$	Transversal	P05	S	0.4385	0.8743
			FN	0.3843	0.8900
			S Y FN	0.4266	0.8817
		P10	S	0.1452	0.9266
			FN	0.1260	0.9556
			S Y FN	0.1378	0.9435
		P15	S	0.1225	0.9498
			FN	0.1099	0.9646
			S Y FN	0.1180	0.9585
		P20	S	0.1145	0.9556
			FN	0.0991	0.9679
			S Y FN	0.1089	0.9623
$Sa(T) - ID local$	Transversal	P05	S	0.5117	0.8905
			FN	0.4808	0.8789
			S Y FN	0.5131	0.8853
		P10	S	0.1690	0.9318
			FN	0.1428	0.9584
			S Y FN	0.1582	0.9471
		P15	S	0.1404	0.9535
			FN	0.1197	0.9685
			S Y FN	0.1336	0.9615
		P20	S	0.1350	0.9554
			FN	0.1116	0.9667
			S Y FN	0.1275	0.9608
$Sa(T) - ID global$	Transversal	P05	S	0.5008	0.8815
			FN	0.4413	0.8782
			S Y FN	0.4874	0.8792
		P10	S	0.1504	0.9257
			FN	0.1334	0.9344
			S Y FN	0.1448	0.9281
		P15	S	0.1417	0.9223
			FN	0.1160	0.9478
			S Y FN	0.1349	0.9317
		P20	S	0.1349	0.9347
			FN	0.1099	0.9493
			S Y FN	0.1282	0.9417

Tabla 6.36 Determinación de la relación MI-PDI óptima

Relación MI-PDI	Dirección de análisis	Fuente sísmica	Promedio					
			σ	r	σ	r	σ	r
$Sa(T) - \theta_p$	Longitudinal	S	0.1820	0.9239	0.1800	0.9236	0.1788	0.9266
		FN	0.1762	0.9213				
		S Y FN	0.1817	0.9255				
$Sa(T) - \theta_p$	Transversal (Sin considerar P05)	S	0.1817	0.9270	0.1777	0.9296		
		FN	0.1714	0.9316				
		S Y FN	0.1799	0.9301				
$Sa(T) - \Delta$	Longitudinal	S	0.1077	0.9560	0.1050	0.9626	0.1126	0.9582
		FN	0.1019	0.9680				
		S Y FN	0.1054	0.9636				
$Sa(T) - \Delta$	Transversal (Sin considerar P05)	S	0.1274	0.9440	0.1202	0.9538		
		FN	0.1117	0.9627				
		S Y FN	0.1215	0.9548				
$Sa(T) - ID local$	Longitudinal	S	0.1715	0.9395	0.1604	0.9461	0.1490	0.9511
		FN	0.1460	0.9526				
		S Y FN	0.1637	0.9464				
$Sa(T) - ID local$	Transversal (Sin considerar P05)	S	0.1481	0.9469	0.1375	0.9560		
		FN	0.1247	0.9645				
		S Y FN	0.1397	0.9565				
$Sa(T) - ID global$	Longitudinal	S	0.1620	0.9066	0.1570	0.9000	0.1449	0.9175
		FN	0.1485	0.8912				
		S Y FN	0.1607	0.9022				
$Sa(T) - ID global$	Transversal (Sin considerar P05)	S	0.1423	0.9276	0.1327	0.9351		
		FN	0.1198	0.9438				
		S Y FN	0.1360	0.9339				

Conclusiones

En este trabajo se determinan funciones de demanda estructural para puentes carreteros típicos en México, con base en el análisis no lineal de modelos de puentes de concreto reforzado de longitud intermedia, simplemente apoyados. Los puentes estudiados están conformados por 5 claros de dos posibles longitudes: (1) puentes con claros de 20 m, y (2) puentes con claros de 30 m. Según la altura de las pilas, se tienen cuatro subcategorías: (1) pilas de 5 m; (2) 10 m; (3) 15 m, y (4) 20 m. Para tomar en cuenta la acción sísmica durante el diseño se consideraron 4 distintos espectros de diseño, correspondientes a las siguientes ciudades: Morelia, Michoacán; Aguililla, Michoacán; Lázaro Cárdenas, Michoacán, y Acapulco, Guerrero. De esta manera, para la presente investigación, se modelaron, diseñaron y analizaron un total de 32 puentes.

Los modelos fueron sometidos a la demanda sísmica proveniente de 124 registros sísmicos, correspondientes a los eventos de las fuentes sísmicas más importantes en México: 71 de sismos de subducción y 53 de sismos de fallamiento normal. Aplicando el método de escalamiento de amplitud, los registros sísmicos se escalaron para un periodo de retorno tal que, para la mayor parte de los modelos analizados, se lograra llevar al colapso a la estructura.

Una vez creado el modelo no lineal de los puentes y conocida la demanda sísmica, se llevaron a cabo los análisis no lineales en la historia del tiempo, manejando por separado los análisis longitudinal y transversal de cada modelo. De los resultados de dichos análisis fue posible construir diagramas de dispersión, donde cada par (x_i, y_i) corresponde a un par (MI, PDI). Los puntos obtenidos fueron ajustados a curvas potenciales o exponenciales mediante un análisis de regresión lineal.

Para establecer las relaciones MI-PDI, se seleccionó como MI la pseudoaceleración espectral asociada al periodo fundamental del puente, $Sa(T)$, en la dirección de análisis correspondiente. Los PDIs seleccionados fueron: la rotación plástica, θ_p ; la distorsión angular o drift en pilas, Δ ; el índice de daño local en pilas, ID_{local} , y el índice de daño global del puente, ID_{global} .

De las funciones de demanda estructural, estudiadas en la presente investigación, se concluye lo siguiente:

1. La pseudoaceleración espectral asociada al periodo fundamental del puente, $Sa(T)$, es una medida de intensidad adecuada para establecer una relación MI-PDI, ya que muestra un coeficiente de correlación $r \geq 0.90$ en el 85.42% de las relaciones MI-PDI establecidas para los análisis en dirección longitudinal y en el 79.17% de los análisis en dirección transversal .

2. A excepción del caso que se comenta a continuación, las relaciones MI-PDI fueron ajustadas mediante curvas potenciales, debido a que este tipo de curva mostró una alta correlación y un bajo error estándar.
 - A diferencia de todos los demás casos, los modelos de puentes con altura de pilas de 5 m, en dirección transversal, mostraron una correlación baja para el ajuste de tipo potencial. Por este motivo, las relaciones MI- PDI de este conjunto de modelos corresponden a una curva exponencial, que mejoró apreciablemente la correlación.
3. Se propone manejar de manera conjunta los resultados de los modelos con longitud de claro de 20 m y 30 m, diseñados para el mismo espectro de diseño y con la misma altura de pilas, creando así grupos (Tabla 6.2). Lo anterior resulta factible, ya que la diferencia entre el ajuste por modelo y el ajuste por grupo no excede de:
 - Análisis en dirección longitudinal
 - $Sa(T) - \theta_p \rightarrow 25.51\%$
 - $Sa(T) - \Delta \rightarrow 18.91\%$
 - $Sa(T) - ID\ local \rightarrow 27.11\%$
 - $Sa(T) - ID\ local \rightarrow 27.06\%$
 - Análisis en dirección transversal (sin considerar los grupos P05-#)
 - $Sa(T) - \theta_p \rightarrow 24.02\%$
 - $Sa(T) - \Delta \rightarrow 19.76\%$
 - $Sa(T) - ID\ local \rightarrow 24.60\%$
 - $Sa(T) - ID\ local \rightarrow 24.30\%$

Cabe resaltar que los porcentajes anteriores corresponden a evaluar las funciones para los valores máximos de $Sa(T)$ presentes en los resultados y, debido a la forma misma de una curva potencial, estos porcentajes se verán reducidos para valores menores de $Sa(T)$. Adicionalmente, se considera que estos porcentajes no son excesivos si se consideran las grandes incertidumbres relativas a los fenómenos sísmicos y al análisis no lineal de las estructuras.

En la determinación de los porcentajes de diferencia máximos para el análisis en dirección transversal no se consideraron los obtenidos para modelos con pilas de 5 m. De acuerdo con la tendencia de crecimiento de una curva exponencial, analizar las funciones exponenciales para valores máximos de $Sa(T)$ representa porcentajes de diferencia incluso mayores al 100%.

4. En el punto anterior, los resultados de cada fuente sísmica se analizan por separado. En esta investigación se proponen también funciones de demanda estructural para los grupos establecidos,

combinando los resultados sin importar la fuente sísmica; para ello, la diferencia entre el ajuste por modelo y el ajuste por grupo no excede de:

- Análisis en dirección longitudinal
 - $Sa(T) - \theta_p \rightarrow 37.79\%$
 - $Sa(T) - \Delta \rightarrow 21.62\%$
 - $Sa(T) - ID \text{ local} \rightarrow 46.18\%$
 - $Sa(T) - ID \text{ local} \rightarrow 41.16\%$
- Análisis en dirección transversal (sin considerar los grupos P05-#)
 - $Sa(T) - \theta_p \rightarrow 53.45\%$
 - $Sa(T) - \Delta \rightarrow 32.30\%$
 - $Sa(T) - ID \text{ local} \rightarrow 42.80\%$
 - $Sa(T) - ID \text{ local} \rightarrow 44.50\%$

Claramente, estos porcentajes son mayores que los tratados en el punto anterior, por lo que la aplicabilidad de cada función de demanda estructural dependerá del grado de precisión buscado. Es notoria la importante influencia que tiene el tipo de fuente sísmica en estos análisis.

5. La relación MI-PDI que se considera óptima, considerando aquella que presenta una mayor correlación y dispersiones bajas, se establece entre la pseudoaceleración espectral asociada al periodo fundamental del puente, $Sa(T)$, y la distorsión angular o *drift* máximo alcanzado en una pila, Δ . Dicha relación muestra, en promedio, un coeficiente de correlación $r = 0.9626$ con un error estándar de la estimación $\sigma = 0.1050$, para análisis en dirección longitudinal; en dirección transversal estos valores son $r = 0.9538$ y $\sigma = 0.1202$.

Aunado a esto, la relación $Sa(T) - \Delta$ muestra los porcentajes de diferencia más bajos entre las funciones de demanda estructural por modelo y por grupo, tratados en los puntos 3 y 4.

REFERENCIAS

- AASHTO. (2010). *LRFD Bridge Design Specifications. 5th Edition*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Abrahamson, N. A. (1992). Non-Stationary Spectral Matching. *Seismological Research Letters*, 63(1), 30-30.
- Alavi, B., & Krawinkler, H. (2000). Consideration of Near-Fault Ground Motion Effects in Seismic Design. *Proceedings, 12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand.
- Alavi, B., & Krawinkler, H. (2004). Behavior of Moment-Resisting Frame Structures Subjected to Near-Fault Ground Motions. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 33(6), 687-706.
- Archuleta, R. J., Steidl, J., & Squibb, M. (2006). The COSMOS Virtual Data Center: A Web Portal for Strong Motion Data Dissemination. *Seismological Research Letters*, 77(6), 651-658.
- Arias, A. (1970). A Measure of Earthquake Intensity. *Seismic Design of Nuclear Power Plants*. Cambridge, Massachusetts: R.J. Hansen (ed).
- Aviram, A., Mackie, K. R., & Stojadinovic, B. (2008). *Guidelines for Nonlinear Analysis of Bridge Structures in California*. Berkeley, California: Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- Ay, B. O., & Akkar, S. (2010). Selecting and Scaling of Real Accelerograms. *Proceedings, 14th European Conference on Earthquake Engineering*. Ohrid, Republic of Macedonia.
- Baker, J. W., & Cornell, C. A. (2004). Choice of a Vector of Ground Motion Intensity Measures for Seismic Demand Hazard Analysis. *Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada.
- Ballio, G., & Castiglioni, C. A. (1994). An Approach to the Seismic Design of Steel Structures based on Cumulative Damage Criteria. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 23(9), 969-986.
- Bazan, M., & Sasani, M. (2004). A New Damage Model for Reinforced Concrete Elements. *Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada.
- Bazurro, P. (1998). *Probabilistic Seismic Demand Analysis*. Stanford, California: Ph.D. Thesis, Dept. of Civil and Environmental Engineering Stanford University.
- Bojórquez, E., Iervolino, I., Manfredi, G., & Cosenza, E. (2006). Influence of Ground Motion Duration on Degrading SDOF Systems. *Proceedings, 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*. Geneva, Switzerland.
- Bojórquez, E., Terán-Gilmore, A., Bojórquez, J., & Ruiz, S. E. (2009). La Consideración Explícita del Daño Acumulado en el Diseño Sísmico de Estructuras, a través de Factores de Reducción de Resistencia por Ductilidad. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (80), 31-62.
- Bolt, B. A., & Gregor, N. J. (1993). *Synthesized Strong Ground Motions for the Seismic Condition Assessment of the Eastern Portion of the San Francisco Bay Bridge*. University of California, Berkeley: Report UCB/EERC-93/12, Earthquake Engineering Research Center.

- Boomer, J. M., Magenes, J., Hancock, J., & Penazzo, P. (2004). The Influence of Strong-Motion Duration on the Seismic Response of Masonry Structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2(1), 1-26.
- Caltrans SDC. (1999). *Caltrans Seismic Design Criteria, Version 1.1*. Sacramento, California: California Department of Transportation.
- Caltrans SDC. (2010). *Caltrans Seismic Design Criteria, Version 1.6*. Sacramento, California: California Department of Transportation.
- CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México, Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana*. México: Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Sistema Nacional de Protección Civil.
- CFE Comisión Federal de Electricidad. (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Sismo*. México: Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Chai, Y. H. (2005). Incorporating Low-Cycle Fatigue Model into Duration-Dependent Inelastic Design. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 34(1), 83-96.
- Chou, C. C., & Uang, C. M. (2003). A Procedure to Evaluate Energy Demand for Framed Structures. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 32(2), 229-244.
- Clemente, A. (2010). *Ley de Atenuación (PGA) y Escalamiento de Forma Espectral Sísmica para Querétaro, Deducidos por Análisis de Trayectorias: Aplicada a Guerrero-Querétaro*. Querétaro, México: Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UAQ.
- CMT. (2012). *Global Centroid Moment Tensor Project*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2012, de <http://www.globalcmt.org/>
- Conte, J. P., & Zhang, Y. (2007). Performance-Based Earthquake Engineering: Application to an Actual Bridge-Foundation-Ground System. *Proceedings, 12th Italian National Conference on Earthquake Engineering*. Pisa, Italy.
- Cordova, P. P., Deierlein, G. G., Mehanny, S. S., & Cornell, C. (2001). Development of a Two-Parameter Seismic Intensity Measure and Probabilistic Assessment Procedure. *Proceedings, 2nd U.S.-Japan Workshop on Performance-Based Earthquake Engineering Methodology for Reinforced Concrete Building Structures*. Sapporo, Hokkaido.
- Cosenza, E., Manfredi, G., & Ramasco, R. (1993). The Use of Damage Functionals in Earthquake Engineering: A Comparison between Different Methods. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 22(10), 855-868.
- CSI. (2006). *PERFORM3D. Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures*. Berkeley, California: Computers and Structures, Inc.
- CSI. (2007). *SAP2000. Integrated Software for Structural Analysis & Design*. Berkeley, California: Computers and Structures, Inc.
- Deierlein, G. G., Krawinkler, H., & Cornell, C. A. (2003). A Framework for Performance-Based Earthquake Engineering. *Proceedings, 2003 Pacific Conference on Earthquake Engineering*. Christchurch, New Zealand.

- Devore, J. (2012). *Probability And Statistics For Engineering And Sciences, 8th Ed.* Boston, MA: Cengage Learning.
- Fajfar, P. (1992). Equivalent Ductility Factors taking into account Low-Cycle Fatigue. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 21(10), 837-848.
- FEMA Federal Emergency Management Agency. (2000). *FEMA 356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings.* Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- Frías, R. (2010). SIPUMEX para Administrar la Red Federal Carretera. *Revista Vías Terrestres*, (6) (*Asociación Mexicana de Ingeniería en Vías Terrestres*), 10-12.
- Furumura, T., & Singh, S. K. (2002). Regional Wave Propagation from Mexican Subduction Zone Earthquakes; the Attenuation Functions for Inter-plate and Inslab Events. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(6), 2110-2125.
- Gama, A., Gómez, A., & Aguirre, J. (2010). Estudio de la Estructura del Subsuelo y de los Efectos de Sitio en Chilpancingo Guerrero, México. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 10(2), 163-176.
- García, D. (2001). *Atenuación Sísmica. Aplicación a Terremotos Intraplaca en México Central.* Madrid, España: Trabajo de Investigación de Tercer Ciclo p. Universidad Complutense de Madrid.
- García, D. (2006). *Estimación de parámetros del movimiento fuerte del suelo para terremotos interplaca e intraslab en México Central.* Madrid, España: Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Gasparini, D., & Vanmarcke, E. H. (1976). *SIMQKE: A Program for Artificial Motion Generation.* Cambridge, MA: Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Halvorsen, G. T. (1987). Code Requirements for Crack Control. *Lewis H. Tuthill International Symposium on Concrete and Concrete Construction.* Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- Hancock, J., & Bommer, J. M. (2006). A State-of-Knowledge Review of the Influence of Strong-Motion Duration on Structural Damage. *Earthquake Spectra*, 22(3), 827-845.
- Heo, Y., Kunnath, S. K., & Abrahamson, N. (2011). Amplitude-Scaled versus Spectrum-Matched Ground Motions for Seismic Performance Assessment. *Journal of Structural Engineering*, 137(3), 278-288.
- Iervolino, I. G., Manfredi, G., & Conenza, E. (2006). Ground Motion Duration Effects on Nonlinear Seismic Response. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 35(1), 21-38.
- Iglesias, A., Singh, S. K., Santoyo, M. A., Pacheco, J. F., & Ordaz, M. (2007). The Seismic Alert System for Mexico City: An Evaluation of its Performance and a Strategy for its Improvement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(5), 1718-1729.
- Iida, M., & Kawase, H. (2004). A Comprehensive Interpretation of Strong Motions in the Mexican Volcanic Belt. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(2), 598-618.
- Jara, J. M., & Jara, M. (2007). *Peligro Sísmico.* Morelia, México: Fondo Editorial Morevallado.

- Jara, J. M., Jara, M., Rojas, R. M., Cruz, J. I., Hernández, H., & Álvarez, J. J. (2009). *Desarrollo de un Procedimiento para Reducir la Vulnerabilidad Sísmica de Puentes en México*. México: Informe Técnico para el CONACYT.
- Kalkan, E., & Kwong, N. S. (2012). Assessment of Modal-Pushover-Based Scaling Procedure for Nonlinear Response History Analysis of Ordinary Standard Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 17(2), 272-288.
- Kanamori, H. (1977). The Energy Release in Great Earthquake. *Journal of Geophysical Research*, 82(20), 2981-2987.
- Kennedy, R. P., et al. (1984). *Engineering Characterization of Ground Motion-Task 1: Effects of Characteristics of Free-Field Motion on Structural Response*. Washington, D.C.: NUREG/CR-3805, U.S. Regulatory Commission.
- Kostoglodov, V., & Pacheco, J. F. (1999). *Cien Años de Sismicidad en México*. México, D. F.: Suplemento del Instituto de Geofísica, UNAM.
- Kurama, C., & Farrow, K. T. (2003). Ground Motion Scaling Methods for Different Site Conditions and Structure Characteristics. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 32(15), 2425-2450.
- Lilhanand, K., & Tseng, W. S. (1988). Development and Application of Realistic Earthquake Time Histories Compatible with Multiple damping Response Spectra. *Proceedings, 9th World Conference on Earthquake Engineering*. Tokyo, Japan.
- Mackie, K. R., & Stojadinovic, B. (2003). *Seismic Demands for Performance-Based Design of Bridges, Report No. 2003/16*. Berkeley, California: University of California, Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- Mackie, K. R., & Stojadinovic, B. (2004a). Fragility Curves for Reinforced Concrete Highway Overpass Bridges. *Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada.
- Mackie, K. R., & Stojadinovic, B. (2004b). Improving Probabilistic Seismic Demand Models Through Refined Intensity Measures. *Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada.
- Malhotra, P. K. (2002). Cyclic-Demand Spectrum. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 31(7), 1441-1457.
- Malhotra, P. K. (2009). Strong-Motion Records for Site-Specific Analysis. *Earthquake Spectra*, 19(3), 557-578.
- Mander, J. B., Bradley, B., & Dhakal, R. P. (2007). Parametric Structure-Specific Seismic Loss Estimation. *Proceedings, 4th International Conference on Urban Earthquake Engineering (4ICUEE)*. Tokyo, Japan.
- Mander, J. B., Priestley, M. J., & Park, R. (1998). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of the Structural Division ASCE*, 144(8), 1804-1826.
- Manfredi, G. (2001). Evaluation of Seismic Energy Demand. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 30(4), 485-499.

- Martinez-Rueda, J. (1998). Scaling Procedure for Natural Accelerograms Based on a System of Spectrum Intensity Scales. *Earthquake Spectra*, 14(1), 135-152.
- Matsuki, S., Billington, S. L., & Baker, J. W. (2006). Impact of Long-Term Material Degradation on Seismic Performance of Reinforced Concrete Bridge. *Proceedings, 8th US National Conference on Earthquake Engineering*. San Francisco, California.
- Mehanny, S. S. (1999). *Modeling and Assessment of Seismic Performance of Composite Frames with Reinforced Concrete Columns and Steel Beams*. Stanford, California: Ph.D. Thesis, Dept. of Civil and Environmental Engineering Stanford University.
- Miranda, E. (1993). Evaluation of Site-Dependent Inelastic Seismic Design Spectra. *Journal of Structural Engineering*, 119(5), 1319-1338.
- N·CMT·2·08/04. (2004). 2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS, 08. Placas y Apoyos Integrales de Neopreno. En *CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES*.
- Naeim, F., Alimoradi, A., & Pezeshk, S. (2004). Selection and Scaling of Ground Motion Time Histories for Structural Design using Genetic Algorithms. *Earthquake Spectra*, 20(2), 413-426.
- Nau, J., & Hall, W. (1984). Scaling Methods for Earthquake Response Spectra. *Journal of Structural Engineering*, 110(7), 1533-1548.
- Nielson, B., & Bowers, M. (2007). Seismic Bridge Fragilities for Post-Design Verification. *1st US-Italy Seismic Bridge Workshop*. Pavia, Italy.
- Nishenko, S. P., & Singh, S. K. (1987). The Acapulco-Ometepepec, México earthquake of 1907-1982: Evidence for a Variable Recurrence History. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77(4), 1359-1367.
- NTCC-2004. (2004). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto*. México, D.F.: Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- O'Donnell, A. P., Beltsar, O. A., Kurama, Y. C., Kalkan, E., & Taflanidis, A. A. (2011). Evaluation of Ground Motion Scaling Methods for Nonlinear Analysis of Structural Systems. *Proceedings, 2011 NSF Engineering Research and Innovation Conference*. Atlanta, Georgia.
- Ordaz, M., & Montoya, C. (2002). Programa de cómputo DEGTRA A4 (Versión 4.06). México: Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Ordaz, M., & Singh, S. K. (1992). Source Spectra and Spectral Attenuation of Seismic Waves from Mexican Earthquakes, and Evidence of Amplification in the Hill Zone of Mexico City. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(1), 24-43.
- Park, R., & Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. Canada: John Wiley and Sons, Inc.
- Park, Y. J., & Ang, A. H. (1985). Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete. *Journal of Structural Engineering*, 111(4), 722-739.
- Park, Y. J., Ang, A. H., & Wen, Y. K. (1985). Seismic Damage Analysis of Reinforced Concrete Buildings. *Journal of Structural Engineering*, 111(4), 740-757.

- Park, Y. J., Ang, A. H., & Wen, Y. K. (1987). Damage Limiting Aseismic Design of Buildings. *Earthquake Spectra*, 3(1), 1-26.
- Paulay, T., & Priestley, M. J. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Porter, K. A. (2003). An Overview of PEER's Performance-Based Earthquake Engineering Methodology. *Proceedings, 9th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*. San Francisco, California.
- Quaas, R., Almora, D., Velasco, J., Vázquez, R., Medina, S., Torres, M., . . . Brune, J. (1986). *Registros de los Sismos de septiembre de 1985 obtenidos en la Estación de El Paraíso, Guerrero y Calibración del Acelerógrafo, Vol. GAA-1D*. Instituto de Ingeniería, UNAM.
- RCDF. (2001). *Reglamento de Construcciones Para el Distrito Federal*. México D.F.: Diario Oficial de la Federación.
- SAHOP Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. (1980). *Puentes para Carreteras. Proyectos Tipo de Elementos de Concreto Reforzado*. México, México.
- SAHOP Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. (1981). *Proyecto Tipo de Puentes para Caminos Rurales*. México, México: Dirección General de Caminos Rurales. Coordinación de Asesoría Internacional y Capacitación.
- SCT Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1985). *La Construcción de Puentes en México*. México: Editorial Litográfica México, S.A.
- SCT Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2006). *Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal*. México.
- Shapiro, N. M., Campillo, M., Paul, A., Singh, S. K., Jongmans, D., & Sánchez-Sesma, F. J. (1997). Surface-Wave Propagation Across the Mexican Volcanic Belt and the Origin of the Long-Period Seismic-Wave Amplification in the Valley of Mexico. *Geophysical Journal International*, 128(1), 151-166.
- Shome, N., & Cornell, C. (1998). Normalization and Scaling Accelerograms for Nonlinear Structural Analysis. *Proceedings, 6th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*. Seattle, WA.
- Shome, N., & Cornell, C. (1999). *Probabilistic Seismic Demand Analysis of Nonlinear Structures*. Stanford, California: Reliability of Marine Structures Program, Report No. RMS-35, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Stanford University.
- Shome, N., Cornell, C., Bazurro, P., & Carballo, J. (1998). Earthquakes, Records, and Nonlinear Responses. *Earthquake Spectra*, 14(3), 469-500.
- Silva, W. J., & Lee, K. (1987). *WES RASCAL Code for Synthesizing Earthquake Ground Motions: State-of-the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States*. Vicksburg, MS: Report 24, S-73-1, US Army Engineering Waterways Experiment Station.
- Singh, S. K., Pacheco, J. F., Mikumo, T., & Kostoglodov, V. (2001). Inslab Earthquakes in the Subducted Cocos Plate below Central Mexico.

- Somerville, P. (2010). Current Status and Remaining Issues in Ground Motion Evaluation. *1st Kashiwasaki International Symposium on Seismic Safety of Nuclear Installations*. Kashiwasaki, Japan.
- SOP Secretaría de Obras Públicas. (1966). *Estructuras para Puentes. Proyectos Tipo*. México, México: Dirección General de Proyectos y Laboratorios.
- Turkstra, C. J., & Madsen, H. O. (1980). Load Combinations in Codified Structural Design. *Journal of the Structural Division*, 106(12), 2527-2543.
- Vidic, T., Fajfar, P., & Fischinger, M. (1994). Consistent Inelastic Design Spectra: Strength and Displacement. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 23(5), 507-521.
- Youngs, R., Power, M., Wang, G., Makdisi, F., & Chin, C. C. (2007). Design Ground Motion Library (DGML) – Tool for Selecting Time History Records for Specific Engineering Applications. *SMIP07 Seminar on Utilization of Strong-Motion Data*. Sacramento, California.
- Zhang, Y., Acero, G., Conte, J. P., Yang, Z., & Elgamal, A. (2004). Seismic Reliability Assessment of Bridge Ground System. *Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C.

Apéndice A

DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN Y CURVAS DE AJUSTE

A partir de los resultados obtenidos de los análisis no lineales en la historia del tiempo, realizados a cada uno de los modelos de puente y sometiéndolos a la demanda sísmica descrita en el Capítulo 3, fue posible construir los diagramas de dispersión que a continuación se presentan. Dichos diagramas de dispersión relacionan cierto parámetro de demanda ingenieril (PDI) con una medida de intensidad (MI), representando los PDIs a la variable regresor y las MIs a la variable respuesta. Los puntos obtenidos fueron ajustados a curvas potenciales o exponenciales (según se especifique) mediante un análisis de regresión lineal.

Se estudiaron las siguientes relaciones MI-PDI:

- $Sa(T) - \theta_p$
- $Sa(T) - \Delta$
- $Sa(T) - ID \text{ local}$
- $Sa(T) - ID \text{ global}$

Para una relación MI-PDI dada, la manera de presentar los resultados es la siguiente.

- d) Los resultados de modelos con una misma altura de pilas y diseñados para el mismo espectro de diseño se presentan en conjunto, y a este nuevo conjunto o grupo de resultados se le nombra con los últimos 5 caracteres del nombre del modelo original. Así, por ejemplo, el grupo P05-0 combina los resultados de los modelos con altura de pila de 5 m, diseñados para el espectro de diseño de Morelia, Michocán (C20P05-0 y C30P05-0). Lo anterior se explica en la Tabla 6.2, la cual se anexa a continuación:

Tabla 6.2 Definición de grupos para el manejo de resultados

Altura de pilas (m)	Grupo	Modelos	Coefficiente sísmico c	Altura de pilas (m)	Grupo	Modelos	Coefficiente sísmico c
5	P05-0	C20P05-0	0.3132	15	P15-0	C20P15-0	0.3132
		C30P05-0				C30P15-0	
	P05-1	C20P05-1	0.5517		P15-1	C20P15-1	0.5517
		C30P05-1				C30P15-1	
	P05-2	C20P05-2	0.7488		P15-2	C20P15-2	0.7488
		C30P05-2				C30P15-2	
	P05-3	C20P05-3	0.9548		P15-3	C20P15-3	0.9548
		C30P05-3				C30P15-3	
10	P10-0	C20P10-0	0.3132	20	P20-0	C20P20-0	0.3132
		C30P10-0				C30P20-0	
	P10-1	C20P10-1	0.5517		P20-1	C20P20-1	0.5517
		C30P10-1				C30P20-1	
	P10-2	C20P10-2	0.7488		P20-2	C20P20-2	0.7488
		C30P10-2				C30P20-2	
	P10-3	C20P10-3	0.9548		P20-3	C20P20-3	0.9548
		C30P10-3				C30P20-3	

- e) Se presentan tres gráficas para una misma dirección de análisis, donde una misma gráfica muestra los diagramas de dispersión y curvas de ajuste para los resultados de cada modelo perteneciente al mismo grupo. La primer gráfica muestra los resultados de los modelos sometidos a sismos de subducción, la segunda a sismos de fallamiento normal, mientras que la última muestra la combinación de resultados, sin importar la fuente sísmica. Además, se muestra una curva de ajuste adicional de mayor grosor que resulta del ajuste de la combinación de los resultados de ambos modelos, es decir, la curva de ajuste para el grupo al que pertenecen.
- f) Se anexa una tabla con los siguientes parámetros obtenidos, de las curvas de ajuste para cada fuente sísmica de cada modelo y para el grupo.

(a) → Parámetro β_0 ,

(b) → Parámetro β_1 ,

(c) → Error estándar de la estimación, σ ,

(d) → Coeficiente de correlación, r .

Se incluyen también en la tabla las siguientes columnas:

(e) → Máxima pseudoaceleración espectral presente en el conjunto de resultados, asociada al periodo fundamental del puente en la dirección de análisis.

(f) → Valor de PDI resultante asociado a *(e)*, aplicando la ecuación de la curva de ajuste original.

(g) → Valor de PDI resultante asociado a (e), aplicando la ecuación de la curva de ajuste del grupo. Ecuaciones (1) o (2), según la fuente sísmica que se trate, manejando conjuntamente los datos de los puentes con longitud de claro de 20 y de 30 metros.

(h) → Relación, en porcentaje, entre el valor de la columna (f) y el valor de la columna (g).

(i) → Valor de PDI resultante asociado a (e), aplicando la ecuación de la curva de ajuste del grupo. Ecuación (3), la cual está planteada para manejar, de manera conjunta, los datos de ambas fuentes sísmicas y las dos longitudes de claro.

(j) → Relación, en porcentaje, entre el valor de la columna (g) y el valor de la columna (i).

Los parámetros β_0 y β_1 dependen de la curva de ajuste de que se trate, pudiendo ser *exponencial* o *potencial*, según se especifique. De acuerdo a la Tabla 6.1, la función potencial tiene la forma $y = \beta_0 x^{\beta_1}$, y la función exponencial $y = \beta_0 e^{\beta_1 x}$.

De acuerdo con lo anterior, la relación MI-PDI potencial tiene la siguiente forma:

$$PDI = \beta_0 (MI)^{\beta_1}$$

y para la relación MI-PDI exponencial tenemos:

$$PDI = \beta_0 e^{\beta_1 MI}$$

Como curva de ajuste original se entiende que es aquella que corresponde a los resultados de un mismo modelo y no para el grupo. Para cada modelo, existen tres ecuaciones de curva de ajuste original (según la fuente sísmica): subducción, fallamiento normal y la combinación de ambas.

LISTA DE TABLAS (Apéndice A)

Tabla A. 1 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	183
Tabla A. 2 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	184
Tabla A. 3 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	185
Tabla A. 4 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	186
Tabla A. 5 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	187
Tabla A. 6 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	188
Tabla A. 7 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	189
Tabla A. 8 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	190
Tabla A. 9 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	191
Tabla A. 10 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	192
Tabla A. 11 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	193
Tabla A. 12 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	194
Tabla A. 13 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	195
Tabla A. 14 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	196
Tabla A. 15 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	197
Tabla A. 16 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	198
Tabla A. 17 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	199
Tabla A. 18 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	200
Tabla A. 19 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	201
Tabla A. 20 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	202
Tabla A. 21 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	203
Tabla A. 22 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	204
Tabla A. 23 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	205
Tabla A. 24 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	206
Tabla A. 25 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	207
Tabla A. 26 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	208
Tabla A. 27 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	209
Tabla A. 28 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	210
Tabla A. 29 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	211
Tabla A. 30 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	212
Tabla A. 31 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	213
Tabla A. 32 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	214
Tabla A. 33 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	215
Tabla A. 34 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	216
Tabla A. 35 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	217
Tabla A. 36 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	218
Tabla A. 37 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	219
Tabla A. 38 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	220
Tabla A. 39 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	221
Tabla A. 40 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	222
Tabla A. 41 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	223
Tabla A. 42 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	224
Tabla A. 43 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	225
Tabla A. 44 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	226
Tabla A. 45 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	227
Tabla A. 46 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	228

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Apéndice A. Diagramas de dispersión y curvas de ajuste

Tabla A. 47 $Sa(T)$ – Δ , dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	229
Tabla A. 48 $Sa(T)$ – Δ , dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	230
Tabla A. 49 $Sa(T)$ – Δ , dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	231
Tabla A. 50 $Sa(T)$ – Δ , dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	232
Tabla A. 51 $Sa(T)$ – Δ , dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	233
Tabla A. 52 $Sa(T)$ – Δ , dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	234
Tabla A. 53 $Sa(T)$ – Δ , dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	235
Tabla A. 54 $Sa(T)$ – Δ , dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	236
Tabla A. 55 $Sa(T)$ – Δ , dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	237
Tabla A. 56 $Sa(T)$ – Δ , dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	238
Tabla A. 57 $Sa(T)$ – Δ , dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	239
Tabla A. 58 $Sa(T)$ – Δ , dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	240
Tabla A. 59 $Sa(T)$ – Δ , dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	241
Tabla A. 60 $Sa(T)$ – Δ , dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	242
Tabla A. 61 $Sa(T)$ – Δ , dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	243
Tabla A. 62 $Sa(T)$ – Δ , dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	244
Tabla A. 63 $Sa(T)$ – Δ , dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	245
Tabla A. 64 $Sa(T)$ – Δ , dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	246
Tabla A. 65 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	247
Tabla A. 66 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	248
Tabla A. 67 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	249
Tabla A. 68 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	250
Tabla A. 69 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	251
Tabla A. 70 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	252
Tabla A. 71 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	253
Tabla A. 72 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	254
Tabla A. 73 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	255
Tabla A. 74 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	256
Tabla A. 75 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	257
Tabla A. 76 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	258
Tabla A. 77 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	259
Tabla A. 78 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	260
Tabla A. 79 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	261
Tabla A. 80 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	262
Tabla A. 81 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	263
Tabla A. 82 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	264
Tabla A. 83 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	265
Tabla A. 84 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	266
Tabla A. 85 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	267
Tabla A. 86 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	268
Tabla A. 87 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	269
Tabla A. 88 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	270
Tabla A. 89 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	271
Tabla A. 90 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	272
Tabla A. 91 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	273
Tabla A. 92 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	274
Tabla A. 93 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	275
Tabla A. 94 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	276
Tabla A. 95 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	277
Tabla A. 96 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	278
Tabla A. 97 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	279
Tabla A. 98 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	280

Tabla A. 99 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	281
Tabla A. 100 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	282
Tabla A. 101 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	283
Tabla A. 102 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	284
Tabla A. 103 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	285
Tabla A. 104 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	286
Tabla A. 105 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	287
Tabla A. 106 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	288
Tabla A. 107 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	289
Tabla A. 108 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	290
Tabla A. 109 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	291
Tabla A. 110 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	292
Tabla A. 111 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	293
Tabla A. 112 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	294
Tabla A. 113 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	295
Tabla A. 114 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	296
Tabla A. 115 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	297
Tabla A. 116 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	298
Tabla A. 117 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	299
Tabla A. 118 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	300
Tabla A. 119 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	301
Tabla A. 120 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	302
Tabla A. 121 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	303
Tabla A. 122 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	304
Tabla A. 123 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	305
Tabla A. 124 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	306
Tabla A. 125 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	307
Tabla A. 126 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	308
Tabla A. 127 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	309
Tabla A. 128 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	310

LISTA DE FIGURAS (Apéndice A)

Figura A. 1 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	183
Figura A. 2 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	183
Figura A. 3 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	184
Figura A. 4 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	184
Figura A. 5 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	185
Figura A. 6 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	185
Figura A. 7 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	186
Figura A. 8 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	186
Figura A. 9 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	187
Figura A. 10 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	187
Figura A. 11 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	188
Figura A. 12 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	188
Figura A. 13 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	189
Figura A. 14 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	189
Figura A. 15 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	190
Figura A. 16 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	190
Figura A. 17 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	191
Figura A. 18 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	191
Figura A. 19 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	192
Figura A. 20 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	192
Figura A. 21 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	193
Figura A. 22 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	193
Figura A. 23 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	194
Figura A. 24 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	194
Figura A. 25 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	195
Figura A. 26 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	195
Figura A. 27 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	196
Figura A. 28 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	196
Figura A. 29 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	197
Figura A. 30 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	197

Figura A. 31 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	198
Figura A. 32 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	198
Figura A. 33 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	199
Figura A. 34 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	199
Figura A. 35 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	200
Figura A. 36 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	200
Figura A. 37 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	201
Figura A. 38 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	201
Figura A. 39 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	202
Figura A. 40 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	202
Figura A. 41 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	203
Figura A. 42 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	203
Figura A. 43 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	204
Figura A. 44 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	204
Figura A. 45 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	205
Figura A. 46 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	205
Figura A. 47 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	206
Figura A. 48 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	206
Figura A. 49 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	207
Figura A. 50 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	207
Figura A. 51 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	208
Figura A. 52 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	208
Figura A. 53 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	209
Figura A. 54 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	209
Figura A. 55 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	210
Figura A. 56 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	210
Figura A. 57 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	211
Figura A. 58 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	211
Figura A. 59 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	212
Figura A. 60 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	212
Figura A. 61 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	213
Figura A. 62 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	213

Figura A. 63 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	214
Figura A. 64 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	214
Figura A. 65 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	215
Figura A. 66 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	215
Figura A. 67 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	216
Figura A. 68 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	216
Figura A. 69 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	217
Figura A. 70 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	217
Figura A. 71 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	218
Figura A. 72 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	218
Figura A. 73 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	219
Figura A. 74 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	219
Figura A. 75 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	220
Figura A. 76 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	220
Figura A. 77 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	221
Figura A. 78 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	221
Figura A. 79 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	222
Figura A. 80 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	222
Figura A. 81 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	223
Figura A. 82 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	223
Figura A. 83 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	224
Figura A. 84 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	224
Figura A. 85 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	225
Figura A. 86 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	225
Figura A. 87 $SaT - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	226
Figura A. 88 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	226
Figura A. 89 $SaT - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	227
Figura A. 90 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	227
Figura A. 91 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	228
Figura A. 92 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	228
Figura A. 93 $SaT - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	229
Figura A. 94 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	229
Figura A. 95 $SaT - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	230
Figura A. 96 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	230

Figura A. 97 $SaT - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	231
Figura A. 98 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0	231
Figura A. 99 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	232
Figura A. 100 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0	232
Figura A. 101 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	233
Figura A. 102 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1	233
Figura A. 103 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	234
Figura A. 104 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1	234
Figura A. 105 $SaT - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	235
Figura A. 106 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2	235
Figura A. 107 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	236
Figura A. 108 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2	236
Figura A. 109 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	237
Figura A. 110 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3	237
Figura A. 111 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	238
Figura A. 112 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3	238
Figura A. 113 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	239
Figura A. 114 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0	239
Figura A. 115 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	240
Figura A. 116 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0	240
Figura A. 117 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	241
Figura A. 118 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1	241
Figura A. 119 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	242
Figura A. 120 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1	242
Figura A. 121 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	243
Figura A. 122 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2	243
Figura A. 123 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	244
Figura A. 124 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2	244
Figura A. 125 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	245
Figura A. 126 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3	245
Figura A. 127 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	246
Figura A. 128 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3	246
Figura A. 129 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	247
Figura A. 130 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	247

Figura A. 131 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	248
Figura A. 132 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0	248
Figura A. 133 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	249
Figura A. 134 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	249
Figura A. 135 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	250
Figura A. 136 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1	250
Figura A. 137 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	251
Figura A. 138 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	251
Figura A. 139 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	252
Figura A. 140 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2	252
Figura A. 141 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	253
Figura A. 142 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	253
Figura A. 143 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	254
Figura A. 144 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3	254
Figura A. 145 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	255
Figura A. 146 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	255
Figura A. 147 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	256
Figura A. 148 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0	256
Figura A. 149 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	257
Figura A. 150 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	257
Figura A. 151 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	258
Figura A. 152 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1	258
Figura A. 153 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	259
Figura A. 154 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	259
Figura A. 155 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	260
Figura A. 156 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2	260
Figura A. 157 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	261
Figura A. 158 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	261
Figura A. 159 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	262
Figura A. 160 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3	262
Figura A. 161 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	263
Figura A. 162 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	263
Figura A. 163 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	264
Figura A. 164 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0	264

Figura A. 165 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	265
Figura A. 166 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	265
Figura A. 167 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	266
Figura A. 168 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	266
Figura A. 169 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	267
Figura A. 170 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	267
Figura A. 171 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	268
Figura A. 172 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	268
Figura A. 173 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	269
Figura A. 174 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	269
Figura A. 175 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	270
Figura A. 176 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	270
Figura A. 177 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	271
Figura A. 178 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	271
Figura A. 179 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	272
Figura A. 180 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	272
Figura A. 181 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	273
Figura A. 182 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	273
Figura A. 183 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	274
Figura A. 184 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	274
Figura A. 185 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	275
Figura A. 186 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	275
Figura A. 187 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	276
Figura A. 188 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	276
Figura A. 189 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	277
Figura A. 190 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	277
Figura A. 191 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	278
Figura A. 192 $Sa(T)$ – <i>ID local</i> , dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	278
Figura A. 193 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	279
Figura A. 194 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	279
Figura A. 195 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	280
Figura A. 196 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0.....	280
Figura A. 197 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	281
Figura A. 198 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	281

Figura A. 199 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	282
Figura A. 200 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1.....	282
Figura A. 201 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	283
Figura A. 202 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	283
Figura A. 203 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	284
Figura A. 204 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2.....	284
Figura A. 205 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	285
Figura A. 206 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	285
Figura A. 207 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	286
Figura A. 208 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3.....	286
Figura A. 209 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	287
Figura A. 210 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	287
Figura A. 211 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	288
Figura A. 212 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0.....	288
Figura A. 213 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	289
Figura A. 214 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	289
Figura A. 215 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	290
Figura A. 216 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1.....	290
Figura A. 217 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	291
Figura A. 218 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	291
Figura A. 219 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	292
Figura A. 220 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2.....	292
Figura A. 221 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	293
Figura A. 222 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	293
Figura A. 223 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	294
Figura A. 224 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3.....	294
Figura A. 225 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	295
Figura A. 226 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	295
Figura A. 227 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	296
Figura A. 228 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0.....	296
Figura A. 229 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	297
Figura A. 230 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	297
Figura A. 231 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	298
Figura A. 232 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1.....	298

Figura A. 233 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	299
Figura A. 234 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2	299
Figura A. 235 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	300
Figura A. 236 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2.....	300
Figura A. 237 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	301
Figura A. 238 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3	301
Figura A. 239 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	302
Figura A. 240 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3.....	302
Figura A. 241 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	303
Figura A. 242 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0	303
Figura A. 243 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	304
Figura A. 244 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0.....	304
Figura A. 245 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	305
Figura A. 246 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1	305
Figura A. 247 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	306
Figura A. 248 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1.....	306
Figura A. 249 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	307
Figura A. 250 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2	307
Figura A. 251 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	308
Figura A. 252 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2.....	308
Figura A. 253 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	309
Figura A. 254 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3	309
Figura A. 255 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal.....	310
Figura A. 256 $Sa(T)$ – <i>ID global</i> , dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3.....	310

A.1. RELACIÓN $Sa(T) - \theta_p$

A.1.1. MODELOS CON PILAS $h = 5\text{ m}$

A.1.1.1. Grupo P05-0

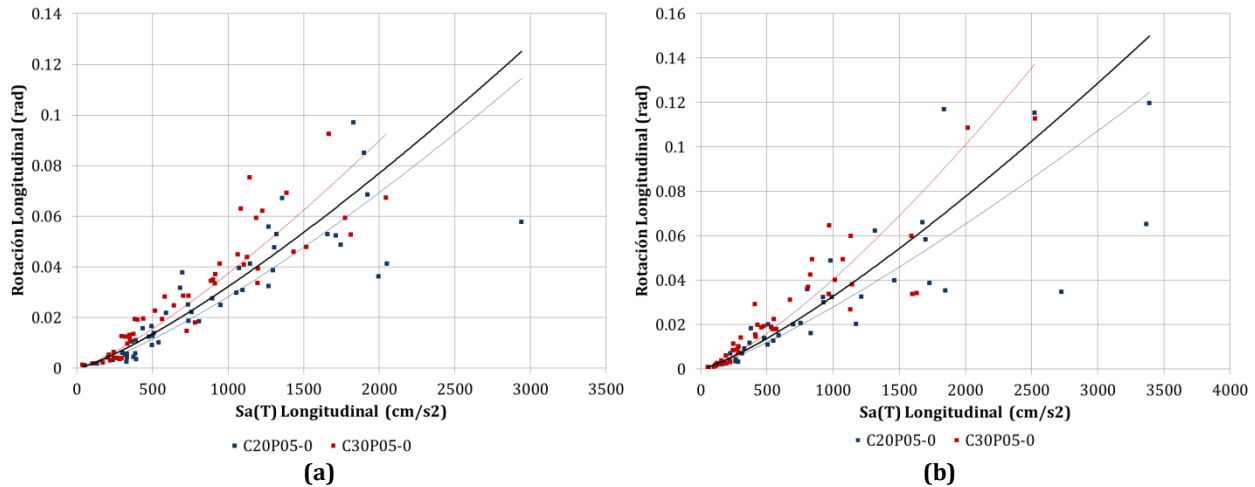


Figura A. 1 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

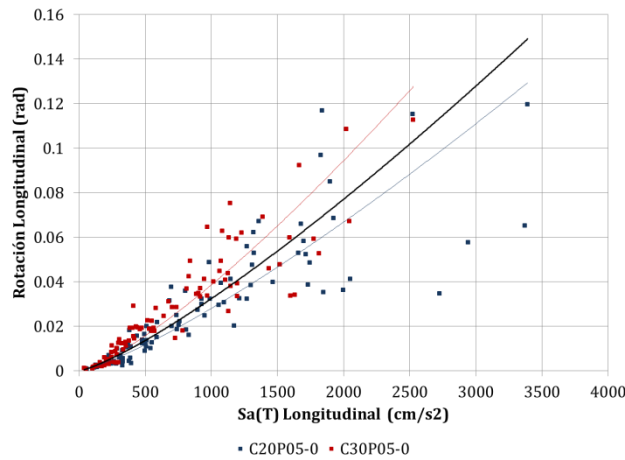


Figura A. 2 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

Tabla A. 1 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

						Curva de ajuste: Potencial									
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)
	C20P05-0	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	3.59E-06	1.2985	0.1688	0.9363	2941.69	0.1145	0.1251	9.34%	0.1249	9.10%
		FN				6.02E-06	1.2225	0.1711	0.9525	3391.46	0.1246	0.1500	20.35%	0.1491	19.67%
		S y FN				4.95E-06	1.2512	0.1687	0.9456	3391.46	0.1295			0.1491	15.20%
	C30P05-0	S				5.95E-06	1.2658	0.1594	0.9452	2045.33	0.0924	0.0792	14.27%	0.0793	14.17%
		FN				4.44E-06	1.3200	0.1679	0.9532	2527.59	0.1376	0.1040	24.40%	0.1033	24.91%
		S y FN				5.20E-06	1.2902	0.1622	0.9500	2527.59	0.1277			0.1033	19.12%
P05-0	S	(1)	5.42E-06	1.2579	0.1747	0.9312									
	FN	(2)	6.04E-06	1.2450	0.1809	0.9448									
	S y FN	(3)	5.82E-06	1.2487	0.1768	0.9395									

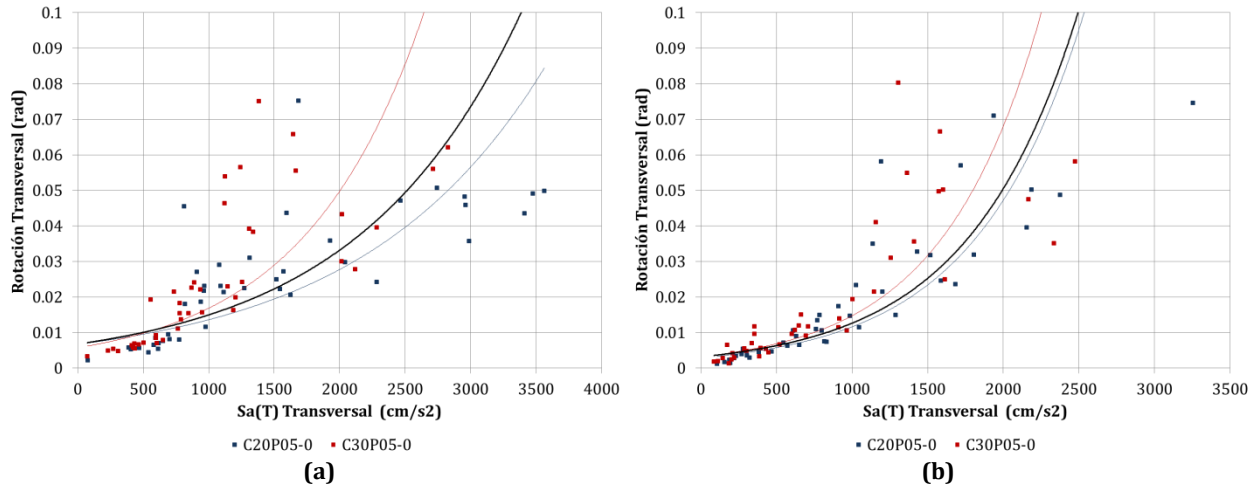


Figura A. 3 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

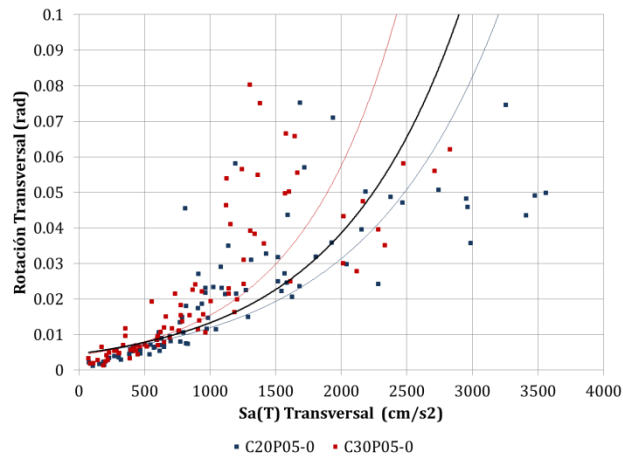


Figura A. 4 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

Tabla A. 2 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

		Curva de ajuste: Exponencial																						
Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)										
															β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
															(cm/s ²)	(rad)	(rad)	(%)	(rad)	(%)	(rad)	(%)		
Transversal	C20P05-0	S	Sa(T)	θ_p	Original	6.68E-03	7.12E-04	0.5440	0.7828	3562.56	0.0844	0.1151	36.37%	0.2030	140.41%									
		FN				2.85E-03	1.40E-03	0.5232	0.8888	3254.34	0.2746	0.2867	4.40%	0.1463	46.74%									
		S y FN				4.53E-03	9.67E-04	0.5973	0.8147	3562.56	0.1422			0.2030	42.76%									
	C30P05-0	S				5.71E-03	1.08E-03	0.5113	0.8150	2829.62	0.1223	0.0643	47.45%	0.0931	23.83%									
		FN				3.19E-03	1.53E-03	0.5430	0.8756	2476.18	0.1411	0.0976	30.78%	0.0640	54.65%									
		S y FN				4.15E-03	1.31E-03	0.5466	0.8441	2829.62	0.1711			0.0931	45.57%									
P05-0	S	(1)	6.76E-03	7.96E-04	0.5567	0.7672																		
	FN	(2)	3.17E-03	1.38E-03	0.5666	0.8605																		
	S y FN	(3)	4.60E-03	1.06E-03	0.5983	0.8093																		

A.1.1.2. Grupo P05-1

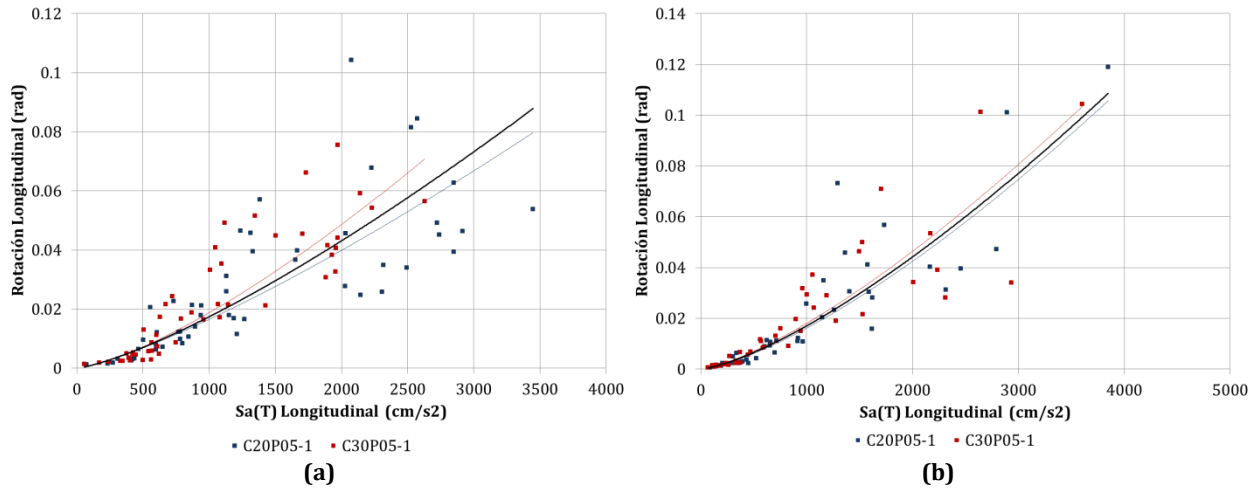


Figura A. 5 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

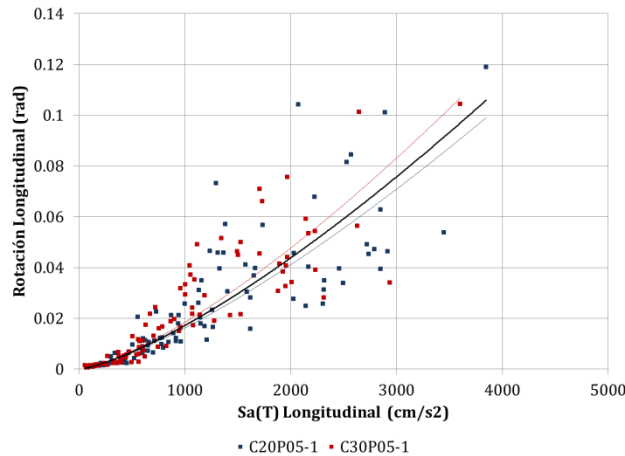


Figura A. 6 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

Tabla A. 3 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial									
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)
Original	C20P05-1	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	2.52E-06	1.2722	0.2016	0.9086	3447.04	0.0797	0.0878	10.19%	0.0913	14.58%
		FN				1.07E-06	1.3936	0.1772	0.9561	3846.40	0.1056	0.1086	2.76%	0.1059	0.24%
		S y FN				1.50E-06	1.3443	0.1904	0.9387	3846.40	0.0990			0.1059	6.96%
	C30P05-1	S				1.42E-06	1.3741	0.2140	0.9070	2629.97	0.0709	0.0617	12.97%	0.0634	10.52%
		FN				1.48E-06	1.3622	0.1711	0.9603	3602.99	0.1035	0.0992	4.08%	0.0970	6.28%
		S y FN				1.43E-06	1.3700	0.1927	0.9393	3602.99	0.1068			0.0970	9.20%
P05-1	S	(1)	2.09E-06	1.3072	0.2079	0.9066									
	FN	(2)	1.29E-06	1.3736	0.1744	0.9571									
	S y FN	(3)	1.54E-06	1.3492	0.1925	0.9379									

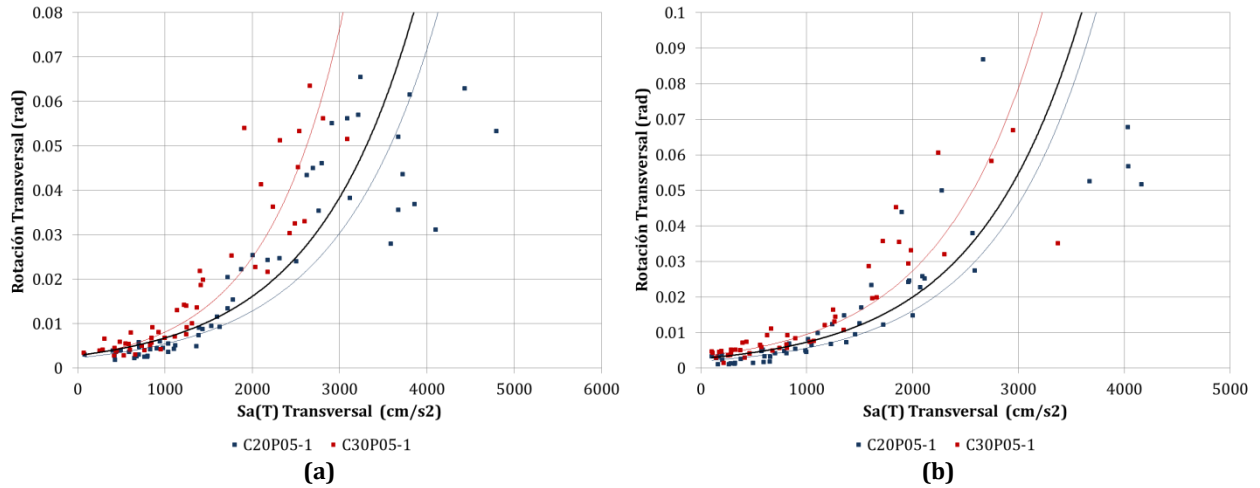


Figura A. 7 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

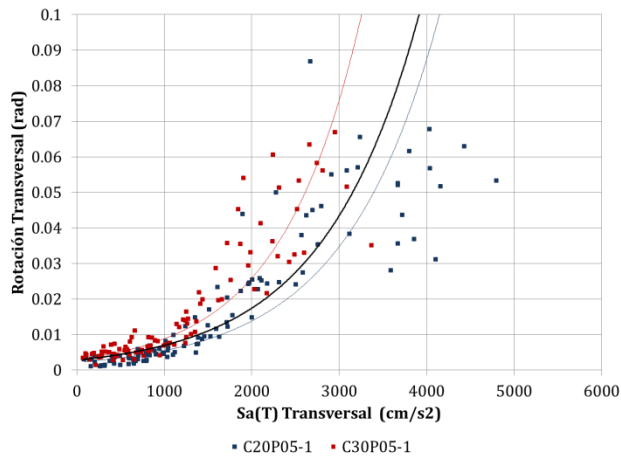


Figura A. 8 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

Tabla A. 4 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

		Curva de ajuste: Exponencial																						
Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)										
															β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
															(cm/s ²)	(rad)	(rad)	(%)	(rad)	(%)	(rad)	(%)		
Transversal	C20P05-1	S	Sa(T)	θ_p	Original	2.31E-03	8.60E-04	0.4448	0.9241	4797.25	0.1425	0.1823	27.92%	0.2245	57.54%									
		FN				1.96E-03	1.05E-03	0.5450	0.8988	4161.78	0.1571	0.1769	12.63%	0.1256	20.03%									
		S y FN				2.18E-03	9.23E-04	0.5075	0.9072	4797.25	0.1824			0.2245	23.03%									
	C30P05-1	S				2.65E-03	1.12E-03	0.3353	0.9398	3090.06	0.0847	0.0416	50.91%	0.0472	44.26%									
		FN				3.29E-03	1.06E-03	0.3687	0.9217	3372.79	0.1171	0.0798	31.80%	0.0611	47.81%									
		S y FN				3.00E-03	1.08E-03	0.3566	0.9282	3372.79	0.1135			0.0611	46.18%									
P05-1	S	(1)	2.86E-03	8.66E-04	0.4826	0.8927																		
	FN	(2)	2.66E-03	1.01E-03	0.5325	0.8763																		
	S y FN	(3)	2.80E-03	9.14E-04	0.5134	0.8821																		

A.1.1.3. Grupo P05-2

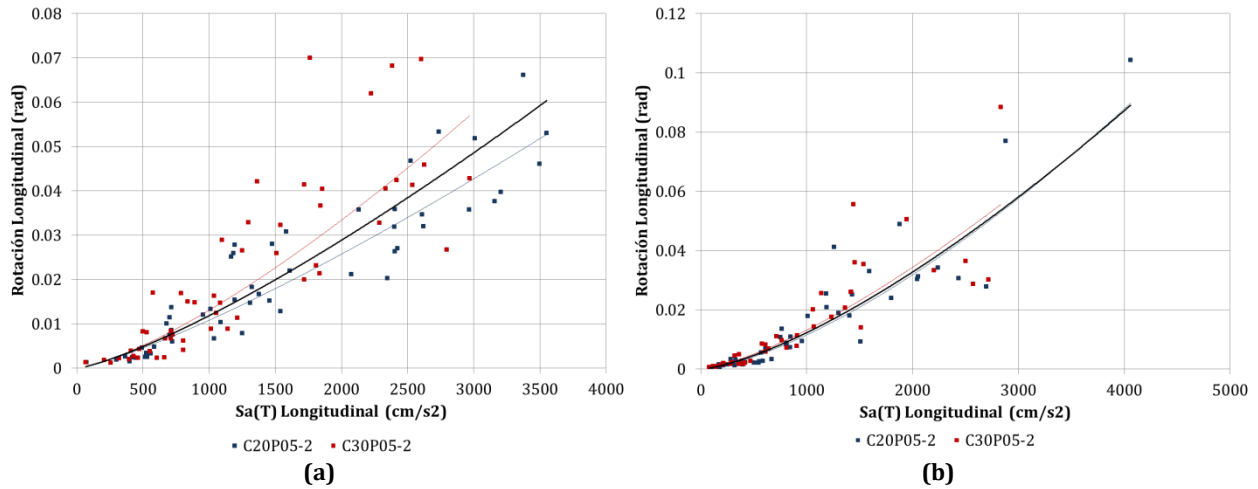


Figura A. 9 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

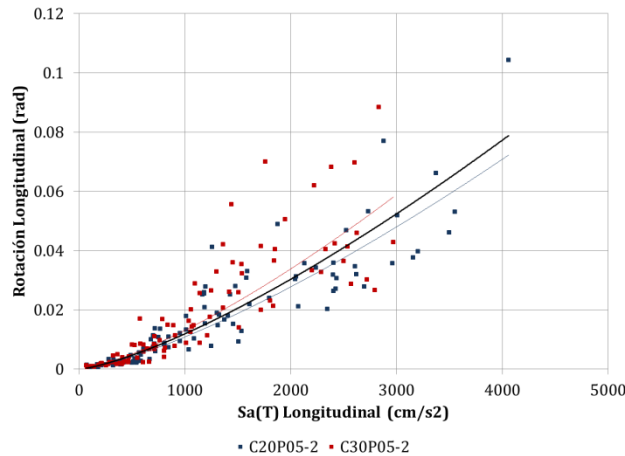


Figura A. 10 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

Tabla A. 5 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial									
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (g)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i)
Original	C20P05-2	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.92E-06	1.2502	0.1739	0.9286	3550.63	0.0528	0.0604	14.41%	0.0658	24.75%
		FN				4.63E-07	1.4654	0.1897	0.9480	4057.79	0.0897	0.0891	0.76%	0.0788	12.17%
		S y FN				9.56E-07	1.3519	0.1839	0.9402	4057.79	0.0722		0.0788	9.11%	
	C30P05-2	S				1.15E-06	1.3518	0.2242	0.8965	2970.10	0.0570	0.0480	15.86%	0.0517	9.31%
		FN				9.53E-07	1.3805	0.1774	0.9547	2834.52	0.0556	0.0537	3.52%	0.0486	12.65%
		S y FN				1.04E-06	1.3675	0.2023	0.9319	2970.10	0.0581		0.0517	10.94%	
P05-2	S	(1)	1.67E-06	1.2840	0.2040	0.9065									
	FN	(2)	7.13E-07	1.4125	0.1860	0.9489									
	S y FN	(3)	1.07E-06	1.3492	0.1964	0.9330									

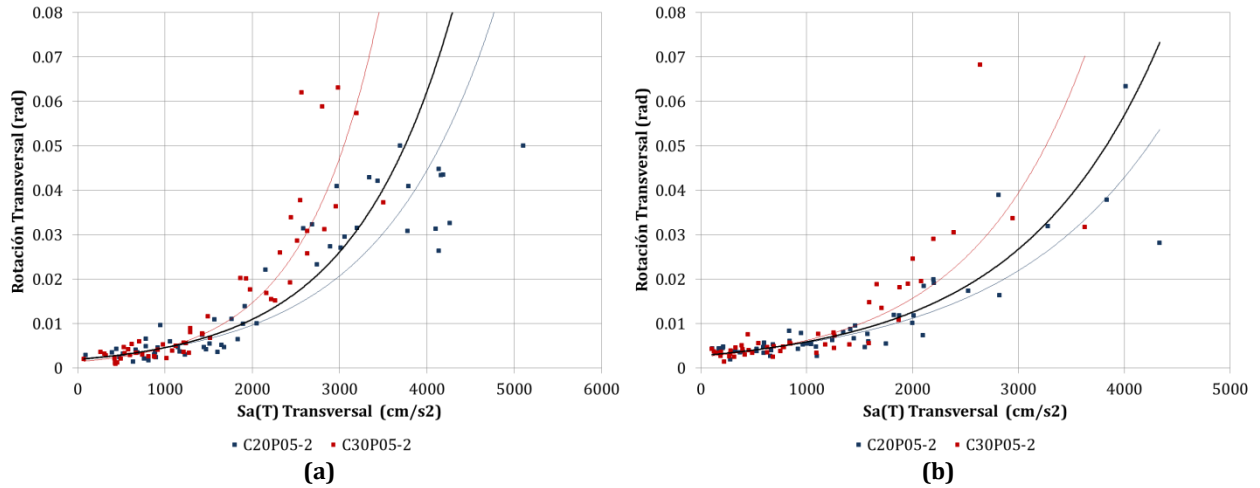


Figura A. 11 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

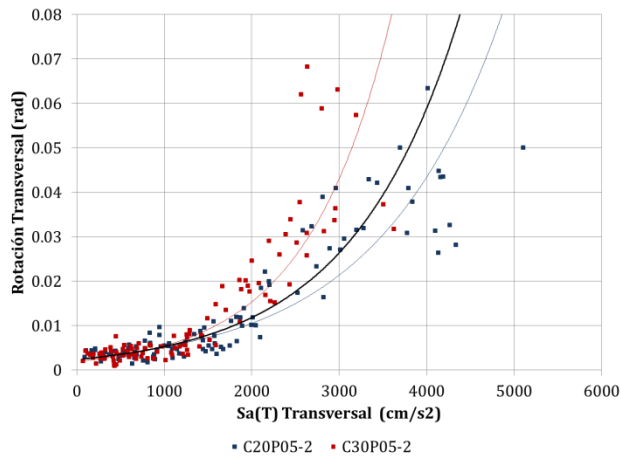


Figura A. 12 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

Tabla A. 6 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

		Curva de ajuste: Exponencial																						
Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)										
															β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
															(cm/s ²)	(rad)	(rad)	(%)	(rad)	(%)	(rad)	(%)		
Transversal	C20P05-2	S	Sa(T)	θ_p	Original	2.11E-03	7.63E-04	0.4329	0.9185	5104.21	0.1034	0.1623	57.00%	0.1431	38.41%									
		FN				2.94E-03	6.71E-04	0.3262	0.9070	4335.23	0.0538	0.0733	36.39%	0.0772	43.55%									
		S y FN				2.55E-03	7.09E-04	0.3960	0.9105	5104.21	0.0951			0.1431	50.51%									
	C30P05-2	S				1.43E-03	1.17E-03	0.4019	0.9377	3504.31	0.0853	0.0405	52.48%	0.0396	53.59%									
		FN				2.49E-03	9.20E-04	0.3807	0.8979	3627.83	0.0703	0.0430	38.83%	0.0437	37.81%									
		S y FN				1.94E-03	1.03E-03	0.4219	0.9113	3627.83	0.0824			0.0437	46.97%									
P05-2	S	(1)	1.94E-03	8.67E-04	0.4851	0.9015																		
	FN	(2)	2.79E-03	7.54E-04	0.3739	0.8879																		
	S y FN	(3)	2.37E-03	8.03E-04	0.4490	0.8911																		

