



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**COCIENTES ENTRE ESPECTROS Y PSEUDO-
ESPECTROS DE ACELERACIÓN Y DE VELOCIDAD
CORRESPONDIENTES A DISTINTAS ZONAS DEL
VALLE DE MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

JOSÉ LUIS ESPINOZA CHAMPO



**DIRECTORA DE TESIS:
DRA. SONIA ELDA RUIZ GÓMEZ
2015**

AGRADECIMIENTOS

A la UNAM por brindarme los mejores recursos y herramientas para hacer de mí hoy no solo un mejor estudiante y profesionista, sino también una mejor persona.

A toda la comunidad universitaria por enriquecerme con su diversidad de ideas y pensamientos, quiero con el mismo fervor agradecer al pueblo de México que brinda los recursos económicos para que esta Casa de Estudios continúe siendo el proyecto cultural y científico más grande de México.

Al Instituto de Ingeniería por todos sus servicios brindados así como a la DGAPA (dentro del proyecto IN102114) por el apoyo económico brindado en esta etapa de mi formación académica.

En el transcurso de mi formación profesional en esta institución me he topado con grandes académicos, a los cuales, les quiero agradecer su tiempo y su dedicación, a cada uno de ellos expreso aquí mis respetos y agradecimientos.

Agradezco la colaboración y dedicación de mi tutora de tesis la Dra. Sonia E. Ruiz Gómez, a quien de manera sincera le agradezco las oportunidades brindadas en este proceso, le agradezco el incluirme en su reconocido y respetable grupo de trabajo, las lecciones que me brindó y sobretodo la paciencia hacia mi persona.

De igual manera agradezco a los compañeros del Instituto de Ingeniería que me acompañaron en esta etapa, Juan, Federico, Héctor, Emilio e Itzén, gracias por el compañerismo y brindar apoyo en cualquier duda que me surgía.

Durante el transcurso en la Facultad de Ingeniería me encontré con grandes compañeros a quienes también quiero agradecer, Ernesto Leónides, José Tobías, Marco Godínez y Razo Madrigal, con quienes compartí mucho tiempo que me sirvió para crecer y aprender que la amistad hace crecer el espíritu y son lazos que nunca se deberían de romper.

Y finalmente quiero agradecer a las personas más importantes en mi vida, aquellas que han estado no solamente en la formación como profesional sino en todos mis proyectos, mi familia, sin ellos no sería la persona que soy hoy, quiero agradecer a mi madre por ser la inspiración y el motor que me impulsan a hacer mejor las cosas, a mi padre, quien comparte mi profesión y es para mí el mejor ejemplo de éxito y de humildad que puedo encontrar, a mis hermanos, Ana y Leo por estar presentes con sus pláticas y ánimos demostrando que la distancia nunca es grande para la familia. Gracias a ustedes, y a la vida por ponerme en el camino que me encuentro y por hacer que el sendero recorrido estuviese lleno de enseñanzas y buenas personas.

RESUMEN

Se presentan los resultados de las relaciones entre espectros de aceleración (SA) y pseudoaceleración (PSA), así como las relaciones entre espectros de velocidad (SV) y pseudovelocidad (PSV) de 120 movimientos sísmicos registrados en las diferentes zonas sísmicas del valle de México. Dichas relaciones se representan mediante ecuaciones en función del amortiguamiento y del periodo.

A partir de los espectros SA y PSA así como SV y PSV se grafican las relaciones SA/PSA y SV/PSV para diferentes amortiguamientos críticos de $\xi=2\%$ $\xi=5\%$ $\xi=10\%$ $\xi=15\%$ $\xi=20\%$ $\xi=30\%$ $\xi=40\%$ para cada una de las zonas. Se muestra una ecuación que engloba los comportamientos de toda la zona sísmica del valle de México para las relaciones de SA/PSA, y otra ecuación para las relaciones de SV/PSV.

Además se evalúan las relaciones entre espectros de aceleración (SA) y pseudoaceleración (PSA) y espectros de velocidad (SV) y pseudovelocidad (PSV), en las distintas zonas del valle de México, con el objetivo de verificar las diferencias existentes.

ÍNDICE

RESUMEN	III
INTRODUCCIÓN	1
1 OBJETIVO	5
1.1 ALCANCES	5
2 METODOLOGÍA	6
3 SELECCIÓN DE REGISTROS SÍSMICOS	8
3.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN	8
3.2 ESTACIONES ACELEROMÉTRICAS	9
3.3 REGISTROS SÍSMICOS	11
4 PROCESAMIENTO DE SEÑALES SÍSMICAS	15
4.1 TIPOS DE ERRORES Y CORRECCIÓN DE ACELEROGRAMAS	15
4.2 CORRECCIÓN DE LINEA BASE.....	17
4.2.1 ANTECEDENTES DE LA CORRECCIÓN DE LÍNEA BASE	17
4.2.2 FILTRADO DE FRECUENCIAS.....	18
4.2.3 FILTRO SELECTIVO DE FRECUENCIAS.....	19
4.2.4 FILTRO BUTTERWORTH	22
5 OBTENCIÓN DE UN ESPECTRO DE RESPUESTA	23
5.1 ESPECTRO DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN Y DE VELOCIDAD.....	27
5.2 ESPECTRO DE PSEUDOACELERACIÓN.....	28
5.3 ESPECTRO DE PSEUDOVELOCIDAD.....	28
6 COMPARACIÓN DE ESPECTROS DE PSEUDOACELERACIÓN Y ACELERACIÓN PARA DISTINTAS ZONAS SÍSMICAS DEL VALLE DE MÉXICO	29
7 COMPARACIÓN DE ESPECTROS DE PSEUDOVELOCIDAD Y VELOCIDAD PARA DISTINTAS ZONAS SÍSMICAS DEL VALLE DE MÉXICO	48
8 CONCLUSIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	70
APÉNDICE A	73
APÉNDICE B	88

INTRODUCCIÓN

La actividad sísmica representa un riesgo para las estructuras. Esta actividad puede ser originada por explosiones o eventos extraordinarios, pero las que son de mayor importancia para el estudio de la ingeniería sísmica son aquellas que tienen origen tectónico, por ende, su estudio es de suma importancia, tomando en cuenta las consideraciones pertinentes para la realización de los reglamentos de construcción, como es el caso del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF-2004), que es el que rige para llevar a cabo el diseño de edificaciones en el D.F.

La República Mexicana está dividida en cuatro zonas sísmicas. La zona A corresponde a los sitios donde no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de los sismos. Las zonas B y C se conocen como zona intermedia, donde no frecuentemente se registran sismos o son aquellas afectadas por las altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración de la gravedad; finalmente, la zona D es donde se han registrado los sismos históricos del país, en dicha zona las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Aunque la ciudad de México se encuentra ubicada en la zona B, debido a las condiciones del subsuelo del valle de México, pueden esperarse altas aceleraciones. Por ende, la Zona del valle de México, la cual se ha dividido en varias zonas, tiene un rol relevante.

El Reglamento de Construcciones del D.F. proporciona la correspondiente normatividad para lograr estructuras en las que, durante su vida útil, sean seguras para quienes son los usuarios de las mismas.

En el presente estudio se evalúan las relaciones entre espectros de aceleración (SA) y pseudoaceleración (PSA), y espectros de velocidad (SV) y pseudovelocidad (PSV), en las distintas zonas del valle de México, con el objetivo de verificar las diferencias existentes.

En los Capítulos 1 y 2 se desarrolla el objetivo de este estudio así como la metodología que se siguió.

En el Capítulo 3 se presenta el proceso para obtener los registros sísmicos, así como también se presentan los sitios, en donde se encuentran ubicados los acelerógrafos para el objeto de este estudio. Se muestra un mapa en donde se puede observar la localización de estos.

En el Capítulo 4 se explica el proceso de corrección de la Línea Base de acuerdo a cada componente del sismo, tanto EW como NS. Se explican conceptos mediante los cuales se realiza dicha corrección, así como del “software” que se aplicó en este estudio. Esto con el objetivo de corregir las historias de aceleración, de velocidad y de desplazamiento de cada movimiento sísmico analizado.

En el Capítulo 5 se da un cuadro teórico de espectro de respuesta y su correspondiente construcción.

En los Capítulos 6 y 7 se presentan las relaciones obtenidas entre los espectros de aceleración (SA) y pseudoaceleración (PSA), así como las relaciones entre los espectro de velocidad (SV) y pseudovelocidad (PSV), y se presentan las correspondientes ecuaciones obtenidas para cada zona analizada. También se muestra la ecuación que engloba a toda la zona del valle de México, para cada relación SA/PSA y SV/PSV.

Finalmente, se mencionan las conclusiones del estudio.

La zona I corresponde a suelo duro, la zona II corresponde a suelo de transición y la III corresponde a suelo blando, y la zona III esta subdividida en cuatro zonas que dependen del periodo de vibración del suelo (T).

1 OBJETIVO

El objetivo de esta tesis es obtener las relaciones entre espectros de aceleración (SA) y pseudoaceleración (PSA), así como las relaciones entre espectros de velocidad (SV) y pseudovelocidad (PSV) de movimientos sísmicos registrados en las diferentes zonas sísmicas del valle de México, y representar dichas relaciones mediante ecuaciones en función del amortiguamiento y del periodo.

1.1 ALCANCES

A partir de los espectros SA y PSA así como SV y PSV se graficarán las relaciones SA/PSA y SV/PSV para diferentes amortiguamientos críticos de $\xi=2\%$ $\xi=5\%$ $\xi=10\%$ $\xi=15\%$ $\xi=20\%$ $\xi=30\%$ $\xi=40\%$ para cada una de las zonas.

Se hará un ajuste de dichas relaciones (SA/PSA y SV/PSV) para obtener una aproximación con la cual mediante una ecuación se puedan relacionar los diferentes valores de amortiguamiento y el periodo, logrando así representar el comportamiento de dichas relaciones en una sola ecuación para cada zona.

Además, se obtendrá una ecuación que englobe los comportamientos de toda la zona sísmica del valle de México para las relaciones de SA/PSA, y otra ecuación para las relaciones de SV/PSV. Observando el comportamiento general que se tiene, y se darán las conclusiones pertinentes.

2 METODOLOGÍA

El esquema general de la metodología que se siguió en esta tesis para llegar a las ecuaciones de cocientes espectrales de cada zona sísmica del valle de México, es el siguiente:

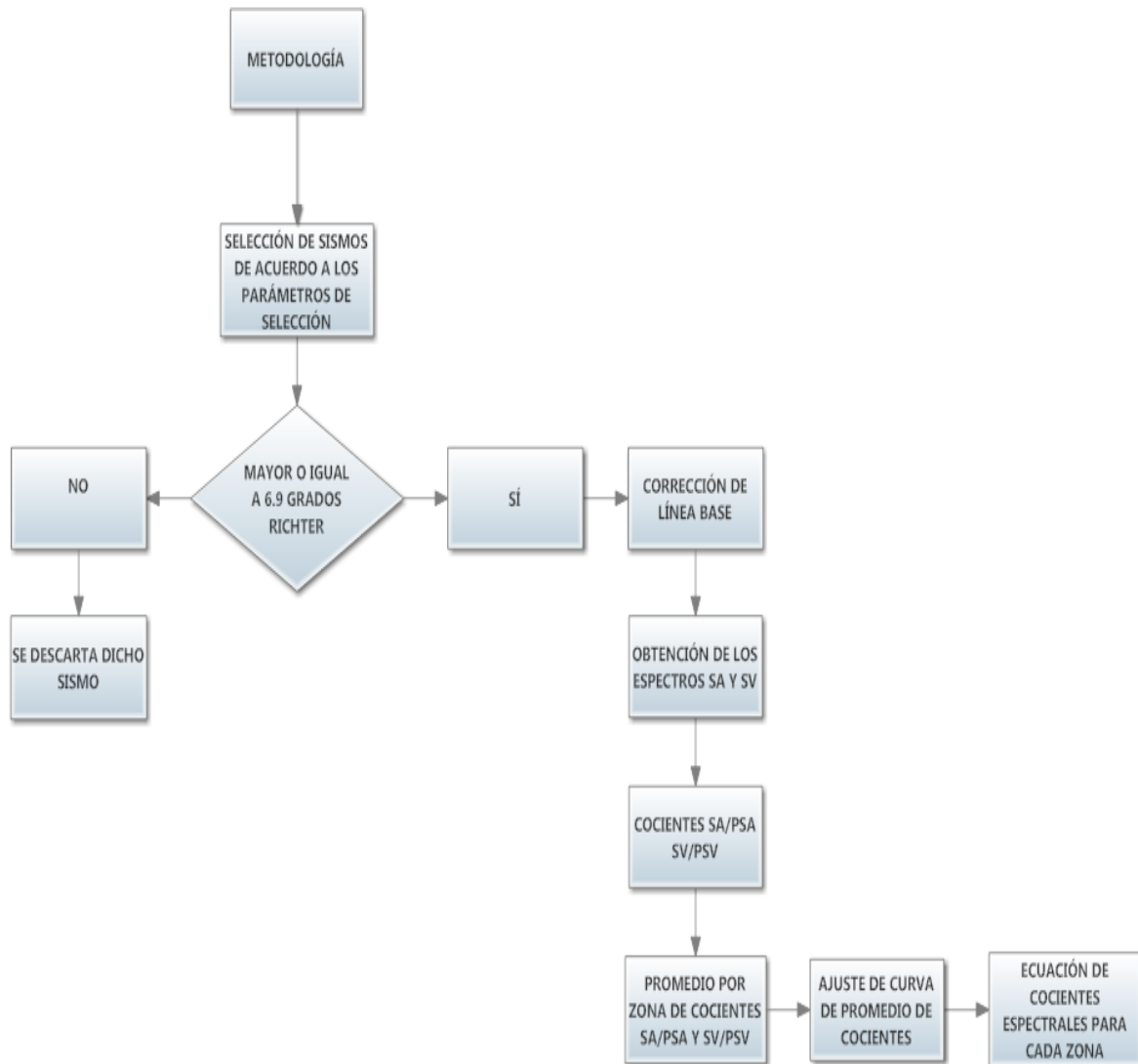


Figura 2.1 Pasos que se siguen en esta tesis.

A continuación se describe la metodología del diagrama de bloques de la figura 2.1.

Se llevó a cabo la selección de sismos de acuerdo a los parámetros de selección planteados para esta tesis, uno de los cuales es que los sismos seleccionados sean mayores o iguales a 6.9. Una vez cumplido este requisito, se pasó a la corrección de Línea Base dicho proceso se detalla en el Capítulo 4. La corrección de línea base es necesaria antes de pasar a la obtención de los espectros PSA y PSV. Una vez obtenidos estos últimos se realizaron los correspondientes cocientes SA/PSA y SV/PSV. A continuación se realizó un ajuste de curva de los promedios obtenidos de los cocientes SA/PSA y SV/PSV de cada zona analizada. A partir de ese ajuste de curvas se ajustaron las ecuaciones en función del amortiguamiento y del periodo. Finalmente se proponen expresiones de las relaciones SA/PSA y SV/PSV para todo el valle de México.

3 SELECCIÓN DE REGISTROS SÍSMICOS

En la presente sección se realiza la selección de los movimientos sísmicos necesarios con base en los parámetros de selección que delimiten y den forma al trabajo, los cuales se presentan más adelante de acuerdo a las zonas del valle de México.

3.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN

En el presente trabajo se toman en cuenta los siguientes parámetros:

1. Los eventos sísmicos tienen una magnitud mayor o igual a 6.9, y corresponden a sismos de subducción originados en el Pacífico Mexicano.
2. Los movimientos sísmicos registrados en el valle de México para este estudio se registraron entre 1981 y 1997.
3. Los registros que no cuenten con ambas componentes (E-W y N-S) son descartados del estudio.

3.2 ESTACIONES ACELEROMÉTRICAS

Red Acelerográfica de la Ciudad de México.

Después de evaluar la magnitud del desastre que causaron los sismos de septiembre de 1985 en la ciudad de México, expertos en ingeniería sísmica y geofísica propusieron ante el CONACyT, ejecutar diversas investigaciones básicas y desarrollos tecnológicos útiles para mitigar la vulnerabilidad de la zona urbana del valle de México, ante este peligro natural.

En 1987 el CIRES inició el desarrollo de la Red Acelerográfica de la Ciudad de México (RACM), con 78 aparatos, mismos que fueron donados al CIRES por el Gobierno del Distrito Federal y la Fundación de Ingenieros Civiles Asociados (FICA).

La red cuenta con 80 acelerógrafos (Base Nacional de Datos de Sismos Fuertes. Catálogo de estaciones acelerográficas 1960-1992. México, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, 1993, 210 p.), 72 de superficie y 8 de pozo. Se distribuyen de la siguiente forma: 66 acelerógrafos en estaciones de registro en superficie, 6 acelerógrafos instalados en dos estructuras y 8 sensores de registro subterráneo. El sitio de instalación, en el valle de México, fue seleccionado en 1987, según el criterio de expertos en mecánica de suelos e ingeniería sísmica.

Estos acelerógrafos registran la información en una tarjeta tipo PCMCIA con capacidad para almacenar 34 minutos de datos. Cuentan con memoria de pre-evento ajustable para registrar hasta 56 segundos antes del sismo y post-evento de hasta 64 segundos posteriores al momento en que la aceleración del sismo sea menor que el nivel de disparo seleccionado.

Los movimientos sísmicos aquí presentados tienen como lugar de registro las siguientes estaciones acelerométricas:

1. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
2. Centro de Instrumentación y Registro Sísmicos (CIRES)
3. Comisión Federal de Electricidad (CFE)
4. Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (IGUNAM)
5. Red Inter-universitaria de Instrumentación Sísmica (RIIS)
6. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIUNAM)

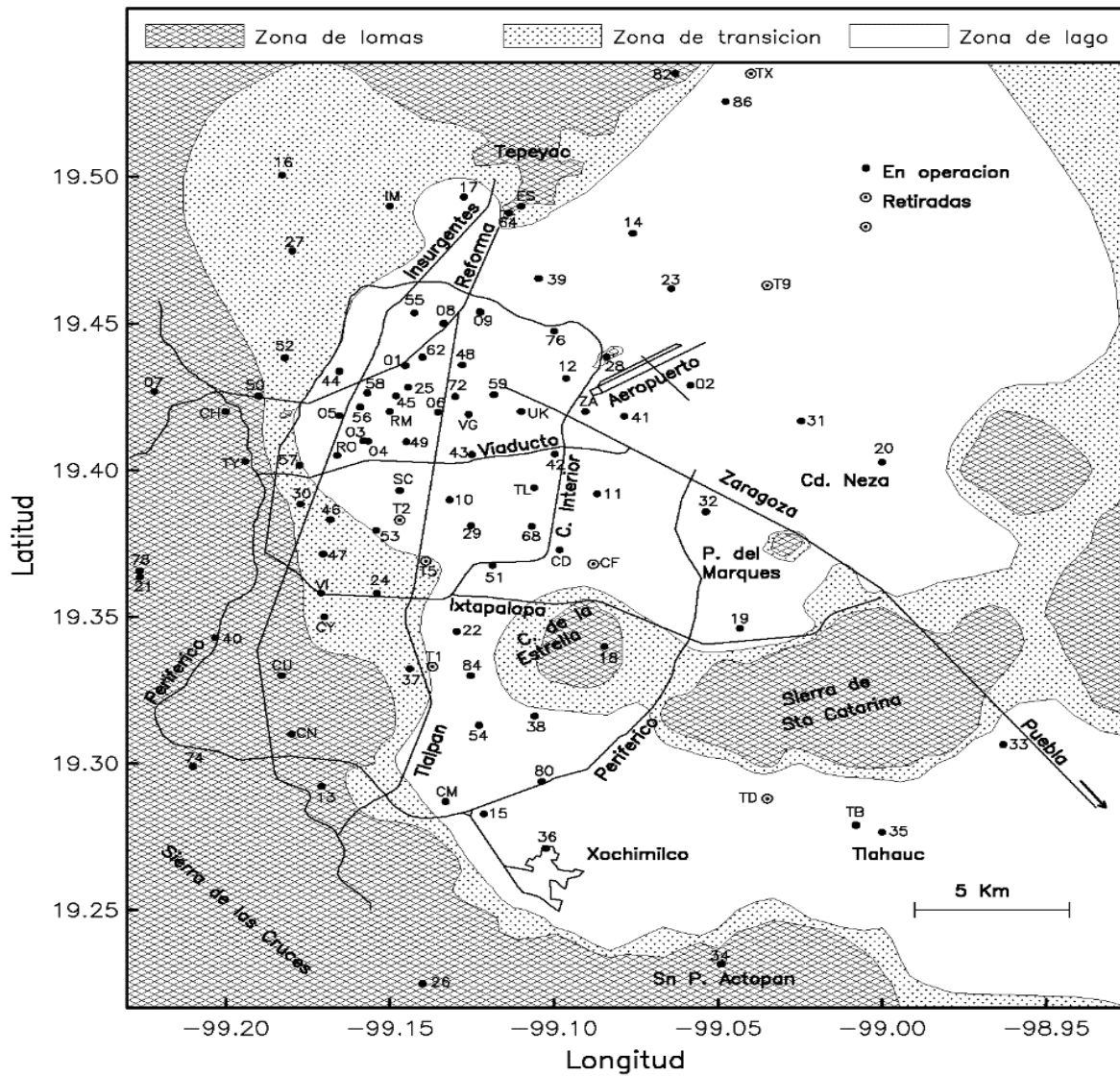


Figura 3.1 Mapa de localización de la red de estaciones acelerométricas de la ciudad de México.

3.3 REGISTROS SÍSMICOS

En la Tabla 3.1, se muestran los registros sísmicos analizados.

Tabla 3.1 Ubicación y fecha de registros sísmicos

Nombre de la Estación	Coordenadas de la Estación		Institución Encargada	Datos del sismo		
	Latitud	Longitud		Fecha	Registro	Magnitud
ii inst. sísmica	19.33	99.183	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	68-08-02	01i	7.1
ii inst. sísmica	19.33	99.183	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	79-03-14	03i	7
Sismex CU	19.326	99.182	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	79-03-14	04i	7
Sismex Hospital ABC	19	99.205	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	79-03-14	05i	7
Sismex CU	19.326	99.182	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	81-10-25	06i	7.3
ii inst. sísmica	19.33	99.183	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	82-06-07	07i	6.9
ii inst. sísmica	19.33	99.183	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-19	08i	8.1
ii patio	19.33	99.183	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-19	09i	8.1
Mesa vibradora	19.33	99.183	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-19	10i	8.1
Tacubaya	19.403	99.194	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-19	11i	8.1
ii patio	19.33	99.183	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-21	12i	7.6
Mesa vibradora	19.33	99.183	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-21	13i	7.6
Tacubaya	19.403	99.194	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-21	14i	7.6
ii inst. sísmica	19.33	99.183	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	89-04-25	15i	6.9
Lab. de desarrollo	19.33	99.183	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-21	16i	6.9
Fund. Javier Barros Sierra	19.299	99.21	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	85-09-21	17i	6.9
Mariscal Tito	19.425	99.19	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	85-09-21	18i	6.9
San Pedro Atocpan	19.202	99.049	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	85-09-21	19i	6.9
Tacubaya	19.403	99.194	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-21	20i	6.9
Tlalpan	19.292	99.171	FUNDACIÓN ICA	85-09-21	21i	6.9
Est. # 14 Chapultepec	19.416	99.205	CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES (CENAPRED)	95-09-14	22i	7.3
Colinas del Sur	19.366	99.226	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	23i	7.3
ii patio 1	19.33	99.183	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	95-09-14	24i	7.3
ii patio 4	19.33	99.183	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	95-09-14	25i	7.3
Fund. Javier Barros Sierra	19.299	99.21	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	26i	7.3
San Pedro Atocpan	19.202	99.049	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	27i	7.3
Campo libre	19.351	99.186	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	28i	7.3
Tacubaya	19.403	99.194	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	95-09-14	29i	7.3
Tlalpan	19.292	99.171	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	30i	7.3
Universidad Iberoamericana	19.365	99.226	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	31i	7.3
Sismex Viveros	19.358	99.171	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	81-10-25	01ii	7.3
Sismex Viveros	19.358	99.171	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-19	02ii	8.1
Angel Urraza	19.383	99.168	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	03ii	6.9
Coyoacán	19.371	99.17	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	04ii	6.9
Deportivo Reynoso	19.501	99.183	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	05ii	6.9
Xotepingo	19.332	99.144	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	06ii	6.9
Esparza Oteo	19.389	99.177	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	07ii	6.9
Escandón	19.402	99.177	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	08ii	6.9
Granjas	19.475	99.18	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	09ii	6.9
Mariano Escobedo	19.438	99.182	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	10ii	6.9
Alberca olimpica	19.359	99.154	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	11ii	7.3
Angel Urraza	19.383	99.168	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	12ii	7.3
Coyoacán	19.371	99.17	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	13ii	7.3
Est. # 6 Coyoacán	19.348	99.169	CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES (CENAPRED)	95-09-14	14ii	7.3
Xotepingo	19.332	99.144	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	15ii	7.3
Escandón	19.402	99.177	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	16ii	7.3
Est. # 15 IMP	19.488	99.149	CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES (CENAPRED)	95-09-14	17ii	7.3
Mariano Escobedo	19.438	99.182	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	18ii	7.3
Alberca olimpica	19.359	99.154	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	20ii	6.9
Angel Urraza	19.383	99.168	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	21ii	6.9
Deportivo Reynoso	19.501	99.183	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	22ii	6.9
Xotepingo	19.332	99.144	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	23ii	6.9
Granjas	19.475	99.18	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	24ii	6.9
Est. # 15 IMP	19.488	99.149	CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES (CENAPRED)	97-01-11	25ii	6.9
Mariano Escobedo	19.438	99.182	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	26ii	6.9
Culhuacán	19.33	99.125	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	01a	6.9
Roma	19.405	99.166	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	89-04-25	02a	6.9
Jardines de Coyoacán	19.313	99.127	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	04a	6.9
Lindavista	19.493	99.128	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	05a	6.9
Miramontes	19.283	99.125	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	06a	6.9
San Simón	19.375	99.148	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	07a	6.9
Culhuacán	19.33	99.125	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	09a	7.3
Jardines de Coyoacán	19.313	99.127	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	12a	7.3
Miramontes	19.283	99.125	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	13a	7.3
Culhuacán	19.33	99.125	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	14a	6.9
Roma	19.405	99.166	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	97-01-11	15a	6.9
Jardines de Coyoacán	19.313	99.127	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	16a	6.9

Tabla 3.1 (continuación)

Nombre de la Estación	Coordenadas de la Estación		Institución Encargada	Datos del sismo		
	Latitud	Longitud		Fecha	Registro	Magnitud
Lindavista	19.493	99.128	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	17a	6.9
Miramontes	19.283	99.125	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	18a	6.9
San Simón	19.375	99.148	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	19a	6.9
Nonoalco Atizapán patio	19.45	99.144	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	78-11-29	02i	7.8
Ibero	19.345	99.13	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	03a	6.9
Unidad Colonia IMSS	19.434	99.165	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	08a	6.9
Ibero	19.345	99.13	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	11a	7.3
SCT	19.292	99.147	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-19	01b	8.1
Tlahuac deportivo	19.293	99.035	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-21	02b	7.6
Alameda	19.436	99.145	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	03b	6.9
Balderas	19.425	99.148	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	04b	6.9
Cibeles	19.419	99.165	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	05b	6.9
CU Juárez	19.41	99.157	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	06b	6.9
Córdoba	19.422	99.159	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	07b	6.9
Garibaldi	19.439	99.14	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	08b	6.9
Liconsa	19.306	98.963	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	09b	6.9
Plutarco Elías Calles	19.39	99.132	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	10b	6.9
SCT	19.393	99.147	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	89-04-25	12b	6.9
Sector Popular	19.366	99.119	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	13b	6.9
Tlatelolco	19.45	99.134	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	14b	6.9
Tlatelolco	19.436	99.143	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	15b	6.9
Valle Gómez	19.454	99.123	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	16b	6.9
Alameda	19.436	99.145	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	17b	7.3
Balderas	19.425	99.148	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	18b	7.3
CU Juárez	19.41	99.157	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	19b	7.3
Centro urbano Presidente Juárez	19.41	99.157	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	95-09-14	20b	7.3
Córdoba	19.422	99.159	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	21b	7.3
Edif. Jalapa	19.423	99.159	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	95-09-14	22b	7.3
Garibaldi	19.439	99.14	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	23b	7.3
García Campillo	19.316	99.106	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	24b	7.3
Liconsa	19.306	98.963	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	25b	7.3
Plutarco Elías Calles	19.39	99.132	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	26b	7.3
Est. # 12 Roma C	19.419	99.155	CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES (CENAPRED)	95-09-14	29b	7.3
Sector Popular	19.366	99.119	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	30b	7.3
Tlatelolco	19.45	99.134	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	31b	7.3
Tlatelolco	19.436	99.143	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	32b	7.3
Balderas	19.425	99.148	FUNDACIÓN ICA	95-10-09	33b	7.5
Cibeles	19.419	99.165	FUNDACIÓN ICA	95-10-09	34b	7.5
CU Juárez	19.41	99.157	FUNDACIÓN ICA	95-10-09	35b	7.5
Centro urbano Presidente Juárez	19.41	99.157	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	95-10-09	36b	7.5
Córdoba	19.422	99.159	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	37b	7.5
Edif. Jalapa	19.423	99.159	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	95-10-09	38b	7.5
Garibaldi	19.439	99.14	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	39b	7.5
Liconsa	19.306	98.963	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	40b	7.5
Liverpool	19.426	99.157	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	41b	7.5
Plutarco Elías Calles	19.39	99.132	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	42b	7.5
Est. # 12 Roma C	19.419	99.155	CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES (CENAPRED)	95-10-09	44b	7.5
Sector Popular	19.366	99.119	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	45b	7.5
Valle Gómez	19.454	99.123	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	46b	7.5
Alameda	19.436	99.145	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	47b	6.9
Balderas	19.425	99.148	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	48b	6.9
Cibeles	19.419	99.165	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	49b	6.9
CU Juárez	19.41	99.157	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	50b	6.9
Centro urbano Presidente Juárez	19.41	99.157	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	97-01-11	51b	6.9
Córdoba	19.422	99.159	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	52b	6.9
Garibaldi	19.439	99.14	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	54b	6.9
García Campillo	19.316	99.106	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	55b	6.9
Liconsa	19.306	98.963	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	56b	6.9
Liverpool	19.426	99.157	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	57b	6.9
Plutarco Elías Calles	19.39	99.132	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	58b	6.9
Est. # 10 Roma A	19.42	99.155	CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES (CENAPRED)	97-01-11	59b	6.9
Est. # 11 Roma B	19.42	99.154	CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES (CENAPRED)	97-01-11	60b	6.9
Est. # 12 Roma C	19.419	99.155	CENTRO NACIONAL DE PREVENCION DE DESASTRES (CENAPRED)	97-01-11	61b	6.9
Sector Popular	19.366	99.119	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	62b	6.9
Tlatelolco	19.45	99.134	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	63b	6.9
Tlatelolco	19.436	99.143	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	64b	6.9
Valle Gómez	19.454	99.123	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	65b	6.9

Tabla 3.1 (continuación)

Nombre de la Estación	Coordenadas de la Estación		Institución Encargada	Datos del sismo		
	Latitud	Longitud		Fecha	Registro	Magnitud
Buenos Aires	19.41	99.145	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	06c	6.9
Meyehualco	19.346	99.043	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	12c	6.9
Villa del Mar	19.381	99.125	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	13c	6.9
Meyehualco	19.346	99.043	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	21c	7.3
Buenos Aires	19.41	99.145	FUNDACIÓN ICA	95-10-09	23c	7.5
Meyehualco	19.346	99.043	FUNDACIÓN ICA	95-10-09	29c	7.5
Villa del Mar	19.381	99.125	FUNDACIÓN ICA	95-10-09	31c	7.5
Villa del Mar	19.381	99.125	FUNDACIÓN ICA	96-02-25	33c	6.9
Buenos Aires	19.41	99.145	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	35c	6.9
Villa del Mar	19.381	99.125	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	40c	6.9
Rodolfo Menéndez	19.436	99.128	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	11b	6.9
Rodolfo Menéndez	19.436	99.128	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	28b	7.3
Rodolfo Menéndez	19.436	99.128	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	43b	7.5
Aragón	19.481	99.076	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	12d	7.3
Aragón	19.481	99.076	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	22d	7.5
Central de abastos oficina	19.372	99.096	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-19	01c	8.1
Central de abastos frigorífico	19.366	99.086	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-21	02c	7.6
Central de abastos oficina	19.372	99.096	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-21	03c	7.6
Texcoco centro lago	19.48	98.991	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-21	04c	7.6
Apatlaco	19.381	99.107	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	05c	6.9
Bondojoito	19.465	99.105	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	07c	6.9
Candelaria	19.426	99.118	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	08c	6.9
Prepa # 7 La Viga	19.419	99.126	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	89-04-25	09c	6.9
Jamaica	19.405	99.125	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	11c	6.9
Xochipilli	19.42	99.135	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	14c	6.9
Apatlaco	19.381	99.107	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	15c	7.3
Bondojoito	19.465	99.105	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	16c	7.3
Candelaria	19.426	99.118	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	17c	7.3
Central de abastos oficina	19.372	99.096	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	95-09-14	18c	7.3
Hospital Juárez	19.425	99.13	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	19c	7.3
Jamaica	19.405	99.125	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	20c	7.3
Apatlaco	19.381	99.107	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	22c	7.5
Bondojoito	19.465	99.105	FUNDACIÓN ICA	95-10-09	24c	7.5
Candelaria	19.426	99.118	FUNDACIÓN ICA	95-10-09	25c	7.5
Jamaica	19.405	99.125	FUNDACIÓN ICA	95-10-09	28c	7.5
Xochipilli	19.42	99.135	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	32c	7.5
Apatlaco	19.381	99.107	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	34c	6.9
Bondojoito	19.465	99.105	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	36c	6.9
Candelaria	19.426	99.118	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	37c	6.9
Jamaica	19.405	99.125	FUNDACIÓN ICA	97-01-11	38c	6.9
Xochimilco	19.271	99.102	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	41c	6.9
Xochipilli	19.42	99.135	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	97-01-11	42c	6.9
Tlahuac Bombas	19.279	99.008	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	85-09-19	01d	8.1
Tlahuac Bombas	19.279	99.008	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM	86-04-30	02d	7
Autódromo	19.392	99.087	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	03d	6.9
Cetis	19.462	99.064	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	04d	6.9
Cetis 57	19.386	99.054	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	05d	6.9
Deportivo Moctezuma	19.431	99.096	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	06d	6.9
Hangares	19.418	99.079	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	07d	6.9
Nezahualcoyotl	19.417	99.025	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	08d	6.9
Palacio de los deportes	19.406	99.1	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	89-04-25	09d	6.9
Tlahuac	19.279	99	FUNDACIÓN ICA	89-04-25	10d	6.9
Aeropuerto	19.429	99.058	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	11d	7.3
Autódromo	19.392	99.087	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	13d	7.3
Cetis	19.462	99.064	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	14d	7.3
Cetis 57	19.386	99.054	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	15d	7.3
Deportivo Moctezuma	19.431	99.096	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	16d	7.3
Nezahualcoyotl	19.417	99.025	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	17d	7.3
Palacio de los deportes	19.406	99.1	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-09-14	18d	7.3
Tlahuac	19.279	99	FUNDACIÓN ICA	95-09-14	19d	7.3
Est. # 9 U. Kennedy	19.419	99.111	CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED)	95-09-14	20d	7.3
Est. # 8 Zaragoza	19.419	99.088	CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED)	95-09-14	21d	7.3
Autódromo	19.392	99.087	FUNDACIÓN ICA	95-10-09	23d	7.5
Cetis	19.462	99.064	FUNDACIÓN ICA	95-10-09	24d	7.5
Deportivo Moctezuma	19.431	99.096	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	26d	7.5
Hangares	19.418	99.079	FUNDACIÓN ICA	95-10-09	27d	7.5
Nezahualcoyotl	19.403	99	CENTRO DE INSTRUMENTACION Y REGISTRO SISMICO (CIRES)	95-10-09	28d	7.5

Los eventos sísmicos con magnitudes menores a 6.9 corresponden a intensidades pequeñas y moderadas, que se pueden asociar al estado límite de servicio, mientras que los eventos sísmicos con magnitudes mayores a 6.9 pueden corresponder al estado límite de colapso, por ende la importancia del estudio de estos registros.

En el presente trabajo se analizaron un total de 120 eventos sísmicos con dos componentes (E-W y N-S), dando un total de 240 datos, repartiéndose de la siguiente manera:

16 pares de la Zona A

18 pares de la Zona B

13 pares de la Zona C

31 pares de la Zona D

19 pares de la Zona E

15 pares de la Zona F

8 pares de la Zona G

En donde cada zona presenta los siguientes periodos dominantes del suelo (Castillo y Ruiz, 2013):

Tabla 3.2 Zonas del valle de México utilizada en esta tesis

Zona	Periodo, T_s (s)
A	$T_s \leq 0.5$
B	$0.5 < T_s \leq 1.0$
C	$1.0 < T_s \leq 1.5$
D	$1.5 < T_s \leq 2.0$
E	$2.0 < T_s \leq 2.5$
F	$2.5 < T_s \leq 3.0$
G	$3.0 < T_s \leq 4.0$

4 PROCESAMIENTO DE SEÑALES SÍSMICAS

4.1 TIPOS DE ERRORES Y CORRECCIÓN DE ACELEROGRAMAS

Para obtener una determinación lo más exacta posible de los valores de aceleración que se han producido durante el sismo en el lugar de registro, es necesario hacer un correcto tratamiento de los registros, dado que el acelerograma obtenido presenta una serie de errores que deben corregirse.

Primeramente hay que tener en cuenta la repercusión que el ruido tiene sobre el acelerograma. Este ruido puede estar causado tanto por fenómenos naturales como por el tratamiento de los datos. Así podremos considerar que el acelerograma es la suma de la señal sísmica más el ruido,

$$a(t) = s(t) + r(t) \quad (4.1)$$

Siendo $a(t)$ el acelerograma sin corregir, $s(t)$ la señal sísmica, y $r(t)$ el ruido.

El ruido que afecta al acelerograma puede ser de dos tipos:

- a) Ruido de alta frecuencia. Cuando aparece por encima de la banda de frecuencias con la que trabajamos. Este ruido afecta a los picos de aceleración fundamentalmente. No afecta de manera significativa el proceso de integración, ya que el área bajo la curva es prácticamente la misma que para la señal corregida, dado que las desviaciones por encima y por debajo se compensan.
- b) Ruido de baja frecuencia. Cuando este aparece por debajo de la banda de frecuencias con la que trabajamos. Afecta al proceso de integración básicamente, dado que al integrar la aceleración para obtener la velocidad y desplazamiento, estamos calculando el área bajo la curva.

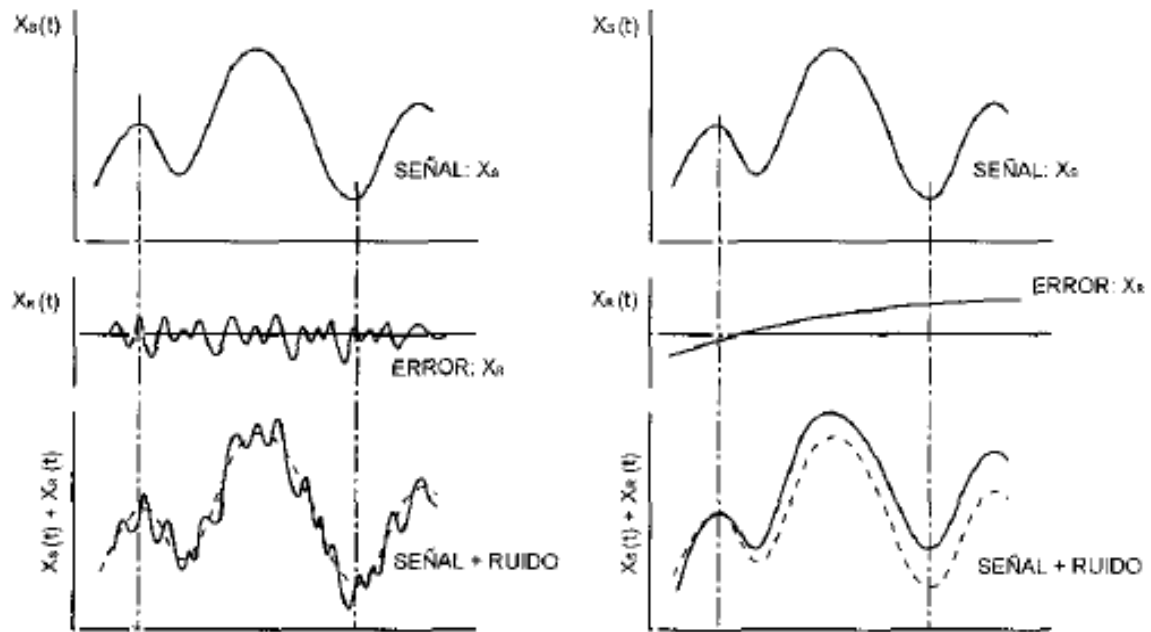


Figura 4.1 A la izquierda, efecto del ruido de alta frecuencia. A la derecha efecto del ruido de baja frecuencia (Hudson, 1979).

Corrección instrumental. Consiste en la convolución del registro con la función de transferencia de instrumento, tales como la sensibilidad del acelerómetro, la frecuencia natural ω_n y el amortiguamiento ξ , obteniéndose así un acelerograma corregido.

4.2 CORRECCIÓN DE LINEA BASE

4.2.1 ANTECEDENTES DE LA CORRECCIÓN DE LÍNEA BASE

Encontrar métodos accesibles de obtención de la línea base se convirtió en una tarea importante en el estudio de la ingeniería sísmica, debido a que cuando se empezó a emplear el acelerógrafo, no era posible determinar inmediatamente las historias de velocidad ni las de desplazamiento simplemente integrando el acelerograma, pues no se tenía establecida la línea base del acelerograma.

Los acelerogramas se comenzaron a registrar en papel fotográfico y en películas de 70mm y 35mm, y su máxima resolución era de 312 puntos por centímetro, contaban con una mesa de longitud de 60 cm, donde se podía acomodar aproximadamente 30 segundos del registro. Los registros acelerográficos se digitalizaban a diferentes intervalos de tiempo, teniendo un promedio de 10 a 40 puntos por segundo.

Los acelerogramas se pasaban manualmente de la cinta fílmica a una hoja de papel. Esto daba lugar a un número de errores debidos al personal que se encargaba de dicha tarea, de tal manera que varias personas eran las que tomaban el mismo registro de tal manera que así se tenían varios acelerogramas.

Los errores de alta frecuencia en los acelerogramas no eran considerados ya que se disminuía su amplitud al integrarlos por lo que no afectaban la exactitud de las historias de velocidad ni las de desplazamiento.

Corrección de la línea base o corrección de ceros. A veces, ocurre que los valores del acelerograma se encuentran desplazados respecto a la línea cero de aceleración. Este error puede ocurrir porque el acelerógrafo no esté perfectamente nivelado en su emplazamiento, o bien porque el sistema de registro provoque una deriva de los datos respecto a la línea de base. Aunque este error puede ser inapreciable en aceleración, puede ser muy importante cuando se obtienen la velocidad y el desplazamiento por integración, ya que estamos contabilizando el área que hay entre la curva de aceleración y la línea de base.

Suponiendo un desplazamiento constante del acelerograma respecto a la línea base de 0.001 g como se muestra en la figura 3, nos podemos dar una idea de cómo afecta este error a la velocidad $[v(t)]$ y al desplazamiento $[d(t)]$. Al integrar con este error, obtendríamos un incremento lineal parabólico del desplazamiento. Así, el error cometido en desplazamiento cuando han transcurrido 20 segundos, será de 196 cm. En la figura se ha exagerado este efecto, ya que en este caso se trata de tratamiento de acelerogramas análogos que se han digitizado manualmente.

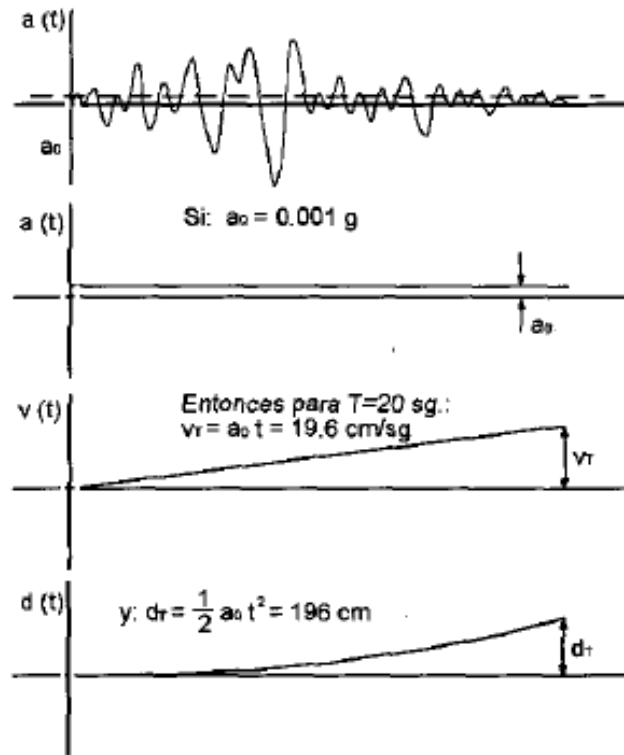


Figura 4.2 Error de ceros en el acelerograma (Hudson,1979).

4.2.2 FILTRADO DE FRECUENCIAS

Para limitar la información a la banda de frecuencias deseada, en lugar de mantener información adicional a mayores y menores frecuencias, que pueden contener gran número de errores, se utiliza el filtrado de frecuencias.

Lo más importante a la hora de aplicar los filtros, es elegir la frecuencia de corte adecuada, ya que una mala elección puede suponer eliminar parte de la señal que nos interesa, o por el contrario no eliminar el ruido de la señal, por eso, es necesario tener conocimiento sobre el espectro de Fourier.

El filtrado de la señal se hace multiplicando el espectro del acelerograma por una función que reduzca el valor de la amplitud del espectro de Fourier fuera de la banda donde están contenidas las frecuencias importantes de nuestra señal. En esa banda, el filtro deja las amplitudes inalterables.

Si aplicamos la transformada de Fourier a la ecuación:

$$a(t) = s(t) + r(t) \quad (4.2)$$

Obtenemos:

$$A(\omega) = S(\omega) + R(\omega) \quad (4.3)$$

Si $H(\omega)$ es una función filtro:

$$H(\omega) \cdot A(\omega) = H(\omega) \cdot S(\omega) + H(\omega) \cdot R(\omega) \quad (4.4)$$

Que en la banda de frecuencias que consideramos, se puede aproximar a:

$$S(\omega) \cong H(\omega) \cdot A(\omega) \quad (4.5)$$

El procedimiento de filtrado de frecuencias se toma de acuerdo a que los registros acelerográficos cuentan con ruido es decir con frecuencias muy bajas que causan error en la línea base de las historias de velocidad y de desplazamiento es por eso que se toma la decisión de hacer los correspondientes filtrados utilizando el filtro Butterworth pasa-alta. Se trata de un proceso para modificar las amplitudes relativas de las componentes de frecuencia en una señal o de eliminar algunas componentes de frecuencia.

4.2.3 FILTRO SELECTIVO DE FRECUENCIAS

Filtros selectivos en frecuencia son los sistemas que están diseñados para dejar pasar algunas frecuencias que no se encuentran distorsionadas y también para atenuar o eliminar por completo otras.

4.2.3.1 FILTRO PASA-ALTA

Un filtro pasa-alta es el que deja pasar las frecuencias altas y atenúa o elimina las bajas (ver figura 4.3)

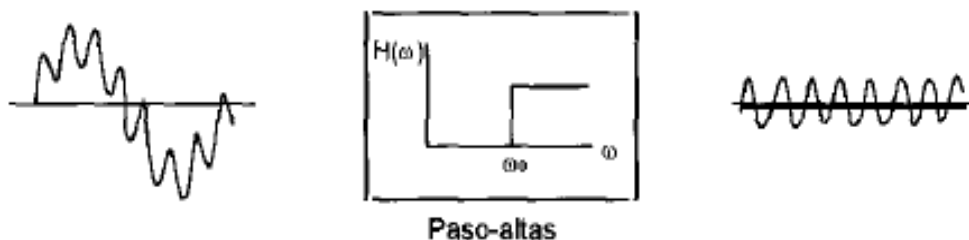


Figura 4.3 Comportamiento del filtro pasa-alta.

4.2.3.2 FILTRO PASA-BAJA

Un filtro pasa-baja es aquel que deja pasar frecuencias bajas y atenúa o elimina las frecuencias más altas (ver figura 4.4).

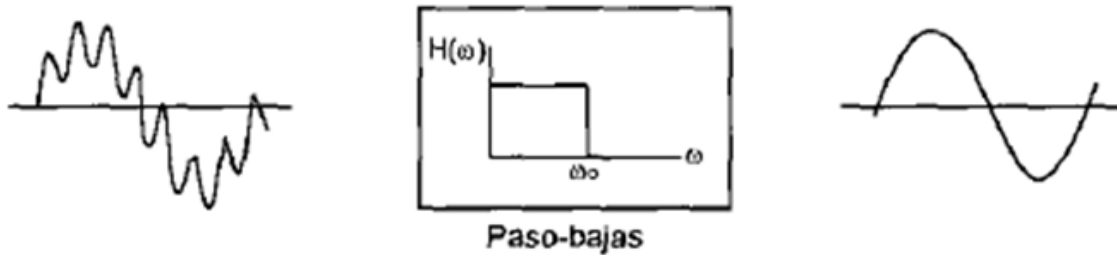


Figura 4.4 Comportamiento del filtro pasa-baja.

4.2.3.3 FILTRO PASA-BANDA

Un filtro pasa-banda es el que deja pasar una banda de frecuencias y atenúa frecuencias tanto más altas como más bajas con respecto a la banda que deja pasar (ver figura 4.5).

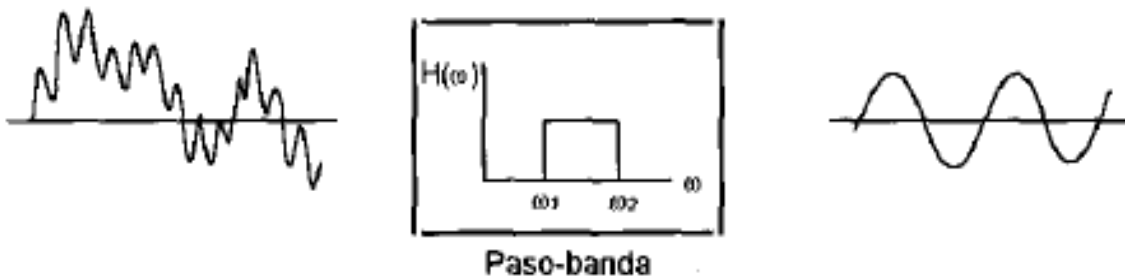


Figura 4.5 Comportamiento del filtro pasa-banda.

Para cada caso las frecuencias de corte se refieren a las que definen los límites entre las frecuencias que pasan y las que se eliminan.

En la práctica estos filtros ideales no se pueden utilizar, debido a que su función de transferencia en el tiempo es de longitud infinita, por lo que comúnmente se utilizan aproximaciones a ellos con filtros tales como: el “Box car” o “Barlett”, el “Hanning”, el “Butterworth frecuencial” o los filtros gaussianos (ver figura 4.6).

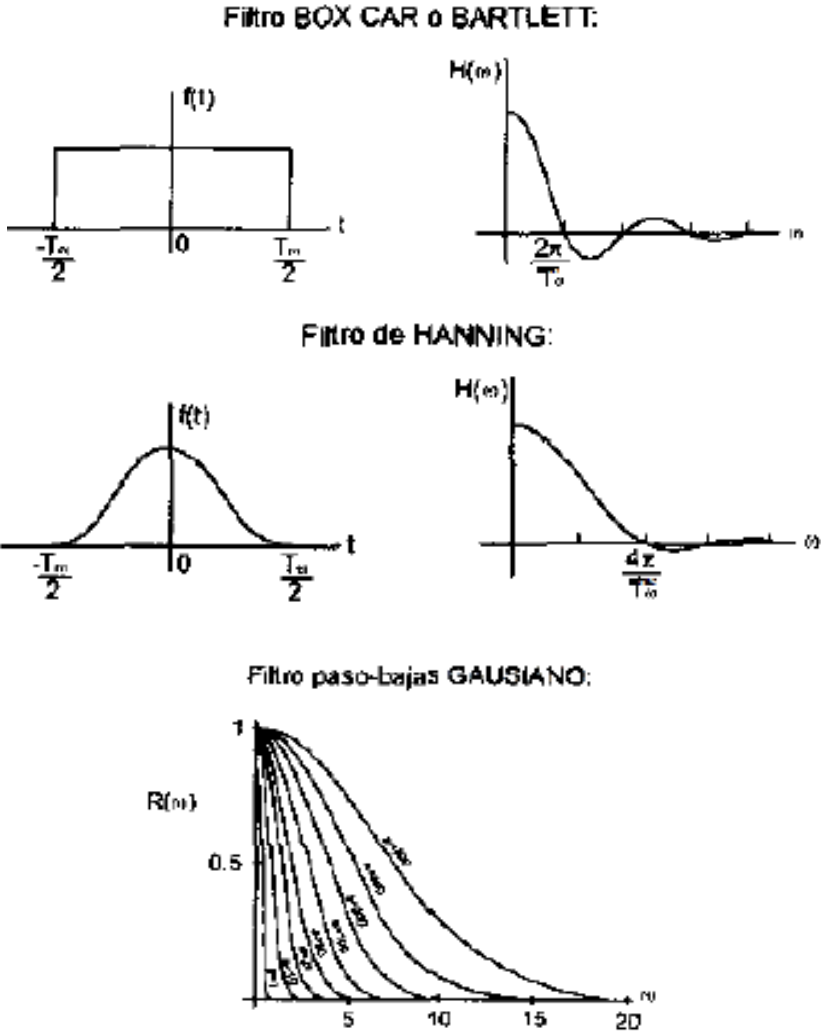


Figura 4.6 Ejemplo de algunos filtros digitales.

4.2.4 FILTRO BUTTERWORTH

En el presente trabajo se utilizó un filtro Butterworth pasa-alta de orden $N=4$. El filtrado se hace en en dominio de frecuencia.

Sea $y(t)$ la señal filtrada. Su transformada de Fourier $Y(\omega)$ está dada por:

$$Y(\omega) = X(\omega)H(\omega) \quad (4.6)$$

Donde $X(\omega)$ es la transformada de Fourier de la señal original y $H(\omega)$ representa al filtro dado por:

$$|H(f)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{F_{min}}{f}\right)^{2N}} \quad (4.7)$$

Donde:

F_{min} = frecuencia de corte

f = frecuencia en Hz

N = número de polos

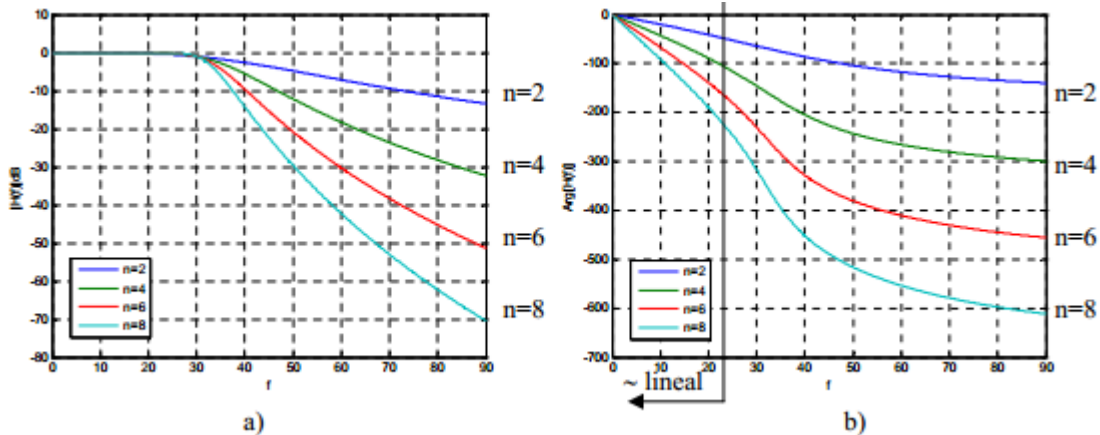


Figura 4.7 a) Módulo y b) Fase de la respuesta frecuencial en dB de filtros de Butterworth. Todos los filtros tienen $B_{3dB} = 30$ Hz y los ordenes son $n=2, 4, 6$ y 8 .

5 OBTENCIÓN DE UN ESPECTRO DE RESPUESTA

El espectro de respuesta correspondiente a un sistema estructural es un medio práctico para caracterizar los movimientos del terreno y sus efectos sobre estructuras. El espectro de respuesta proporciona un medio conveniente para resumir la respuesta máxima de todos los posibles sistemas lineales de un grado de libertad (S1GDL). También proporciona un enfoque práctico para la aplicación del conocimiento de la dinámica estructural al diseño de estructuras y al desarrollo de los requisitos de fuerza lateral en los códigos de construcción.

Una gráfica del valor máximo de una cantidad de respuesta como una función del periodo de vibración natural T_n del sistema, o de un parámetro relacionado, como la frecuencia circular ω_n o la frecuencia cíclica f_n , se denomina *espectro de respuesta* para dicha cantidad. Cada una de estas gráficas es para los sistemas de un grado de libertad (S1GDL) que tienen una fracción de amortiguamiento ξ fijo, y es necesario incluir varias de dichas gráficas para diferentes valores de ξ a fin de cubrir el intervalo de valores de amortiguamiento en las estructuras reales. Si la respuesta máxima se grafica en función de f_n , o T_n , es un asunto de preferencia personal.

Es posible definir una variedad de espectros de respuesta en función de la cantidad de respuesta que se gráfica.

El espectro de respuesta de deformación es una gráfica de u_o máxima, contra T_n , para un ξ fijo. Una gráfica similar para \dot{u}_o es el espectro de respuesta de velocidad relativa, y para \ddot{u}_o , es el espectro de respuesta de aceleración.

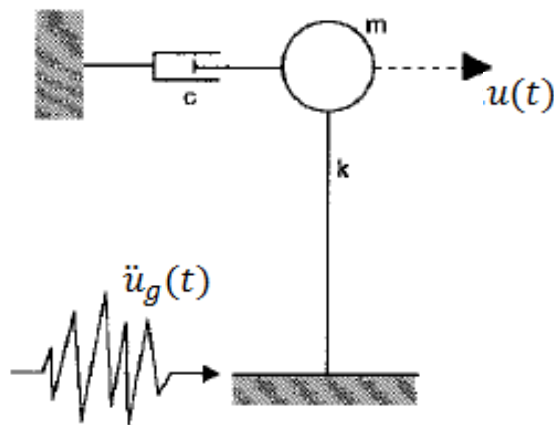


Figura 5.1 Modelo de un grado de libertad sometido a una excitación sísmica.

CONSTRUCCIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA

Para construir un espectro de respuesta se siguen los siguientes pasos:

1. Se establece un intervalo de muestreo.
2. Se selecciona un periodo natural T_n y una fracción de amortiguamiento ξ del S1GL.
3. Se realiza el proceso de la información por medio de métodos numéricos (por ejemplo con el método de las ocho constantes, integral de Duhamel, etc.) y se obtiene la respuesta de desplazamiento $u(t)$ debido a una aceleración $u_g(t)$.
4. Se determina, el valor máximo de la respuesta.
5. Las ordenadas espectrales pueden ser de desplazamiento $D = u_o$, de pseudovelocity (PSV) $PSV = \frac{2\pi}{T_n} D$, y/o de pseudoaceleración (PSA) $PSA = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right)^2 D$.
6. Los pasos 2 al 5 se repiten para un intervalo de T_n, ξ abarcando los sistemas de interés.

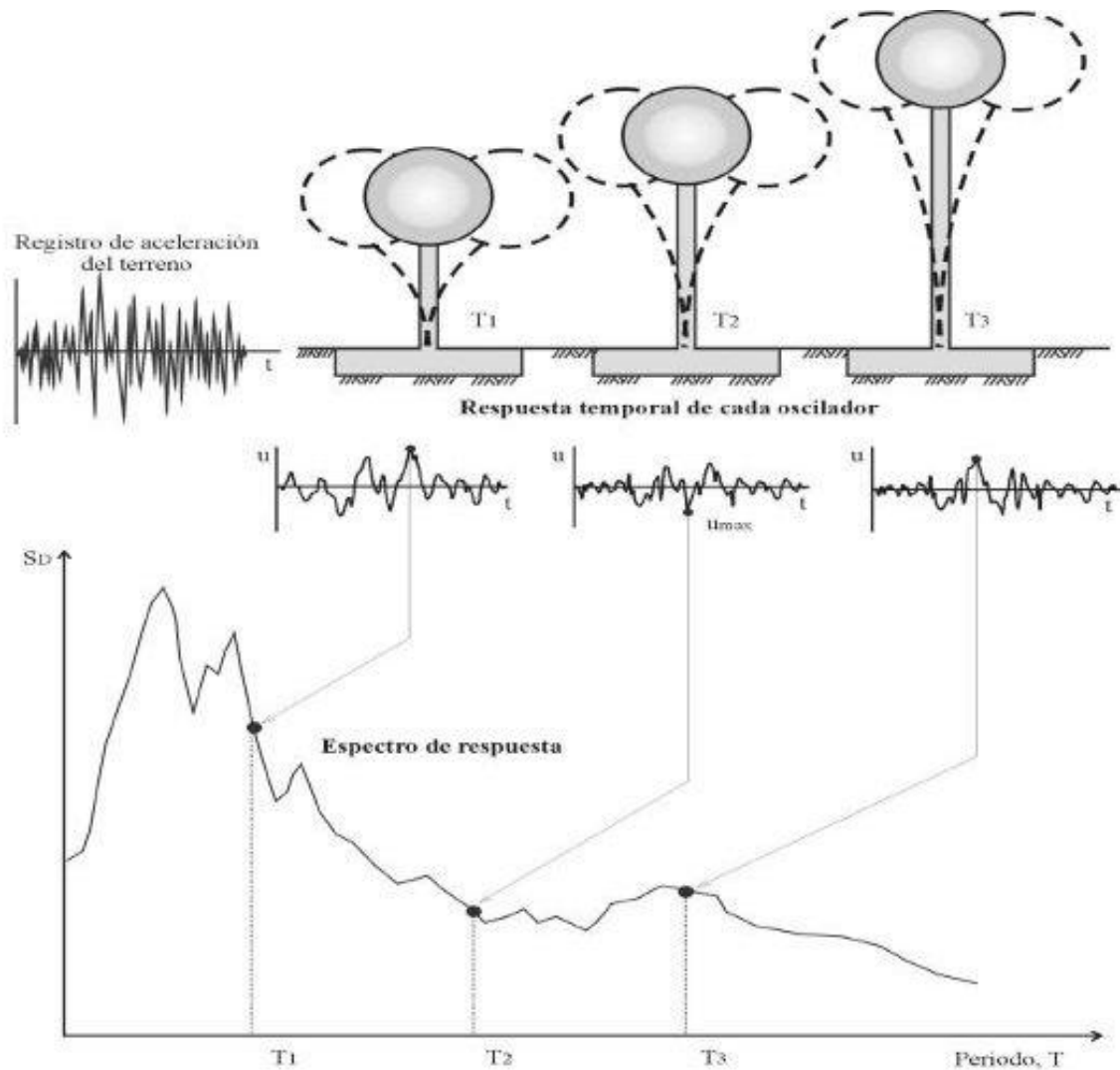


Figura 5.2 Gráfico indicativo del método de determinación del espectro de respuesta.

La realización de un espectro de respuesta requiere de la ejecución de numerosos cálculos, dado que es necesario resolver la ecuación de equilibrio dinámico para determinar la historia (variación en el tiempo) de desplazamientos, velocidad y aceleraciones para una gran cantidad de estructuras con diferentes periodos de vibración, T_n , y factores de amortiguamiento.

Espectros de respuesta elástica. Representan parámetros de respuesta máxima para un terremoto determinado y usualmente incluyen varias curvas que consideran distintos factores de amortiguamiento. Se utilizan fundamentalmente para estudiar las características del terremoto y su efecto sobre las estructuras. Las curvas de los espectros de respuesta presentan variaciones bruscas, con numerosos picos y valles, que resultan de la complejidad del registro de aceleraciones del terremoto.

Espectros de respuesta inelástica. Son similares a los anteriores pero en este caso se supone que el oscilador de un grado de libertad exhibe comportamiento no-lineal; es decir, que la estructura puede experimentar deformaciones en rango plástico por acción del terremoto. Este tipo de espectros son muy importantes en el diseño sismo-resistente, dado que por razones prácticas y económicas la mayoría de las construcciones se diseñan bajo la hipótesis que incursionarán en el campo plástico. Como ejemplo, podemos mencionar los espectros de ductilidad (la ductilidad de desplazamientos es la relación entre el desplazamiento máximo que experimenta la estructura y el desplazamiento de fluencia). Estos espectros representan la ductilidad requerida por un terremoto dado en función del periodo de vibración de la estructura y se grafican usualmente para distintos niveles de resistencia. También, se construyen espectros de aceleración, desplazamiento de fluencia o desplazamiento último de sistemas inelásticos, en donde se consideran distintos niveles de ductilidad o distintos tipos de comportamiento histerético de la estructura.

Espectros de diseño. Las construcciones no pueden diseñarse para resistir un terremoto en particular en un sitio dado, puesto que el próximo terremoto probablemente presentará características diferentes. Por lo tanto, los espectros de respuesta elástica o inelástica, descritos previamente, no pueden utilizarse para el diseño sismo-resistente. Por esta razón, se elaboran espectros de diseño, con bases probabilísticas.

5.1 ESPECTRO DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN Y DE VELOCIDAD

Existe poca motivación para estudiar estos espectros “verdaderos” de aceleración o velocidad debido a que no son necesarios para determinar las deformaciones y las fuerzas máximas en un sistema; para este fin basta con el espectro de respuesta de pseudo-aceleración o pseudo-velocidad. En lo que sigue se incluye un breve análisis de estos espectros “verdaderos” debido a que se utilizan en esta tesis.

La respuesta de deformación de un sistema lineal de 1GDL a un movimiento arbitrario del terreno con condiciones iniciales nulas está dada por la integral de convolución, ecuación $u(t) = \int_0^t p(\tau)h(t - \tau)d\tau$ adaptada para la excitación sísmica $\ddot{u}_g(\tau)$:

$$u(t) = \int_0^t \ddot{u}_g(\tau)h(t - \tau)d\tau \quad (5.1)$$

Donde la función de respuesta al impulso unitario, $h(t - \tau)$ está dada por la ecuación $h(t - \tau) = -\frac{1}{\omega_D}e^{-\xi\omega_n(t-\tau)}\text{sen}[\omega_D(t - \tau)]$, $t \geq \tau$ por lo tanto, el desplazamiento está dado por:

$$u(t) = -\frac{1}{\omega_D} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau)e^{-\xi\omega_n(t-\tau)}\text{sen}[\omega_D(t - \tau)]d\tau \quad (5.2)$$

Si se usan los teoremas de cálculo para diferenciar bajo la integral se llega a que la velocidad $\dot{u}(t)$ está dada por:

$$\dot{u}(t) = -\xi\omega_n(t) - \int_0^t \ddot{u}_g(\tau)e^{-\xi(t-\tau)}\text{cos}[\omega_D(t - \tau)]d\tau \quad (5.3)$$

Es posible obtener una ecuación para la aceleración $u^t(t)$ de la masa al diferenciar la ecuación $\dot{u}(t) = -\xi\omega_n(t) - \int_0^t \ddot{u}_g(\tau)e^{-\xi\omega_n(t-\tau)}\text{cos}[\omega_D(t - \tau)]d\tau$ y sumarle la aceleración del terreno $\ddot{u}_g(t)$. Sin embargo, la ecuación siguiente de movimiento para el sistema proporciona una alternativa más conveniente:

$$\ddot{u}^t(t) = -\omega_n^2 u(t) - 2\xi\omega_n\dot{u}(t) \quad (5.4)$$

El espectro de velocidad relativa y el espectro de aceleración son gráficas de los valores máximos de $\dot{u}(t)$ y $\ddot{u}^t(t)$, respectivamente, como funciones de T_n .

5.2 ESPECTRO DE PSEUDOACELERACIÓN

El espectro de respuesta de pseudo-aceleración (PSA) es una gráfica en función del periodo de vibración natural T_n , o de la frecuencia de vibración natural f_n , del sistema. PSA se define como sigue:

$$PSA = \omega_n^2 D = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right)^2 D \quad (5.5)$$

Donde D es el valor máximo del desplazamiento.

5.3 ESPECTRO DE PSEUDOVELOCIDAD

Considere una cantidad PSV para un sistema de 1GDL con una frecuencia natural ω_n , relacionada con su deformación máxima $D=u_o$ debida a un movimiento sísmico del terreno: PSV se define como sigue:

$$PSV = \omega_n D = \frac{2\pi}{T_n} D \quad (5.6)$$

El espectro de respuesta de pseudo-velocidad PSV es una gráfica en función del periodo de vibración natural T_n , o de la frecuencia de vibración natural f_n , del sistema.

6 COMPARACIÓN DE ESPECTROS DE PSEUDOACELERACIÓN Y ACELERACIÓN PARA DISTINTAS ZONAS SÍSMICAS DEL VALLE DE MÉXICO.

El cálculo de PSA y SA se realizó mediante el programa de cómputo SEISMO SIGNAL (versión 5.1, 2014).

En las figuras 6.1, 6.3, 6.5, 6.7, 6.9, 6.11 y 6.13 se presentan los espectros de respuesta de aceleración de cada zona normalizados con respecto a la aceleración del suelo SA_0 . De acuerdo con estas gráficas, se puede verificar los periodos dominantes (T_s) del suelo para cada zona, como se muestra en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Zonas del valle de México utilizadas en esta tesis

Zona	Periodo, T_s (s)
A	$T_s \leq 0.5$
B	$0.5 < T_s \leq 1.0$
C	$1.0 < T_s \leq 1.5$
D	$1.5 < T_s \leq 2.0$
E	$2.0 < T_s \leq 2.5$
F	$2.5 < T_s \leq 3.0$
G	$3.0 < T_s \leq 4.0$

Por otro lado las figuras 6.2, 6.4, 6.6, 6.8, 6.10, 6.12 y 6.14 muestran la relación SA/PSA para cada una de las zonas, de acuerdo al porcentaje de amortiguamiento (ξ) analizado. Las líneas intermitentes se refieren al comportamiento obtenido de los datos de los registros sin ajustar, las líneas continuas representan el comportamiento de la relación de acuerdo al ajuste realizado (lo cual se explica con detalle en el Apéndice A). En estas figuras también se ilustra la expresión obtenida a partir de dicho ajuste.