A.1.1.4. Grupo P05-3

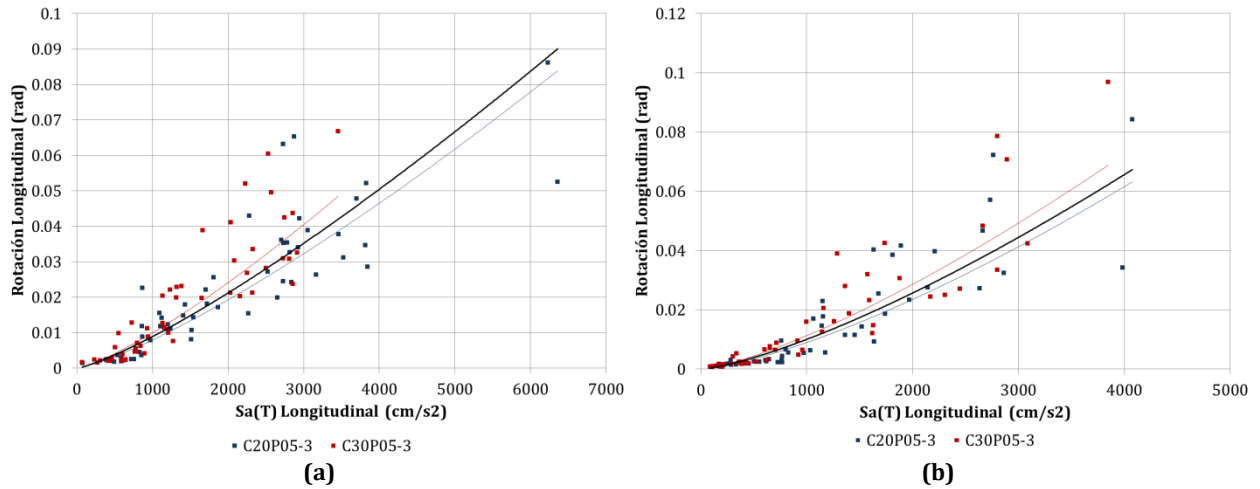


Figura A. 13 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

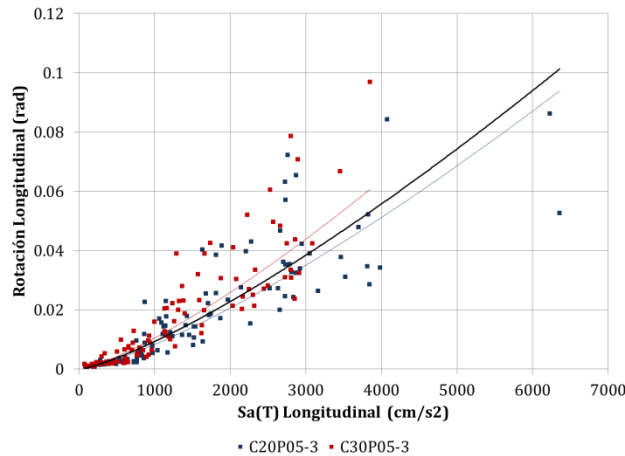


Figura A. 14 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

Tabla A. 7 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (g)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i)	
Longitudinal	C20P05-3	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.23E-06	1.2711	0.2041	0.9154	6358.59	0.0839	0.0901	7.38%	0.1014	20.80%
		FN				6.10E-07	1.3892	0.2071	0.9358	4074.80	0.0632	0.0673	6.51%	0.0571	9.67%
		S y FN				9.78E-07	1.3101	0.2066	0.9273	6358.59	0.0940			0.1014	7.85%
	C30P05-3	S				1.49E-06	1.2755	0.2071	0.9070	3457.61	0.0485	0.0421	13.27%	0.0462	4.75%
		FN				1.07E-06	1.3417	0.1873	0.9509	3848.67	0.0689	0.0623	9.49%	0.0531	22.96%
		S y FN				1.32E-06	1.3007	0.1980	0.9324	3848.67	0.0607			0.0531	12.54%
P05-3	S	(1)	1.59E-06	1.2498	0.2092	0.9068									
	FN	(2)	8.72E-07	1.3539	0.2026	0.9392									
	S y FN	(3)	1.26E-06	1.2894	0.2077	0.9253									

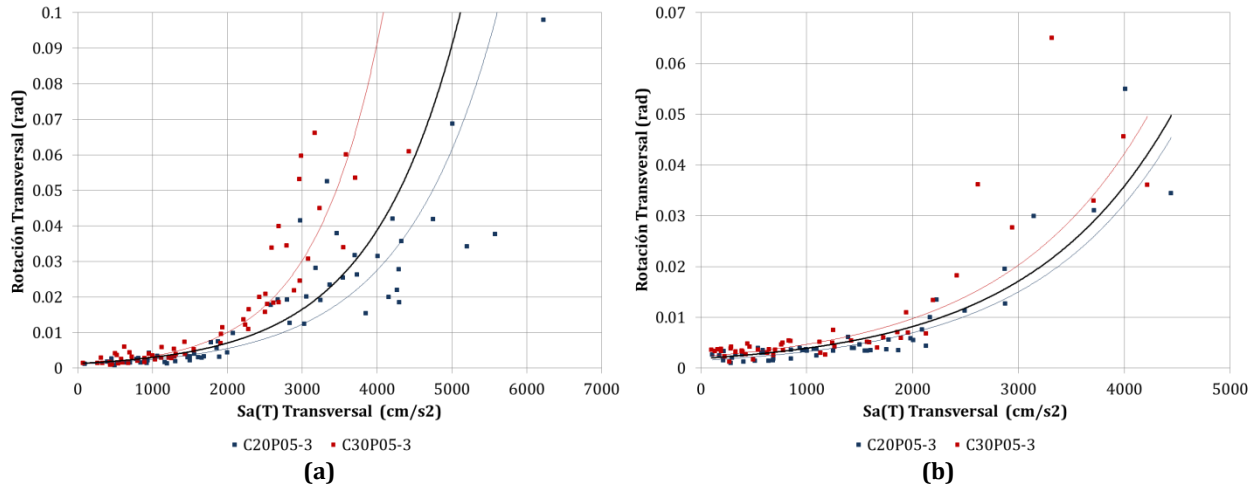


Figura A. 15 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

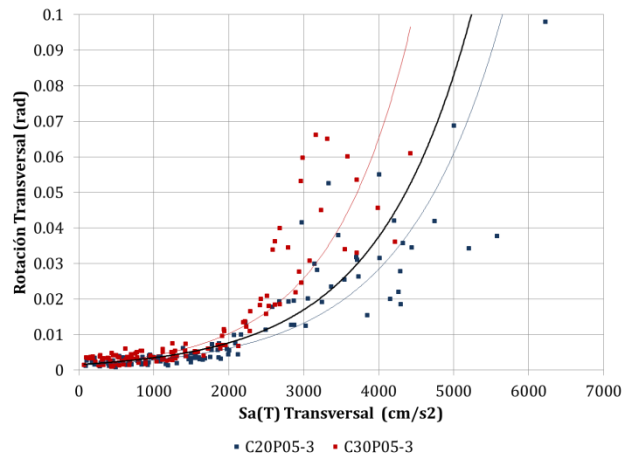


Figura A. 16 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

Tabla A. 8 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Exponencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s ²)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Transversal	C20P05-3	S	Sa(T)	θ_p	Original	1.11E-03	8.03E-04	0.4707	0.9343	6224.09	0.1643	0.2576	56.76%	0.2190	33.25%
		FN				1.51E-03	7.67E-04	0.3730	0.9063	4443.91	0.0454	0.0497	9.46%	0.0534	17.50%
		S y FN				1.34E-03	7.63E-04	0.4425	0.9253	6224.09	0.1551			0.2190	41.15%
	C30P05-3	S				1.11E-03	1.10E-03	0.3991	0.9489	4426.79	0.1462	0.0558	61.83%	0.0527	63.99%
		FN				2.25E-03	7.33E-04	0.3756	0.9006	4219.39	0.0496	0.0421	15.03%	0.0447	9.90%
		S y FN				1.62E-03	9.24E-04	0.4413	0.9160	4426.79	0.0966			0.0527	45.50%
P05-3	S	(1)	1.29E-03	8.51E-04	0.5473	0.9044									
	FN	(2)	1.87E-03	7.38E-04	0.4127	0.8816									
	S y FN	(3)	1.57E-03	7.93E-04	0.5030	0.8955									

A.1.2. MODELOS CON PILAS $h = 10\text{ m}$

A.1.2.1. Grupo P10-0

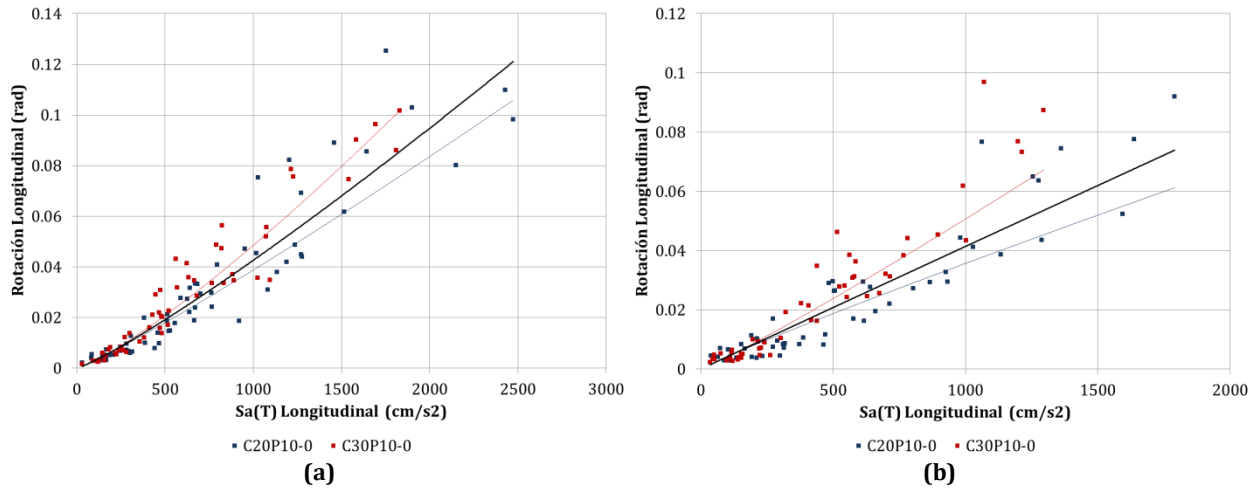


Figura A. 17 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

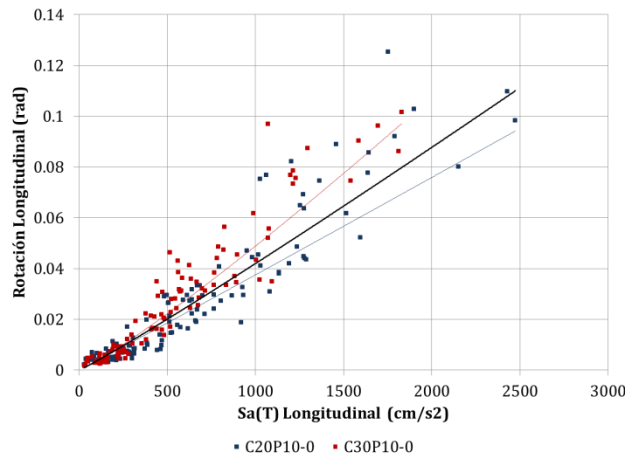


Figura A. 18 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Tabla A. 9 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Longitudinal	C20P10-0	S	Sa(T)	θ_p	Original	1.83E-05	1.1090	0.1517	0.9467	2473.95	0.1059	0.1211	14.40%	0.1100	3.94%
		FN				5.88E-05	0.9278	0.1894	0.9013	1790.91	0.0613	0.0739	20.69%	0.0780	27.35%
		S y FN				3.36E-05	1.0161	0.1730	0.9249	2473.95	0.0942			0.1100	16.79%
	C30P10-0	S				1.04E-05	1.2231	0.1213	0.9678	1829.06	0.1016	0.0855	15.83%	0.0798	21.44%
		FN				2.73E-05	1.0897	0.1672	0.9376	1295.17	0.0672	0.0536	20.27%	0.0553	17.75%
		S y FN				1.89E-05	1.1373	0.1507	0.9492	1829.06	0.0971			0.0798	17.82%
P10-0	S	(1)	1.48E-05	1.1528	0.1413	0.9544									
	FN	(2)	4.31E-05	0.9943	0.1840	0.9147									
	S y FN	(3)	2.70E-05	1.0637	0.1667	0.9337									

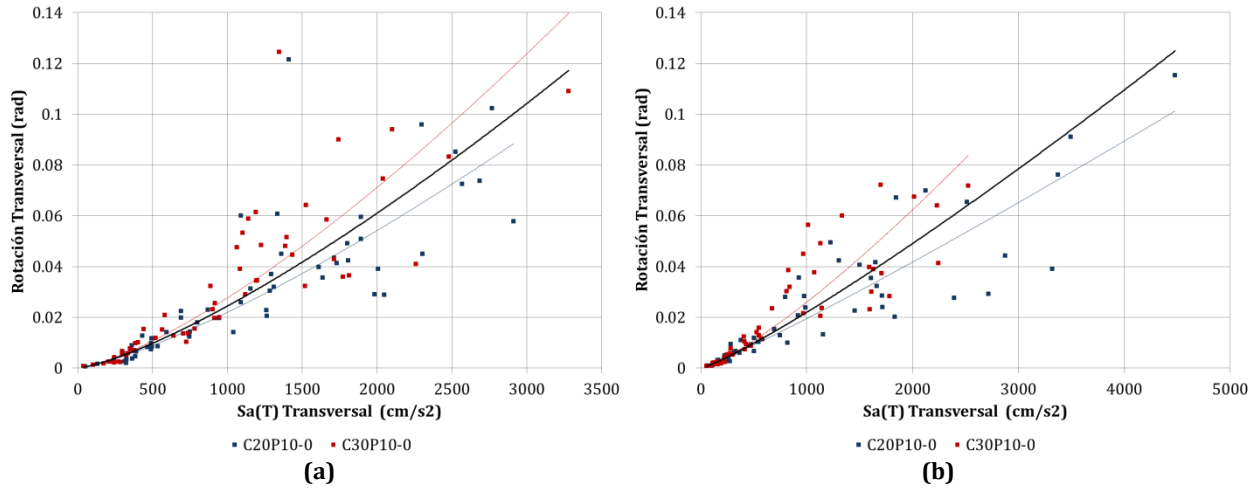


Figura A. 19 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

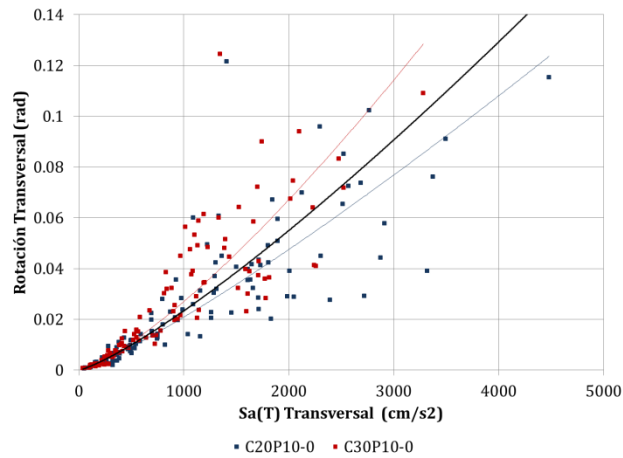


Figura A. 20 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Tabla A. 10 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s ²)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P10-0	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	2.73E-06	1.3020	0.1643	0.9453	2913.00	0.0884	0.1003	13.37%	0.0874	1.14%
		FN				9.92E-06	1.0980	0.1635	0.9524	4479.83	0.1013	0.1250	23.39%	0.1487	46.79%
		S y FN				5.80E-06	1.1854	0.1683	0.9459	4479.83	0.1236		0.1487	20.30%	
	C30P10-0	S				2.23E-06	1.3645	0.1651	0.9545	3280.97	0.1399	0.1173	16.14%	0.1012	27.62%
		FN				4.20E-06	1.2637	0.1546	0.9616	2525.14	0.0837	0.0643	23.20%	0.0733	12.45%
		S y FN				3.10E-06	1.3134	0.1601	0.9581	3280.97	0.1284		0.1012	21.17%	
P10-0	S	(1)	2.69E-06	1.3194	0.1702	0.9460									
	FN	(2)	7.33E-06	1.1590	0.1677	0.9515									
	S y FN	(3)	4.66E-06	1.2334	0.1717	0.9475									

A.1.2.2. Grupo P10-1

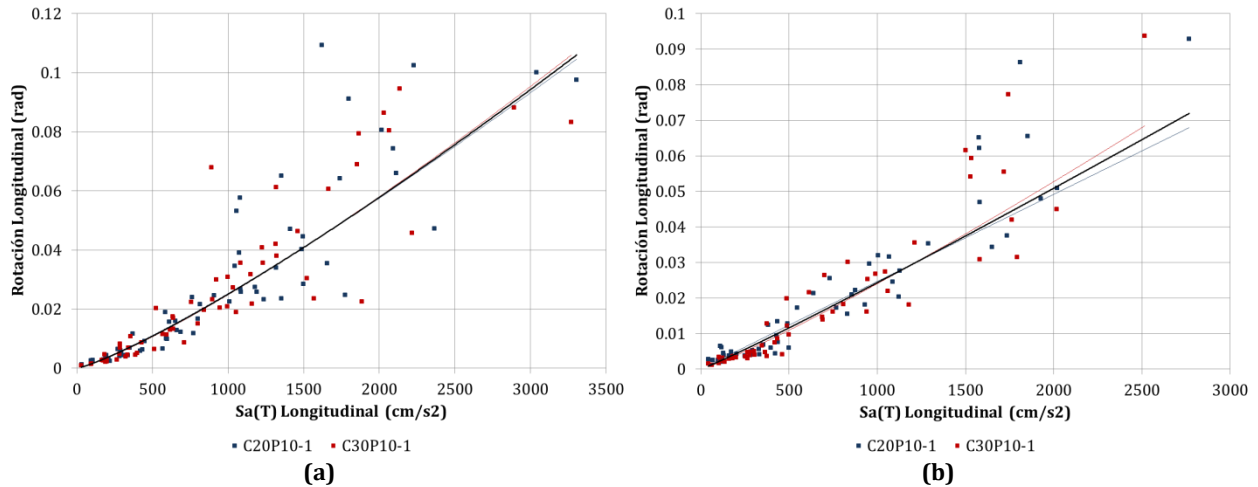


Figura A. 21 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

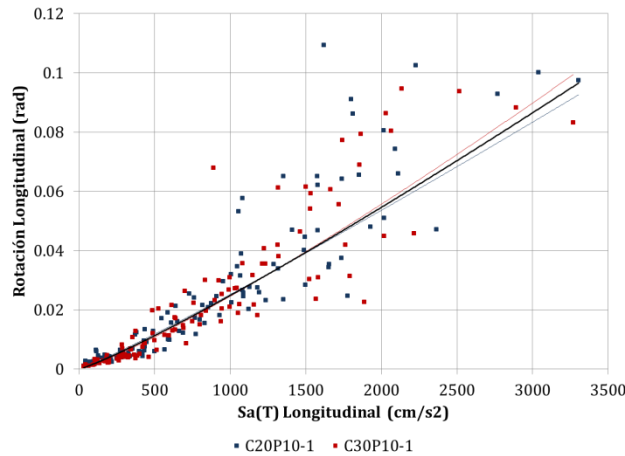


Figura A. 22 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Tabla A. 11 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:										
					Potencial				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (g)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (i)	
					(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r							
Longitudinal	C20P10-1	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	6.86E-06	1.1888	0.1638	0.9490	3304.78	0.1046	0.1060	1.34%	0.0966	7.67%
		FN				2.55E-05	0.9950	0.1738	0.9293	2767.61	0.0679	0.0719	5.91%	0.0790	16.27%
		S y FN				1.36E-05	1.0890	0.1728	0.9376	3304.78	0.0926			0.0966	4.27%
	C30P10-1	S				5.30E-06	1.2238	0.1649	0.9513	3268.58	0.1060	0.1046	1.25%	0.0954	9.96%
		FN				9.49E-06	1.1345	0.1585	0.9521	2515.65	0.0684	0.0650	5.02%	0.0709	3.59%
		S y FN				7.11E-06	1.1796	0.1617	0.9518	3268.58	0.0994			0.0954	4.04%
P10-1	S	(1)	6.01E-06	1.2067	0.1633	0.9501									
	FN	(2)	1.55E-05	1.0654	0.1698	0.9385									
	S y FN	(3)	9.80E-06	1.1349	0.1686	0.9440									

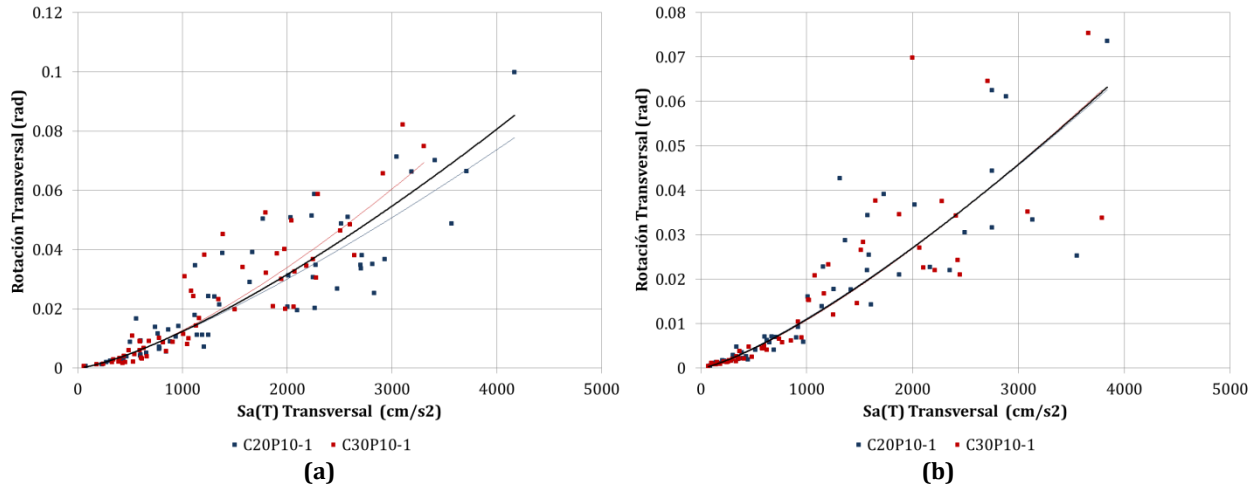


Figura A. 23 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

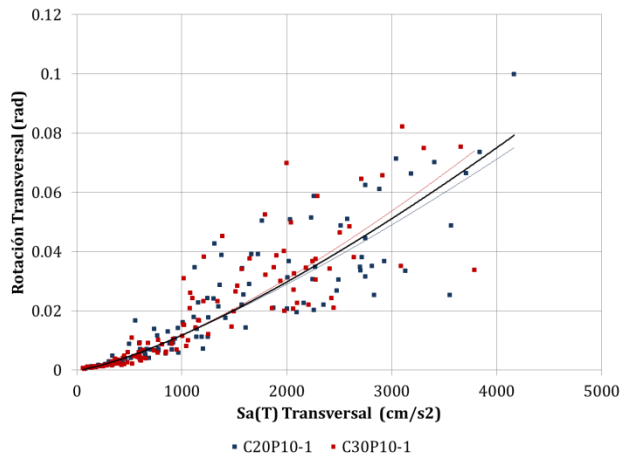


Figura A. 24 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Tabla A. 12 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Transversal	C20P10-1	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.61E-06	1.2938	0.1768	0.9340	4167.95	0.0778	0.0853	9.65%	0.0793	1.96%
		FN				1.61E-06	1.2808	0.1629	0.9599	3838.19	0.0626	0.0632	0.99%	0.0710	13.48%
		S y FN				1.51E-06	1.2979	0.1703	0.9504	4167.95	0.0751		0.0793	5.57%	
	C30P10-1	S				7.05E-07	1.4189	0.1911	0.9335	3306.30	0.0694	0.0624	10.13%	0.0582	16.14%
		FN				1.18E-06	1.3199	0.1581	0.9662	3787.84	0.0625	0.0621	0.63%	0.0698	11.62%
		S y FN				8.96E-07	1.3741	0.1790	0.9509	3787.84	0.0740		0.0698	5.66%	
P10-1	S	(1)	1.11E-06	1.3500	0.1839	0.9332									
	FN	(2)	1.36E-06	1.3019	0.1595	0.9631									
	S y FN	(3)	1.16E-06	1.3353	0.1745	0.9506									

A.1.2.3. Grupo P10-2

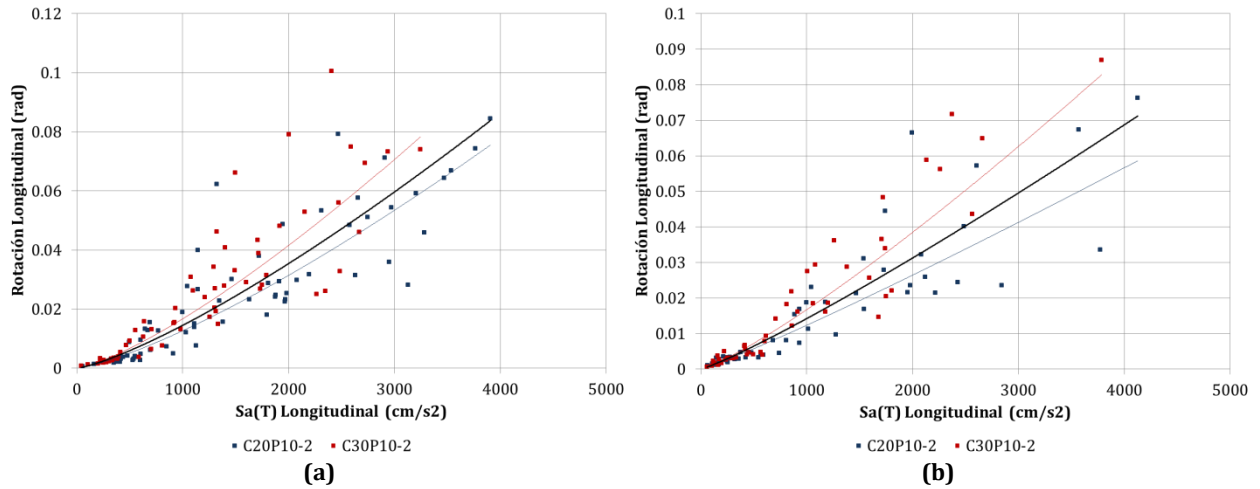


Figura A. 25 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

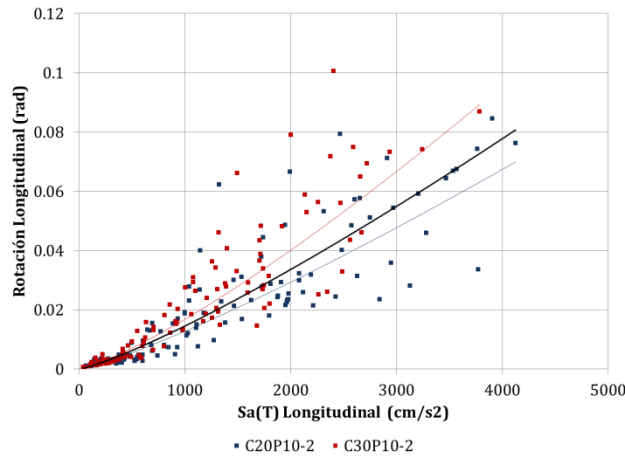


Figura A. 26 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Tabla A. 13 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Longitudinal	C20P10-2	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.49E-06	1.3099	0.1934	0.9315	3907.56	0.0756	0.0838	10.92%	0.0756	0.08%
		FN				6.21E-06	1.0994	0.1687	0.9481	4125.92	0.0586	0.0712	21.47%	0.0808	37.79%
		S y FN				3.21E-06	1.1998	0.1867	0.9378	4125.92	0.0700			0.0808	15.40%
	C30P10-2	S				1.95E-06	1.3114	0.1675	0.9530	3244.07	0.0783	0.0660	15.75%	0.0604	22.88%
		FN				4.14E-06	1.2019	0.1544	0.9609	3784.12	0.0828	0.0645	22.06%	0.0727	12.14%
		S y FN				2.92E-06	1.2537	0.1623	0.9567	3784.12	0.0893			0.0727	18.52%
P10-2	S	(1)	2.01E-06	1.2865	0.1894	0.9361									
	FN	(2)	5.54E-06	1.1366	0.1714	0.9481									
	S y FN	(3)	3.43E-06	1.2091	0.1837	0.9416									

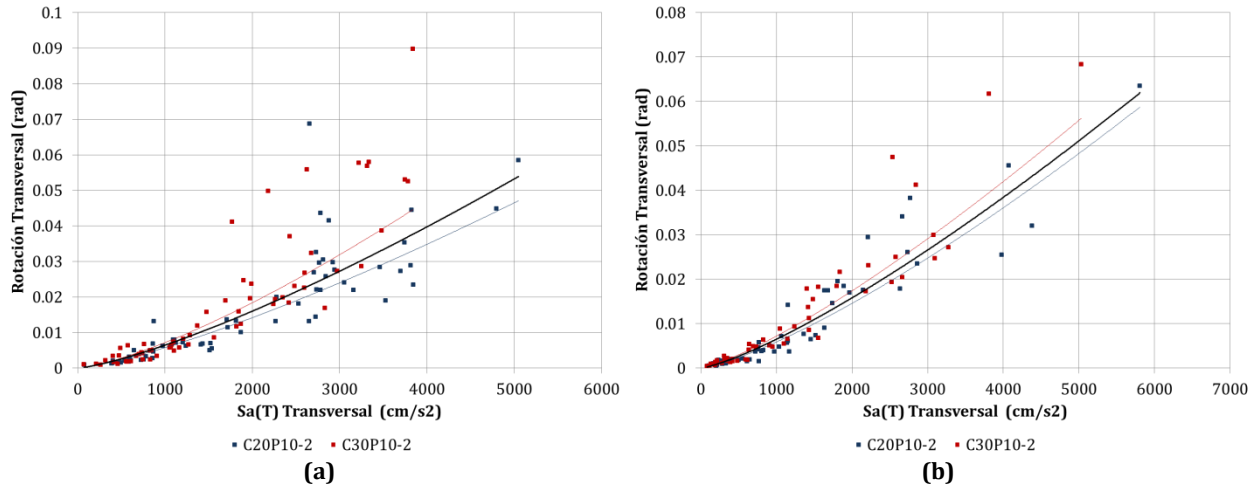


Figura A. 27 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

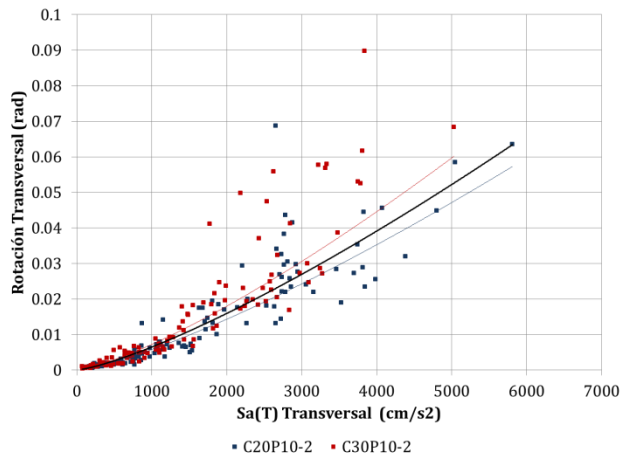


Figura A. 28 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Tabla A. 14 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Transversal	C20P10-2	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	7.50E-07	1.2956	0.1789	0.9324	5047.07	0.0471	0.0539	14.47%	0.0528	12.23%
		FN				7.01E-07	1.3080	0.1673	0.9558	5808.50	0.0588	0.0620	5.43%	0.0634	7.81%
		S y FN				7.37E-07	1.2993	0.1723	0.9477	5808.50	0.0573		0.0634	10.68%	
	C30P10-2	S				6.12E-07	1.3565	0.2012	0.9243	3840.01	0.0446	0.0377	15.50%	0.0371	16.78%
		FN				1.11E-06	1.2714	0.1502	0.9674	5031.85	0.0562	0.0516	8.27%	0.0526	6.38%
		S y FN				8.58E-07	1.3091	0.1797	0.9480	5031.85	0.0602		0.0526	12.54%	
P10-2	S	(1)	7.63E-07	1.3095	0.1962	0.9223									
	FN	(2)	9.38E-07	1.2805	0.1639	0.9586									
	S y FN	(3)	8.58E-07	1.2934	0.1818	0.9438									

A.1.2.4. Grupo P10-3

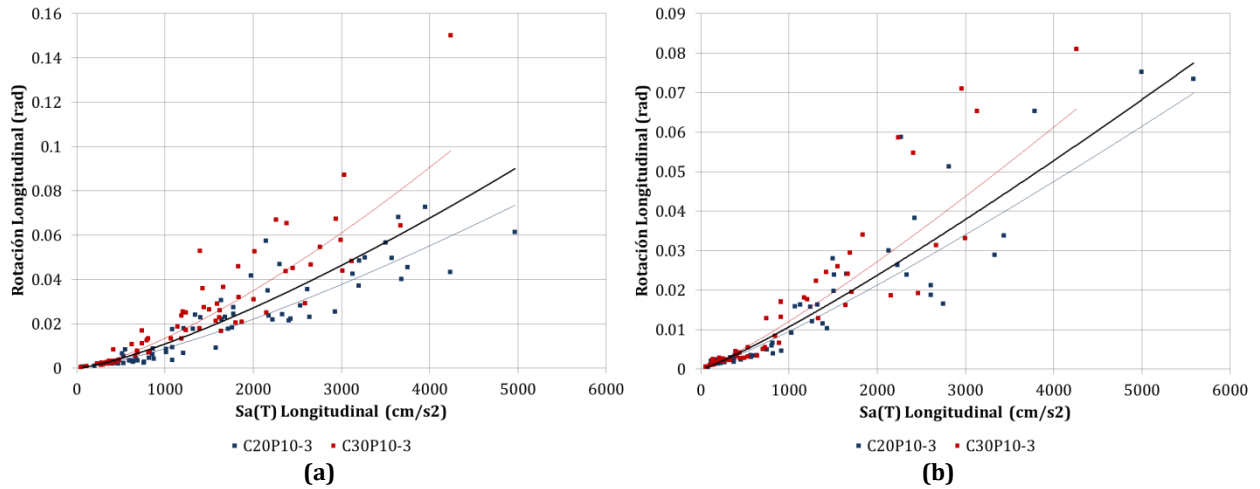


Figura A. 29 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

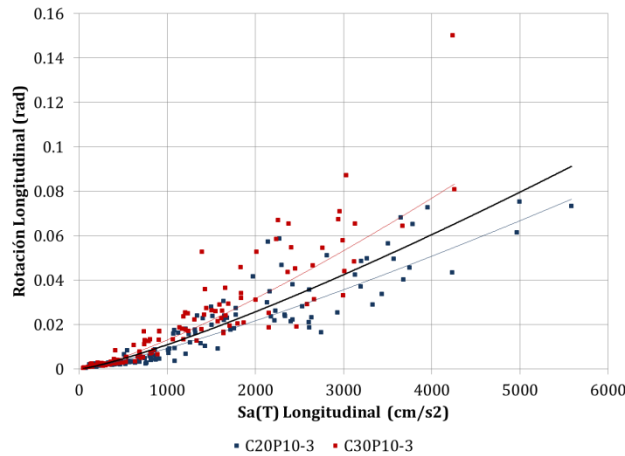


Figura A. 30 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Tabla A. 15 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:									
						Potencial				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)
						(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r						
Original	C20P10-3	S	Sa(T)	θ_p	Original	9.67E-07	1.3206	0.1844	0.9371	4967.89	0.0736	0.0901	22.44%	0.0791	7.44%
		FN				3.22E-06	1.1575	0.1671	0.9553	5582.87	0.0698	0.0775	10.94%	0.0913	30.65%
		S y FN				1.98E-06	1.2242	0.1793	0.9450	5582.87	0.0765			0.0913	19.35%
	C30P10-3	S				1.02E-06	1.3734	0.1552	0.9624	4240.22	0.0982	0.0732	25.51%	0.0651	33.75%
		FN				3.76E-06	1.1694	0.1621	0.9580	4257.10	0.0659	0.0567	13.91%	0.0654	0.76%
		S y FN				1.94E-06	1.2766	0.1634	0.9591	4257.10	0.0833			0.0654	21.54%
P10-3	S	(1)	1.25E-06	1.3146	0.1930	0.9356									
	FN	(2)	3.77E-06	1.1512	0.1709	0.9523									
	S y FN	(3)	2.25E-06	1.2300	0.1861	0.9433									

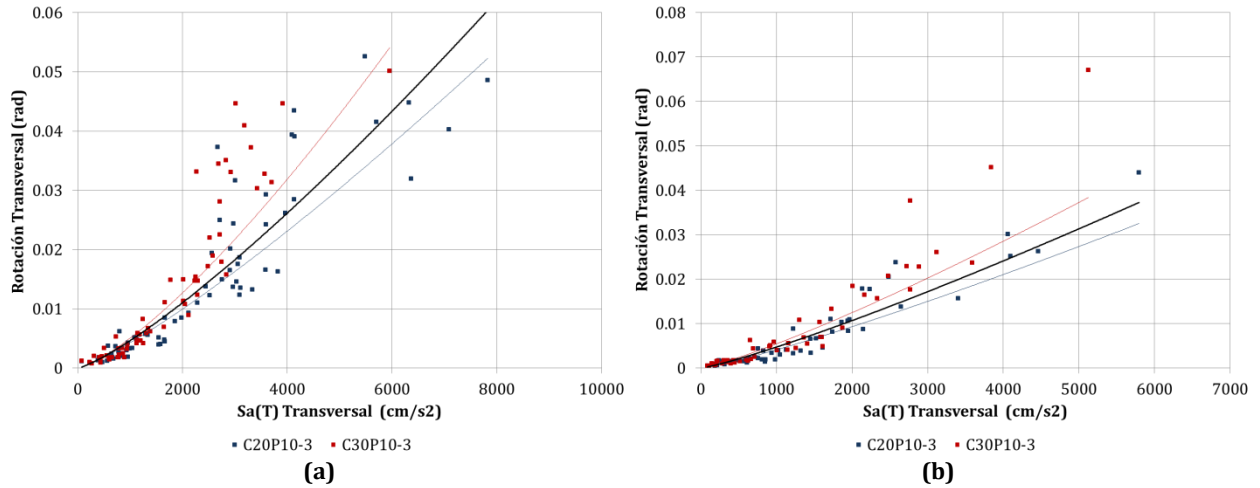


Figura A. 31 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

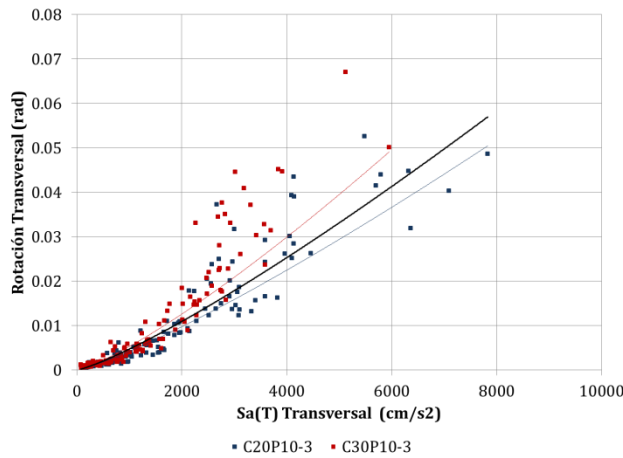


Figura A. 32 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Tabla A. 16 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Transversal	C20P10-3	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	9.73E-07	1.2149	0.1820	0.9309	7829.88	0.0523	0.0604	15.48%	0.0570	8.95%
		FN				1.24E-06	1.1741	0.1729	0.9421	5792.35	0.0325	0.0373	14.55%	0.0396	21.74%
		S y FN				1.04E-06	1.2034	0.1771	0.9419	7829.88	0.0505		0.0570	12.92%	
	C30P10-3	S				5.25E-07	1.3279	0.1980	0.9258	5952.03	0.0541	0.0429	20.57%	0.0409	24.30%
		FN				1.43E-06	1.1936	0.1632	0.9560	5124.68	0.0384	0.0323	15.95%	0.0342	11.05%
		S y FN				9.67E-07	1.2467	0.1844	0.9406	5952.03	0.0491		0.0409	16.67%	
P10-3	S	(1)	8.55E-07	1.2454	0.1949	0.9237									
	FN	(2)	1.43E-06	1.1735	0.1771	0.9428									
	S y FN	(3)	1.12E-06	1.2083	0.1871	0.9364									

A.1.3. MODELOS CON PILAS $h = 15 m$

A.1.3.1. Grupo P15-0

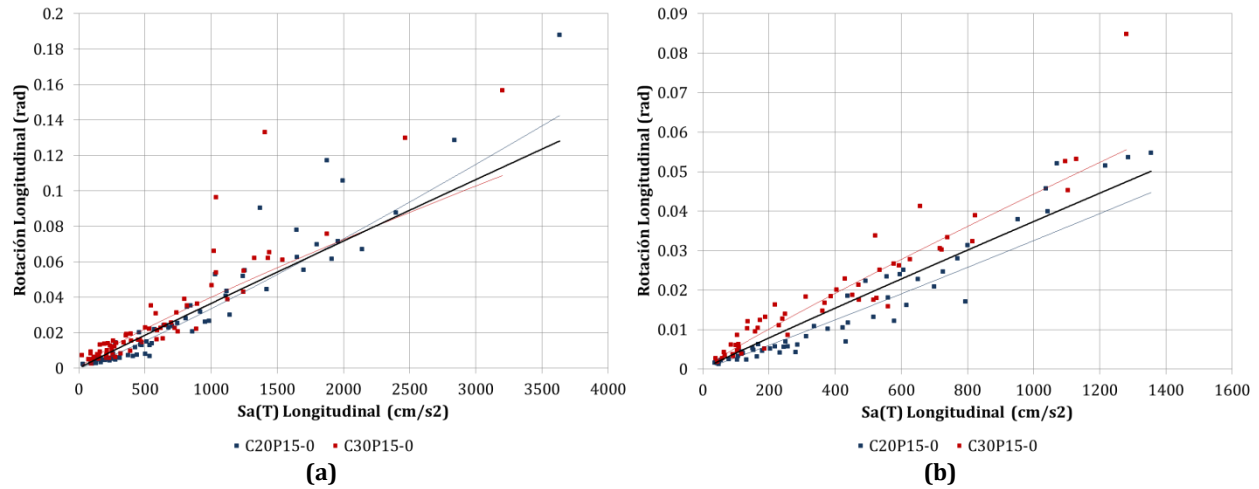


Figura A. 33 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

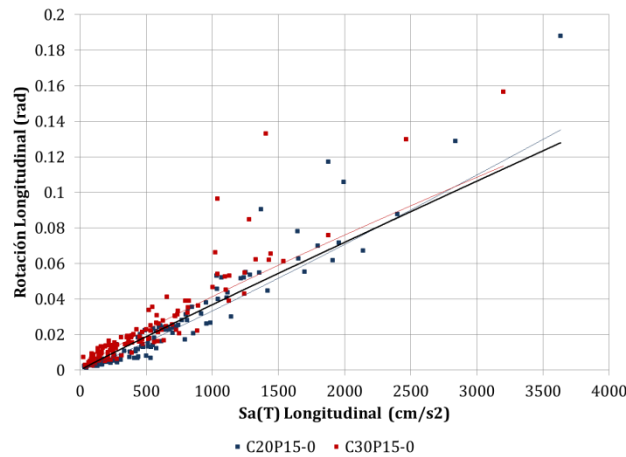


Figura A. 34 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Tabla A. 17 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i)	
C20P15-0	S	FN	Sa(T)	θ_p	Original	1.45E-05	1.1215	0.1481	0.9552	3633.16	0.1426	0.1282	10.08%	0.1280	10.24%	
						2.34E-05	1.0475	0.1296	0.9580	1354.54	0.0447	0.0501	12.01%	0.0493	10.36%	
						1.84E-05	1.0856	0.1405	0.9582	3633.16	0.1352			0.1280	5.35%	
	C30P15-0	S				FN	1.06E-04	0.8589	0.1706	0.9029	3202.66	0.1088	0.1134	4.27%	0.1133	4.17%
							7.97E-05	0.9150	0.1137	0.9562	1280.58	0.0556	0.0474	14.61%	0.0467	15.88%
							9.60E-05	0.8781	0.1479	0.9281	3202.66	0.1149			0.1133	1.42%
P15-0	S	FN	(1)	4.42E-05	0.9724	0.1864	0.9104									
			(2)	4.76E-05	0.9651	0.1614	0.9249									
			(3)	4.67E-05	0.9657	0.1754	0.9202									

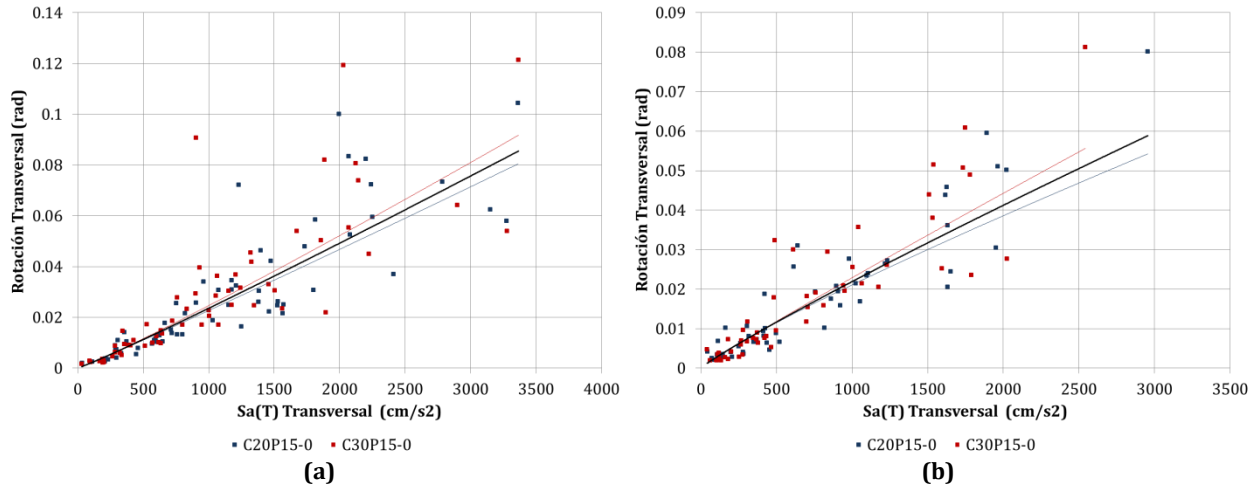


Figura A. 35 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

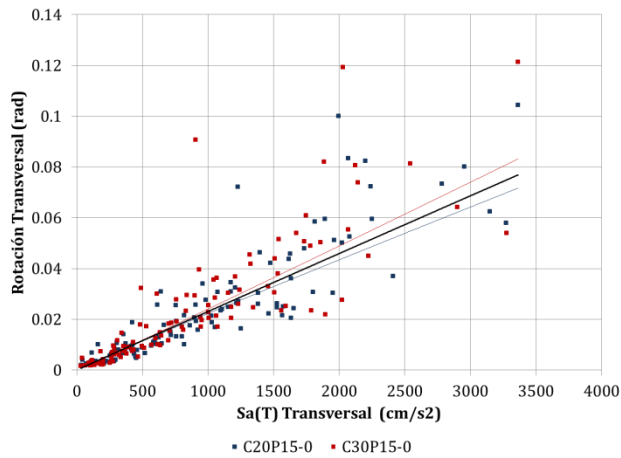


Figura A. 36 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Tabla A. 18 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Transversal	C20P15-0	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.68E-05	1.0438	0.1613	0.9395	3363.72	0.0805	0.0855	6.18%	0.0769	4.44%
		FN				5.07E-05	0.8728	0.1805	0.9056	2955.20	0.0542	0.0589	8.48%	0.0676	24.70%
		S y FN				2.86E-05	0.9639	0.1725	0.9252	3363.72	0.0717		0.0769	7.26%	
	C30P15-0	S				1.38E-05	1.0837	0.1751	0.9344	3363.87	0.0917	0.0855	6.79%	0.0769	16.12%
		FN				3.18E-05	0.9523	0.1895	0.9094	2541.15	0.0556	0.0513	7.77%	0.0582	4.74%
		S y FN				2.06E-05	1.0228	0.1822	0.9243	3363.87	0.0832		0.0769	7.56%	
P15-0	S	(1)	1.54E-05	1.0615	0.1678	0.9362									
	FN	(2)	4.04E-05	0.9116	0.1842	0.9067									
	S y FN	(3)	2.45E-05	0.9917	0.1774	0.9241									

A.1.3.2. Grupo P15-1

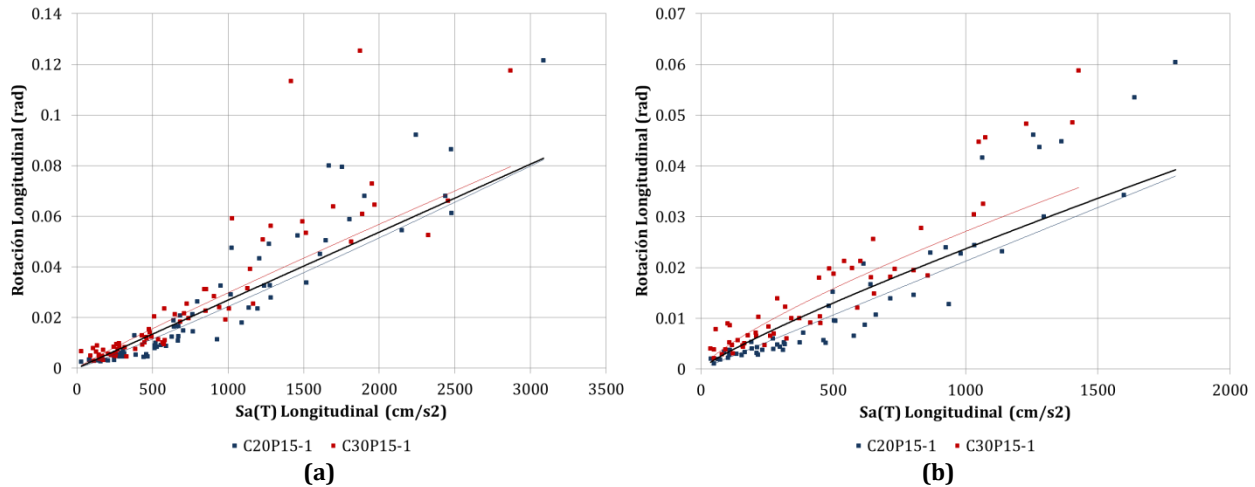


Figura A. 37 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

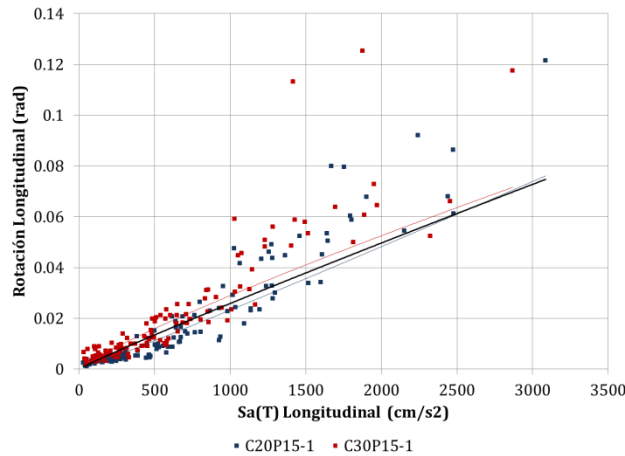


Figura A. 38 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

Tabla A. 19 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:									
						Potencial				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (g)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (i)
						(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r						
Original	C20P15-1	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.38E-05	1.0819	0.1740	0.9345	3085.23	0.0823	0.0829	0.70%	0.0747	9.22%
		FN				2.18E-05	0.9962	0.1593	0.9360	1794.05	0.0380	0.0393	3.21%	0.0448	17.90%
		S y FN				1.62E-05	1.0520	0.1680	0.9374	3085.23	0.0761			0.0747	1.82%
	C30P15-1	S				4.71E-05	0.9336	0.1843	0.9029	2868.39	0.0796	0.0771	3.20%	0.0698	12.36%
		FN				1.27E-04	0.7766	0.1572	0.8984	1427.06	0.0357	0.0322	9.83%	0.0362	1.20%
		S y FN				7.67E-05	0.8590	0.1750	0.9015	2868.39	0.0716			0.0698	2.55%
P15-1	S	(1)	2.71E-05	0.9991	0.1914	0.9084									
	FN	(2)	6.05E-05	0.8642	0.1934	0.8814									
	S y FN	(3)	3.87E-05	0.9417	0.1935	0.9009									

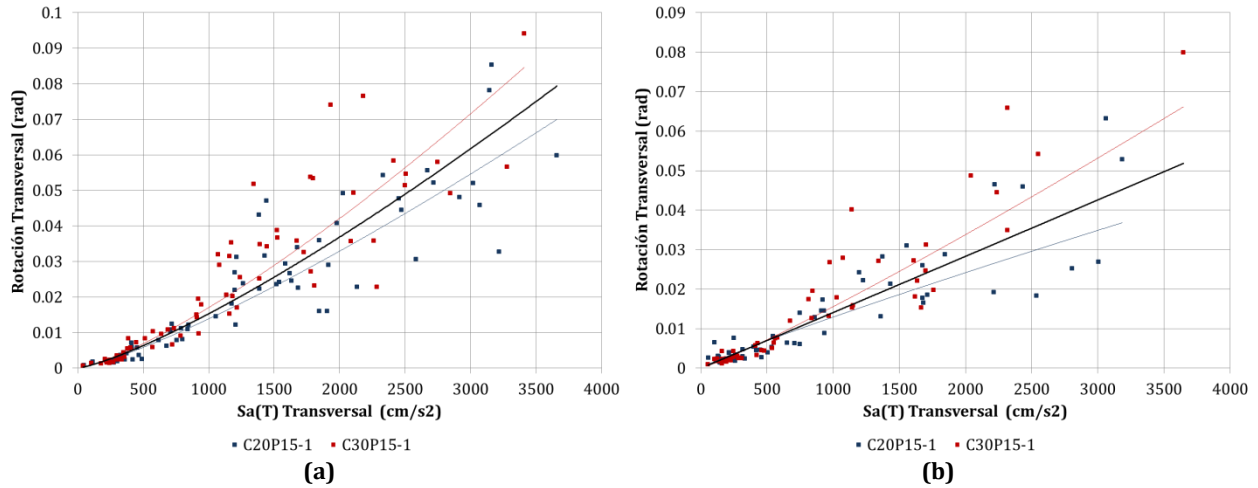


Figura A. 39 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

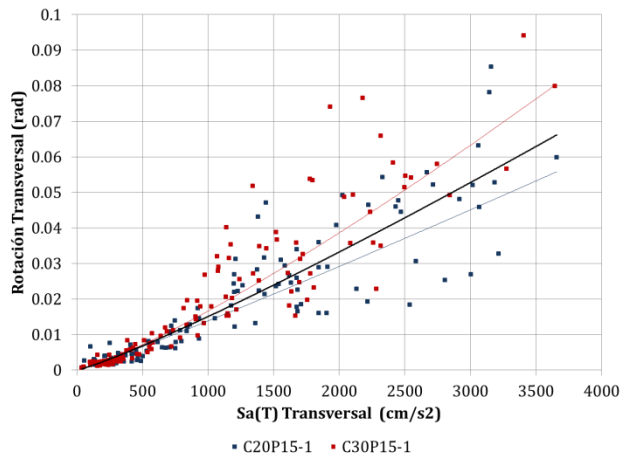


Figura A. 40 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

Tabla A. 20 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Transversal	C20P15-1	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	2.50E-06	1.2480	0.1615	0.9506	3657.41	0.0699	0.0793	13.43%	0.0662	5.41%
		FN				2.51E-05	0.9037	0.1985	0.9002	3184.25	0.0368	0.0452	22.84%	0.0565	53.45%
		S y FN				8.24E-06	1.0751	0.1910	0.9235	3657.41	0.0558		0.0662	18.55%	
	C30P15-1	S				2.05E-06	1.3067	0.1532	0.9607	3408.30	0.0846	0.0725	14.21%	0.0610	27.81%
		FN				6.87E-06	1.1184	0.1582	0.9529	3645.57	0.0661	0.0518	21.64%	0.0659	0.33%
		S y FN				3.70E-06	1.2173	0.1591	0.9562	3645.57	0.0802		0.0659	17.82%	
P15-1	S	(1)	2.39E-06	1.2689	0.1626	0.9522									
	FN	(2)	1.34E-05	1.0076	0.1846	0.9248									
	S y FN	(3)	5.69E-06	1.1410	0.1803	0.9377									

A.1.3.3. Grupo P15-2

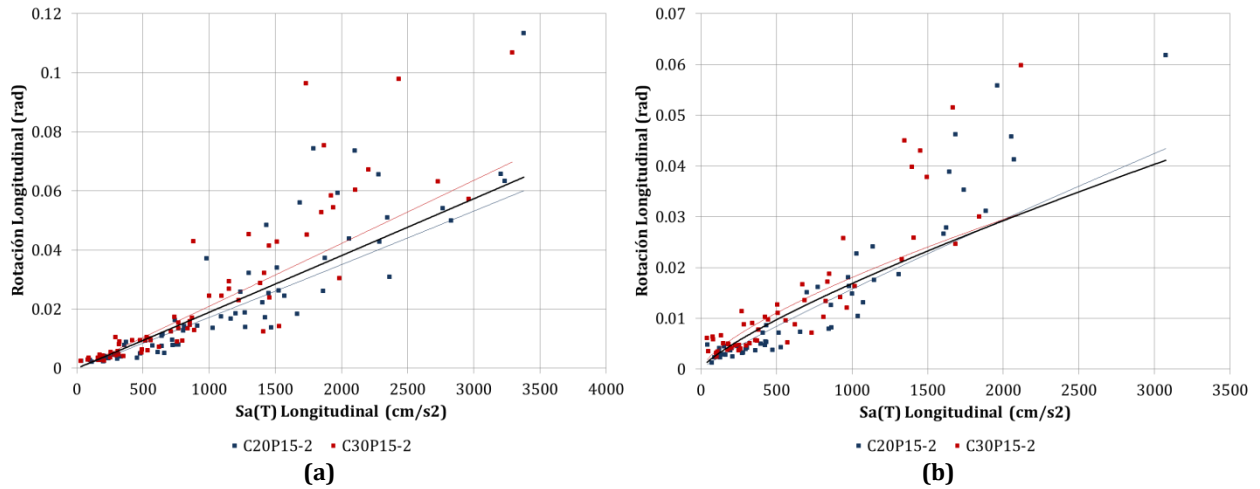


Figura A. 41 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

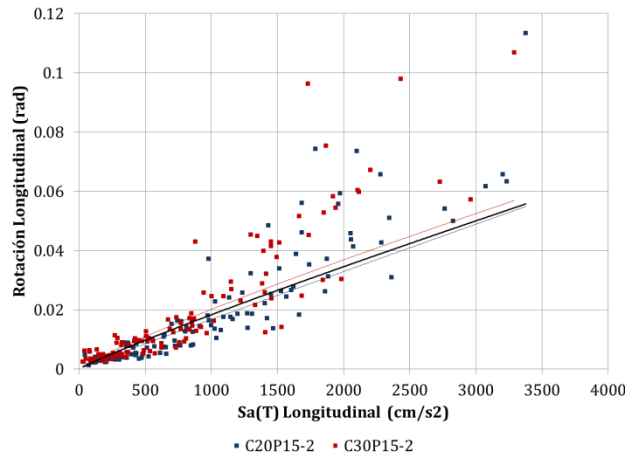


Figura A. 42 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Tabla A. 21 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:									
						Potencial				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (g)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (i)
						(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r						
Original	C20P15-2	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.42E-05	1.0281	0.1817	0.9230	3376.26	0.0601	0.0646	7.62%	0.0558	7.15%
		FN				3.06E-05	0.9036	0.1819	0.9100	3073.68	0.0434	0.0411	5.28%	0.0512	17.86%
		S y FN				2.00E-05	0.9747	0.1823	0.9196	3376.26	0.0549			0.0558	1.60%
	C30P15-2	S				1.96E-05	1.0099	0.1845	0.9188	3291.18	0.0698	0.0630	9.78%	0.0545	21.97%
		FN				1.36E-04	0.7077	0.1896	0.8506	2118.11	0.0307	0.0306	0.28%	0.0364	18.74%
		S y FN				4.91E-05	0.8711	0.1961	0.8880	3291.18	0.0569			0.0545	4.32%
P15-2	S	(1)	1.78E-05	1.0090	0.1872	0.9159									
	FN	(2)	6.98E-05	0.7943	0.1989	0.8668									
	S y FN	(3)	3.37E-05	0.9124	0.1969	0.8963									

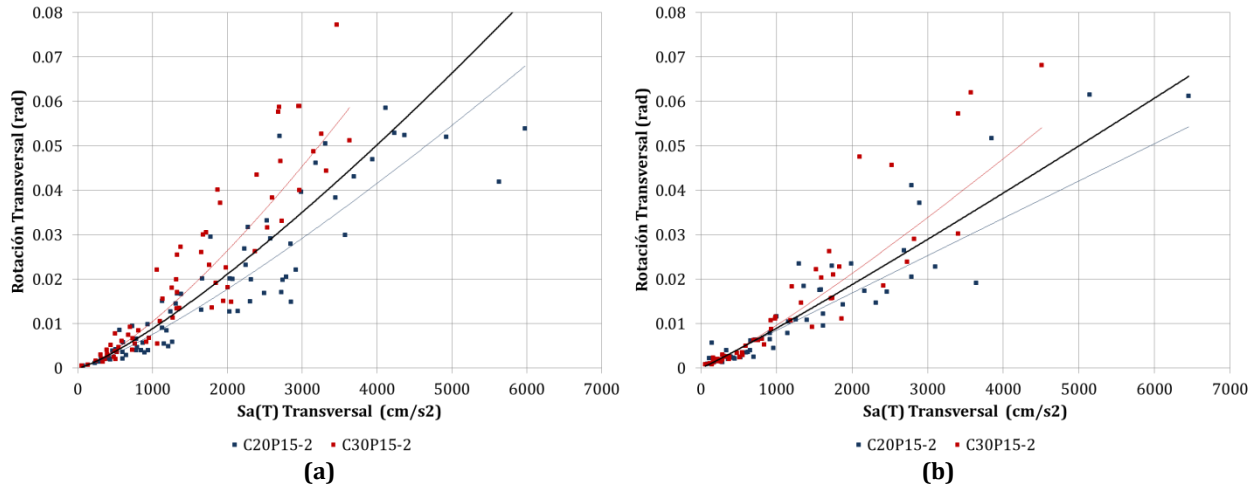


Figura A. 43 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

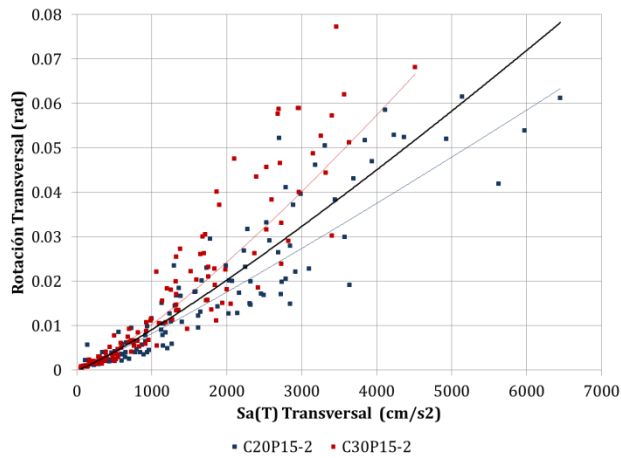


Figura A. 44 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Tabla A. 22 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Transversal	C20P15-2	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.61E-06	1.2246	0.1598	0.9462	5976.22	0.0680	0.0830	22.03%	0.0716	5.38%
		FN				8.71E-06	0.9961	0.1843	0.9271	6450.42	0.0543	0.0657	20.93%	0.0782	44.09%
		S y FN				4.25E-06	1.0954	0.1766	0.9351	6450.42	0.0634		0.0782	23.47%	
	C30P15-2	S				1.05E-06	1.3339	0.1582	0.9560	3630.72	0.0586	0.0445	24.02%	0.0403	31.23%
		FN				3.53E-06	1.1454	0.1472	0.9638	4510.49	0.0541	0.0448	17.17%	0.0518	4.30%
		S y FN				1.95E-06	1.2409	0.1578	0.9583	4510.49	0.0666		0.0518	22.31%	
P15-2	S	(1)	1.61E-06	1.2479	0.1754	0.9397									
	FN	(2)	5.61E-06	1.0679	0.1698	0.9448									
	S y FN	(3)	3.15E-06	1.1537	0.1764	0.9416									

A.1.3.4. Grupo P15-3

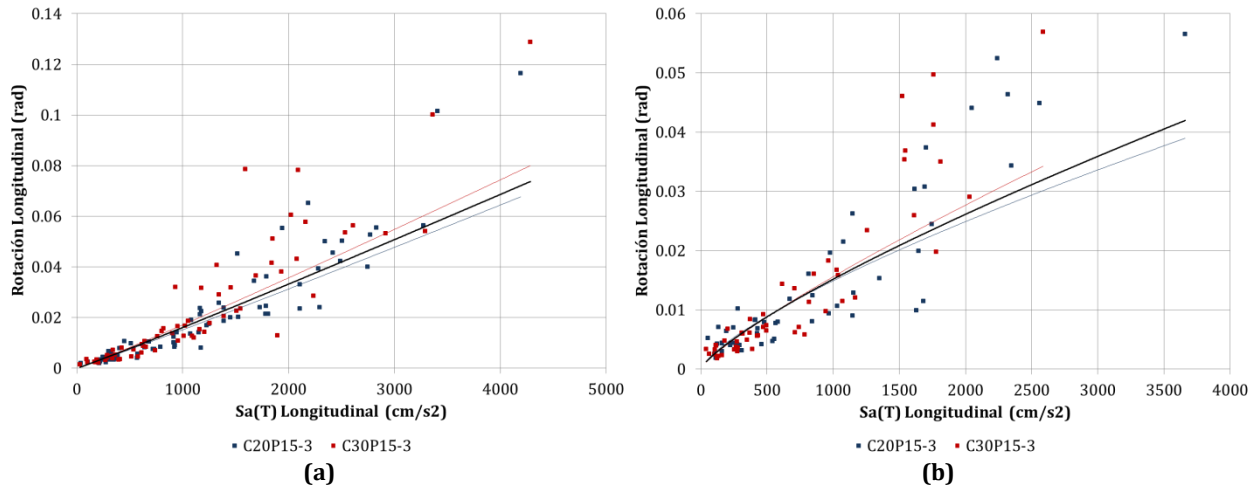


Figura A. 45 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

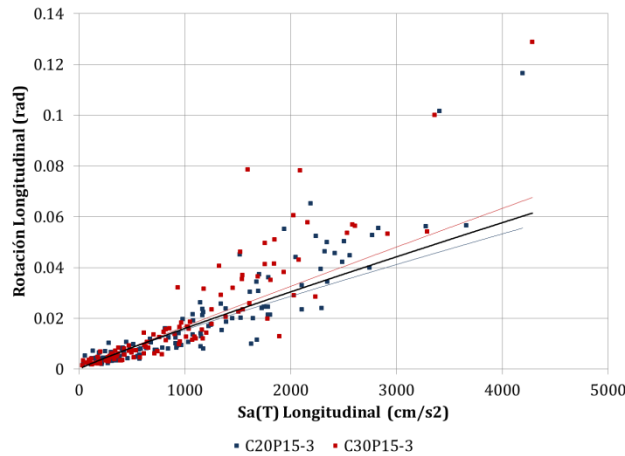


Figura A. 46 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

Tabla A. 23 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:										
					Potencial				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
					(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r							
Longitudinal	C20P15-3	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.13E-05	1.0431	0.1605	0.9372	4194.46	0.0677	0.0721	6.50%	0.0603	10.98%
		FN				8.91E-05	0.7410	0.1886	0.8677	3658.80	0.0390	0.0420	7.74%	0.0531	36.43%
		S y FN				3.22E-05	0.8935	0.1842	0.9030	4194.46	0.0556			0.0603	8.46%
	C30P15-3	S				1.13E-05	1.0600	0.1800	0.9315	4284.26	0.0800	0.0737	7.84%	0.0615	23.17%
		FN				5.14E-05	0.8274	0.1788	0.8960	2585.33	0.0342	0.0320	6.63%	0.0386	12.66%
		S y FN				2.28E-05	0.9562	0.1850	0.9159	4284.26	0.0676			0.0615	9.08%
P15-3	S	(1)	1.17E-05	1.0465	0.1712	0.9327									
	FN	(2)	6.76E-05	0.7839	0.1830	0.8824									
	S y FN	(3)	2.74E-05	0.9228	0.1848	0.9092									

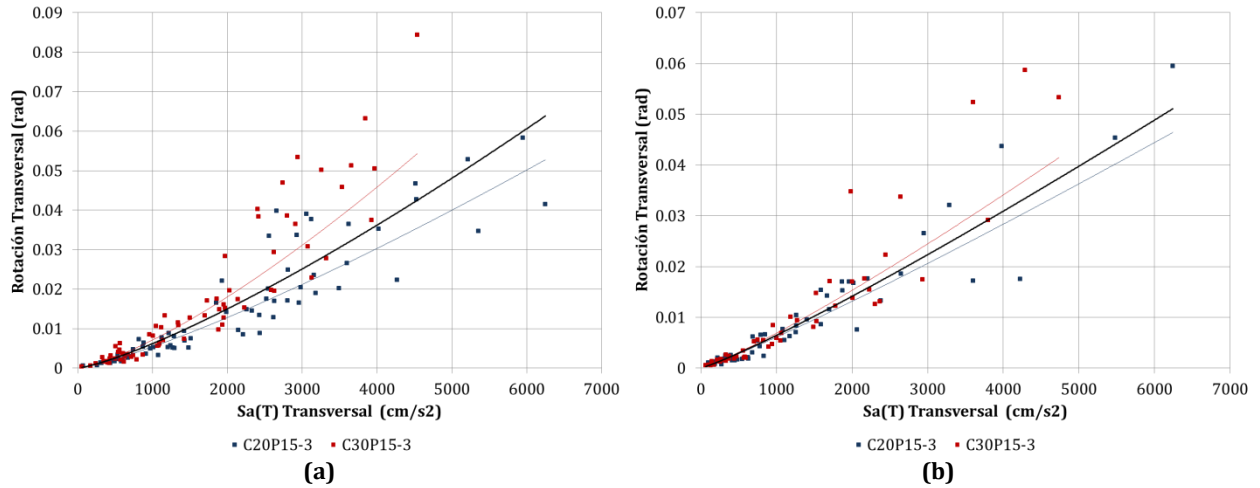


Figura A. 47 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

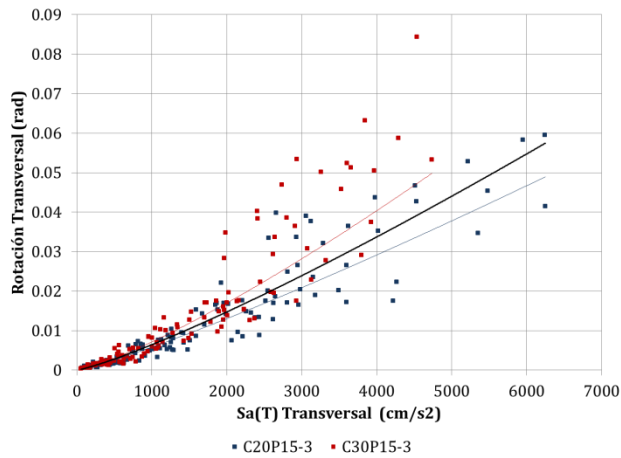


Figura A. 48 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

Tabla A. 24 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Transversal	C20P15-3	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.02E-06	1.2422	0.1488	0.9554	6248.23	0.0528	0.0638	21.00%	0.0575	8.91%
		FN				2.91E-06	1.1075	0.1588	0.9518	6244.79	0.0464	0.0511	10.06%	0.0574	23.66%
		S y FN				1.91E-06	1.1617	0.1558	0.9535	6248.23	0.0489			0.0575	17.41%
	C30P15-3	S				6.58E-07	1.3446	0.1632	0.9534	4535.21	0.0543	0.0425	21.81%	0.0392	27.88%
		FN				2.37E-06	1.1545	0.1391	0.9683	4736.20	0.0415	0.0374	9.76%	0.0413	0.46%
		S y FN				1.29E-06	1.2481	0.1574	0.9592	4736.20	0.0498			0.0413	17.20%
P15-3	S	(1)	9.56E-07	1.2711	0.1694	0.9453									
	FN	(2)	2.67E-06	1.1284	0.1502	0.9594									
	S y FN	(3)	1.68E-06	1.1948	0.1637	0.9521									