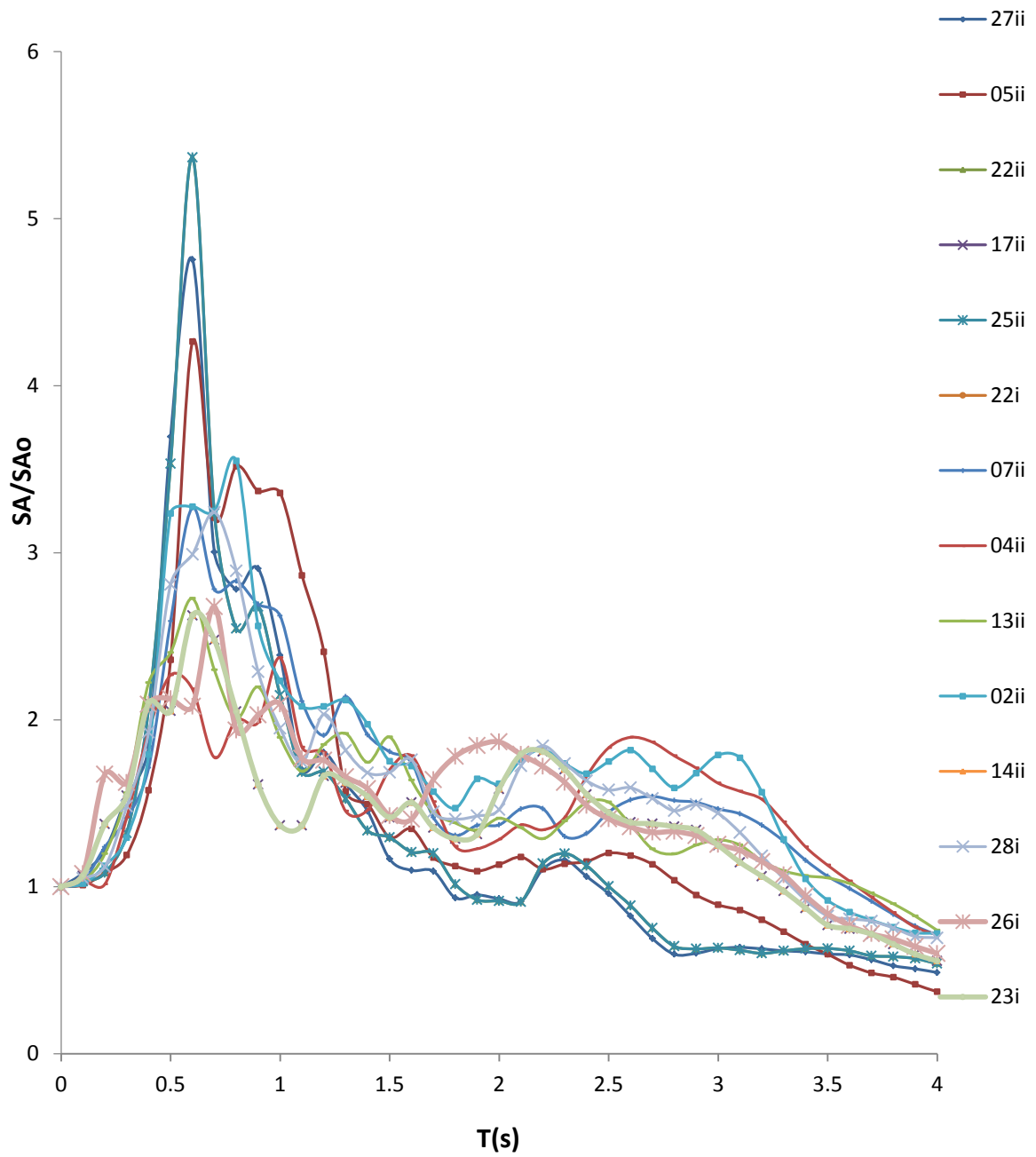


Figura 6.1 Espectro de respuesta de aceleración. Zona A.

$$\frac{SA}{PSA} = -0.00013\xi T^2 + 0.0001\xi^2 T + 1 \quad (6.1)$$

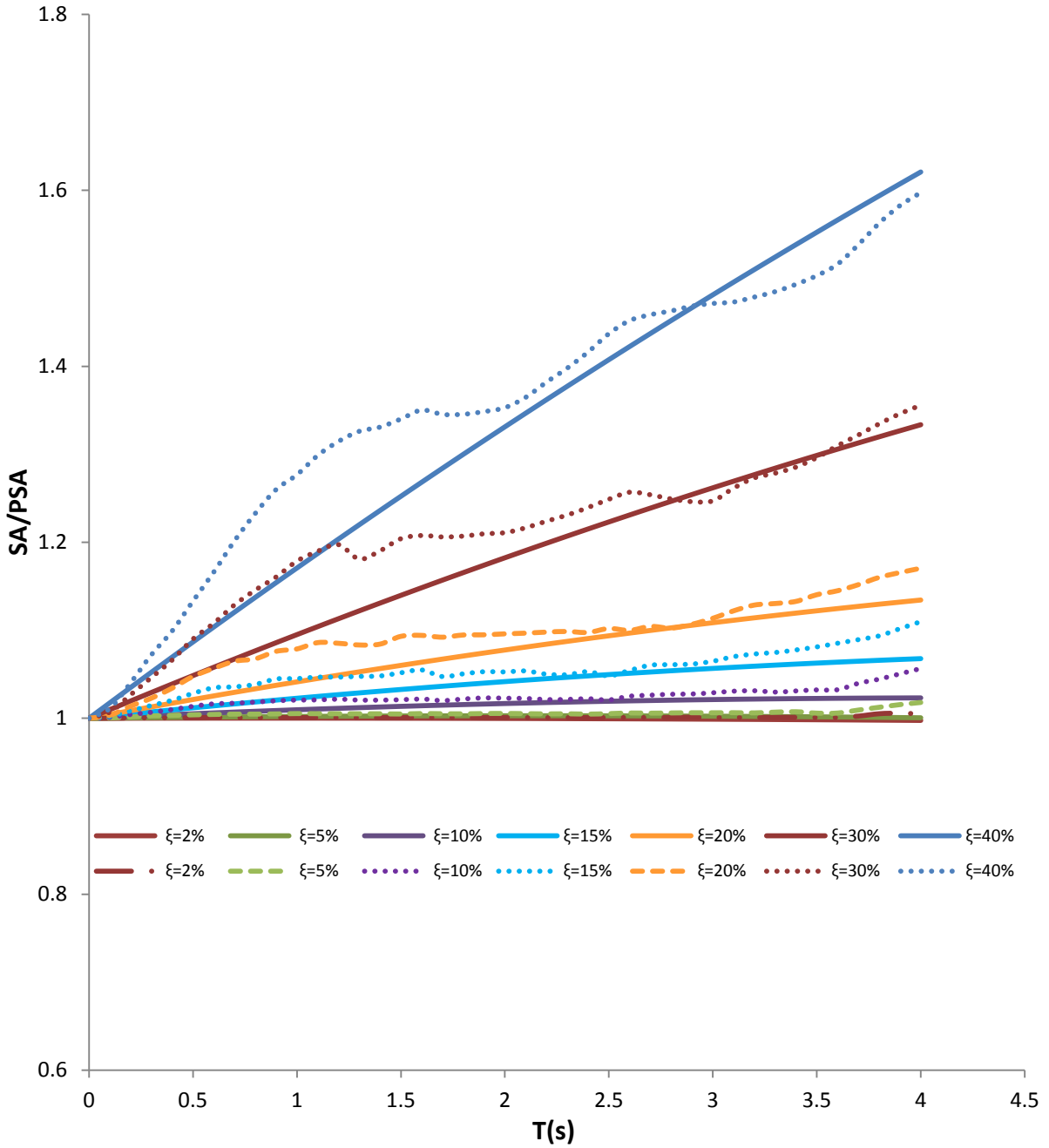


Figura 6.2 Relación SA/PSA. Zona A.

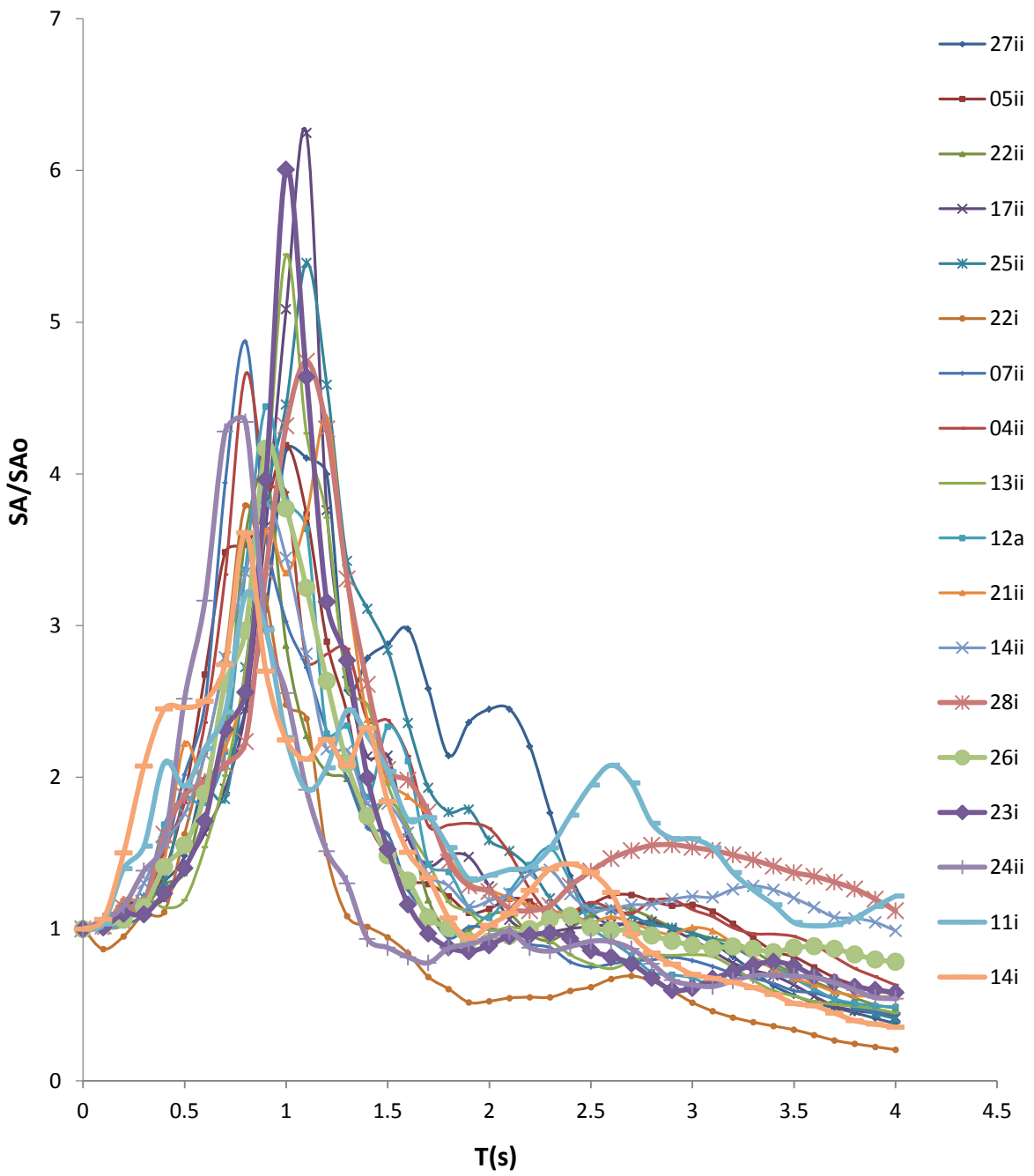


Figura 6.3 Espectro de respuesta de aceleración. Zona B.

$$\frac{SA}{PSA} = -0.00028\xi T^2 + 0.00015\xi^2 T + 1 \quad (6.2)$$

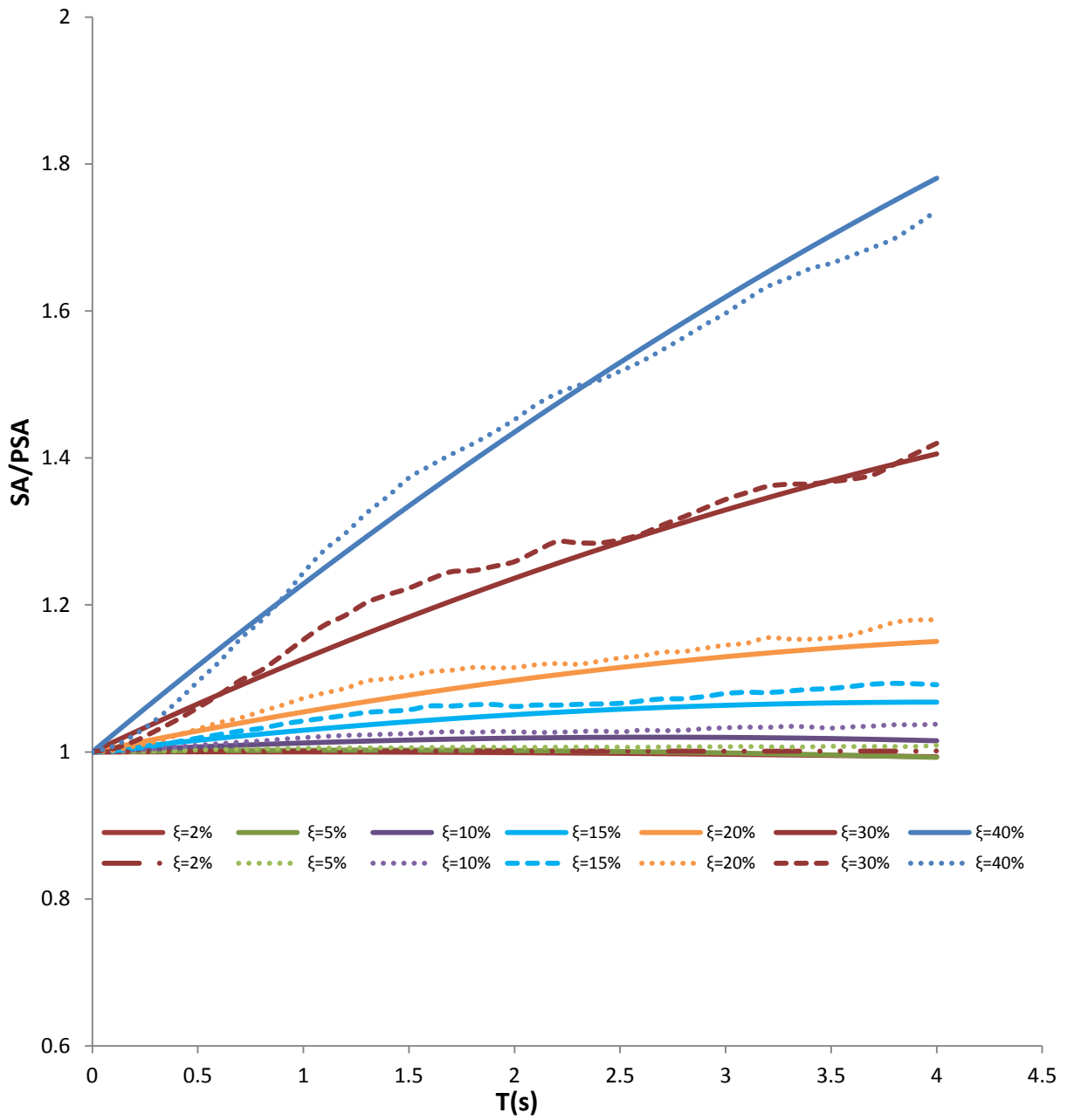


Figura 6.4 Relación SA/PSA. Zona B.

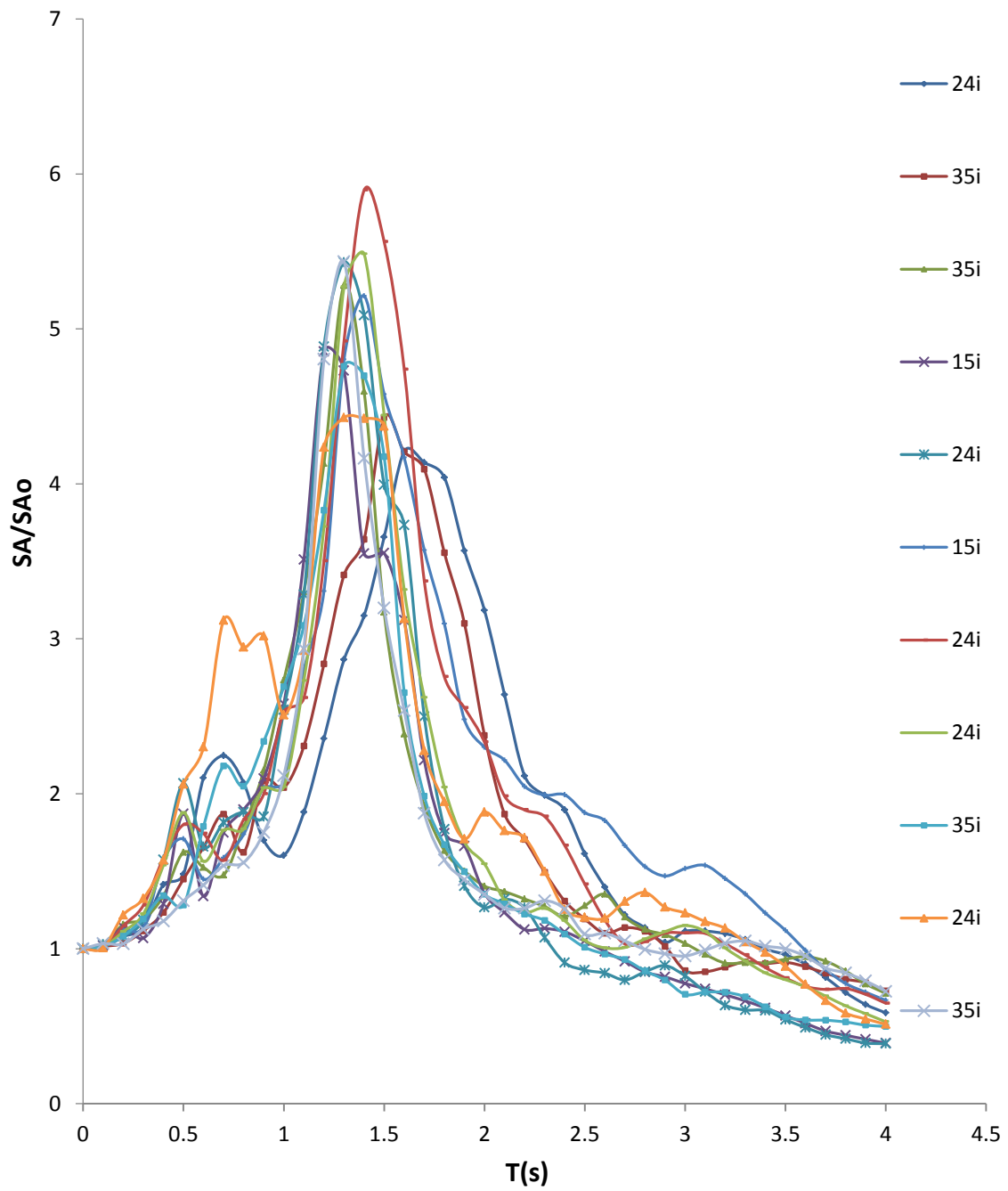


Figura 6.5 Espectro de respuesta de aceleración. Zona C.

$$\frac{SA}{PSA} = 0.0002\xi T^2 + 0.0001\xi^2 T + 1 \quad (6.3)$$

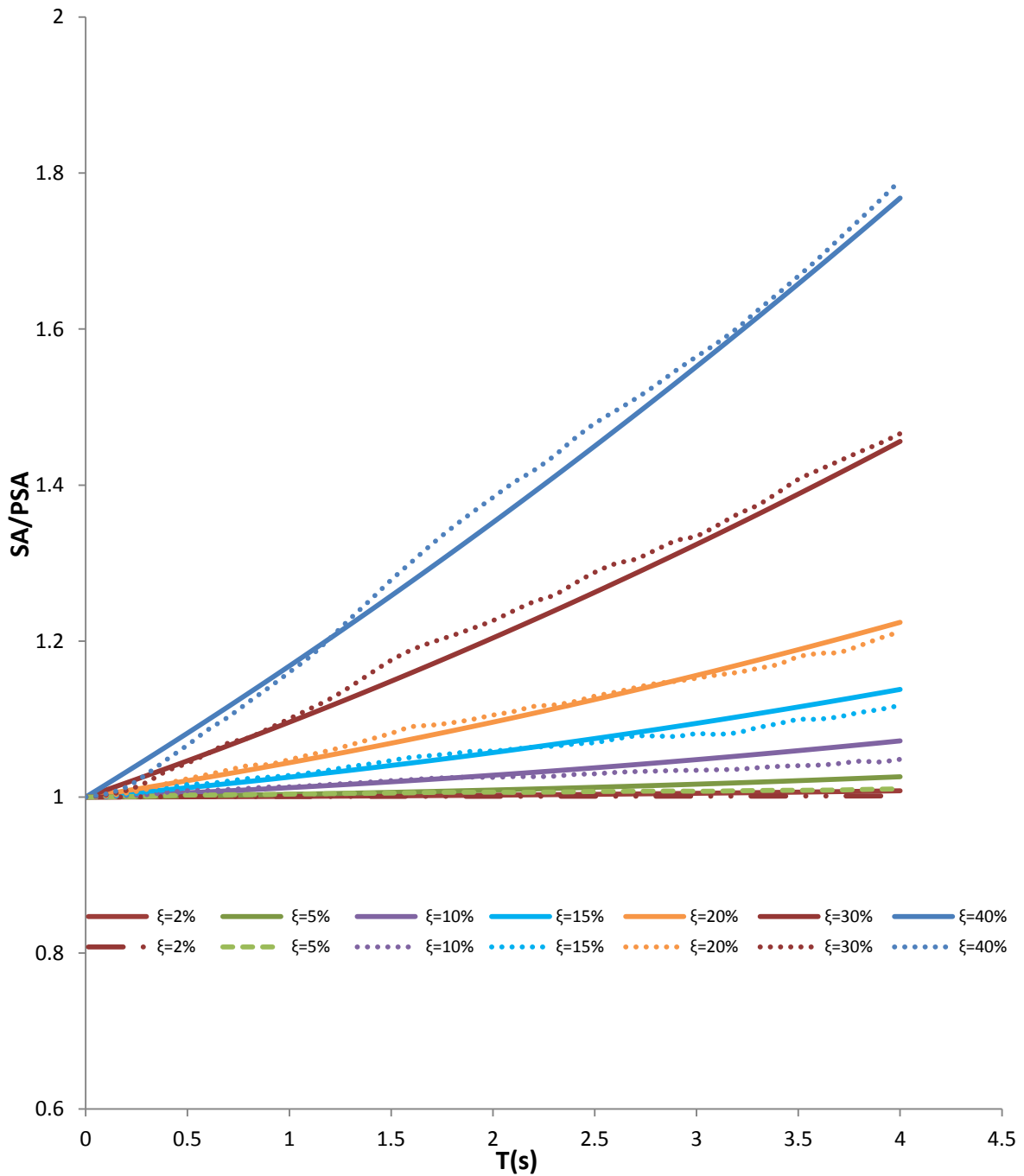


Figura 6.6 Relación SA/PSA. Zona C.

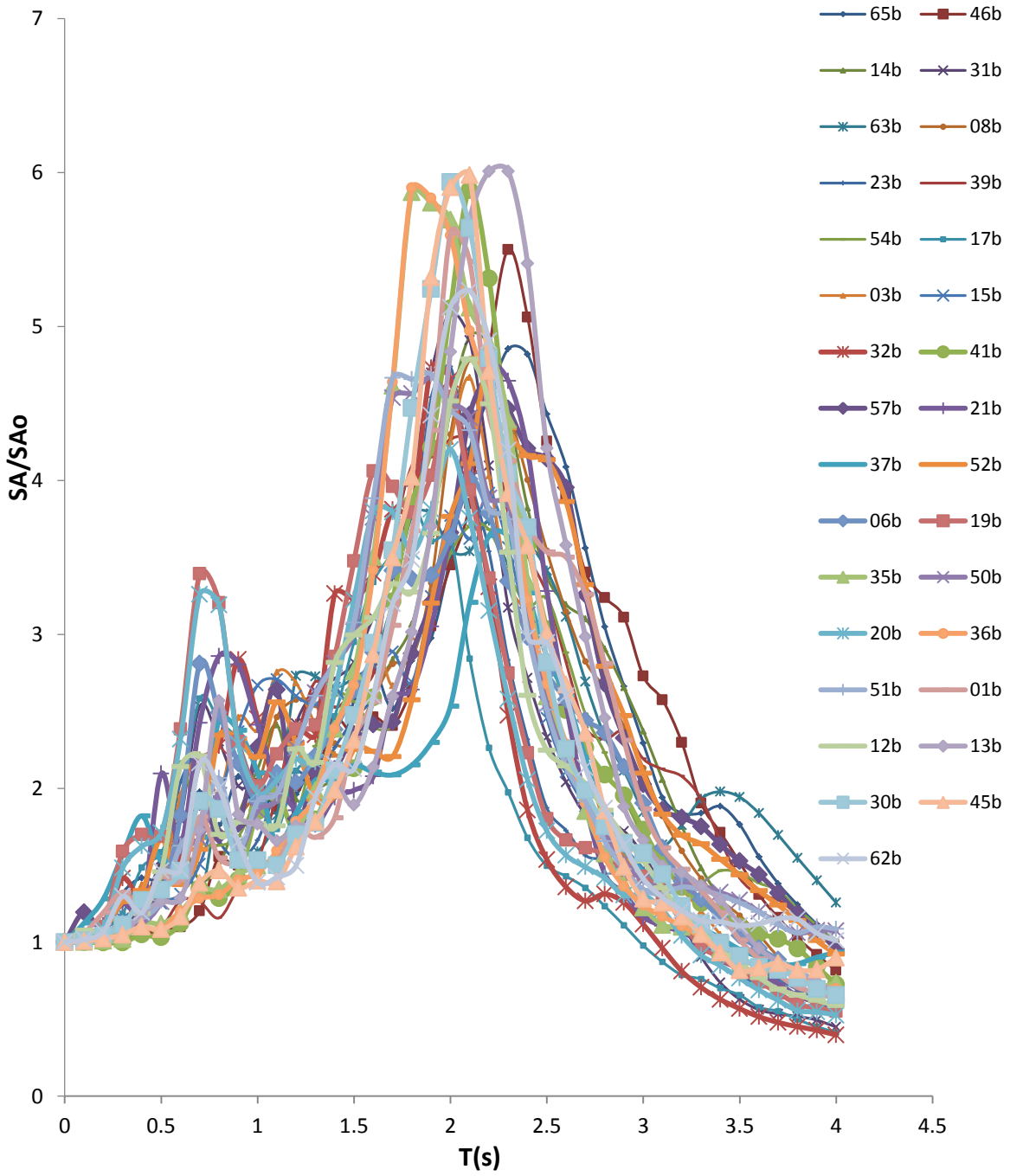


Figura 6.7 Espectro de respuesta de aceleración. Zona D.

$$\frac{SA}{PSA} = 0.00006\xi T^2 + 0.0001\xi^2 T + 1 \quad (6.4)$$

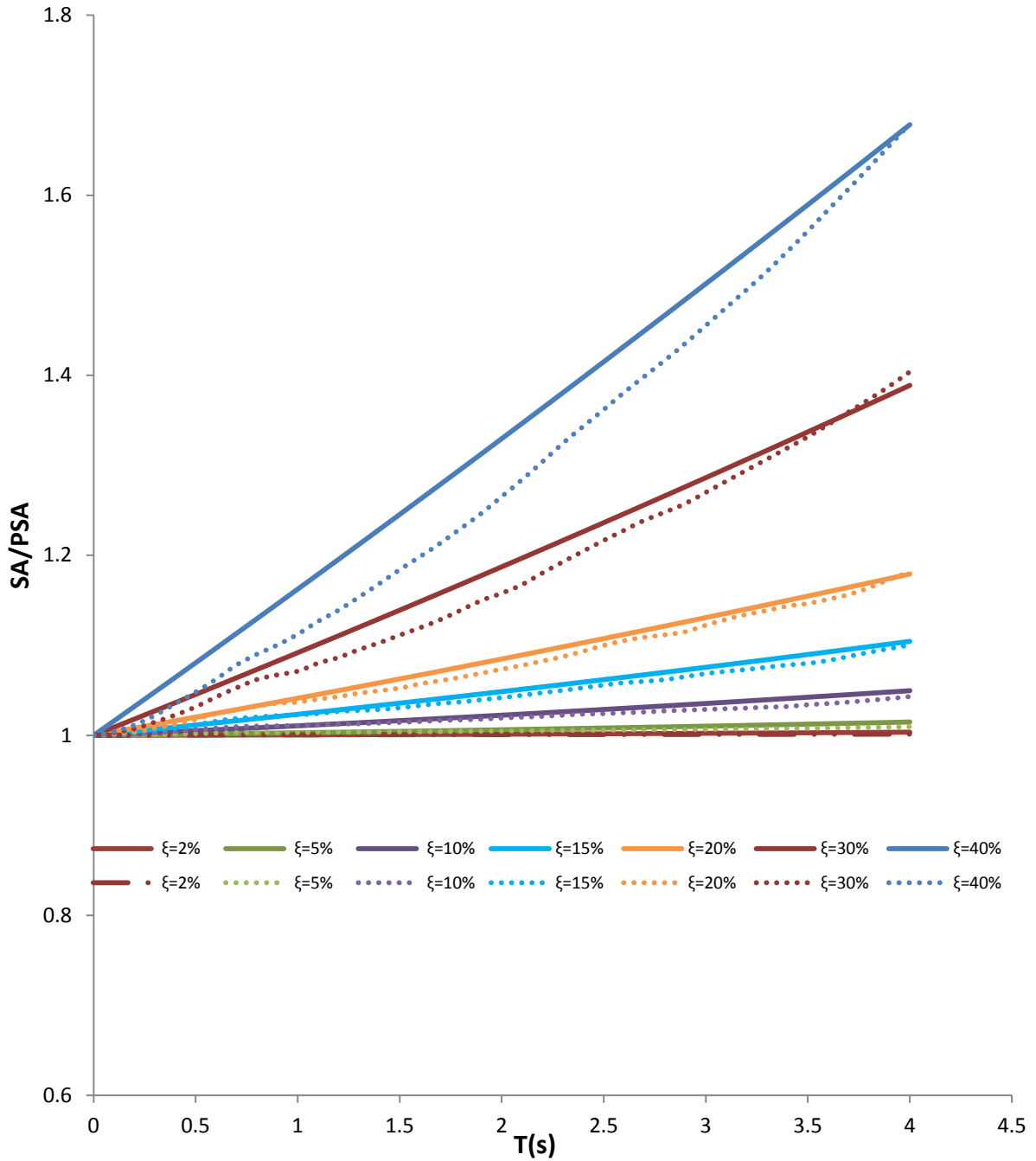


Figura 6.8 Relación SA/PSA. Zona D.

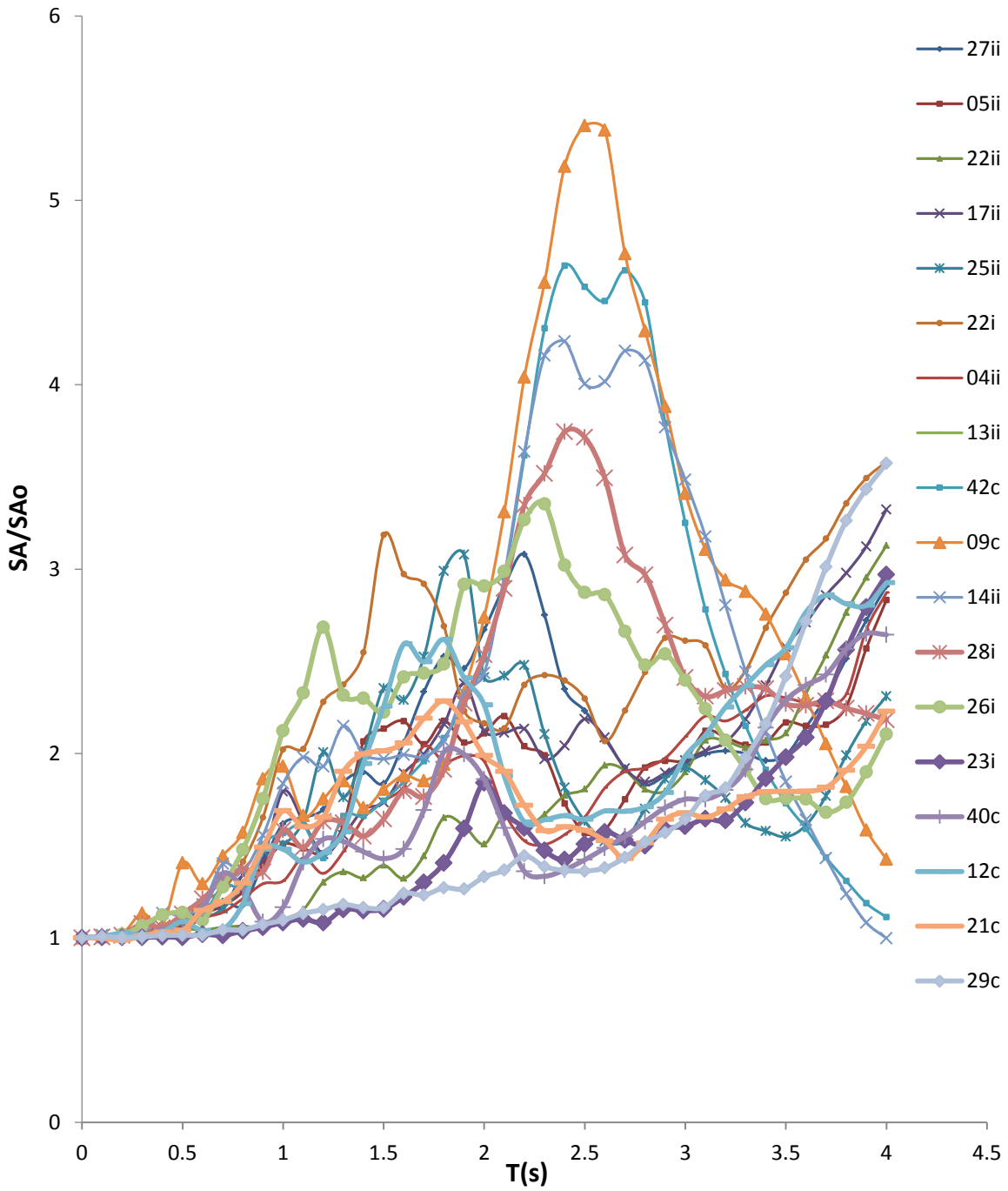


Figura 6.9 Espectro de respuesta de aceleración. Zona E.

$$\frac{SA}{PSA} = 0.00006\xi T^2 + 0.00003\xi^2 T + 1 \quad (6.5)$$

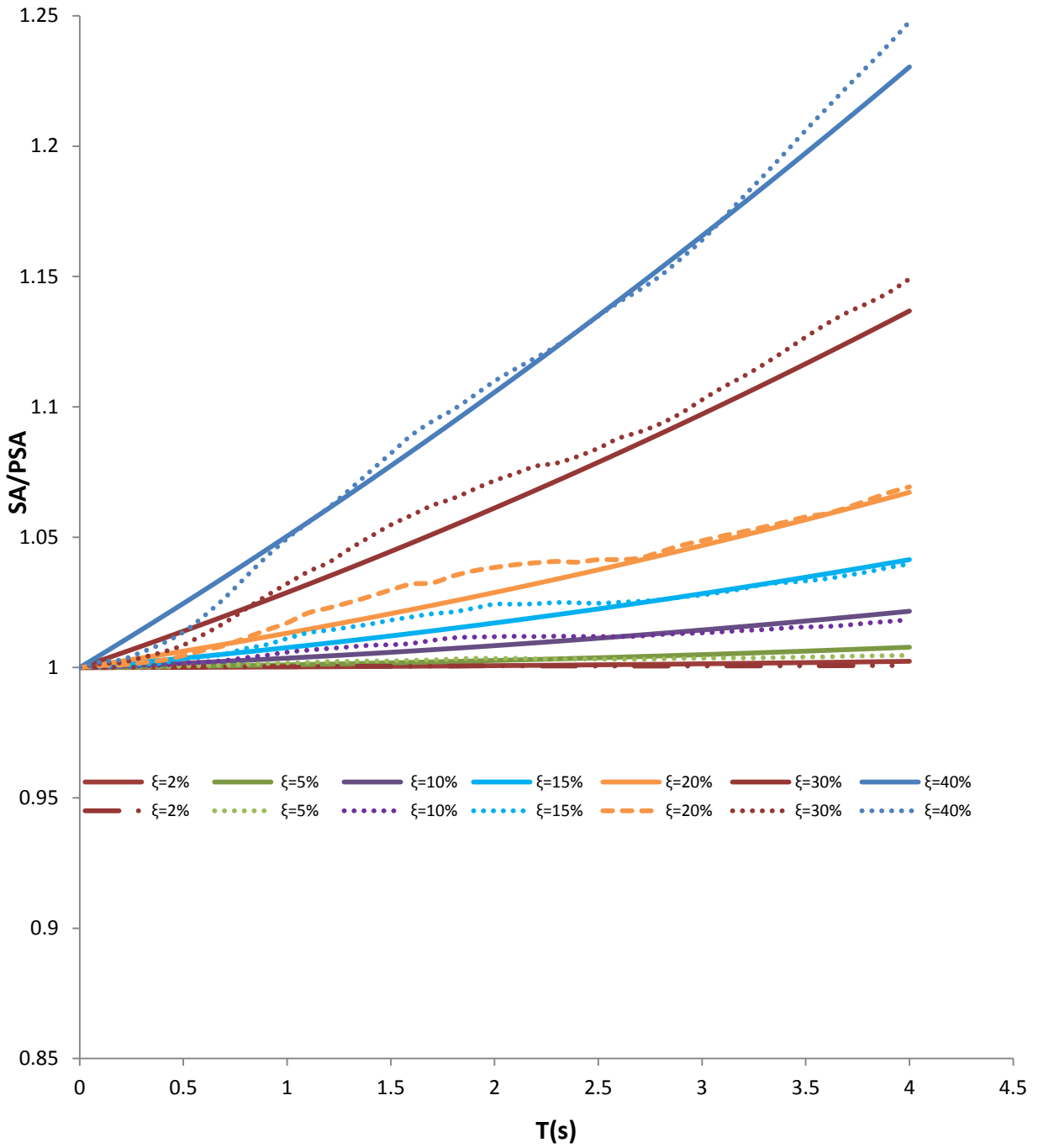


Figura 6.10 Relación SA/PSA. Zona E.