A.1.4. MODELOS CON PILAS $h = 20\text{ m}$

A.1.4.1. Grupo P20-0

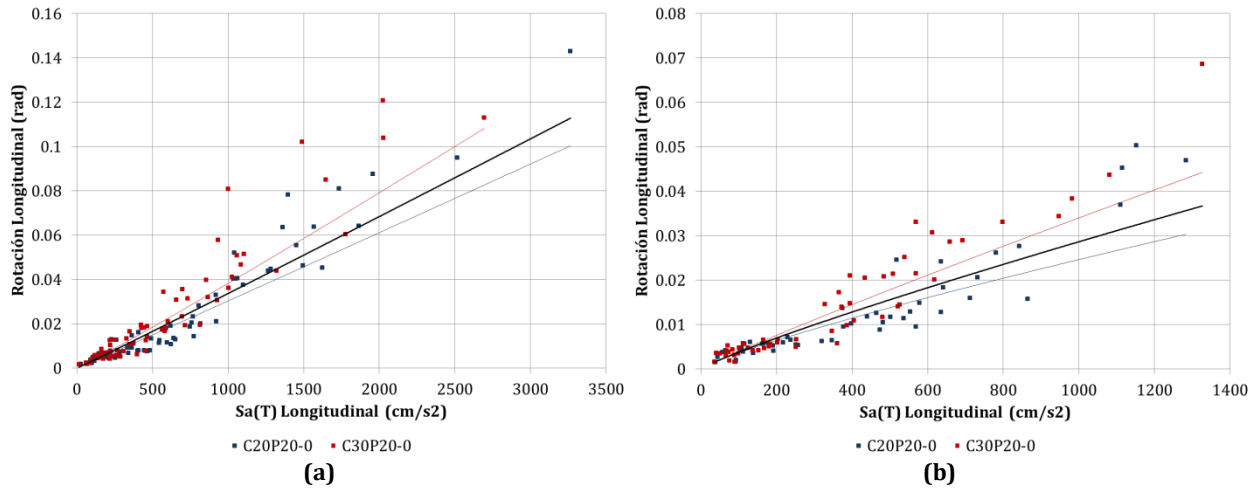


Figura A. 49 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

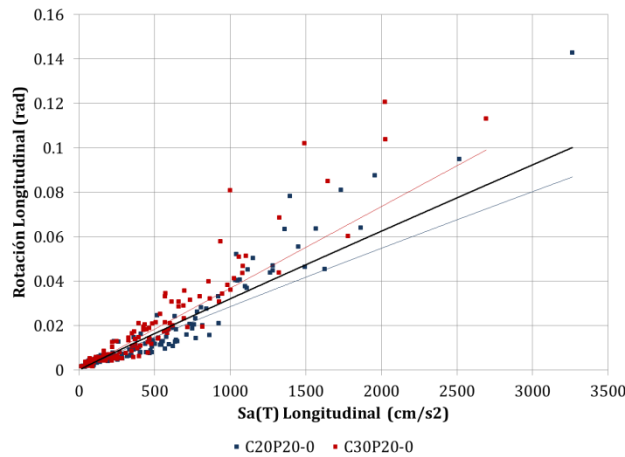


Figura A. 50 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Tabla A. 25 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Longitudinal	C20P20-0	S	Sa(T)	θ_p	Original	2.80E-05	1.0114	0.1498	0.9446	3262.89	0.1003	0.1128	12.44%	0.1002	0.14%
		FN				7.74E-05	0.8343	0.1407	0.9241	1283.57	0.0304	0.0357	17.55%	0.0408	34.48%
		S y FN				4.27E-05	0.9417	0.1493	0.9381	3262.89	0.0870			0.1002	15.23%
	C30P20-0	S				2.73E-05	1.0488	0.1512	0.9479	2694.19	0.1082	0.0928	14.27%	0.0833	23.00%
		FN				5.51E-05	0.9302	0.1488	0.9302	1326.48	0.0443	0.0367	17.03%	0.0421	4.82%
		S y FN				3.73E-05	0.9981	0.1510	0.9424	2694.19	0.0991			0.0833	15.94%
P20-0	S	(1)	2.92E-05	1.0210	0.1558	0.9415									
	FN	(2)	6.73E-05	0.8764	0.1508	0.9198									
	S y FN	(3)	4.16E-05	0.9624	0.1558	0.9350									

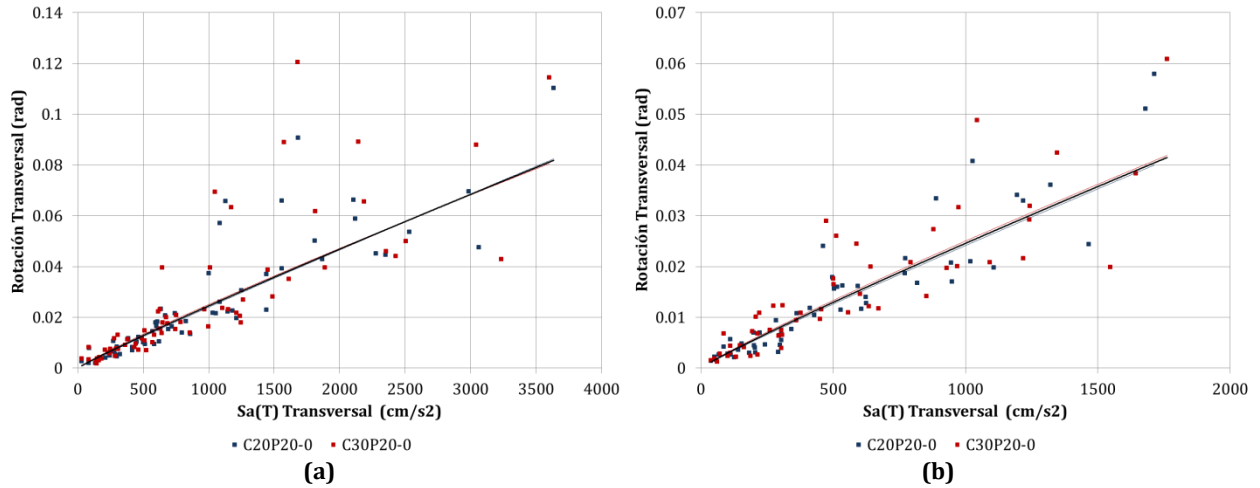


Figura A. 51 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

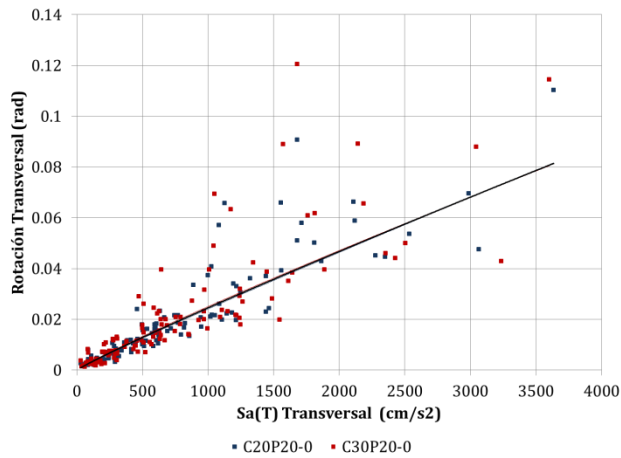


Figura A. 52 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Tabla A. 26 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s ²)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P20-0	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	3.23E-05	0.9568	0.1635	0.9303	3633.78	0.0824	0.0818	0.70%	0.0814	1.21%
		FN				3.69E-05	0.9383	0.1431	0.9395	1713.24	0.0400	0.0404	1.13%	0.0405	1.29%
		S y FN				3.48E-05	0.9468	0.1539	0.9368	3633.78	0.0816		0.0814	0.23%	
	C30P20-0	S				4.65E-05	0.9108	0.1933	0.8987	3600.43	0.0805	0.0811	0.74%	0.0807	0.22%
		FN				4.67E-05	0.9098	0.1749	0.9101	1761.87	0.0419	0.0415	0.99%	0.0416	0.83%
		S y FN				4.65E-05	0.9105	0.1841	0.9077	3600.43	0.0805		0.0807	0.31%	
P20-0	S	(1)	3.87E-05	0.9341	0.1786	0.9140									
	FN	(2)	4.14E-05	0.9245	0.1590	0.9242									
	S y FN	(3)	4.01E-05	0.9290	0.1698	0.9218									

A.1.4.2. Grupo P20-1

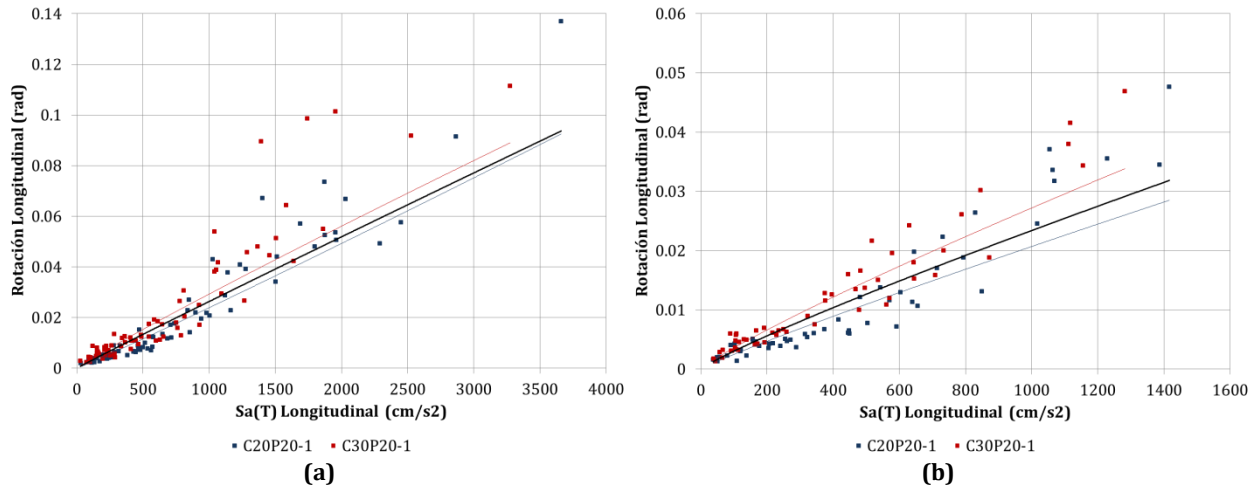


Figura A. 53 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

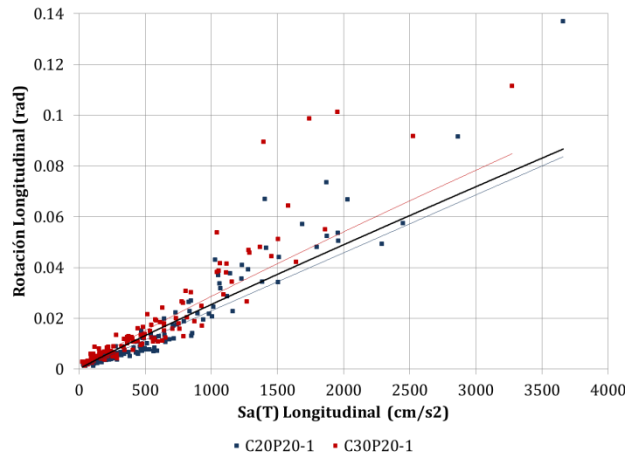


Figura A. 54 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Tabla A. 27 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:										
					Potencial				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (rad)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (rad)	
					(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r							
Longitudinal	C20P20-1	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.77E-05	1.0432	0.1412	0.9532	3659.41	0.0925	0.0937	1.27%	0.0867	6.28%
		FN				3.58E-05	0.9206	0.1470	0.9330	1416.63	0.0285	0.0319	11.71%	0.0354	24.04%
		S y FN				2.35E-05	0.9968	0.1449	0.9482	3659.41	0.0837			0.0867	3.62%
	C30P20-1	S				4.53E-05	0.9369	0.1590	0.9290	3274.27	0.0890	0.0840	5.61%	0.0780	12.32%
		FN				6.27E-05	0.8791	0.1074	0.9580	1282.53	0.0339	0.0292	13.84%	0.0322	4.87%
		S y FN				5.16E-05	0.9150	0.1388	0.9429	3274.27	0.0849			0.0780	8.03%
P20-1	S	(1)	3.07E-05	0.9777	0.1627	0.9311									
	FN	(2)	5.10E-05	0.8870	0.1461	0.9273									
	S y FN	(3)	3.74E-05	0.9444	0.1564	0.9335									

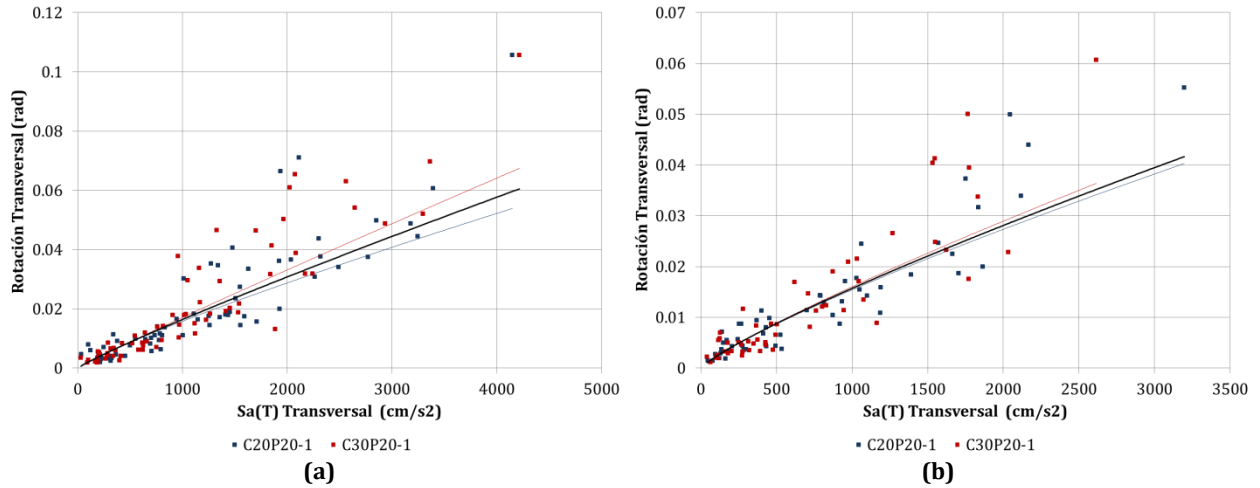


Figura A. 55 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

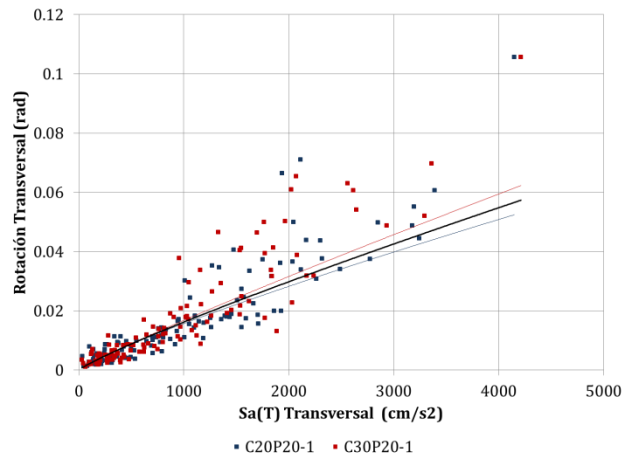


Figura A. 56 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Tabla A. 28 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Transversal	C20P20-1	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	4.17E-05	0.8599	0.2086	0.8701	4148.32	0.0539	0.0596	10.68%	0.0566	5.04%
		FN				5.08E-05	0.8274	0.1602	0.9158	3195.96	0.0403	0.0416	3.33%	0.0450	11.70%
		S y FN				4.53E-05	0.8468	0.1878	0.8931	4148.32	0.0524		0.0566	7.93%	
	C30P20-1	S				2.37E-05	0.9528	0.1905	0.9089	4213.47	0.0674	0.0605	10.28%	0.0574	14.89%
		FN				4.43E-05	0.8529	0.1924	0.8885	2616.01	0.0364	0.0352	3.27%	0.0378	3.77%
		S y FN				3.12E-05	0.9106	0.1909	0.9034	4213.47	0.0623		0.0574	7.92%	
P20-1	S	(1)	3.15E-05	0.9058	0.1996	0.8897									
	FN	(2)	4.76E-05	0.8396	0.1755	0.9014									
	S y FN	(3)	3.77E-05	0.8780	0.1893	0.8979									

A.1.4.3. Grupo P20-2

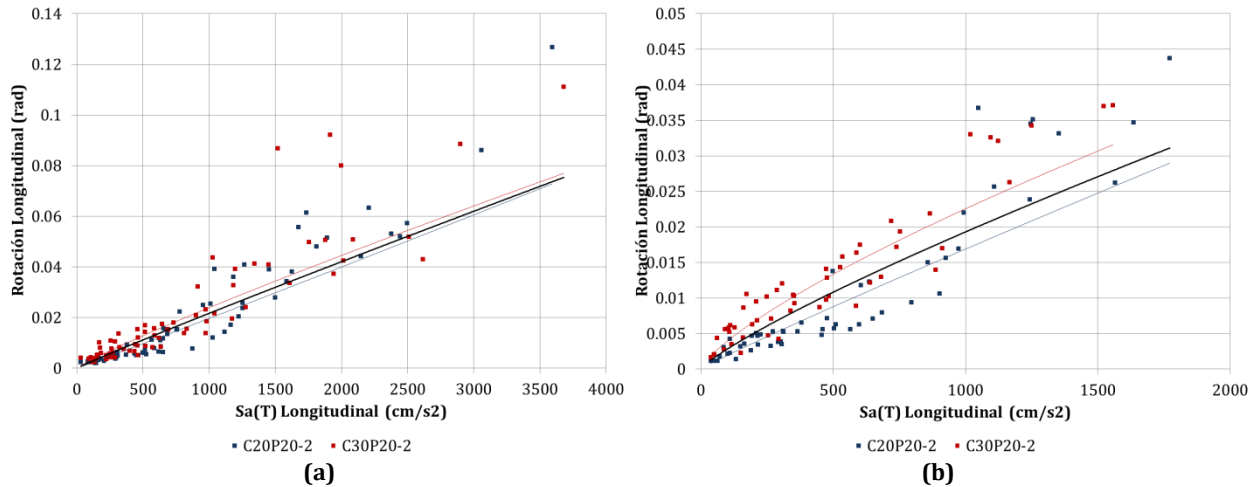


Figura A. 57 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

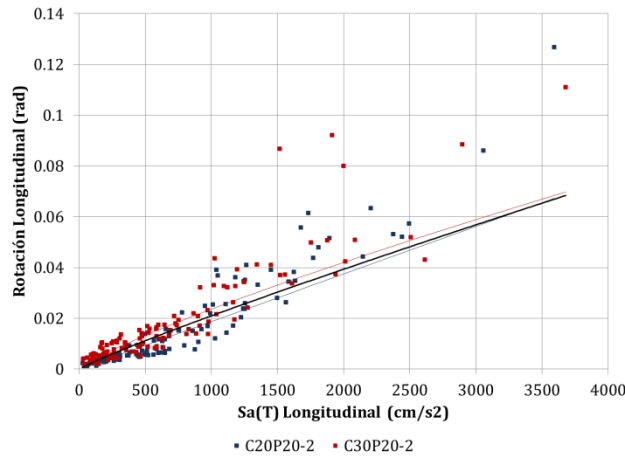


Figura A. 58 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Tabla A. 29 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:										
					Potencial				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
					(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r							
Longitudinal	C20P20-2	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.67E-05	1.0234	0.1718	0.9314	3593.45	0.0728	0.0737	1.16%	0.0669	8.06%
		FN				2.48E-05	0.9442	0.1521	0.9345	1772.64	0.0290	0.0311	7.36%	0.0353	21.65%
		S y FN				1.87E-05	1.0001	0.1642	0.9353	3593.45	0.0673			0.0669	0.51%
	C30P20-2	S				4.84E-05	0.8978	0.1732	0.9117	3680.29	0.0770	0.0754	2.08%	0.0684	11.11%
		FN				1.20E-04	0.7585	0.1339	0.9203	1557.72	0.0316	0.0279	11.49%	0.0314	0.64%
		S y FN				7.54E-05	0.8319	0.1596	0.9147	3680.29	0.0698			0.0684	1.97%
P20-2	S	(1)	2.94E-05	0.9560	0.1827	0.9124									
	FN	(2)	6.05E-05	0.8346	0.1811	0.8868									
	S y FN	(3)	3.98E-05	0.9072	0.1830	0.9065									

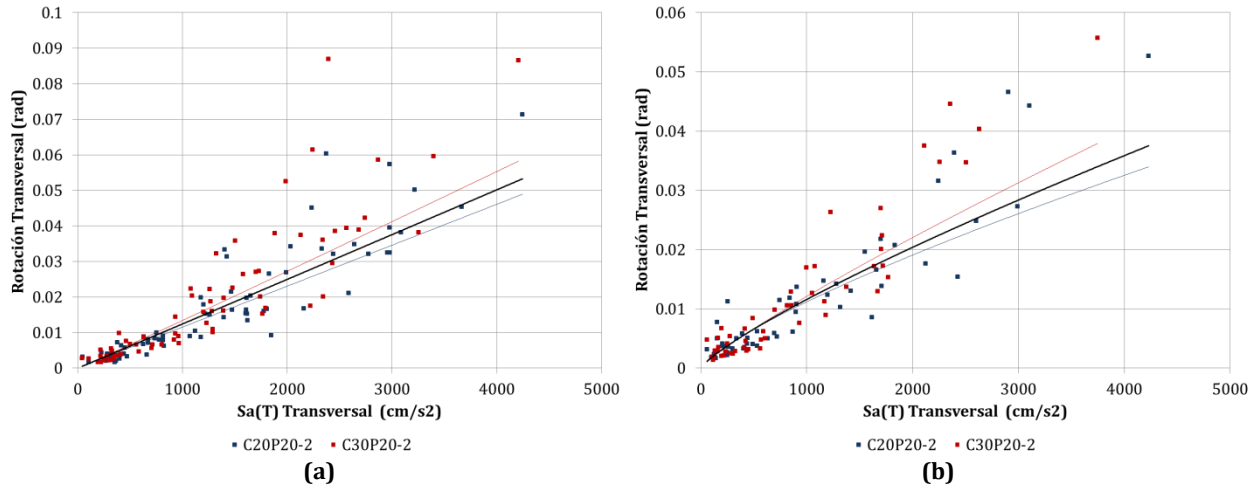


Figura A. 59 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

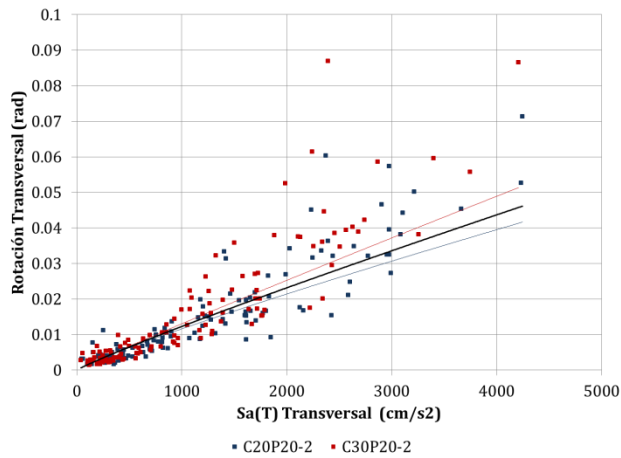


Figura A. 60 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Tabla A. 30 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Transversal	C20P20-2	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.16E-05	0.9992	0.1806	0.9125	4244.35	0.0489	0.0533	8.88%	0.0461	5.71%
		FN				5.47E-05	0.7703	0.1804	0.8922	4232.12	0.0340	0.0376	10.49%	0.0460	35.34%
		S y FN				2.60E-05	0.8833	0.1856	0.9006	4244.35	0.0416			0.0461	10.79%
	C30P20-2	S				1.16E-05	1.0214	0.1930	0.9090	4207.89	0.0582	0.0528	9.35%	0.0458	21.44%
		FN				3.08E-05	0.8646	0.1932	0.8938	3748.24	0.0379	0.0340	10.31%	0.0412	8.52%
		S y FN				1.80E-05	0.9535	0.1946	0.9045	4207.89	0.0513			0.0458	10.86%
P20-2	S	(1)	1.19E-05	1.0063	0.1885	0.9078									
	FN	(2)	4.17E-05	0.8148	0.1865	0.8915									
	S y FN	(3)	2.20E-05	0.9157	0.1912	0.9007									

A.1.4.4. Grupo P20-3

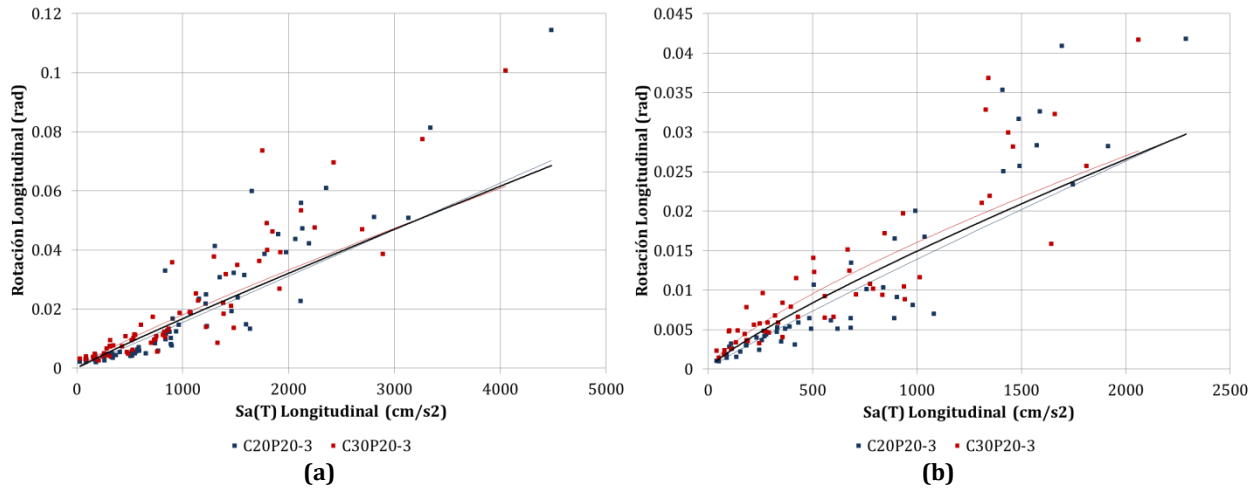


Figura A. 61 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

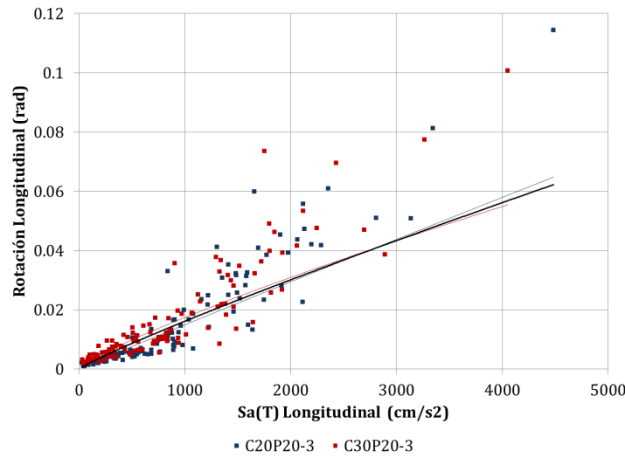


Figura A. 62 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Tabla A. 31 $Sa(T) - \theta_p$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:									
						Potencial				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (g)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (i)
						(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r						
Original	C20P20-3	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	1.47E-05	1.0079	0.1928	0.9154	4481.87	0.0703	0.0686	2.45%	0.0623	11.42%
		FN				2.40E-05	0.9209	0.1547	0.9332	2289.69	0.0298	0.0297	0.24%	0.0341	14.20%
		S y FN				1.76E-05	0.9763	0.1774	0.9251	4481.87	0.0648			0.0623	3.91%
	C30P20-3	S				4.26E-05	0.8759	0.1793	0.9039	4052.03	0.0616	0.0624	1.21%	0.0569	7.71%
		FN				8.93E-05	0.7515	0.1451	0.9131	2061.71	0.0276	0.0273	1.33%	0.0310	12.17%
		S y FN				5.79E-05	0.8265	0.1664	0.9092	4052.03	0.0555			0.0569	2.47%
P20-3	S	(1)	2.55E-05	0.9392	0.1924	0.9031									
	FN	(2)	4.75E-05	0.8324	0.1652	0.9081									
	S y FN	(3)	3.26E-05	0.8984	0.1821	0.9080									

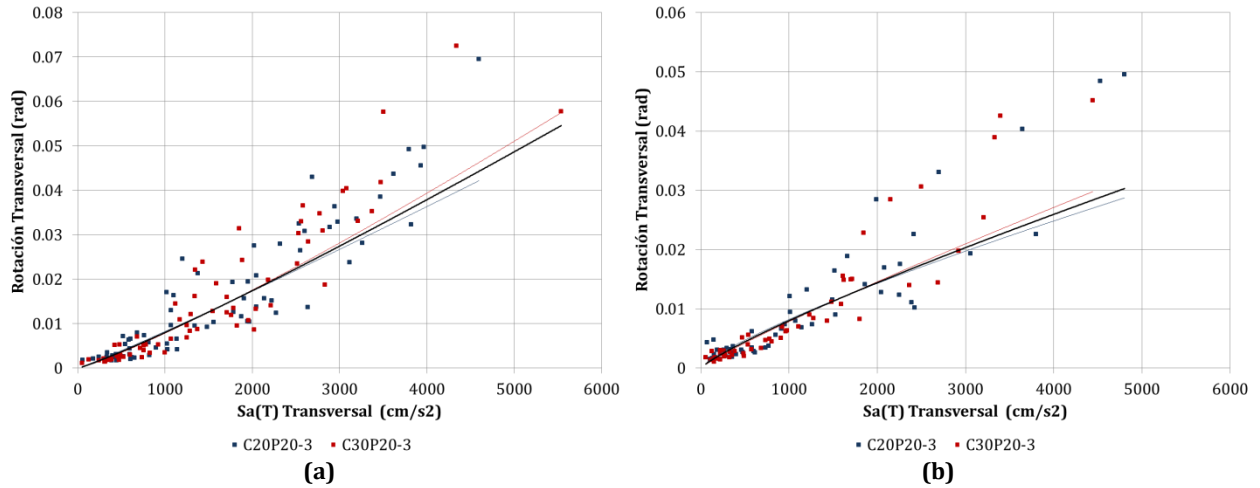


Figura A. 63 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

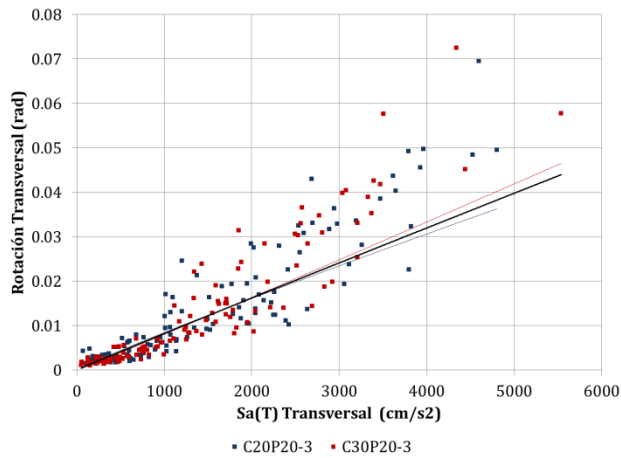


Figura A. 64 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Tabla A. 32 $Sa(T) - \theta_p$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original (rad)	PDI(1) o PDI(2) (rad)	Dif (f) y (g) (%)	PDI(3) (rad)	Dif (f) y (i) (%)	
Transversal	C20P20-3	S	$Sa(T)$	θ_p	Original	5.10E-06	1.0696	0.2022	0.8961	4597.31	0.0422	0.0443	5.03%	0.0367	13.12%
		FN				3.33E-05	0.7977	0.1931	0.8878	4802.24	0.0287	0.0303	5.48%	0.0383	33.16%
		S y FN				1.41E-05	0.9267	0.2047	0.8881	4802.24	0.0363		0.0383	5.43%	
	C30P20-3	S				2.54E-06	1.1635	0.1857	0.9293	5538.14	0.0575	0.0546	5.07%	0.0440	23.52%
		FN				1.63E-05	0.8945	0.1618	0.9320	4441.38	0.0298	0.0284	4.75%	0.0354	19.02%
		S y FN				6.75E-06	1.0253	0.1838	0.9247	5538.14	0.0465		0.0440	5.47%	
P20-3	S	(1)	3.49E-06	1.1205	0.1938	0.9141									
	FN	(2)	2.29E-05	0.8479	0.1786	0.9100									
	S y FN	(3)	9.53E-06	0.9789	0.1953	0.9072									

A.2. RELACIÓN $Sa(T) - \Delta$

A.2.1. MODELOS CON PILAS $h = 5\text{ m}$

A.2.1.1. Grupo P05-0

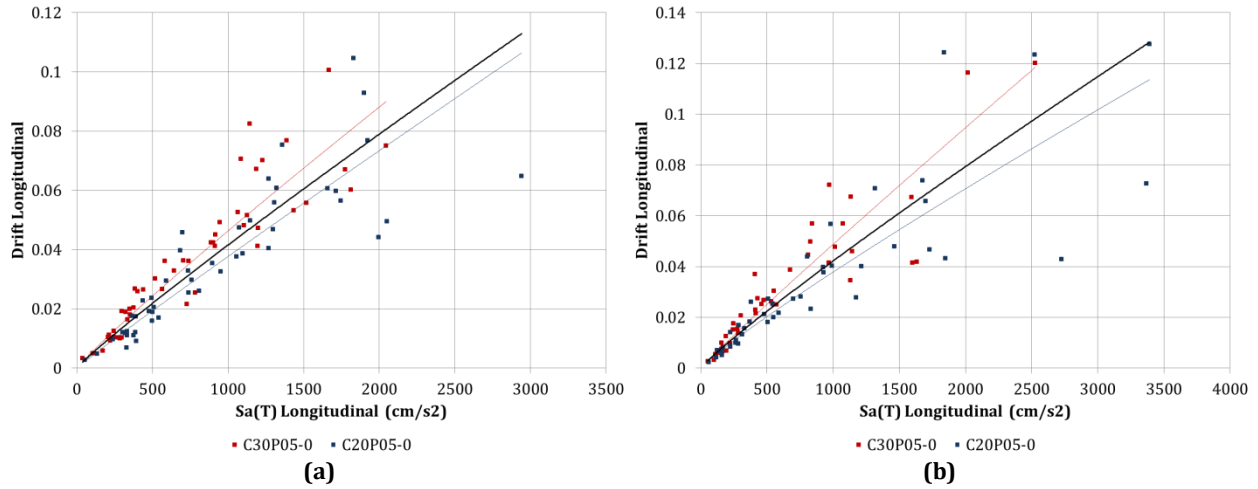


Figura A. 65 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

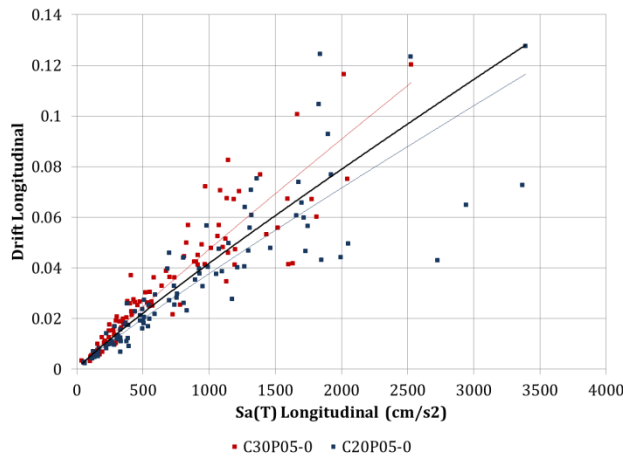


Figura A. 66 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

Tabla A. 33 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Original	C20P05-0	S	$Sa(T)$	Δ	Original	4.91E-05	0.9618	0.1140	0.9461	2941.69	0.1064	0.1130	6.14%	0.1124	5.62%
		FN				7.53E-05	0.9005	0.1247	0.9535	3391.46	0.1137	0.1284	12.97%	0.1280	12.65%
		S y FN				6.42E-05	0.9230	0.1187	0.9501	3391.46	0.1165			0.1280	9.90%
	C30P05-0	S				7.61E-05	0.9280	0.0999	0.9591	2045.33	0.0900	0.0807	10.37%	0.0806	10.46%
		FN				6.56E-05	0.9572	0.1135	0.9590	2527.59	0.1185	0.0982	17.08%	0.0978	17.44%
		S y FN				7.15E-05	0.9403	0.1057	0.9594	2527.59	0.1132			0.0978	13.58%
P05-0	S	(1)	6.91E-05	0.9265	0.1165	0.9425									
	FN	(2)	7.83E-05	0.9107	0.1273	0.9486									
	S y FN	(3)	7.49E-05	0.9158	0.1213	0.9465									

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Apéndice A. Diagramas de dispersión y curvas de ajuste

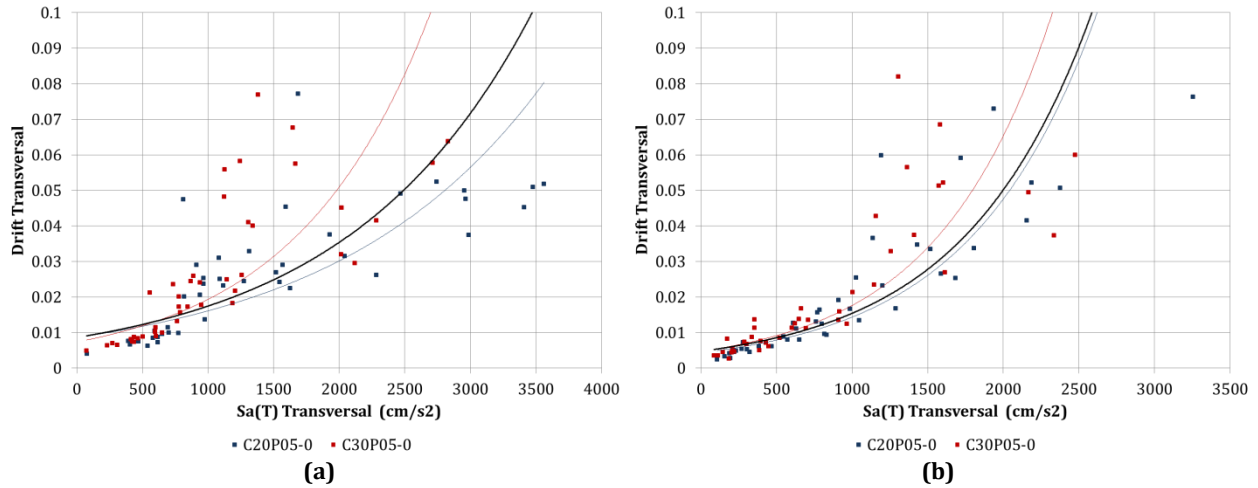


Figura A. 67 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

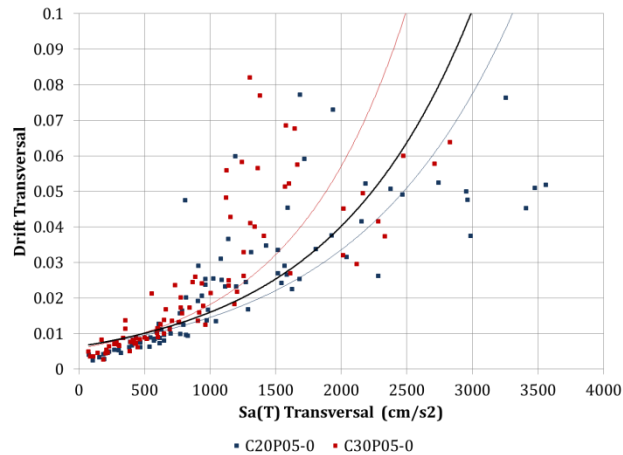


Figura A. 68 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

Tabla A. 34 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

Modelo		Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Exponencial									
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Transversal	C20P05-0	S	Sa(T)	Δ	Original	8.61E-03	6.27E-04	0.4670	0.7905	3562.56	0.0804	0.1067	32.68%	0.1698	111.20%
		FN				4.33E-03	1.20E-03	0.4173	0.9010	3254.34	0.2140	0.2200	2.83%	0.1278	40.26%
		S y FN				6.30E-03	8.36E-04	0.4950	0.8260	3562.56	0.1240			0.1698	36.93%
	C30P05-0	S				7.35E-03	9.68E-04	0.4547	0.8166	2829.62	0.1138	0.0636	44.13%	0.0864	24.07%
		FN				4.75E-03	1.31E-03	0.4398	0.8866	2476.18	0.1219	0.0879	27.92%	0.0624	48.85%
		S y FN				5.79E-03	1.14E-03	0.4594	0.8525	2829.62	0.1475			0.0864	41.42%
P05-0	S	(1)	8.62E-03	7.06E-04	0.4877	0.7713									
	FN	(2)	4.74E-03	1.18E-03	0.4655	0.8684									
	S y FN	(3)	6.36E-03	9.22E-04	0.5013	0.8188									

A.2.1.2. Grupo P05-1

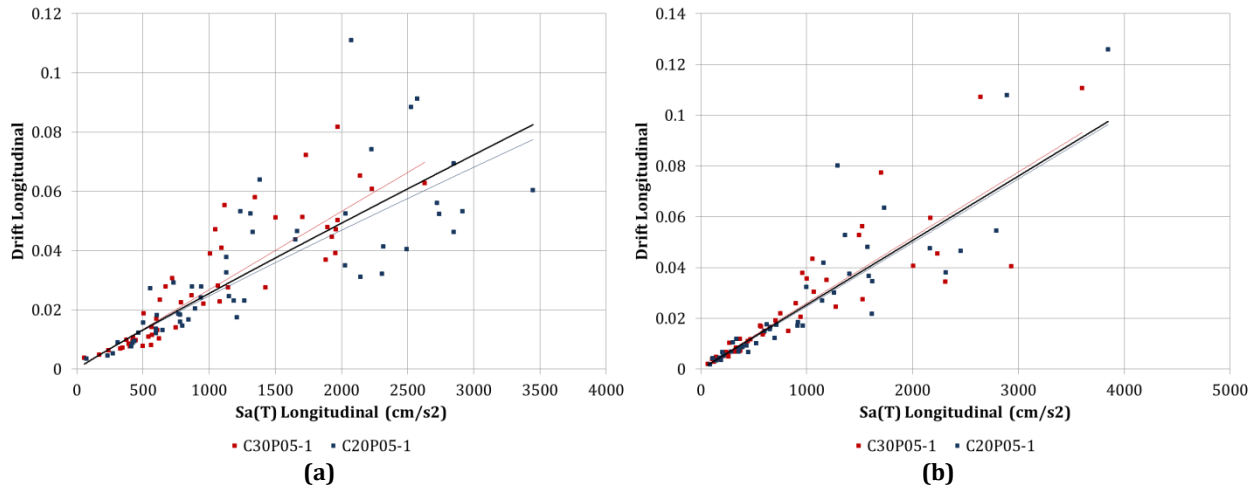


Figura A. 69 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

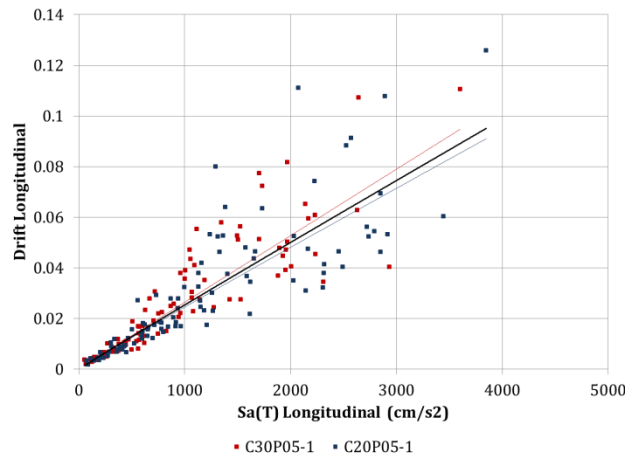


Figura A. 70 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

Tabla A. 35 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Longitudinal	C20P05-1	S	$Sa(T)$	Δ	Original	4.18E-05	0.9238	0.1459	0.9091	3447.04	0.0775	0.0825	6.49%	0.0854	10.16%
		FN				2.28E-05	1.0112	0.1300	0.9552	3846.40	0.0963	0.0975	1.27%	0.0950	1.31%
		S y FN				2.94E-05	0.9739	0.1384	0.9383	3846.40	0.0910			0.0950	4.47%
	C30P05-1	S				2.84E-05	0.9913	0.1431	0.9186	2629.97	0.0698	0.0639	8.55%	0.0655	6.24%
		FN				2.70E-05	0.9947	0.1200	0.9632	3602.99	0.0932	0.0913	1.96%	0.0891	4.32%
		S y FN				2.72E-05	0.9959	0.1313	0.9462	3602.99	0.0948			0.0891	5.93%
P05-1	S	(1)	3.67E-05	0.9474	0.1445	0.9132									
	FN	(2)	2.52E-05	1.0008	0.1244	0.9588									
	S y FN	(3)	2.91E-05	0.9803	0.1352	0.9416									

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Apéndice A. Diagramas de dispersión y curvas de ajuste

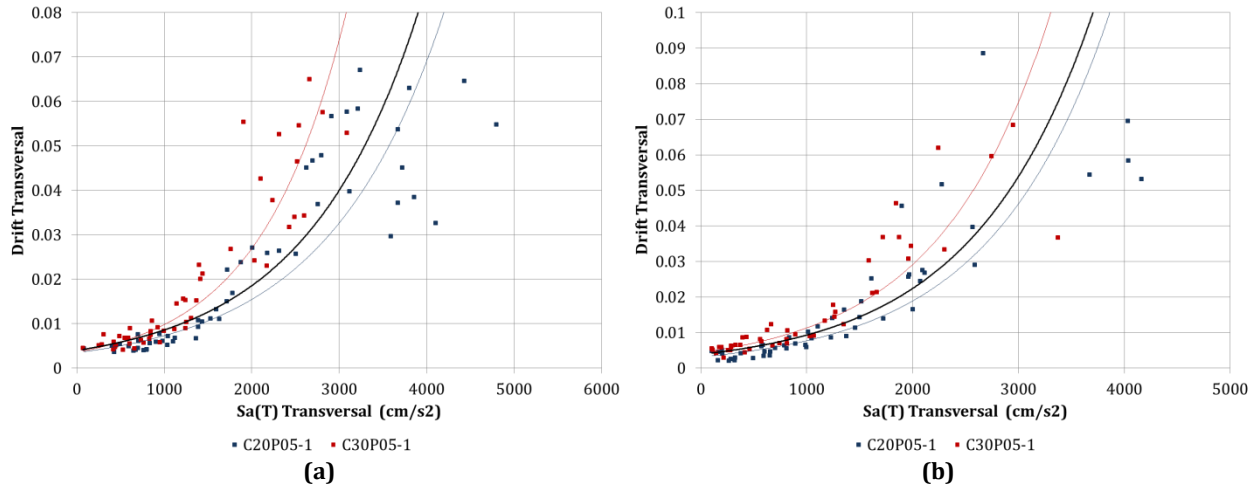


Figura A. 71 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

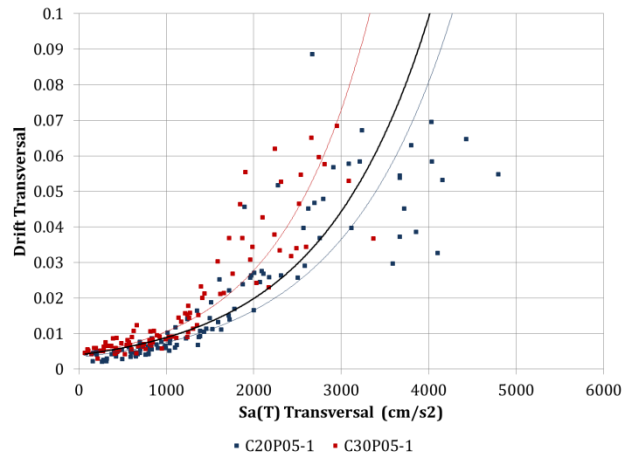


Figura A. 72 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

Tabla A. 36 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

Modelo		Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Exponencial									
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Transversal	C20P05-1	S	Sa(T)	Δ	Original	3.46E-03	7.49E-04	0.3689	0.9305	4797.25	0.1255	0.1593	26.95%	0.1878	49.61%
		FN				3.15E-03	8.95E-04	0.4203	0.9144	4161.78	0.1307	0.1496	14.45%	0.1127	13.75%
		S y FN				3.38E-03	7.93E-04	0.4049	0.9186	4797.25	0.1520			0.1878	23.53%
	C30P05-1	S				3.57E-03	1.01E-03	0.2831	0.9464	3090.06	0.0809	0.0429	46.97%	0.0477	41.05%
		FN				4.39E-03	9.45E-04	0.3041	0.9320	3372.79	0.1065	0.0748	29.79%	0.0598	43.84%
		S y FN				4.02E-03	9.66E-04	0.2990	0.9364	3372.79	0.1045			0.0598	42.75%
P05-1	S	(1)	3.99E-03	7.69E-04	0.4035	0.9031									
	FN	(2)	3.87E-03	8.78E-04	0.4143	0.8976									
	S y FN	(3)	3.99E-03	8.03E-04	0.4146	0.8977									

A.2.1.3. Grupo P05-2

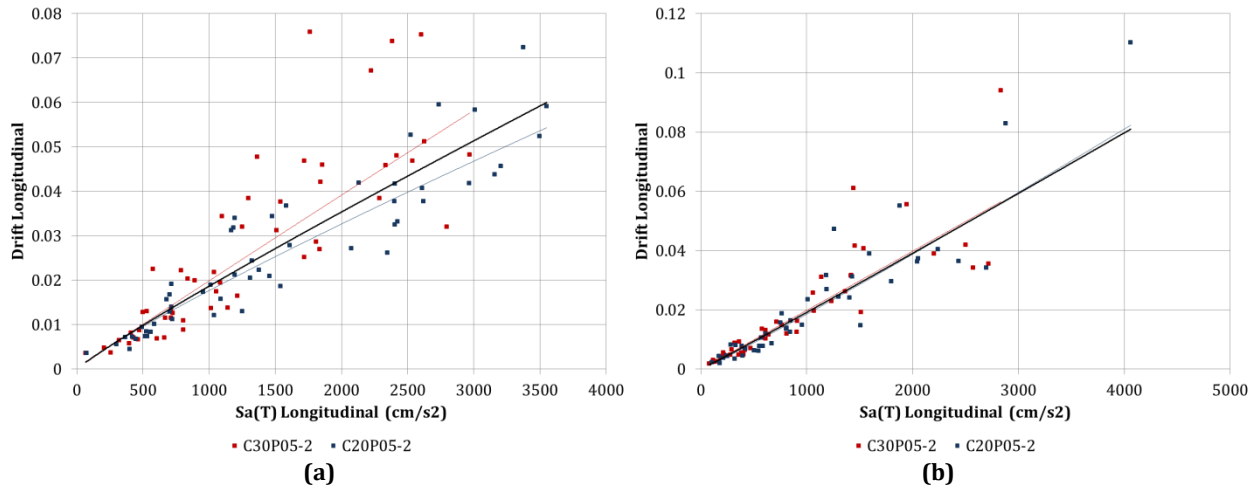


Figura A. 73 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

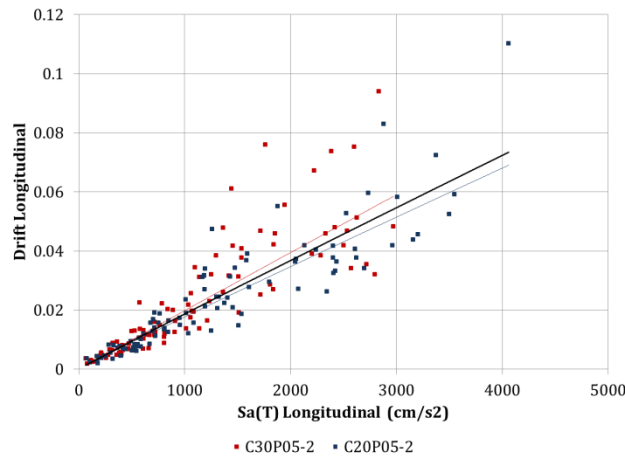


Figura A. 74 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

Tabla A. 37 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
	C20P05-2	S	$Sa(T)$	Δ	Original	3.87E-05	0.8864	0.1143	0.9377	3550.63	0.0543	0.0600	10.44%	0.0644	18.56%
		FN				1.19E-05	1.0646	0.1323	0.9518	4057.79	0.0823	0.0810	1.64%	0.0734	10.81%
		S y FN				2.16E-05	0.9714	0.1260	0.9451	4057.79	0.0690			0.0734	6.36%
	C30P05-2	S				2.30E-05	0.9786	0.1570	0.9022	2970.10	0.0577	0.0509	11.70%	0.0541	6.14%
		FN				1.92E-05	1.0049	0.1233	0.9585	2834.52	0.0565	0.0560	0.96%	0.0517	8.50%
		S y FN				2.06E-05	0.9942	0.1414	0.9366	2970.10	0.0585			0.0541	7.46%
P05-2	S	(1)	3.22E-05	0.9213	0.1395	0.9140									
	FN	(2)	1.57E-05	1.0287	0.1285	0.9537									
	S y FN	(3)	2.20E-05	0.9766	0.1354	0.9387									

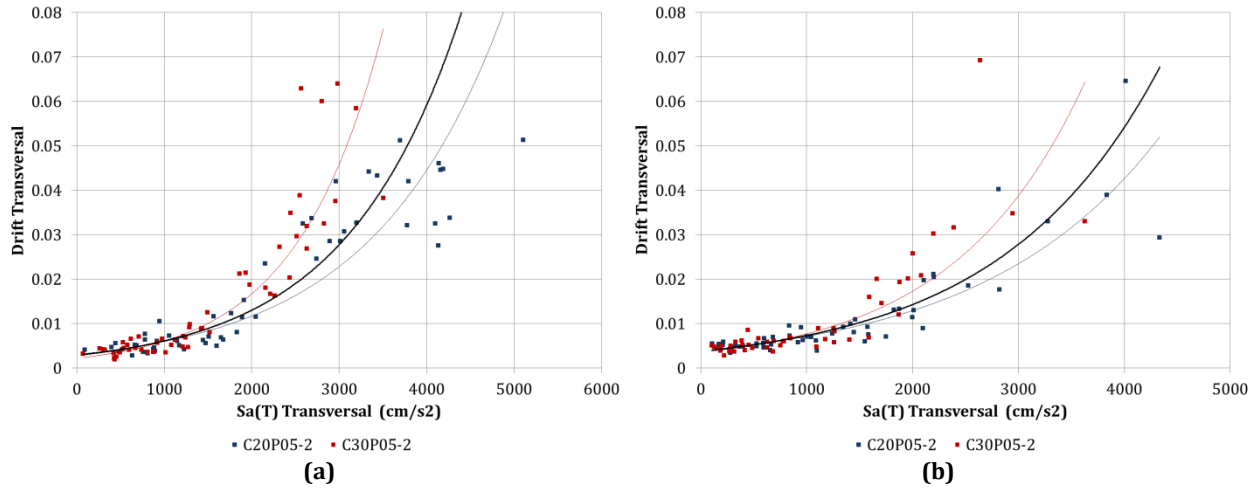


Figura A. 75 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

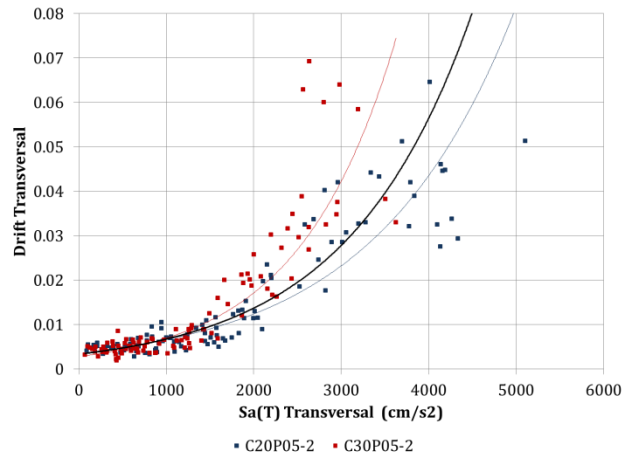


Figura A. 76 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

Tabla A. 38 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

		Curva de ajuste: Exponencial													
Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P05-2	S	Sa(T)	Δ	Original	3.08E-03	6.68E-04	0.3465	0.9305	5104.21	0.0931	0.1365	46.56%	0.1232	32.30%
		FN				3.93E-03	5.96E-04	0.2679	0.9189	4335.23	0.0521	0.0678	30.14%	0.0716	37.42%
		S y FN				3.54E-03	6.28E-04	0.3176	0.9247	5104.21	0.0871			0.1232	41.49%
	C30P05-2	S				2.21E-03	1.01E-03	0.3192	0.9468	3504.31	0.0764	0.0407	46.76%	0.0398	47.97%
		FN				3.45E-03	8.07E-04	0.3180	0.9060	3627.83	0.0644	0.0423	34.28%	0.0434	32.58%
		S y FN				2.82E-03	9.02E-04	0.3412	0.9225	3627.83	0.0745			0.0434	41.75%
P05-2	S	(1)	2.87E-03	7.56E-04	0.3936	0.9131									
	FN	(2)	3.78E-03	6.66E-04	0.3113	0.8984									
	S y FN	(3)	3.34E-03	7.07E-04	0.3656	0.9047									

A.2.1.4. Grupo P05-3

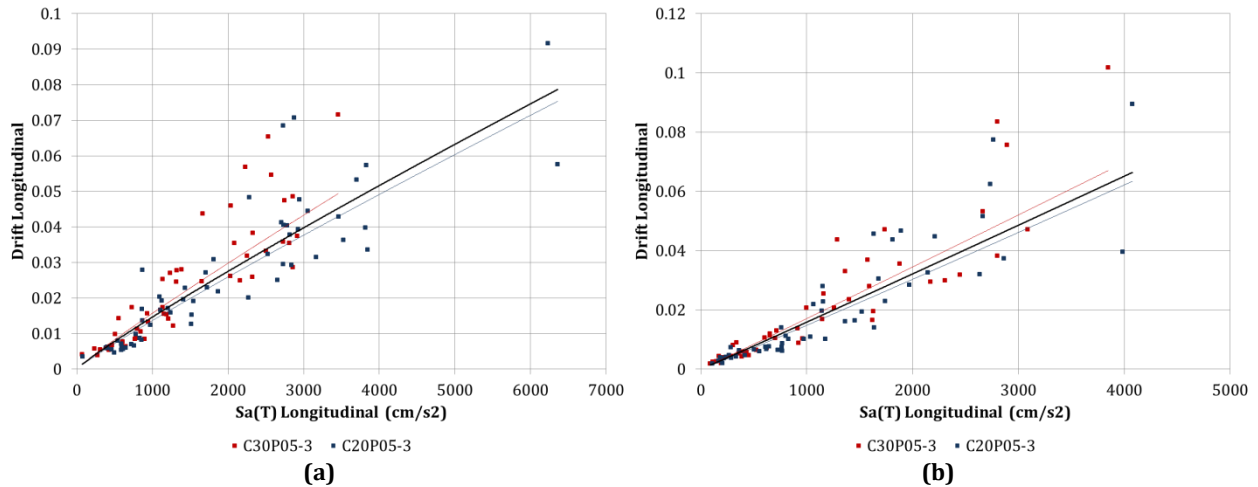


Figura A. 77 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

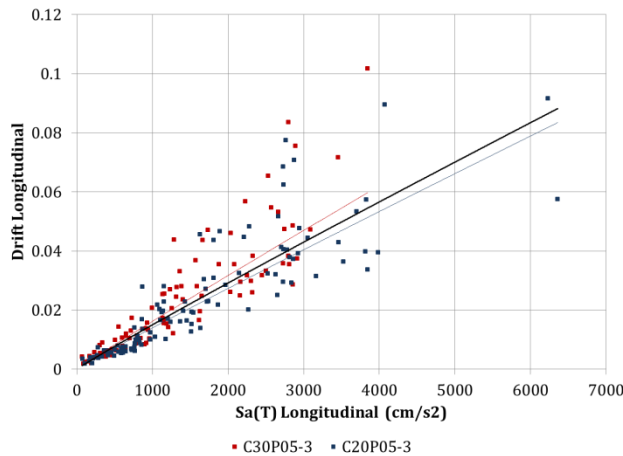


Figura A. 78 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

Tabla A. 39 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Original	C20P05-3	S	$Sa(T)$	Δ	Original	2.34E-05	0.9223	0.1407	0.9227	6358.59	0.0753	0.0787	4.43%	0.0882	17.09%
		FN				1.15E-05	1.0363	0.1485	0.9403	4074.80	0.0634	0.0664	4.72%	0.0576	9.08%
		S y FN				1.78E-05	0.9653	0.1458	0.9327	6358.59	0.0835			0.0882	5.68%
	C30P05-3	S				2.66E-05	0.9238	0.1471	0.9100	3457.61	0.0494	0.0452	8.40%	0.0493	0.27%
		FN				1.53E-05	1.0158	0.1376	0.9535	3848.67	0.0670	0.0626	6.59%	0.0546	18.60%
		S y FN				2.01E-05	0.9686	0.1433	0.9358	3848.67	0.0598			0.0546	8.70%
P05-3	S	(1)	2.76E-05	0.9085	0.1456	0.9136									
	FN	(2)	1.39E-05	1.0192	0.1454	0.9443									
	S y FN	(3)	2.03E-05	0.9567	0.1473	0.9310									

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Apéndice A. Diagramas de dispersión y curvas de ajuste

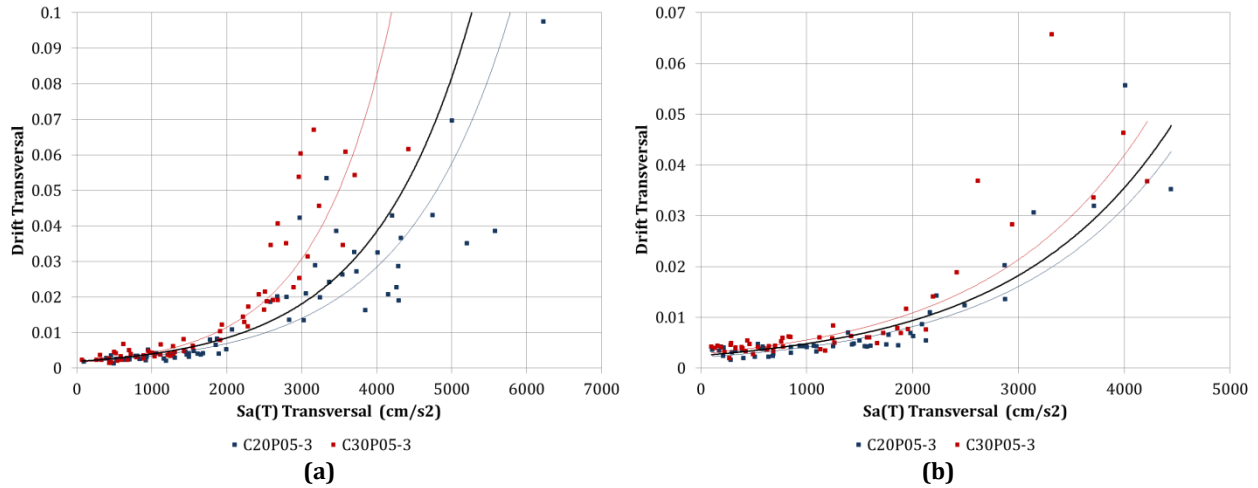


Figura A. 79 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

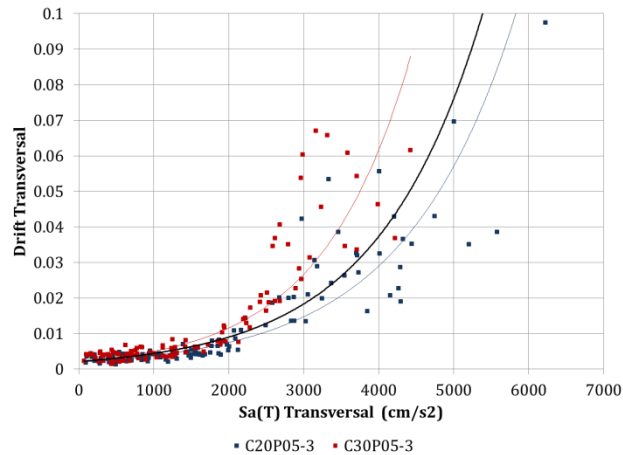


Figura A. 80 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

Tabla A. 40 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

Modelo		Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Exponencial											
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)		
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)		
Transversal	C20P05-3	S	Sa(T)	Δ	Original	1.69E-03	7.06E-04	0.4010	0.9379	6224.09	0.1367	0.2058	50.62%	0.1815	32.80%		
		FN				2.11E-03	6.76E-04	0.3094	0.9159	4443.91	0.0427	0.0477	11.85%	0.0512	19.96%		
		S y FN				1.94E-03	6.77E-04	0.3701	0.9327	6224.09	0.1307			0.1815	38.91%		
	C30P05-3	S				1.61E-03	9.83E-04	0.3382	0.9535	4426.79	0.1250	0.0531	57.54%	0.0506	59.52%		
		FN				2.83E-03	6.74E-04	0.3245	0.9109	4219.39	0.0486	0.0411	15.45%	0.0437	10.22%		
		S y FN				2.17E-03	8.36E-04	0.3722	0.9259	4426.79	0.0880			0.0506	42.54%		
	P05-3	S				(1)	1.88E-03	7.54E-04	0.4691	0.9098							
		FN				(2)	2.47E-03	6.66E-04	0.3459	0.8955							
		S y FN				(3)	2.17E-03	7.11E-04	0.4250	0.9056							

A.2.2. MODELOS CON PILAS $h = 10 m$

A.2.2.1. Grupo P10-0

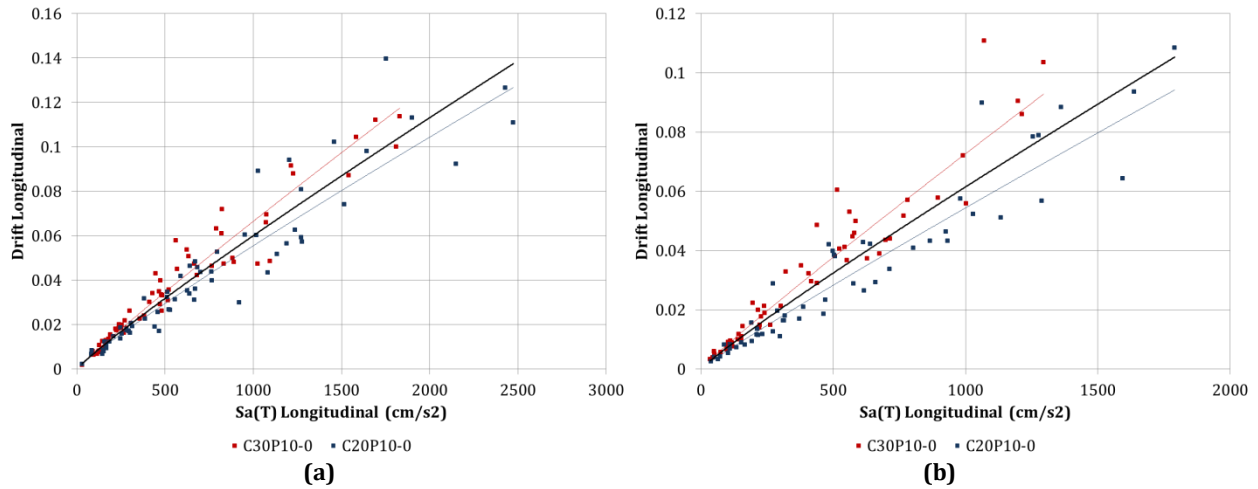


Figura A. 81 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

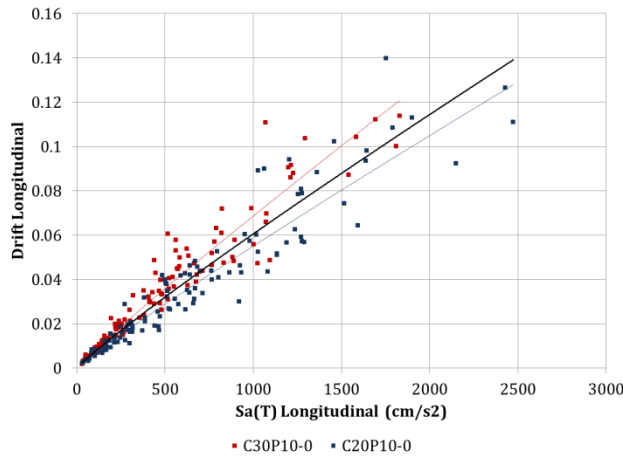


Figura A. 82 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Tabla A. 41 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:									
					Potencial				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
					(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r						
C20P10-0	S	Sa(T)	Δ	Original	1.03E-04	0.9111	0.0878	0.9725	2473.95	0.1268	0.1375	8.47%	0.1392	9.80%
	FN				8.08E-05	0.9427	0.0991	0.9707	1790.91	0.0943	0.1054	11.76%	0.1035	9.74%
	S y FN				8.92E-05	0.9302	0.0930	0.9720	2473.95	0.1280			0.1392	8.76%
C30P10-0	S	Sa(T)	Δ	Original	9.98E-05	0.9413	0.0712	0.9809	1829.06	0.1174	0.1043	11.17%	0.1055	10.16%
	FN				1.06E-04	0.9452	0.0794	0.9800	1295.17	0.0928	0.0781	15.86%	0.0769	17.22%
	S y FN				1.08E-04	0.9347	0.0766	0.9796	1829.06	0.1208			0.1055	12.67%
P10-0	S	Sa(T)	Δ	Original	(1) 1.08E-04	0.9145	0.0866	0.9720						
	FN				(2) 1.04E-04	0.9236	0.1086	0.9628						
	S y FN				(3) 1.07E-04	0.9176	0.0970	0.9682						

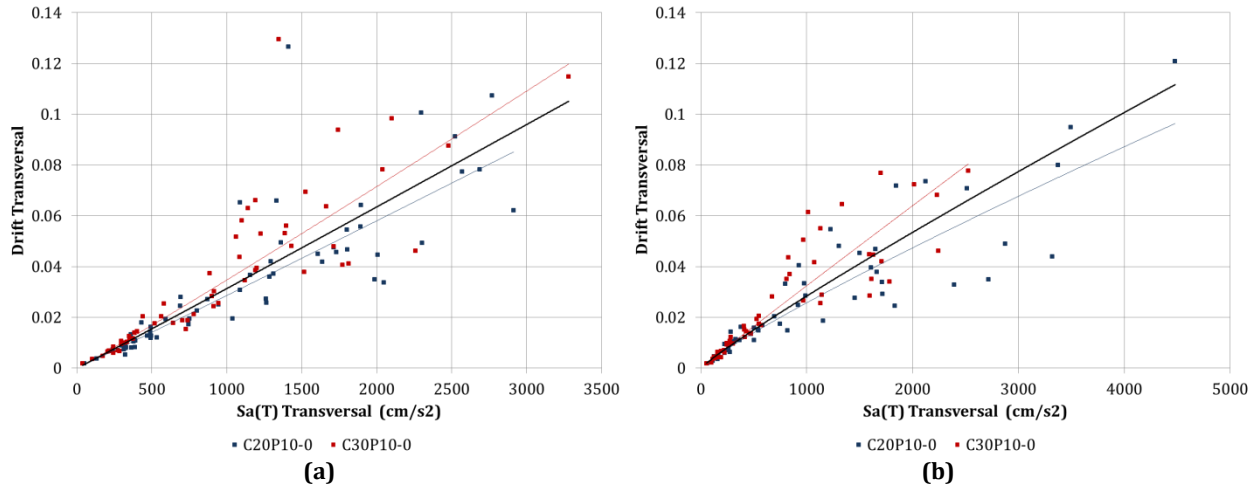


Figura A. 83 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

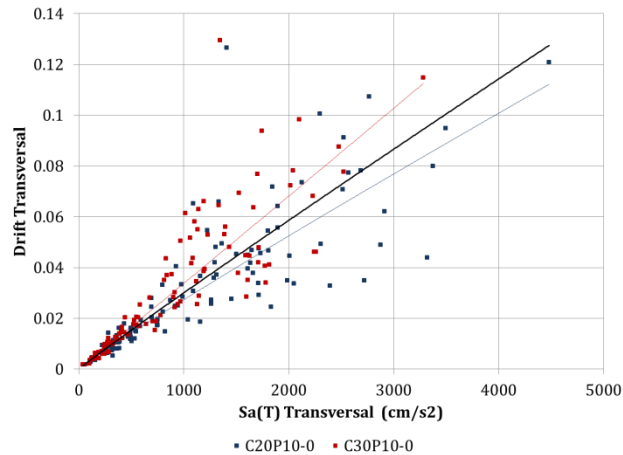


Figura A. 84 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Tabla A. 42 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P10-0	S	$Sa(T)$	Δ	Original	2.49E-05	1.0204	0.1281	0.9458	2913.00	0.0852	0.0931	9.35%	0.0842	1.13%
		FN				5.86E-05	0.8809	0.1302	0.9530	4479.83	0.0964	0.1117	15.87%	0.1275	32.30%
		S y FN				4.08E-05	0.9421	0.1320	0.9472	4479.83	0.1122			0.1275	13.67%
	C30P10-0	S				2.59E-05	1.0425	0.1219	0.9574	3280.97	0.1198	0.1051	12.25%	0.0944	21.17%
		FN				3.73E-05	0.9796	0.1186	0.9623	2525.14	0.0804	0.0662	17.68%	0.0734	8.71%
		S y FN				3.09E-05	1.0128	0.1202	0.9601	3280.97	0.1125			0.0944	16.04%
P10-0	S	(1)	2.76E-05	1.0184	0.1306	0.9465									
	FN	(2)	5.18E-05	0.9131	0.1315	0.9519									
	S y FN	(3)	3.86E-05	0.9638	0.1328	0.9484									

A.2.2.2. Grupo P10-1

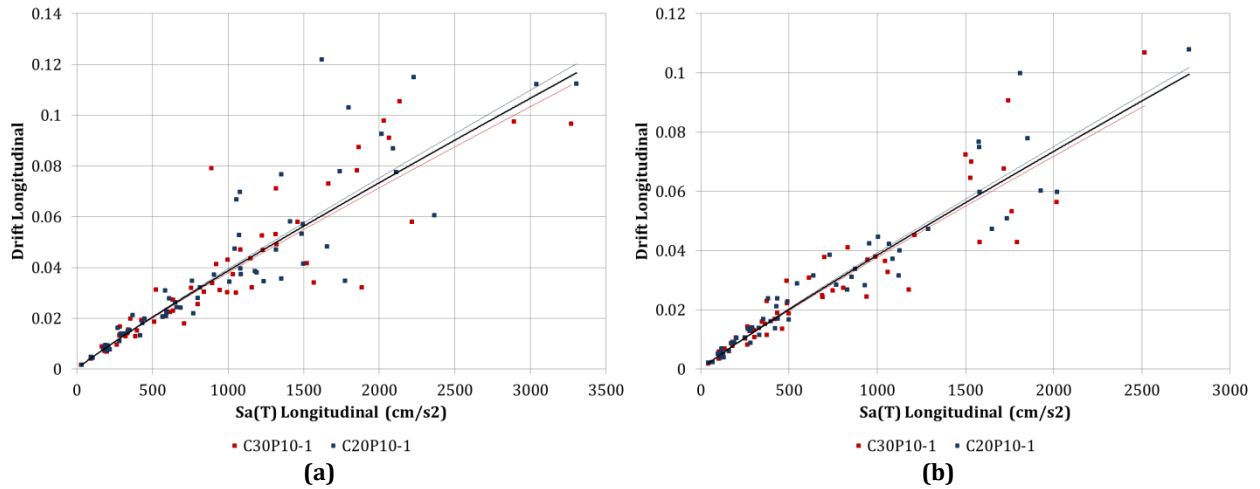


Figura A. 85 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

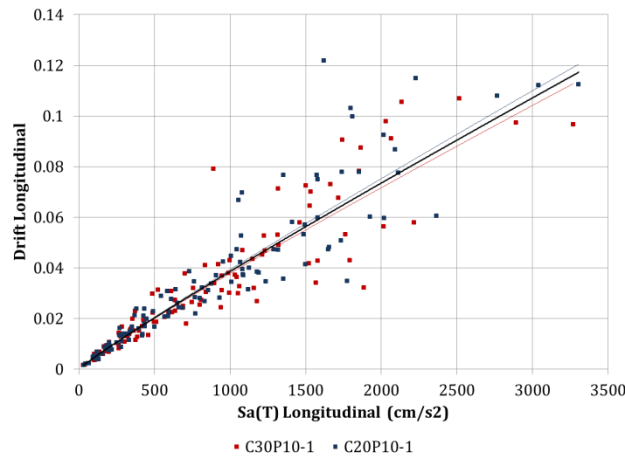


Figura A. 86 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Tabla A. 43 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:						PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)		
						Potencial			$Sa(T)_{max}$ (cm/s ²)	PDI ajuste original	Dif (f) y (g)					PDI(3)	Dif (f) y (i)
						(a) β_0	(b) β_1	(c) σ									
Longitudinal	C20P10-1	S	$Sa(T)$	Δ	Original	6.29E-05	0.9324	0.1017	0.9672	3304.78	0.1203	0.1167	2.96%	0.1172	2.52%		
		FN				6.04E-05	0.9375	0.0865	0.9787	2767.61	0.1019	0.0996	2.24%	0.0994	2.39%		
		S y FN				6.14E-05	0.9356	0.0943	0.9733	3304.78	0.1204			0.1172	2.63%		
	C30P10-1	S				6.95E-05	0.9125	0.1047	0.9640	3268.58	0.1118	0.1155	3.31%	0.1160	3.77%		
		FN				6.13E-05	0.9297	0.0982	0.9718	2515.65	0.0889	0.0911	2.41%	0.0910	2.31%		
		S y FN				6.49E-05	0.9220	0.1010	0.9684	3268.58	0.1128			0.1160	2.92%		
	P10-1	S				(1)	6.59E-05	0.9230	0.1026	0.9655							
		FN				(2)	6.07E-05	0.9340	0.0919	0.9751							
		S y FN				(3)	6.29E-05	0.9293	0.0976	0.9708							

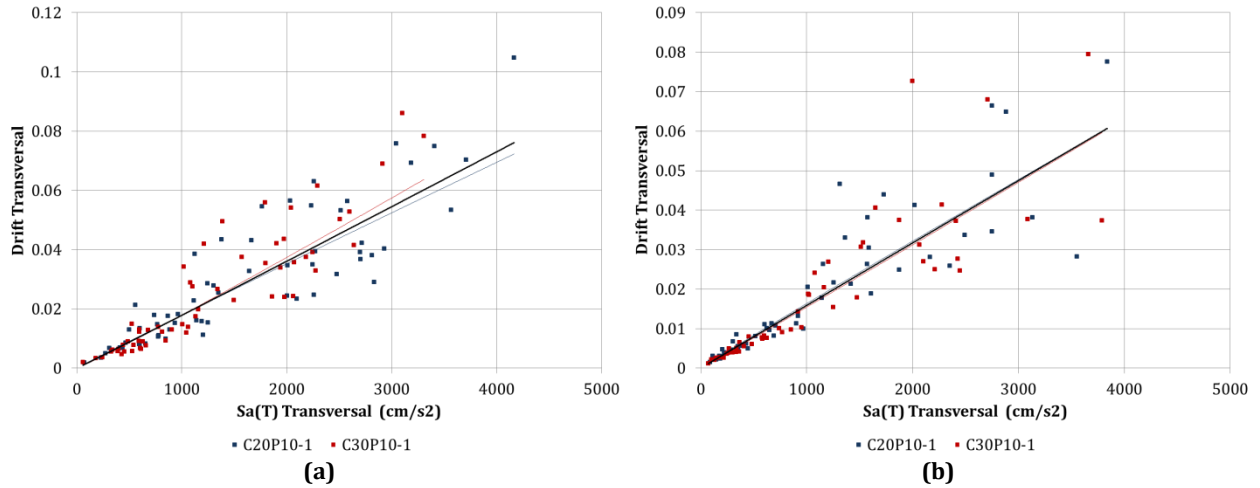


Figura A. 87 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

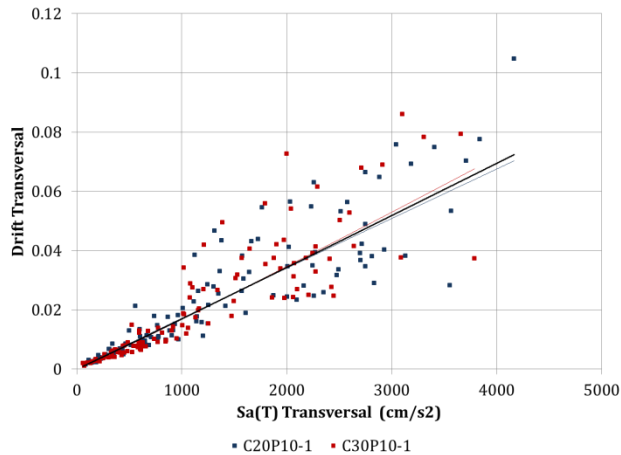


Figura A. 88 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Tabla A. 44 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P10-1	S	$Sa(T)$	Δ	Original	2.06E-05	0.9792	0.1374	0.9307	4167.95	0.0723	0.0762	5.28%	0.0724	0.15%
		FN				1.95E-05	0.9747	0.1258	0.9589	3838.19	0.0607	0.0607	0.01%	0.0666	9.76%
		S y FN				1.87E-05	0.9874	0.1325	0.9483	4167.95	0.0704			0.0724	2.97%
	C30P10-1	S				1.19E-05	1.0598	0.1426	0.9336	3306.30	0.0637	0.0602	5.50%	0.0572	10.11%
		FN				1.40E-05	1.0142	0.1177	0.9681	3787.84	0.0596	0.0599	0.52%	0.0657	10.31%
		S y FN				1.23E-05	1.0455	0.1344	0.9521	3787.84	0.0676			0.0657	2.78%
P10-1	S	(1)	1.59E-05	1.0170	0.1395	0.9323									
	FN	(2)	1.63E-05	0.9965	0.1218	0.9632									
	S y FN	(3)	1.51E-05	1.0172	0.1334	0.9502									

A.2.2.3. Grupo P10-2

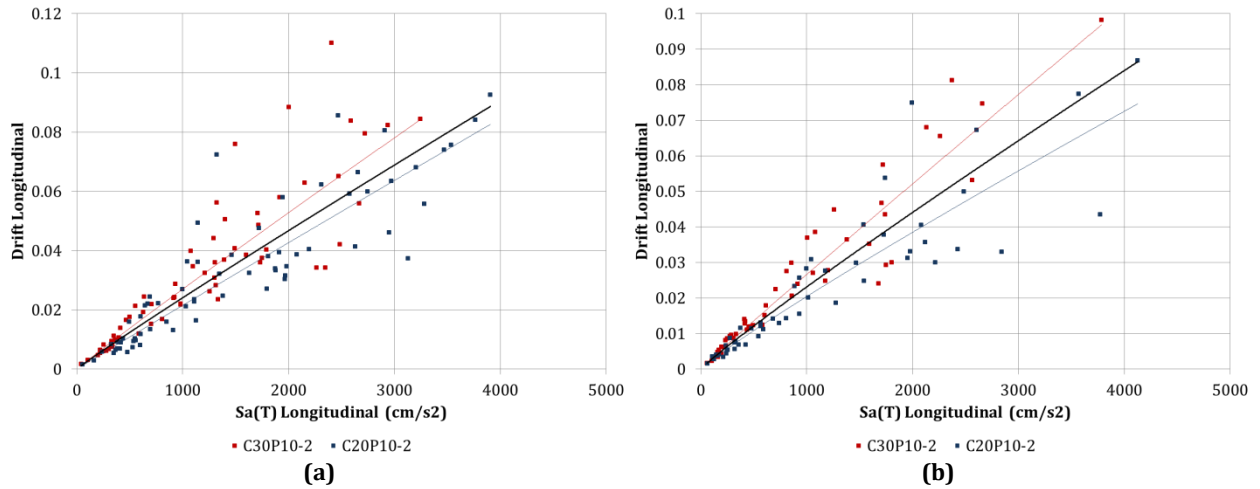


Figura A. 89 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

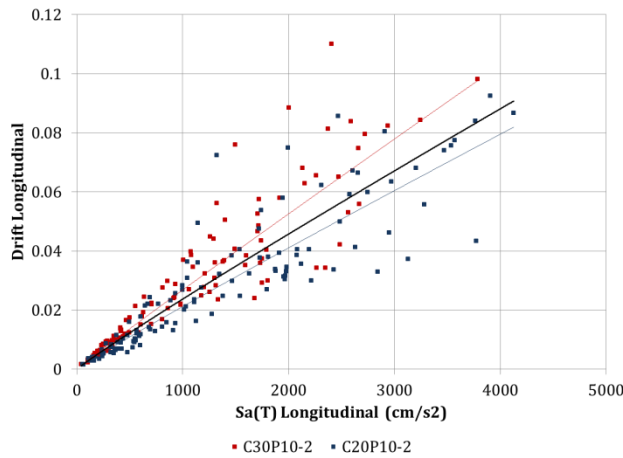


Figura A. 90 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Tabla A. 45 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
	C20P10-2	S	$Sa(T)$	Δ	Original	2.35E-05	0.9871	0.1319	0.9428	3907.56	0.0827	0.0887	7.29%	0.0862	4.29%
		FN				3.69E-05	0.9142	0.1085	0.9680	4125.92	0.0746	0.0864	15.83%	0.0908	21.62%
		S y FN				2.92E-05	0.9538	0.1226	0.9563	4125.92	0.0819			0.0908	10.81%
	C30P10-2	S				3.41E-05	0.9662	0.1096	0.9624	3244.07	0.0842	0.0742	11.86%	0.0723	14.18%
		FN				3.24E-05	0.9713	0.0912	0.9786	3784.12	0.0968	0.0798	17.62%	0.0836	13.62%
		S y FN				3.29E-05	0.9704	0.1010	0.9713	3784.12	0.0976			0.0836	14.31%
P10-2	S	(1)	3.26E-05	0.9563	0.1302	0.9446									
	FN	(2)	3.75E-05	0.9301	0.1127	0.9656									
	S y FN	(3)	3.44E-05	0.9465	0.1227	0.9564									

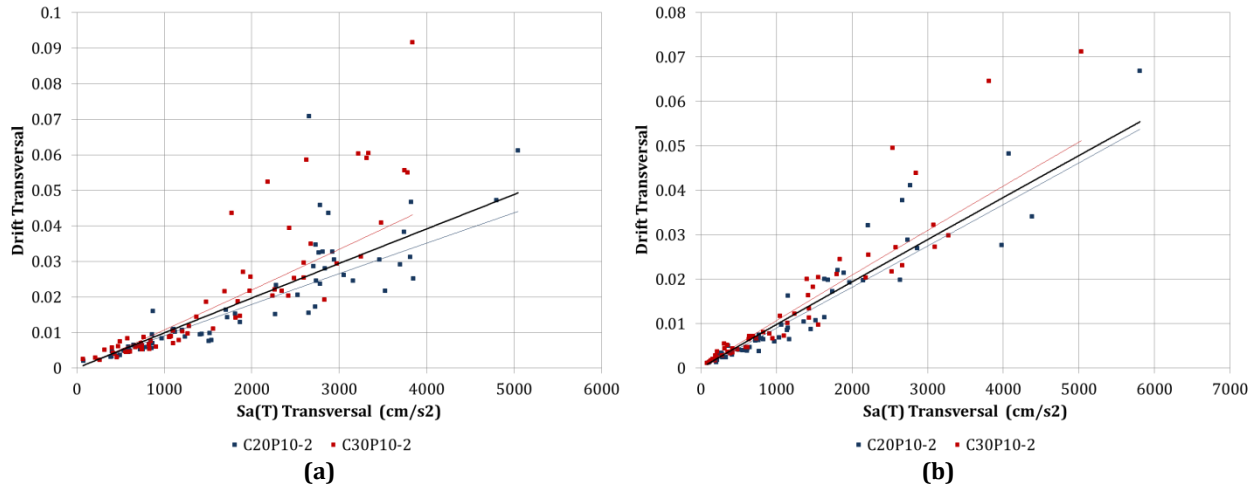


Figura A. 91 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

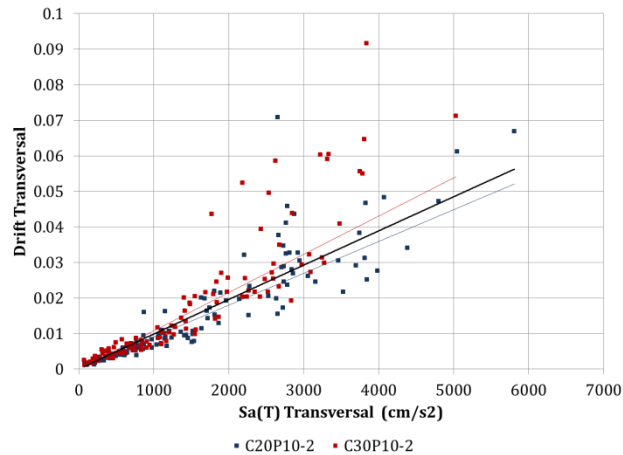


Figura A. 92 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Tabla A. 46 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P10-2	S	$Sa(T)$	Δ	Original	1.10E-05	0.9728	0.1412	0.9261	5047.07	0.0441	0.0493	11.85%	0.0490	11.02%
		FN				8.04E-06	1.0163	0.1210	0.9614	5808.50	0.0538	0.0554	3.08%	0.0563	4.57%
		S y FN				9.23E-06	0.9967	0.1315	0.9481	5808.50	0.0521			0.0563	8.00%
	C30P10-2	S				8.54E-06	1.0332	0.1644	0.9144	3840.01	0.0431	0.0376	12.76%	0.0374	13.36%
		FN				1.32E-05	0.9695	0.1133	0.9681	5031.85	0.0512	0.0481	5.95%	0.0488	4.65%
		S y FN				1.09E-05	0.9985	0.1433	0.9435	5031.85	0.0541			0.0488	9.85%
P10-2	S	(1)	1.06E-05	0.9905	0.1575	0.9137									
	FN	(2)	1.09E-05	0.9844	0.1228	0.9605									
	S y FN	(3)	1.07E-05	0.9887	0.1424	0.9412									

A.2.2.4. Grupo P10-3

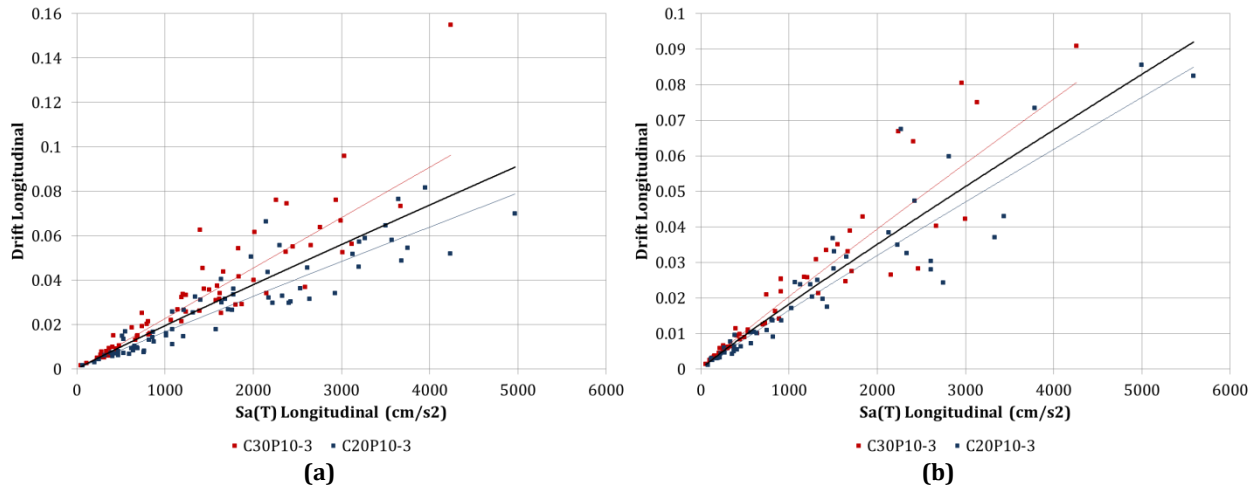


Figura A. 93 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

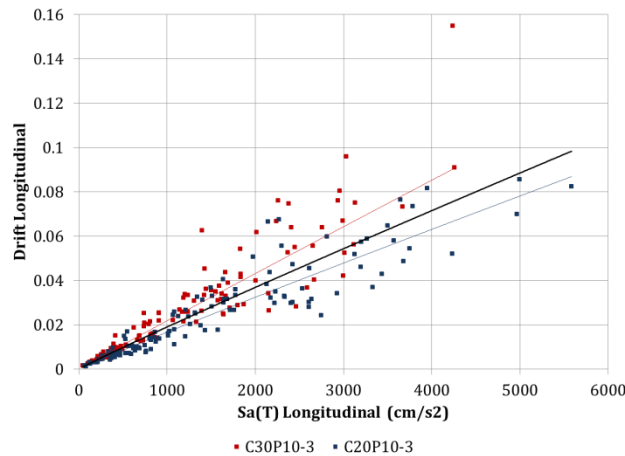


Figura A. 94 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Tabla A. 47 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
	C20P10-3	S	$Sa(T)$	Δ	Original	2.13E-05	0.9652	0.1163	0.9520	4967.89	0.0788	0.0909	15.37%	0.0880	11.65%
		FN				2.31E-05	0.9515	0.1090	0.9712	5582.87	0.0849	0.0920	8.35%	0.0984	15.84%
		S y FN				2.21E-05	0.9594	0.1123	0.9638	5582.87	0.0869			0.0984	13.19%
	C30P10-3	S				2.29E-05	0.9989	0.1061	0.9666	4240.22	0.0963	0.0781	18.91%	0.0757	21.48%
		FN				2.94E-05	0.9472	0.0916	0.9789	4257.10	0.0806	0.0713	11.50%	0.0759	5.80%
		S y FN				2.47E-05	0.9821	0.1019	0.9725	4257.10	0.0907			0.0759	16.24%
P10-3	S	(1)	2.61E-05	0.9585	0.1292	0.9449									
	FN	(2)	2.81E-05	0.9383	0.1100	0.9694									
	S y FN	(3)	2.61E-05	0.9544	0.1216	0.9588									

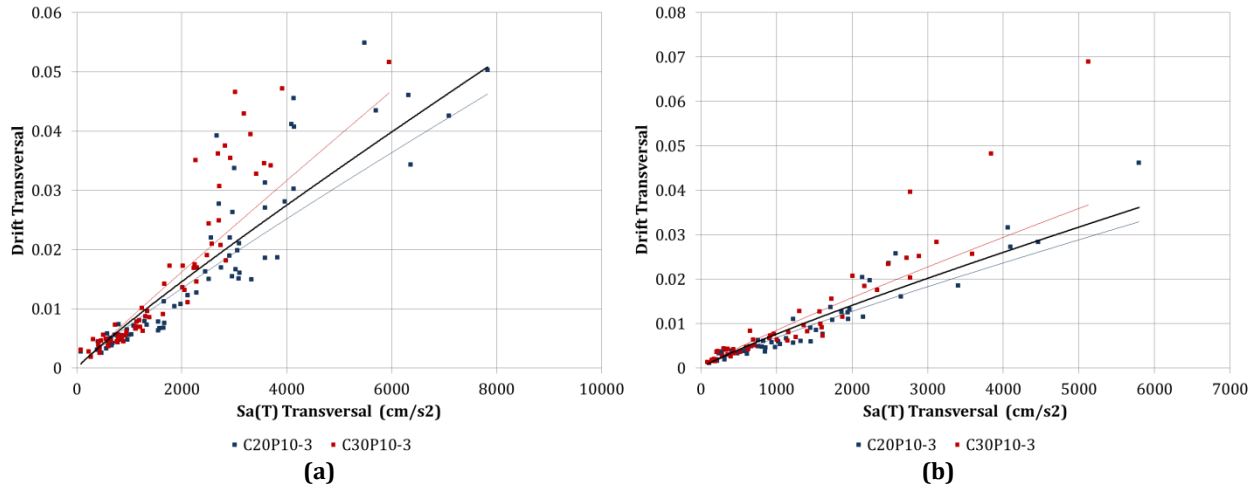


Figura A. 95 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

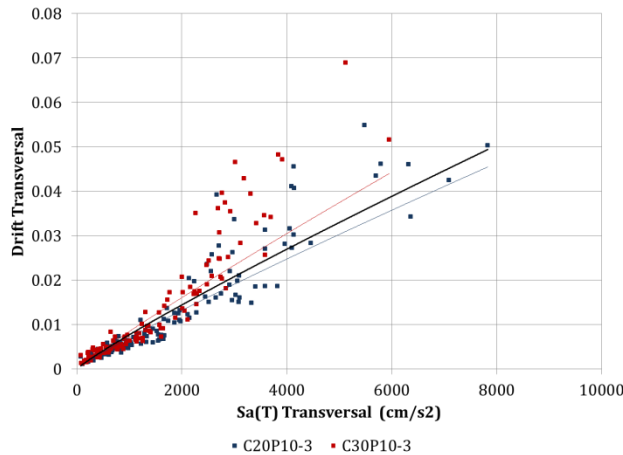


Figura A. 96 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Tabla A. 48 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P10-3	S	$Sa(T)$	Δ	Original	1.39E-05	0.9047	0.1431	0.9238	7829.88	0.0463	0.0508	9.88%	0.0494	6.80%
		FN				1.47E-05	0.8903	0.1136	0.9556	5792.35	0.0329	0.0361	9.81%	0.0377	14.42%
		S y FN				1.36E-05	0.9054	0.1305	0.9441	7829.88	0.0455			0.0494	8.62%
	C30P10-3	S				1.07E-05	0.9642	0.1561	0.9142	5952.03	0.0465	0.0396	14.82%	0.0386	16.90%
		FN				1.78E-05	0.8934	0.1270	0.9527	5124.68	0.0367	0.0324	11.69%	0.0337	8.18%
		S y FN				1.44E-05	0.9231	0.1435	0.9350	5952.03	0.0440			0.0386	12.28%
P10-3	S	(1)	1.40E-05	0.9145	0.1532	0.9140									
	FN	(2)	1.71E-05	0.8833	0.1281	0.9469									
	S y FN	(3)	1.53E-05	0.9011	0.1423	0.9341									

A.2.3. MODELOS CON PILAS $h = 15\text{ m}$

A.2.3.1. Grupo P15-0

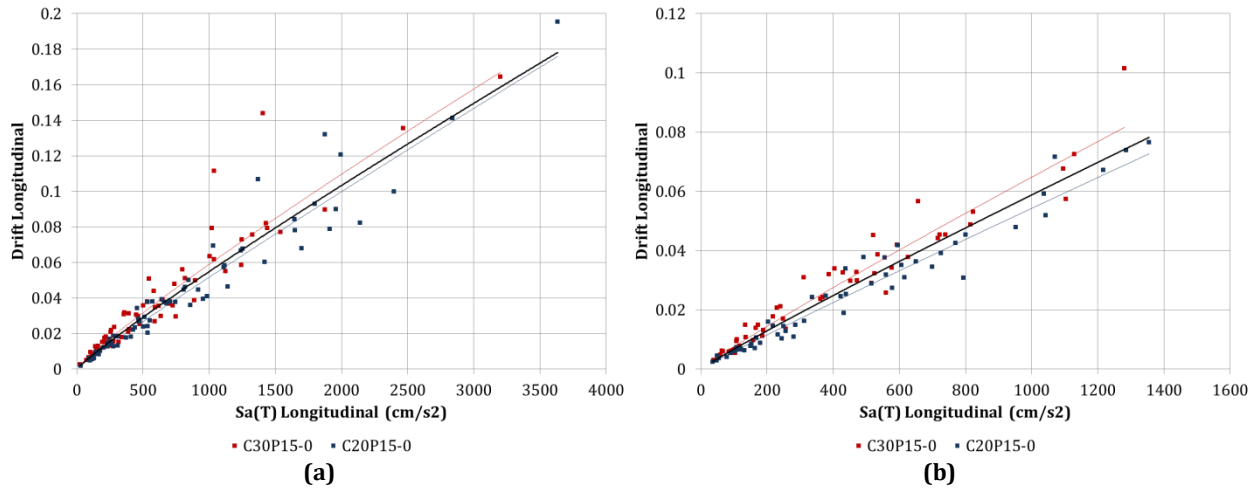


Figura A. 97 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

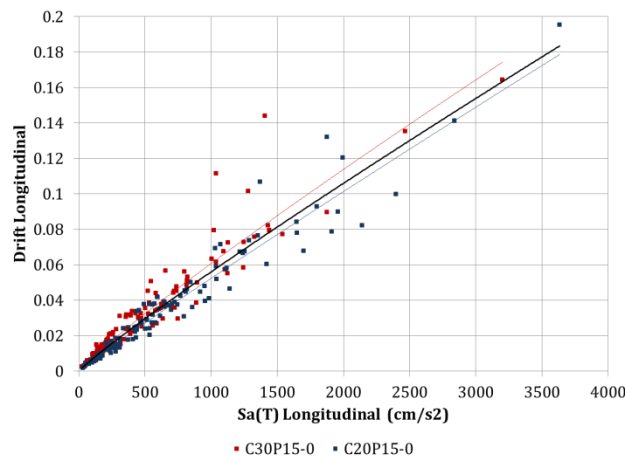


Figura A. 98 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Tabla A. 49 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial									
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Original	C20P15-0	S	Sa(T)	Δ	Original	7.34E-05	0.9493	0.0704	0.9852	3633.16	0.1760	0.1781	1.24%	0.1835	4.28%
		FN				7.04E-05	0.9624	0.0747	0.9828	1354.54	0.0727	0.0782	7.63%	0.0741	1.94%
		S y FN				7.42E-05	0.9498	0.0721	0.9850	3633.16	0.1787			0.1835	2.71%
	C30P15-0	S				1.22E-04	0.8949	0.0897	0.9724	3202.66	0.1671	0.1588	4.99%	0.1634	2.21%
		FN				1.02E-04	0.9339	0.0761	0.9805	1280.58	0.0816	0.0742	9.10%	0.0704	13.80%
		S y FN				1.17E-04	0.9055	0.0844	0.9763	3202.66	0.1744			0.1634	6.28%
P15-0	S	(1)	1.00E-04	0.9125	0.0889	0.9743									
	FN	(2)	8.86E-05	0.9406	0.0882	0.9744									
	S y FN	(3)	9.80E-05	0.9192	0.0888	0.9754									

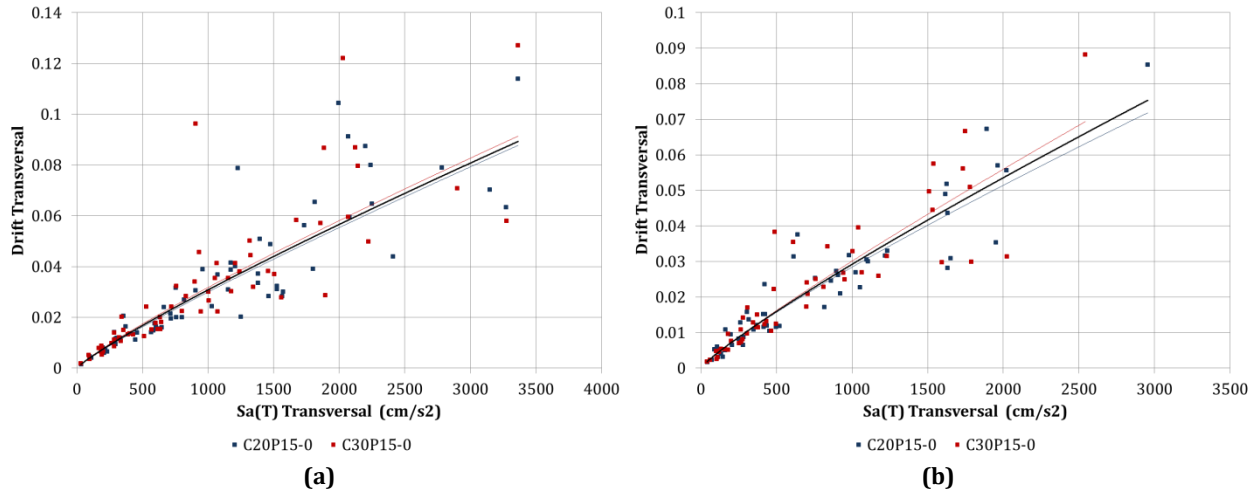


Figura A. 99 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

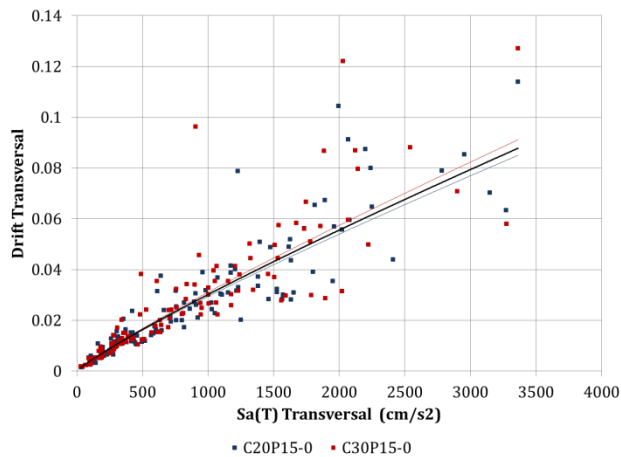


Figura A. 100 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Tabla A. 50 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

		Curva de ajuste: Potencial													
Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P15-0	S	Sa(T)	Δ	Original	6.57E-05	0.8863	0.1159	0.9556	3363.72	0.0878	0.0893	1.76%	0.0878	0.07%
		FN				7.68E-05	0.8560	0.1235	0.9506	2955.20	0.0718	0.0754	4.90%	0.0783	9.06%
		S y FN				6.92E-05	0.8759	0.1187	0.9550	3363.72	0.0850			0.0878	3.26%
	C30P15-0	S				7.74E-05	0.8710	0.1302	0.9430	3363.87	0.0914	0.0893	2.28%	0.0878	3.90%
		FN				6.24E-05	0.8944	0.1238	0.9530	2541.15	0.0693	0.0660	4.74%	0.0686	1.06%
		S y FN				6.75E-05	0.8876	0.1272	0.9490	3363.87	0.0911			0.0878	3.65%
P15-0	S	(1)	7.22E-05	0.8769	0.1230	0.9487									
	FN	(2)	6.95E-05	0.8745	0.1229	0.9515									
	S y FN	(3)	6.89E-05	0.8805	0.1230	0.9516									

A.2.3.2. Grupo P15-1

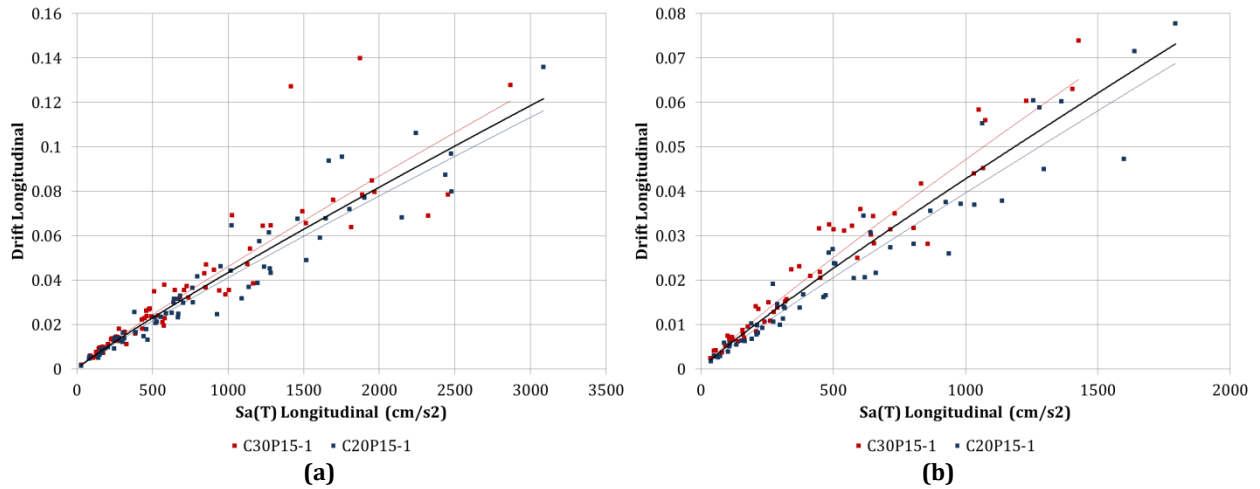


Figura A. 101 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

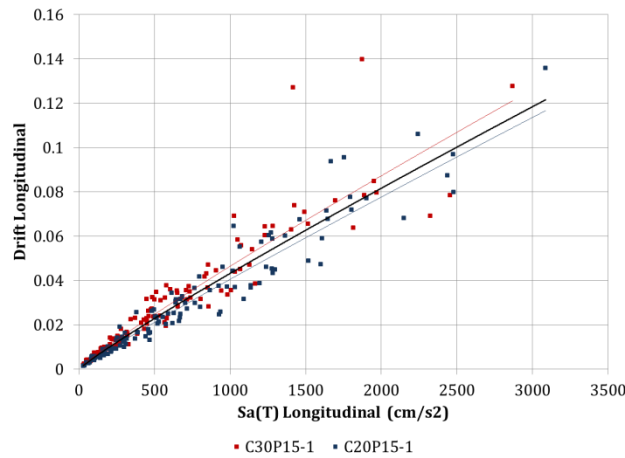


Figura A. 102 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

Tabla A. 51 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
	C20P15-1	S	$Sa(T)$	Δ	Original	7.02E-05	0.9226	0.0800	0.9796	3085.23	0.1163	0.1217	4.66%	0.1216	4.54%
		FN				5.82E-05	0.9445	0.0821	0.9797	1794.05	0.0689	0.0732	6.32%	0.0739	7.36%
		S y FN				6.23E-05	0.9379	0.0812	0.9803	3085.23	0.1167			0.1216	4.21%
	C30P15-1	S				8.37E-05	0.9137	0.0881	0.9740	2868.39	0.1208	0.1139	5.73%	0.1137	5.86%
		FN				8.67E-05	0.9117	0.0738	0.9814	1427.06	0.0652	0.0593	8.98%	0.0599	8.09%
		S y FN				8.66E-05	0.9098	0.0816	0.9784	2868.39	0.1212			0.1137	6.15%
P15-1	S	(1)	7.87E-05	0.9141	0.0875	0.9745									
	FN	(2)	7.57E-05	0.9175	0.0899	0.9736									
	S y FN	(3)	7.64E-05	0.9177	0.0883	0.9755									

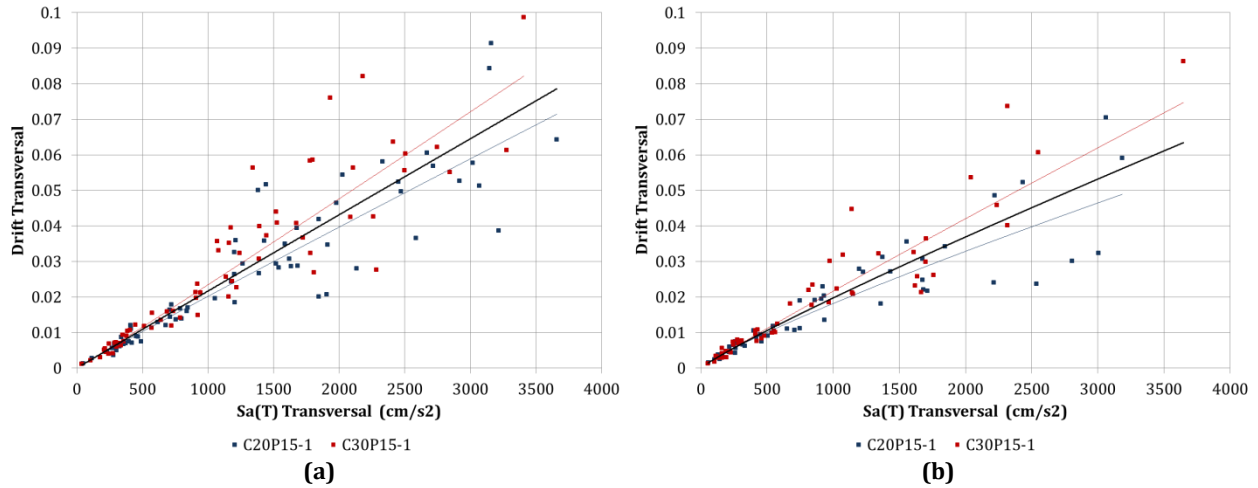


Figura A. 103 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

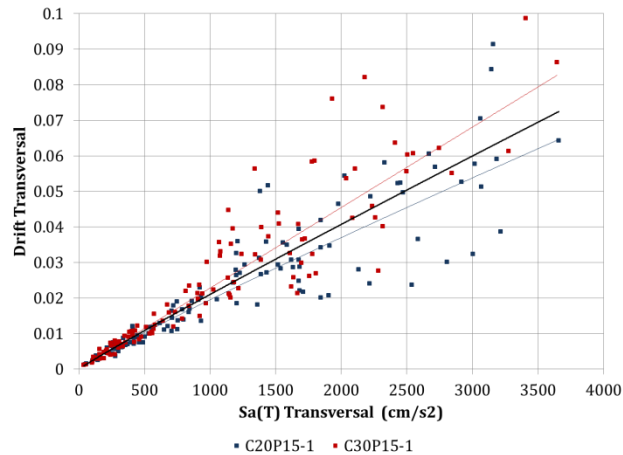


Figura A. 104 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

Tabla A. 52 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	$\frac{PDI(1)}{PDI(2)}$	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P15-1	S	$Sa(T)$	Δ	Original	2.41E-05	0.9743	0.1045	0.9653	3657.41	0.0714	0.0786	9.97%	0.0724	1.41%	
		FN				4.94E-05	0.8551	0.0992	0.9688	3184.25	0.0489	0.0561	14.79%	0.0635	29.81%	
		S y FN				3.32E-05	0.9229	0.1057	0.9659	3657.41	0.0646			0.0724	12.16%	
	C30P15-1	S				2.01E-05	1.0226	0.1051	0.9694	3408.30	0.0822	0.0733	10.85%	0.0677	17.58%	
		FN				2.91E-05	0.9572	0.1021	0.9724	3645.57	0.0747	0.0634	15.09%	0.0722	3.30%	
		S y FN				2.34E-05	0.9961	0.1045	0.9711	3645.57	0.0827			0.0722	12.65%	
	P15-1	S				(1)	2.29E-05	0.9923	0.1091	0.9642						
		FN				(2)	3.88E-05	0.9021	0.1058	0.9670						
		S y FN				(3)	2.87E-05	0.9546	0.1098	0.9655						

A.2.3.3. Grupo P15-2

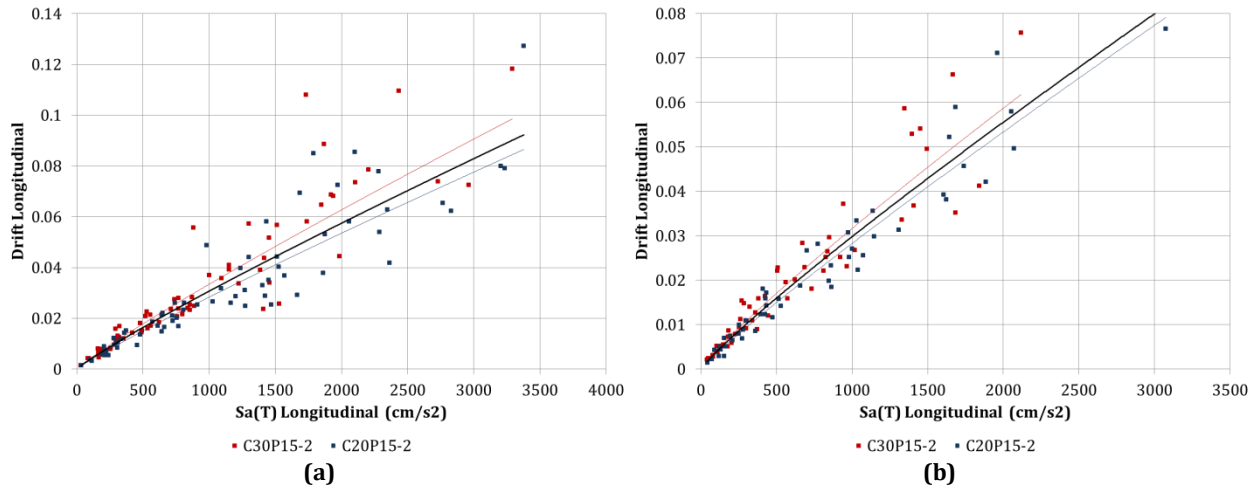


Figura A. 105 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

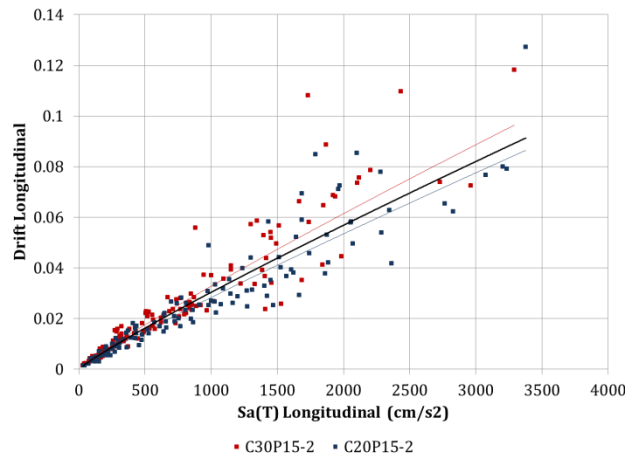


Figura A. 106 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Tabla A. 53 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Original	C20P15-2	S	Sa(T)	Δ	Original	5.04E-05	0.9168	0.1021	0.9672	3376.26	0.0865	0.0923	6.66%	0.0913	5.53%
		FN				5.05E-05	0.9162	0.0839	0.9792	3073.68	0.0791	0.0818	3.32%	0.0838	5.97%
		S y FN				5.04E-05	0.9167	0.0939	0.9737	3376.26	0.0864			0.0913	5.63%
	C30P15-2	S				6.34E-05	0.9074	0.1015	0.9671	3291.18	0.0986	0.0902	8.53%	0.0892	9.50%
		FN				6.68E-05	0.8919	0.0892	0.9744	2118.11	0.0618	0.0585	5.32%	0.0599	3.11%
		S y FN				6.31E-05	0.9053	0.0961	0.9714	3291.18	0.0964			0.0892	7.48%
P15-2	S	(1)	5.97E-05	0.9039	0.1075	0.9627									
	FN	(2)	6.02E-05	0.8982	0.0905	0.9742									
	S y FN	(3)	5.89E-05	0.9041	0.1003	0.9692									

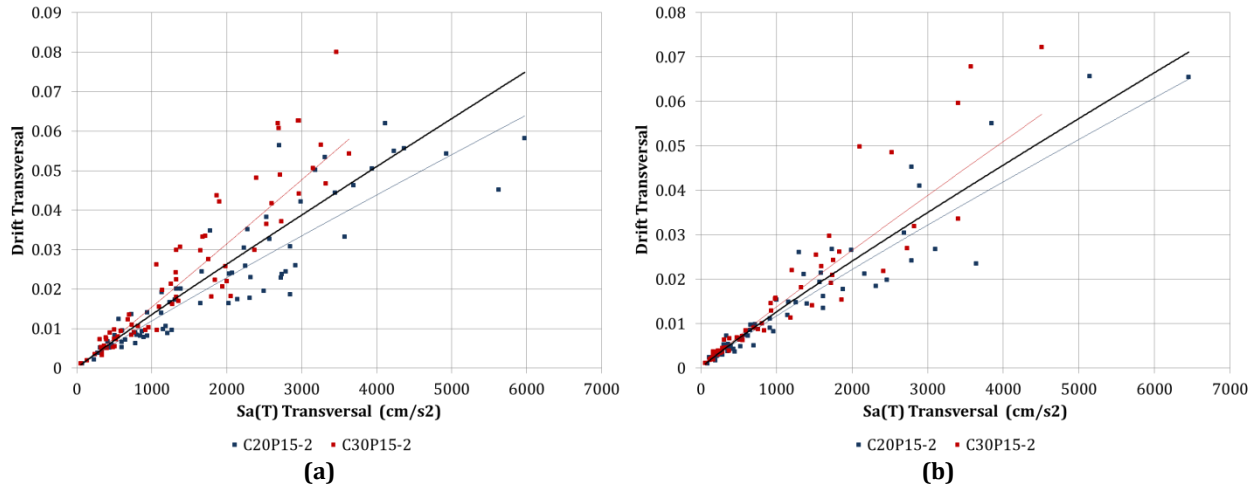


Figura A. 107 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

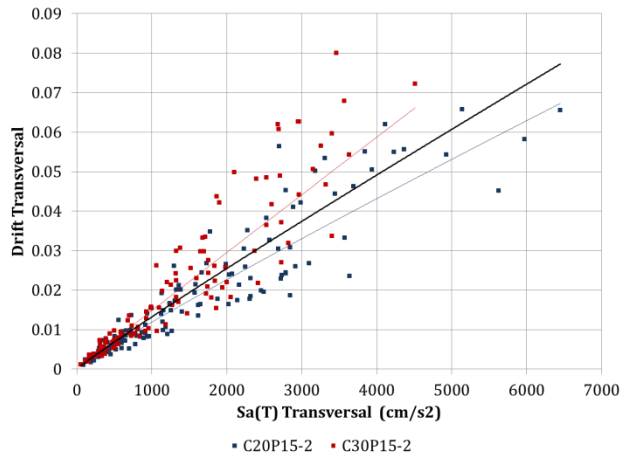


Figura A. 108 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Tabla A. 54 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P15-2	S	$Sa(T)$	Δ	Original	1.84E-05	0.9372	0.1195	0.9485	5976.22	0.0639	0.0749	17.31%	0.0719	12.55%
		FN				2.06E-05	0.9184	0.1117	0.9664	6450.42	0.0650	0.0711	9.37%	0.0773	18.84%
		S y FN				1.93E-05	0.9300	0.1154	0.9600	6450.42	0.0673			0.0773	14.84%
	C30P15-2	S				1.30E-05	1.0251	0.1168	0.9592	3630.72	0.0580	0.0465	19.76%	0.0448	22.68%
		FN				2.01E-05	0.9449	0.1011	0.9745	4510.49	0.0571	0.0511	10.60%	0.0551	3.63%
		S y FN				1.55E-05	0.9934	0.1129	0.9663	4510.49	0.0662			0.0551	16.78%
P15-2	S	(1)	1.84E-05	0.9561	0.1324	0.9414									
	FN	(2)	2.12E-05	0.9253	0.1109	0.9675									
	S y FN	(3)	1.90E-05	0.9475	0.1240	0.9562									

A.2.3.4. Grupo P15-3

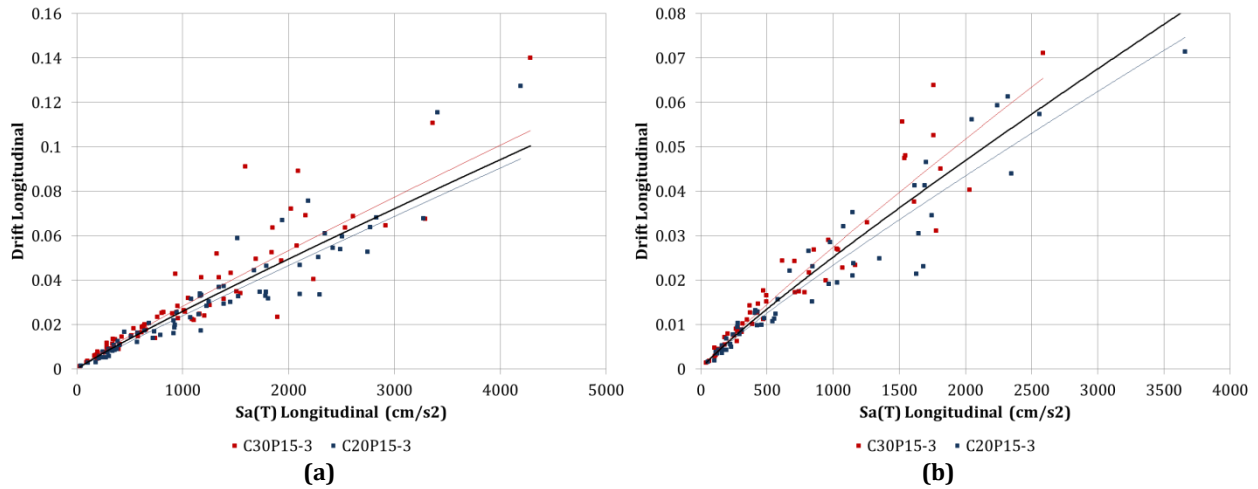


Figura A. 109 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

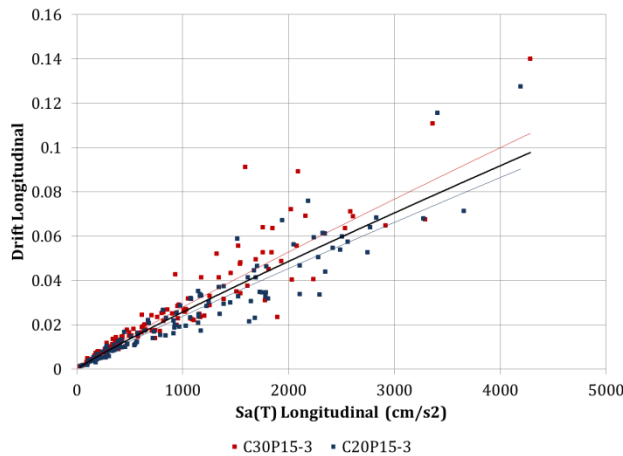


Figura A. 110 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

Tabla A. 55 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Longitudinal	C20P15-3	S	$Sa(T)$	Δ	Original	3.23E-05	0.9573	0.0927	0.9737	4194.46	0.0947	0.0985	4.03%	0.0959	1.26%
		FN				4.86E-05	0.8943	0.0944	0.9729	3658.80	0.0746	0.0808	8.23%	0.0846	13.39%
		S y FN				3.92E-05	0.9284	0.0936	0.9740	4194.46	0.0904			0.0959	6.09%
	C30P15-3	S				5.01E-05	0.9172	0.1033	0.9681	4284.26	0.1073	0.1005	6.37%	0.0978	8.89%
		FN				4.94E-05	0.9150	0.0818	0.9796	2585.33	0.0655	0.0591	9.67%	0.0616	5.97%
		S y FN				4.89E-05	0.9191	0.0941	0.9742	4284.26	0.1065			0.0978	8.15%
P15-3	S	(1)	4.28E-05	0.9281	0.1047	0.9662									
	FN	(2)	5.11E-05	0.8978	0.0933	0.9730									
	S y FN	(3)	4.59E-05	0.9165	0.0998	0.9704									

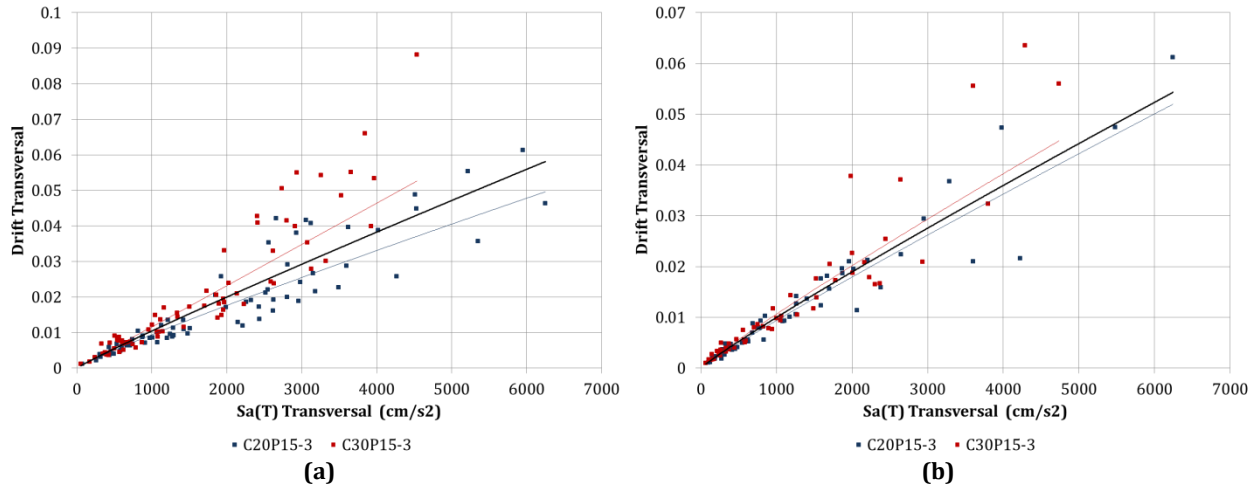


Figura A. 111 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

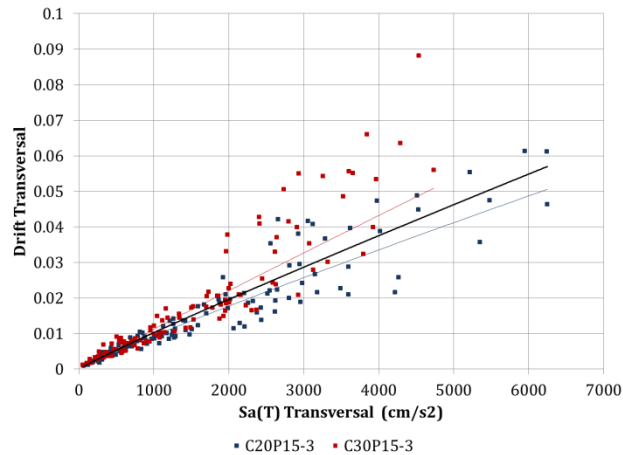


Figura A. 112 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

Tabla A. 56 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P15-3	S	$Sa(T)$	Δ	Original	1.78E-05	0.9078	0.1079	0.9561	6248.23	0.0496	0.0581	17.14%	0.0570	14.91%	
		FN				1.48E-05	0.9345	0.0938	0.9755	6244.79	0.0520	0.0543	4.51%	0.0570	9.60%	
		S y FN				1.62E-05	0.9208	0.1014	0.9680	6248.23	0.0506			0.0570	12.69%	
	C30P15-3	S				1.16E-05	1.0003	0.1196	0.9547	4535.21	0.0526	0.0430	18.22%	0.0422	19.77%	
		FN				1.79E-05	0.9242	0.1003	0.9740	4736.20	0.0448	0.0421	6.01%	0.0440	1.74%	
		S y FN				1.39E-05	0.9698	0.1134	0.9646	4736.20	0.0509			0.0440	13.61%	
	P15-3	S				(1)	1.62E-05	0.9365	0.1254	0.9448						
		FN				(2)	1.68E-05	0.9248	0.1001	0.9726						
		S y FN				(3)	1.59E-05	0.9361	0.1152	0.9608						

A.2.4. MODELOS CON PILAS $h = 20\text{ m}$

A.2.4.1. Grupo P20-0

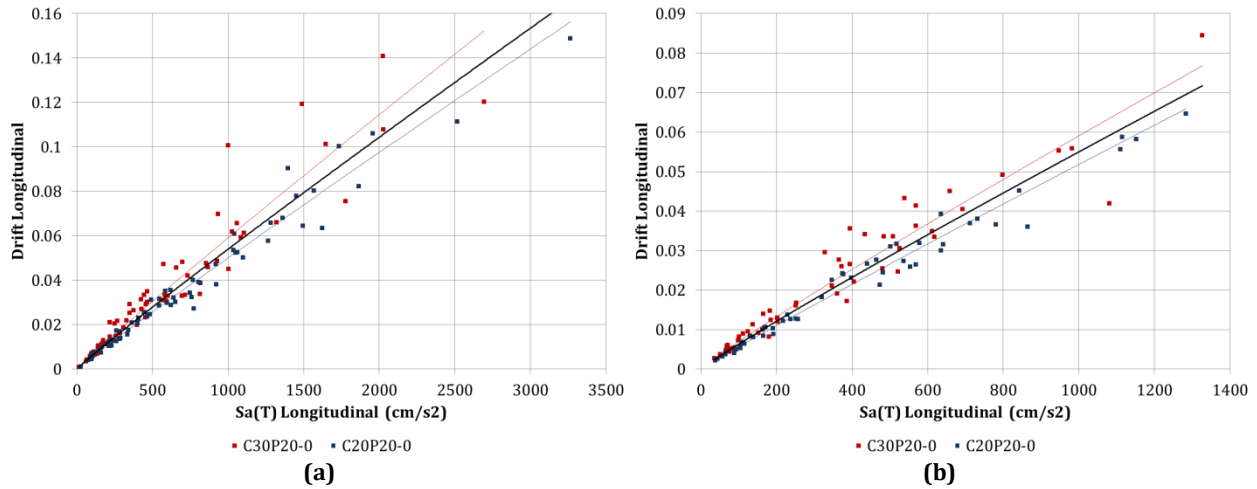


Figura A. 113 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

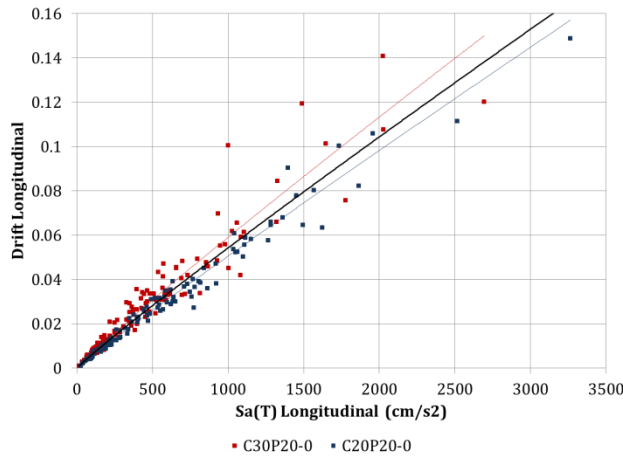


Figura A. 114 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Tabla A. 57 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial									
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
C20P20-0	S y FN	S	$Sa(T)$	Δ	Original	6.47E-05	0.9627	0.0535	0.9916	3262.89	0.1563	0.1663	6.40%	0.1656	5.98%
		FN				6.73E-05	0.9622	0.0456	0.9933	1283.57	0.0659	0.0696	5.57%	0.0687	4.26%
		S y FN				6.76E-05	0.9579	0.0504	0.9926	3262.89	0.1570			0.1656	5.48%
	C30P20-0	S				8.05E-05	0.9552	0.0786	0.9821	2694.19	0.1523	0.1386	8.98%	0.1383	9.20%
		FN				9.68E-05	0.9285	0.0751	0.9807	1326.48	0.0768	0.0718	6.57%	0.0709	7.73%
		S y FN				8.89E-05	0.9409	0.0770	0.9820	2694.19	0.1501			0.1383	7.86%
P20-0	S	(1)	7.57E-05	0.9512	0.0766	0.9826									
	FN	(2)	8.31E-05	0.9404	0.0730	0.9820									
	S y FN	(3)	8.04E-05	0.9431	0.0750	0.9831									

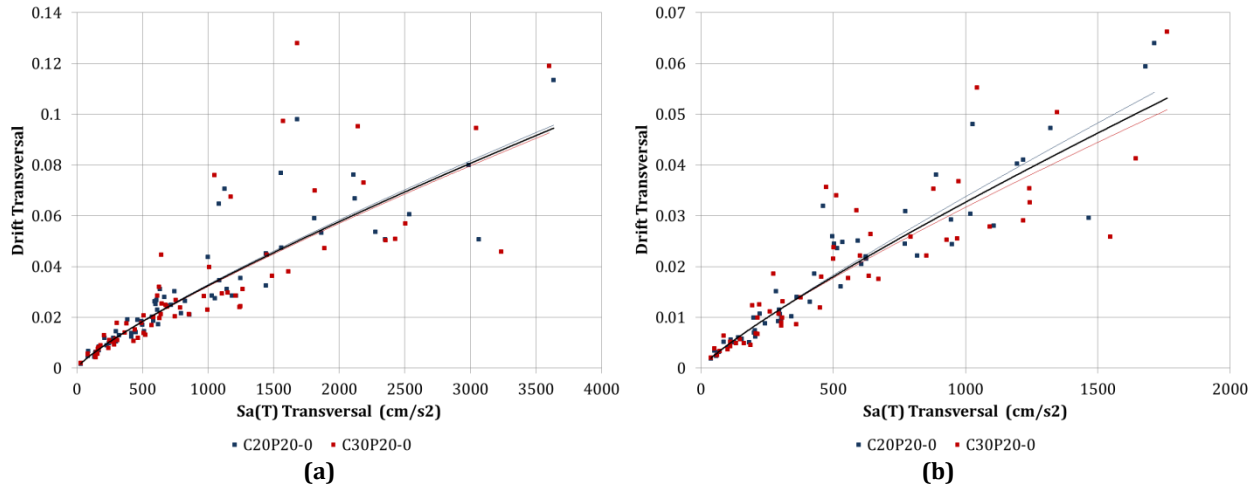


Figura A. 115 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

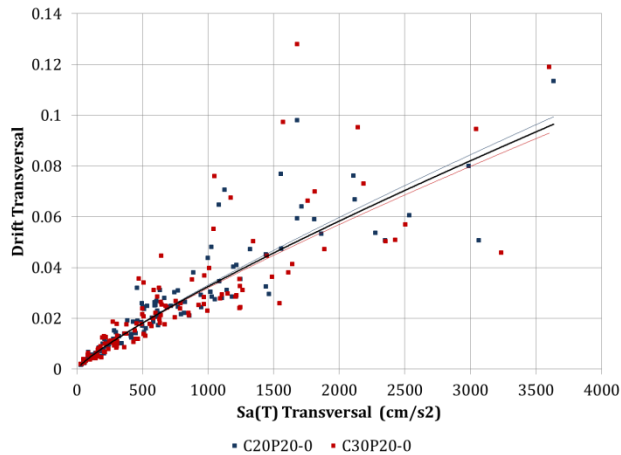


Figura A. 116 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Tabla A. 58 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	$PDI(1)_o$ PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P20-0	S	Sa(T)	Δ	Original	1.09E-04	0.8271	0.1020	0.9618	3633.78	0.0957	0.0945	1.25%	0.0965	0.80%
		FN				7.57E-05	0.8830	0.0948	0.9686	1713.24	0.0543	0.0519	4.41%	0.0512	5.73%
		S y FN				9.17E-05	0.8525	0.0989	0.9663	3633.78	0.0994			0.0965	2.97%
	C30P20-0	S				1.07E-04	0.8262	0.1377	0.9338	3600.43	0.0927	0.0938	1.22%	0.0957	3.30%
		FN				9.74E-05	0.8374	0.1309	0.9378	1761.87	0.0509	0.0532	4.49%	0.0524	2.99%
		S y FN				1.01E-04	0.8335	0.1338	0.9388	3600.43	0.0930			0.0957	2.96%
P20-0	S	(1)	1.08E-04	0.8265	0.1204	0.9474									
	FN	(2)	8.60E-05	0.8598	0.1137	0.9531									
	S y FN	(3)	9.63E-05	0.8428	0.1173	0.9523									

A.2.4.2. Grupo P20-1

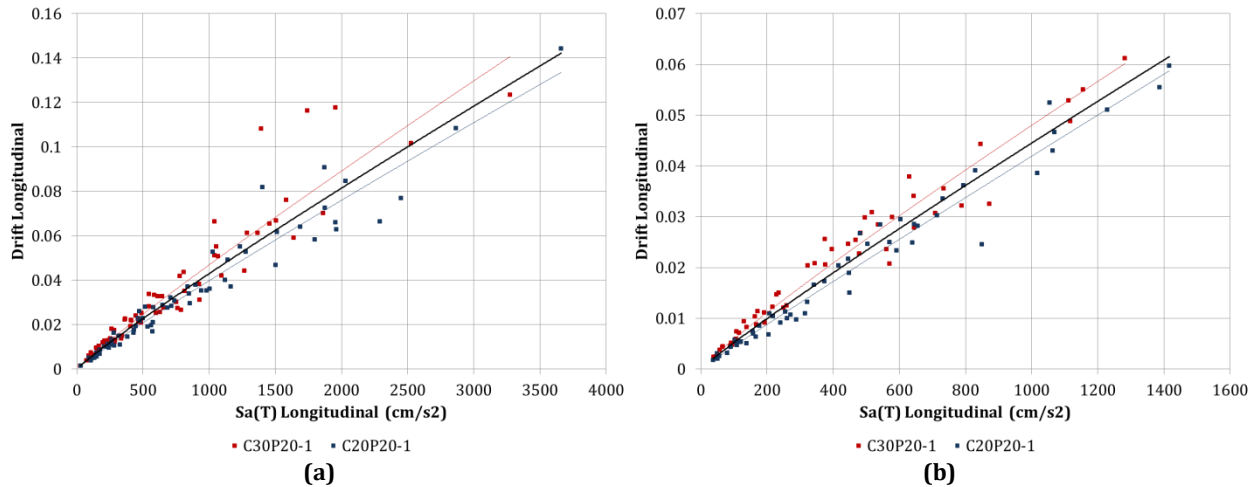


Figura A. 117 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

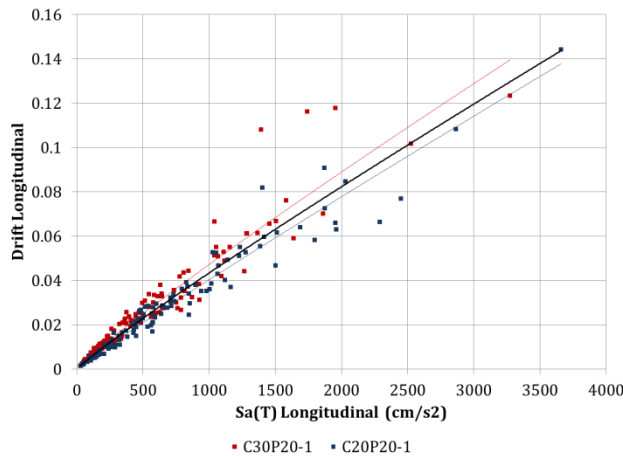


Figura A. 118 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Tabla A. 59 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Original	C20P20-1	S	$Sa(T)$	Δ	Original	6.31E-05	0.9333	0.0656	0.9867	3659.41	0.1336	0.1422	6.46%	0.1438	7.62%
		FN				5.16E-05	0.9699	0.0617	0.9884	1416.63	0.0588	0.0616	4.74%	0.0599	1.93%
		S y FN				5.87E-05	0.9459	0.0640	0.9881	3659.41	0.1378			0.1438	4.31%
	C30P20-1	S				7.84E-05	0.9257	0.0779	0.9811	3274.27	0.1407	0.1283	8.79%	0.1297	7.80%
		FN				9.05E-05	0.9082	0.0584	0.9878	1282.53	0.0602	0.0561	6.74%	0.0547	9.17%
		S y FN				8.60E-05	0.9133	0.0703	0.9843	3274.27	0.1396			0.1297	7.06%
P20-1	S	(1)	7.38E-05	0.9219	0.0805	0.9795									
	FN	(2)	7.17E-05	0.9310	0.0763	0.9804									
	S y FN	(3)	7.43E-05	0.9223	0.0787	0.9810									