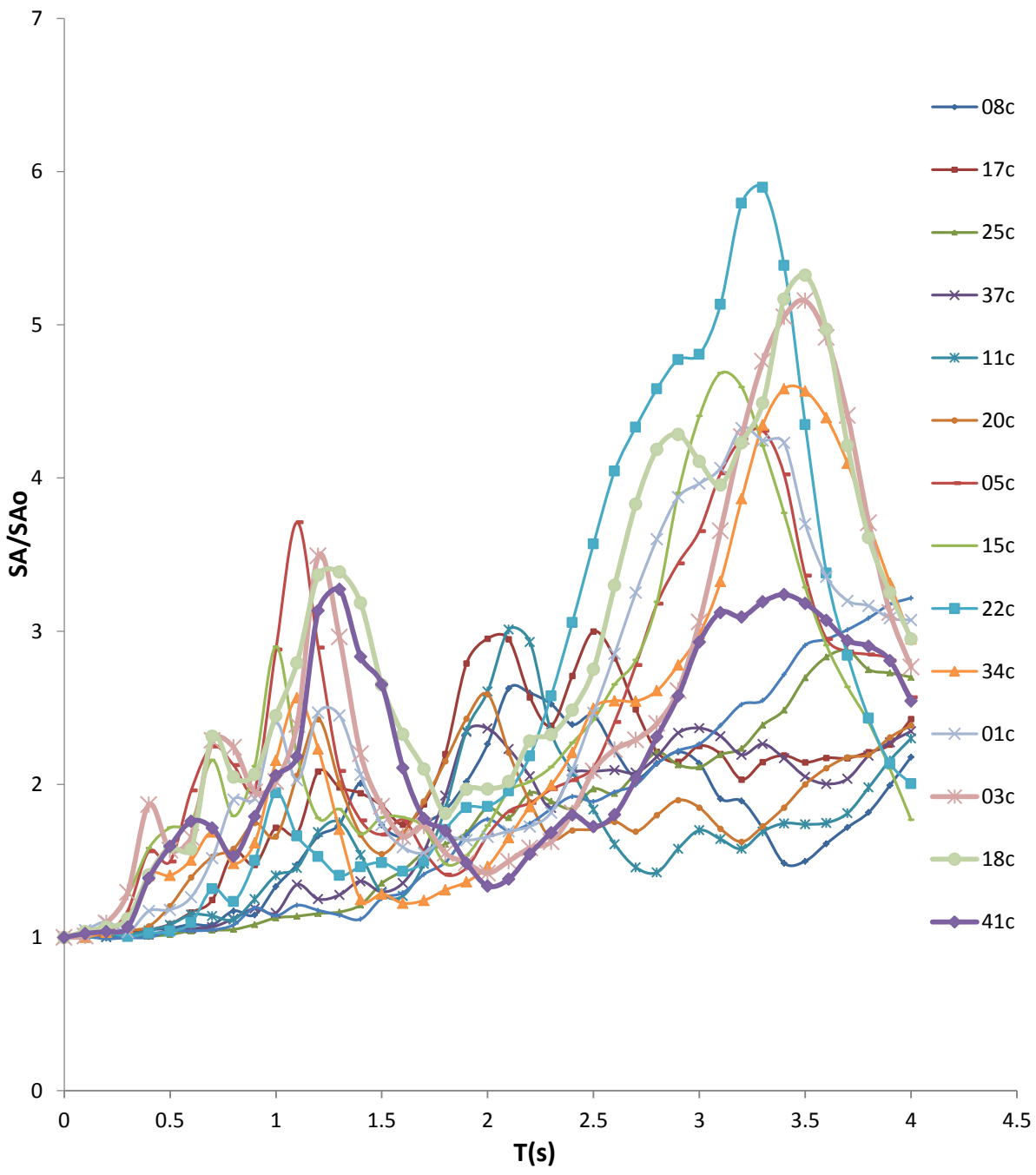


Figura 6.11 Espectro de respuesta de aceleración. Zona F.

$$\frac{SA}{PSA} = 0.000015\xi T^2 + 0.000028\xi^2 T + 1 \quad (6.6)$$

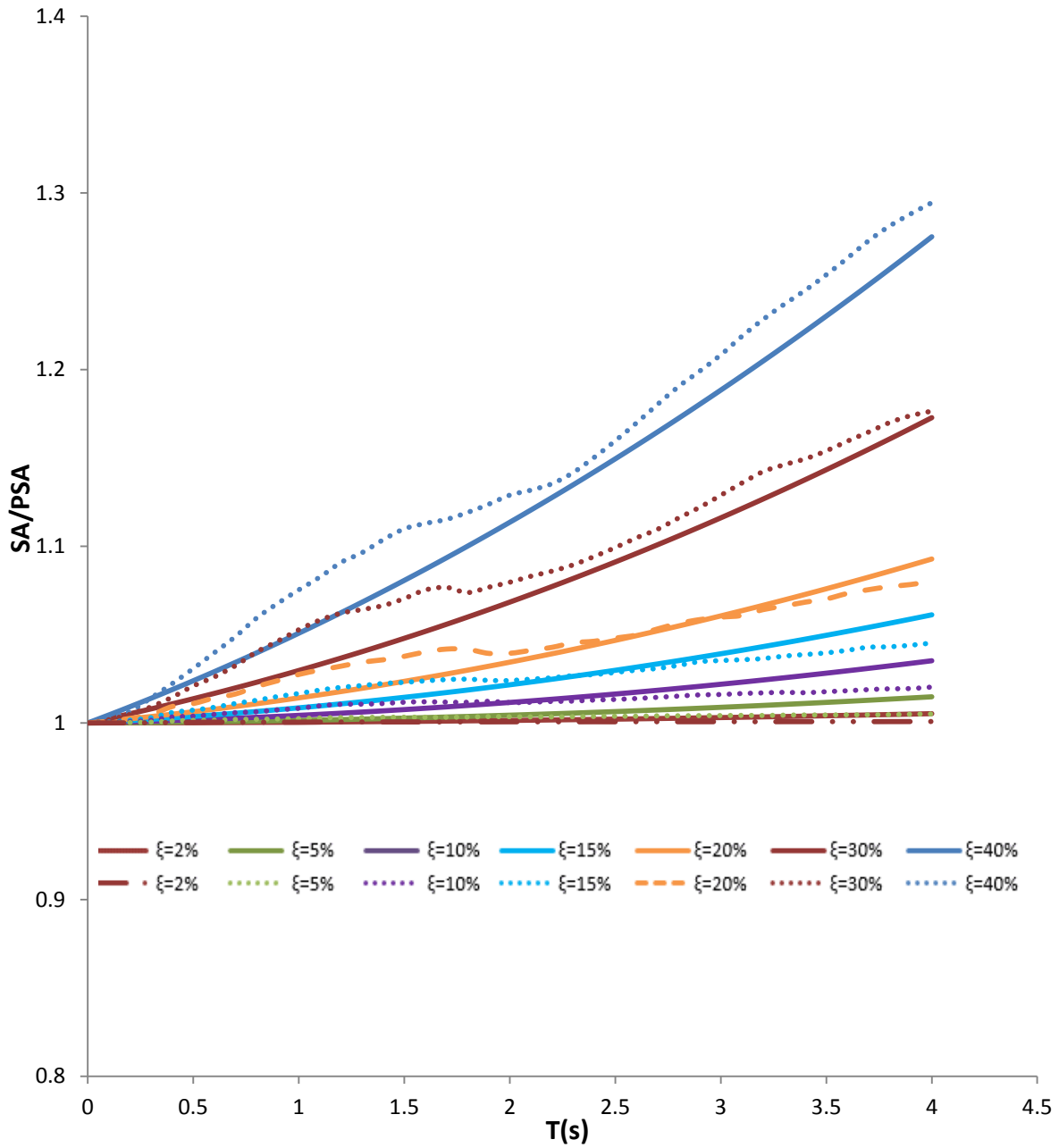


Figura 6.12 Relación SA/PSA. Zona F.

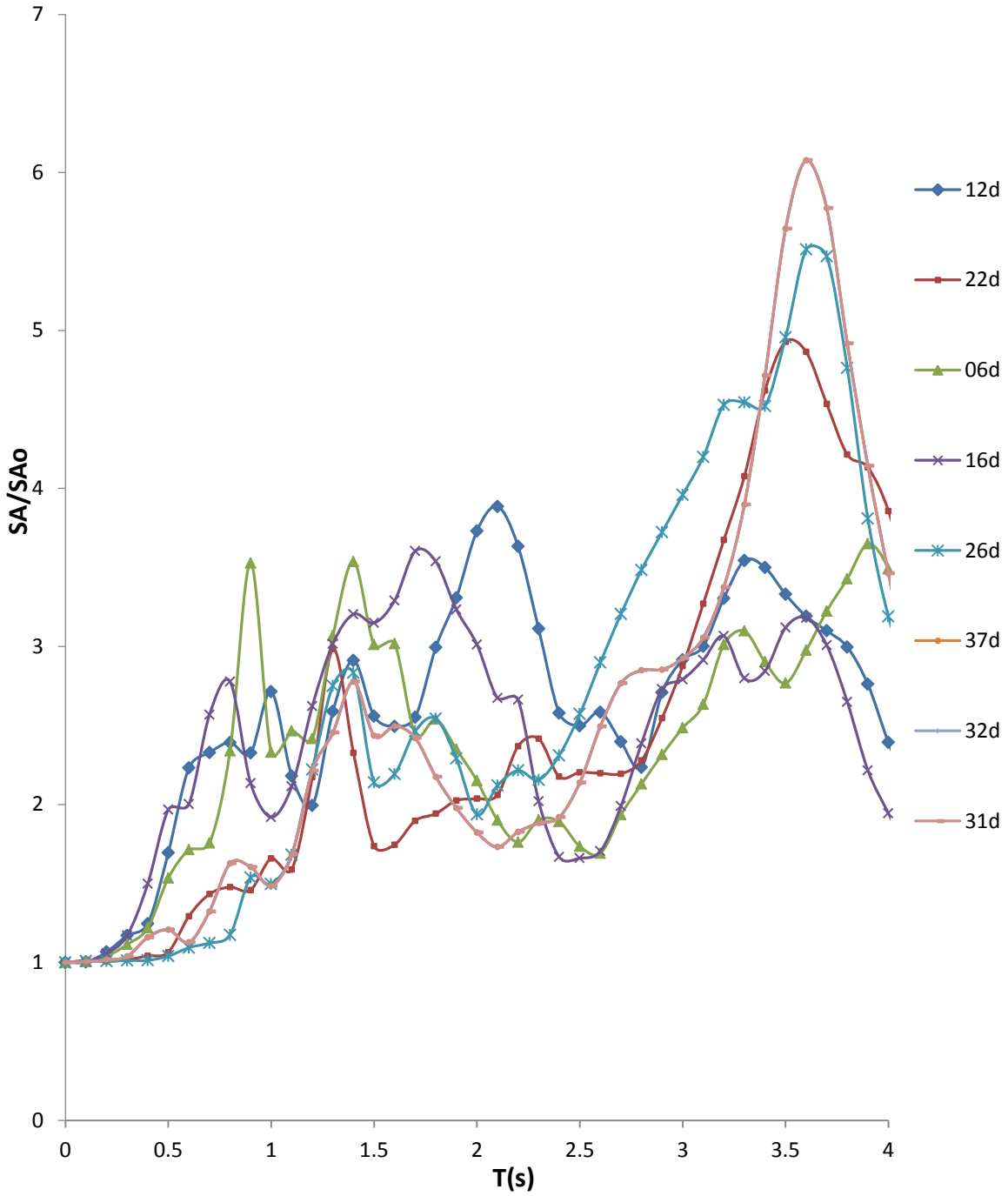


Figura 6.13 Espectro de respuesta de aceleración. Zona G.

$$\frac{SA}{PSA} = 0.0001\xi T^2 + 0.00005\xi^2 T + 1 \quad (6.7)$$

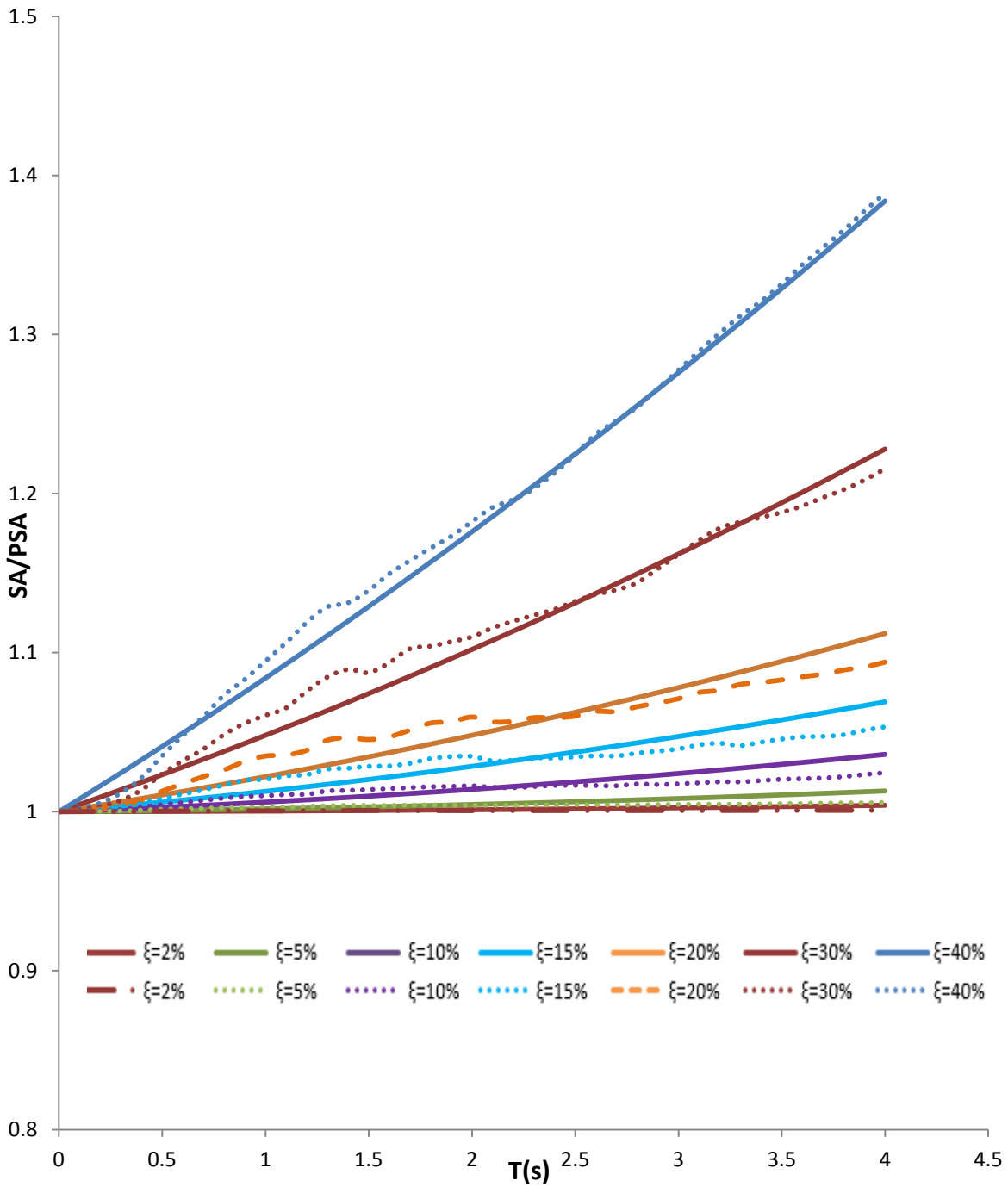


Figura 6.14 Relación SA/PSA. Zona G.

En la figura 6.15 se presenta el conjunto total de espectros de respuesta de aceleración para todas las zonas sísmicas del valle de México.

La figura 6.16 presenta la relación SA/PSA de todas las zonas sísmicas del valle de México. En esta también se muestra la expresión a la que se llegó después del ajuste que se detalla en el Apéndice A.

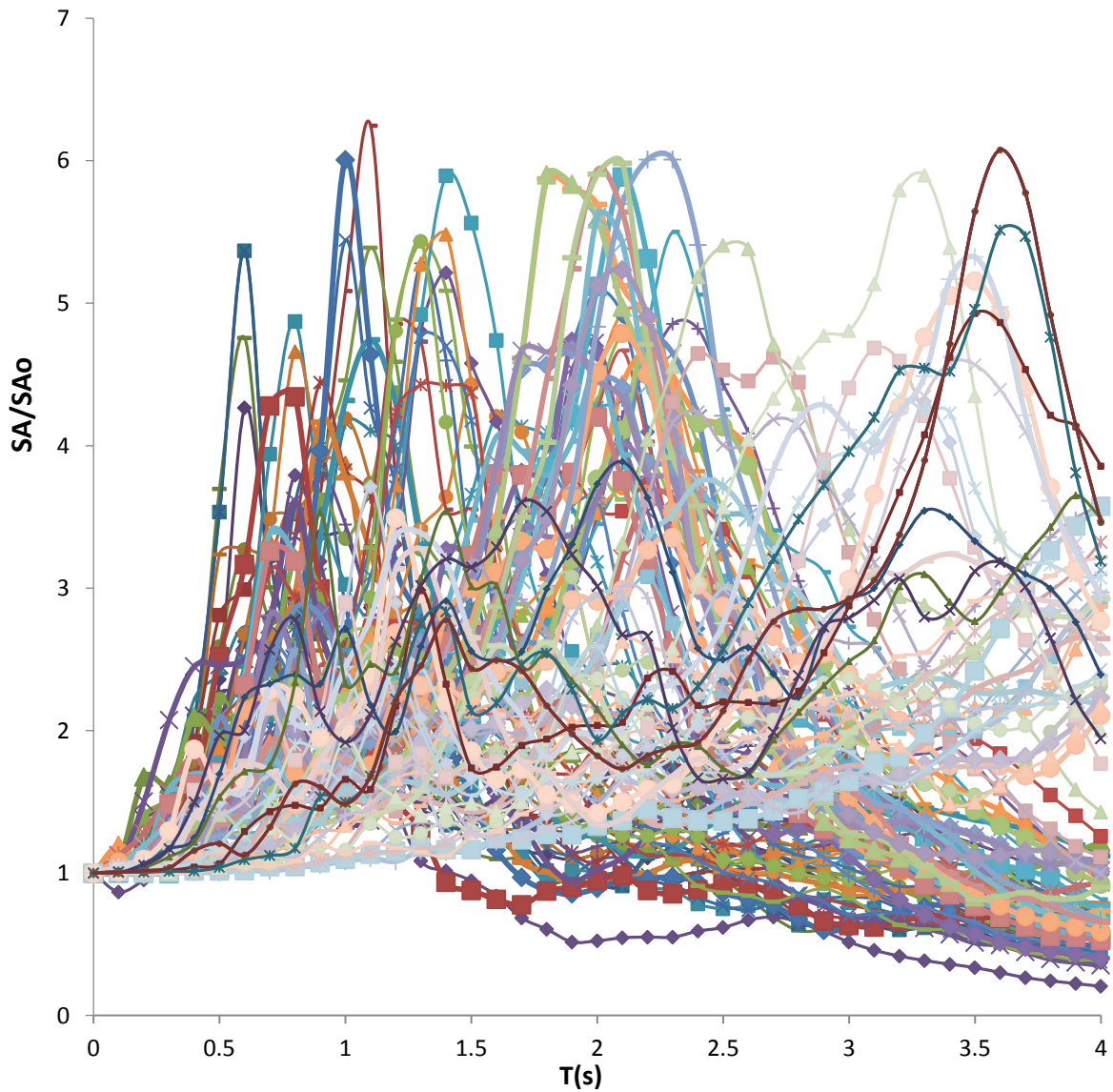


Figura 6.15 Espectros de respuesta de aceleración de todas las zonas sísmicas del valle de México.

$$\frac{SA}{PSA} = [(-0.000011T^2 + 0.0003T - 0.0003)\xi]T^2 + (0.0001\xi^2)T + 1 \quad (6.8)$$

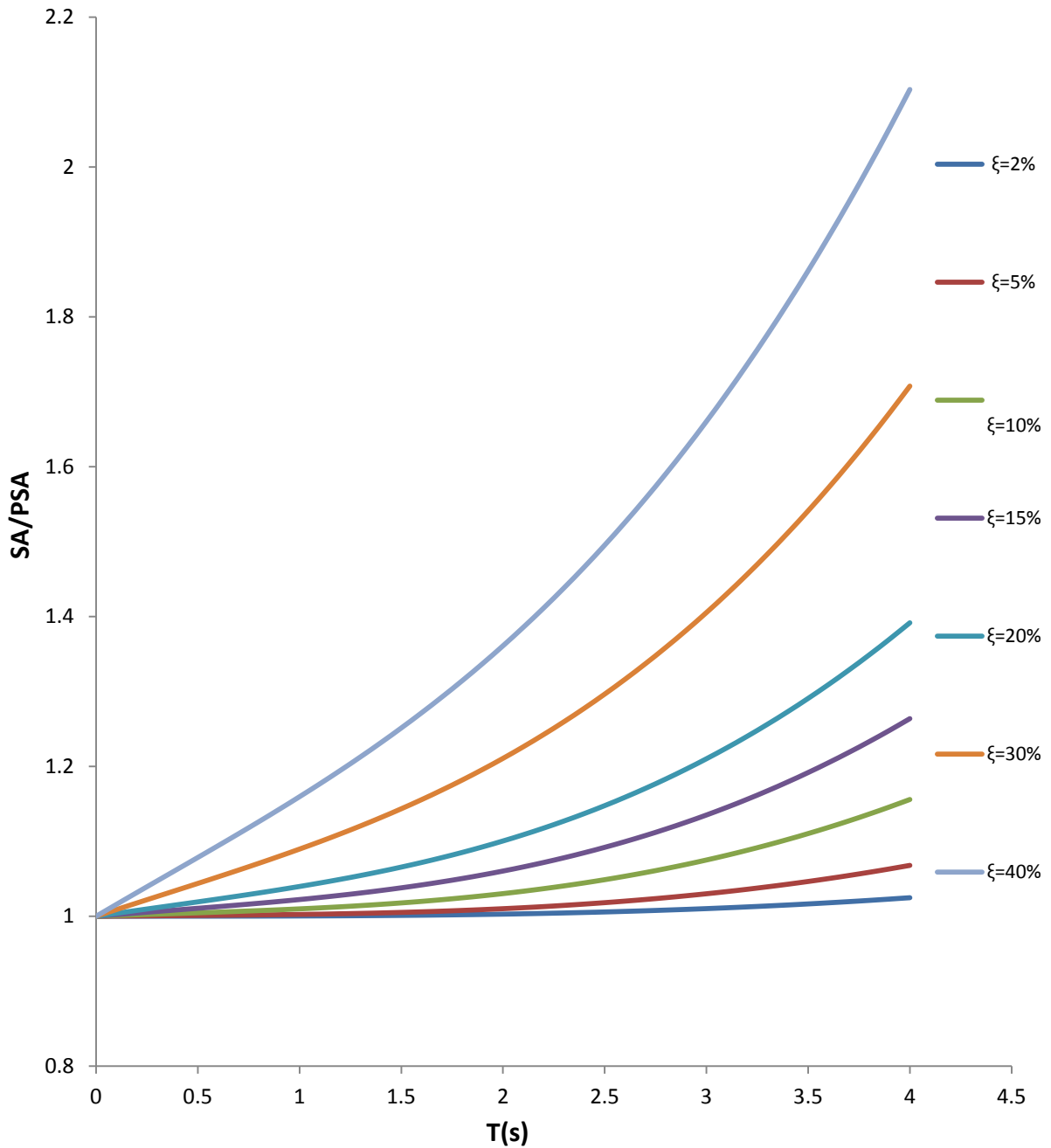


Figura 6.16 Relación SA/PSA para todas las zonas sísmicas del valle de México.

La figura 6.17 presenta la comparación entre los ajustes hechos a partir del trabajo de Sadek et al. (2000) con la expresión general que se desarrolló en este trabajo para el valle de México. Las líneas intermitentes se refieren a los valores encontrados con la expresión de Sadek et al. (2000), y las líneas continuas pertenecen a los valores encontrados en este trabajo.

Expresión encontrada en este estudio:

$$\frac{SA}{PSA} = [(-0.000011T^2 + 0.0003T - 0.00003)\xi]T^2 + (0.0001\xi^2)T + 1 \quad (6.9)$$

Expresión propuesta por Sadek et al. (2000):

$$\frac{SA}{PSA} = [1 + 2.54\xi^2T^{(0.628+0.205\xi)}] \quad (6.10)$$

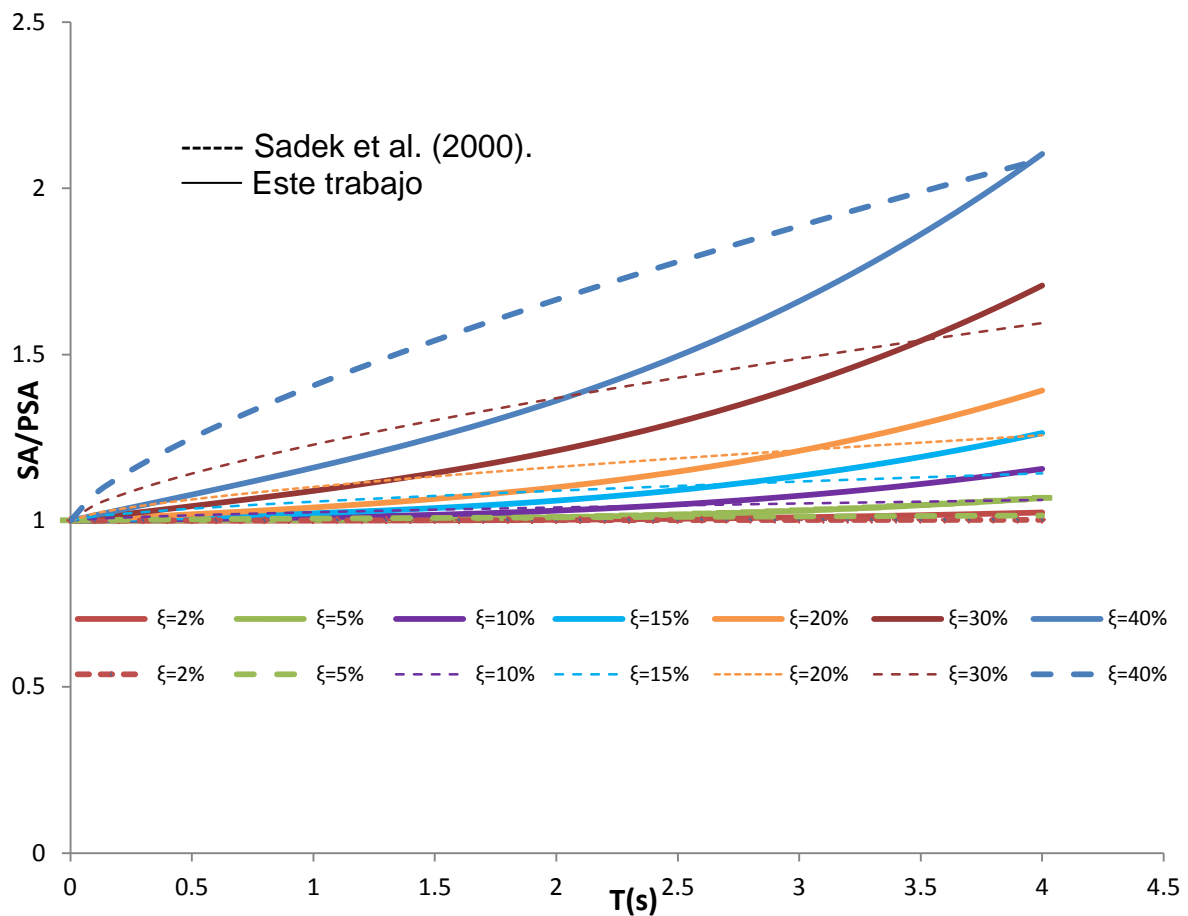


Figura 6.17 Relación SA/PSA para las zonas sísmicas del valle de México encontrada en este trabajo y relación SA/PSA propuesta por Sadek et al. (2000).

En la figura 6.18 se compara el trabajo de Sadek et al. (2000) con la expresión para la zona sísmica B del valle de México.

Expresión encontrada en este estudio correspondiente a la zona B:

$$\frac{SA}{PSA} = -0.00028\xi T^2 + 0.00015\xi^2 T + 1 \quad (6.11)$$

Expresión de Sadek et al. (2000):

$$\frac{SA}{PSA} = [1 + 2.54\xi^2 T^{(0.628+0.205\xi)}] \quad (6.12)$$

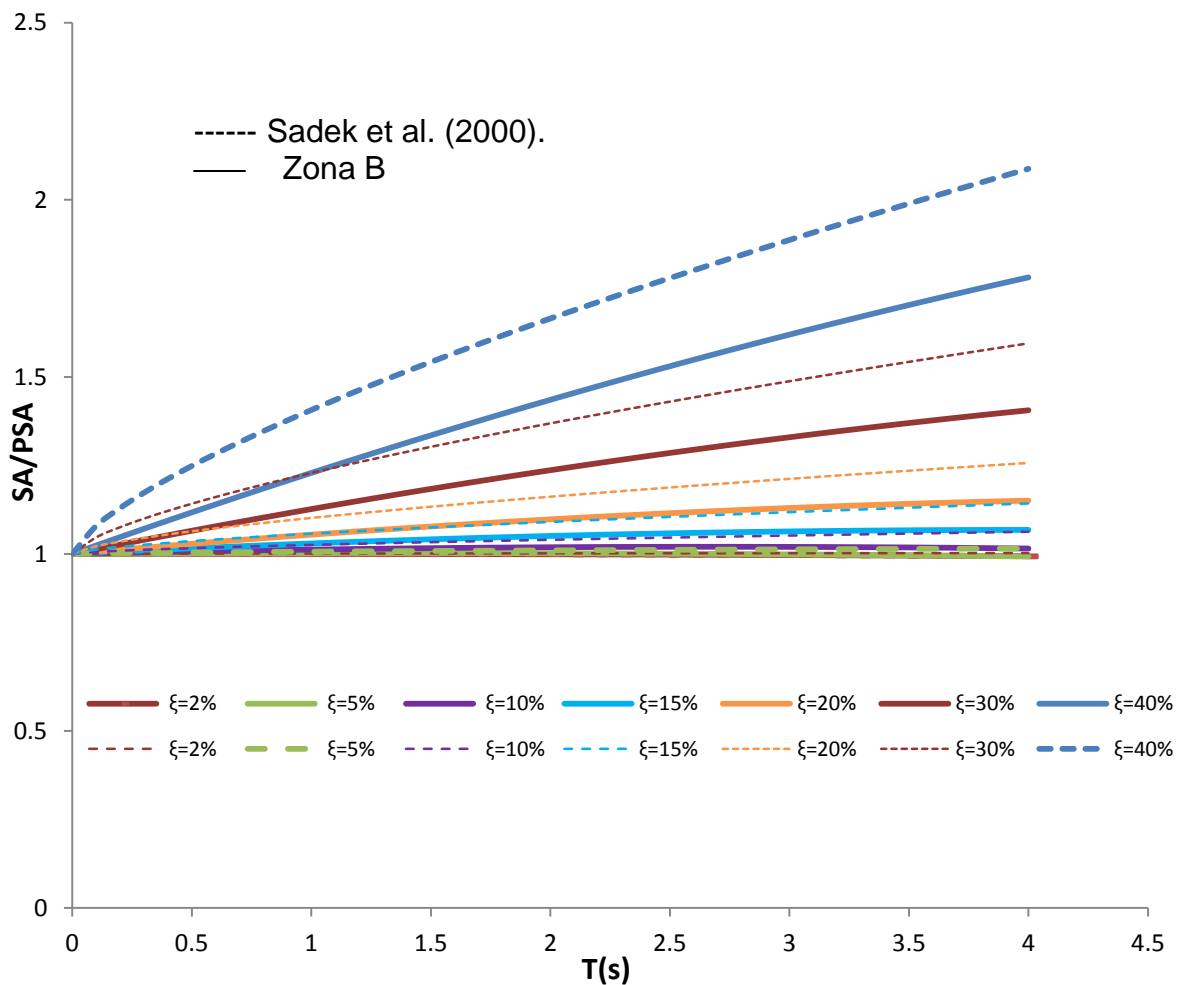


Figura 6.18 Relación SA/PSA de la zona sísmica B y relación SA/PSA de la literatura.

Se observa que la ecuación propuesta por Sadek et al. (2000) tiene comportamiento más parecido al de la zona sísmica B del valle de México que al de la totalidad de las zonas, debido a que corresponde a terreno duro.

7 COMPARACIÓN DE ESPECTROS DE PSEUDOVELOCIDAD Y VELOCIDAD PARA DISTINTAS ZONAS SÍSMICAS DEL VALLE DE MÉXICO.

El cálculo de PSV y SV se realizó mediante el programa de cómputo SEISMO SIGNAL (versión 5.1, 2014).