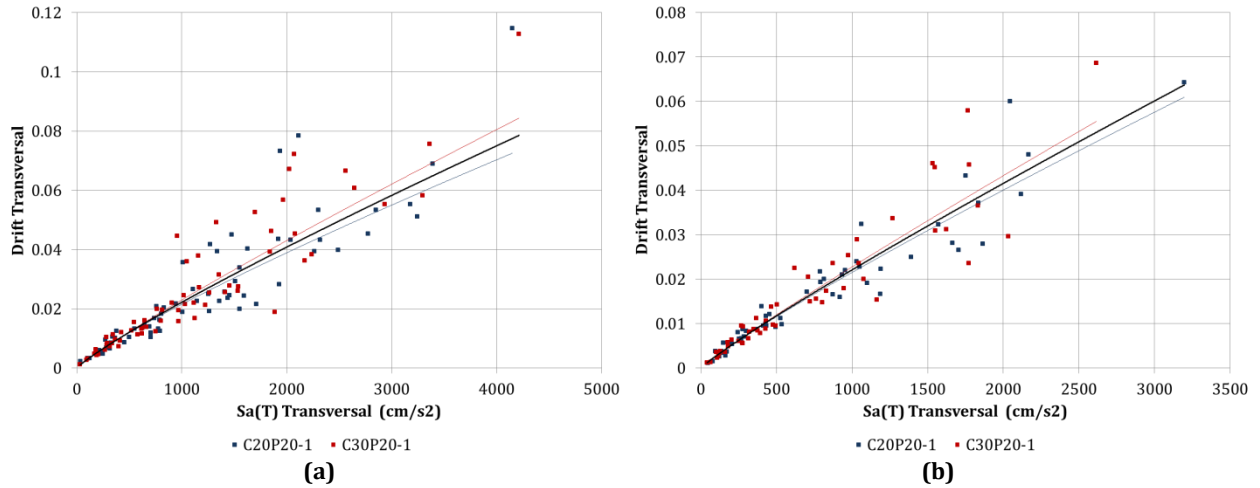


Figura A. 119 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

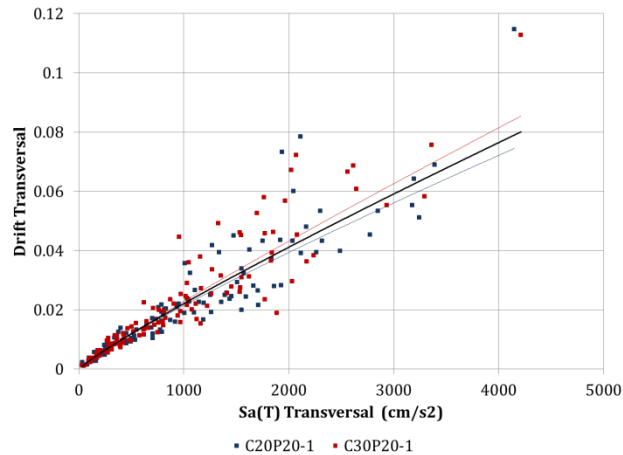


Figura A. 120 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Tabla A. 60 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P20-1	S	$Sa(T)$	Δ	Original	5.96E-05	0.8529	0.1103	0.9573	4148.32	0.0726	0.0775	6.81%	0.0790	8.89%
		FN				4.43E-05	0.8956	0.0884	0.9759	3195.96	0.0610	0.0637	4.50%	0.0626	2.63%
		S y FN				5.12E-05	0.8742	0.1011	0.9672	4148.32	0.0745			0.0790	6.06%
	C30P20-1	S				4.49E-05	0.9034	0.1076	0.9646	4213.47	0.0844	0.0786	6.92%	0.0801	5.08%
		FN				3.77E-05	0.9271	0.0976	0.9722	2616.01	0.0556	0.0531	4.42%	0.0523	5.83%
		S y FN				4.09E-05	0.9160	0.1028	0.9692	4213.47	0.0855			0.0801	6.25%
P20-1	S	(1)	5.19E-05	0.8773	0.1093	0.9604									
	FN	(2)	4.11E-05	0.9105	0.0928	0.9737									
	S y FN	(3)	4.60E-05	0.8942	0.1024	0.9677									

A.2.4.3. Grupo P20-2

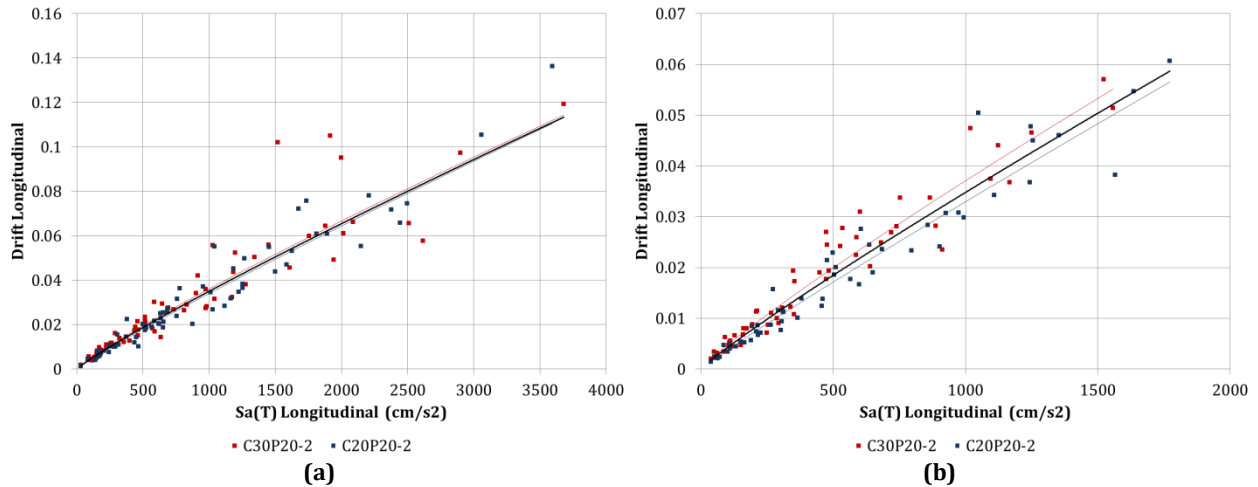


Figura A. 121 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

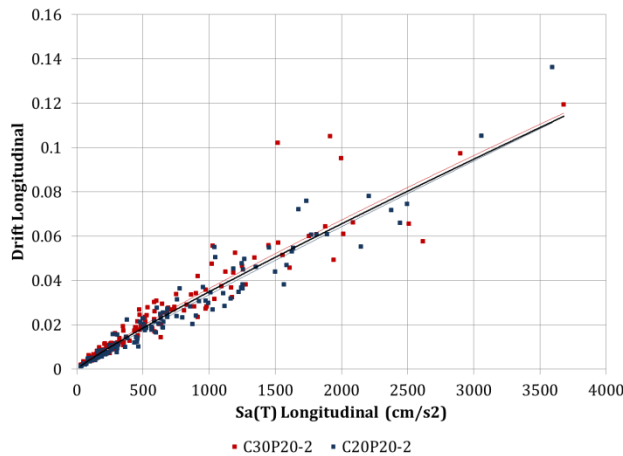


Figura A. 122 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Tabla A. 61 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Original	C20P20-2	S	Sa(T)	Δ	Original	5.90E-05	0.9205	0.0814	0.9795	3593.45	0.1105	0.1110	0.49%	0.1117	1.10%
		FN				4.88E-05	0.9433	0.0784	0.9813	1772.64	0.0566	0.0587	3.78%	0.0588	3.94%
		S y FN				5.24E-05	0.9357	0.0803	0.9810	3593.45	0.1113			0.1117	0.40%
	C30P20-2	S				8.03E-05	0.8844	0.0911	0.9723	3680.29	0.1143	0.1135	0.78%	0.1142	0.16%
		FN				7.66E-05	0.8951	0.0832	0.9759	1557.72	0.0551	0.0522	5.39%	0.0523	5.18%
		S y FN				7.97E-05	0.8866	0.0872	0.9753	3680.29	0.1156			0.1142	1.24%
P20-2	S	(1)	6.94E-05	0.9011	0.0879	0.9748									
	FN	(2)	6.34E-05	0.9132	0.0886	0.9739									
	S y FN	(3)	6.59E-05	0.9083	0.0879	0.9759									

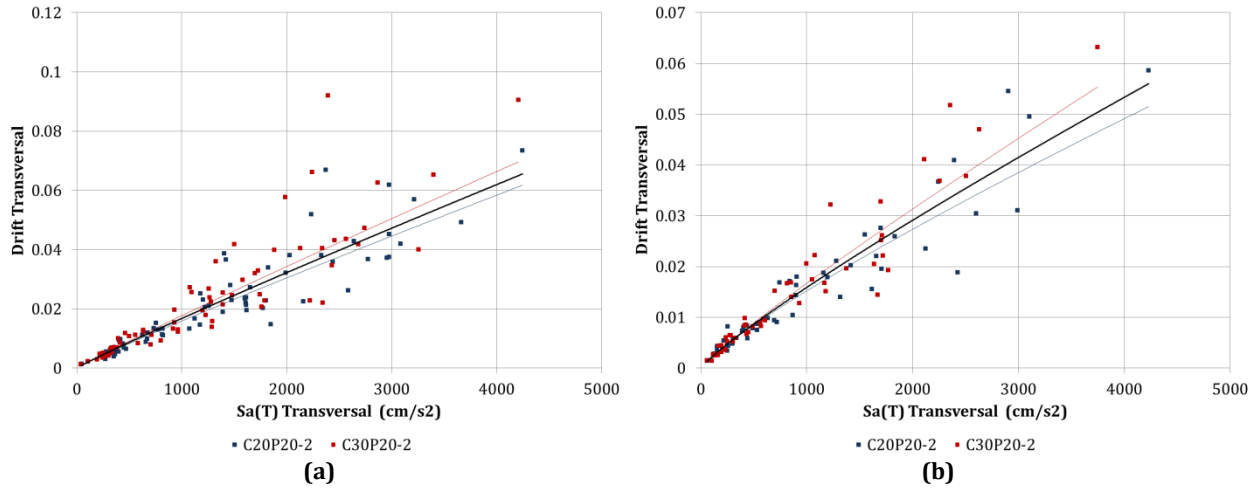


Figura A. 123 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

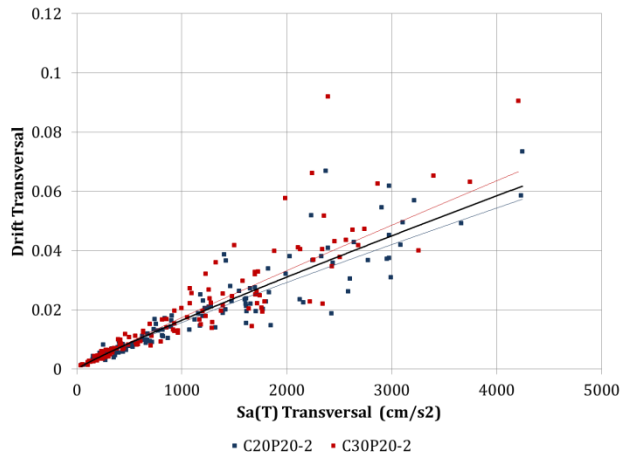


Figura A. 124 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Tabla A. 62 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P20-2	S	$Sa(T)$	Δ	Original	2.43E-05	0.9386	0.1061	0.9629	4244.35	0.0617	0.0655	6.15%	0.0618	0.05%	
		FN				4.40E-05	0.8461	0.0939	0.9724	4232.12	0.0515	0.0560	8.76%	0.0616	19.55%	
		S y FN				3.25E-05	0.8950	0.1022	0.9672	4244.35	0.0573			0.0618	7.70%	
	C30P20-2	S				2.47E-05	0.9519	0.1205	0.9559	4207.89	0.0696	0.0650	6.68%	0.0613	12.02%	
		FN				3.18E-05	0.9069	0.0934	0.9743	3748.24	0.0554	0.0504	8.96%	0.0551	0.41%	
		S y FN				2.71E-05	0.9356	0.1096	0.9652	4207.89	0.0667			0.0613	8.08%	
	P20-2	S				(1)	2.50E-05	0.9423	0.1152	0.9574						
		FN				(2)	3.80E-05	0.8737	0.0948	0.9722						
		S y FN				(3)	3.01E-05	0.9129	0.1077	0.9648						

A.2.4.4. Grupo P20-3

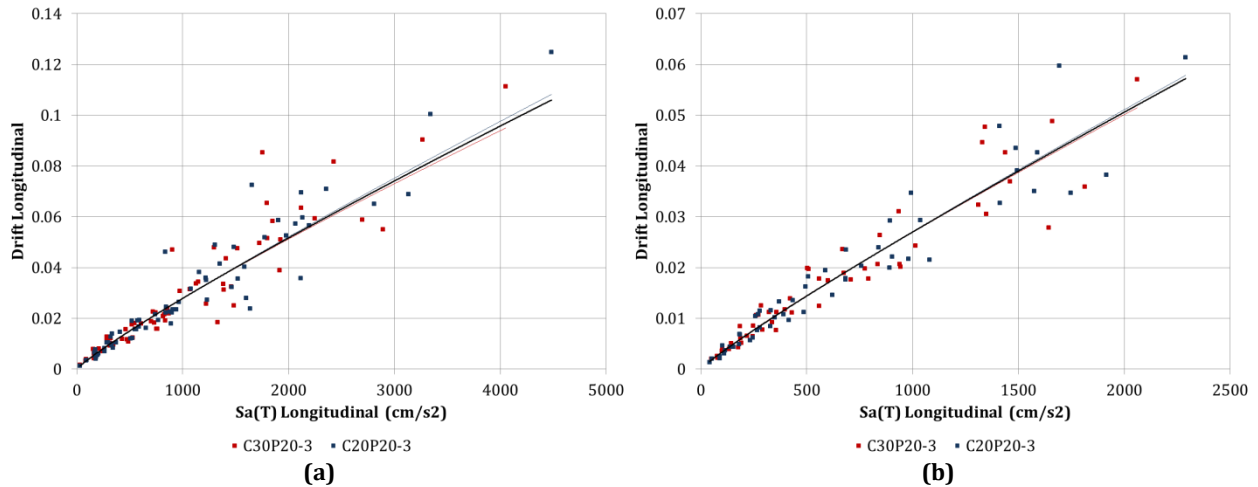


Figura A. 125 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

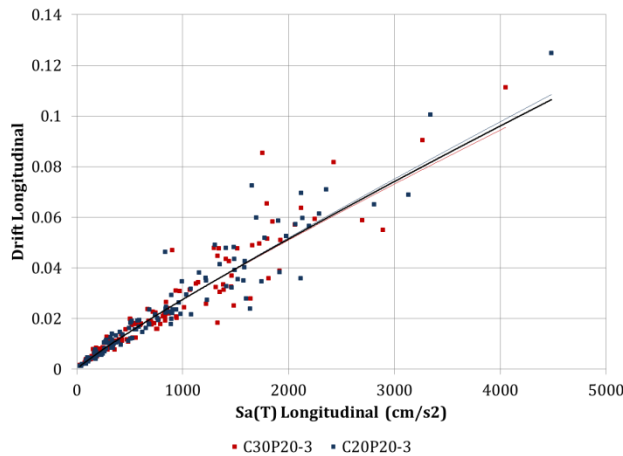


Figura A. 126 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Tabla A. 63 $Sa(T) - \Delta$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Original	C20P20-3	S	Sa(T)	Δ	Original	5.36E-05	0.9050	0.0916	0.9740	4481.87	0.1082	0.1060	2.04%	0.1064	1.60%
		FN				4.78E-05	0.9177	0.0809	0.9802	2289.69	0.0579	0.0572	1.11%	0.0581	0.41%
		S y FN				4.97E-05	0.9143	0.0868	0.9777	4481.87	0.1084			0.1064	1.84%
	C30P20-3	S				6.61E-05	0.8752	0.0977	0.9683	4052.03	0.0950	0.0969	1.97%	0.0972	2.31%
		FN				5.54E-05	0.8955	0.0832	0.9777	2061.71	0.0515	0.0520	1.03%	0.0528	2.63%
		S y FN				5.91E-05	0.8893	0.0917	0.9736	4052.03	0.0955			0.0972	1.76%
P20-3	S	(1)	5.96E-05	0.8900	0.0943	0.9711									
	FN	(2)	5.15E-05	0.9065	0.0815	0.9789									
	S y FN	(3)	5.43E-05	0.9017	0.0892	0.9756									

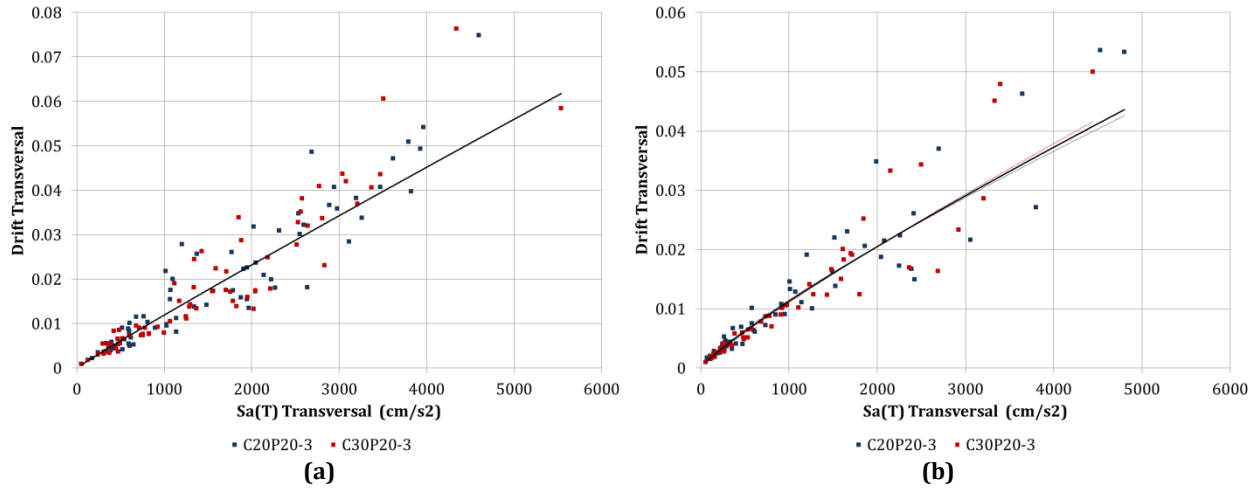


Figura A. 127 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

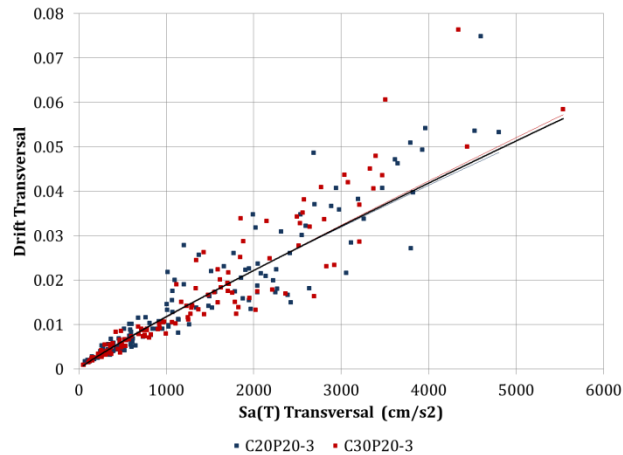


Figura A. 128 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Tabla A. 64 $Sa(T) - \Delta$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial												
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)			
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)			
Transversal	C20P20-3	S	$Sa(T)$	Δ	Original	1.57E-05	0.9602	0.1187	0.9513	4597.31	0.0517	0.0517	0.06%	0.0476	8.03%		
		FN				3.65E-05	0.8332	0.1050	0.9654	4802.24	0.0426	0.0436	2.36%	0.0495	16.12%		
		S y FN				2.43E-05	0.8972	0.1155	0.9574	4802.24	0.0488			0.0495	1.53%		
	C30P20-3	S				1.58E-05	0.9597	0.1091	0.9622	5538.14	0.0618	0.0618	0.08%	0.0564	8.67%		
		FN				2.42E-05	0.8870	0.0828	0.9804	4441.38	0.0416	0.0408	1.91%	0.0461	10.81%		
		S y FN				1.89E-05	0.9301	0.1001	0.9708	5538.14	0.0573			0.0564	1.55%		
P20-3	S	(1)	1.58E-05	0.9600	0.1132	0.9572											
	FN	(2)	2.94E-05	0.8615	0.0953	0.9725											
	S y FN	(3)	2.12E-05	0.9148	0.1080	0.9644											

A.3. RELACIÓN $Sa(T) - ID$ local

A.3.1. MODELOS CON PILAS $h = 5$ m

A.3.1.1. Grupo P05-0

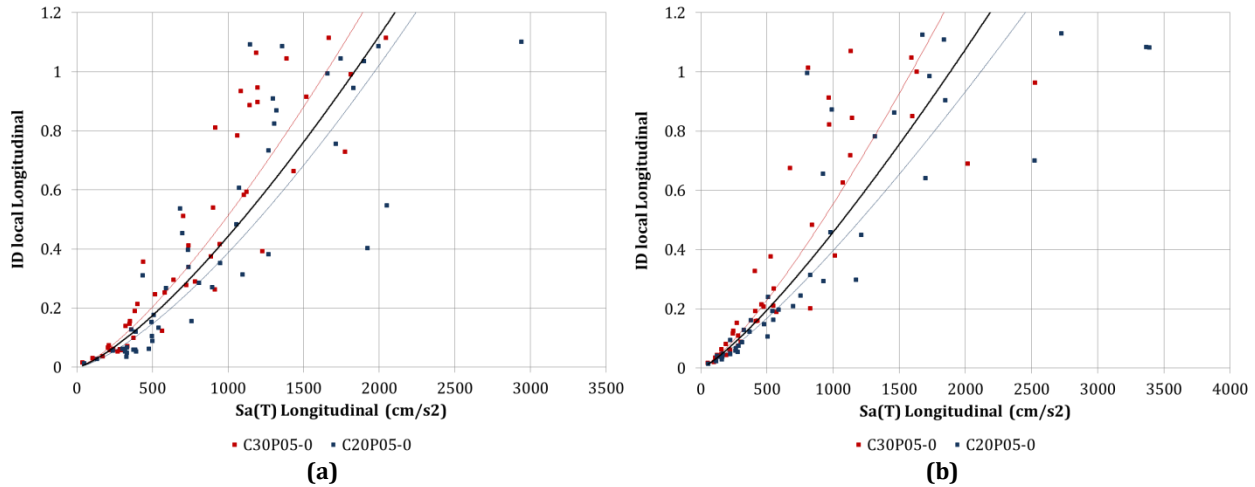


Figura A. 129 $Sa(T) - ID$ local, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

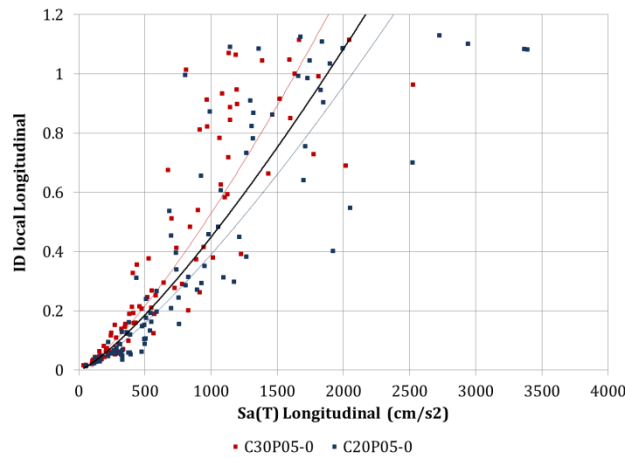


Figura A. 130 $Sa(T) - ID$ local, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

Tabla A. 65 $Sa(T) - ID$ local, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
C20P05-0	S	FN	Sa(T)	ID local	Original	2.42E-05	1.4015	0.2084	0.9190	2941.69	1.7567	1.8825	7.16%	1.7701	0.77%	
						7.84E-05	1.2347	0.1576	0.9601	3391.46	1.7917	2.0594	14.94%	2.1209	18.37%	
						5.09E-05	1.2951	0.1874	0.9381	3391.46	1.9005			2.1209	11.60%	
	C30P05-0	S				FN	5.08E-05	1.3347	0.1613	0.9492	2045.33	1.3329	1.1561	13.27%	1.1154	16.32%
							8.55E-05	1.2706	0.1609	0.9536	2527.59	1.7995	1.4350	20.26%	1.4598	18.88%
							7.11E-05	1.2906	0.1619	0.9502	2527.59	1.7517			1.4598	16.66%
P05-0	FN	S y FN	(1)	4.18E-05	1.3416	0.1964	0.9244									
			(2)	9.46E-05	1.2287	0.1713	0.9489									
			(3)	6.93E-05	1.2707	0.1863	0.9355									

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Apéndice A. Diagramas de dispersión y curvas de ajuste

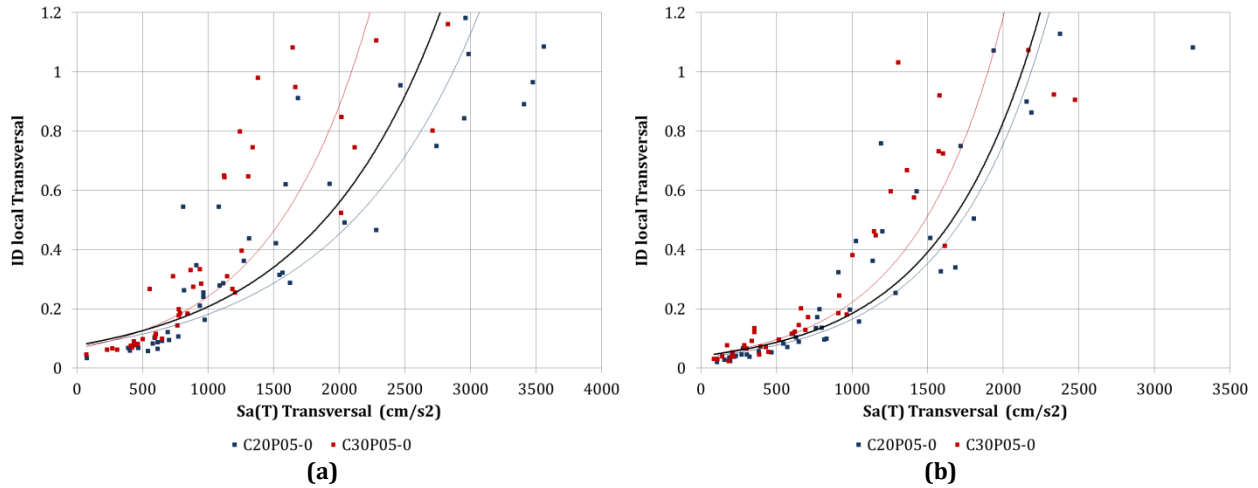


Figura A. 131 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

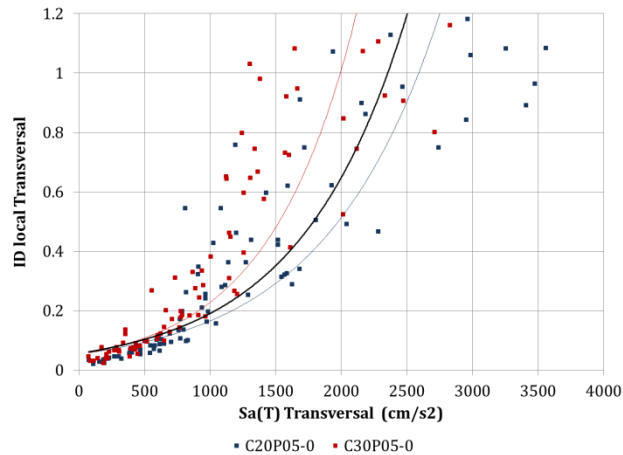


Figura A. 132 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

Tabla A. 66 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

					Curva de ajuste: Exponencial										
Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
					<i>(cm/s²)</i>										
Transversal	C20P05-0	S	Sa(T)	ID local	Original	7.29E-02	9.13E-04	0.5186	0.8610	3562.56	1.8874	2.6360	39.67%	4.3914	132.67%
		FN				3.61E-02	1.52E-03	0.5018	0.9098	3254.34	5.0964	5.4840	7.61%	3.0109	40.92%
		S y FN				5.34E-02	1.13E-03	0.5605	0.8683	3562.56	3.0058			4.3914	46.10%
	C30P05-0	S				6.60E-02	1.30E-03	0.4953	0.8671	2829.62	2.6018	1.2742	51.03%	1.7899	31.20%
		FN				4.16E-02	1.67E-03	0.4576	0.9204	2476.18	2.6347	1.7011	35.44%	1.1611	55.93%
		S y FN				5.13E-02	1.49E-03	0.4901	0.8935	2829.62	3.4780			1.7899	48.54%
P05-0	S	(1)	7.70E-02	9.92E-04	0.5493	0.8339									
	FN	(2)	4.10E-02	1.50E-03	0.5323	0.8902									
	S y FN	(3)	5.60E-02	1.22E-03	0.5640	0.8598									

A.3.1.2. Grupo P05-1

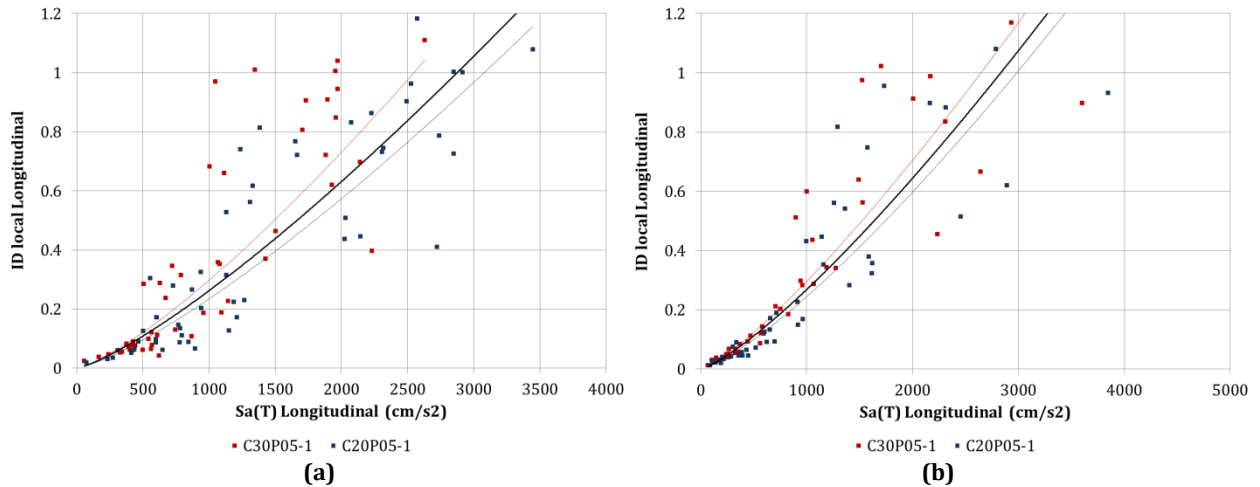


Figura A. 133 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

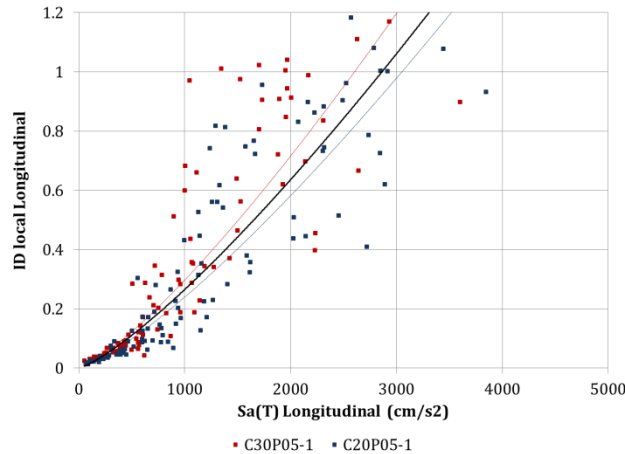


Figura A. 134 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

Tabla A. 67 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Longitudinal	C20P05-1	S	Sa(T)	ID local	Original	3.19E-05	1.2889	0.2079	0.9058	3447.04	1.1575	1.2596	8.82%	1.2643	9.23%	
		FN				3.38E-05	1.2869	0.1653	0.9553	3846.40	1.3864	1.4718	6.16%	1.4519	4.72%	
		S y FN				3.41E-05	1.2821	0.1879	0.9348	3846.40	1.3457			1.4519	7.89%	
	C30P05-1	S				3.84E-05	1.2964	0.2291	0.8848	2629.97	1.0425	0.8940	14.25%	0.8986	13.80%	
		FN				5.19E-05	1.2519	0.1372	0.9694	3602.99	1.4719	1.3552	7.93%	1.3369	9.17%	
		S y FN				4.64E-05	1.2688	0.1889	0.9328	3602.99	1.5102			1.3369	11.47%	
	P05-1	S				(1)	4.14E-05	1.2674	0.2221	0.8898						
		FN				(2)	4.38E-05	1.2626	0.1568	0.9589						
		S y FN				(3)	4.34E-05	1.2620	0.1933	0.9294						

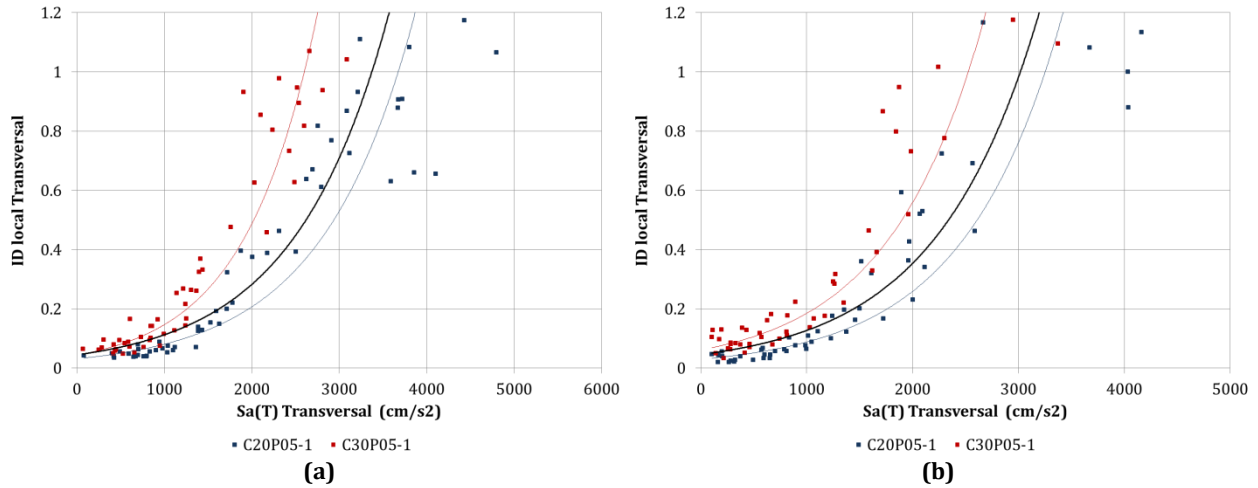


Figura A. 135 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

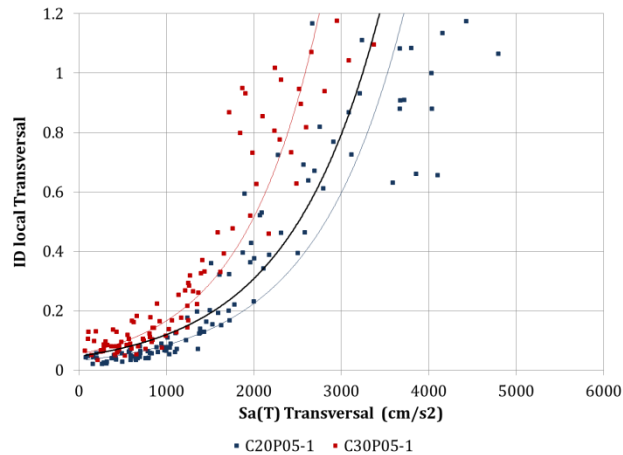


Figura A. 136 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

Tabla A. 68 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Exponencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P05-1	S	Sa(T)	ID local	Original	3.15E-02	9.41E-04	0.4108	0.9442	4797.25	2.8763	3.7156	29.18%	4.3569	51.48%
		FN				3.00E-02	1.08E-03	0.4773	0.9229	4161.78	2.6650	3.2182	20.76%	2.3857	10.48%
		S y FN				3.16E-02	9.79E-04	0.4538	0.9314	4797.25	3.4645			4.3569	25.76%
	C30P05-1	S				4.42E-02	1.20E-03	0.3232	0.9502	3090.06	1.7986	0.7711	57.13%	0.8640	51.96%
		FN				6.12E-02	1.11E-03	0.3735	0.9258	3372.79	2.5486	1.4371	43.61%	1.1295	55.68%
		S y FN				5.34E-02	1.13E-03	0.3634	0.9322	3372.79	2.4357			1.1295	53.63%
P05-1	S	(1)	4.48E-02	9.21E-04	0.5200	0.8903									
	FN	(2)	4.58E-02	1.02E-03	0.5652	0.8665									
	S y FN	(3)	4.62E-02	9.48E-04	0.5477	0.8765									

A.3.1.3. Grupo P05-2

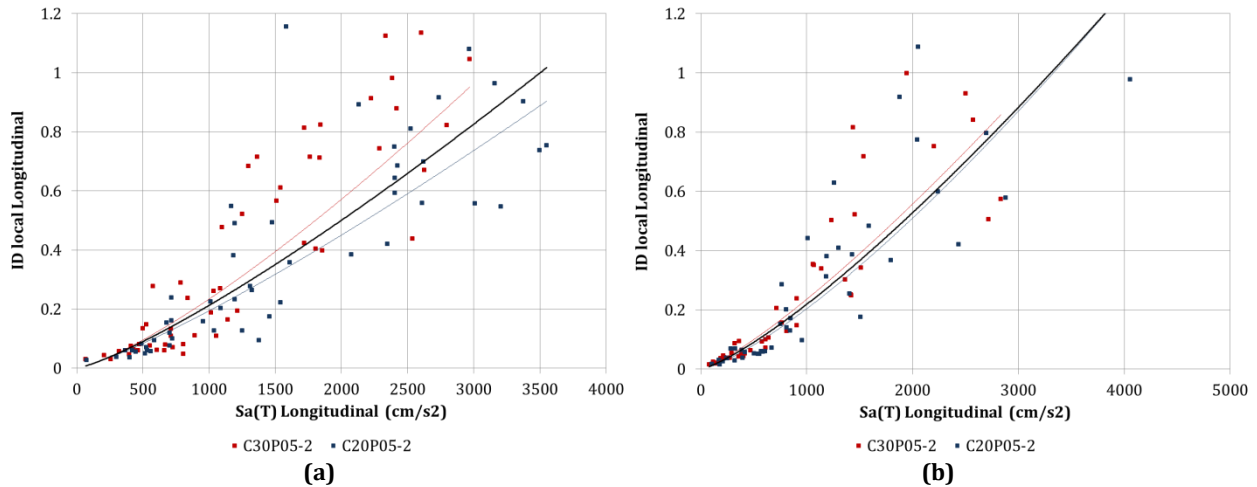


Figura A. 137 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

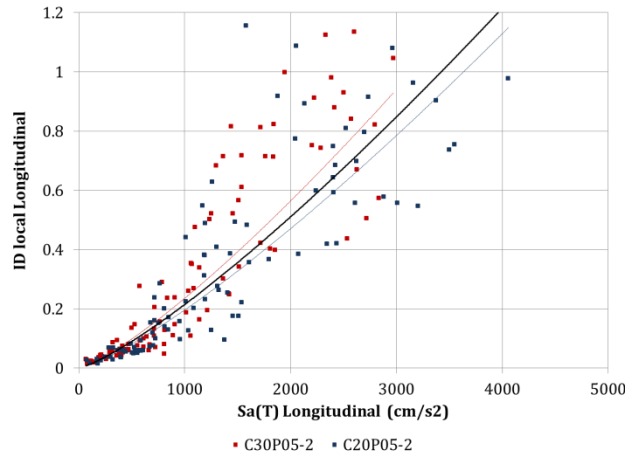


Figura A. 138 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

Tabla A. 69 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Longitudinal	C20P05-2	S	Sa(T)	ID local	Original	4.46E-05	1.2130	0.1960	0.9070	3550.63	0.9041	1.0175	12.55%	1.0471	15.82%	
		FN				2.20E-05	1.3224	0.1906	0.9367	4057.79	1.2987	1.2976	0.09%	1.2375	4.72%	
		S y FN				3.20E-05	1.2624	0.1927	0.9263	4057.79	1.1497			1.2375	7.63%	
	C30P05-2	S				3.18E-05	1.2890	0.2275	0.8851	2970.10	0.9521	0.8162	14.27%	0.8376	12.03%	
		FN				4.45E-05	1.2413	0.1588	0.9551	2834.52	0.8588	0.8224	4.24%	0.7900	8.01%	
		S y FN				3.90E-05	1.2602	0.1975	0.9245	2970.10	0.9288			0.8376	9.82%	
	P05-2	S				(1)	4.20E-05	1.2350	0.2147	0.8909						
		FN				(2)	3.36E-05	1.2712	0.1785	0.9425						
		S y FN				(3)	3.79E-05	1.2509	0.1982	0.9221						

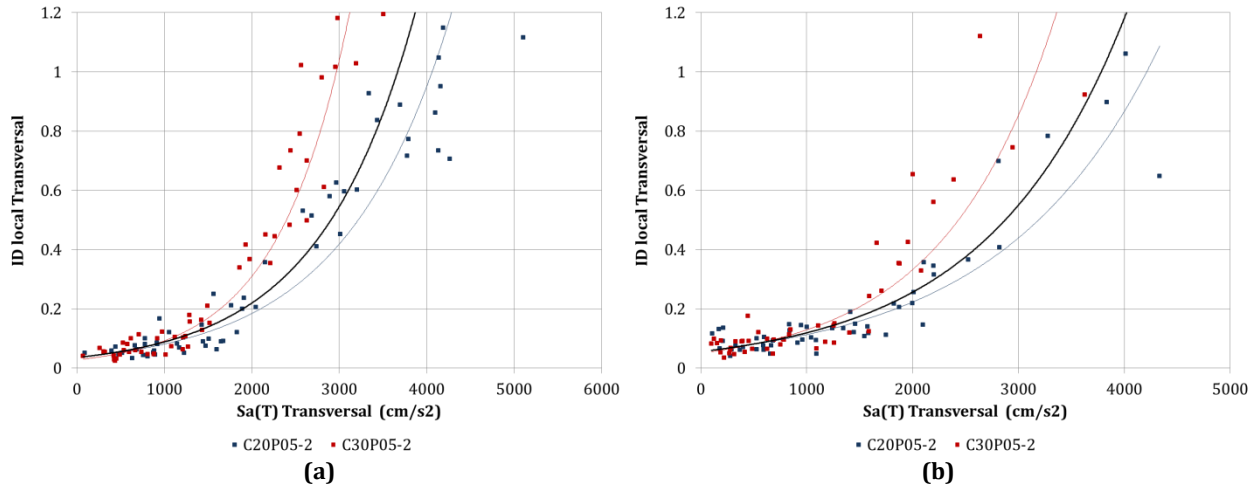


Figura A. 139 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

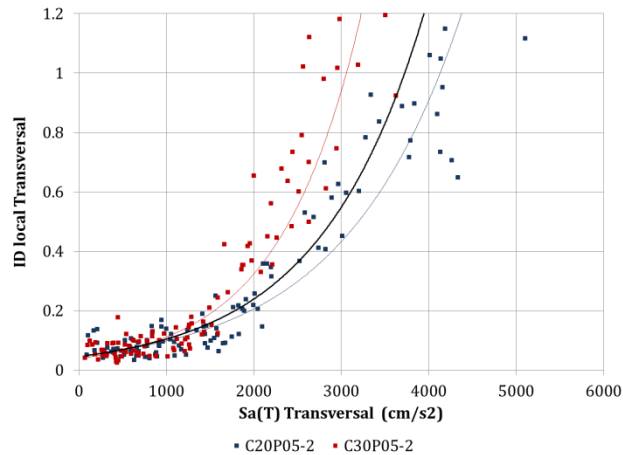


Figura A. 140 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

Tabla A. 70 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Exponencial											
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)		
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)		
Transversal	C20P05-2	S	Sa(T)	ID local	Original	3.57E-02	8.20E-04	0.3829	0.9427	5104.21	2.3516	3.6967	57.20%	3.1385	33.46%	
		FN				5.73E-02	6.79E-04	0.3500	0.8972	4335.23	1.0880	1.5270	40.35%	1.6587	52.46%	
		S y FN				4.66E-02	7.42E-04	0.3918	0.9189	5104.21	2.0593			3.1385	52.40%	
	C30P05-2	S				2.75E-02	1.21E-03	0.3481	0.9553	3504.31	1.9136	0.8628	54.91%	0.8328	56.48%	
		FN				5.02E-02	9.44E-04	0.3869	0.8996	3627.83	1.5443	0.8892	42.42%	0.9226	40.26%	
		S y FN				3.84E-02	1.07E-03	0.4045	0.9220	3627.83	1.8333			0.9226	49.68%	
P05-2	S	(1)	3.56E-02	9.09E-04	0.4568	0.9184										
	FN	(2)	5.55E-02	7.64E-04	0.3946	0.8800										
	S y FN	(3)	4.55E-02	8.29E-04	0.4485	0.8971										

A.3.1.4. Grupo P05-3

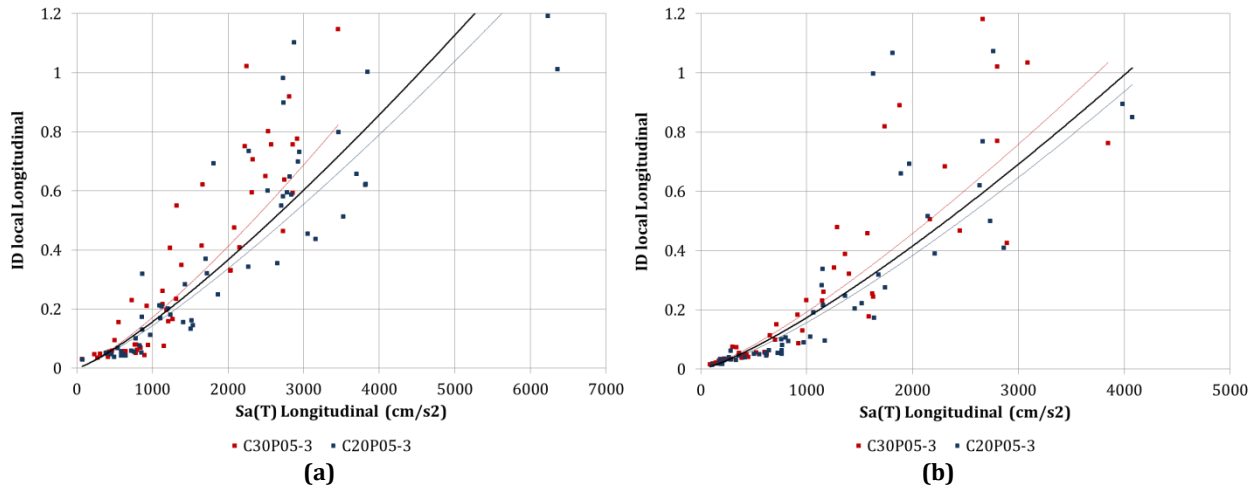


Figura A. 141 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

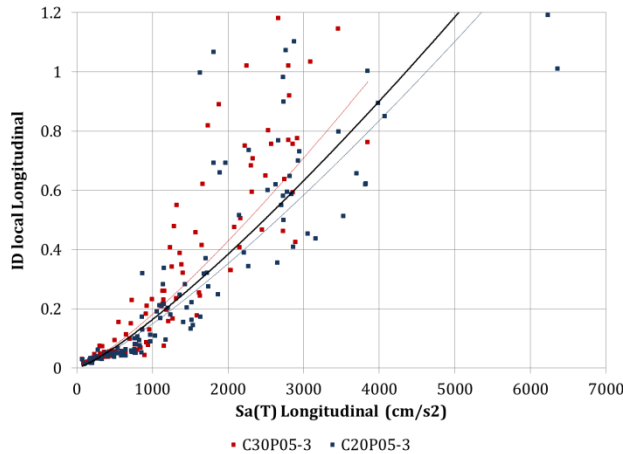


Figura A. 142 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

Tabla A. 71 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial									
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Longitudinal	C20P05-3	S	Sa(T)	ID local	Original	2.96E-05	1.2291	0.1945	0.9175	6358.59	1.3972	1.5143	8.38%	1.5935	14.05%
		FN				2.14E-05	1.2886	0.2004	0.9307	4074.80	0.9599	1.0167	5.91%	0.9221	3.94%
		S y FN				2.76E-05	1.2443	0.1967	0.9270	6358.59	1.4879			1.5935	7.09%
	C30P05-3	S				2.75E-05	1.2648	0.2261	0.8904	3457.61	0.8234	0.7174	12.87%	0.7535	8.49%
		FN				3.51E-05	1.2469	0.1707	0.9526	3848.67	1.0357	0.9463	8.64%	0.8596	17.00%
		S y FN				3.42E-05	1.2416	0.2014	0.9243	3848.67	0.9669			0.8596	11.09%
P05-3	S	(1)	3.29E-05	1.2261	0.2120	0.9014									
	FN	(2)	2.94E-05	1.2574	0.1904	0.9379									
	S y FN	(3)	3.37E-05	1.2292	0.2026	0.9222									

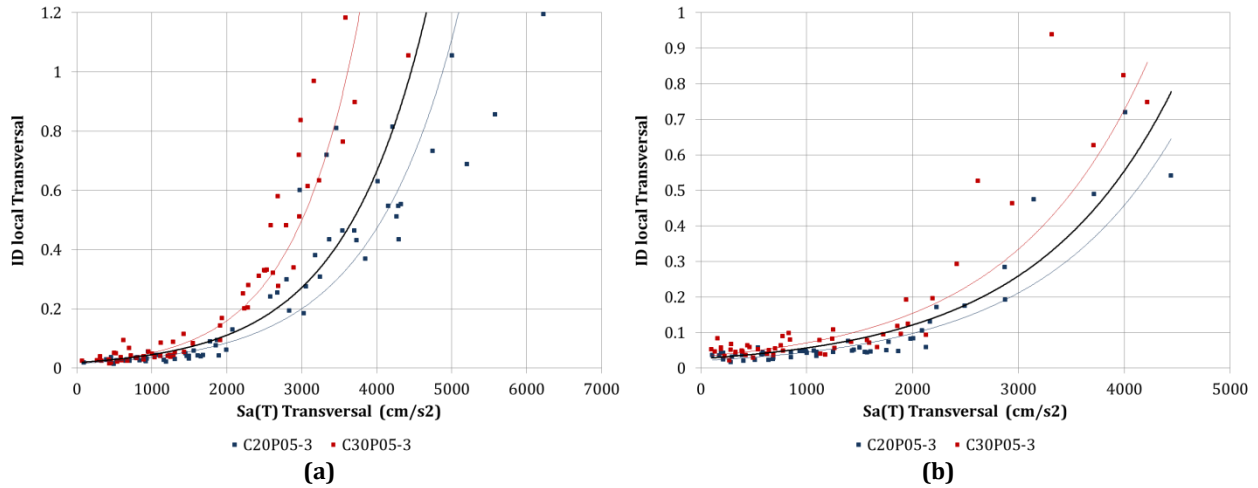


Figura A. 143 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

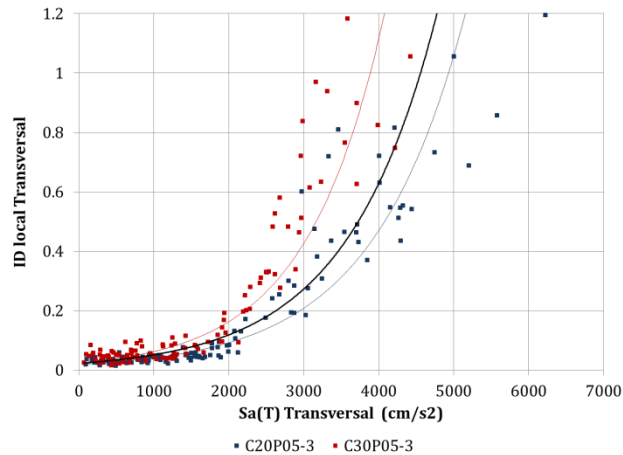


Figura A. 144 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

Tabla A. 72 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Exponencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P05-3	S	Sa(T)	ID local	Original	1.54E-02	8.55E-04	0.4228	0.9519	6224.09	3.1604	4.8541	53.59%	4.0176	27.12%
		FN				2.08E-02	7.73E-04	0.3450	0.9195	4443.91	0.6459	0.7773	20.36%	0.9099	40.88%
		S y FN				1.81E-02	8.13E-04	0.3977	0.9451	6224.09	2.8631			4.0176	40.33%
	C30P05-3	S				1.65E-02	1.14E-03	0.3672	0.9586	4426.79	2.5207	0.9734	61.38%	0.8970	64.42%
		FN				3.27E-02	7.75E-04	0.3910	0.9033	4219.39	0.8611	0.6554	23.88%	0.7545	12.38%
		S y FN				2.38E-02	9.62E-04	0.4287	0.9257	4426.79	1.6810			0.8970	46.64%
P05-3	S	(1)	1.86E-02	8.94E-04	0.5207	0.9196									
	FN	(2)	2.66E-02	7.60E-04	0.4312	0.8787									
	S y FN	(3)	2.23E-02	8.34E-04	0.4922	0.9078									

A.3.2. MODELOS CON PILAS $h = 10\text{ m}$

A.3.2.1. Grupo P10-0

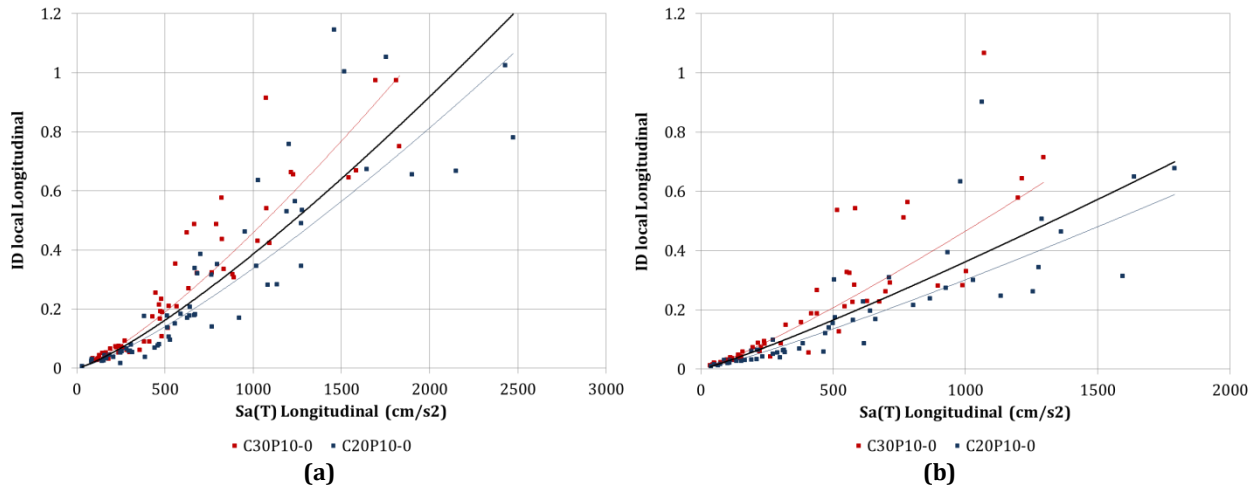


Figura A. 145 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

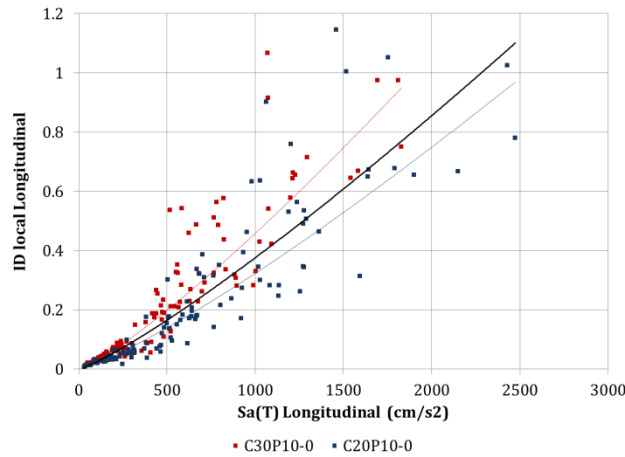


Figura A. 146 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Tabla A. 73 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial									
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
C20P10-0	S	Sa(T)	ID local	Original	5.34E-05	1.2671	0.1719	0.9475	2473.95	1.0653	1.1989	12.55%	1.1011	3.37%
	FN				1.07E-04	1.1507	0.1582	0.9514	1790.91	0.5897	0.7002	18.73%	0.7506	27.28%
	S y FN				7.45E-05	1.2125	0.1661	0.9494	2473.95	0.9696			1.1011	13.56%
C30P10-0	S	Sa(T)	ID local	Original	6.95E-05	1.2733	0.1288	0.9666	1829.06	0.9901	0.8221	16.97%	0.7696	22.27%
	FN				1.46E-04	1.1682	0.1571	0.9510	1295.17	0.6302	0.4855	22.96%	0.5111	18.90%
	S y FN				1.09E-04	1.2076	0.1453	0.9576	1829.06	0.9500			0.7696	18.99%
P10-0	S	Sa(T)	ID local	Original	(1) 6.90E-05	1.2495	0.1645	0.9479						
	FN				(2) 1.48E-04	1.1297	0.1804	0.9344						
	S y FN				(3) 1.04E-04	1.1861	0.1732	0.9417						

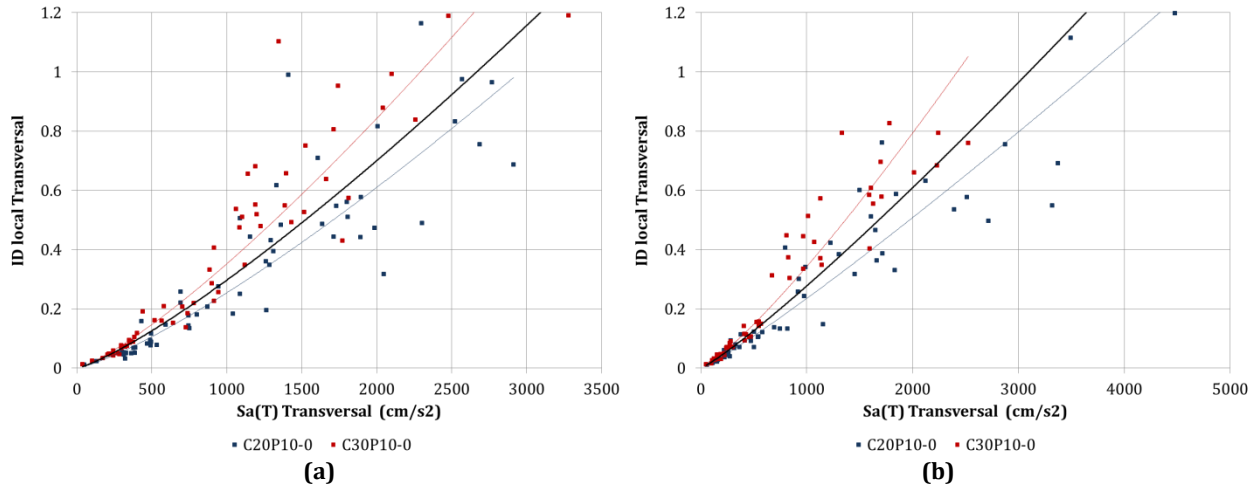


Figura A. 147 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

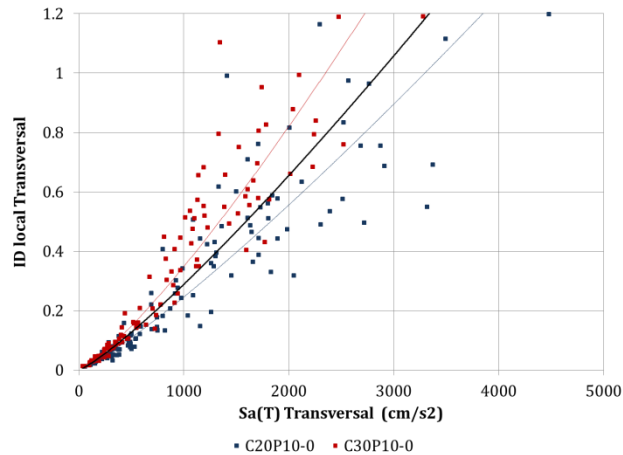


Figura A. 148 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Tabla A. 74 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	$PDI(1)_o$ PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P10-0	S	$Sa(T)$	$ID local$	Original	4.15E-05	1.2623	0.1417	0.9560	2913.00	0.9810	1.1154	13.71%	1.0216	4.14%
		FN				1.09E-04	1.1119	0.1254	0.9718	4479.83	1.2451	1.5199	22.07%	1.6992	36.47%
		S y FN				7.30E-05	1.1759	0.1368	0.9627	4479.83	1.4344		1.6992	18.46%	
	C30P10-0	S				5.88E-05	1.2591	0.1176	0.9722	3280.97	1.5721	1.2923	17.80%	1.1759	25.20%
		FN				7.98E-05	1.2109	0.1003	0.9819	2525.14	1.0519	0.7931	24.60%	0.8628	17.97%
		S y FN				6.90E-05	1.2345	0.1092	0.9772	3280.97	1.5105		1.1759	22.16%	
P10-0	S	(1)	5.78E-05	1.2371	0.1474	0.9534									
	FN	(2)	1.09E-04	1.1345	0.1350	0.9664									
	S y FN	(3)	8.20E-05	1.1822	0.1427	0.9597									

A.3.2.2. Grupo P10-1

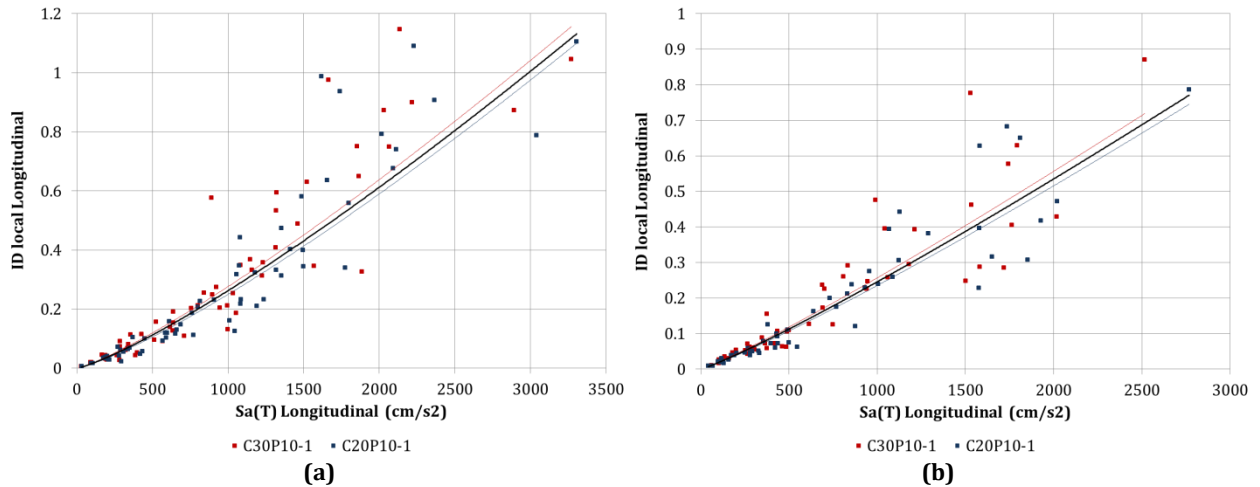


Figura A. 149 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

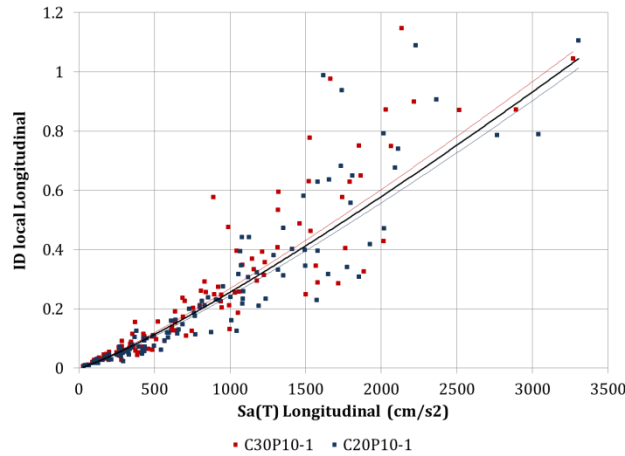


Figura A. 150 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Tabla A. 75 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:		Potencial							
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Longitudinal	C20P10-1	S	Sa(T)	ID local	Original	4.76E-05	1.2400	0.1375	0.9661	3304.78	1.0999	1.1318	2.90%	1.0450	4.99%
		FN				9.42E-05	1.1326	0.1224	0.9711	2767.61	0.7452	0.7708	3.44%	0.8483	13.84%
		S y FN				6.66E-05	1.1885	0.1317	0.9681	3304.78	1.0131			1.0450	3.14%
	C30P10-1	S				6.54E-05	1.2085	0.1441	0.9612	3268.58	1.1558	1.1166	3.39%	1.0316	10.75%
		FN				1.16E-04	1.1157	0.1265	0.9677	2515.65	0.7190	0.6924	3.69%	0.7583	5.47%
		S y FN				8.58E-05	1.1654	0.1366	0.9641	3268.58	1.0691			1.0316	3.51%
P10-1	S	(1)	5.64E-05	1.2225	0.1420	0.9625									
	FN	(2)	1.05E-04	1.1231	0.1252	0.9684									
	S y FN	(3)	7.62E-05	1.1755	0.1357	0.9650									

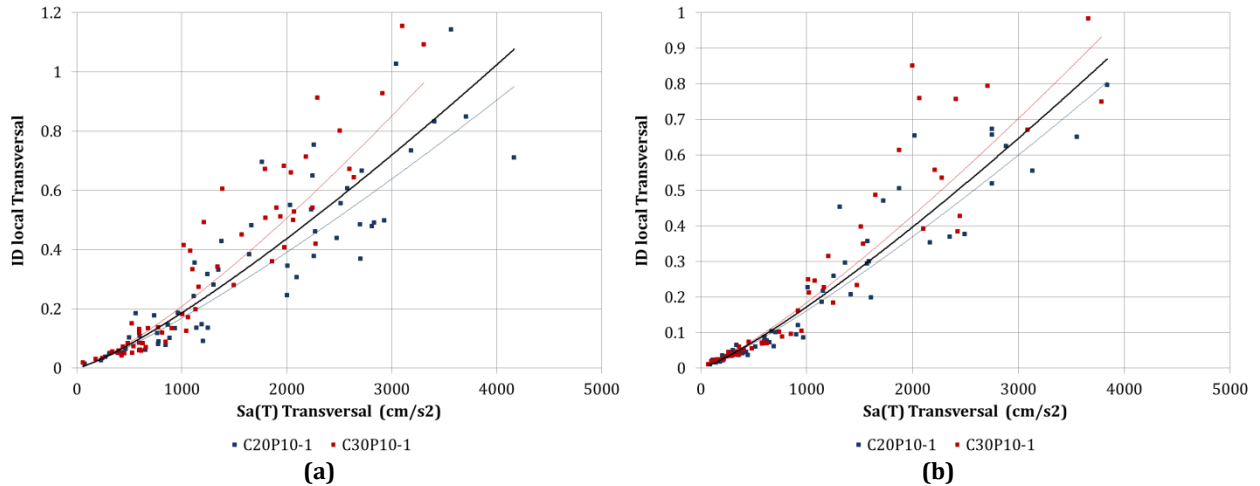


Figura A. 151 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

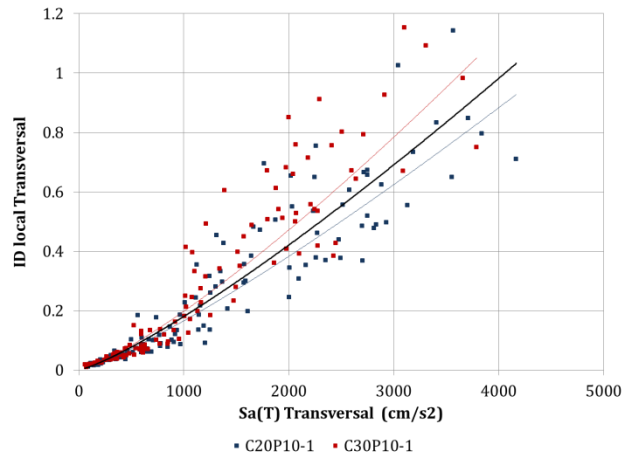


Figura A. 152 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Tabla A. 76 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	$\frac{PDI(1)}{PDI(2)}$	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P10-1	S	$Sa(T)$	ID local	Original	3.96E-05	1.2102	0.1556	0.9409	4167.95	0.9506	1.0770	13.30%	1.0326	8.64%
		FN				4.24E-05	1.1935	0.1274	0.9713	3838.19	0.8045	0.8696	8.10%	0.9337	16.06%
		S y FN				3.99E-05	1.2064	0.1427	0.9591	4167.95	0.9281			1.0326	11.26%
	C30P10-1	S				2.98E-05	1.2814	0.1601	0.9419	3306.30	0.9642	0.8105	15.95%	0.7781	19.30%
		FN				4.10E-05	1.2177	0.1265	0.9742	3787.84	0.9327	0.8559	8.23%	0.9188	1.49%
		S y FN				3.42E-05	1.2539	0.1468	0.9598	3787.84	1.0505			0.9188	12.54%
P10-1	S	(1)	3.87E-05	1.2276	0.1638	0.9357									
	FN	(2)	4.23E-05	1.2033	0.1287	0.9715									
	S y FN	(3)	3.89E-05	1.2220	0.1491	0.9565									

A.3.2.3. Grupo P10-2

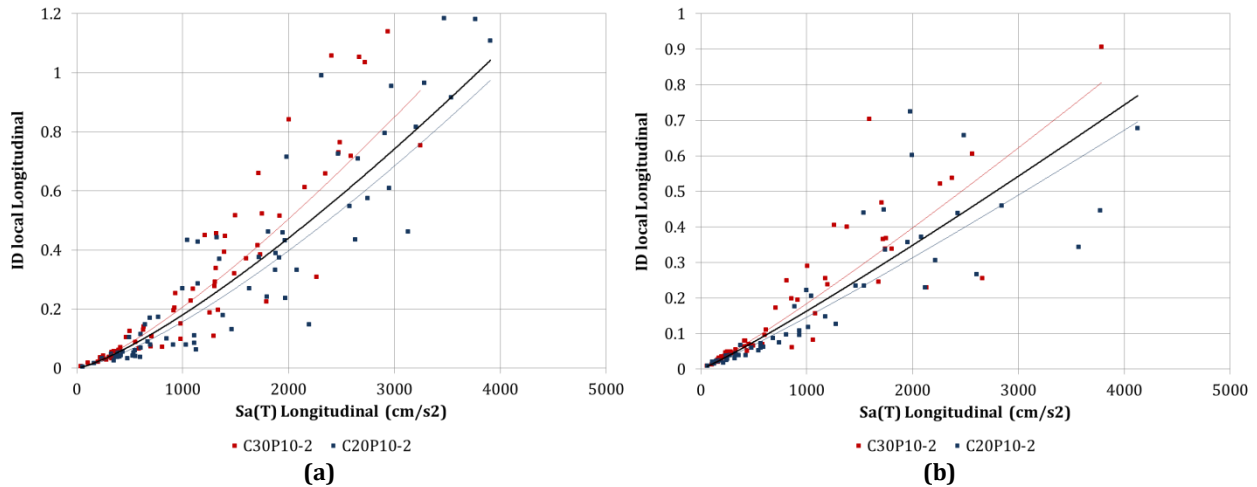


Figura A. 153 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

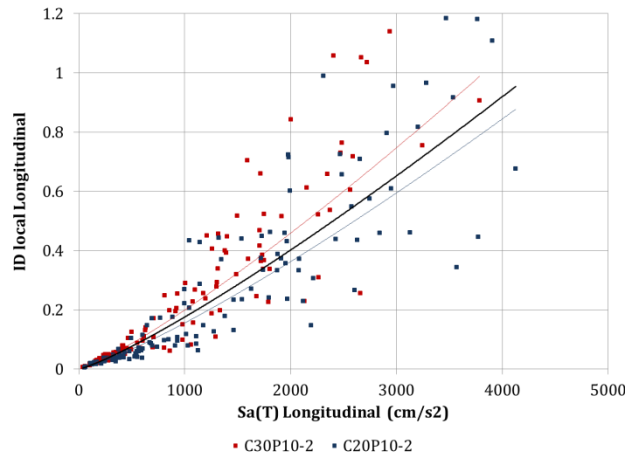


Figura A. 154 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Tabla A. 77 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Longitudinal	C20P10-2	S	$Sa(T)$	$ID local$	Original	1.52E-05	1.3386	0.1949	0.9332	3907.56	0.9748	1.0425	6.94%	0.8944	8.25%	
		FN				7.23E-05	1.1017	0.1404	0.9633	4125.92	0.6957	0.7691	10.56%	0.9544	37.19%	
		S y FN				3.42E-05	1.2195	0.1791	0.9441	4125.92	0.8772			0.9544	8.80%	
	C30P10-2	S				2.90E-05	1.2847	0.1493	0.9606	3244.07	0.9399	0.8206	12.69%	0.7162	23.80%	
		FN				8.68E-05	1.1090	0.1444	0.9599	3784.12	0.8056	0.6997	13.14%	0.8608	6.84%	
		S y FN				4.92E-05	1.2026	0.1509	0.9591	3784.12	0.9879			0.8608	12.86%	
	P10-2	S				(1)	2.50E-05	1.2861	0.1831	0.9399						
		FN				(2)	8.55E-05	1.0936	0.1497	0.9567						
		S y FN				(3)	4.60E-05	1.1941	0.1736	0.9461						

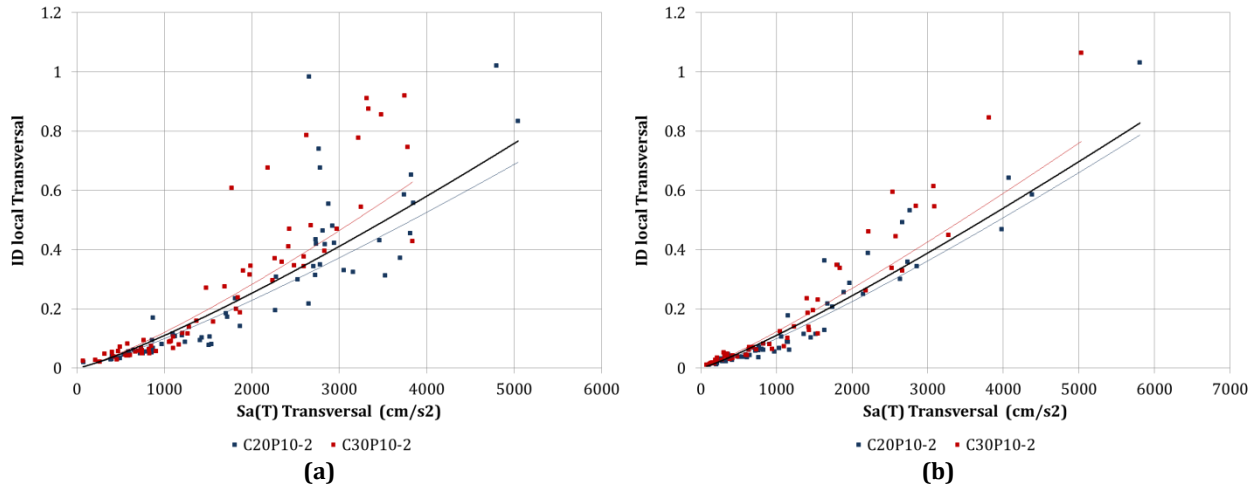


Figura A. 155 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

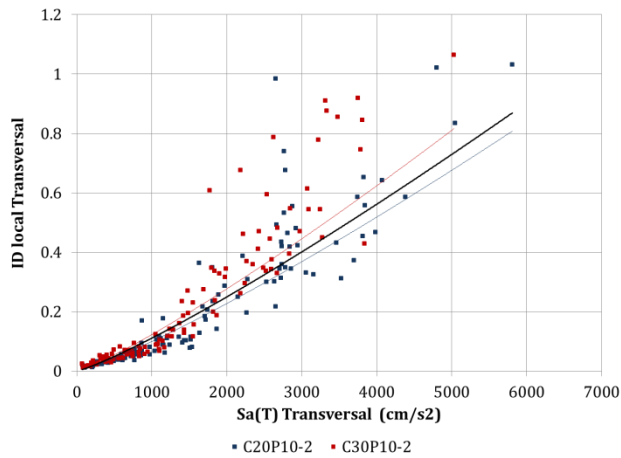


Figura A. 156 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Tabla A. 78 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P10-2	S	Sa(T)	ID local	Original	2.47E-05	1.2016	0.1696	0.9297	5047.07	0.6955	0.7672	10.31%	0.7374	6.02%
		FN				2.94E-05	1.1765	0.1482	0.9570	5808.50	0.7874	0.8277	5.12%	0.8692	10.39%
		S y FN				2.70E-05	1.1891	0.1590	0.9469	5808.50	0.8078			0.8692	7.60%
	C30P10-2	S				2.53E-05	1.2263	0.1822	0.9241	3840.01	0.6284	0.5527	12.04%	0.5356	14.78%
		FN				4.92E-05	1.1324	0.1361	0.9663	5031.85	0.7653	0.7023	8.23%	0.7348	3.99%
		S y FN				3.73E-05	1.1723	0.1631	0.9467	5031.85	0.8163			0.7348	9.99%
P10-2	S	(1)	2.78E-05	1.1995	0.1802	0.9220									
	FN	(2)	4.07E-05	1.1446	0.1490	0.9573									
	S y FN	(3)	3.43E-05	1.1700	0.1665	0.9425									

A.3.2.4. Grupo P10-3

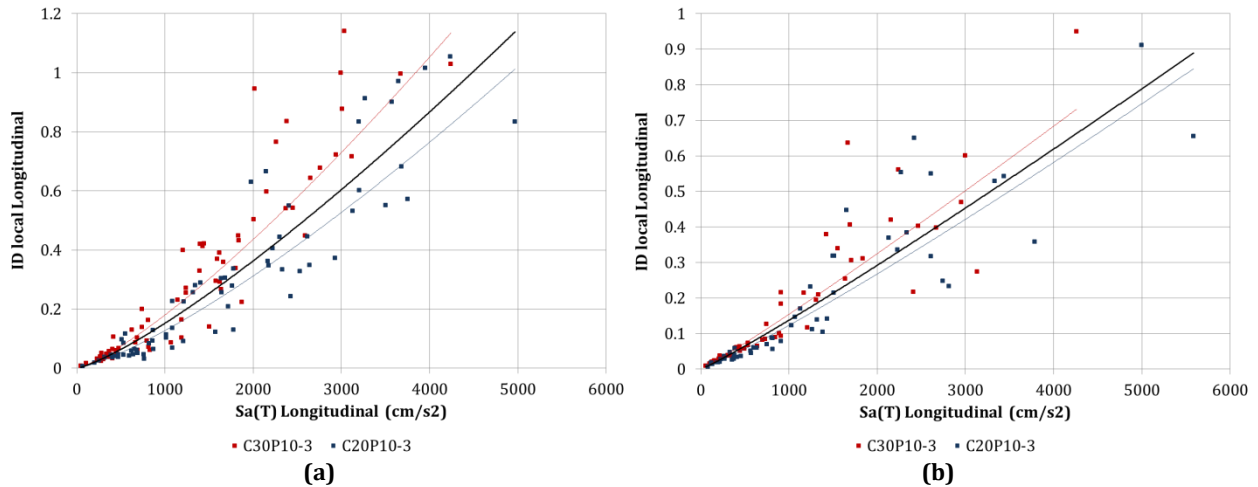


Figura A. 157 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

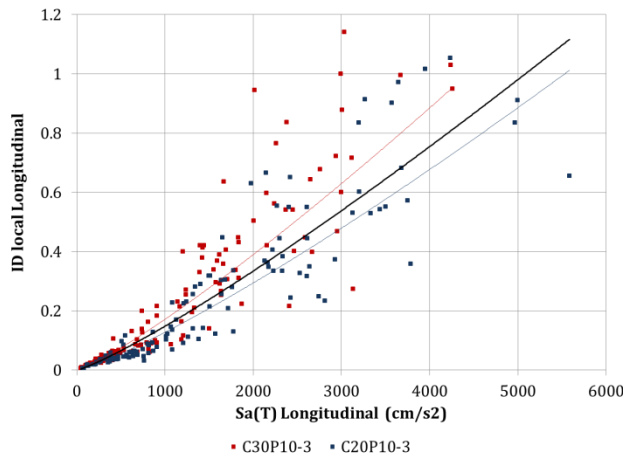


Figura A. 158 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Tabla A. 79 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

		Curva de ajuste: Potencial													
	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Longitudinal	C20P10-3	S	Sa(T)	ID local	Original	1.68E-05	1.2933	0.1628	0.9479	4967.89	1.0129	1.1388	12.44%	0.9735	3.89%
		FN				5.40E-05	1.1195	0.1443	0.9639	5582.87	0.8449	0.8890	5.22%	1.1165	32.14%
		S y FN				3.15E-05	1.2028	0.1581	0.9550	5582.87	1.0117			1.1165	10.35%
	C30P10-3	S				2.73E-05	1.2734	0.1574	0.9556	4240.22	1.1348	0.9336	17.73%	0.8083	28.77%
		FN				9.30E-05	1.0733	0.1239	0.9703	4257.10	0.7309	0.6626	9.35%	0.8121	11.10%
		S y FN				4.84E-05	1.1832	0.1507	0.9594	4257.10	0.9531			0.8121	14.79%
P10-3	S	(1)	2.62E-05	1.2549	0.1756	0.9410									
	FN	(2)	7.70E-05	1.0841	0.1435	0.9615									
	S y FN	(3)	4.45E-05	1.1742	0.1666	0.9496									

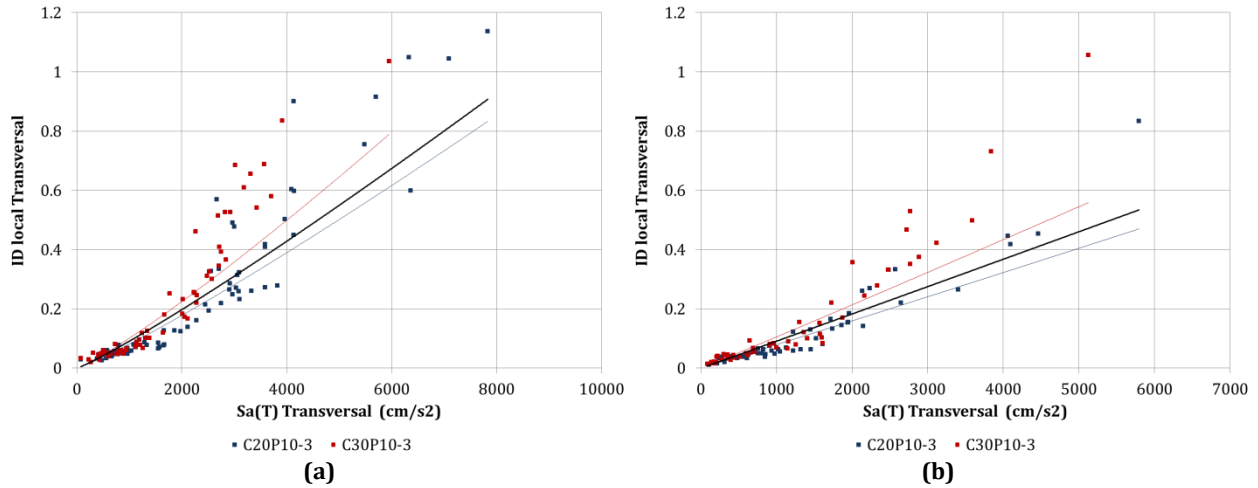


Figura A. 159 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

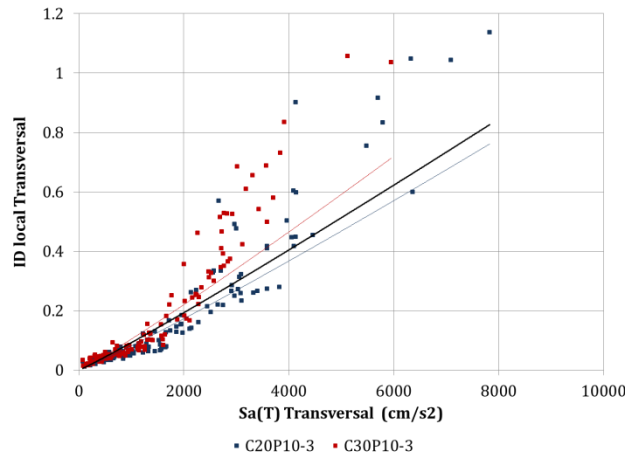


Figura A. 160 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Tabla A. 80 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	$\frac{PDI(1)}{PDI(2)}$	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P10-3	S	$Sa(T)$	$ID local$	Original	3.28E-05	1.1314	0.1771	0.9253	7829.88	0.8331	0.9076	8.94%	0.8265	0.79%
		FN				7.06E-05	1.0161	0.1406	0.9483	5792.35	0.4699	0.5340	13.64%	0.5995	27.57%
		S y FN				4.48E-05	1.0864	0.1630	0.9398	7829.88	0.7614			0.8265	8.55%
	C30P10-3	S				3.50E-05	1.1533	0.1818	0.9181	5952.03	0.7895	0.6681	15.38%	0.6171	21.83%
		FN				8.97E-05	1.0228	0.1535	0.9477	5124.68	0.5588	0.4720	15.53%	0.5262	5.84%
		S y FN				6.06E-05	1.0785	0.1705	0.9330	5952.03	0.7135			0.6171	13.50%
P10-3	S	(1)	4.04E-05	1.1175	0.1846	0.9161									
	FN	(2)	8.59E-05	1.0082	0.1586	0.9383									
	S y FN	(3)	5.88E-05	1.0653	0.1743	0.9297									

A.3.3. MODELOS CON PILAS $h = 15 m$

A.3.3.1. Grupo P15-0

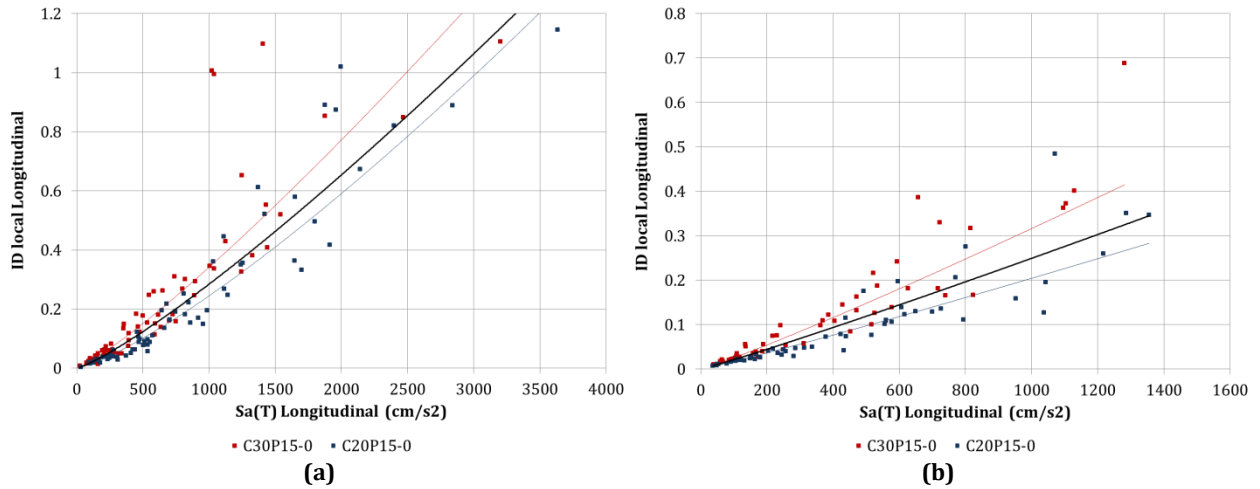


Figura A. 161 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

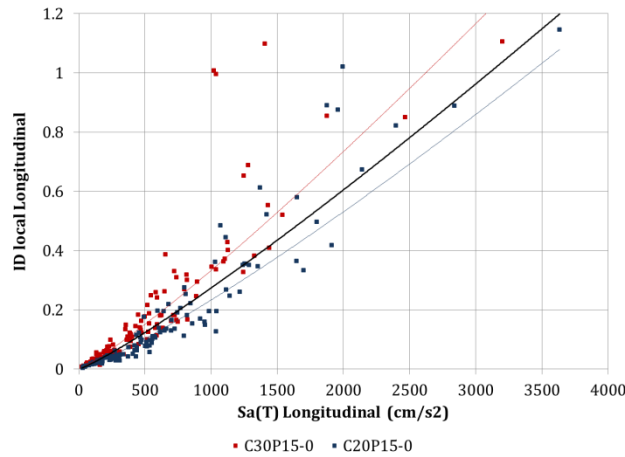


Figura A. 162 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Tabla A. 81 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:									
					Potencial					Original				
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)					
C20P15-0	S	Sa(T)	ID local	Original	3.78E-05	1.2707	0.1251	0.9744	3633.16	1.2626	1.3400	6.13%	1.1992	5.03%
	FN				1.25E-04	1.0708	0.1219	0.9641	1354.54	0.2830	0.3449	21.89%	0.3875	36.92%
	S y FN				6.40E-05	1.1874	0.1294	0.9698	3633.16	1.0796			1.1992	11.08%
C30P15-0	S	Sa(T)	ID local	Original	1.01E-04	1.1767	0.1546	0.9539	3202.66	1.3449	1.1517	14.36%	1.0379	22.83%
	FN				1.64E-04	1.0954	0.1222	0.9643	1280.58	0.4148	0.3249	21.69%	0.3633	12.42%
	S y FN				1.26E-04	1.1407	0.1412	0.9592	3202.66	1.2572			1.0379	17.44%
P15-0	S	Sa(T)	ID local	Original	(1)	7.13E-05	1.2005	0.1658	0.9504					
	FN				(2)	1.56E-04	1.0681	0.1500	0.9452					
	S y FN				(3)	1.00E-04	1.1451	0.1608	0.9500					

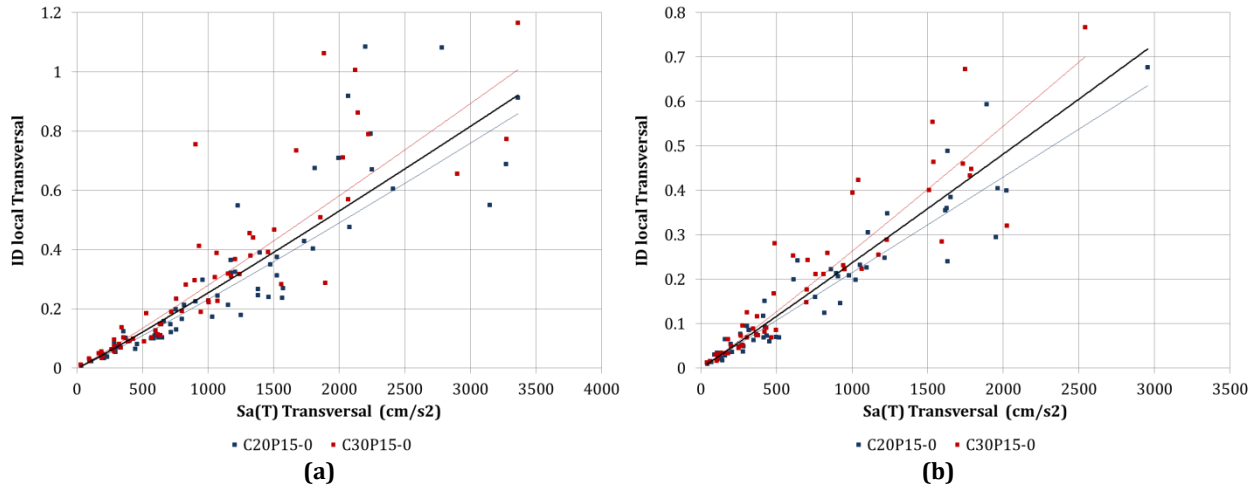


Figura A. 163 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

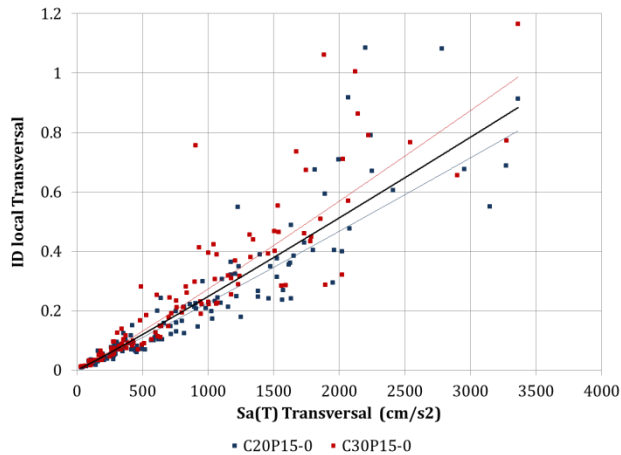


Figura A. 164 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Tabla A. 82 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	$PDI(1)_o$ PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P15-0	S	Sa(T)	ID local	Original	1.34E-04	1.0798	0.1209	0.9669	3363.72	0.8594	0.9219	7.28%	0.8841	2.87%
		FN				2.13E-04	1.0011	0.1283	0.9604	2955.20	0.6359	0.7186	13.00%	0.7718	21.37%
		S y FN				1.63E-04	1.0470	0.1245	0.9648	3363.72	0.8054			0.8841	9.76%
	C30P15-0	S				1.89E-04	1.0567	0.1317	0.9593	3363.87	1.0080	0.9220	8.54%	0.8841	12.30%
		FN				1.84E-04	1.0515	0.1264	0.9639	2541.15	0.7007	0.6157	12.13%	0.6587	5.99%
		S y FN				1.81E-04	1.0594	0.1289	0.9624	3363.87	0.9865			0.8841	10.38%
P15-0	S	(1)	1.65E-04	1.0627	0.1325	0.9588									
	FN	(2)	2.01E-04	1.0235	0.1317	0.9588									
	S y FN	(3)	1.76E-04	1.0490	0.1322	0.9600									

A.3.3.2. Grupo P15-1

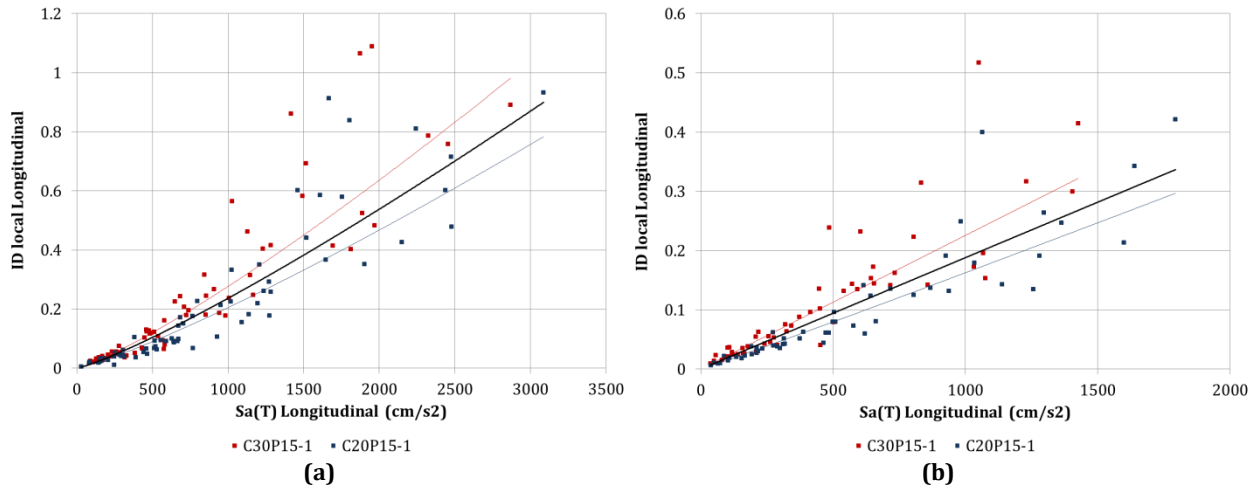


Figura A. 165 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

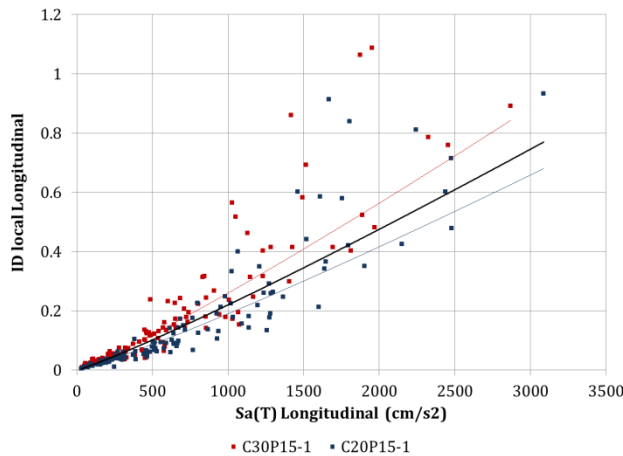


Figura A. 166 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

Tabla A. 83 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial									
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Longitudinal	C20P15-1	S	Sa(T)	ID local	Original	5.55E-05	1.1893	0.1608	0.9524	3085.23	0.7832	0.8998	14.89%	0.7696	1.73%
		FN				1.33E-04	1.0294	0.1138	0.9678	1794.05	0.2970	0.3369	13.42%	0.4215	41.90%
		S y FN				7.68E-05	1.1312	0.1468	0.9573	3085.23	0.6800			0.7696	13.17%
	C30P15-1	S				6.88E-05	1.2016	0.1351	0.9652	2868.39	0.9819	0.8253	15.94%	0.7098	27.71%
		FN				2.27E-04	0.9993	0.1407	0.9467	1427.06	0.3221	0.2682	16.74%	0.3269	1.47%
		S y FN				1.17E-04	1.1161	0.1425	0.9576	2868.39	0.8431			0.7098	15.82%
P15-1	S	(1)	6.58E-05	1.1853	0.1606	0.9509									
	FN	(2)	1.94E-04	0.9958	0.1491	0.9413									
	S y FN	(3)	1.03E-04	1.1106	0.1605	0.9471									

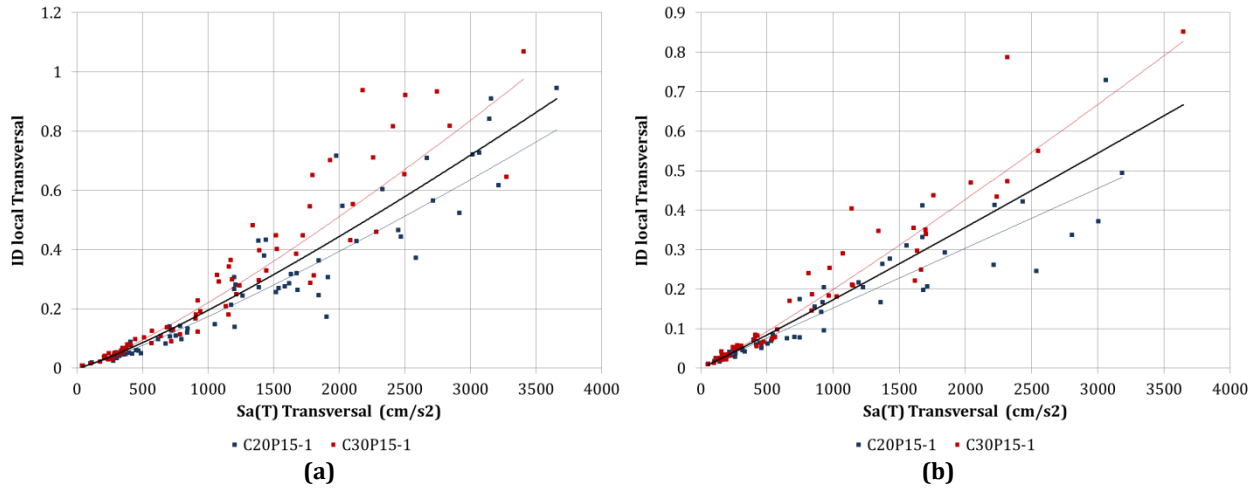


Figura A. 167 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

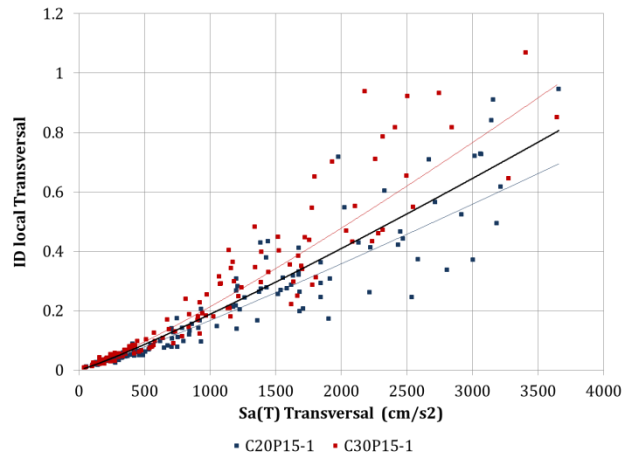


Figura A. 168 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

Tabla A. 84 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P15-1	S	$Sa(T)$	ID local	Original	4.97E-05	1.1811	0.1138	0.9717	3657.41	0.8042	0.9096	13.10%	0.8060	0.22%
		FN				1.55E-04	0.9975	0.1047	0.9743	3184.25	0.4831	0.5792	19.90%	0.6898	42.80%
		S y FN				8.44E-05	1.0989	0.1171	0.9703	3657.41	0.6943			0.8060	16.09%
	C30P15-1	S				5.09E-05	1.2124	0.1087	0.9765	3408.30	0.9765	0.8365	14.33%	0.7446	23.75%
		FN				9.95E-05	1.1006	0.1018	0.9790	3645.57	0.8272	0.6669	19.38%	0.8031	2.92%
		S y FN				6.87E-05	1.1639	0.1082	0.9771	3645.57	0.9609			0.8031	16.43%
P15-1	S	(1)	5.39E-05	1.1864	0.1219	0.9685									
	FN	(2)	1.29E-04	1.0424	0.1151	0.9706									
	S y FN	(3)	8.02E-05	1.1232	0.1233	0.9684									

A.3.3.3. Grupo P15-2

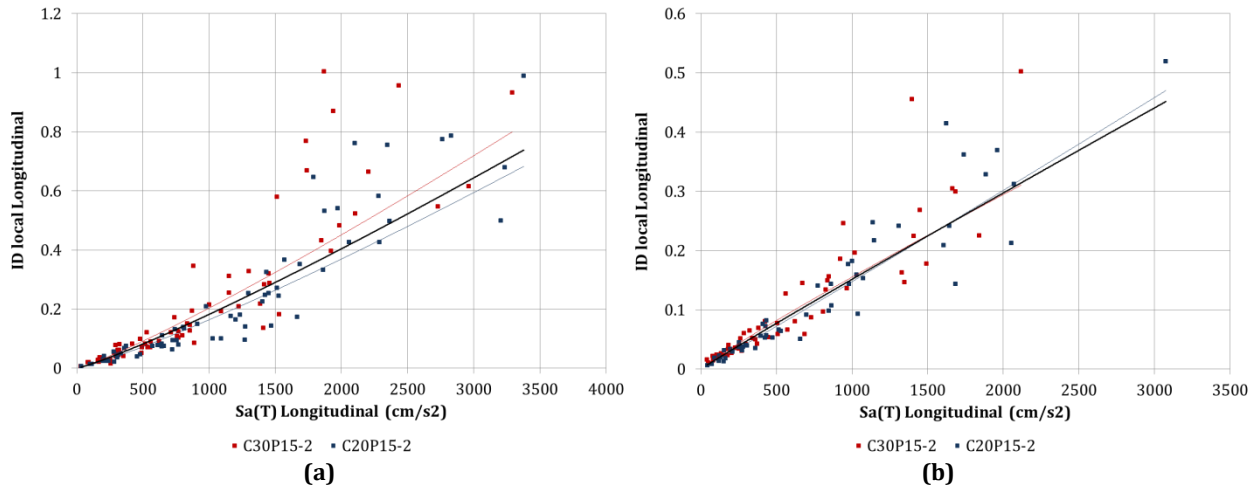


Figura A. 169 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

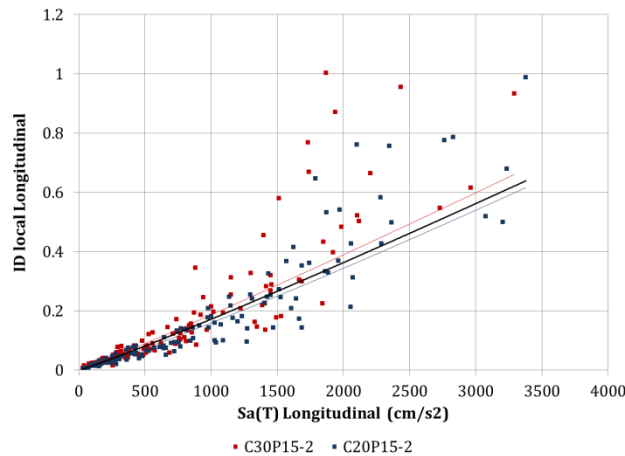


Figura A. 170 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Tabla A. 85 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial													
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)				
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)				
C20P15-2	S	FN	Sa(T)	ID local	Original	4.99E-05	1.1724	0.1450	0.9600	3376.26	0.6829	0.7382	8.11%	0.6388	6.46%				
						1.19E-04	1.0315	0.1147	0.9698	3073.68	0.4701	0.4516	3.95%	0.5772	22.79%				
						7.31E-05	1.1125	0.1353	0.9635	3376.26	0.6158			0.6388	3.73%				
	C30P15-2	S				FN	7.28E-05	1.1490	0.1600	0.9503	3291.18	0.8003	0.7169	10.42%	0.6214	22.35%			
							2.65E-04	0.9226	0.1244	0.9548	2118.11	0.3106	0.3144	1.25%	0.3863	24.39%			
							1.22E-04	1.0615	0.1543	0.9484	3291.18	0.6607			0.6214	5.95%			
P15-2	S y FN	(1)	6.48E-05	1.1497	0.1593	0.9504													
		(2)	1.84E-04	0.9719	0.1243	0.9594													
		(3)	9.98E-05	1.0787	0.1504	0.9525													

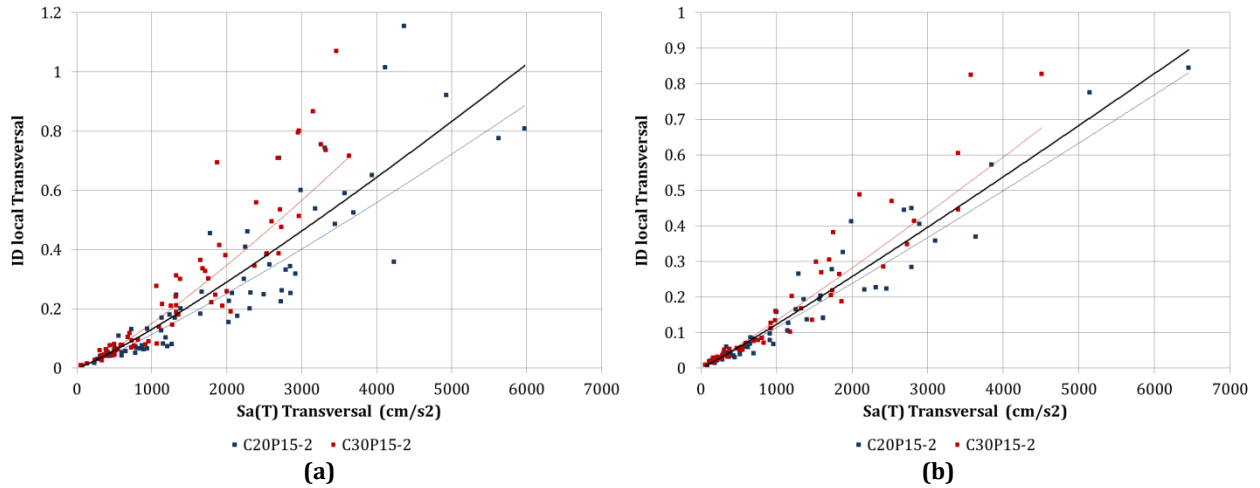


Figura A. 171 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

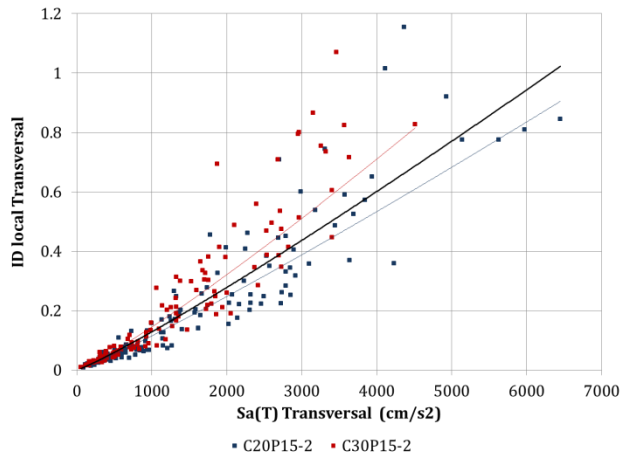


Figura A. 172 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Tabla A. 86 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P15-2	S	Sa(T)	ID local	Original	4.09E-05	1.1481	0.1510	0.9454	5976.22	0.8866	1.0218	15.25%	0.9394	5.96%
		FN				7.22E-05	1.0660	0.1232	0.9696	6450.42	0.8308	0.8953	7.77%	1.0227	23.10%
		S y FN				5.51E-05	1.1065	0.1396	0.9587	6450.42	0.9050			1.0227	13.00%
	C30P15-2	S				3.73E-05	1.2024	0.1371	0.9591	3630.72	0.7122	0.5765	19.05%	0.5398	24.20%
		FN				7.88E-05	1.0763	0.1073	0.9778	4510.49	0.6760	0.6118	9.50%	0.6871	1.64%
		S y FN				5.26E-05	1.1467	0.1288	0.9670	4510.49	0.8152			0.6871	15.72%
P15-2	S	(1)	4.71E-05	1.1483	0.1569	0.9427									
	FN	(2)	7.88E-05	1.0645	0.1195	0.9714									
	S y FN	(3)	5.95E-05	1.1117	0.1431	0.9576									

A.3.3.4. Grupo P15-3

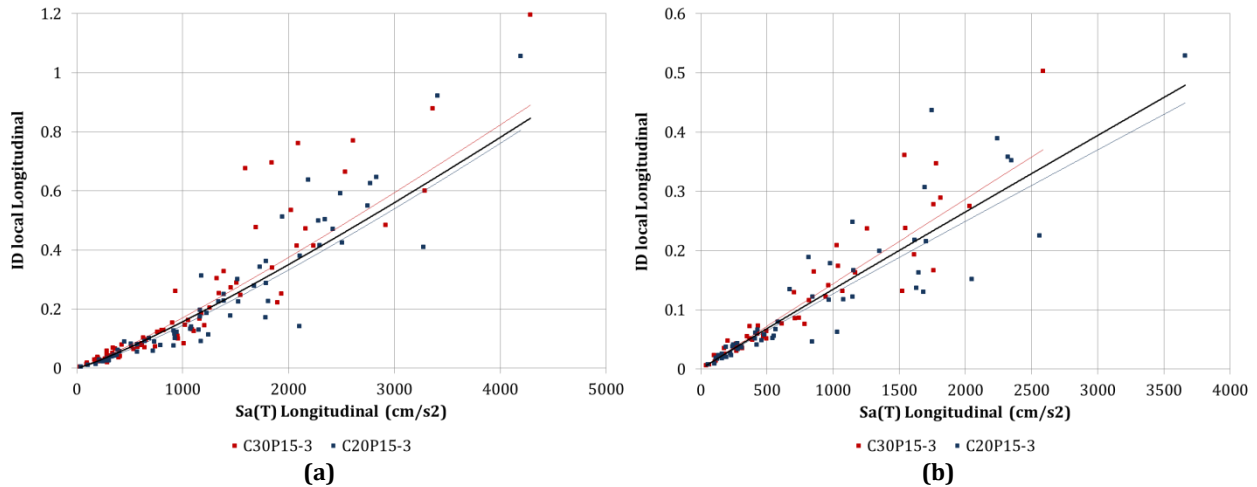


Figura A. 173 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

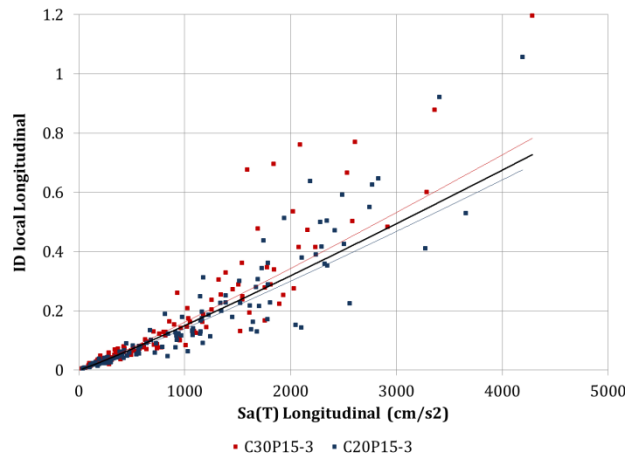


Figura A. 174 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

Tabla A. 87 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial													
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)				
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)				
Longitudinal	C20P15-3	S	Sa(T)	ID local	Original	3.75E-05	1.1959	0.1259	0.9691	4194.46	0.8057	0.8256	2.47%	0.7109	11.76%				
		FN				1.53E-04	0.9733	0.1371	0.9532	3658.80	0.4491	0.4791	6.68%	0.6131	36.51%				
		S y FN				7.11E-05	1.0981	0.1384	0.9602	4194.46	0.6765			0.7109	5.08%				
	C30P15-3	S				6.72E-05	1.1351	0.1431	0.9604	4284.26	0.8904	0.8461	4.98%	0.7274	18.30%				
		FN				1.51E-04	0.9929	0.1011	0.9738	2585.33	0.3703	0.3412	7.87%	0.4208	13.63%				
		S y FN				9.11E-05	1.0832	0.1308	0.9646	4284.26	0.7828			0.7274	7.07%				
P15-3	S	(1)	5.37E-05	1.1556	0.1398	0.9615													
	FN	(2)	1.57E-04	0.9777	0.1219	0.9618													
	S y FN	(3)	8.42E-05	1.0838	0.1381	0.9601													

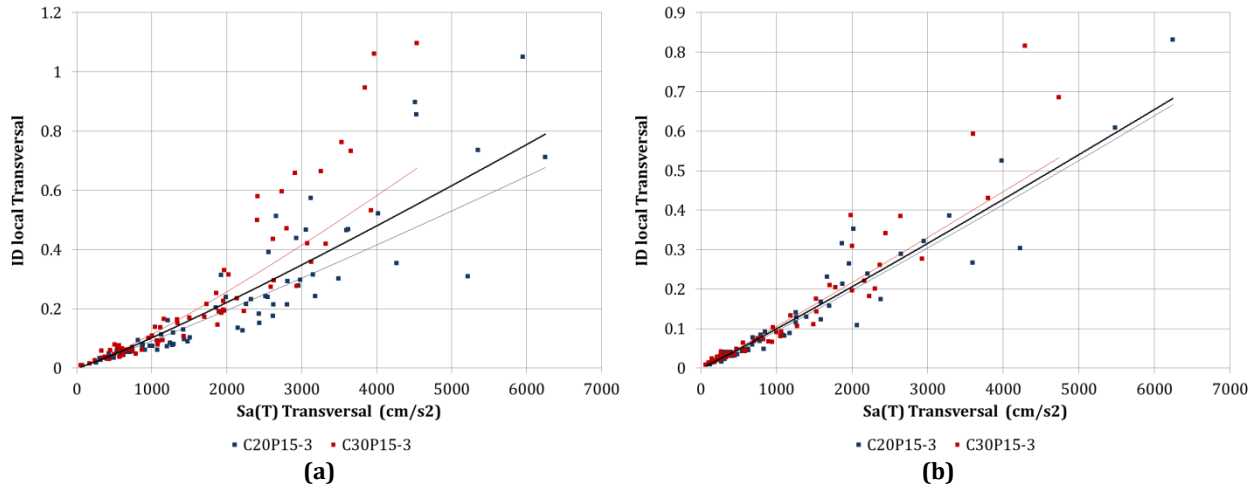


Figura A. 175 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

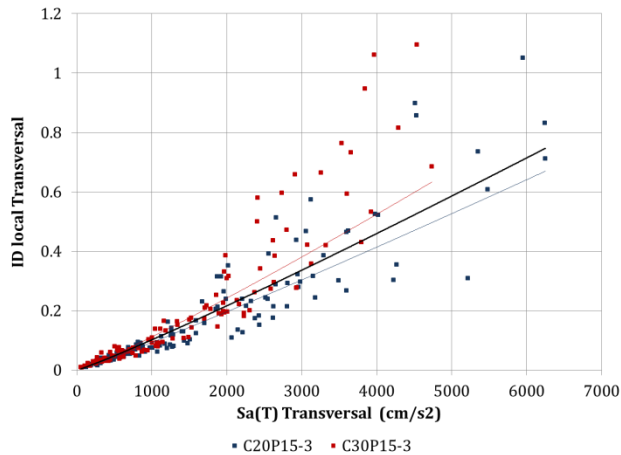


Figura A. 176 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

Tabla A. 88 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	$\frac{PDI(1)}{PDI(2)}$	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P15-3	S	$Sa(T)$	$ID local$	Original	4.84E-05	1.0922	0.1387	0.9503	6248.23	0.6767	0.7898	16.71%	0.7466	10.32%
		FN				5.77E-05	1.0704	0.1114	0.9737	6244.79	0.6671	0.6832	2.41%	0.7461	11.85%
		S y FN				5.40E-05	1.0783	0.1268	0.9637	6248.23	0.6695			0.7466	11.51%
	C30P15-3	S				3.44E-05	1.1740	0.1427	0.9533	4535.21	0.6748	0.5525	18.12%	0.5269	21.92%
		FN				7.74E-05	1.0442	0.1094	0.9757	4736.20	0.5331	0.5106	4.21%	0.5524	3.62%
		S y FN				5.05E-05	1.1150	0.1324	0.9636	4736.20	0.6332			0.5524	12.76%
P15-3	S	(1)	4.63E-05	1.1149	0.1504	0.9441									
	FN	(2)	6.90E-05	1.0527	0.1124	0.9733									
	S y FN	(3)	5.57E-05	1.0874	0.1357	0.9598									

A.3.4. MODELOS CON PILAS $h = 20\text{ m}$

A.3.4.1. Grupo P20-0

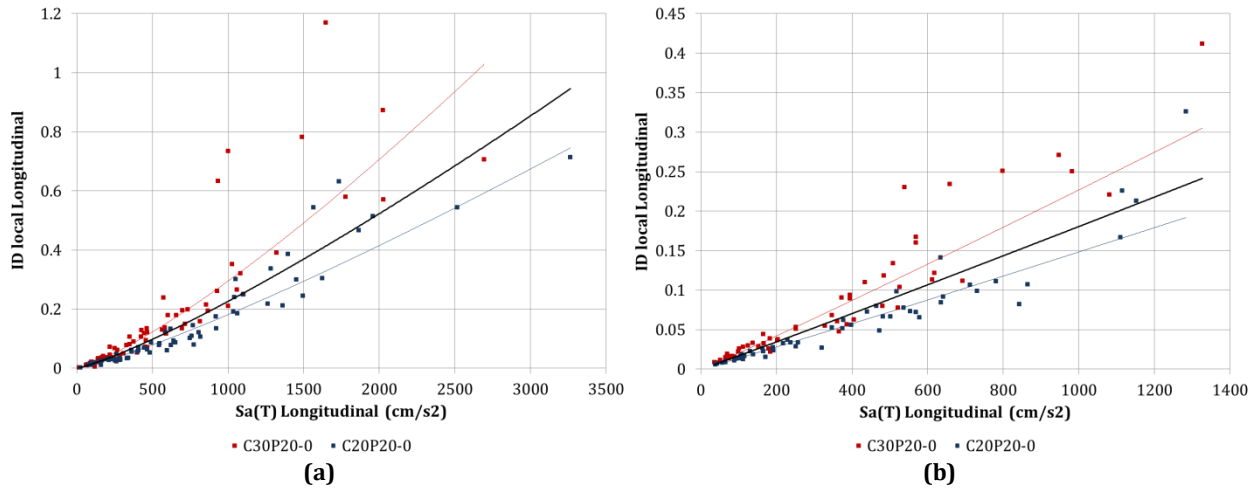


Figura A. 177 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

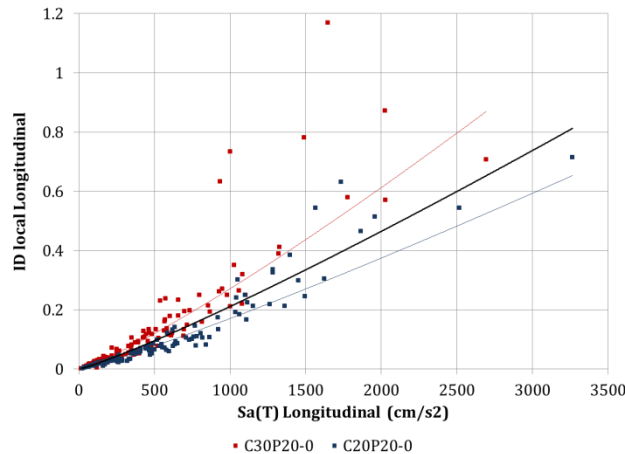


Figura A. 178 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Tabla A. 89 $Sa(T) - ID\ local$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:										
					Potencial					Original					
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)						
C20P20-0	S	Sa(T)	ID local	Original	4.67E-05	1.1963	0.1143	0.9758	3262.89	0.7458	0.9455	26.78%	0.8124	8.93%	
	FN				1.18E-04	1.0337	0.0864	0.9796	1283.57	0.1921	0.2334	21.55%	0.2807	46.18%	
	S y FN				6.80E-05	1.1335	0.1079	0.9763	3262.89	0.6531			0.8124	24.40%	
C30P20-0	S				4.84E-05	1.2615	0.1484	0.9644	2694.19	1.0291	0.7500	27.11%	0.6532	36.52%	
	FN				1.63E-04	1.0475	0.1097	0.9682	1326.48	0.3051	0.2415	20.85%	0.2914	4.47%	
	S y FN				8.07E-05	1.1756	0.1391	0.9635	2694.19	0.8700			0.6532	24.92%	
P20-0	S				(1)	5.33E-05	1.2094	0.1618	0.9541						
	FN				(2)	1.48E-04	1.0289	0.1322	0.9528						
	S y FN				(3)	8.09E-05	1.1389	0.1538	0.9535						

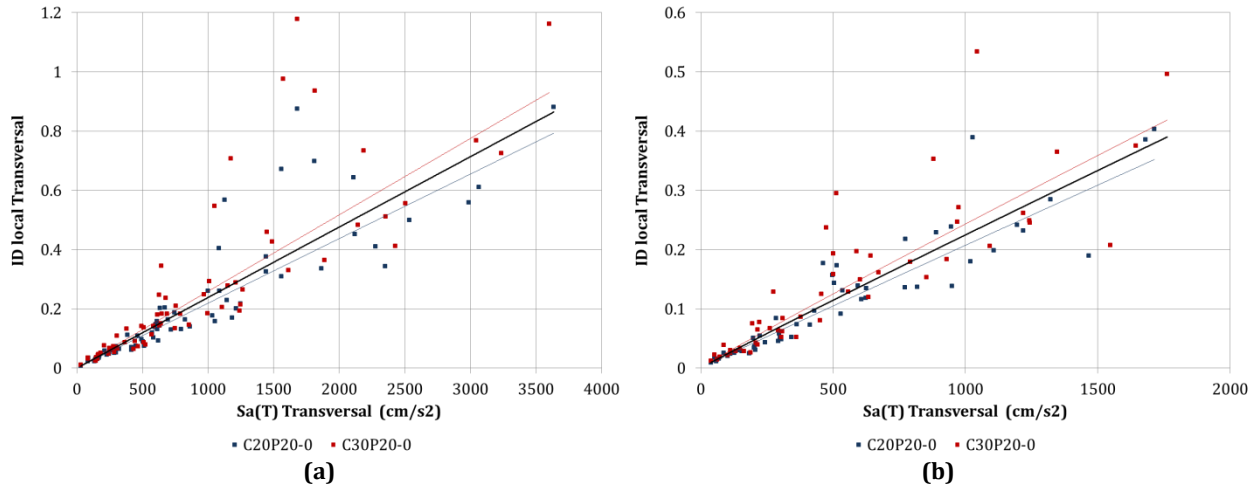


Figura A. 179 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

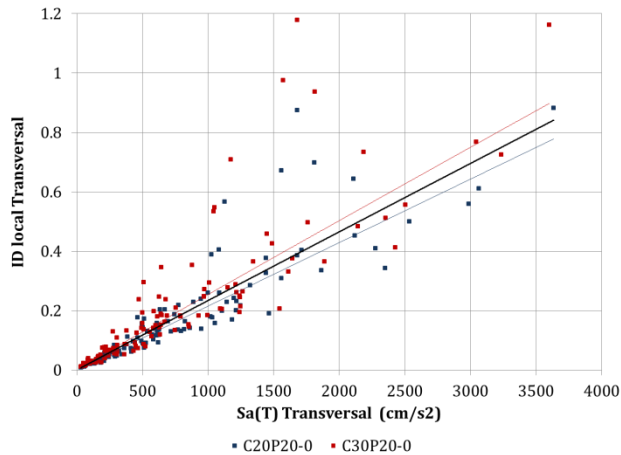


Figura A. 180 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Tabla A. 90 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	$\frac{PDI(1)}{PDI(2)}$	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P20-0	S	$Sa(T)$	$ID local$	Original	2.24E-04	0.9967	0.1253	0.9604	3633.78	0.7930	0.8643	9.00%	0.8413	6.09%
		FN				2.34E-04	0.9828	0.1108	0.9656	1713.24	0.3520	0.3796	7.84%	0.3992	13.39%
		S y FN				2.21E-04	0.9961	0.1187	0.9645	3633.78	0.7780			0.8413	8.13%
	C30P20-0	S				2.64E-04	0.9972	0.1536	0.9427	3600.43	0.9302	0.8564	7.94%	0.8337	10.38%
		FN				3.24E-04	0.9585	0.1482	0.9390	1761.87	0.4188	0.3901	6.86%	0.4104	2.01%
		S y FN				2.82E-04	0.9849	0.1504	0.9441	3600.43	0.8977			0.8337	7.13%
P20-0	S	(1)	2.42E-04	0.9979	0.1439	0.9483									
	FN	(2)	2.73E-04	0.9721	0.1358	0.9480									
	S y FN	(3)	2.48E-04	0.9916	0.1402	0.9509									

A.3.4.2. Grupo P20-1

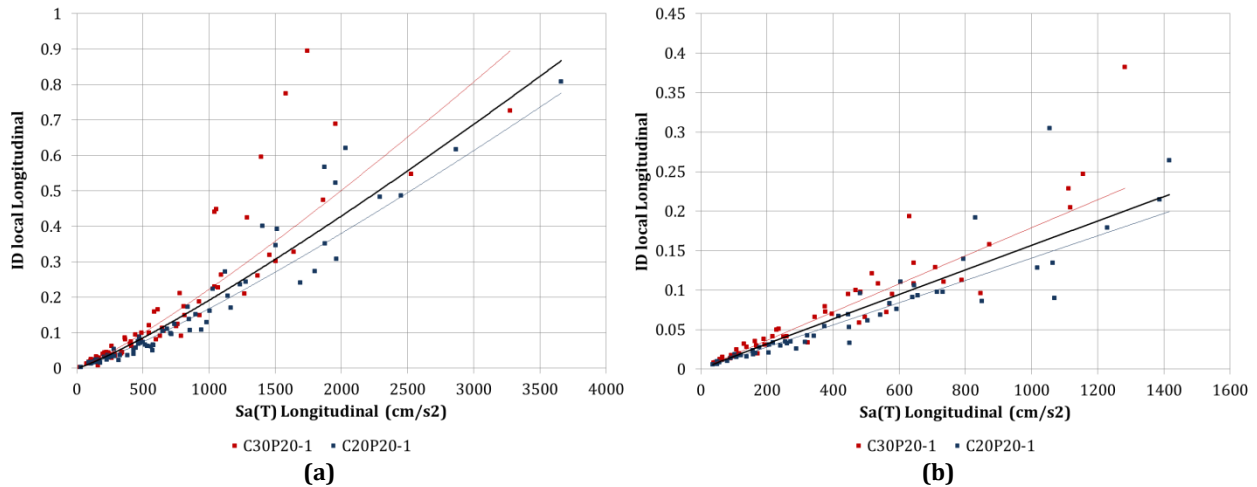


Figura A. 181 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

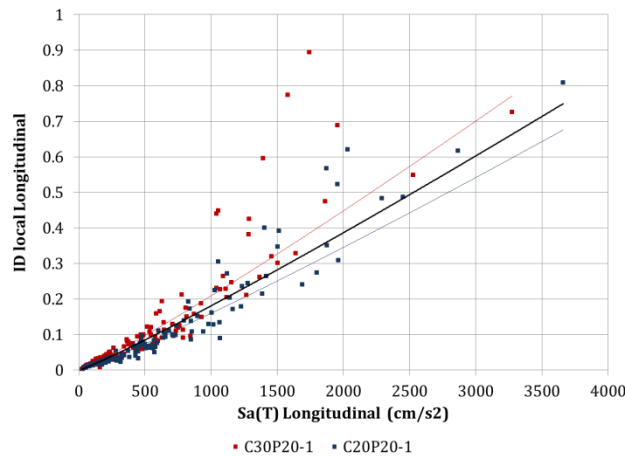


Figura A. 182 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Tabla A. 91 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:						PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)			
						Potencial			$Sa(T)_{max}$ (cm/s ²)	(f)	(g)						(h)	(i)	(j)
						(a) β_0	(b) β_1	(c) σ											
Longitudinal	C20P20-1	S	Sa(T)	ID local	Original	4.85E-05	1.1797	0.1081	0.9777	3659.41	0.7762	0.8672	11.73%	0.7494	3.45%				
		FN				1.35E-04	1.0063	0.1022	0.9712	1416.63	0.1995	0.2211	10.78%	0.2651	32.84%				
		S y FN				7.44E-05	1.1108	0.1107	0.9746	3659.41	0.6757			0.7494	10.90%				
	C30P20-1	S				6.76E-05	1.1725	0.1415	0.9621	3274.27	0.8948	0.7620	14.84%	0.6635	25.85%				
		FN				1.91E-04	0.9905	0.0963	0.9728	1282.53	0.2291	0.2004	12.54%	0.2377	3.77%				
		S y FN				1.04E-04	1.1015	0.1288	0.9649	3274.27	0.7716			0.6635	14.01%				
	P20-1	S				(1)	6.21E-05	1.1633	0.1398	0.9623									
		FN				(2)	1.70E-04	0.9880	0.1138	0.9624									
		S y FN				(3)	9.38E-05	1.0951	0.1338	0.9621									

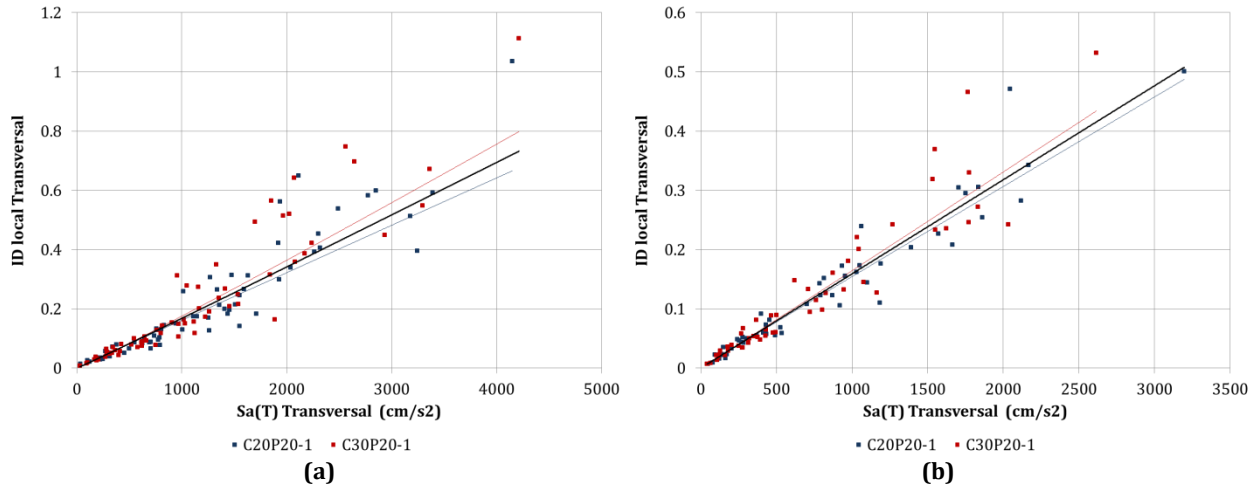


Figura A. 183 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

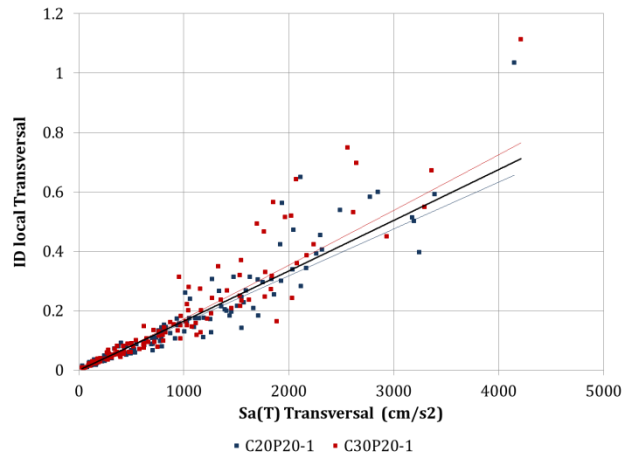


Figura A. 184 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Tabla A. 92 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	$PDI(1)_o$ PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P20-1	S	$Sa(T)$	$ID local$	Original	1.67E-04	0.9950	0.1227	0.9610	4148.32	0.6659	0.7209	8.26%	0.7005	5.20%
		FN				1.67E-04	0.9890	0.0903	0.9792	3195.96	0.4874	0.5077	4.17%	0.5373	10.25%
		S y FN				1.62E-04	0.9968	0.1093	0.9703	4148.32	0.6561			0.7005	6.77%
	C30P20-1	S				1.21E-04	1.0534	0.1216	0.9666	4213.47	0.7988	0.7325	8.30%	0.7117	10.91%
		FN				1.54E-04	1.0098	0.0986	0.9759	2616.01	0.4342	0.4157	4.26%	0.4384	0.95%
		S y FN				1.32E-04	1.0386	0.1121	0.9715	4213.47	0.7651			0.7117	6.98%
P20-1	S	(1)	1.43E-04	1.0230	0.1228	0.9631									
	FN	(2)	1.61E-04	0.9983	0.0943	0.9772									
	S y FN	(3)	1.47E-04	1.0165	0.1114	0.9703									

A.3.4.3. Grupo P20-2

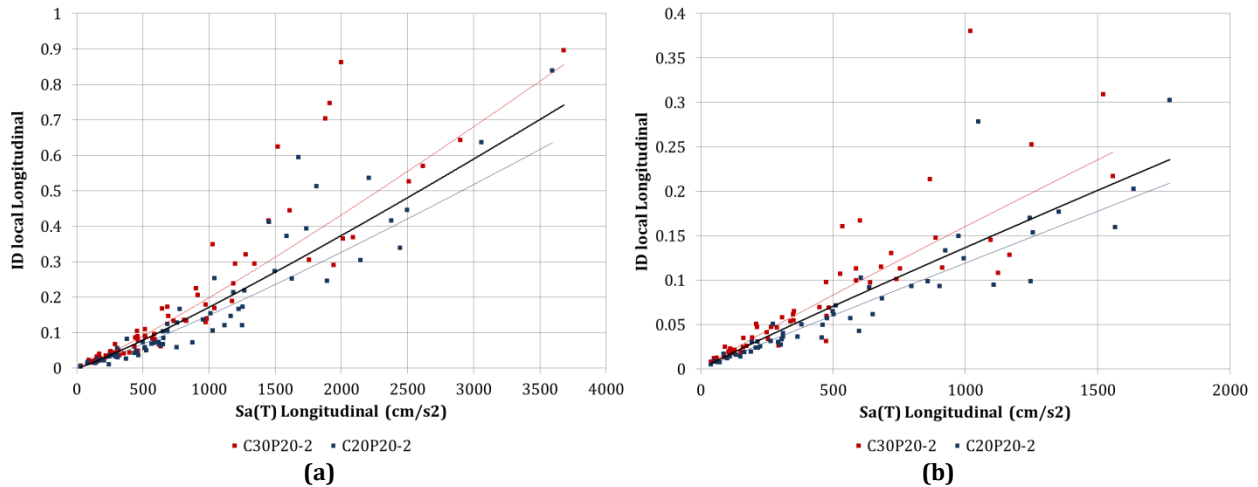


Figura A. 185 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

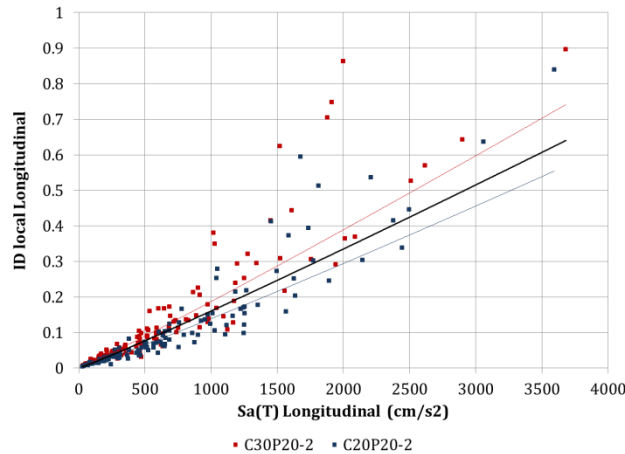


Figura A. 186 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Tabla A. 93 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial									
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Original	C20P20-2	S	Sa(T)	ID local	Original	5.97E-05	1.1326	0.1462	0.9577	3593.45	0.6358	0.7228	13.69%	0.6244	1.79%
		FN				1.36E-04	0.9814	0.1042	0.9699	1772.64	0.2094	0.2359	12.64%	0.2950	40.88%
		S y FN				7.97E-05	1.0807	0.1345	0.9613	3593.45	0.5545			0.6244	12.60%
	C30P20-2	S				8.66E-05	1.1205	0.1313	0.9645	3680.29	0.8568	0.7424	13.35%	0.6404	25.26%
		FN				2.34E-04	0.9453	0.1294	0.9498	1557.72	0.2442	0.2086	14.56%	0.2572	5.35%
		S y FN				1.27E-04	1.0561	0.1349	0.9594	3680.29	0.7415			0.6404	13.63%
P20-2	S	(1)	7.42E-05	1.1218	0.1521	0.9529									
	FN	(2)	1.92E-04	0.9510	0.1376	0.9446									
	S y FN	(3)	1.05E-04	1.0609	0.1508	0.9501									

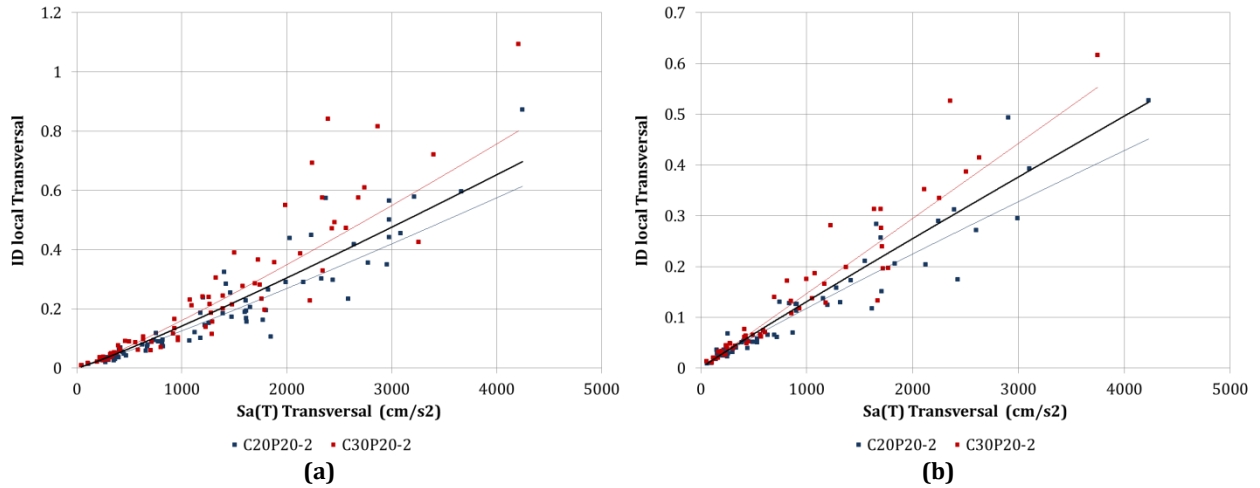


Figura A. 187 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

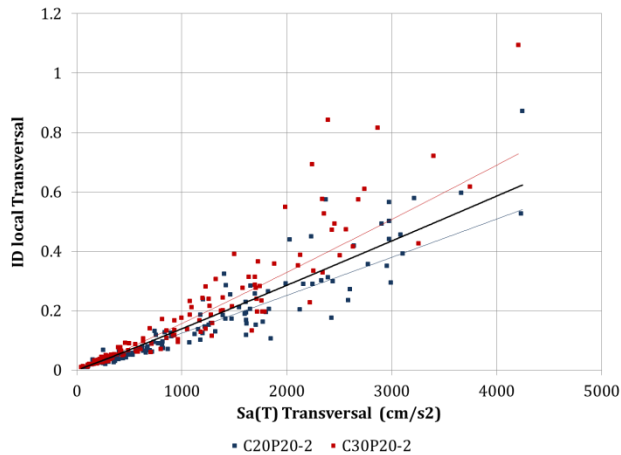


Figura A. 188 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Tabla A. 94 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	$PDI(1)_o$ PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P20-2	S	$Sa(T)$	$ID local$	Original	6.46E-05	1.0964	0.1225	0.9637	4244.35	0.6136	0.6968	13.57%	0.6230	1.54%
		FN				1.89E-04	0.9315	0.1100	0.9689	4232.12	0.4515	0.5240	16.05%	0.6212	37.56%
		S y FN				1.10E-04	1.0173	0.1217	0.9643	4244.35	0.5401			0.6230	15.36%
	C30P20-2	S				7.22E-05	1.1162	0.1298	0.9625	4207.89	0.8008	0.6902	13.81%	0.6175	22.89%
		FN				1.43E-04	1.0037	0.0995	0.9761	3748.24	0.5532	0.4663	15.72%	0.5476	1.02%
		S y FN				9.70E-05	1.0693	0.1197	0.9681	4207.89	0.7282			0.6175	15.21%
P20-2	S	(1)	7.15E-05	1.0995	0.1364	0.9562									
	FN	(2)	1.71E-04	0.9615	0.1127	0.9677									
	S y FN	(3)	1.07E-04	1.0375	0.1299	0.9606									