Las figuras 7.1, 7.3, 7.5, 7.7, 7.9, 7.11 y 7.13 representan los espectros de respuesta de velocidad de cada zona analizada en el presente estudio normalizados con respecto al espectro de velocidad para $T = 0.1$. La nomenclatura de los registros sísmicos utilizados en el estudio se muestra en la parte derecha de cada figura.

Las figuras 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 7.10, 7.12 y 7.14 presentan el comportamiento de la relación SV/PSV de cada zona correspondiente para distintos porcentajes de amortiguamiento (ξ). Las líneas intermitentes se refieren al comportamiento obtenido de los datos de los registros y las líneas continuas representan el comportamiento de la relación de acuerdo al ajuste realizado (lo cual se explica con detalle en el Apéndice B). En estas figuras también se ilustra la expresión obtenida a partir de dicho ajuste.

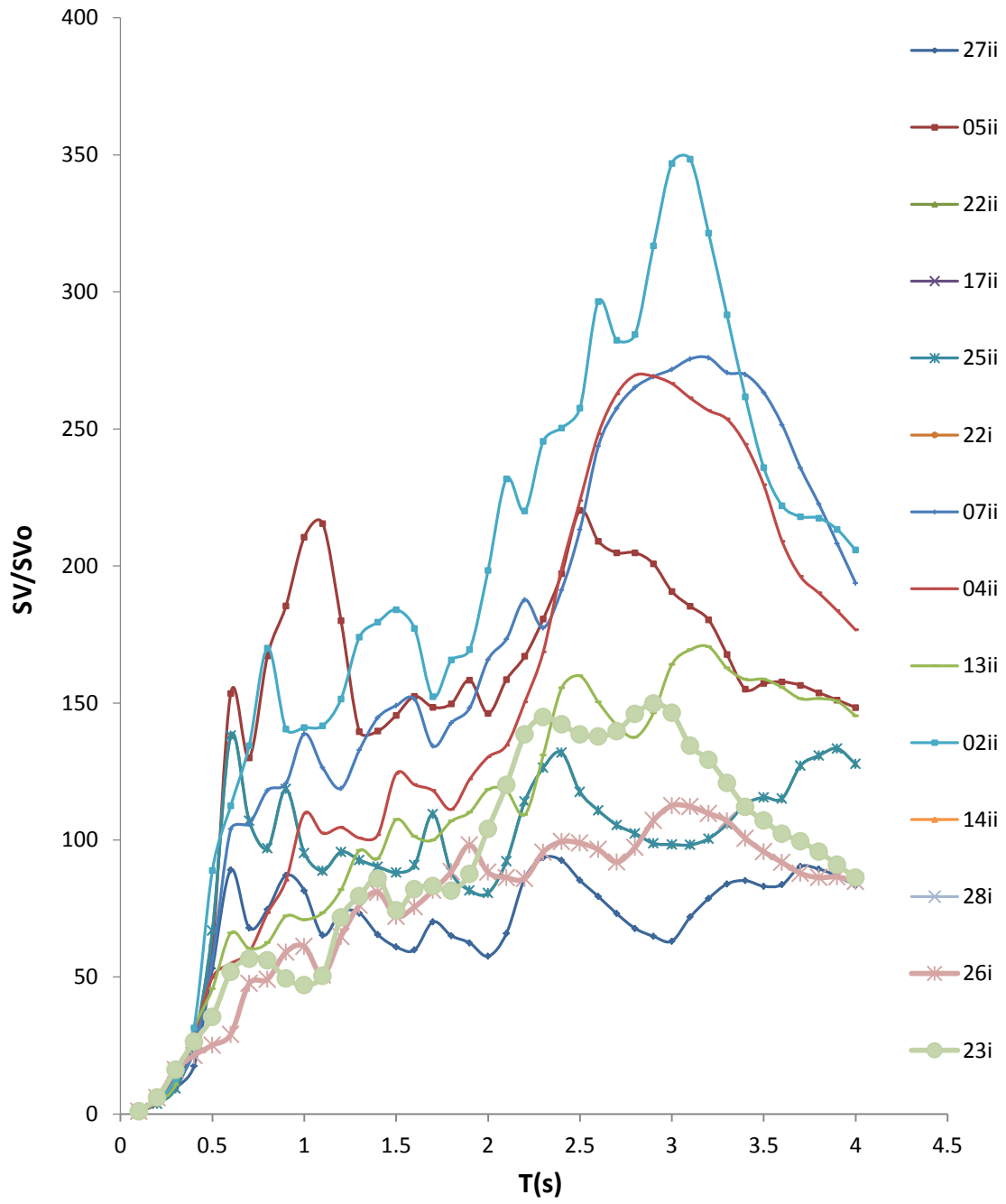


Figura 7.1 Espectro de respuesta de velocidad. Zona A.

$$\frac{SV}{PSV} = (-0.0005\xi + 1)T^{(0.06\xi^{0.46})} \quad (7.1)$$

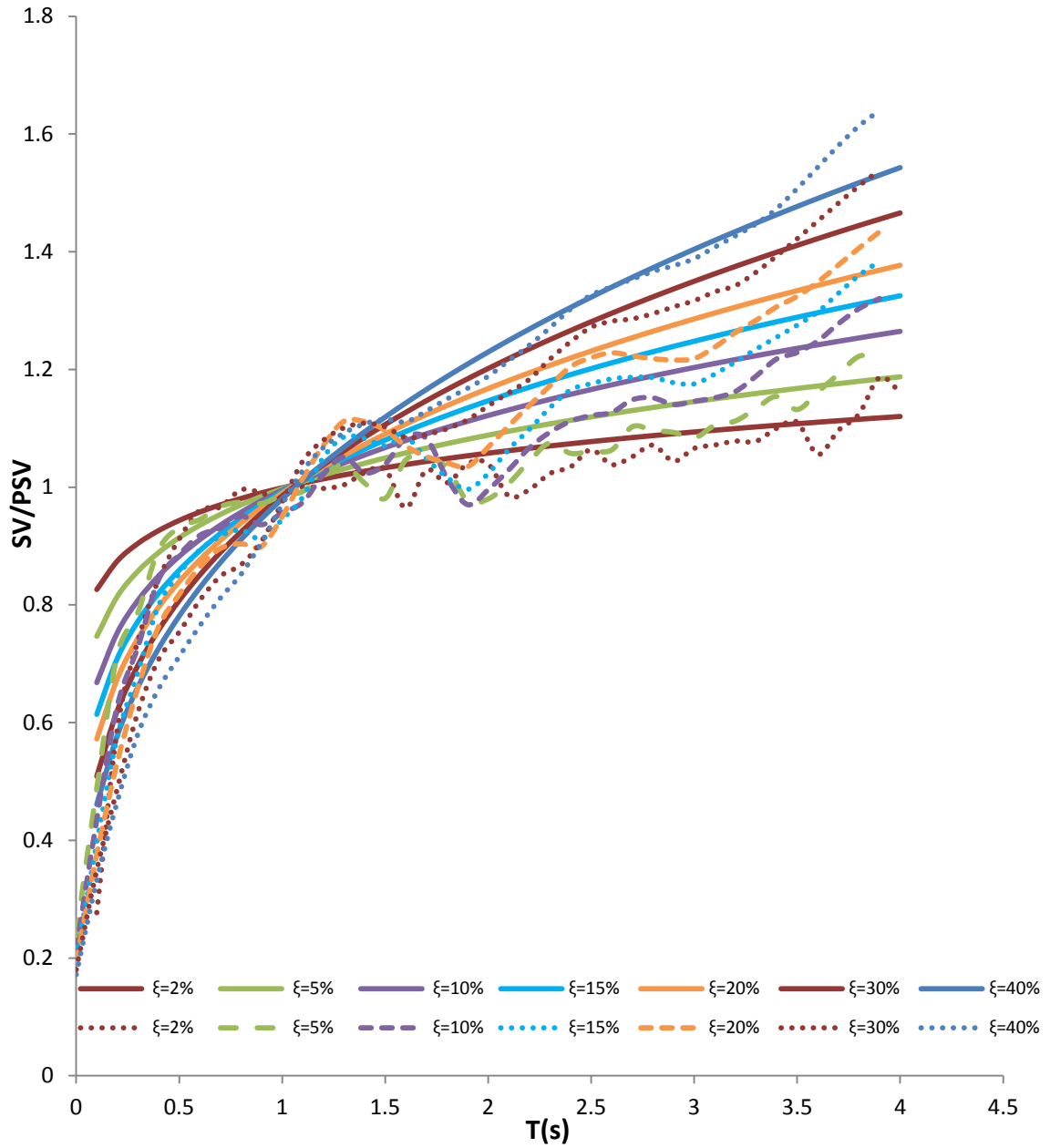


Figura 7.2 Relación SV/PSV. Zona A.

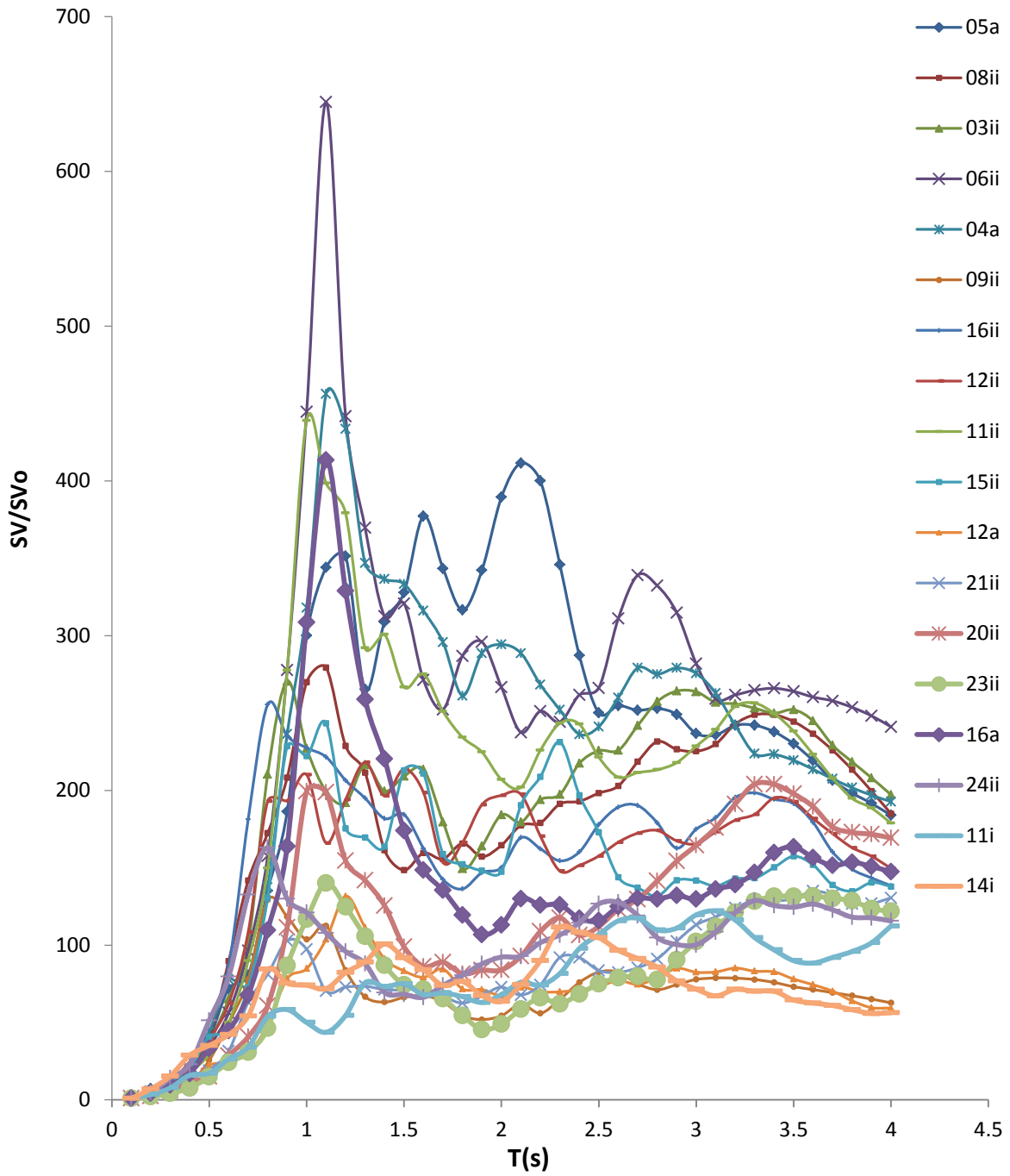


Figura 7.3 Espectro de respuesta de velocidad. Zona B.

$$\frac{SV}{PSV} = (-0.001\xi + 1)T^{(0.1\xi^{0.41})} \quad (7.2)$$

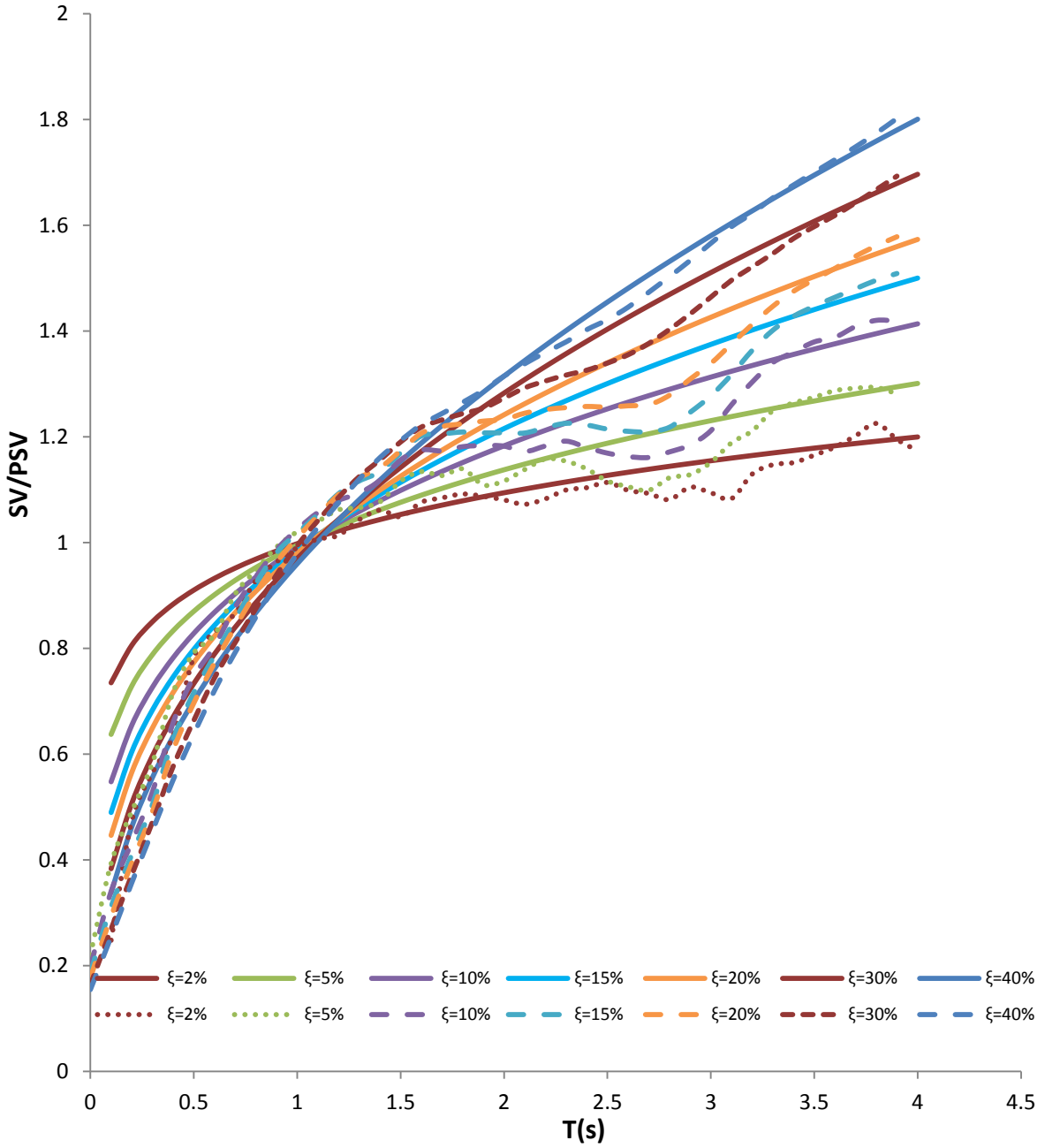


Figura 7.4 Relación SV/PSV. Zona B.

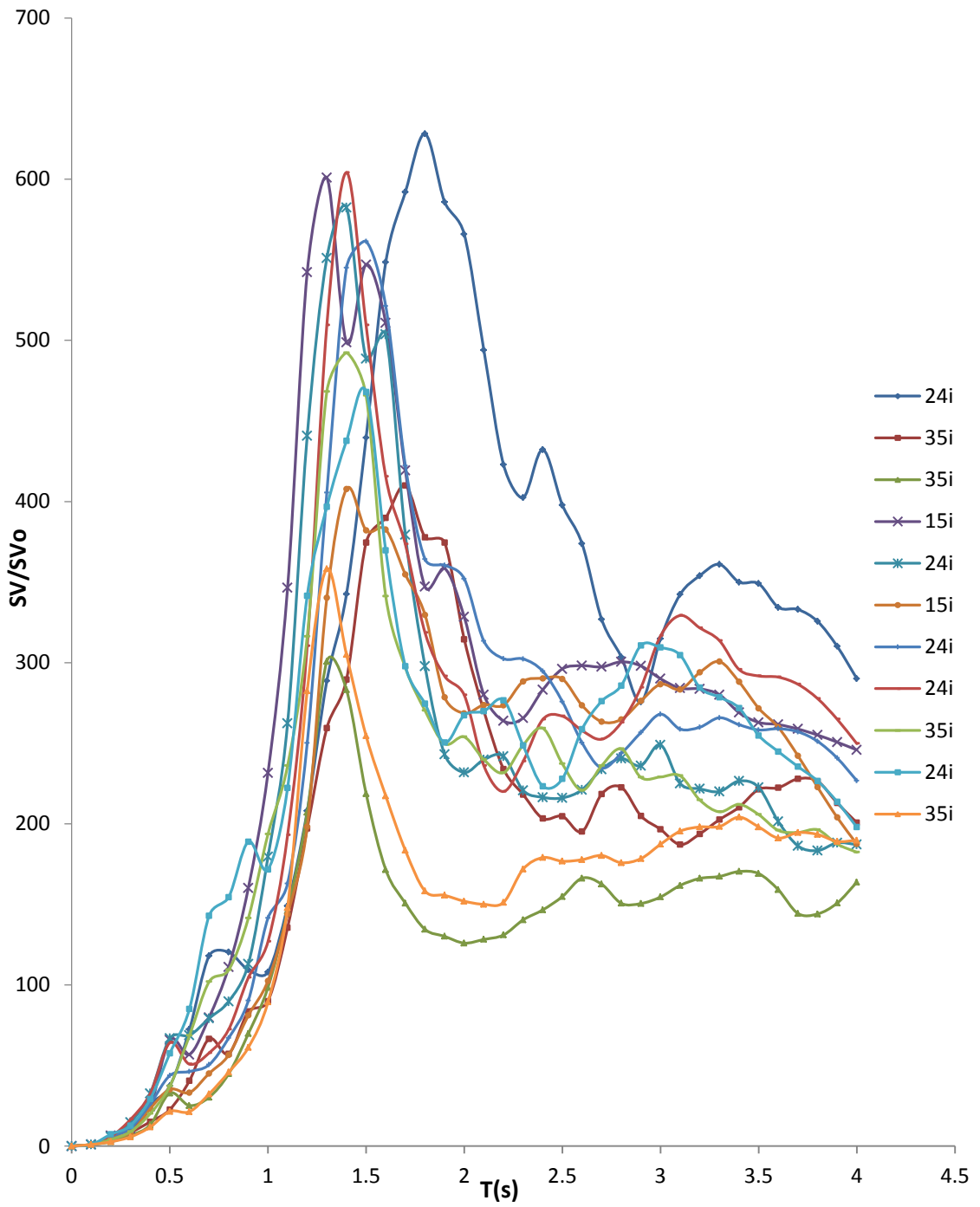


Figura 7.5 Espectro de respuesta de velocidad. Zona C.

$$\frac{SV}{PSV} = (-0.0028\xi + 0.925)T^{(0.17\xi^{0.33})} \quad (7.3)$$

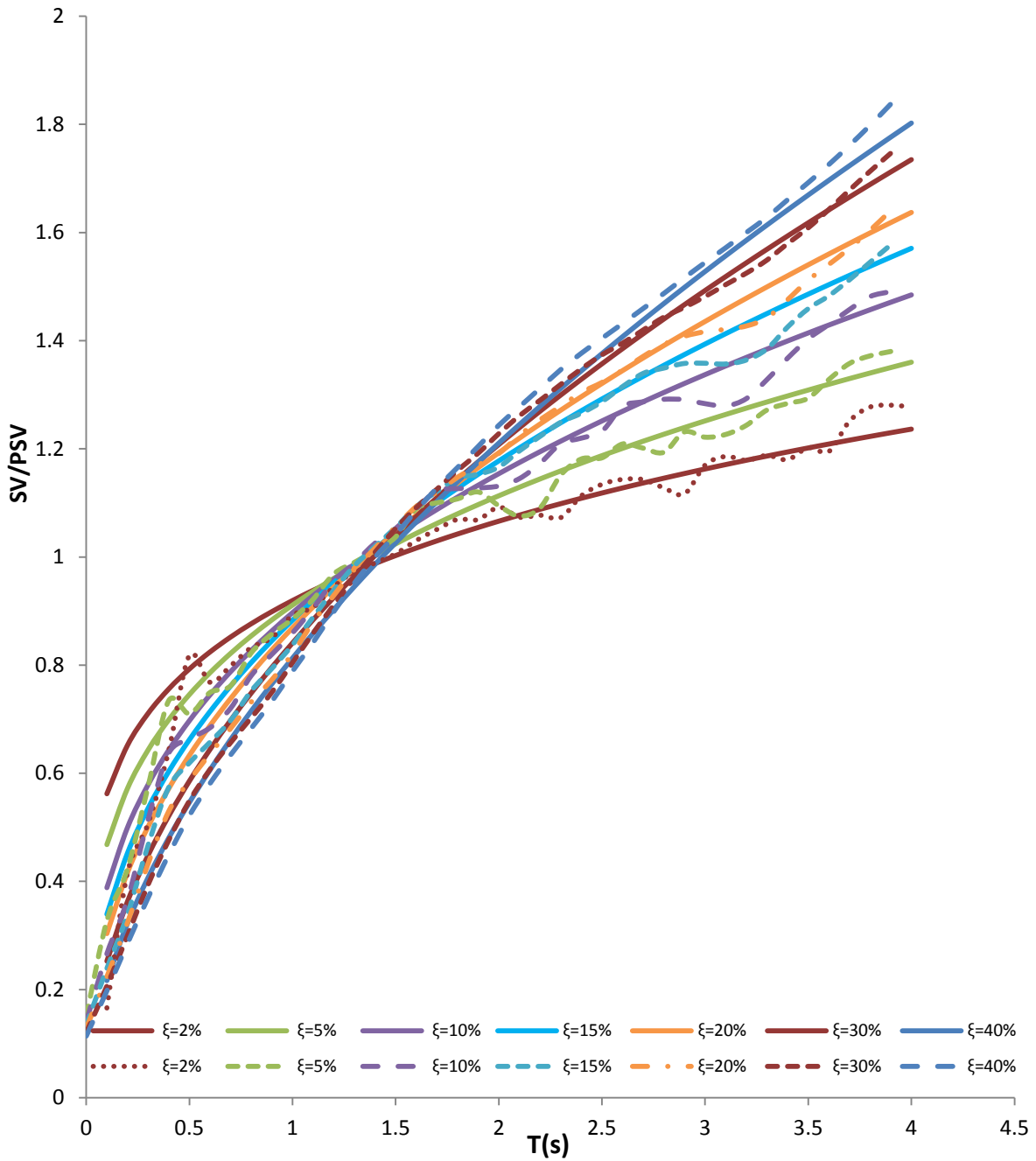


Figura 7.6 Relación SV/PSV. Zona C.

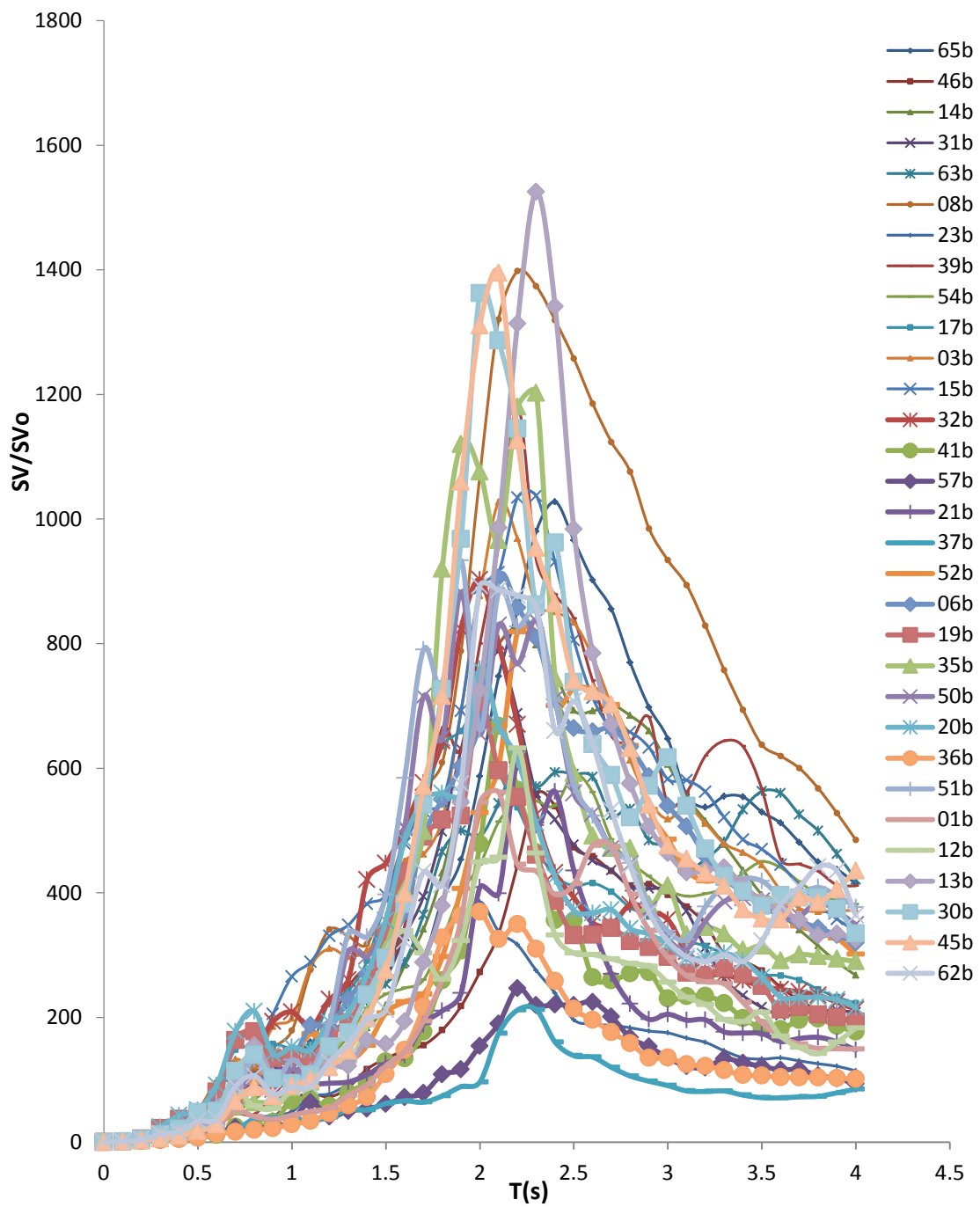


Figura 7.7 Espectro de respuesta de velocidad. Zona D.

$$\frac{SV}{PSV} = (-0.0065\xi + 0.83)T^{(0.25\xi^{0.3})} \quad (7.4)$$

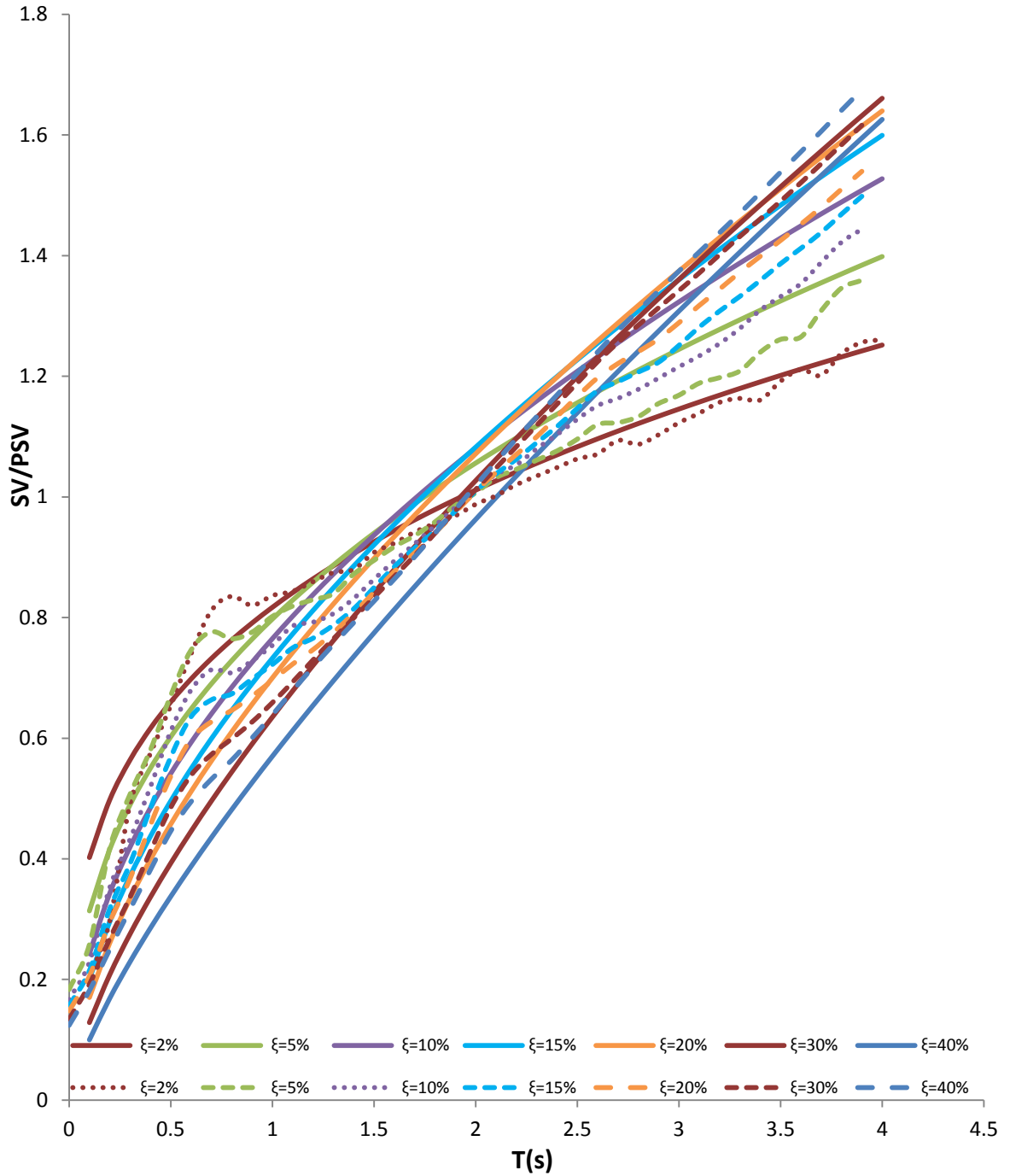


Figura 7.8 Relación SV/PSV. Zona D.

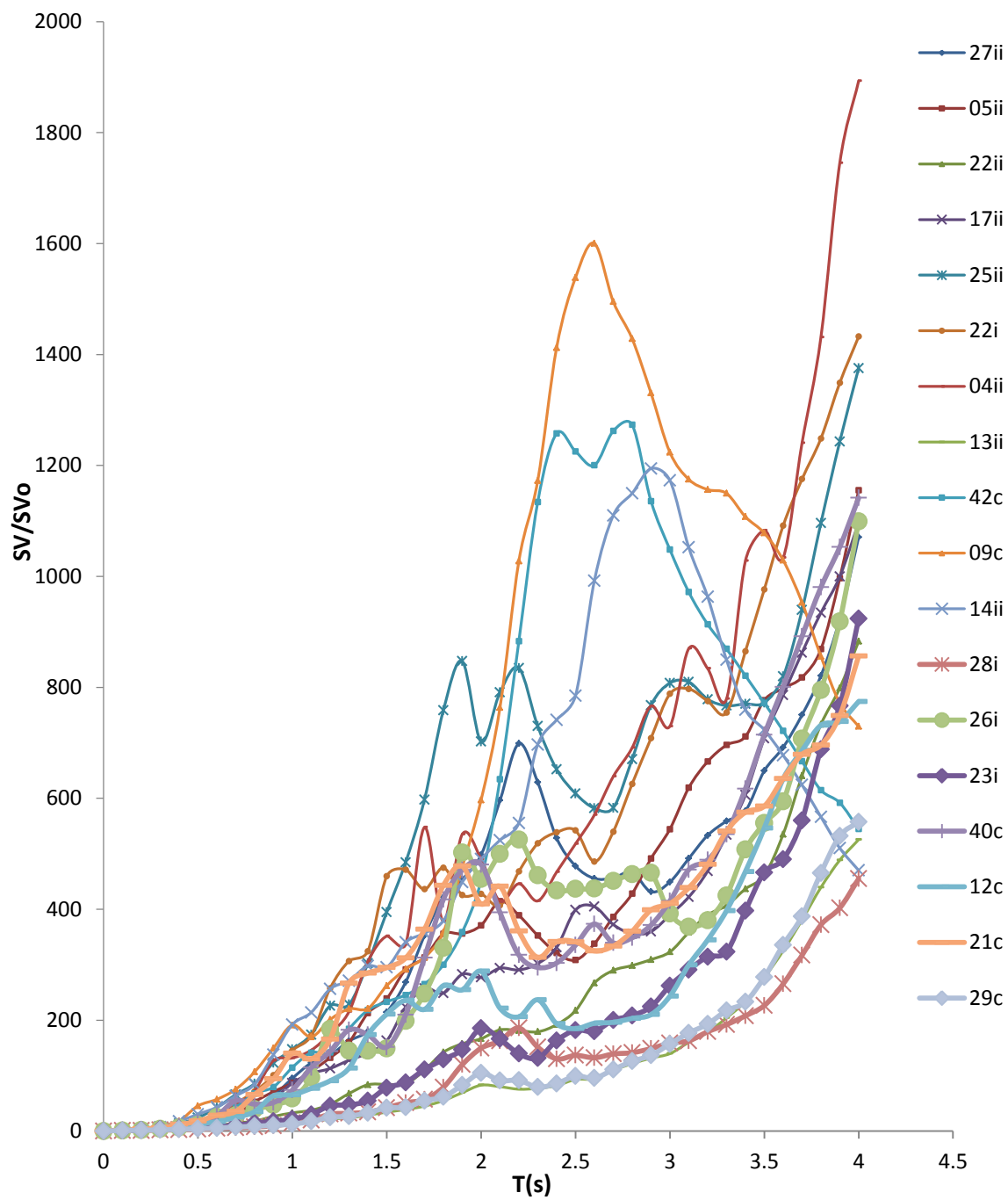


Figura 7.9 Espectro de respuesta de velocidad. Zona E.

$$\frac{SV}{PSV} = (0.0075\xi + 0.37)T^{(-0.0097\xi + 0.66)} \quad (7.5)$$

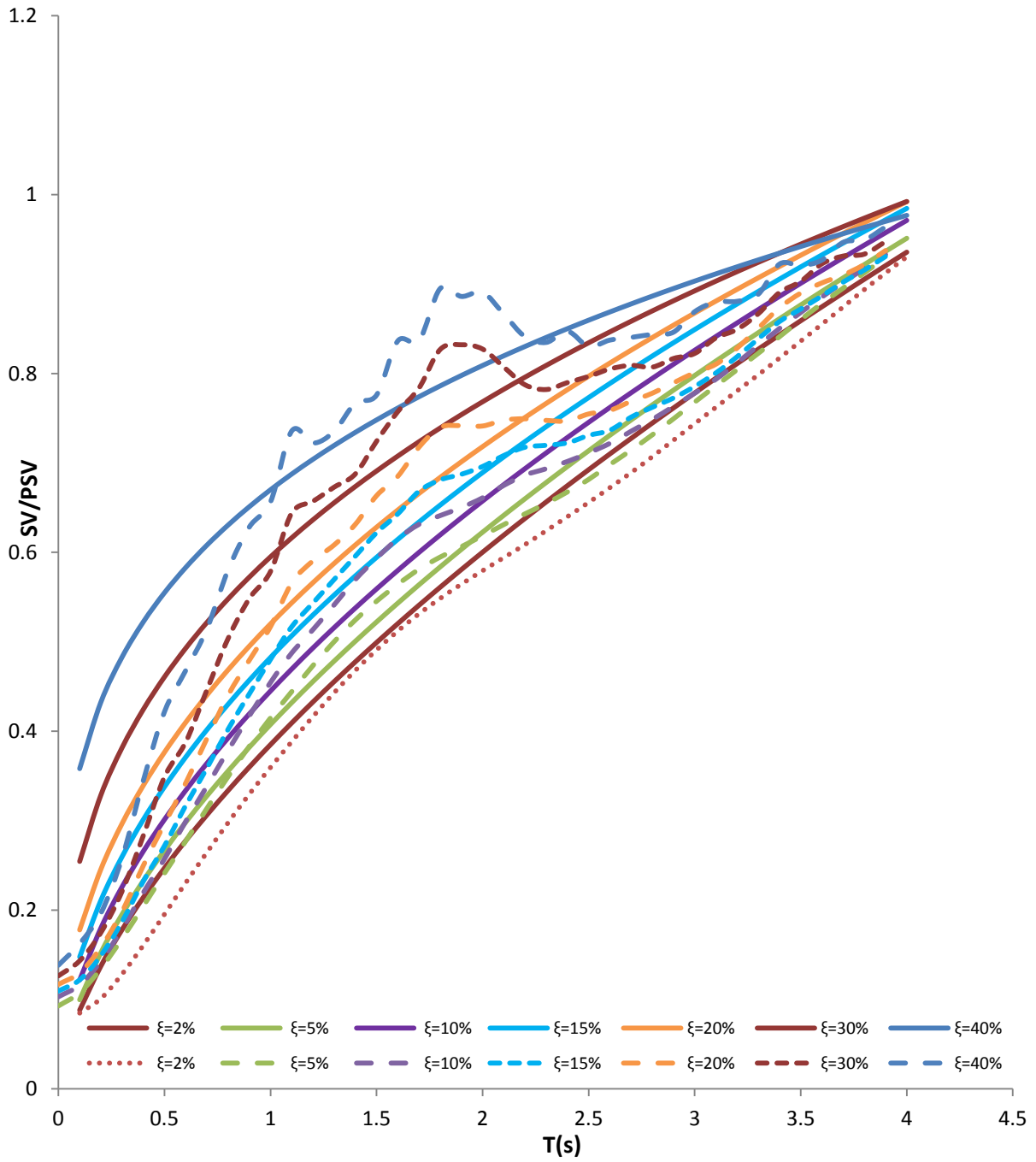


Figura 7.10 Relación SV/PSV. Zona E.