A.3.4.4. Grupo P20-3

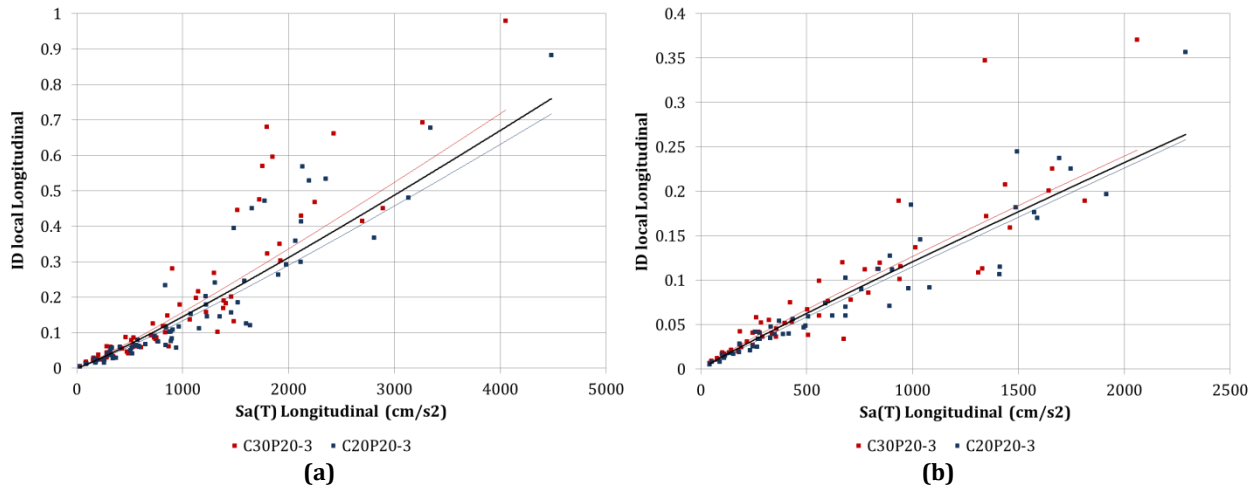


Figura A. 189 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

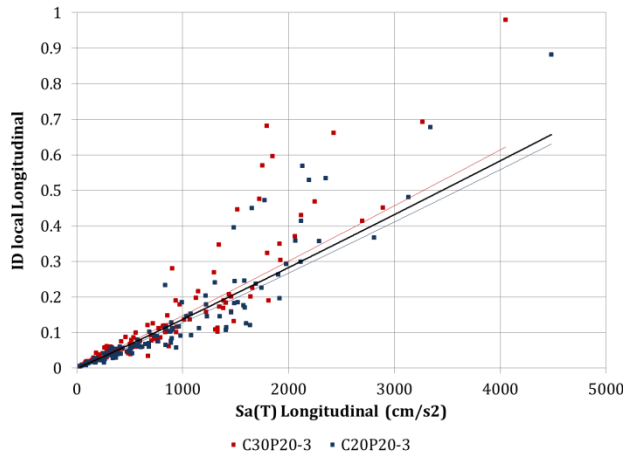


Figura A. 190 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Tabla A. 95 $Sa(T) - ID local$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial												
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)			
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)			
Longitudinal	C20P20-3	S	Sa(T)	ID local	Original	5.86E-05	1.1195	0.1452	0.9583	4481.87	0.7172	0.7603	6.00%	0.6569	8.40%			
		FN				1.38E-04	0.9739	0.0939	0.9764	2289.69	0.2581	0.2641	2.29%	0.3258	26.21%			
		S y FN				8.26E-05	1.0632	0.1292	0.9643	4481.87	0.6302			0.6569	4.24%			
	C30P20-3	S				8.30E-05	1.0930	0.1538	0.9510	4052.03	0.7282	0.6802	6.59%	0.5913	18.80%			
		FN				2.21E-04	0.9194	0.1204	0.9571	2061.71	0.2465	0.2392	2.98%	0.2920	18.46%			
		S y FN				1.20E-04	1.0296	0.1456	0.9520	4052.03	0.6224			0.5913	5.00%			
P20-3	S	(1)	7.09E-05	1.1037	0.1535	0.9517												
	FN	(2)	1.77E-04	0.9446	0.1119	0.9641												
	S y FN	(3)	1.01E-04	1.0442	0.1417	0.9555												

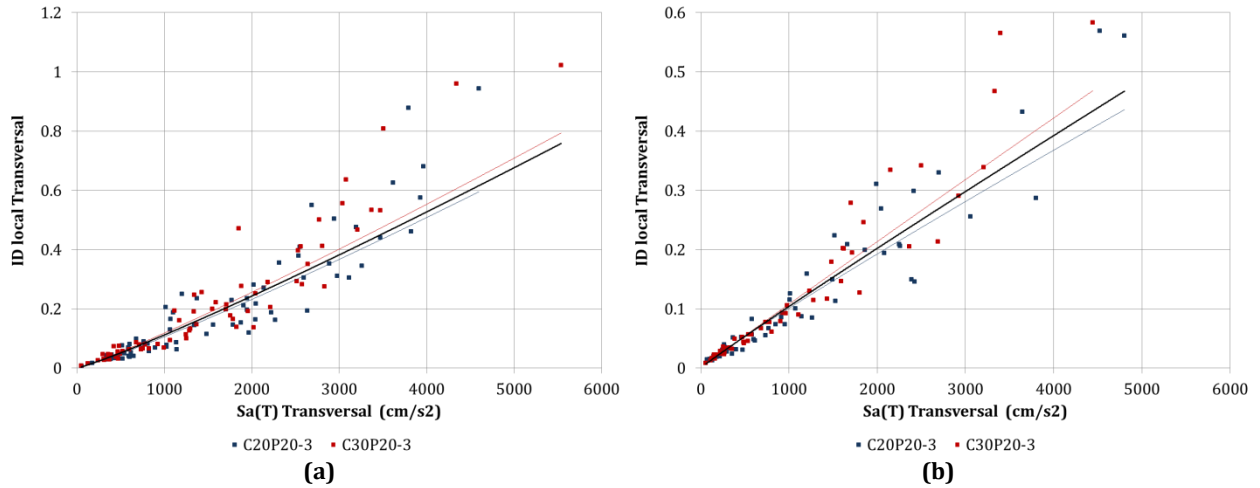


Figura A. 191 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

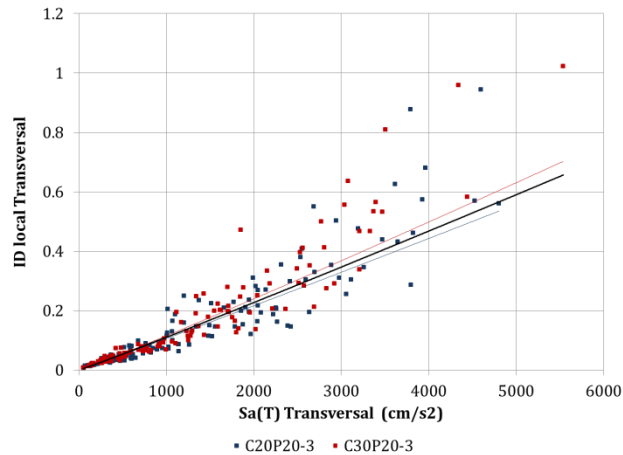


Figura A. 192 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Tabla A. 96 $Sa(T) - ID local$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	$\frac{PDI(1)}{PDI(2)}$	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P20-3	S	Sa(T)	ID local	Original	4.22E-05	1.1330	0.1439	0.9488	4597.31	0.5954	0.6161	3.49%	0.5409	9.15%
		FN				1.60E-04	0.9333	0.1155	0.9666	4802.24	0.4363	0.4676	7.17%	0.5660	29.73%
		S y FN				8.43E-05	1.0329	0.1382	0.9542	4802.24	0.5351			0.5660	5.79%
	C30P20-3	S				5.50E-05	1.1113	0.1270	0.9618	5538.14	0.7942	0.7586	4.49%	0.6567	17.31%
		FN				1.21E-04	0.9838	0.0888	0.9817	4441.38	0.4681	0.4339	7.30%	0.5218	11.48%
		S y FN				7.87E-05	1.0555	0.1157	0.9697	5538.14	0.7026			0.6567	6.54%
P20-3	S	(1)	4.99E-05	1.1171	0.1370	0.9539									
	FN	(2)	1.40E-04	0.9570	0.1033	0.9738									
	S y FN	(3)	8.28E-05	1.0417	0.1284	0.9613									

A.4. RELACIÓN $Sa(T) - ID_{global}$

A.4.1. MODELOS CON PILAS $h = 5 m$

A.4.1.1. Grupo P05-0

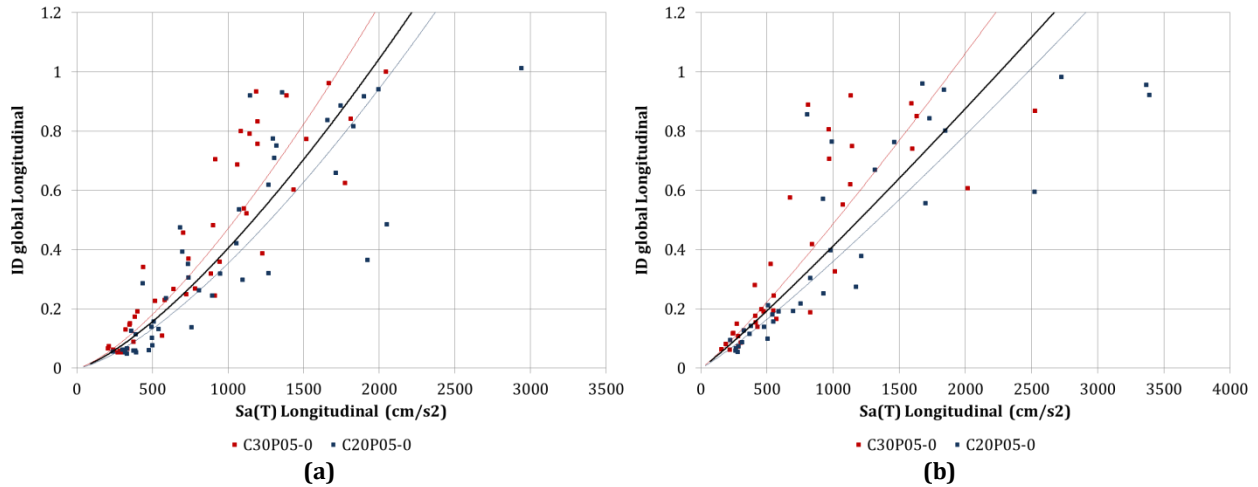


Figura A. 193 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

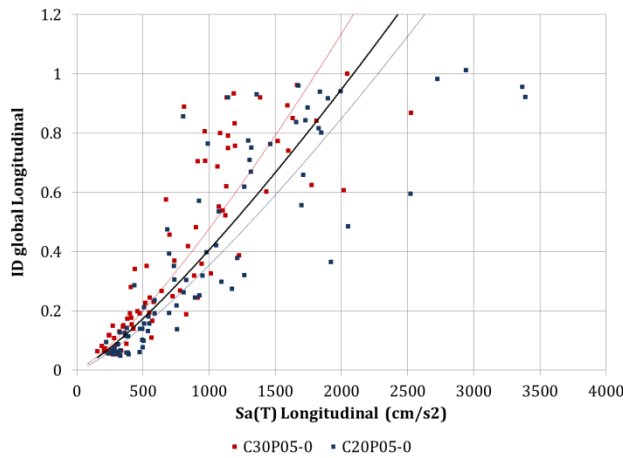


Figura A. 194 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

Tabla A. 97 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

		Curva de ajuste: Potencial													
Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
Longitudinal	C20P05-0	S	Sa(T)	ID global	Original	1.98E-05	1.4174	0.1893	0.9055	2941.69	1.6312	1.7715	8.60%	1.5202	6.81%
		FN				1.49E-04	1.1277	0.1610	0.9233	3391.46	1.4279	1.5575	9.08%	1.8091	26.70%
		S y FN				5.75E-05	1.2632	0.1816	0.9062	3391.46	1.6563			1.8091	9.23%
	C30P05-0	S				3.41E-05	1.3802	0.1516	0.9363	2045.33	1.2636	1.0773	14.74%	0.9747	22.87%
		FN				2.03E-04	1.1264	0.1615	0.9114	2527.59	1.3837	1.1310	18.26%	1.2627	8.74%
		S y FN				8.40E-05	1.2515	0.1619	0.9186	2527.59	1.5224			1.2627	17.06%
P05-0	S	(1)	3.17E-05	1.3685	0.1816	0.9083									
	FN	(2)	2.24E-04	1.0885	0.1717	0.9033									
	S y FN	(3)	8.70E-05	1.2231	0.1830	0.8986									

Funciones de Demanda Estructural de Puentes Carreteros Típicos en México

Apéndice A. Diagramas de dispersión y curvas de ajuste

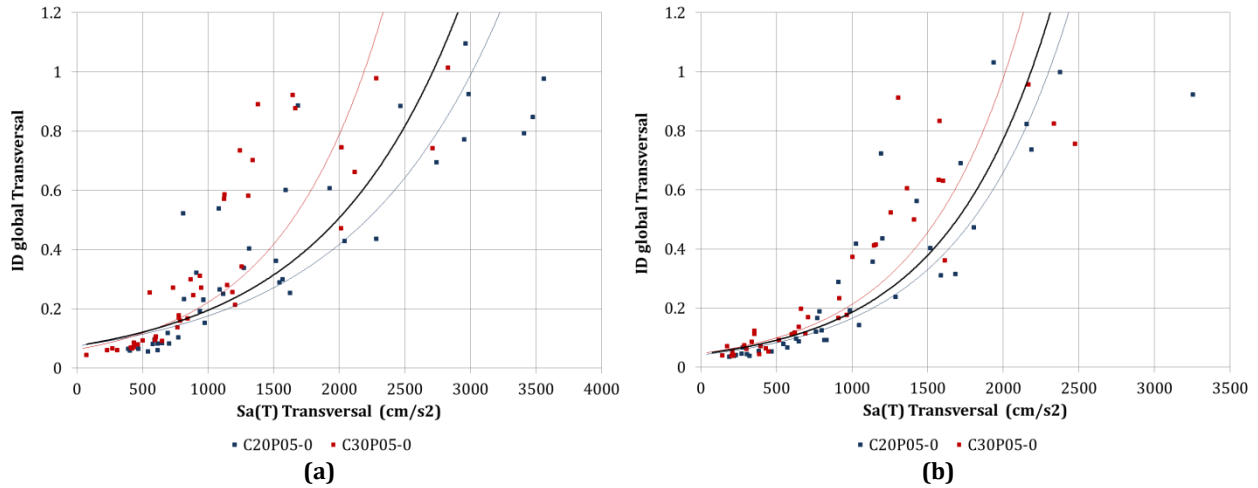


Figura A. 195 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

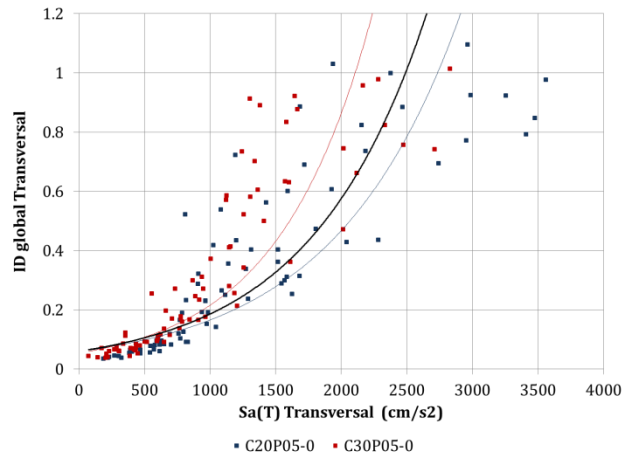


Figura A. 196 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

Tabla A. 98 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P05-0 y C30P05-0

					Curva de ajuste: Exponencial										
Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s ²)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P05-0	S	Sa(T)	ID global	Original	7.43E-02	8.63E-04	0.5096	0.8492	3562.56	1.6076	2.2502	39.97%	3.3594	108.97%
		FN				4.15E-02	1.38E-03	0.4810	0.8982	3254.34	3.7410	4.5936	22.79%	2.3721	36.59%
		S y FN				5.88E-02	1.04E-03	0.5313	0.8575	3562.56	2.3595			3.3594	42.38%
	C30P05-0	S				6.27E-02	1.27E-03	0.4862	0.8656	2829.62	2.2515	1.1187	50.31%	1.4685	34.78%
		FN				4.63E-02	1.53E-03	0.4239	0.9163	2476.18	2.0242	1.5190	24.96%	0.9853	51.32%
		S y FN				5.39E-02	1.39E-03	0.4607	0.8897	2829.62	2.7269			1.4685	46.15%
P05-0	S	(1)	7.53E-02	9.54E-04	0.5359	0.8287									
	FN	(2)	4.49E-02	1.42E-03	0.4667	0.8984									
	S y FN	(3)	6.02E-02	1.13E-03	0.5295	0.8531									

A.4.1.2. Grupo P05-1

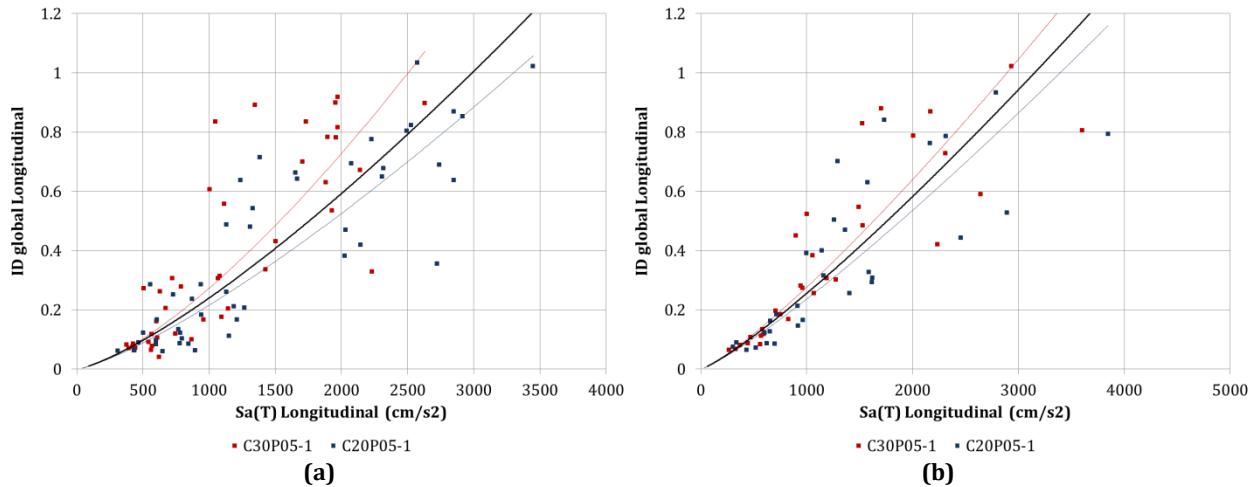


Figura A. 197 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

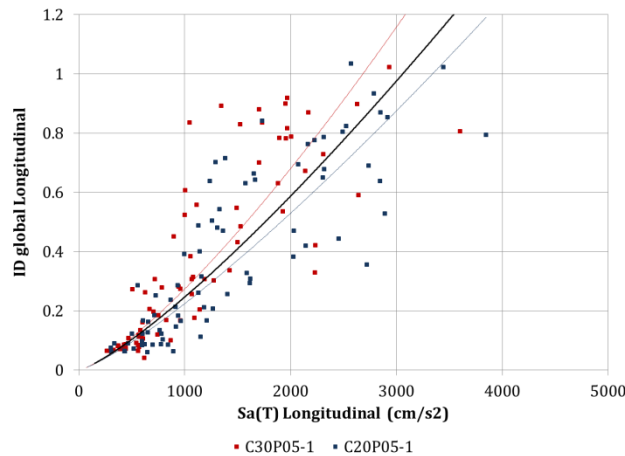


Figura A. 198 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

Tabla A. 99 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial												
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)			
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)			
Longitudinal	C20P05-1	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	3.03E-05	1.2841	0.2017	0.8684	3447.04	1.0576	1.2055	13.99%	1.1613	9.80%			
		FN				6.78E-05	1.1808	0.1664	0.8938	3846.40	1.1598	1.2676	9.29%	1.3321	14.86%			
		S y FN				4.29E-05	1.2394	0.1876	0.8755	3846.40	1.1909			1.3321	11.86%			
	C30P05-1	S				1.56E-05	1.4145	0.2146	0.8555	2629.97	1.0726	0.8472	21.01%	0.8275	22.85%			
		FN				6.37E-05	1.2123	0.1369	0.9352	3602.99	1.3059	1.1727	10.19%	1.2274	6.01%			
		S y FN				3.16E-05	1.3125	0.1853	0.8847	3602.99	1.4726			1.2274	16.65%			
	P05-1	S				(1)	2.95E-05	1.3037	0.2128	0.8516								
		FN				(2)	6.91E-05	1.1892	0.1538	0.9108								
		S y FN				(3)	4.32E-05	1.2523	0.1907	0.8723								

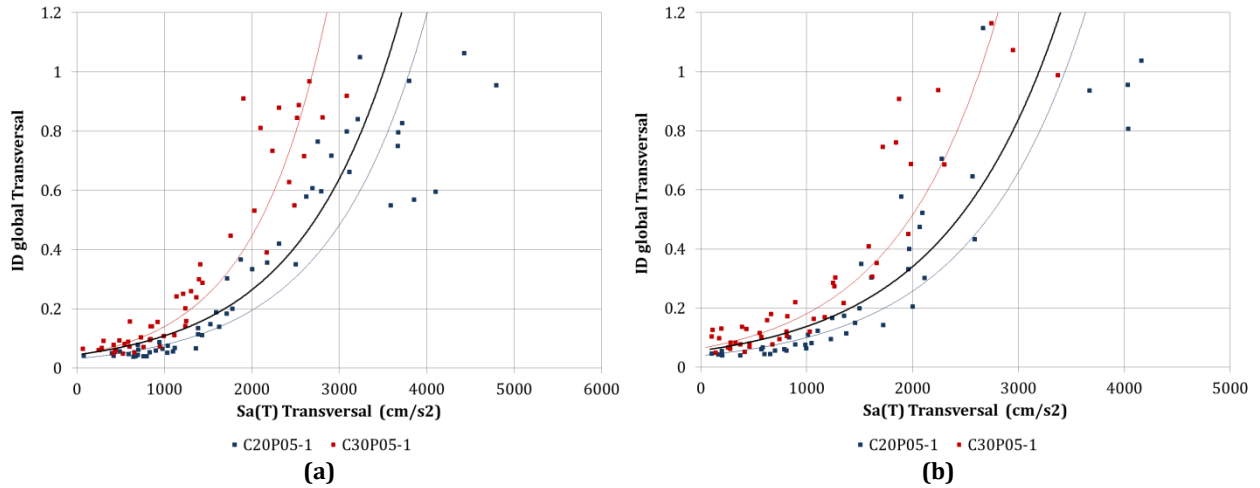


Figura A. 199 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

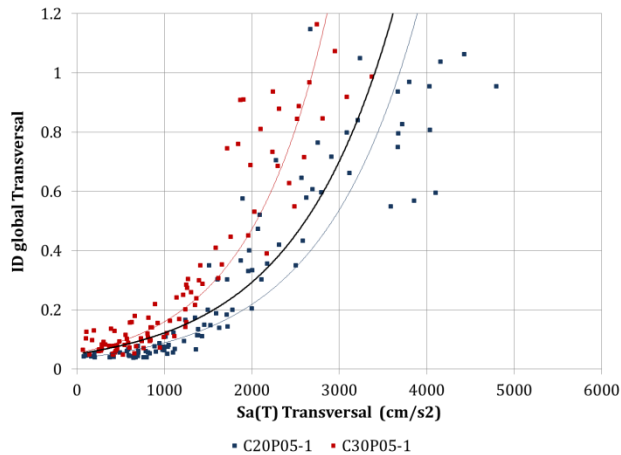


Figura A. 200 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

Tabla A. 100 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P05-1 y C30P05-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Exponencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P05-1	S	Sa(T)	ID global	Original	3.18E-02	9.07E-04	0.4085	0.9405	4797.25	2.4620	3.1313	27.19%	3.3680	36.80%
		FN				3.90E-02	9.43E-04	0.4267	0.9198	4161.78	1.9766	2.3948	21.16%	1.9341	2.15%
		S y FN				3.61E-02	9.00E-04	0.4333	0.9252	4797.25	2.7113			3.3680	24.22%
	C30P05-1	S				4.41E-02	1.16E-03	0.3241	0.9465	3090.06	1.5714	0.6920	55.96%	0.7589	51.70%
		FN				6.36E-02	1.05E-03	0.3542	0.9256	3372.79	2.1665	1.1748	45.78%	0.9714	55.16%
		S y FN				5.42E-02	1.08E-03	0.3584	0.9280	3372.79	2.0866			0.9714	53.45%
P05-1	S	(1)	4.50E-02	8.84E-04	0.5106	0.8860									
	FN	(2)	5.59E-02	9.03E-04	0.4919	0.8713									
	S y FN	(3)	5.11E-02	8.73E-04	0.5138	0.8725									

A.4.1.3. Grupo P05-2

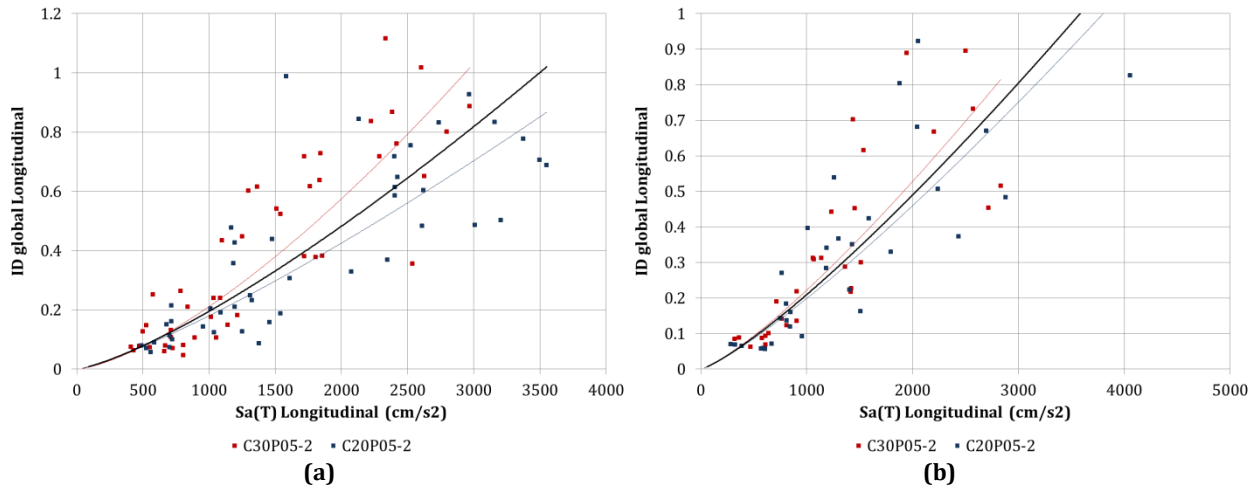


Figura A. 201 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

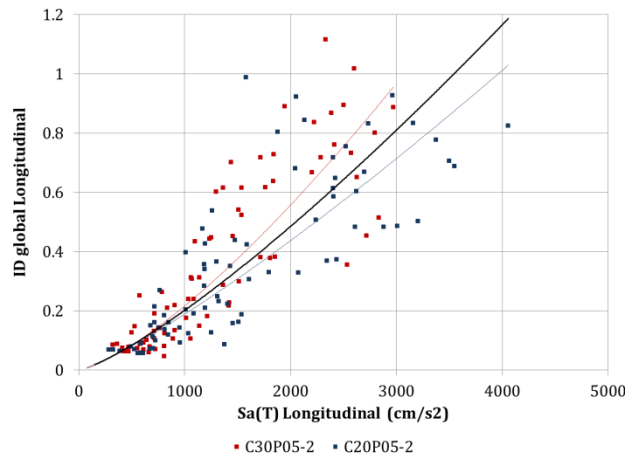


Figura A. 202 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

Tabla A. 101 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial													
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)				
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)				
C20P05-2	S	Sa(T)	ID global	Original	3.44E-05	1.2398	0.1826	0.8691	3550.63	0.8672	1.0206	17.70%	1.0027	15.63%				
	FN				4.63E-05	1.2108	0.1938	0.8705	4057.79	1.0827	1.1655	7.65%	1.1872	9.66%				
	S y FN				4.40E-05	1.2109	0.1858	0.8710	4057.79	1.0297			1.1872	15.29%				
S	9.94E-06				1.4427	0.2022	0.8732	2970.10	1.0175	0.8085	20.54%	0.8000	21.37%					
FN	3.99E-05				1.2486	0.1612	0.8969	2834.52	0.8155	0.7509	7.93%	0.7541	7.53%					
S y FN	1.76E-05				1.3636	0.1867	0.8790	2970.10	0.9552			0.8000	16.25%					
P05-2	S			(1)	2.38E-05	1.3050	0.1978	0.8609										
	FN			(2)	4.41E-05	1.2254	0.1779	0.8797										
	S y FN			(3)	3.24E-05	1.2649	0.1895	0.8684										

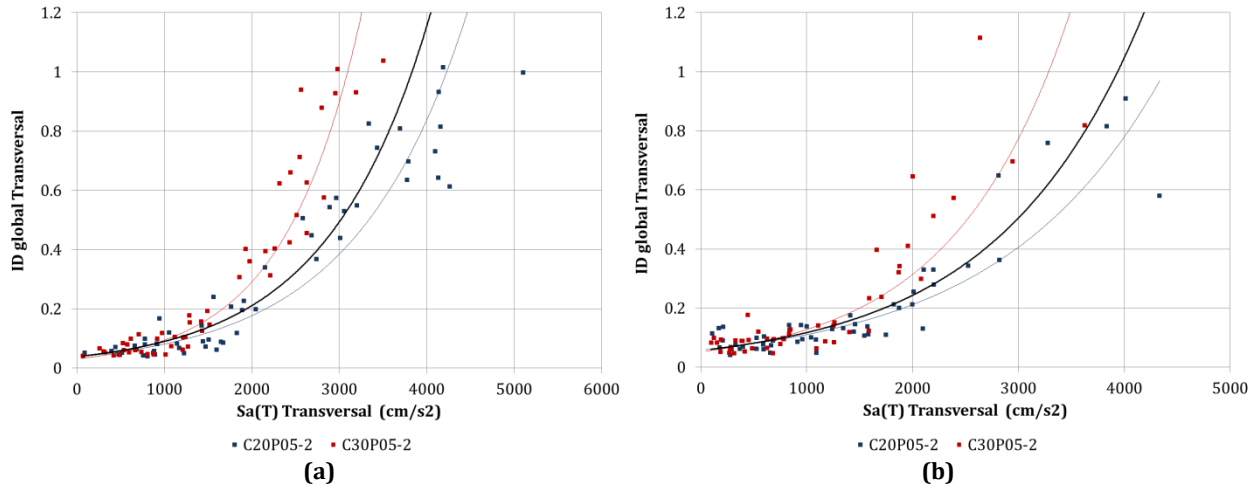


Figura A. 203 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

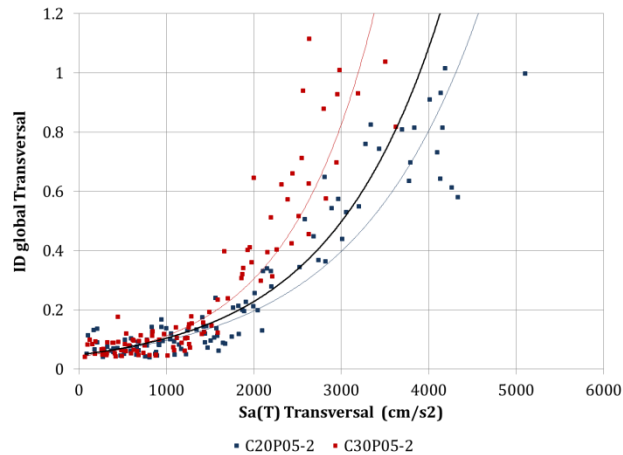


Figura A. 204 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

Tabla A. 102 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P05-2 y C30P05-2

					Curva de ajuste: Exponencial										
Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P05-2	S	Sa(T)	ID global	Original	3.74E-02	7.77E-04	0.3755	0.9389	5104.21	1.9750	2.9506	49.40%	2.5671	29.98%
		FN				5.75E-02	6.52E-04	0.3464	0.8919	4335.23	0.9703	1.3383	37.93%	1.4094	45.26%
		S y FN				4.79E-02	7.05E-04	0.3818	0.9154	5104.21	1.7531			2.5671	46.43%
	C30P05-2	S				3.06E-02	1.13E-03	0.3263	0.9540	3504.31	1.5845	0.7574	52.20%	0.7373	53.47%
		FN				5.18E-02	9.01E-04	0.3826	0.8933	3627.83	1.3618	0.7986	41.36%	0.8119	40.38%
		S y FN				4.15E-02	9.97E-04	0.3825	0.9205	3627.83	1.5426			0.8119	47.37%
P05-2	S	(1)	3.85E-02	8.50E-04	0.4376	0.9142									
	FN	(2)	5.65E-02	7.30E-04	0.3899	0.8730									
	S y FN	(3)	4.80E-02	7.80E-04	0.4304	0.8935									

A.4.1.4. Grupo P05-3

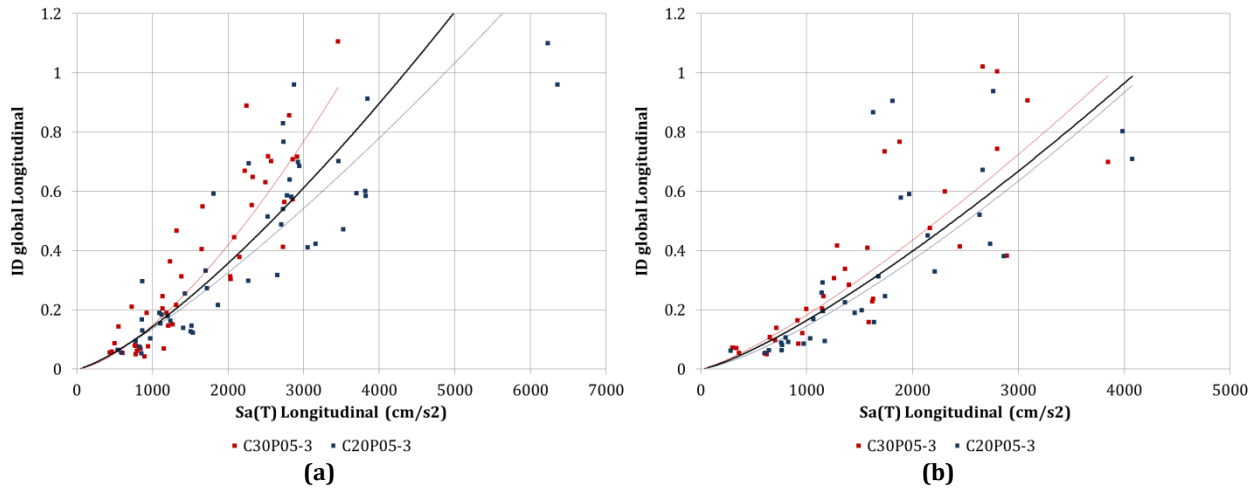


Figura A. 205 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

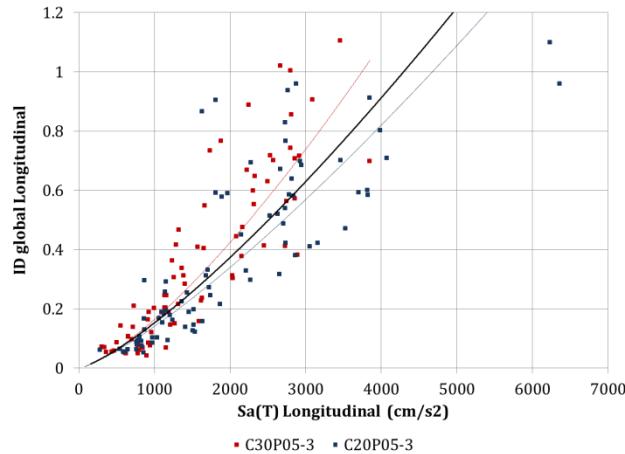


Figura A. 206 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

Tabla A. 103 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)									
						Potencial		σ	r															
						(a)	(b)																	
Longitudinal	C20P05-3	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	(a)	(b)	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)									
		FN				2.24E-05	1.2612									0.1616	0.9002	6358.59	1.4002	1.6606	18.60%	1.6589	18.48%	
		S y FN				1.39E-05	1.3405									0.1967	0.8686	4074.80	0.9580	0.9888	3.22%	0.9347	2.43%	
	C30P05-3	S				2.16E-05	1.2714									0.1765	0.8870	6358.59	1.4787				1.6589	12.19%
		FN				4.67E-06	1.5003									0.1958	0.8894	3457.61	0.9514	0.7392	22.30%	0.7563	20.51%	
		S y FN				3.10E-05	1.2565									0.1747	0.9024	3848.67	0.9910	0.9193	7.23%	0.8684	12.37%	
	P05-3	S			1.29E-05	1.3682	0.1898	0.8881	3848.67	1.0383				0.8684	16.37%									
		FN			(1)	1.47E-05	1.3284	0.1844	0.8865															
		S y FN			(2)	2.42E-05	1.2774	0.1887	0.8787															
								(3)	2.07E-05	1.2893	0.1871	0.8813												

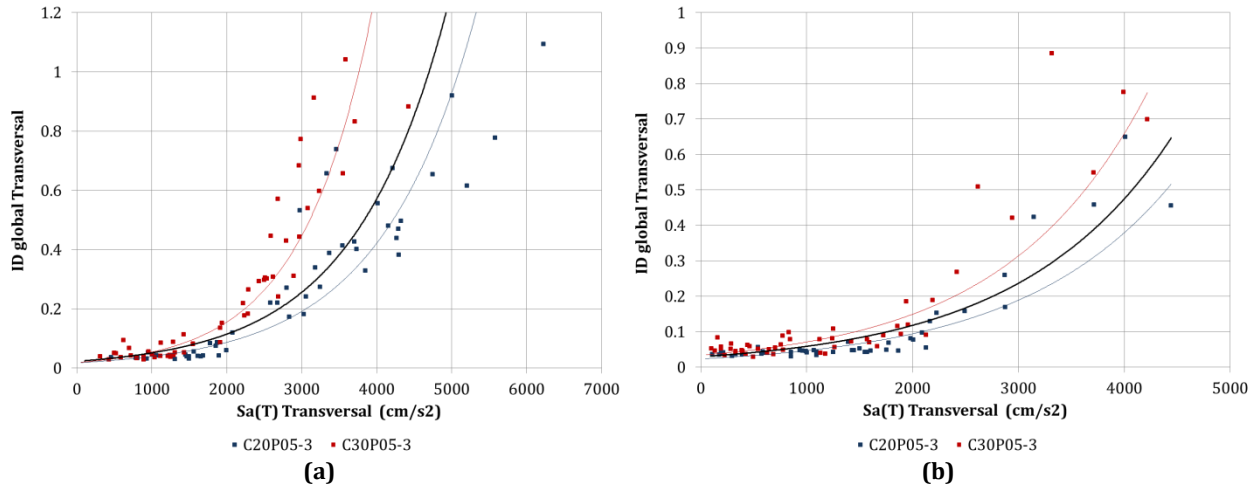


Figura A. 207 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

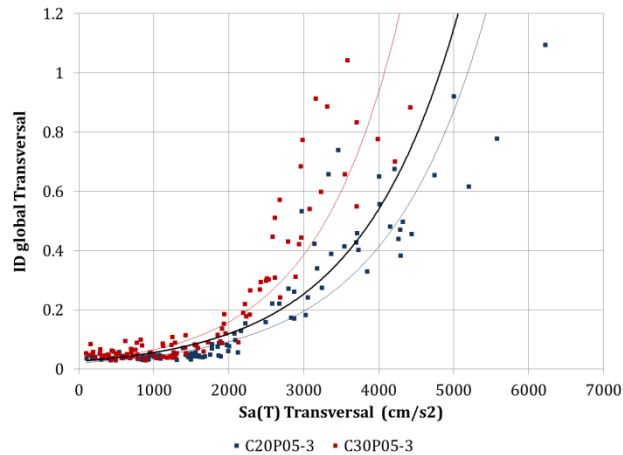


Figura A. 208 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

Tabla A. 104 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P05-3 y C30P05-3

		Curva de ajuste: Exponencial													
Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	(a) (b) (c) (d)				(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r							$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)
Transversal	C20P05-3	S	Sa(T)	ID global	Original	1.79E-02	7.89E-04	0.4190	0.9392	6224.09	2.4385	3.4048	39.63%	2.8932	18.65%
		FN				2.34E-02	6.97E-04	0.3360	0.9098	4443.91	0.5170	0.6470	25.14%	0.7549	46.03%
		S y FN				2.09E-02	7.46E-04	0.3848	0.9396	6224.09	2.1717			2.8932	33.22%
	C30P05-3	S				1.88E-02	1.06E-03	0.3734	0.9458	4426.79	2.0168	0.8049	60.09%	0.7452	63.05%
		FN				3.38E-02	7.42E-04	0.3778	0.9021	4219.39	0.7753	0.5534	28.62%	0.6372	17.80%
		S y FN				2.71E-02	8.86E-04	0.4083	0.9206	4426.79	1.3657			0.7452	45.43%
P05-3	S	(1)	2.31E-02	8.02E-04	0.5192	0.8970									
	FN	(2)	2.94E-02	6.96E-04	0.4167	0.8701									
	S y FN	(3)	2.64E-02	7.55E-04	0.4757	0.8975									

A.4.2. MODELOS CON PILAS $h = 10 m$

A.4.2.1. Grupo P10-0

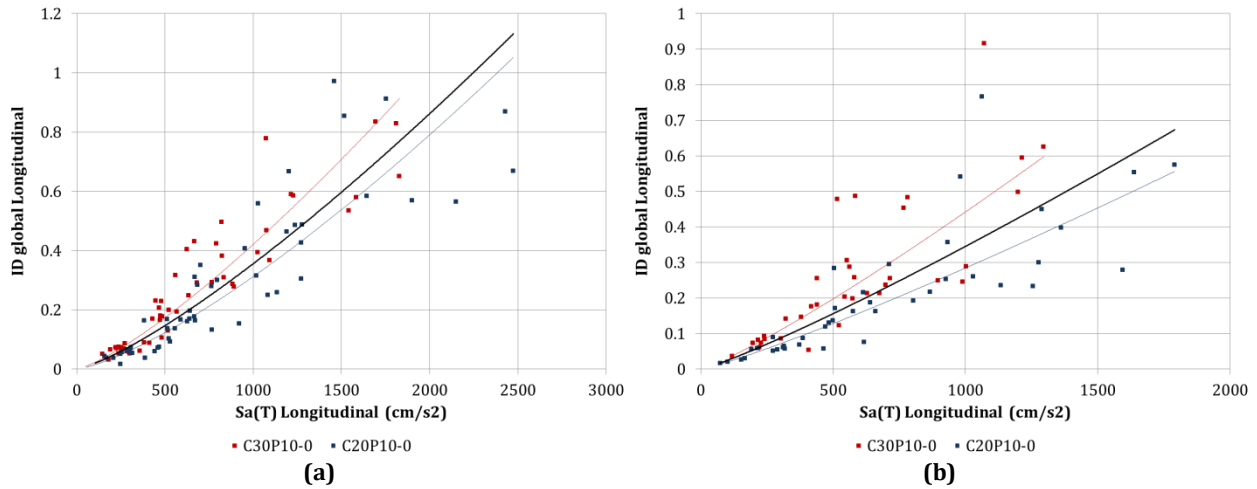


Figura A. 209 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

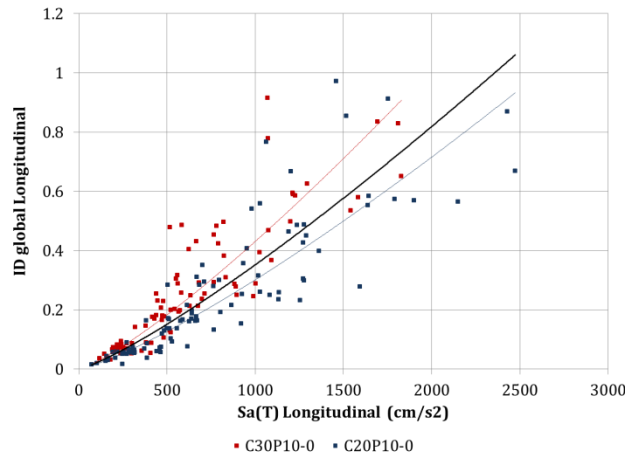


Figura A. 210 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Tabla A. 105 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:									
					Potencial				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
					(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r						
C20P10-0	S	Sa(T)	ID global	Original	2.98E-05	1.3404	0.1648	0.9281	2473.95	1.0522	1.1317	7.56%	1.0611	0.84%
	FN				1.00E-04	1.1510	0.1525	0.9324	1790.91	0.5563	0.6734	21.06%	0.7160	28.71%
	S y FN				5.47E-05	1.2470	0.1607	0.9288	2473.95	0.9333			1.0611	13.69%
C30P10-0	S				6.02E-05	1.2817	0.1273	0.9465	1829.06	0.9136	0.7696	15.76%	0.7347	19.58%
	FN				1.45E-04	1.1619	0.1651	0.8774	1295.17	0.5972	0.4645	22.23%	0.4826	19.19%
	S y FN				8.53E-05	1.2346	0.1455	0.9197	1829.06	0.9084			0.7347	19.12%
P10-0	S	(1)	5.26E-05	1.2769	0.1631	0.9200								
	FN	(2)	1.26E-04	1.1461	0.1828	0.8851								
	S y FN	(3)	7.86E-05	1.2172	0.1721	0.9053								

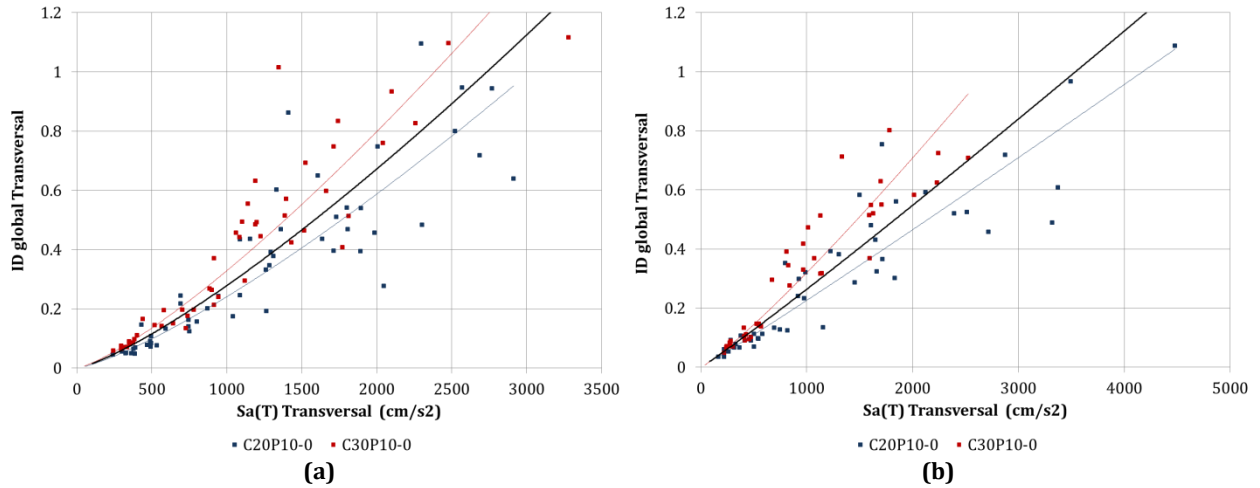


Figura A. 211 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

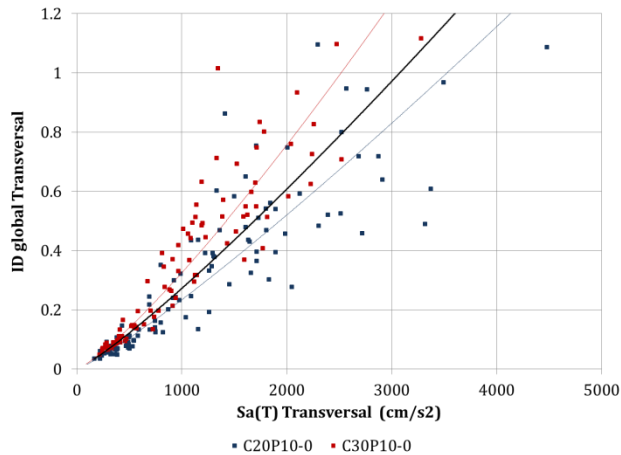


Figura A. 212 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Tabla A. 106 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P10-0 y C30P10-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
					Potencial		σ	r							
					(a) β_0	(b) β_1									
Transversal	C20P10-0	S FN S y FN	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	3.36E-05	1.2854	0.1334	0.9468	2913.00	0.9528	1.0836	13.72%	0.9391	1.44%
						1.70E-04	1.0410	0.1327	0.9475	4479.83	1.0768	1.2826	19.11%	1.5451	43.49%
						8.21E-05	1.1517	0.1384	0.9415	4479.83	1.3175			1.5451	17.28%
	C30P10-0	S FN S y FN				4.78E-05	1.2793	0.1042	0.9620	3280.97	1.5037	1.2602	16.19%	1.0777	28.33%
						1.15E-04	1.1480	0.0981	0.9657	2525.14	0.9253	0.7005	24.30%	0.7960	13.97%
						7.41E-05	1.2144	0.1023	0.9627	3280.97	1.3794			1.0777	21.87%
P10-0	S FN S y FN	(1)	4.33E-05	1.2695	0.1374	0.9387									
		(2)	1.80E-04	1.0550	0.1374	0.9370									
		(3)	9.23E-05	1.1568	0.1410	0.9341									

A.4.2.2. Grupo P10-1

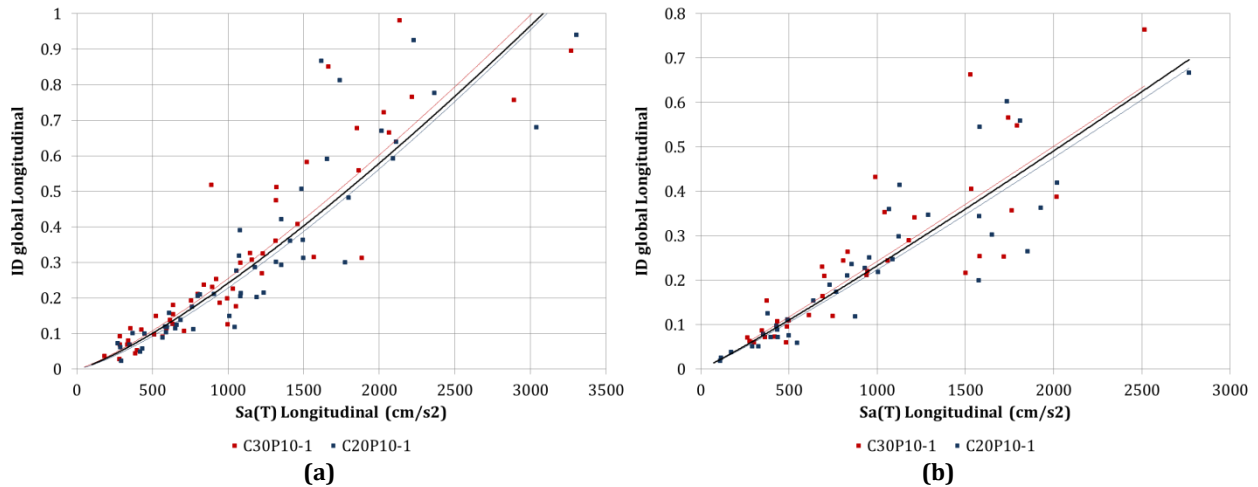


Figura A. 213 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

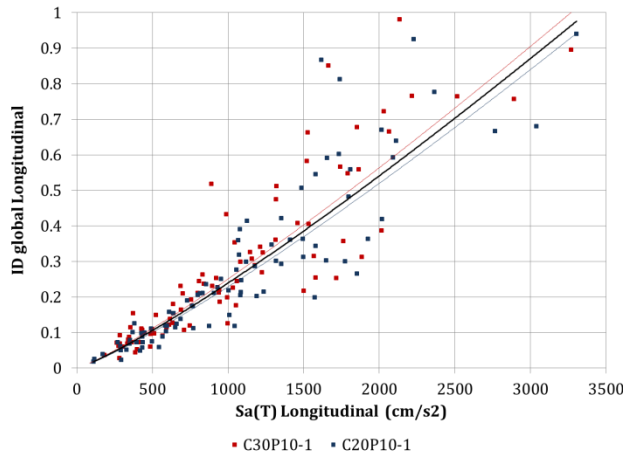


Figura A. 214 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Tabla A. 107 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial													
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)				
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)				
Longitudinal	C20P10-1	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	2.84E-05	1.3019	0.1367	0.9338	3304.78	1.0829	1.0919	0.83%	0.9763	9.84%				
		FN				1.22E-04	1.0879	0.1259	0.9485	2767.61	0.6774	0.6968	2.86%	0.7926	16.99%				
		S y FN				6.42E-05	1.1840	0.1346	0.9385	3304.78	0.9422			0.9763	3.62%				
	C30P10-1	S				4.82E-05	1.2411	0.1413	0.9322	3268.58	1.1082	1.0768	2.83%	0.9637	13.04%				
		FN				1.76E-04	1.0467	0.1365	0.9064	2515.65	0.6376	0.6288	1.37%	0.7084	11.12%				
		S y FN				7.87E-05	1.1679	0.1403	0.9214	3268.58	1.0007			0.9637	3.69%				
	P10-1	S				(1)	3.96E-05	1.2618	0.1401	0.9305									
		FN				(2)	1.38E-04	1.0763	0.1309	0.9319									
		S y FN				(3)	7.12E-05	1.1755	0.1382	0.9292									

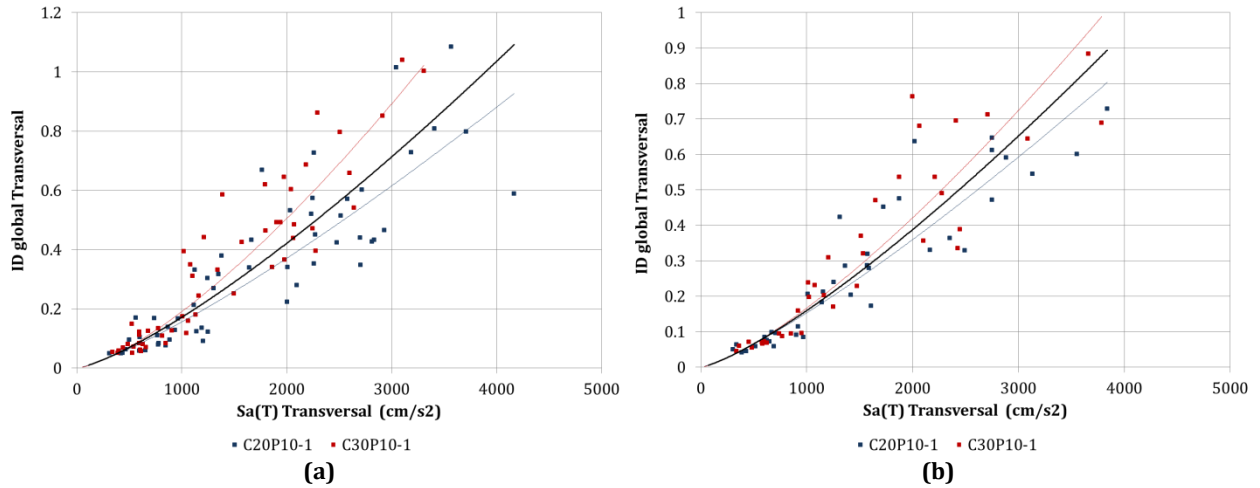


Figura A. 215 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

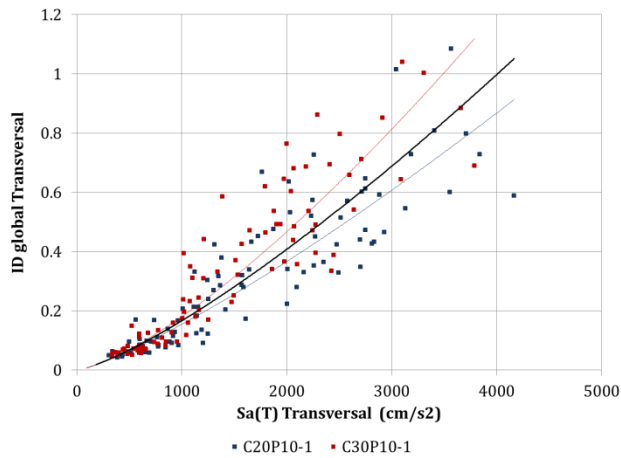


Figura A. 216 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Tabla A. 108 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P10-1 y C30P10-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P10-1	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	2.81E-05	1.2484	0.1539	0.9253	4167.95	0.9279	1.0926	17.75%	1.0520	13.37%
		FN				3.09E-05	1.2316	0.1274	0.9463	3838.19	0.8029	0.8940	11.35%	0.9459	17.81%
		S y FN				2.90E-05	1.2427	0.1428	0.9333	4167.95	0.9134		1.0520	15.17%	
	C30P10-1	S				1.17E-05	1.4041	0.1387	0.9411	3306.30	1.0228	0.8092	20.88%	0.7803	23.71%
		FN				1.63E-05	1.3369	0.1240	0.9525	3787.84	0.9891	0.8790	11.13%	0.9299	5.99%
		S y FN				1.41E-05	1.3690	0.1356	0.9421	3787.84	1.1189		0.9299	16.89%	
P10-1	S	(1)	2.22E-05	1.2964	0.1557	0.9229									
	FN	(2)	2.30E-05	1.2806	0.1272	0.9469									
	S y FN	(3)	2.25E-05	1.2900	0.1452	0.9314									

A.4.2.3. Grupo P10-2

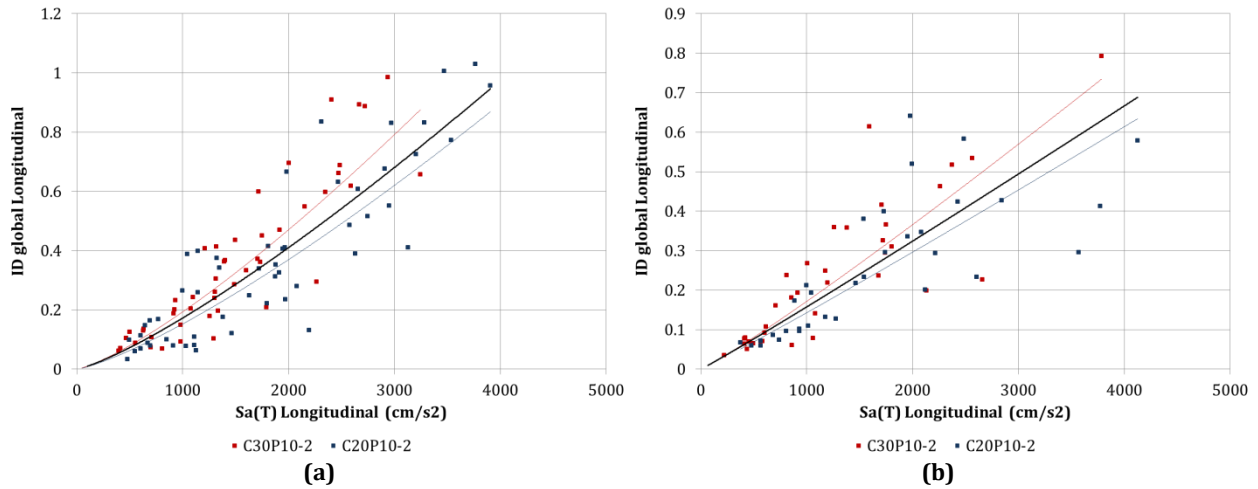


Figura A. 217 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

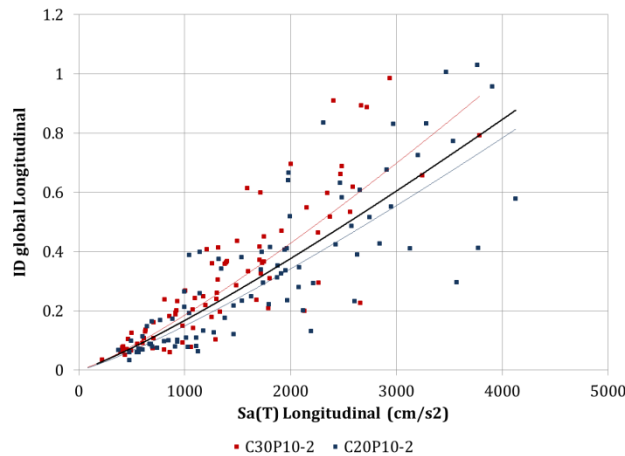


Figura A. 218 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Tabla A. 109 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:						PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)			
						Potencial			$Sa(T)_{max}$ (cm/s ²)	(f)	(g)						(h)	(i)	(j)
						(a) β_0	(b) β_1	(c) σ											
Longitudinal	C20P10-2	S	Sa(T)	ID global	Original	2.26E-05	1.2766	0.1973	0.8606	3907.56	0.8691	0.9473	8.99%	0.8234	5.26%				
		FN				9.96E-05	1.0521	0.1516	0.8837	4125.92	0.6342	0.6883	8.53%	0.8774	38.35%				
		S y FN				3.83E-05	1.1970	0.1843	0.8630	4125.92	0.8134			0.8774	7.88%				
	C30P10-2	S				2.71E-05	1.2842	0.1498	0.8994	3244.07	0.8759	0.7507	14.29%	0.6626	24.36%				
		FN				9.05E-05	1.0925	0.1660	0.8881	3784.12	0.7340	0.6291	14.29%	0.7931	8.06%				
		S y FN				4.44E-05	1.2069	0.1601	0.8947	3784.12	0.9245			0.7931	14.21%				
	P10-2	S				(1)	3.07E-05	1.2498	0.1821	0.8652									
		FN				(2)	1.19E-04	1.0406	0.1622	0.8788									
		S y FN				(3)	5.25E-05	1.1681	0.1781	0.8687									

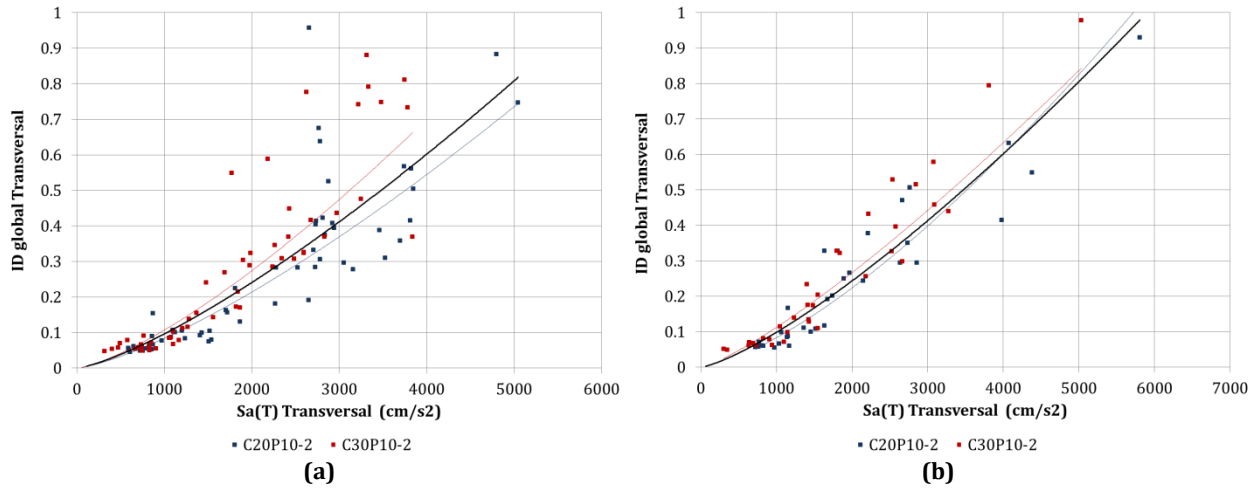


Figura A. 219 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

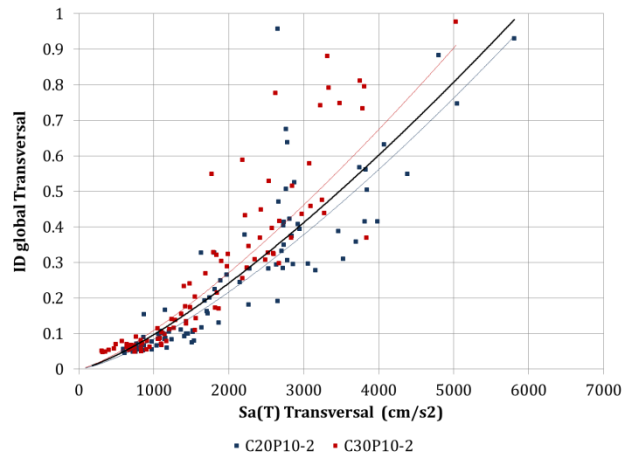


Figura A. 220 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Tabla A. 110 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P10-2 y C30P10-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
					Potencial		σ	r							
					(a)	(b)									
Transversal	C20P10-2	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	7.61E-06	1.3478	0.1471	0.9269	5047.07	0.7450	0.8184	9.86%	0.8173	9.72%
		FN				4.38E-06	1.4261	0.1271	0.9405	5808.50	1.0225	0.9800	4.16%	0.9833	3.84%
		S y FN				6.42E-06	1.3719	0.1388	0.9315	5808.50	0.9368			0.9833	4.96%
	C30P10-2	S				9.23E-06	1.3548	0.1548	0.9258	3840.01	0.6628	0.5703	13.95%	0.5705	13.93%
		FN				2.02E-05	1.2482	0.1314	0.9399	5031.85	0.8436	0.8124	3.69%	0.8141	3.50%
		S y FN				1.25E-05	1.3133	0.1456	0.9300	5031.85	0.9110			0.8141	10.64%
P10-2	S	(1)	1.05E-05	1.3214	0.1588	0.9166									
	FN	(2)	1.19E-05	1.3062	0.1381	0.9293									
	S y FN	(3)	1.10E-05	1.3154	0.1505	0.9211									

A.4.2.4. Grupo P10-3

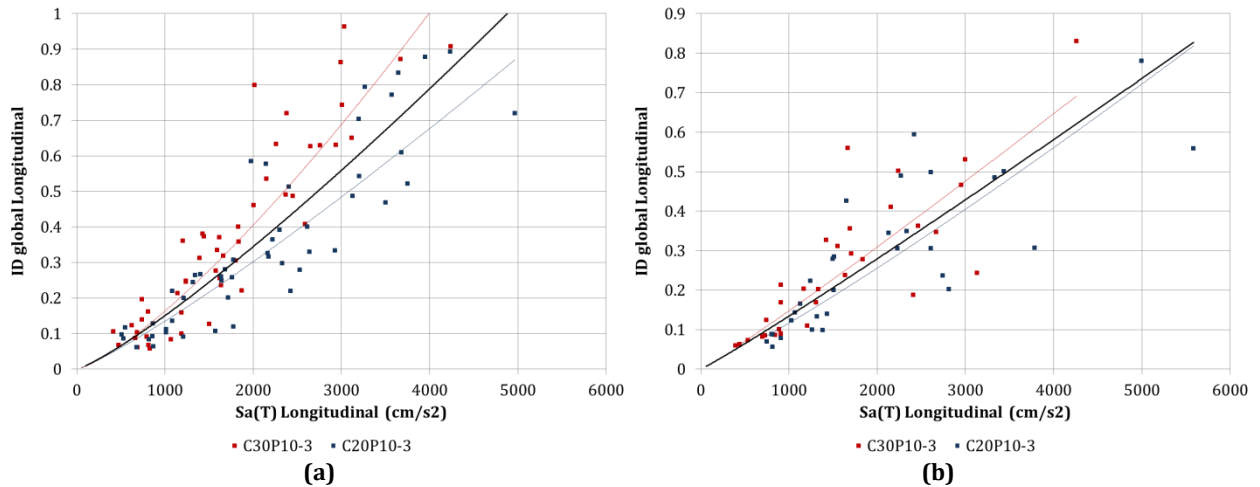


Figura A. 221 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

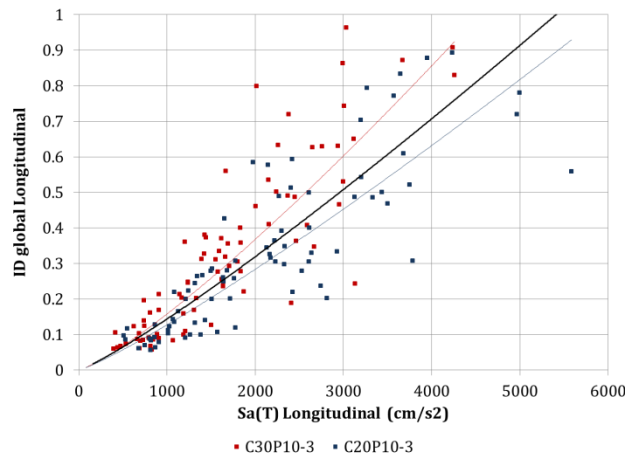


Figura A. 222 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Tabla A. 111 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial												
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)			
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)			
Longitudinal	C20P10-3	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	4.38E-05	1.1629	0.1485	0.8949	4967.89	0.8708	1.0221	17.37%	0.9071	4.16%			
		FN				4.67E-05	1.1327	0.1597	0.8656	5582.87	0.8182	0.8269	1.06%	1.0371	26.76%			
		S y FN				4.36E-05	1.1552	0.1549	0.8799	5582.87	0.9288			1.0371	11.67%			
	C30P10-3	S				1.94E-05	1.3089	0.1584	0.8962	4240.22	1.0828	0.8459	21.88%	0.7562	30.16%			
		FN				9.45E-05	1.0648	0.1465	0.8883	4257.10	0.6911	0.6209	10.17%	0.7597	9.92%			
		S y FN				3.47E-05	1.2195	0.1599	0.8858	4257.10	0.9237			0.7597	17.75%			
	P10-3	S				(1)	3.92E-05	1.1948	0.1632	0.8785								
		FN				(2)	9.07E-05	1.0568	0.1573	0.8655								
		S y FN				(3)	5.17E-05	1.1482	0.1652	0.8685								

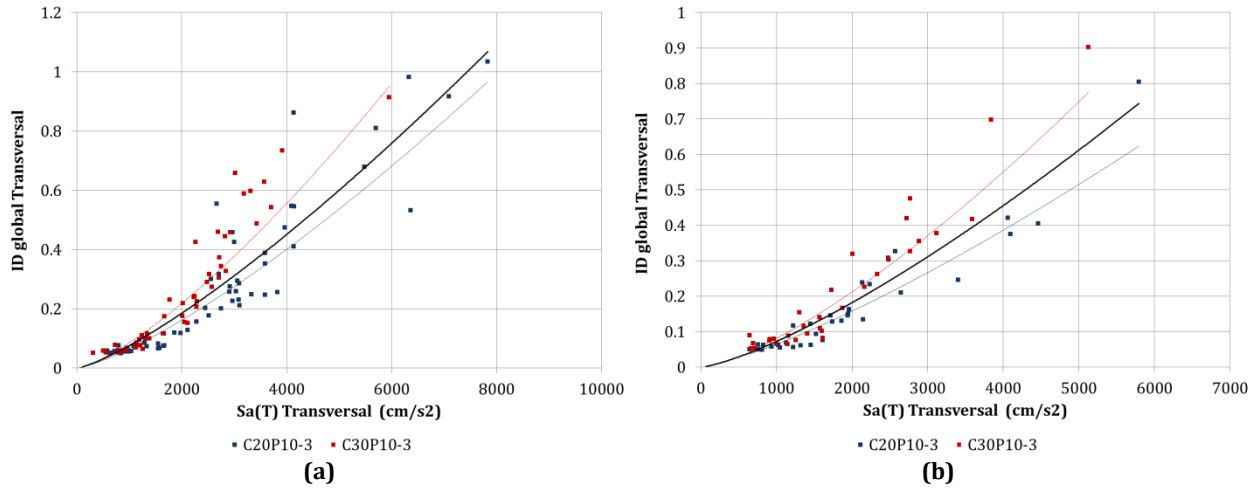


Figura A. 223 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

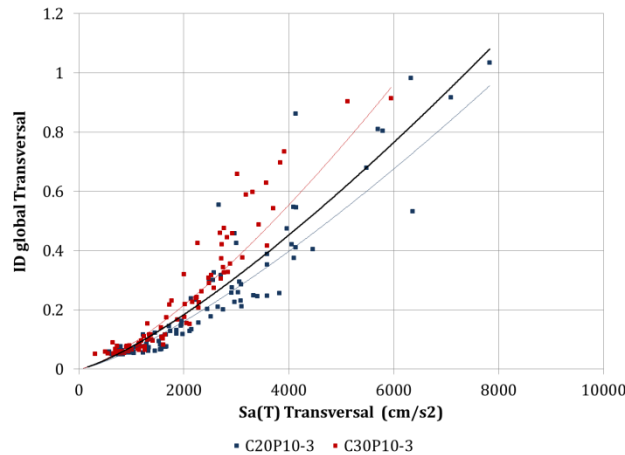


Figura A. 224 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Tabla A. 112 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P10-3 y C30P10-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
					Potencial									
					(a)	(b)	(c)	(d)						
β_0	β_1	σ	r											
C20P10-3	S	Sa(T)	ID global	Original	7.70E-06	1.3095	0.1374	0.9417	7829.88	0.9668	1.0684	10.51%	1.0808	11.80%
	FN				8.68E-06	1.2906	0.1110	0.9435	5792.35	0.6235	0.7442	19.36%	0.7309	17.23%
	S y FN				7.76E-06	1.3075	0.1273	0.9444	7829.88	0.9570			1.0808	12.94%
C30P10-3	S				7.79E-06	1.3475	0.1353	0.9356	5952.03	0.9506	0.7515	20.94%	0.7572	20.35%
	FN				5.97E-06	1.3784	0.1236	0.9379	5124.68	0.7751	0.6328	18.36%	0.6235	19.55%
	S y FN				7.01E-06	1.3598	0.1296	0.9364	5952.03	0.9512			0.7572	20.39%
P10-3	S	(1)	1.08E-05	1.2830	0.1497	0.9247								
	FN	(2)	7.76E-06	1.3239	0.1310	0.9245								
	S y FN	(3)	9.56E-06	1.2978	0.1424	0.9259								

A.4.3. MODELOS CON PILAS $h = 15 m$

A.4.3.1. Grupo P15-0

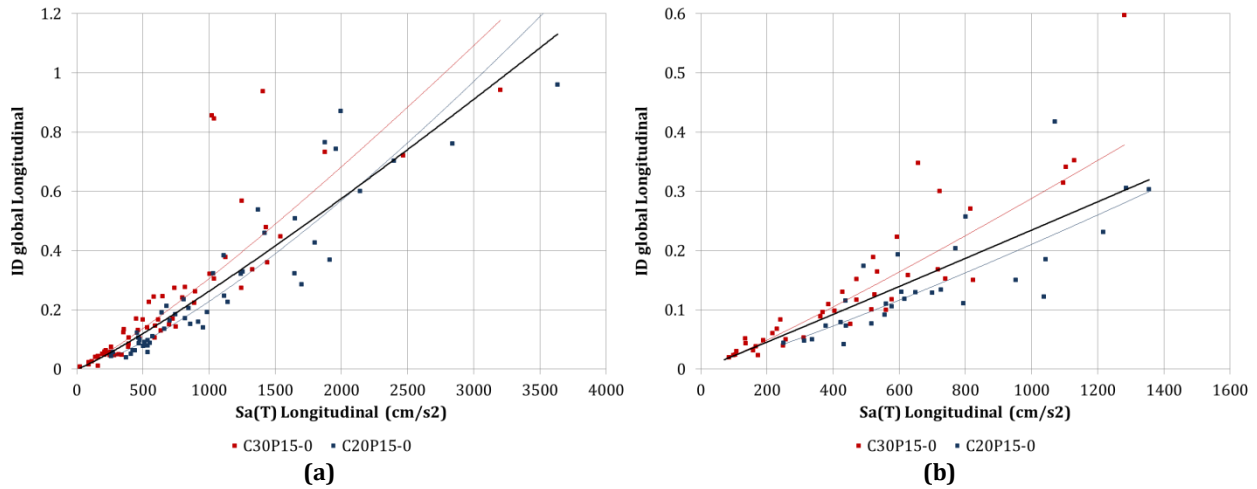


Figura A. 225 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

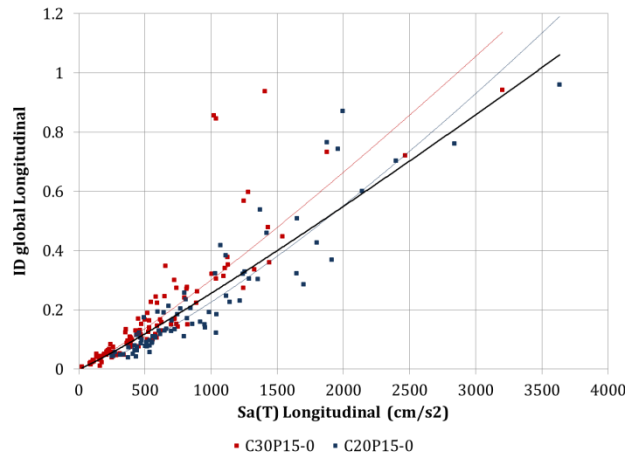


Figura A. 226 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Tabla A. 113 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Longitudinal	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:										
						Potencial				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
						(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r							
C20P15-0	S	FN	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	2.56E-05	1.3169	0.1199	0.9500	3633.16	1.2503	1.1314	9.51%	1.0610	15.14%	
						6.95E-05	1.1605	0.1356	0.8563	1354.54	0.2996	0.3196	6.68%	0.3577	19.41%	
						3.11E-05	1.2874	0.1253	0.9352	3633.16	1.1907			1.0610	10.89%	
	C30P15-0	S				FN	1.03E-04	1.1579	0.1580	0.9455	3202.66	1.1784	0.9810	16.75%	0.9234	21.64%
							1.42E-04	1.1028	0.1258	0.9428	1280.58	0.3785	0.3018	20.26%	0.3363	11.17%
							1.13E-04	1.1417	0.1448	0.9456	3202.66	1.1380			0.9234	18.86%
P15-0	S y FN	S	(1)	1.07E-04	1.1306	0.1589	0.9348									
			(2)	2.08E-04	1.0174	0.1456	0.9006									
			(3)	1.27E-04	1.1020	0.1542	0.9277									

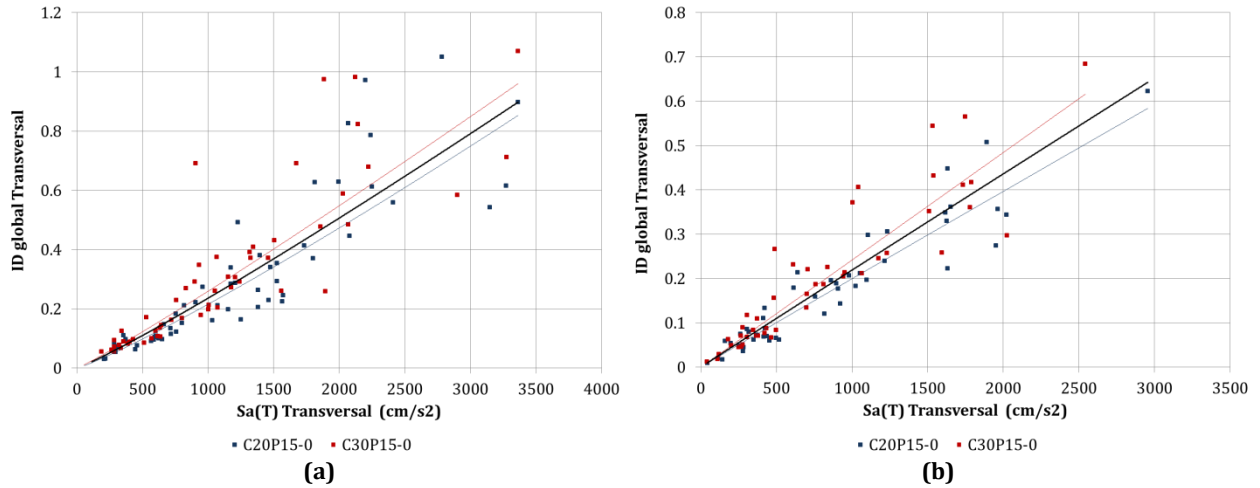


Figura A. 227 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

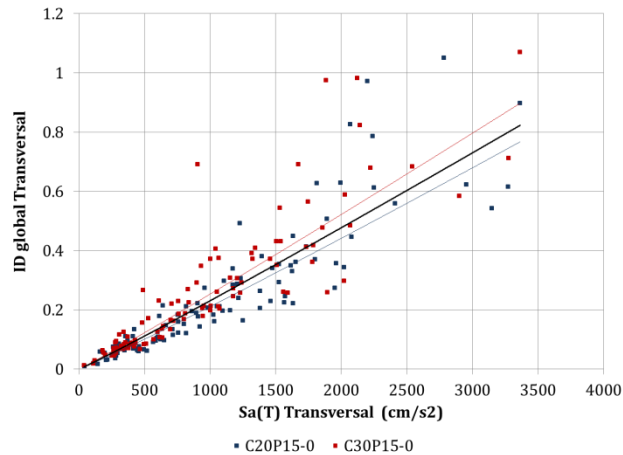


Figura A. 228 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Tabla A. 114 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P15-0 y C30P15-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
					Potencial										
					(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r							
Transversal	C20P15-0	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	8.55E-05	1.1340	0.1248	0.9465	3363.72	0.8533	0.8980	5.24%	0.8233	3.52%
		FN				2.13E-04	0.9909	0.1234	0.9529	2955.20	0.5841	0.6429	10.06%	0.7188	23.05%
		S y FN				1.36E-04	1.0638	0.1258	0.9508	3363.72	0.7675			0.8233	7.27%
	C30P15-0	S				1.51E-04	1.0788	0.1344	0.9284	3363.87	0.9607	0.8980	6.52%	0.8233	14.30%
		FN				2.38E-04	1.0022	0.1284	0.9494	2541.15	0.6158	0.5534	10.13%	0.6135	0.37%
		S y FN				1.88E-04	1.0431	0.1314	0.9427	3363.87	0.8976			0.8233	8.28%
P15-0	S	(1)	1.17E-04	1.1012	0.1353	0.9316									
	FN	(2)	2.30E-04	0.9928	0.1311	0.9460									
	S y FN	(3)	1.65E-04	1.0486	0.1344	0.9415									

A.4.3.2. Grupo P15-1

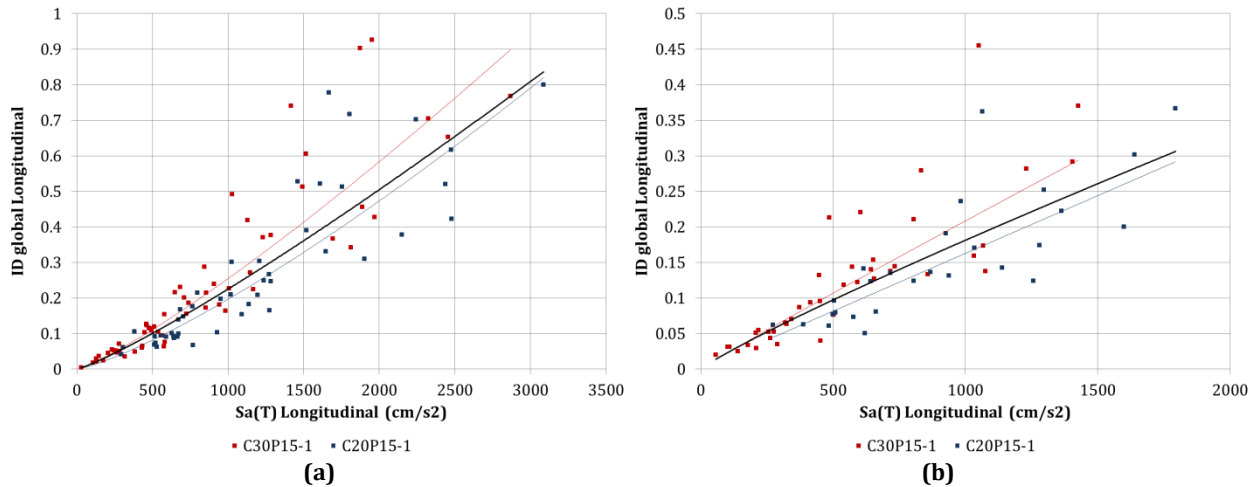


Figura A. 229 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

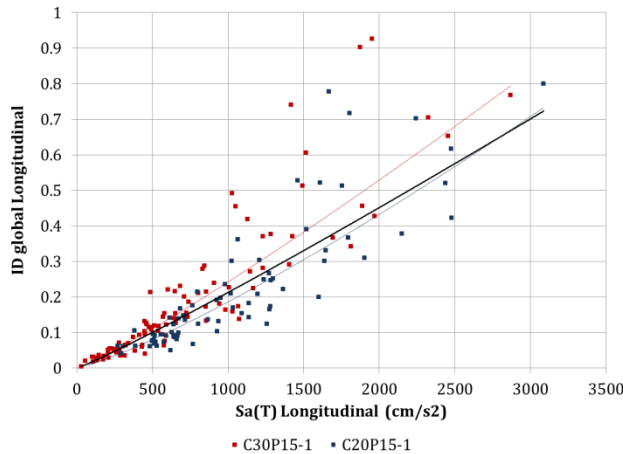


Figura A. 230 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

Tabla A. 115 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial												
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)			
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)			
Longitudinal	C20P15-1	S	Sa(T)	ID global	Original	3.09E-05	1.2678	0.1387	0.9186	3085.23	0.8196	0.8365	2.06%	0.7229	11.80%			
		FN				1.66E-04	0.9975	0.1315	0.8472	1794.05	0.2918	0.3063	4.98%	0.4015	37.59%			
		S y FN				4.21E-05	1.2151	0.1407	0.9003	3085.23	0.7323			0.7229	1.28%			
	C30P15-1	S				6.50E-05	1.1975	0.1325	0.9625	2868.39	0.8989	0.7685	14.51%	0.6680	25.69%			
		FN				2.66E-04	0.9649	0.1446	0.9107	1427.06	0.2939	0.2495	15.10%	0.3132	6.58%			
		S y FN				1.01E-04	1.1261	0.1419	0.9470	2868.39	0.7941			0.6680	15.89%			
	P15-1	S				(1) 7.24E-05	1.1644	0.1453	0.9430									
		FN				(2) 3.70E-04	0.8969	0.1465	0.8874									
		S y FN				(3) 1.18E-04	1.0850	0.1522	0.9254									

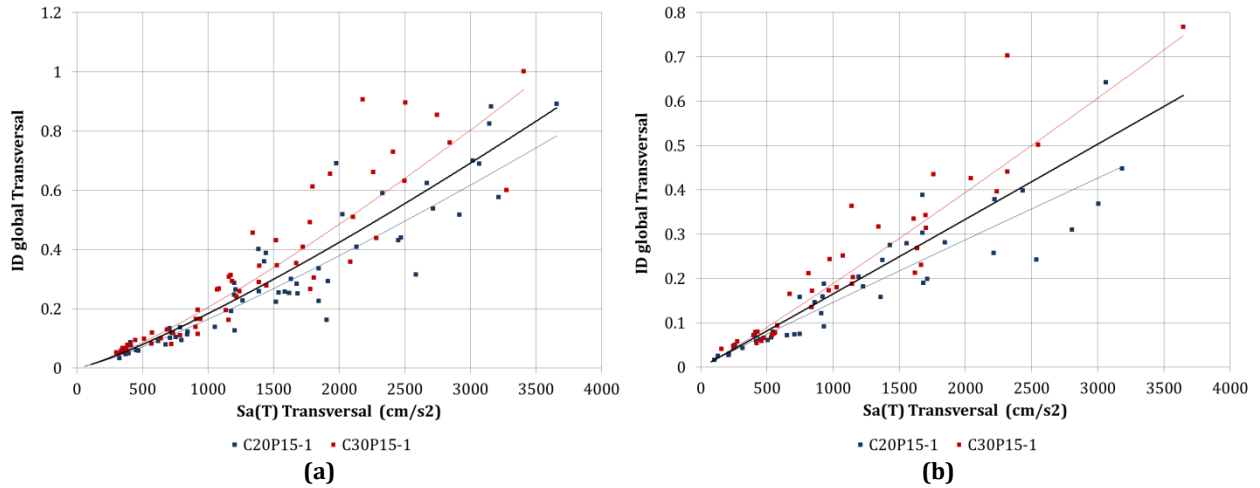


Figura A. 231 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

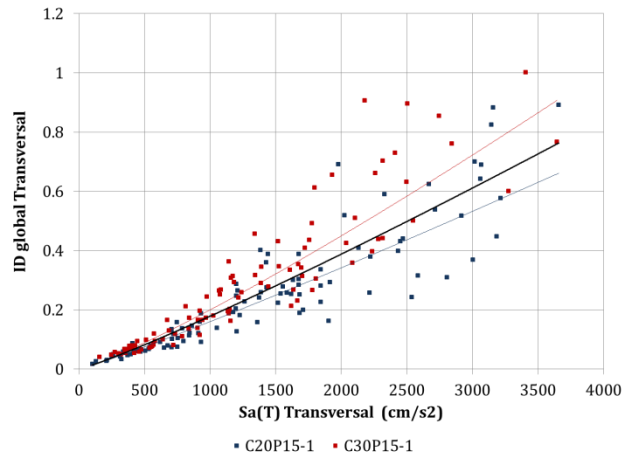


Figura A. 232 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

Tabla A. 116 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P15-1 y C30P15-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	$PDI(1)_o$ PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P15-1	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	4.09E-05	1.2019	0.1145	0.9509	3657.41	0.7840	0.8789	12.11%	0.7633	2.64%
		FN				1.75E-04	0.9742	0.1032	0.9658	3184.25	0.4523	0.5348	18.24%	0.6536	44.50%
		S y FN				8.42E-05	1.0932	0.1188	0.9539	3657.41	0.6616			0.7633	15.37%
	C30P15-1	S				3.84E-05	1.2425	0.1058	0.9584	3408.30	0.9416	0.8073	14.27%	0.7053	25.10%
		FN				1.21E-04	1.0641	0.1036	0.9569	3645.57	0.7475	0.6133	17.95%	0.7605	1.73%
		S y FN				6.22E-05	1.1692	0.1087	0.9553	3645.57	0.9077			0.7605	16.21%
P15-1	S	(1)	4.46E-05	1.2053	0.1200	0.9451									
	FN	(2)	1.52E-04	1.0128	0.1165	0.9517									
	S y FN	(3)	7.79E-05	1.1200	0.1242	0.9457									

A.4.3.3. Grupo P15-2

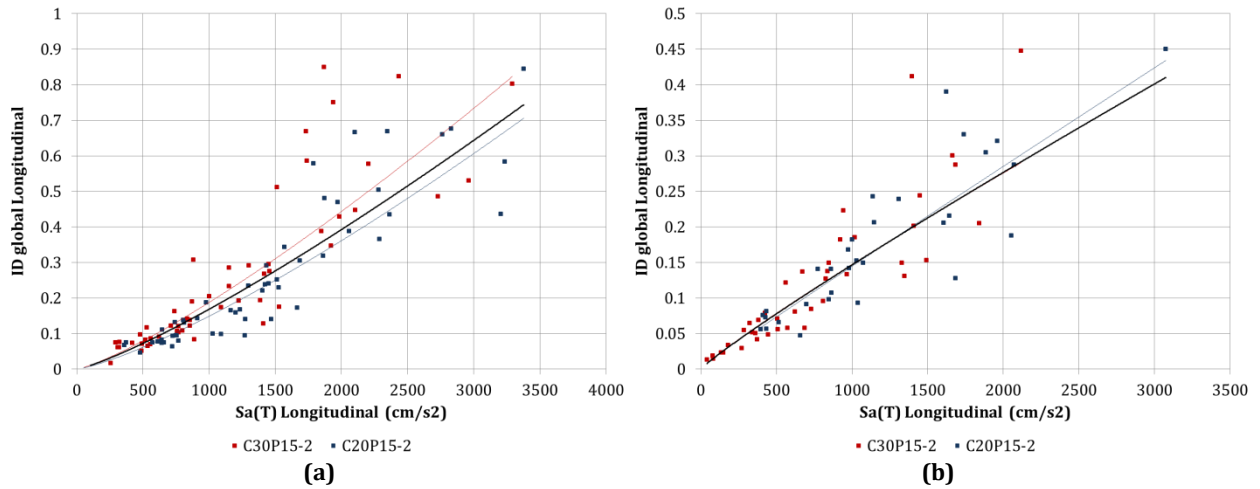


Figura A. 233 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

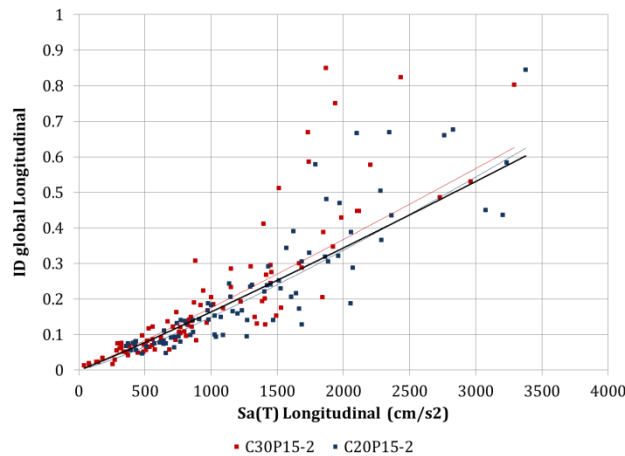


Figura A. 234 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Tabla A. 117 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial													
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)				
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)				
Longitudinal	C20P15-2	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	2.18E-05	1.2781	0.1330	0.9219	3376.26	0.7056	0.7436	5.39%	0.6023	14.63%				
		FN				1.68E-04	0.9781	0.1248	0.8866	3073.68	0.4342	0.4102	5.51%	0.5448	25.48%				
		S y FN				4.41E-05	1.1764	0.1336	0.9085	3376.26	0.6243			0.6023	3.51%				
	C30P15-2	S				3.56E-05	1.2407	0.1556	0.9144	3291.18	0.8232	0.7208	12.44%	0.5861	28.80%				
		FN				2.82E-04	0.9056	0.1310	0.9421	2118.11	0.2904	0.2917	0.44%	0.3657	25.94%				
		S y FN				1.09E-04	1.0684	0.1576	0.9248	3291.18	0.6263			0.5861	6.41%				
	P15-2	S				(1) 3.70E-05	1.2195	0.1517	0.9078										
		FN				(2) 2.62E-04	0.9158	0.1271	0.9350										
		S y FN				(3) 1.01E-04	1.0700	0.1507	0.9165										

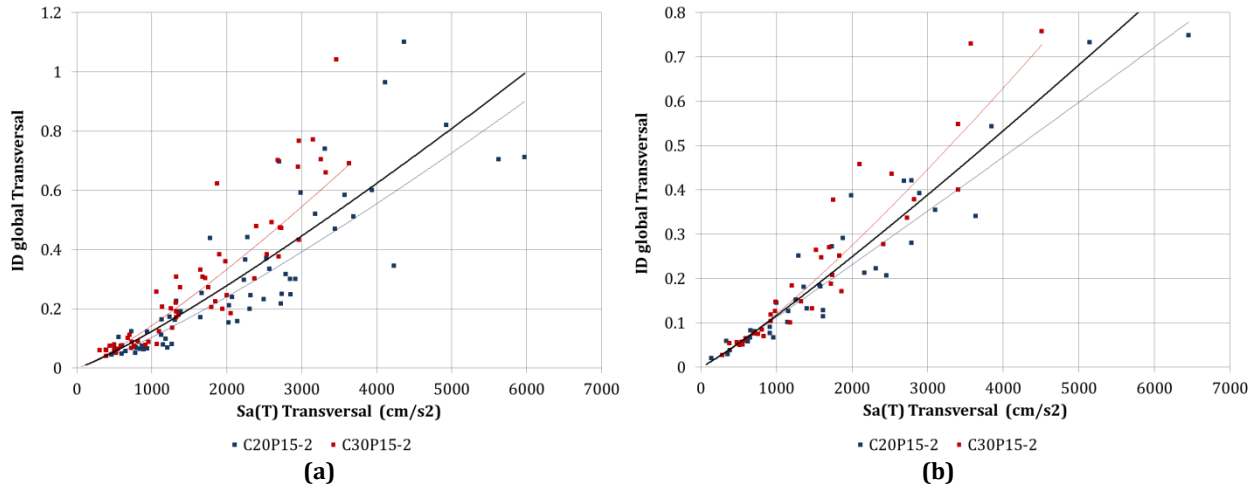


Figura A. 235 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

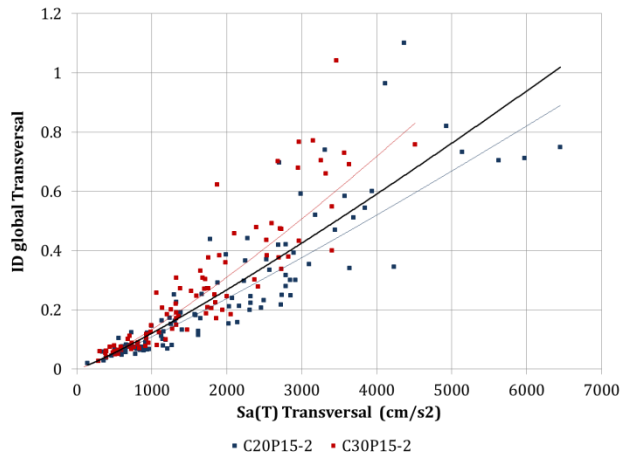


Figura A. 236 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Tabla A. 118 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P15-2 y C30P15-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P15-2	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	2.52E-05	1.2055	0.1539	0.9163	5976.22	0.9008	0.9951	10.47%	0.9349	3.79%
		FN				8.71E-05	1.0372	0.1160	0.9534	6450.42	0.7789	0.9026	15.89%	1.0201	30.98%
		S y FN				4.59E-05	1.1255	0.1418	0.9296	6450.42	0.8906			1.0201	14.54%
	C30P15-2	S				3.33E-05	1.2117	0.1325	0.9376	3630.72	0.6866	0.5574	18.82%	0.5292	22.93%
		FN				3.07E-05	1.1970	0.0979	0.9653	4510.49	0.7276	0.6091	16.28%	0.6780	6.82%
		S y FN				3.12E-05	1.2110	0.1258	0.9431	4510.49	0.8308			0.6780	18.39%
P15-2	S	(1)	4.03E-05	1.1631	0.1587	0.9083									
	FN	(2)	5.86E-05	1.0992	0.1116	0.9546									
	S y FN	(3)	4.55E-05	1.1421	0.1434	0.9259									

A.4.3.4. Grupo P15-3

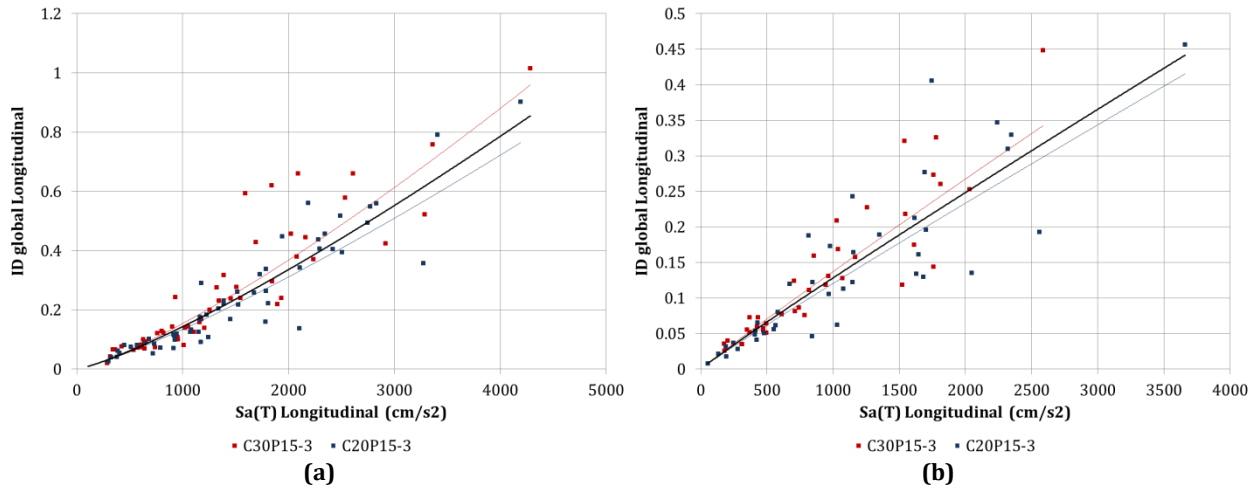


Figura A. 237 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

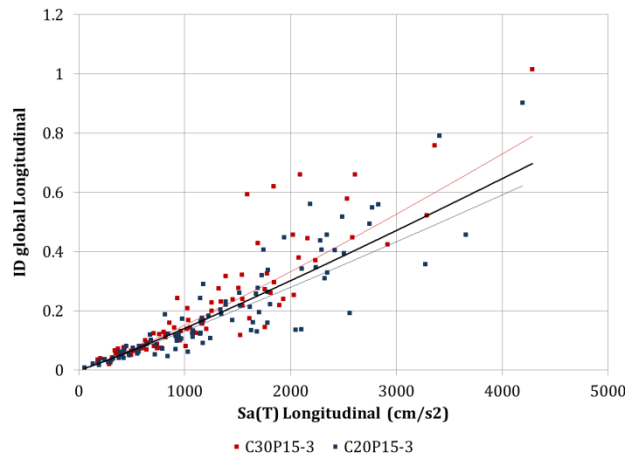


Figura A. 238 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

Tabla A. 119 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:		Potencial								
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Longitudinal	C20P15-3	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	3.05E-05	1.2144	0.1270	0.9373	4194.46	0.7652	0.8333	8.90%	0.6812	10.98%	
		FN				1.66E-04	0.9538	0.1491	0.9322	3658.80	0.4153	0.4416	6.34%	0.5863	41.16%	
		S y FN				7.52E-05	1.0815	0.1438	0.9333	4194.46	0.6226			0.6812	9.42%	
	C30P15-3	S				2.60E-05	1.2576	0.1339	0.9341	4284.26	0.9598	0.8552	10.89%	0.6972	27.35%	
		FN				1.80E-04	0.9612	0.1087	0.9410	2585.33	0.3423	0.3172	7.31%	0.4003	16.95%	
		S y FN				5.96E-05	1.1350	0.1312	0.9350	4284.26	0.7890			0.6972	11.63%	
	P15-3	S				(1)	3.00E-05	1.2266	0.1332	0.9315						
		FN				(2)	1.78E-04	0.9524	0.1321	0.9323						
		S y FN				(3)	7.13E-05	1.0986	0.1405	0.9307						

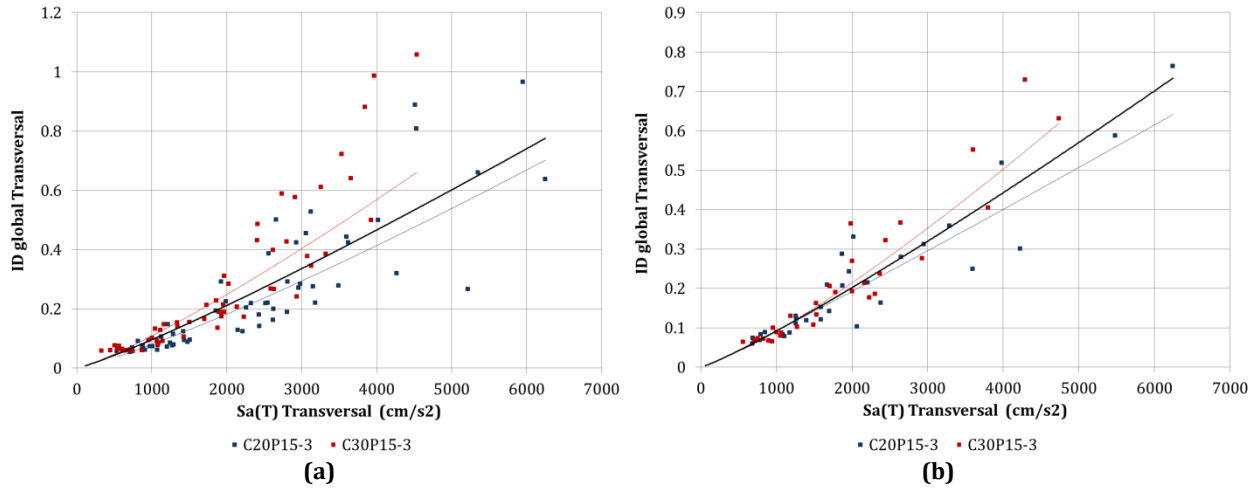


Figura A. 239 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

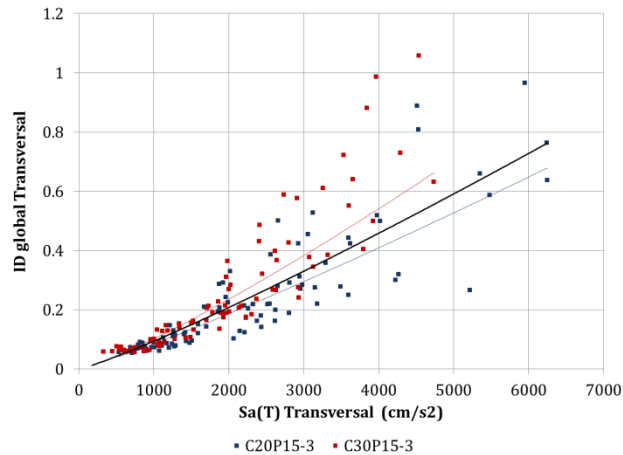


Figura A. 240 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

Tabla A. 120 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P15-3 y C30P15-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial										
					(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	
					β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
Transversal	C20P15-3	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	2.25E-05	1.1837	0.1432	0.9123	6248.23	0.7016	0.7759	10.59%	0.7626	8.71%
		FN				6.21E-05	1.0576	0.1097	0.9314	6244.79	0.6418	0.7341	14.39%	0.7622	18.76%
		S y FN				3.37E-05	1.1338	0.1325	0.9160	6248.23	0.6789			0.7626	12.34%
	C30P15-3	S				2.84E-05	1.1941	0.1346	0.9322	4535.21	0.6610	0.5384	18.55%	0.5294	19.92%
		FN				1.84E-05	1.2314	0.0958	0.9537	4736.20	0.6192	0.5366	13.33%	0.5562	10.17%
		S y FN				2.60E-05	1.1991	0.1258	0.9336	4736.20	0.6627			0.5562	16.08%
P15-3	S	(1)	3.64E-05	1.1403	0.1529	0.9041									
	FN	(2)	3.67E-05	1.1332	0.1051	0.9387									
	S y FN	(3)	3.61E-05	1.1394	0.1376	0.9139									

A.4.4. MODELOS CON PILAS $h = 20\text{ m}$

A.4.4.1. Grupo P20-0

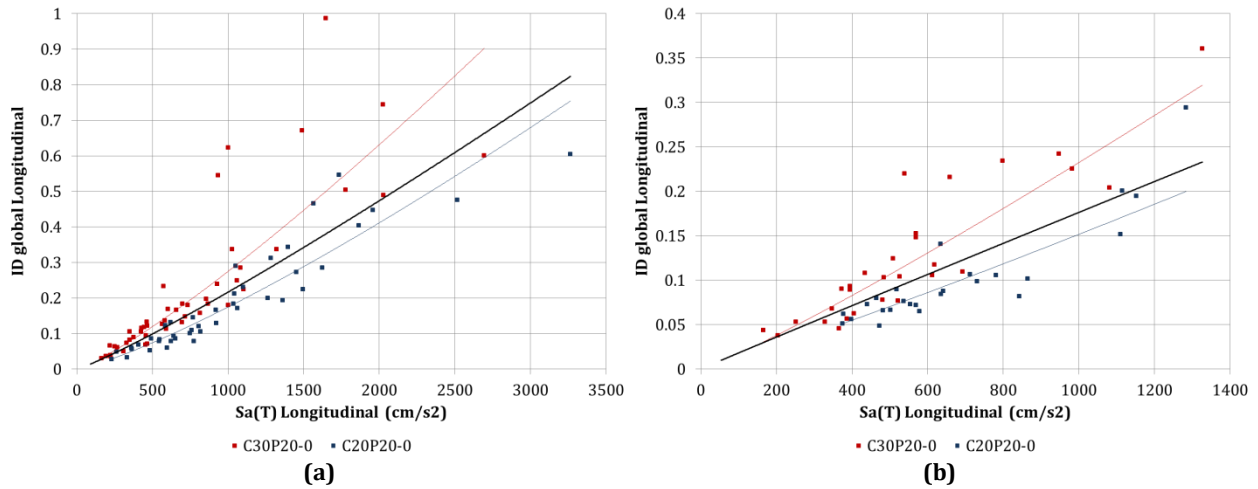


Figura A. 241 $Sa(T) - ID\ global$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

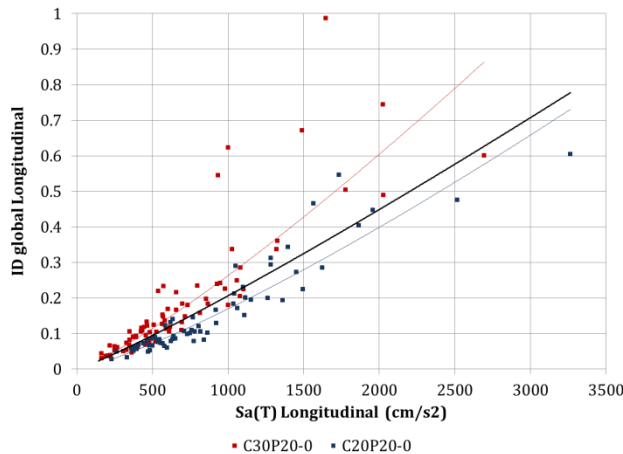


Figura A. 242 $Sa(T) - ID\ global$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Tabla A. 121 $Sa(T) - ID\ global$, dirección longitudinal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:									
					Potencial				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
					(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r						
C20P20-0	S	Sa(T)	ID global	Original	3.39E-05	1.2372	0.1058	0.9516	3262.89	0.7542	0.8235	9.19%	0.7776	3.11%
	FN				7.24E-05	1.1070	0.0892	0.8911	1283.57	0.2000	0.2257	12.84%	0.2730	36.52%
	S y FN				3.32E-05	1.2360	0.1007	0.9455	3262.89	0.7307			0.7776	6.42%
C30P20-0	S	Sa(T)	ID global	Original	6.90E-05	1.2001	0.1307	0.9379	2694.19	0.9027	0.6634	26.51%	0.6273	30.51%
	FN				9.71E-05	1.1263	0.1161	0.8959	1326.48	0.3196	0.2331	27.06%	0.2833	11.37%
	S y FN				6.60E-05	1.2002	0.1265	0.9298	2694.19	0.8645			0.6273	27.44%
P20-0	S	Sa(T)	ID global	Original	(1) 8.86E-05	1.1294	0.1542	0.9026						
	FN				(2) 1.93E-04	0.9867	0.1354	0.8114						
	S y FN				(3) 8.89E-05	1.1219	0.1496	0.8891						

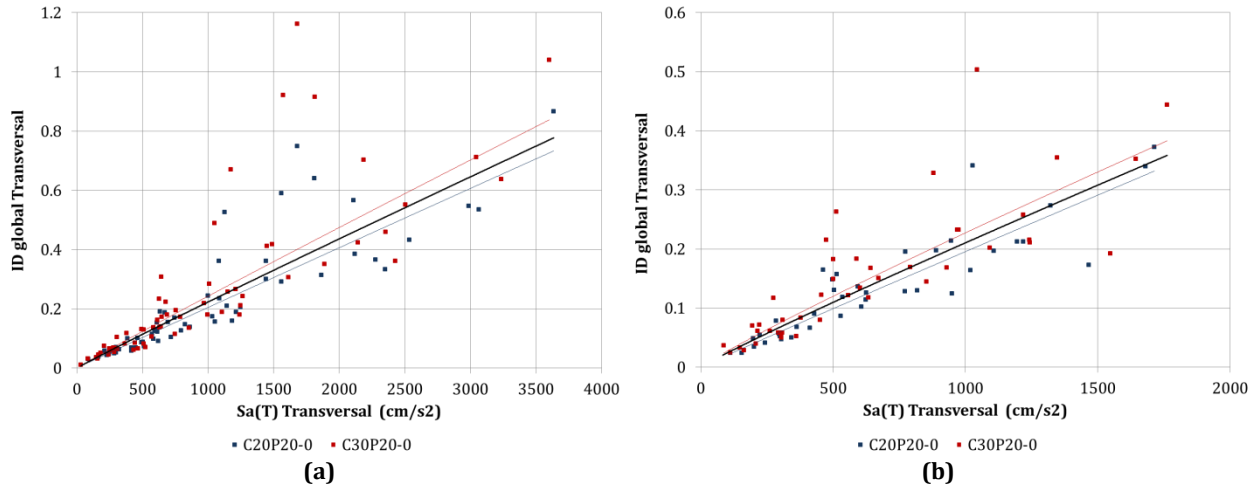


Figura A. 243 $Sa(T) - ID$ global, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

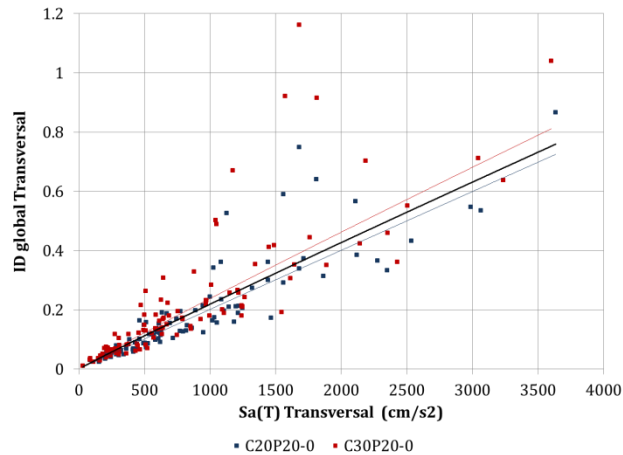


Figura A. 244 $Sa(T) - ID$ global, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Tabla A. 122 $Sa(T) - ID$ global, dirección transversal, modelos C20P20-0 y C30P20-0

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
					Potencial									
					(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r						
C20P20-0	S	Sa(T)	ID global	Original	2.22E-04	0.9884	0.1240	0.9429	3633.78	0.7332	0.7773	6.01%	0.7593	3.56%
	FN				2.23E-04	0.9810	0.1098	0.9369	1713.24	0.3318	0.3492	5.23%	0.3682	10.96%
	S y FN				2.14E-04	0.9913	0.1178	0.9433	3633.78	0.7250			0.7593	4.74%
C30P20-0	S				3.06E-04	0.9668	0.1564	0.9345	3600.43	0.8381	0.7704	8.08%	0.7526	10.20%
	FN				3.92E-04	0.9211	0.1451	0.9033	1761.87	0.3832	0.3585	6.45%	0.3782	1.29%
	S y FN				3.22E-04	0.9565	0.1511	0.9271	3600.43	0.8114			0.7526	7.25%
P20-0	S	(1)	2.81E-04	0.9669	0.1461	0.9329								
	FN	(2)	3.20E-04	0.9396	0.1349	0.9093								
	S y FN	(3)	2.83E-04	0.9628	0.1415	0.9279								

A.4.4.2. Grupo P20-1

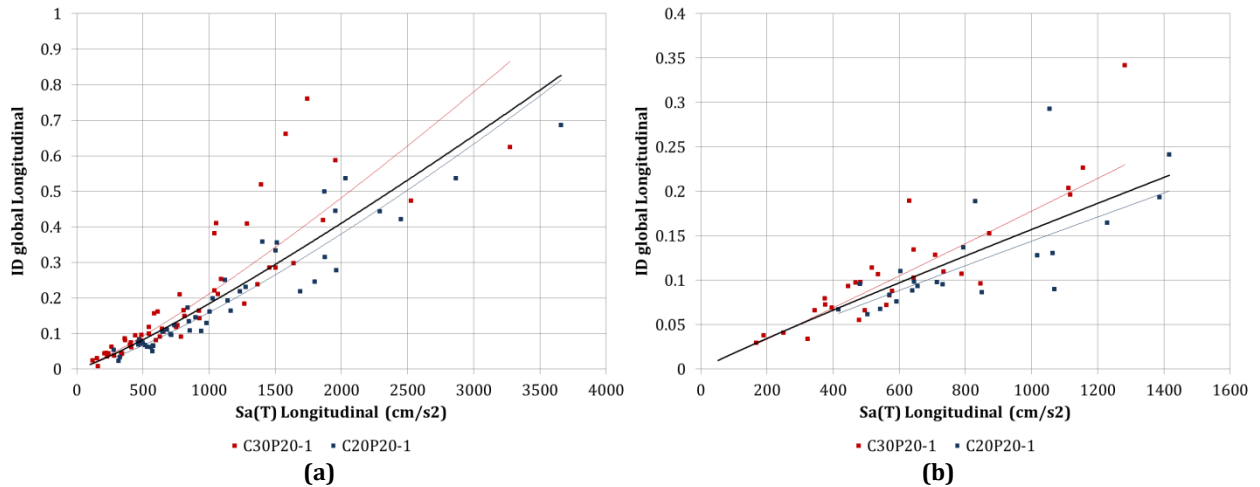


Figura A. 245 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

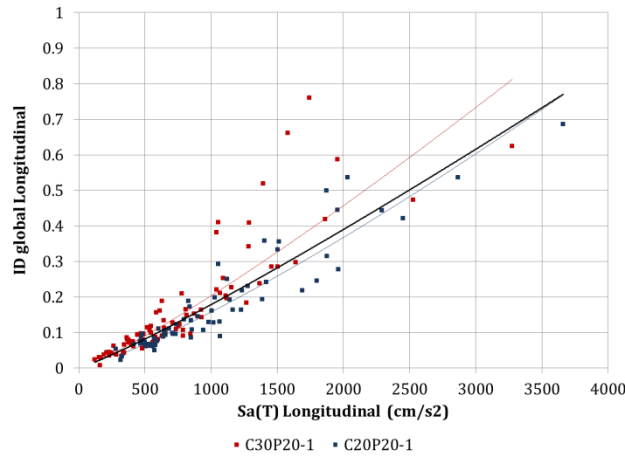


Figura A. 246 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Tabla A. 123 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial													
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)				
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)				
Longitudinal	C20P20-1	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	2.72E-05	1.2559	0.1036	0.9571	3659.41	0.8131	0.8266	1.66%	0.7704	5.26%				
		FN				2.02E-04	0.9510	0.1152	0.7885	1416.63	0.2005	0.2182	8.82%	0.2646	31.99%				
		S y FN				3.43E-05	1.2210	0.1087	0.9387	3659.41	0.7688			0.7704	0.20%				
	C30P20-1	S				5.81E-05	1.1872	0.1437	0.9400	3274.27	0.8657	0.7268	16.04%	0.6797	21.49%				
		FN				1.40E-04	1.0344	0.1062	0.9060	1282.53	0.2301	0.1987	13.64%	0.2366	2.85%				
		S y FN				6.47E-05	1.1661	0.1327	0.9341	3274.27	0.8120			0.6797	16.30%				
	P20-1	S				(1)	6.22E-05	1.1571	0.1409	0.9330									
		FN				(2)	2.35E-04	0.9416	0.1142	0.8619									
		S y FN				(3)	7.49E-05	1.1259	0.1343	0.9224									

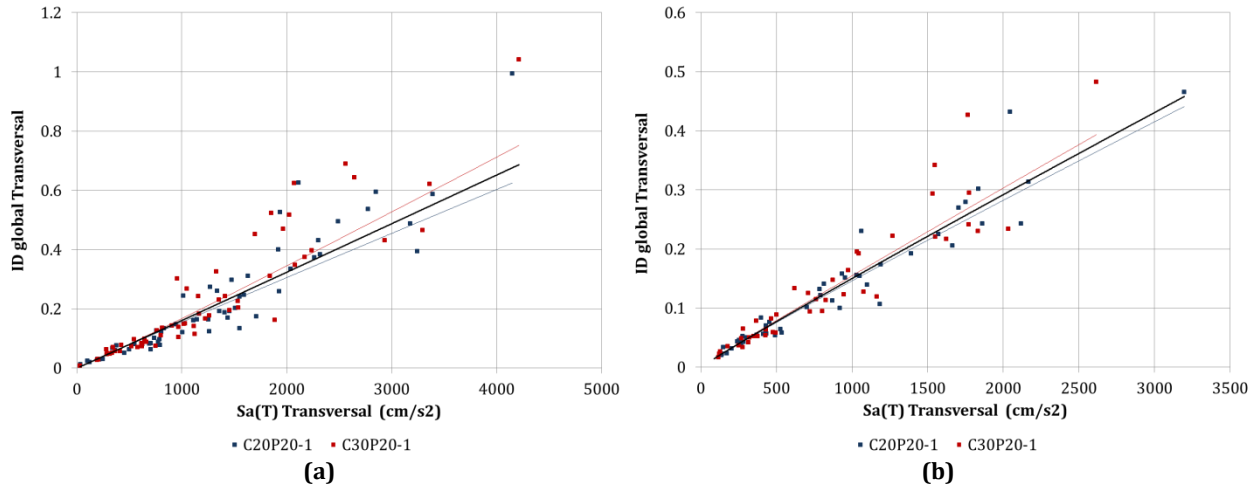


Figura A. 247 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

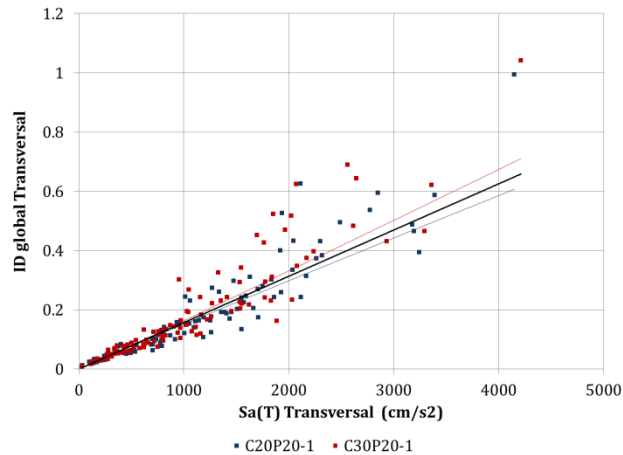


Figura A. 248 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Tabla A. 124 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P20-1 y C30P20-1

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
					Potencial										
					(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r							
Transversal	C20P20-1	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	1.78E-04	0.9802	0.1272	0.9526	4148.32	0.6250	0.6763	8.20%	0.6486	3.78%
		FN				2.05E-04	0.9511	0.0810	0.9741	3195.96	0.4411	0.4580	3.82%	0.5002	13.39%
		S y FN				1.81E-04	0.9747	0.1093	0.9618	4148.32	0.6070			0.6486	6.86%
	C30P20-1	S				1.23E-04	1.0448	0.1245	0.9555	4213.47	0.7521	0.6870	8.66%	0.6588	12.41%
		FN				1.89E-04	0.9711	0.0939	0.9658	2616.01	0.3936	0.3779	3.98%	0.4097	4.10%
		S y FN				1.40E-04	1.0227	0.1131	0.9599	4213.47	0.7107			0.6588	7.31%
P20-1	S	(1)	1.51E-04	1.0094	0.1264	0.9528									
	FN	(2)	1.98E-04	0.9600	0.0872	0.9696									
	S y FN	(3)	1.61E-04	0.9965	0.1119	0.9600									

A.4.4.3. Grupo P20-2

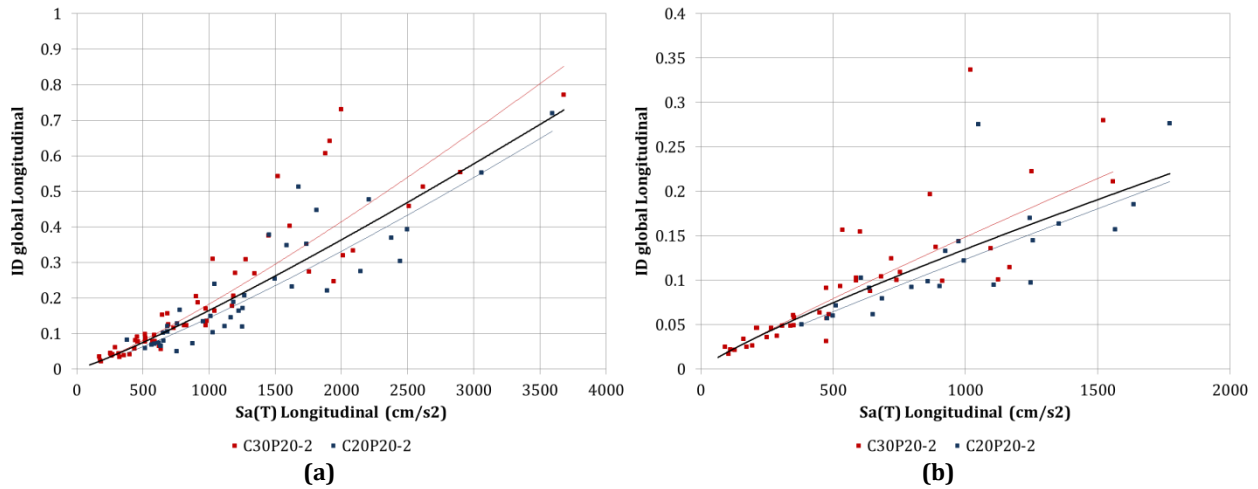


Figura A. 249 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

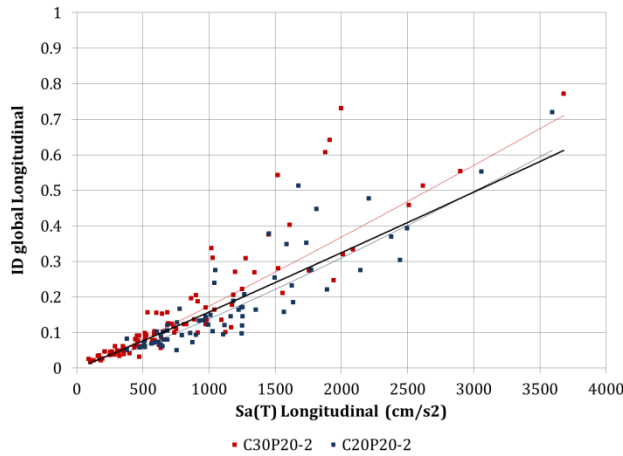


Figura A. 250 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Tabla A. 125 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial												
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)			
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)			
Longitudinal	C20P20-2	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	3.67E-05	1.1983	0.1357	0.9025	3593.45	0.6694	0.7095	5.99%	0.5976	10.73%			
		FN				1.92E-04	0.9358	0.1093	0.8505	1772.64	0.2110	0.2200	4.25%	0.2865	35.78%			
		S y FN				4.47E-05	1.1635	0.1308	0.8941	3593.45	0.6128			0.5976	2.49%			
	C30P20-2	S				5.23E-05	1.1813	0.1235	0.9549	3680.29	0.8526	0.7291	14.49%	0.6126	28.15%			
		FN				2.84E-04	0.9063	0.1320	0.9152	1557.72	0.2221	0.1970	11.30%	0.2505	12.76%			
		S y FN				1.02E-04	1.0773	0.1338	0.9424	3680.29	0.7112			0.6126	13.86%			
	P20-2	S			(1)	6.31E-05	1.1393	0.1364	0.9322									
		FN			(2)	3.71E-04	0.8535	0.1279	0.9054									
		S y FN			(3)	1.20E-04	1.0402	0.1406	0.9237									

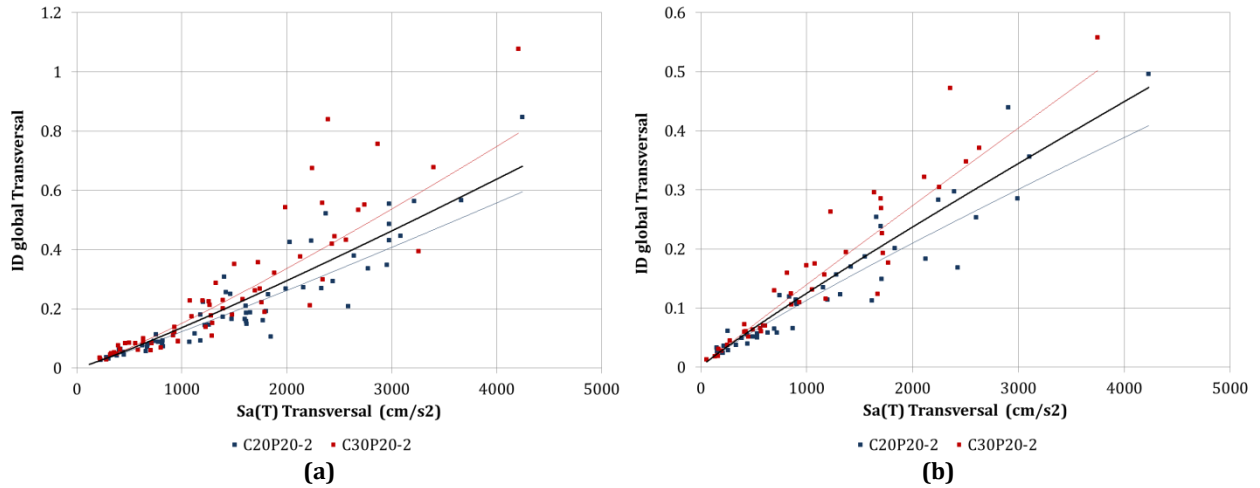


Figura A. 251 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

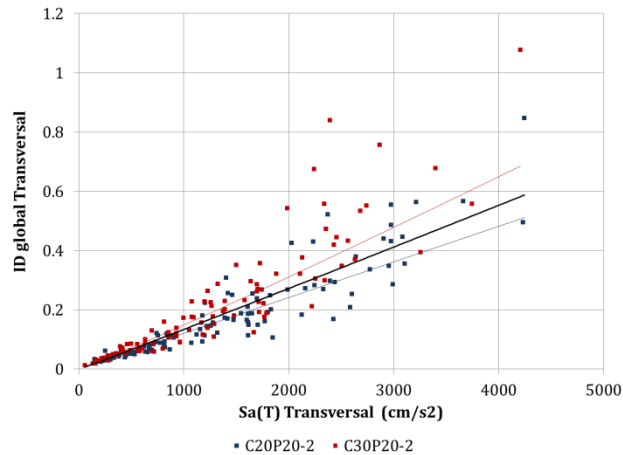


Figura A. 252 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Tabla A. 126 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P20-2 y C30P20-2

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)	
					Potencial										
					(a) β_0	(b) β_1	(c) σ	(d) r							
Transversal	C20P20-2	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	6.65E-05	1.0893	0.1172	0.9470	4244.35	0.5950	0.6814	14.53%	0.5875	1.25%
		FN				2.42E-04	0.8899	0.1081	0.9559	4232.12	0.4088	0.4735	15.83%	0.5858	43.29%
		S y FN				1.24E-04	0.9969	0.1193	0.9481	4244.35	0.5115			0.5875	14.86%
	C30P20-2	S				5.24E-05	1.1534	0.1298	0.9444	4207.89	0.7933	0.6749	14.92%	0.5824	26.59%
		FN				1.75E-04	0.9676	0.0985	0.9721	3748.24	0.5020	0.4234	15.67%	0.5174	3.07%
		S y FN				9.69E-05	1.0622	0.1224	0.9554	4207.89	0.6855			0.5824	15.05%
P20-2	S	(1)	6.32E-05	1.1116	0.1318	0.9370									
	FN	(2)	2.14E-04	0.9224	0.1119	0.9579									
	S y FN	(3)	1.15E-04	1.0221	0.1291	0.9447									

A.4.4.4. Grupo P20-3

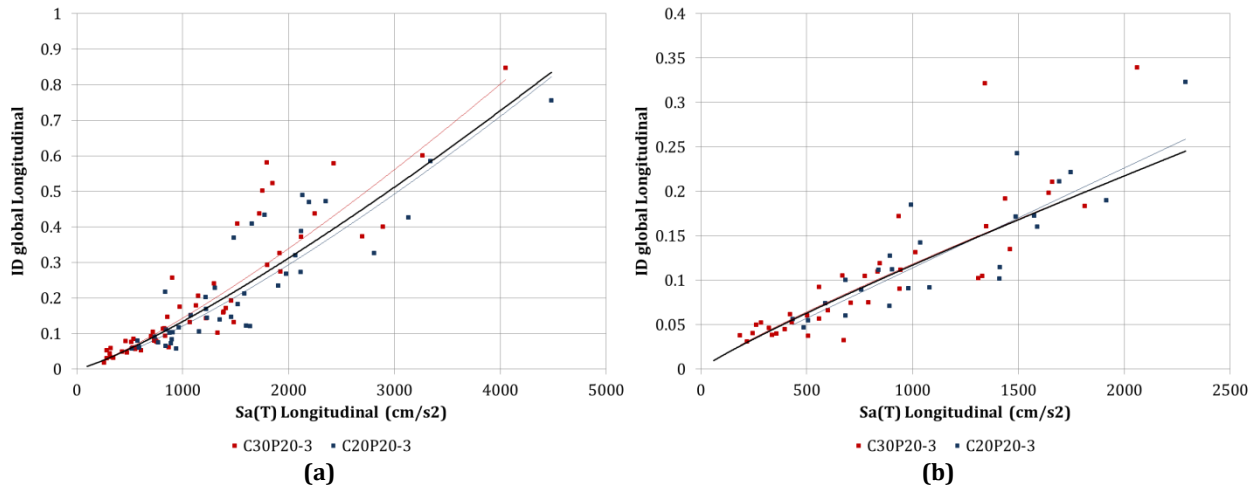


Figura A. 253 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

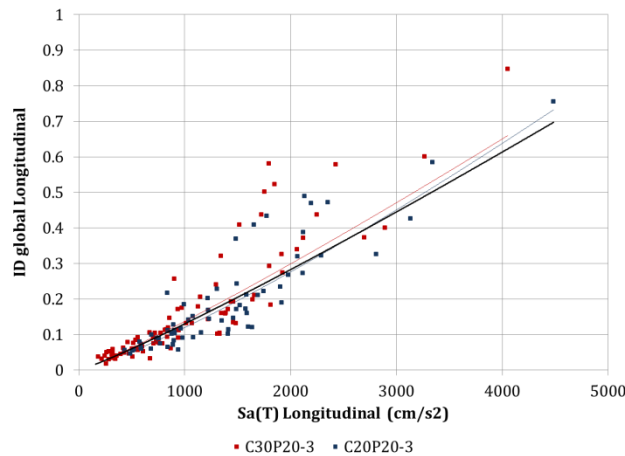


Figura A. 254 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Tabla A. 127 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección longitudinal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

	Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste: Potencial													
						(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)				
						β_0	β_1	σ	r	$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)				
Longitudinal	C20P20-3	S	$Sa(T)$	ID_{global}	Original	1.80E-05	1.2764	0.1427	0.8947	4481.87	0.8222	0.8354	1.60%	0.6968	15.25%				
		FN				1.21E-04	0.9916	0.1054	0.8863	2289.69	0.2589	0.2454	5.22%	0.3289	27.06%				
		S y FN				2.85E-05	1.2078	0.1330	0.8941	4481.87	0.7320			0.6968	4.80%				
	C30P20-3	S				2.69E-05	1.2421	0.1433	0.9344	4052.03	0.8150	0.7387	9.36%	0.6226	23.61%				
		FN				2.75E-04	0.8780	0.1340	0.8838	2061.71	0.2232	0.2234	0.09%	0.2925	31.06%				
		S y FN				5.89E-05	1.1224	0.1490	0.9156	4052.03	0.6600			0.6226	5.67%				
	P20-3	S				(1) 2.93E-05	1.2200	0.1457	0.9186										
		FN				(2) 2.44E-04	0.8938	0.1224	0.8910										
		S y FN				(3) 5.78E-05	1.1178	0.1445	0.9081										

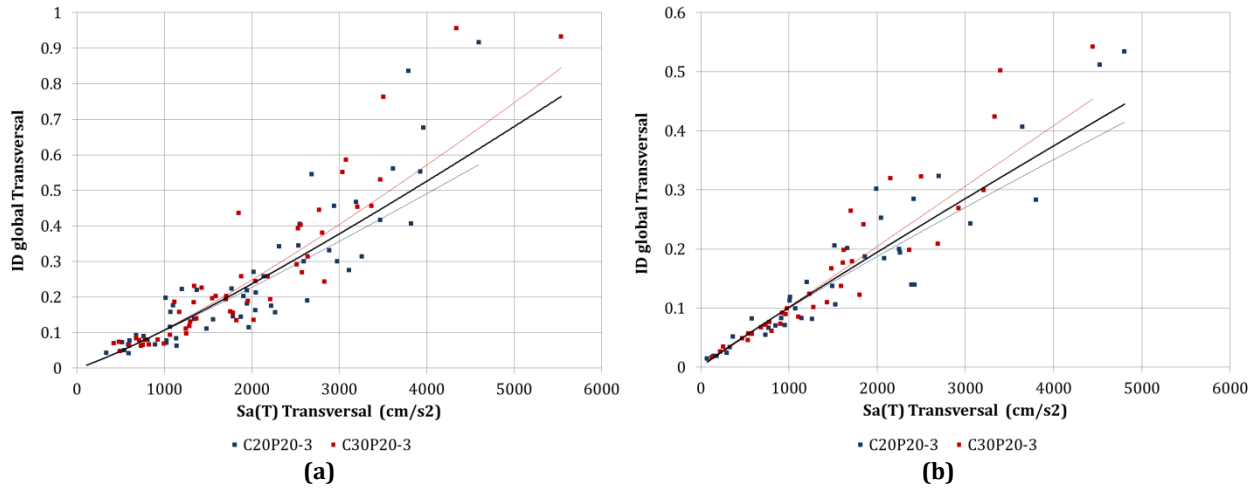


Figura A. 255 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3, fuente sísmica: (a) Subducción, y (b) Fallamiento Normal

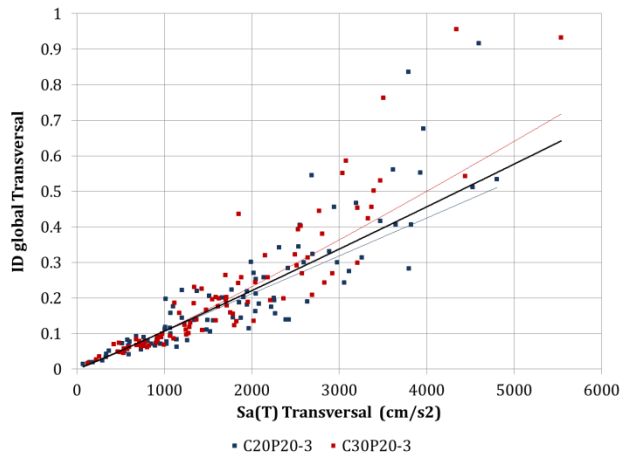


Figura A. 256 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Tabla A. 128 $Sa(T) - ID_{global}$, dirección transversal, modelos C20P20-3 y C30P20-3

Modelo	Fuente sísmica	MI	PDI	Ec.	Curva de ajuste:				$Sa(T)_{max}$ (cm/s^2)	PDI ajuste original	PDI(1) o PDI(2)	Dif (f) y (g)	PDI(3)	Dif (f) y (i)
					Potencial									
					(a)	(b)	(c)	(d)						
β_0	β_1	σ	r											
C20P20-3	S	Sa(T)	ID global	Original	4.92E-05	1.1101	0.1439	0.9069	4597.31	0.5726	0.6171	7.77%	0.5283	7.73%
	FN				1.90E-04	0.9070	0.1145	0.9582	4802.24	0.4147	0.4451	7.35%	0.5530	33.37%
	S y FN				1.03E-04	1.0037	0.1383	0.9298	4802.24	0.5107			0.5530	8.29%
C30P20-3	S				2.69E-05	1.2013	0.1256	0.9289	5538.14	0.8440	0.7644	9.43%	0.6421	23.92%
	FN				1.02E-04	0.9998	0.0942	0.9664	4441.38	0.4539	0.4135	8.90%	0.5096	12.26%
	S y FN				5.07E-05	1.1089	0.1195	0.9428	5538.14	0.7177			0.6421	10.53%
P20-3	S	(1)	3.78E-05	1.1502	0.1354	0.9159								
	FN	(2)	1.49E-04	0.9441	0.1055	0.9605								
	S y FN	(3)	7.68E-05	1.0478	0.1304	0.9342								