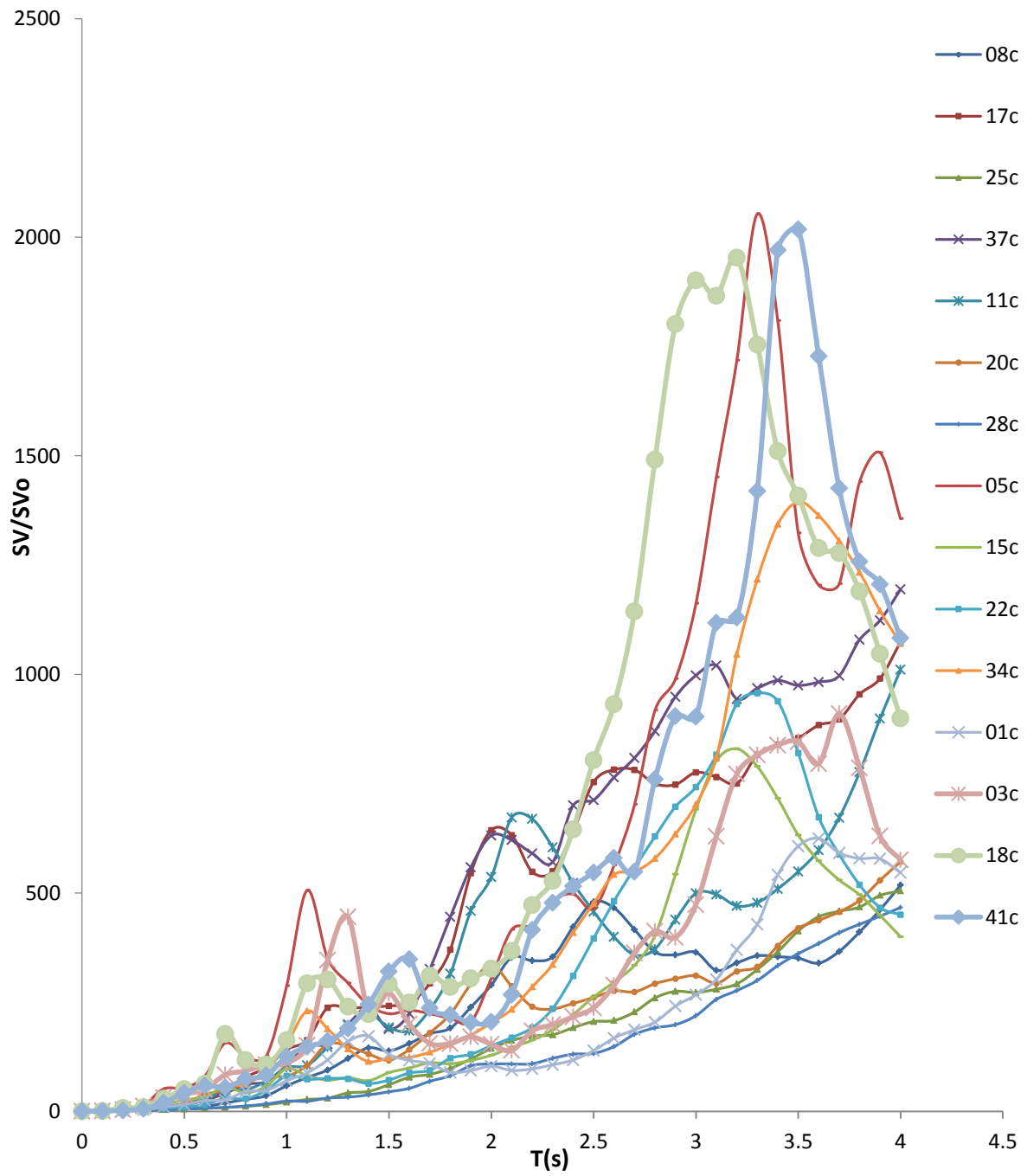


Figura 7.11 Espectro de respuesta de velocidad. Zona F.

$$\frac{SV}{PSV} = (0.0075\xi + 0.4)T^{(-0.0097\xi + 0.66)} \quad (7.6)$$

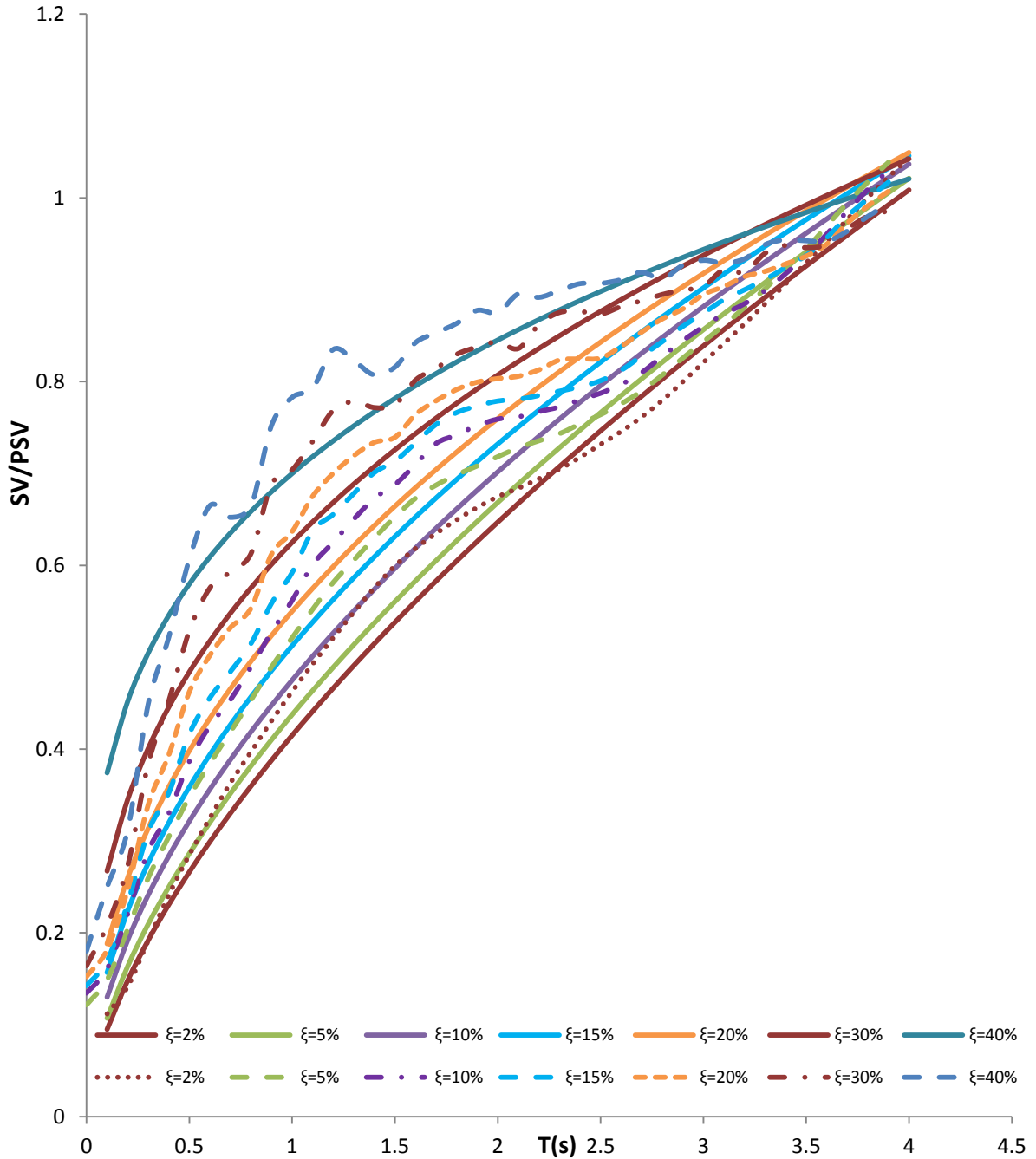


Figura 7.12 Relación SV/PSV. Zona F.

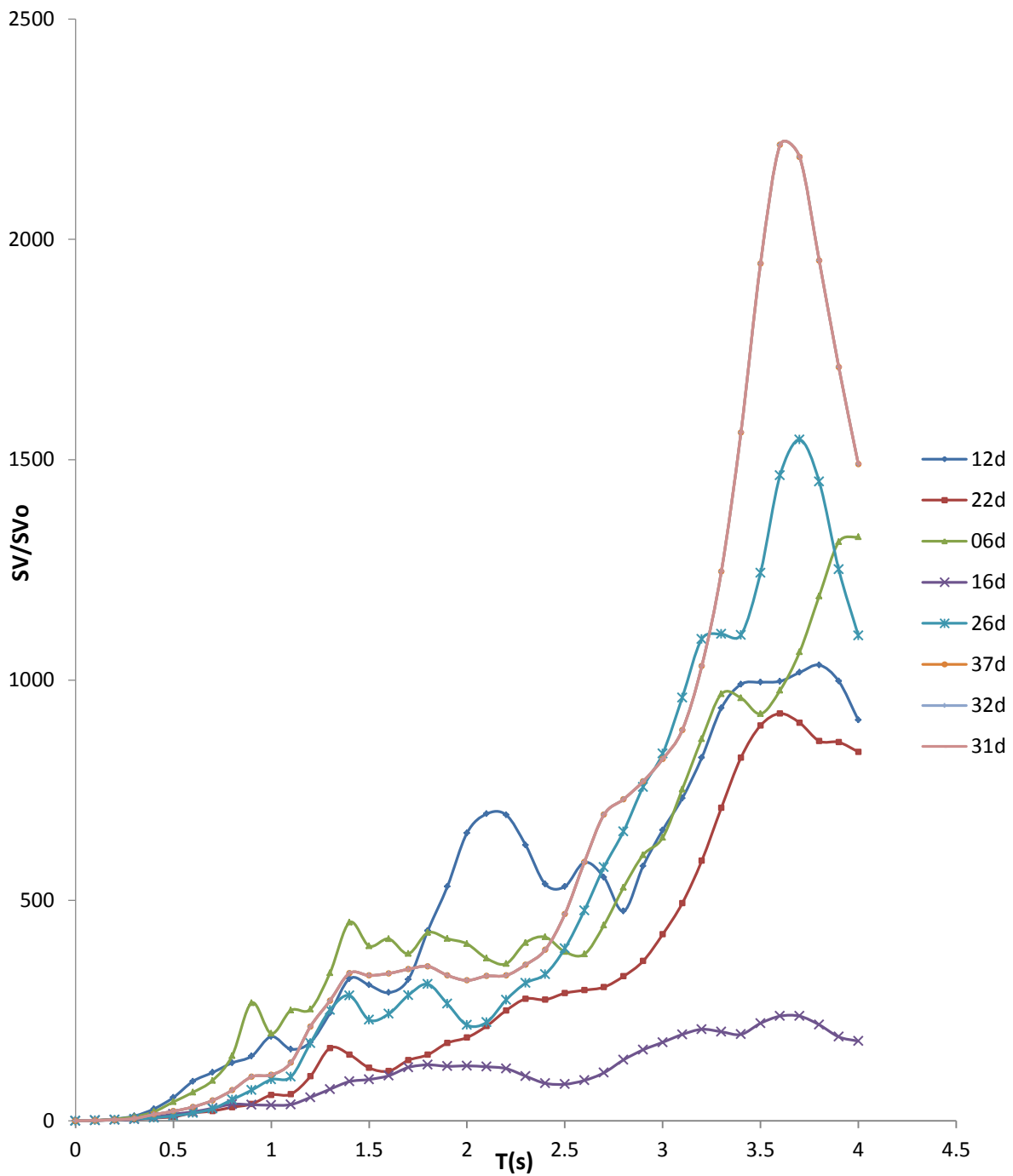


Figura 7.13 Espectro de respuesta de velocidad. Zona G.

$$\frac{SV}{PSV} = (-0.0078\xi + 0.47)T^{(-0.47\xi+0.61)} \quad (7.7)$$

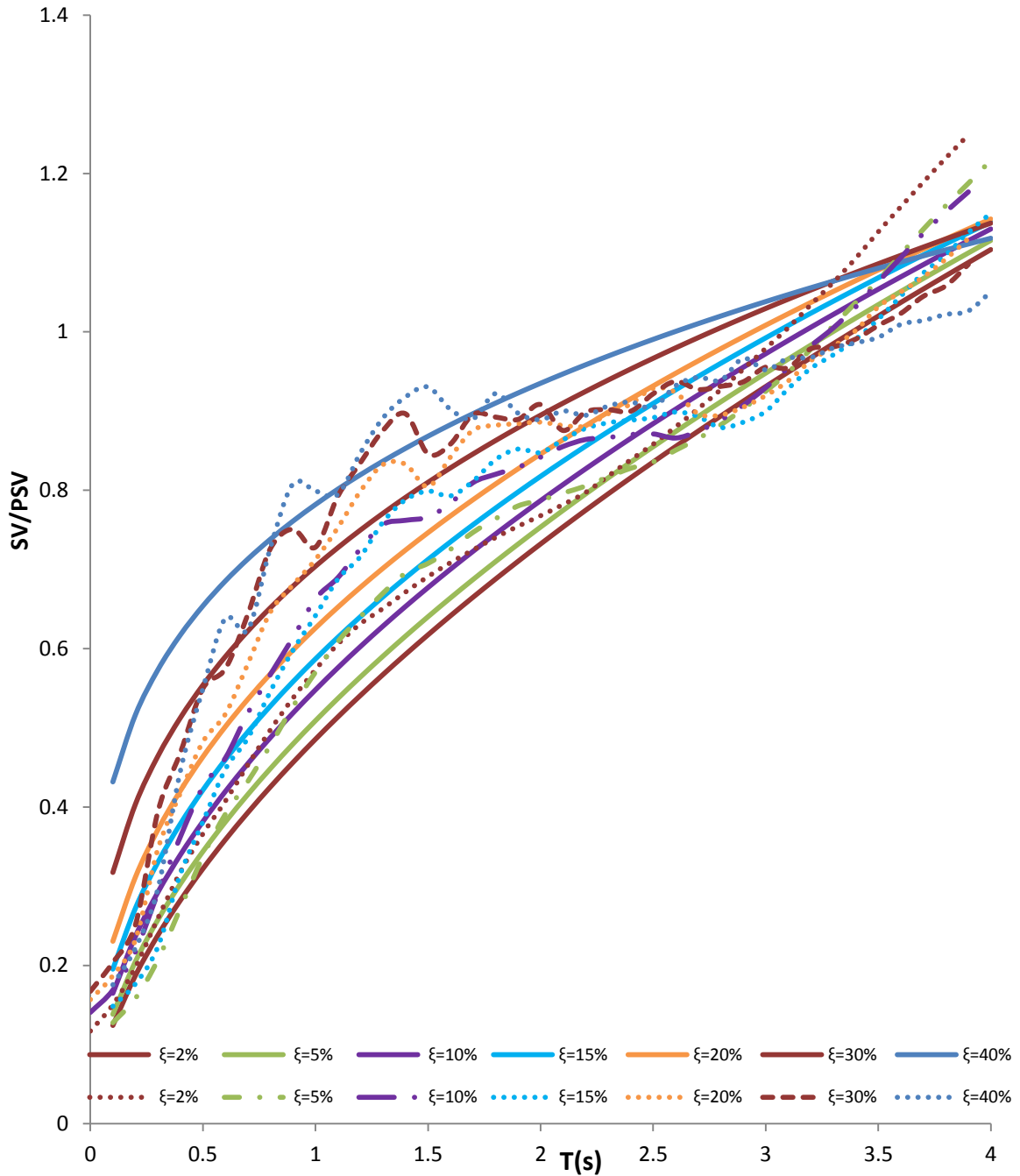


Figura 7.14 Relación SV/PSV. Zona G.

En la figura 7.15 se muestra el conjunto de espectros de respuestas de velocidad para todas las zonas sísmicas del valle de México.

En la figura 7.16 se presenta la relación SV/PSV de todas las zonas sísmicas del valle de México. En esta se muestra la expresión a la que se llegó después del ajuste que se detalla en el Apéndice B.

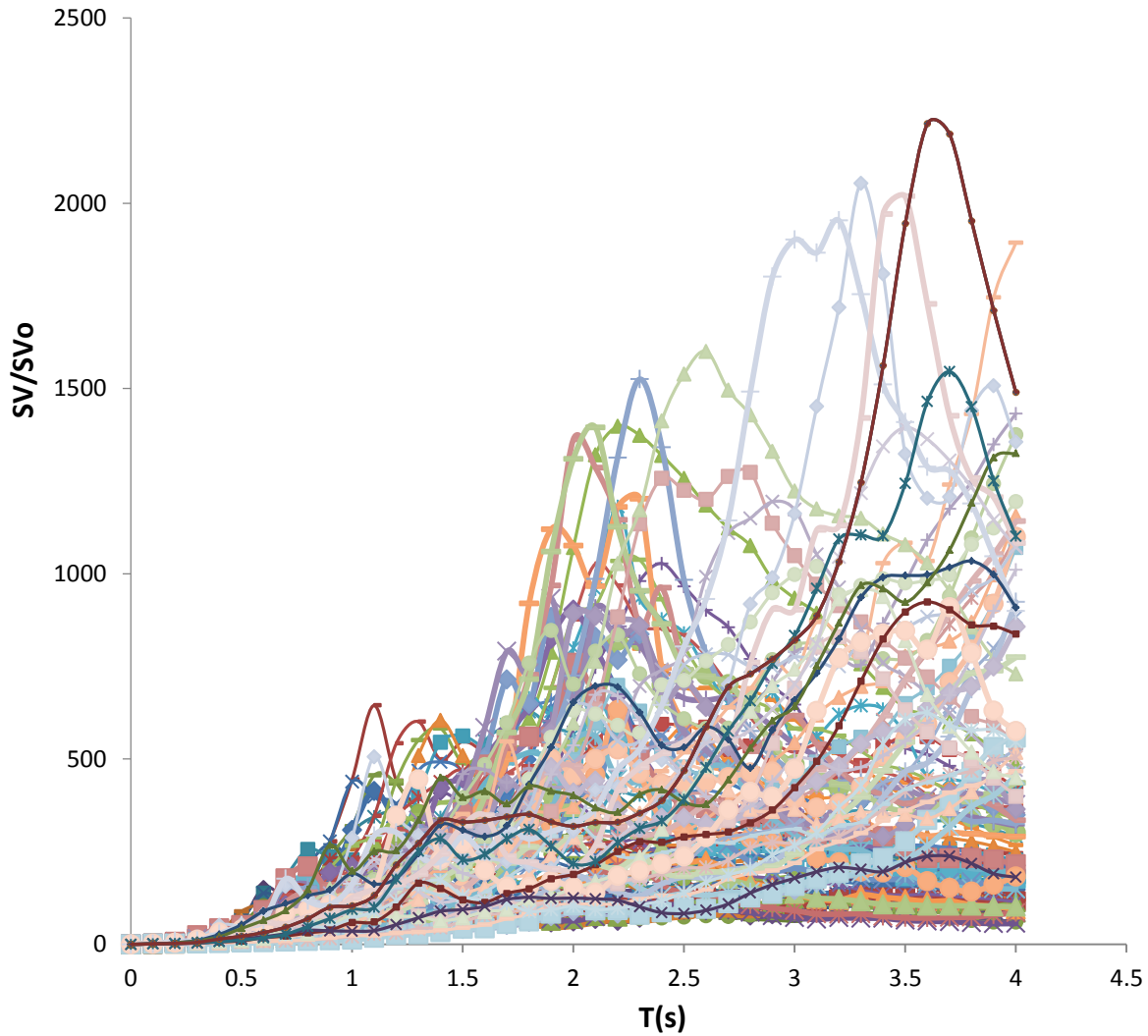


Figura 7.15 Espectros de respuestas de velocidad de todas las zonas sísmicas del valle de México.

$$\frac{SV}{PSV} = [(0.003T - 0.0083)\xi + (1.1377)]T^{(-.0053\xi^{(0.79T)})} \quad (7.8)$$

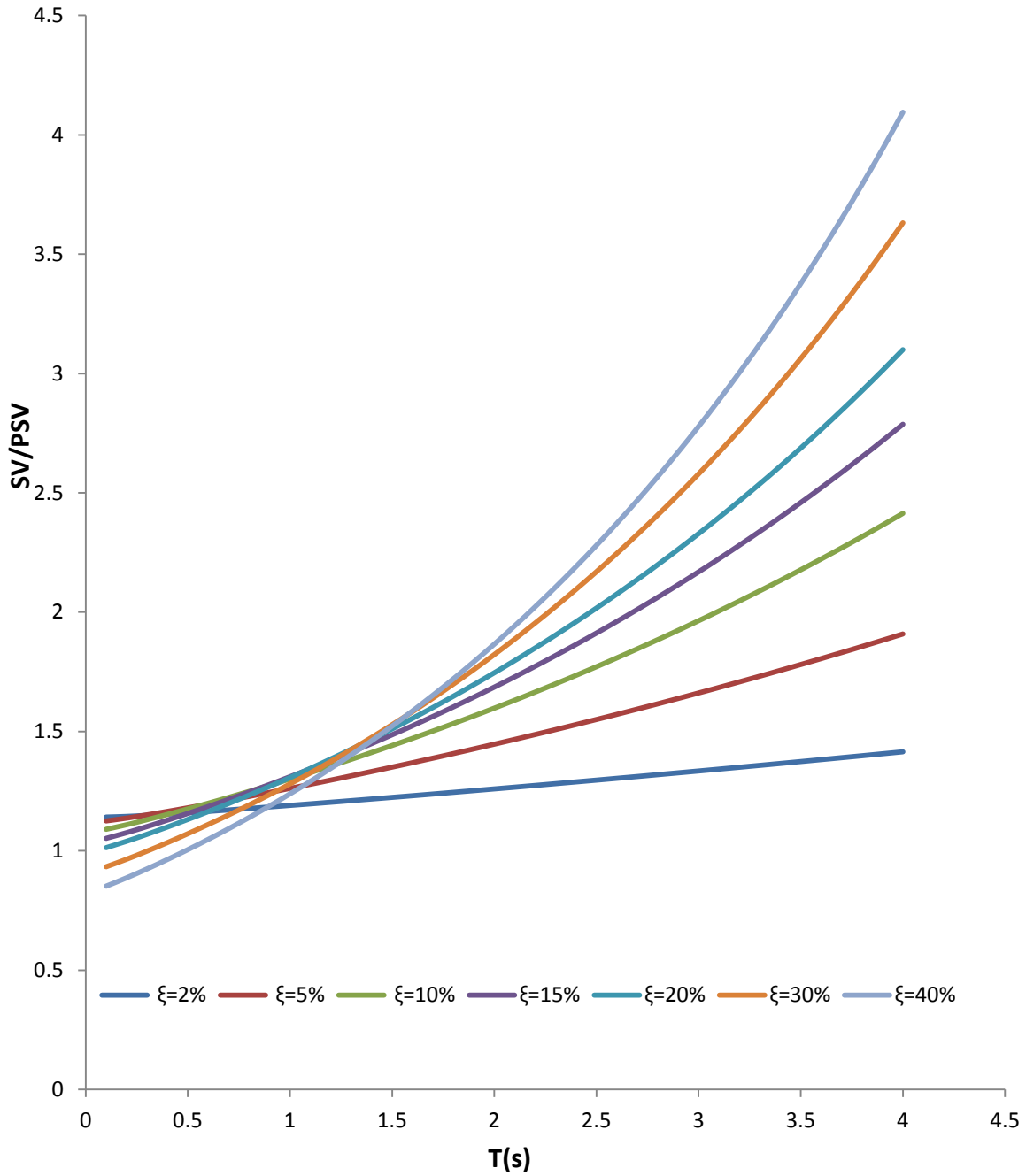


Figura 7.16 Relación SV/PSV para todas las zonas sísmicas del valle de México.

La figura 7.17 ilustra la comparación entre los resultados de Sadek et al. (2000) y la expresión general para las zonas sísmicas del valle de México que se desarrolló en este trabajo (ver figura 7.16). Las líneas intermitentes se refieren a los valores encontrados con la expresión de Sadek et al. (2000), y las líneas continuas pertenecen a los valores encontrados en este trabajo.

Expresión encontrada en este estudio:

$$\frac{SV}{PSV} = [(0.003T - 0.0083)\xi + (1.1377)]T^{(-.0053\xi^{(0.079T)})} \quad (7.9)$$

Expresión de Sadek et al. (2000):

$$\frac{SV}{PSV} = (1.115 + .416\xi)T^{(0.225+0.463\xi)} \quad (7.10)$$

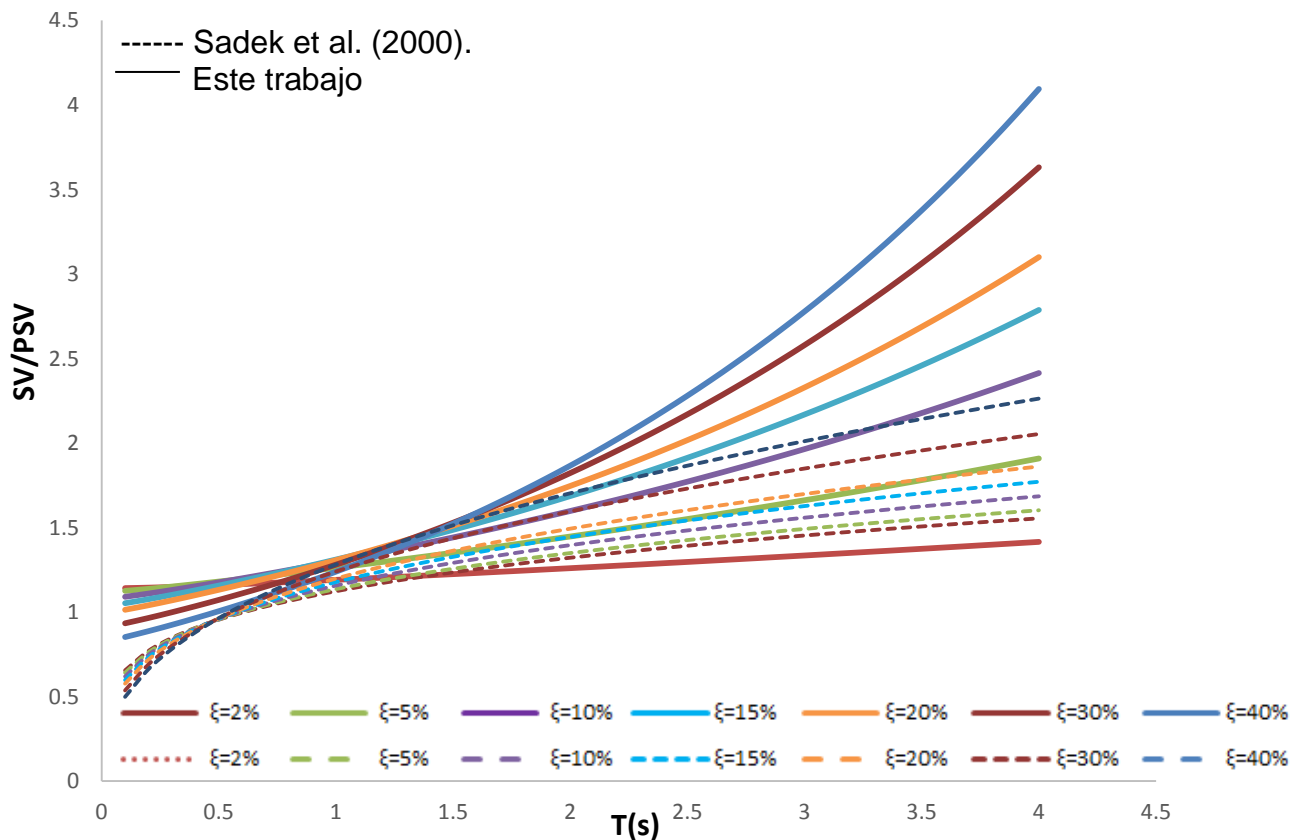


Figura 7.17 Relación SV/PSV para las zonas sísmicas del valle de México encontrada en este trabajo y relación SV/PSV de Sadek et al. (2000).

La figura 7.18 ilustra la comparación entre el trabajo de Sadek et al. (2000) con la expresión SV/PSV para la zona sísmica B del valle de México encontrada en este trabajo. Las líneas intermitentes se refieren a los valores encontrados con la expresión de Sadek et al. (2000), y las líneas continuas pertenecen a los valores encontrados en este trabajo.

Expresión SV/PSV para la zona sísmica B:

$$\frac{SV}{PSV} = (-0.001\xi + 1)T^{(0.1\xi^{0.41})} \quad (7.11)$$

Expresión de Sadek et al. (2000):

$$\frac{SV}{PSV} = (1.115 + .416\xi)T^{(.225+.463\xi)} \quad (7.12)$$

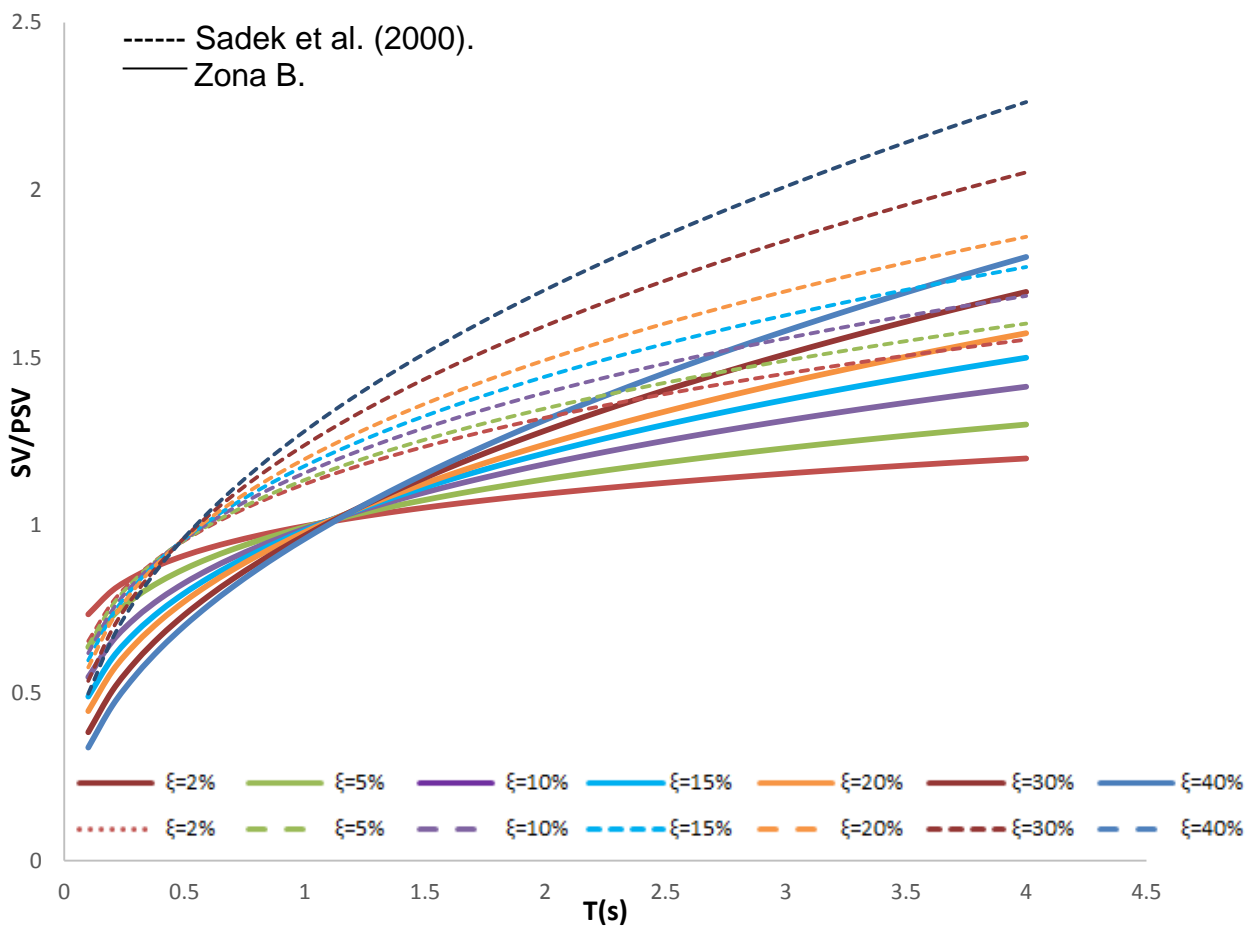


Figura 7.18 Relación SV/PSV correspondiente a la zona sísmica B, y a la de Sadek et al. (2000).

En las comparaciones realizadas en las figuras 6.18 y 7.18 se observa claramente que el trabajo de Sadek et al. (2000), tanto para la relación SA/PSA como para SV/PSV mantienen una relación más cercana a los resultados obtenidos para la zona sísmica B del valle de México que para la totalidad de las zonas, debido a que la zona B corresponde a terreno duro.

8 CONCLUSIONES

El presente trabajo se analizaron un total de 240 registros sísmicos que conformaron todas las zonas sísmicas del valle de México. El trato que se le dio a cada una de las zonas que aquí fueron analizadas fue muy cauteloso para evitar errores; así, cada uno de estos registros sísmicos se pudo analizar de manera satisfactoria.

1) Con respecto a la relación SA/PSA:

A partir de la relación encontrada entre los espectros de aceleración y pseudoaceleración se puede considerar que para estructuras con $\xi \leq 5\%$ PSA es igual a SA, y para amortiguamientos pequeños (menores de 10%) los dos son muy similares, especialmente para periodos pequeños ($T < 1s$).

Se propone la siguiente expresión de SA/PSA para todo el conjunto de zonas sísmicas del valle de México:

$$\frac{SA}{PSA} = [(-.000011T^2 + .0003T - .0003)\xi]T^2 + (.0001\xi^2)T + 1 \quad (8.1)$$

2) Con respecto a la relación SV/PSV:

Se puede concluir de acuerdo a los resultados correspondientes a la relación SV/PSV, que el espectro de velocidad es igual al de pseudovelocidad únicamente para periodos alrededor del periodo dominante del espectro de velocidad. Para periodos mayores que este, la relación SV/PSV crece a medida que aumenta el amortiguamiento, especialmente para las zonas A, B, C y D, y para las zonas E, F y G la relación SV/PSV crece a medida que aumenta el amortiguamiento, para todos los periodos aquí analizados.

Se propone la siguiente relación entre los espectros de velocidad y pseudovelocidad para todo el conjunto de las zonas sísmicas del valle de México:

$$\frac{SV}{PSV} = [(.003T - 0.0083)\xi + (1.1377)]T^{(-.0053\xi^{(.079T)})} \quad (8.2)$$

3) Con respecto al ajuste de ambas relaciones:

De acuerdo a lo realizado en el presente trabajo se puede concluir que las relaciones SA/PSA para cada zona del valle de México obtenidas con los correspondientes ajustes y aquí presentadas resultaron ajustarse de una manera más sencilla en comparación a las relaciones SV/PSV obtenidas de igual manera para cada zona del valle de México. Esto se observó en el desarrollo del procedimiento para lograr ajustar el conjunto de valores de SA/PSA obtenidos por los registros analizados. Es decir, el comportamiento de la distribución de estos valores daba cabida a que el ajuste se realizara con una línea de tendencia de mayor precisión, caso contrario ocurría con el comportamiento del conjunto de valores de SV/PSV obtenidos de los mismos registros analizados, inclusive las zonas A, B, C y D presentaron un ajuste

mediante líneas de tendencia diferentes a las de la zonas E, F y G. Estas diferencias hicieron que el trabajo de poder ajustar en una sola expresión de la relación SV/PSV fuese más complicado que para la expresión global correspondiente a la relación SA/PSA.

4) Con respecto a la comparación de resultados con otros estudios:

Se deduce que los resultados tanto de SA/PSA como de SV/PSV presentados por Sadek et al. (2000) se apegan a los obtenidos aquí para la zona sísmica B del valle de México, debido a que esta zona corresponde a terreno duro cuyo periodo dominante se encuentra entre 0.5 y 1s.

BIBLIOGRAFÍA

Base Nacional de Datos de Sismos Fuertes. 1993. "Catálogo de estaciones acelerográficas 1960-1992". Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. 210 p. México.

Castillo, T. y Ruiz, S. E. "Equation to estimate reduction spectra for the design of structures with viscous energy dampers, corresponding to the limiting states of service and collapse". Journal of Structural Engineering.

Chopra, A. 1995. "Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering". Prentice Hall. 729 p. New Jersey.

Clough, R, y Penzien, J. 1993. "Dynamics of Structures". McGraw Hill. 739 p. Singapore.

Erdik, M. y Kubin, J. 1984. "A procedure for the accelerogram processing". Proceedings of the Eighth World Conference on Earthquake Engineering. Vol. 2. p. 135-142. San Francisco, USA.

Grigoriu, M., Ruiz, S. E. y Rosenblueth, E. 1988. "Nonstationary models of seismic ground acceleration". Earthquake Spectra, Vol.4, No.3. pp 551-568

Guerrero del Ángel, R. 1997. "Duración del movimiento durante sismos: implicaciones en la degradación estructural." Tesis de Maestría en ingeniería, UNAM, México.

Housner G., W. 1965. "Measures of severity of earthquake ground shaking". National Conference on Earthquake Engineering. USA

Hsu, Hwei P. 1998. "Análisis de Fourier". Logman. 274 p.

Husid L. 1969. "Características de terremotos, Análisis general". Revista del IDIEM 8 p. 21-42. Santiago de Chile.

Iwan, W. y Chen, X. 1994. "Important near-field ground motion data from the Landes earthquake". Proceedings of the Tenth European Conference of Earthquake Engineering. Vol. 1. p. 257-267. Viena, Austria.

Joannon, J., Arias, A. y Saragoni, R. 1975. "Evolución temporal del contenido de frecuencias de terremotos". Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Obras Civiles sección Estructuras, Chile.

Kempton J, y Stewart J. 2006. "Prediction equations for Significant duration of earthquake ground motions considering site and near-source effects". Earthquake Spectra. Vol 22, p. 985-1013. USA.

Kostogladov, V. y Pacheco, J., Poster. 1999. "Cien años de Sismicidad en México". Instituto de Geofísica UNAM. México.

Lee, W. H., Kanamori, H., Jennings, P. 2002. "Earthquake and Engineering Seismology". Academic Press. 1200 p. USA.

Newland, D. E. 1975. "An Introduction to Random Vibrations and Spectral Analysis". Longman. 285 p. USA

Oppenheim, A., Willsky, A., y Nawab, H. 1997. "Señales y Sistemas". Prentice Hall. 956p.

Ordaz M., Miranda E. y Avilés J. 2000. "Propuesta de espectros de diseño por sismo para el DF", XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, León, Guanajuato, México.

Paz, M. 1992. "Dinámica Estructural: Teoría y Cálculo". Reverte. 672p.

Reinoso, E. y Ordaz, M. 2001. "Duration of strong ground motion during Mexican earthquakes in terms of magnitude, distance to the rupture area and dominant site period". Earthquake Engineering and Structural Dynamics Num.30. p. 653-673. USA.

Ruiz A. L. 2002. "Sistema de Procesamiento de Acelerogramas Mexicanos". Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, Reporte interno. México.

Sadek, F., Mohraz B. y Riley M. 2000. "Linear procedures for structures with velocity-dependent dampers". Journal of Structural Engineering. Vol. 126. p. 887-895.

Silva González, F. L. 1998. "Calibración del método de liberalización equivalente estocástica para sistemas históricos simples". Tesis de Maestría en estructuras, UNAM, México.

Villa Velázquez Mendoza, C. 2001. "Análisis de movimientos sísmicos registrados en el Valle de México". Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional Autónoma de México.

APÉNDICE A

AJUSTE DE CURVAS Y SELECCIÓN DE EXPRESIÓN PARA SA/PSA

En el presente Apéndice se muestra el proceso de ajuste que se llevó a cabo una vez que se obtuvieron los resultados de las relaciones SA/PSA de los registros estudiados en este trabajo.

El proceso fue el siguiente:

1. Se realizó la tabulación de los datos obtenidos de los registros sísmicos mediante el software Excel.
2. El ajuste se realizó mediante la herramienta la línea de tendencia el ajuste pertinente para cada comportamiento observado para cada zona sísmica del valle de México.
3. Se obtuvieron las expresiones que se adecuaban al comportamiento de los registros sísmicos estudiados.
4. Mediante el mismo “software” (Excel) se llevó a cabo la obtención de variación de los coeficientes de las líneas de ajustes de cada zona. En este caso se observó que correspondían a la siguiente forma:

$$\frac{SA}{PSA} = (a\xi + b)T^2 + (c\xi^2 + d\xi + e)T + (f\xi + g) = AT^2 + BT + C \quad (A.1)$$

Se hicieron variar los valores de a , b , c , d , e , f y g hasta lograr obtener valores que hicieran tener un comportamiento cercano al comportamiento obtenido directamente de los registros sísmicos analizados.

A continuación se presenta el resultado del proceso anterior realizado para cada zona.

Las figuras A.1, A.3, A.5, A.7, A.9, A.11 y A.13 representan los pasos número 1, 2 y 3 del proceso descrito anteriormente, y las figuras A.2, A.4, A.6, A.8, A.10, A.12 y A.14 representan el paso número 4 del proceso anterior.

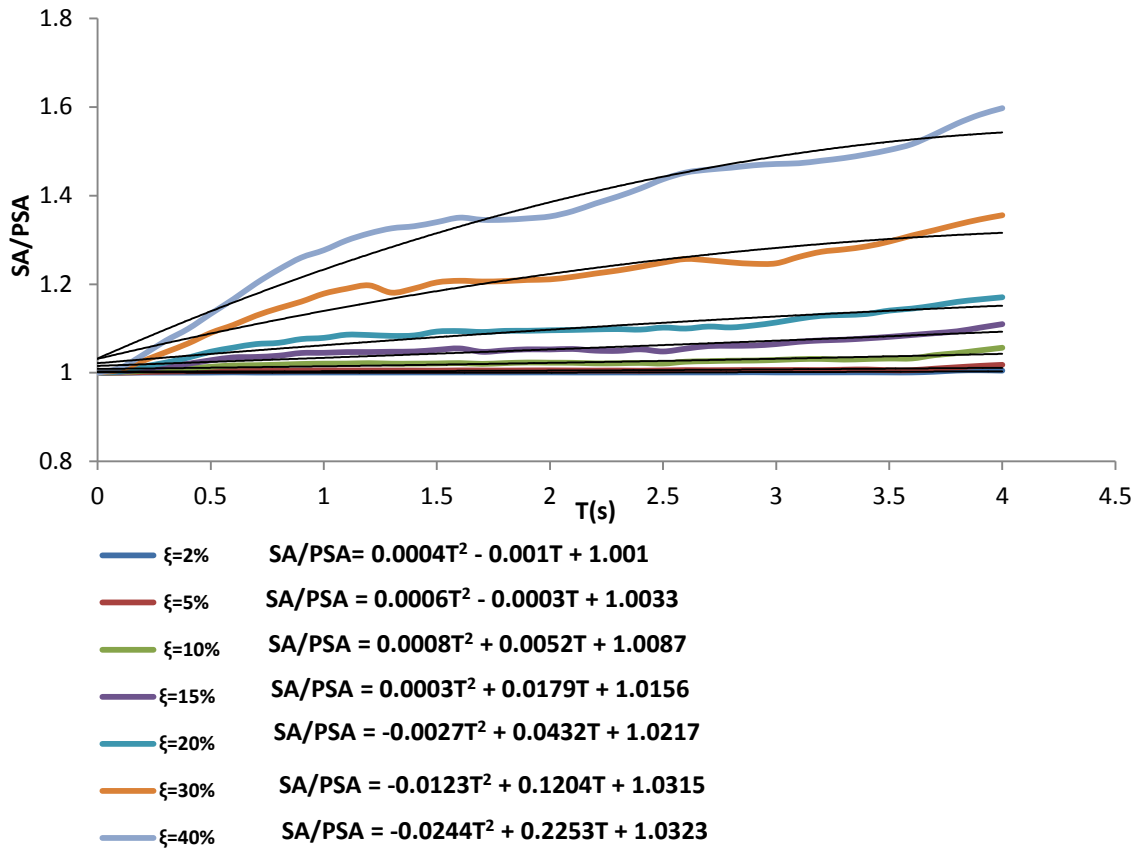


Figura A.1 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SA/PSA. Zona A.

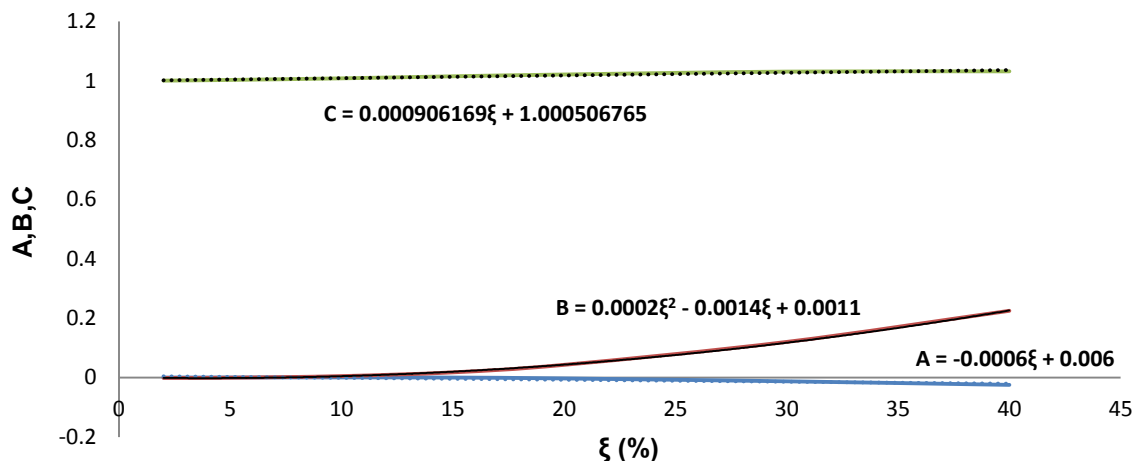


Figura A.2 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona A.

Cada expresión de la figura A.1 representa el ajuste realizado para cada relación SA/PSA con un porcentaje de amortiguamiento distinto. A partir de esto se muestra en la figura A.2, la variación y ajuste de cada uno de estos coeficientes de las expresiones obtenidas en la figura A.1, por ejemplo:

Tabla A.1 Ecuaciones de ajuste de acuerdo al grado de amortiguamiento. Zona A

ξ (%)	Ecuación de ajuste
2	$y = 0.0004T^2 - 0.001T + 1.001$
5	$y = 0.0006T^2 - 0.0003T + 1.0033$
10	$y = 0.0008T^2 + 0.0052T + 1.0087$
15	$y = -0.0244T^2 + 0.2253T + 1.0323$
20	$y = 0.0003T^2 + 0.0179T + 1.0156$
30	$y = -0.0123T^2 + 0.1204T + 1.0315$
40	$y = -0.0027T^2 + 0.0432T + 1.0217$

Se observa que la línea de tendencia tiene una forma polinómica de segundo grado. Entonces, en la figura A.2 se grafican las variaciones existentes de cada coeficiente, como se presenta en la tabla A.2.

Tabla A.2 Tabulación de variación de coeficientes

COEFICIENTES	$\xi=2\%$	$\xi=5\%$	$\xi=10\%$	$\xi=15\%$	$\xi=20\%$	$\xi=30\%$	$\xi=40\%$
A	0.0004	0.0006	0.0008	-0.244	0.0003	-0.0123	-0.0027
B	-0.001	-0.0003	0.0052	0.2253	0.0179	0.1204	0.0432
C	1.001	1.0033	1.0087	1.0323	1.0156	1.0315	1.0217

Donde *A*, *B* y *C* son los coeficientes de la expresión polinómica de segundo grado:

$$AT^2 + BT + C \quad (A.2)$$

El resultado del ajuste de la variación de los coeficientes de la tabla A.2 se presenta en la figura A.2.

Una vez encontradas estas ecuaciones de ajuste para variación de los coeficientes A , B y C , se dedujo que para el coeficiente A se obtuvo una expresión de tipo lineal, para el B se obtuvo una expresión de tipo polinómica de segundo grado, y para C se obtuvo una expresión de tipo lineal, quedando de la siguiente forma la expresión final para la relación SA/PSA:

$$\frac{SA}{PSA} = (a\xi + b)T^2 + (c\xi^2 + d\xi + e)T + (f\xi + g) \quad (A.3)$$

Entonces el objetivo es encontrar los valores de a , b , c , d , e , f y g que den resultados óptimos para asemejarse a los valores reales obtenidos de los movimientos sísmicos estudiados para esta zona. La tabla A.3 presenta la tabulación de los valores ajustados para esta zona.

Tabla A.3 Coeficientes a , b , c , d , e , f y g . Zona A

A		B			C	
a	b	c	d	e	f	g
-0.00013	0	0.00011	0	0	0	1

Por lo que para la zona A se obtuvo la expresión:

$$\frac{SA}{PSA} = -0.00013\xi T^2 + 0.0001\xi^2 T + 1 \quad (A.4)$$

Esta ecuación es la que se muestra en la figura 6.2.

El método anterior se aplicó a cada una de las zonas sísmicas del valle de México aquí estudiadas. El proceso se muestra en las figuras A.3 a la A.14, correspondientes a cada zona analizada y el ajuste para cada zona se muestra en la tabla A.4.

La zona A se tomó como ejemplo para desarrollar el procedimiento para llegar a la expresión de su correspondiente relación SA/PSA, por lo que en las siguientes figuras ya no se muestran las de la zona A.

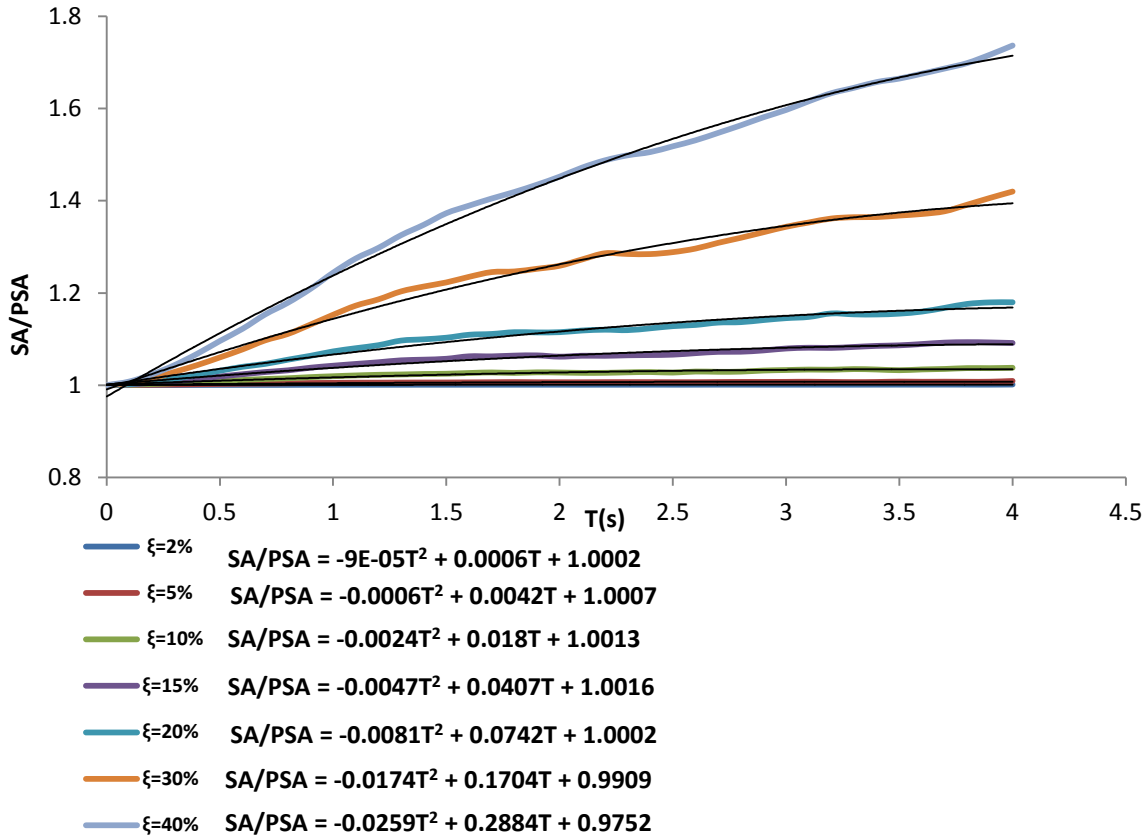


Figura A.3 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SA/PSA. Zona B.

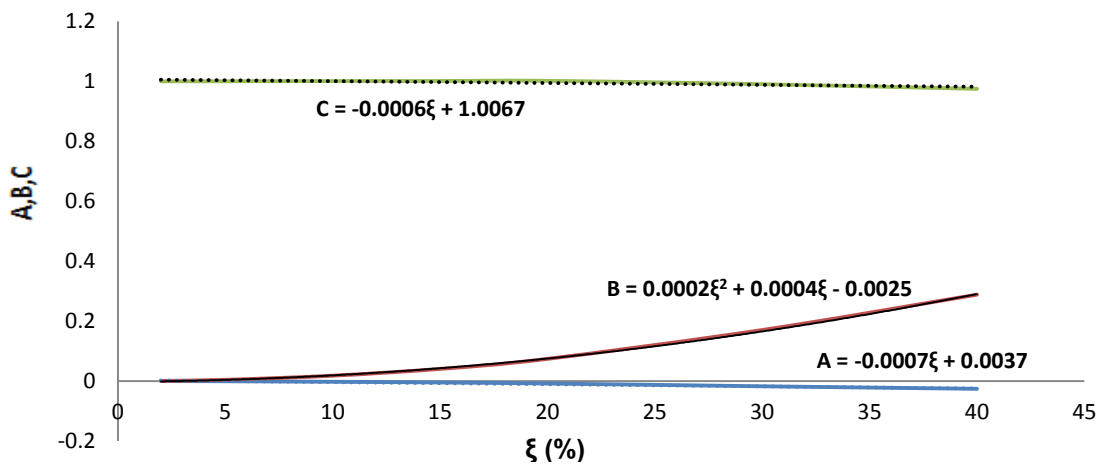


Figura A.4 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona B.

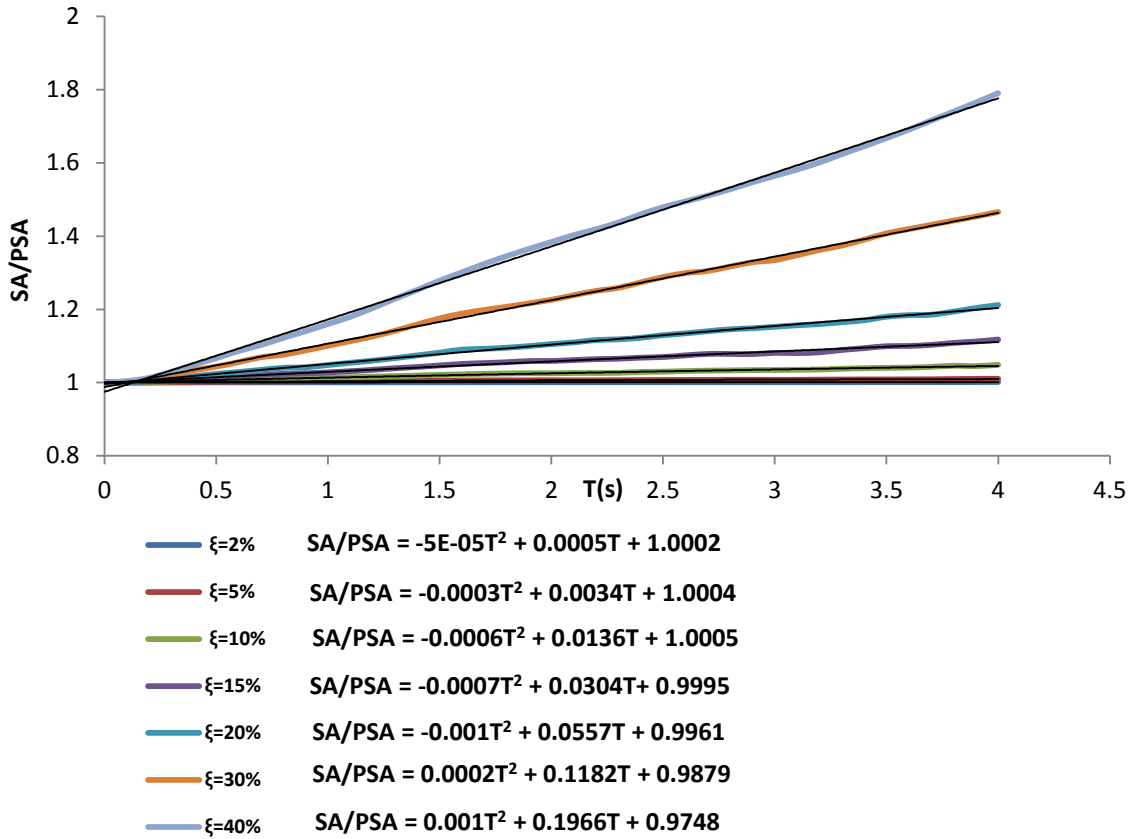


Figura A.5 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SA/PSA. Zona C.

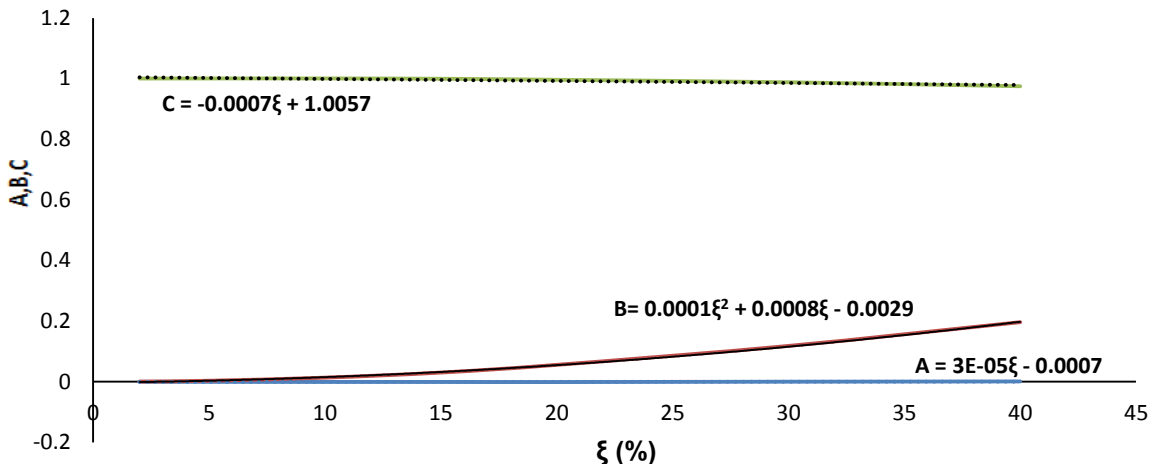


Figura A.6 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona C.

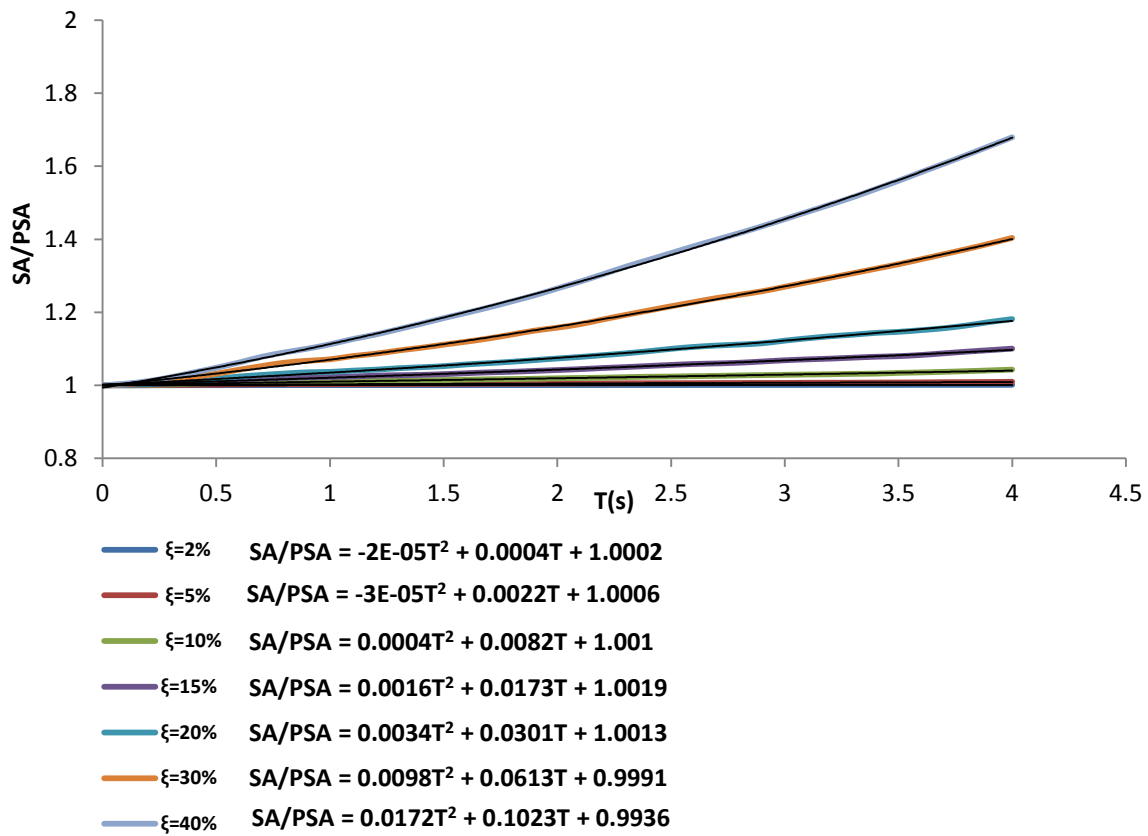


Figura A.7 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SA/PSA. Zona D.

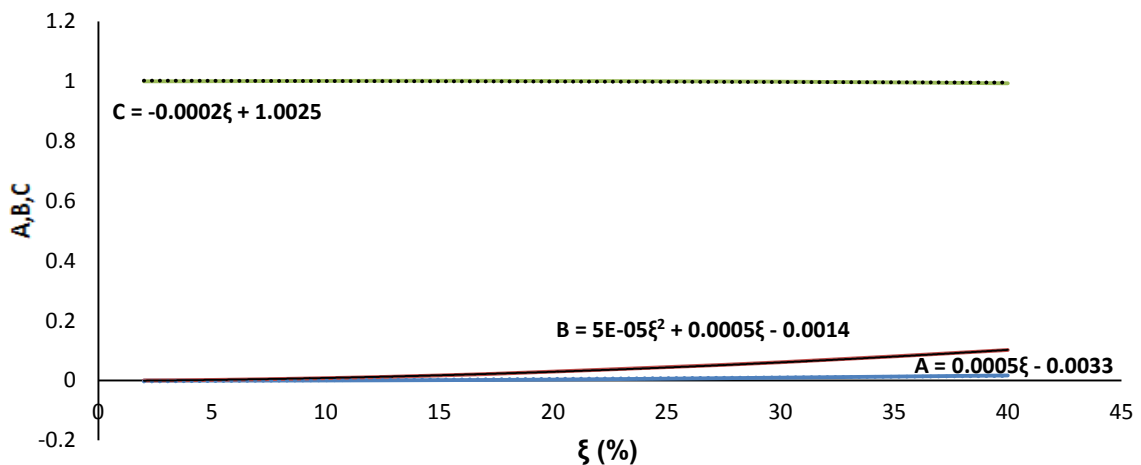


Figura A.8 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona D.

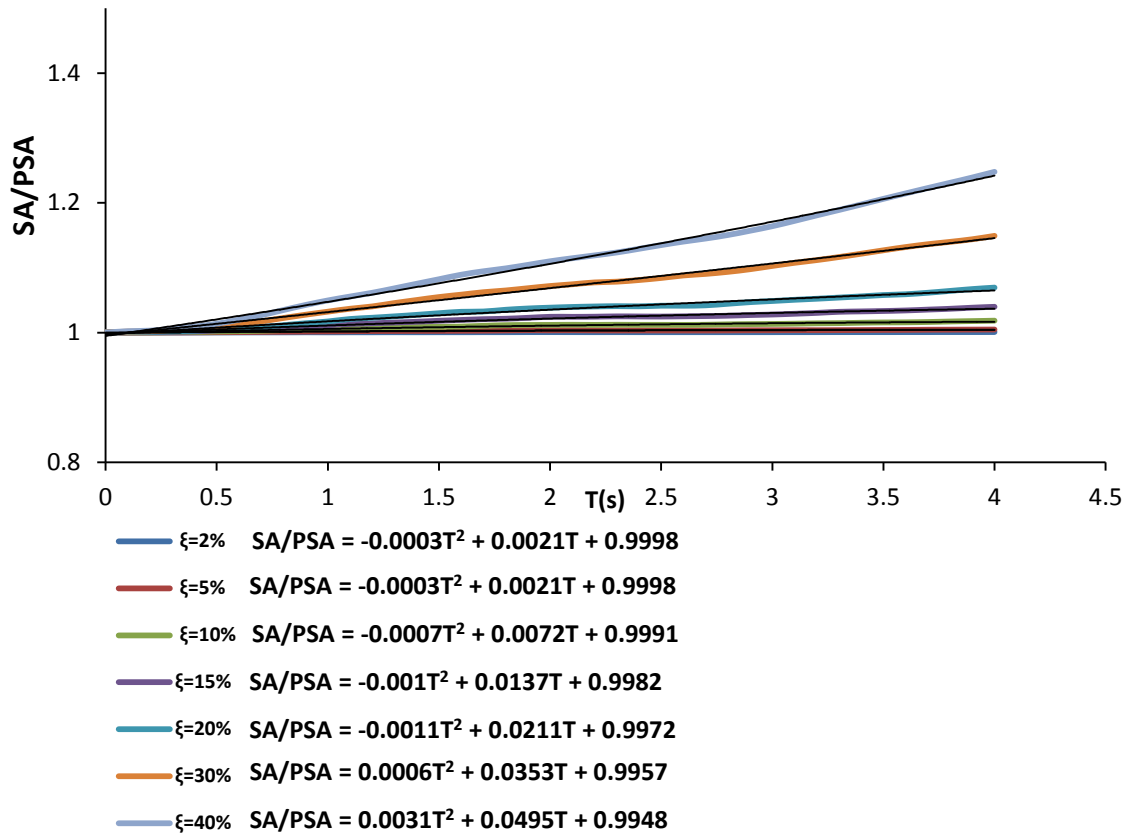


Figura A.9 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SA/PSA. Zona E.

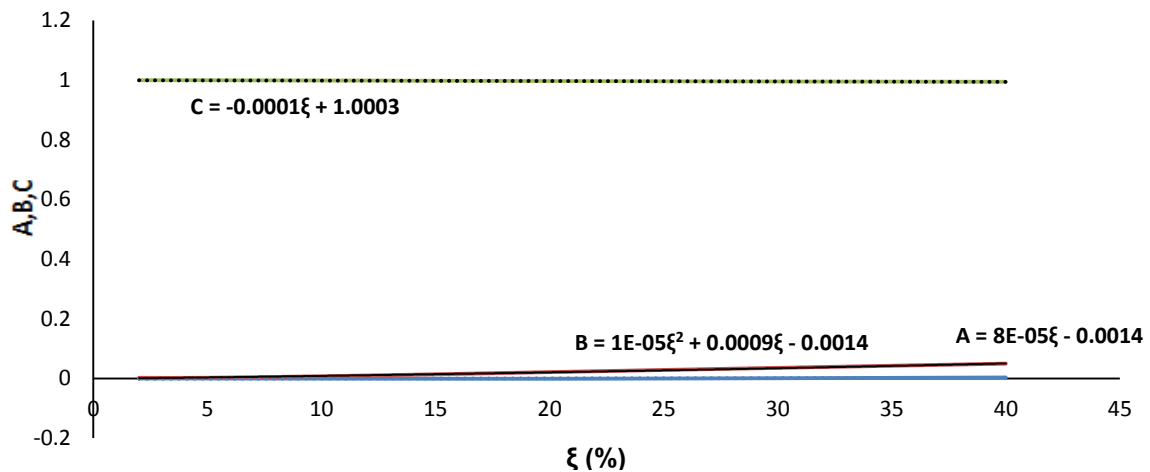


Figura A10. Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona E.

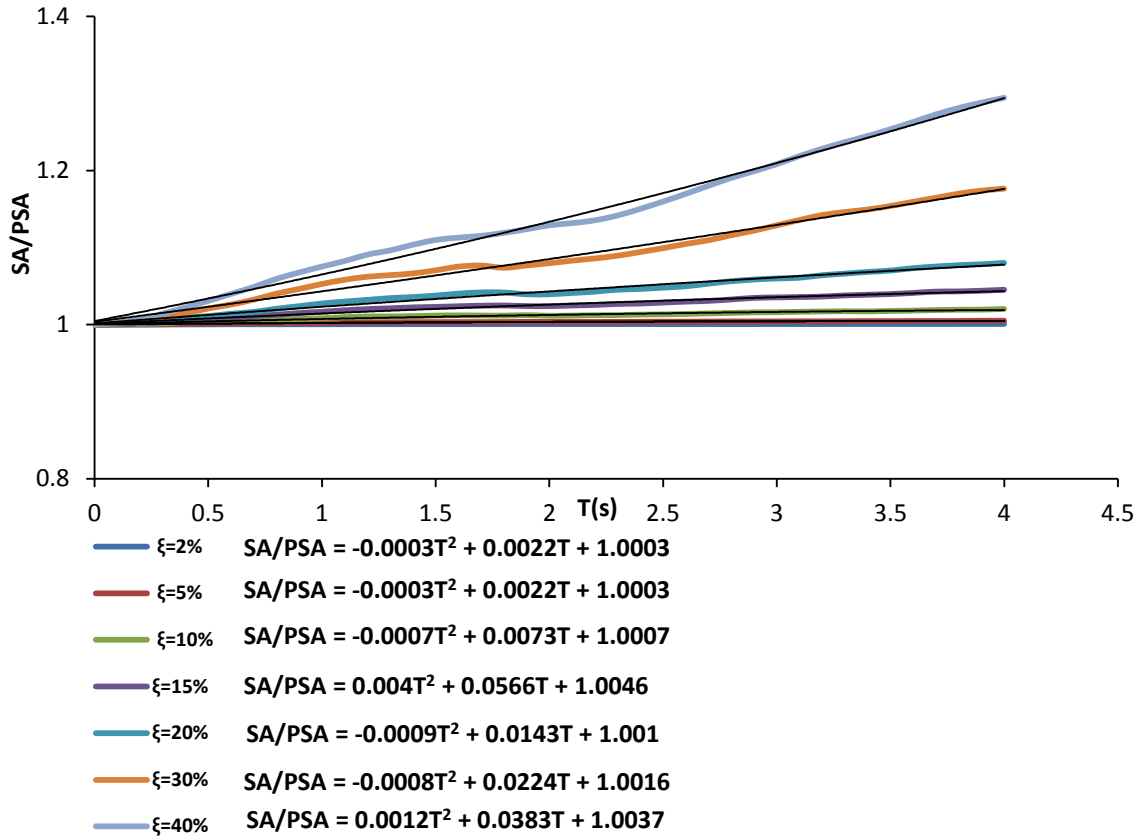


Figura A.11 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SA/PSA. Zona F.

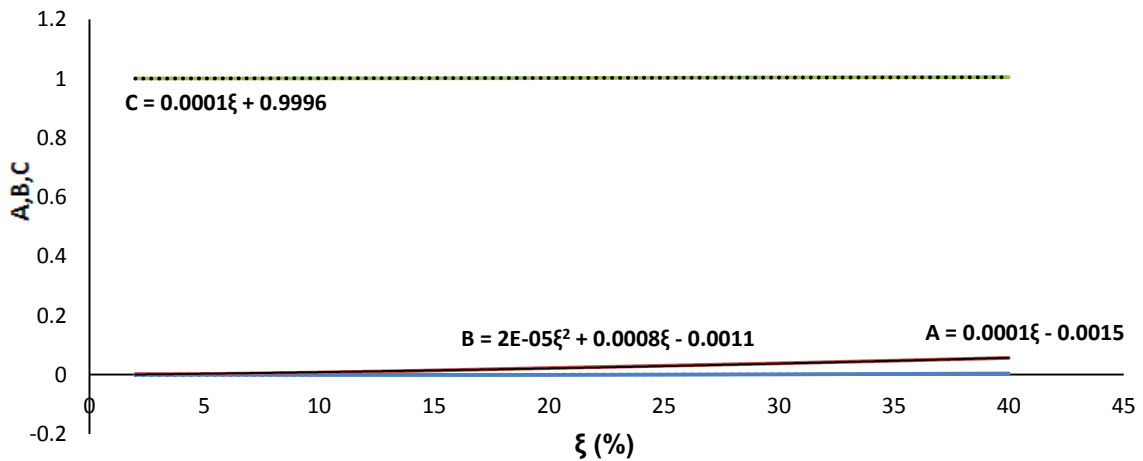


Figura A.12 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona F.

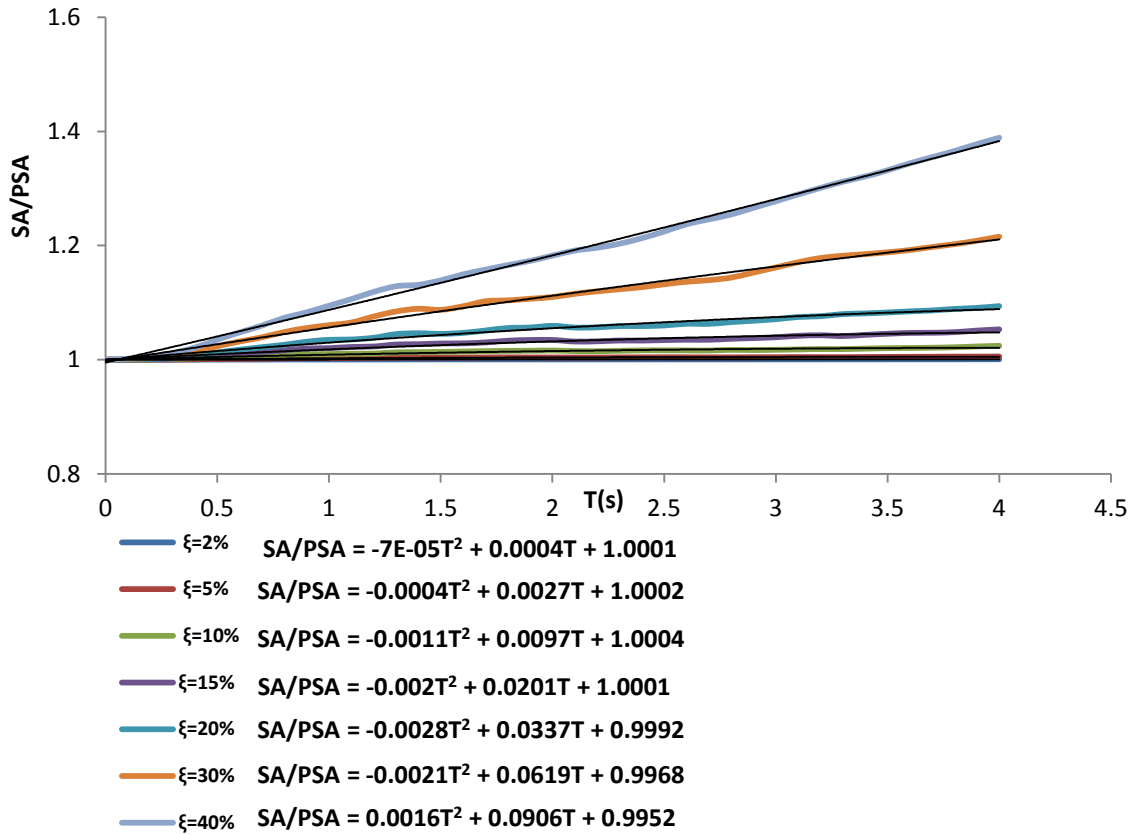


Figura A.13 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SA/PSA. Zona G.

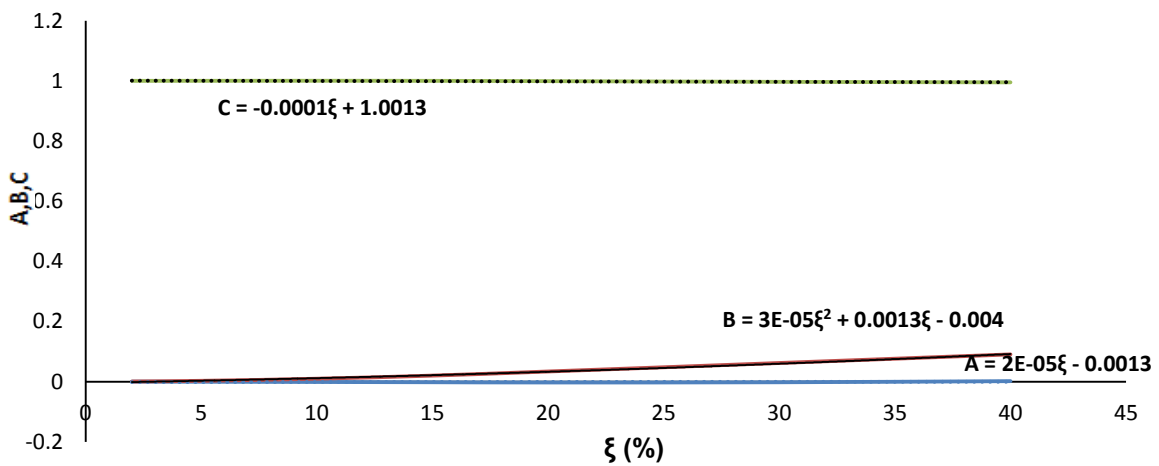


Figura A.14 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona G.

Tabla A.4 Expresiones encontradas para la relación SA/PSA de cada una de las zonas sísmicas del valle de México aquí analizadas

Zona	Expresión
A	$\frac{SA}{PSA} = -0.00013\xi T^2 + 0.0001\xi^2 T + 1$
B	$\frac{SA}{PSA} = -0.00028\xi T^2 + 0.00015\xi^2 T + 1$
C	$\frac{SA}{PSA} = 0.0002\xi T^2 + 0.0001\xi^2 T + 1$
D	$\frac{SA}{PSA} = 0.00006\xi T^2 + 0.0001\xi^2 T + 1$
E	$\frac{SA}{PSA} = 0.00006\xi T^2 + 0.00003\xi^2 T + 1$
F	$\frac{SA}{PSA} = 0.000015\xi T^2 + 0.000028\xi^2 T + 1$
G	$\frac{SA}{PSA} = 0.0001\xi T^2 + 0.00005\xi^2 T + 1$

La expresión general para las relaciones SA/PSA de todas las zonas sísmicas del valle de México es como sigue:

$$\frac{SA}{PSA} = [(-0.000011T^2 + 0.0003T - 0.0003)\xi]T^2 + (0.0001\xi^2)T + 1 \quad (A.5)$$

El proceso para obtener la anterior se describe a continuación.

Se tomaron en cuenta cada una de las expresiones de las relaciones SA/PSA encontradas para cada zona sísmica del valle de México. Observando que todas tienen la siguiente forma:

$$\frac{SA}{PSA} = (a\xi + b)T^2 + (c\xi^2 + d\xi + e)T + (f\xi + g) \quad (A.6)$$

Se realizó un ajuste de acuerdo a las variaciones de los coeficientes a , b , c , d , e , f y g , que presenta cada expresión de la relación SA/PSA.

En la tabla A.5 se presenta la variación de los coeficientes mencionados anteriormente de acuerdo a cada zona analizada. Esta misma sirve para presentar la figura A.16 donde se grafica la variación de esos coeficientes de acuerdo al periodo dominante de cada zona establecido en el presente trabajo en la tabla 3.2, con esto se encuentra la línea de tendencia que más se ajusta a los valores.

Tabla A.5 Tabulación de los valores de los coeficientes a , b , c , d , e , f y g de las expresiones SA/PSA de todas las zonas sísmicas del valle de México

Zonas	T (s)	a	b	c	d	e	f	g
A	.5	-0.00013	0	0.0001	0	0	0	1
B	1	-0.00028	0	0.00015	0	0	0	1
C	1.5	0.0002	0	0.0001	0	0	0	1
D	2	0.00006	0	0.0001	0	0	0	1
E	2.5	0.00006	0	0.00003	0	0	0	1
F	3	0.000015	0	0.000028	0	0	0	1
G	4	0.0001	0	0.00005	0	0	0	1

Una vez encontradas las ecuaciones de ajuste para la variación de los coeficientes a , b , c , d , e , f y g , se dedujo para el coeficiente a una expresión de tipo polinómica de segundo grado, para el b su valor fue de cero, esto después de hacer varios análisis donde se determinó que su valor podía ser cero sin afectar el comportamiento de la expresión global para todas las zonas sísmicas del valle de México aquí estudiadas, para el c se dedujo que la línea de tendencia que más se ajustaba correspondía a una de tipo lineal, para los coeficientes d , e y f se dedujo que sus valores corresponden a cero, esto sin afectar el comportamiento de la expresión final, mientras que para g la variación fue nula, es decir, como se observa en la tabla A.5 para cada una de las zonas su valor fue constante, así que con el debido análisis se observó que manteniendo ese valor la expresión SA/PSA global tenía un buen comportamiento, de tal manera el valor de g se determinó igual a uno. Este proceso se presenta en la figura A.16.

Una vez definidas las formas de las expresiones de las líneas de tendencias para los coeficientes a y c :

$$hT^2 + iT + j = a \quad (\text{A.7})$$

$$kT + l = c \quad (\text{A.8})$$

Resultando entonces:

$$\frac{SA}{PSA} = (hT^2 + iT + j)\xi T^2 + (kT + l)\xi^2 T + 1 \quad (\text{A.9})$$

Se realizó el análisis para encontrar los valores de los coeficientes h , i , j , k y l , con esto dando fin al procedimiento y quedando la expresión final global de la relación SA/PSA de todas las zonas sísmicas del valle de México de la siguiente manera:

$$\frac{SA}{PSA} = (-0.000011T^2 + 0.0003T - 0.0003)\xi T^2 + (0.0001)\xi^2 T + 1 \quad (\text{A.10})$$

$$\frac{SA}{PSA} = (-0.000011T^2 + 0.0003T - 0.0003)\xi T^2 + (0.0001)\xi^2 T + 1 \quad (A.11)$$

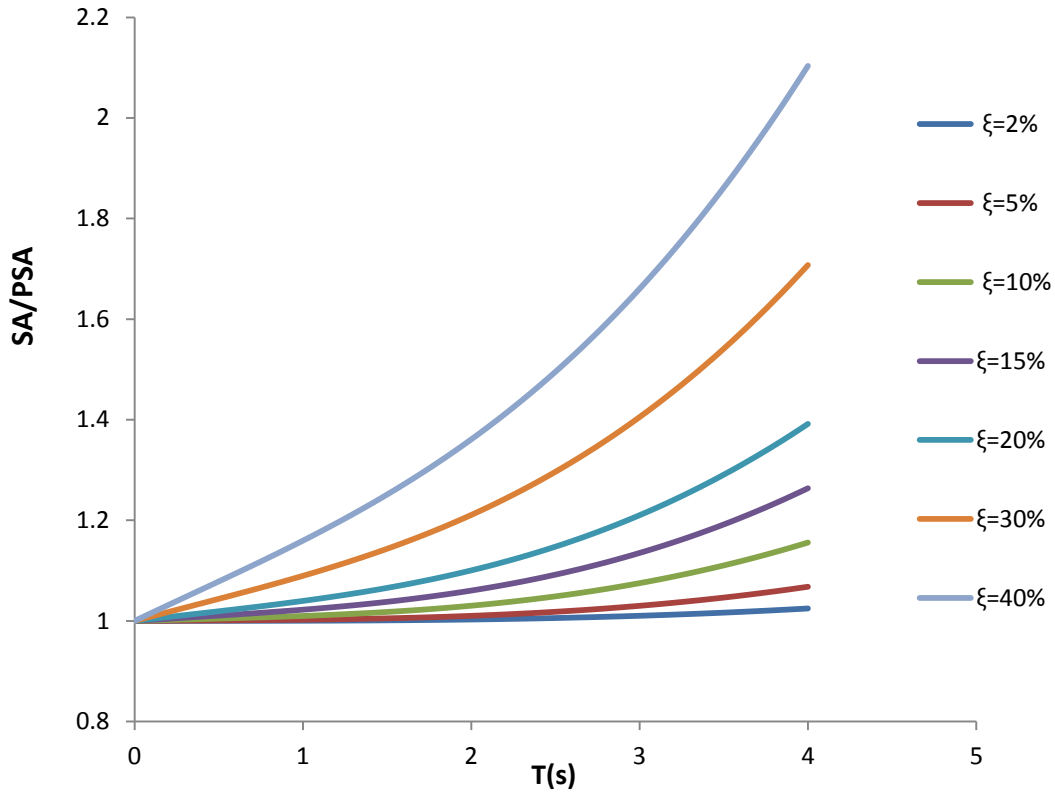


Figura A.15 Expresión general de la relación SA/PSA de la zona sísmica del valle de México.

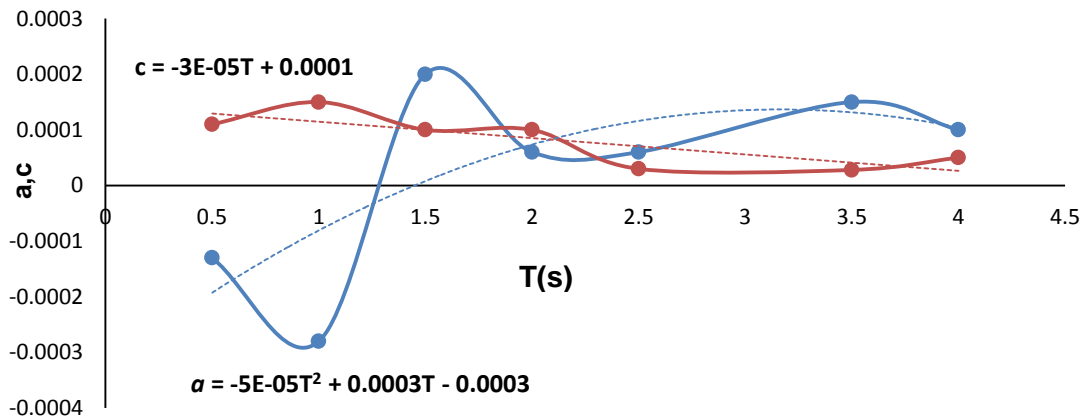


Figura A.16 Variación y ajuste de los coeficientes para generar la expresión general de la relación SA/PSA de la zona del valle de México.

APÉNDICE B

AJUSTE DE CURVAS Y SELECCIÓN DE EXPRESIÓN PARA SV/PSV

En el presente Apéndice se muestra el proceso de ajuste que se llevó a cabo una vez obtenidos los resultados de las relaciones SV/PSV de los registros estudiados en este trabajo.

El proceso fue el siguiente:

1. Se realizó la tabulación de los datos obtenidos de los registros sísmicos mediante el software Excel.
2. El ajuste se realizó mediante la herramienta línea de tendencia el ajuste pertinente para cada comportamiento observado para cada zona sísmica del valle de México.
3. Se obtuvieron las expresiones que se adecuaban al comportamiento de los registros sísmicos estudiados.
4. Mediante el mismo “software” (Excel) se llevó a cabo la obtención de variación de los coeficientes de las líneas de ajustes de cada zona. En este caso se observó que para las zonas A, B, C y D correspondían a la siguiente forma:

$$\frac{SV}{PSV} = (a\xi + b)T^{(c\xi^d)} \quad (B.1)$$

Mientras que para las zonas E, F y G se encontró la siguiente forma:

$$\frac{SV}{PSV} = (a\xi + b)T^{(c\xi+d)} \quad (B.2)$$

Se hicieron variar los valores de a , b , c y d hasta lograr obtener aquellos valores que hicieran tener un comportamiento más cercano al comportamiento obtenido directamente de los registros sísmicos analizados.

A continuación se presenta el resultado del proceso anterior realizado para cada zona.

Las figuras B.1, B.3, B.5, B.7, B.9, B.11 y B.12 representan los pasos número 1, 2 y 3 del proceso descrito anteriormente y las figuras B.2, B.4, B.6, B.8, B.10, B.12 y B.14 representan el paso número 4 del proceso.

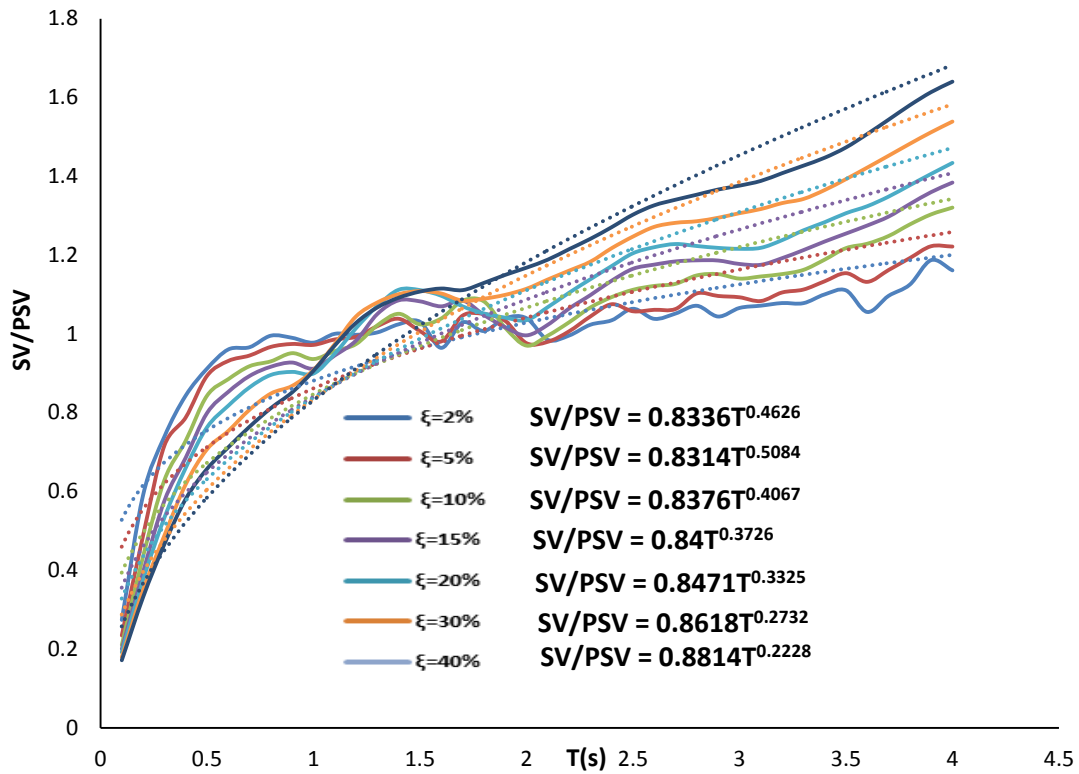


Figura B.1 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SV/PSV. Zona A.

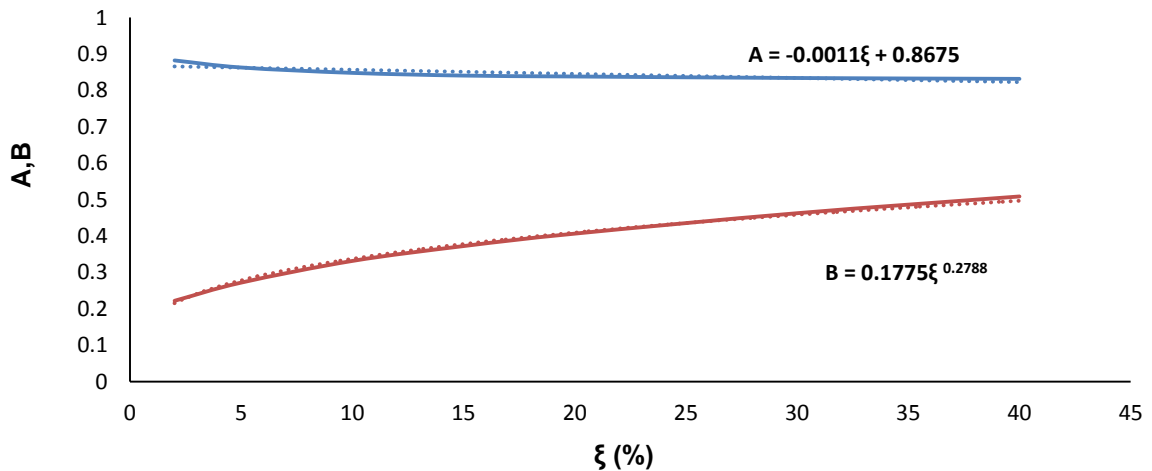


Figura B.2 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona A.

Cada expresión de la figura B.1 representa el ajuste realizado para cada relación SV/PSV con un porcentaje de amortiguamiento distinto. A partir de esto se muestra en la figura B.2, la variación y ajuste de cada uno de estos coeficientes de las expresiones obtenidas en la figura B.1, por ejemplo:

Tabla B.1 Ecuaciones de ajuste de acuerdo al grado de amortiguamiento. Zona A

ξ (%)	Ecuación de ajuste
2	$y = 0.8336T^{0.4626}$
5	$y = 0.8314T^{0.5084}$
10	$y = 0.8376T^{0.4067}$
15	$y = 0.84T^{0.3726}$
20	$y = 0.8471T^{0.3325}$
30	$y = 0.8618T^{0.2732}$
40	$y = 0.8814T^{0.2228}$

Se observa que la línea de tendencia tiene forma exponencial, entonces en la figura B.1 se grafican las variaciones existentes de cada coeficiente como se ve en la tabla B.2.

Tabla B.2 Tabulación de variación de coeficientes para la expresión de tipo exponencial

	$\xi=2\%$	$\xi=5\%$	$\xi=10\%$	$\xi=15\%$	$\xi=20\%$	$\xi=30\%$	$\xi=40\%$
A	0.8336	0.8314	0.8376	0.84	0.8471	0.8618	0.8814
B	0.4626	.5084	0.4067	0.3726	0.3325	0.2732	0.2228

Donde A y B son los coeficientes de la expresión exponencial:

$$AT^B \tag{B.3}$$

El resultado del ajuste de la variación de los coeficientes de la tabla B.2 se presenta en la figura B.2

Una vez encontradas las ecuaciones de ajuste para variación de los coeficientes A y B , se dedujo que el coeficiente A presenta una expresión de tipo lineal, y el B una expresión de tipo exponencial, quedando la siguiente forma la expresión final para la relación SV/PSV:

$$\frac{SV}{PSV} = (a\xi + b)T^{(c\xi^d)} \quad (B.4)$$

Entonces el objetivo es encontrar los valores de a , b , c y d que logren dar resultados óptimos para asemejarse a los valores reales obtenidos de los movimientos sísmicos estudiados para esta zona. La tabla B.3 presenta la tabulación de los valores ajustados para esta zona.

Tabla B.3 Coeficientes a , b , c y d correspondientes a la zona A

A		B	
a	b	c	d
-0.0005	1	0.06	0.46

Por lo que para la zona A se obtuvo la expresión:

$$\frac{SV}{PSV} = (-0.0005\xi + 1)T^{(0.06\xi^{0.46})} \quad (B.5)$$

Para esta zona el resultado de este proceso se muestra en la figura 7.2

El método anterior se aplicó a cada una de las zonas sísmicas del valle de México. El proceso se muestra en las figuras B.3 a la B.8.

La zona A se tomó como ejemplo para desarrollar el procedimiento para llegar a la expresión de su correspondiente relación SV/PSV por ende en las siguientes figuras ya no se muestran las figuras del procedimiento de la zona A.

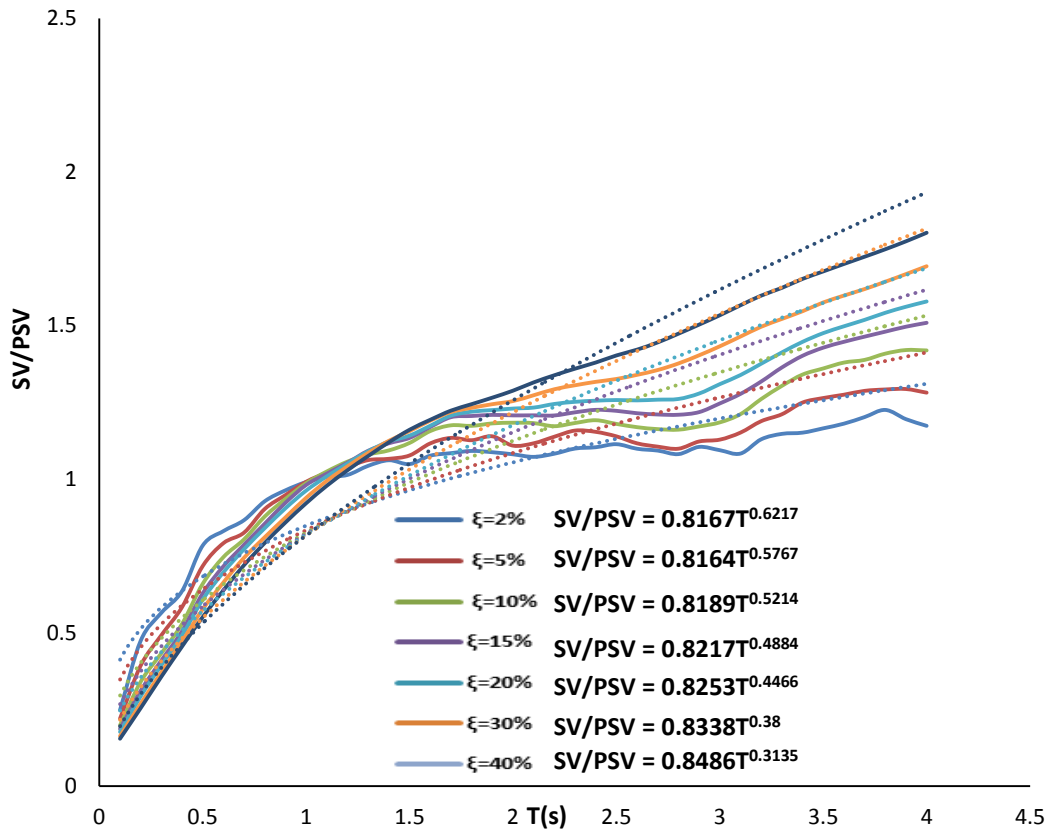


Figura B.3 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SV/PSV. Zona B.

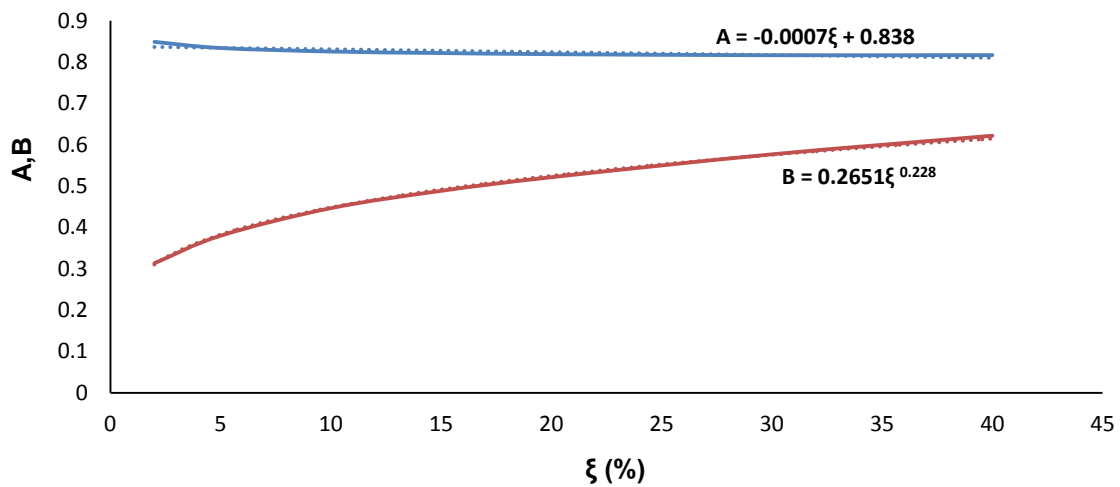


Figura B.4 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona B.

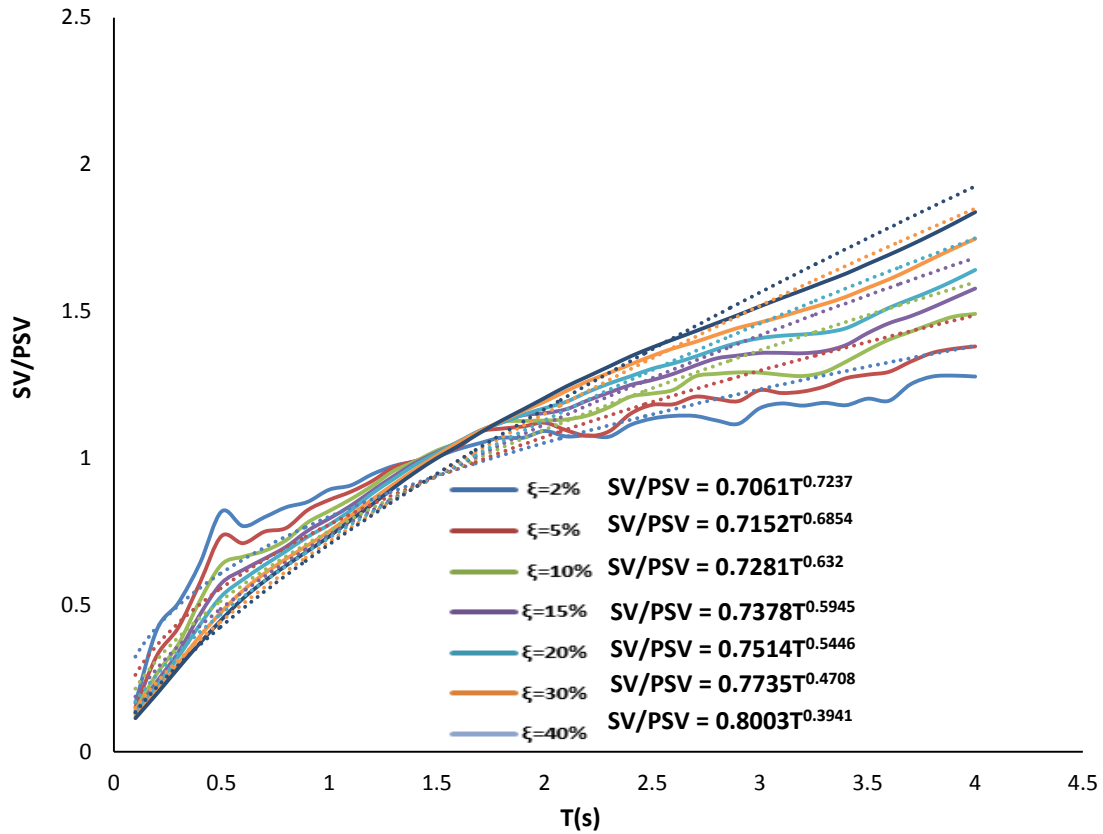


Figura B.5 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SV/PSV. Zona C.

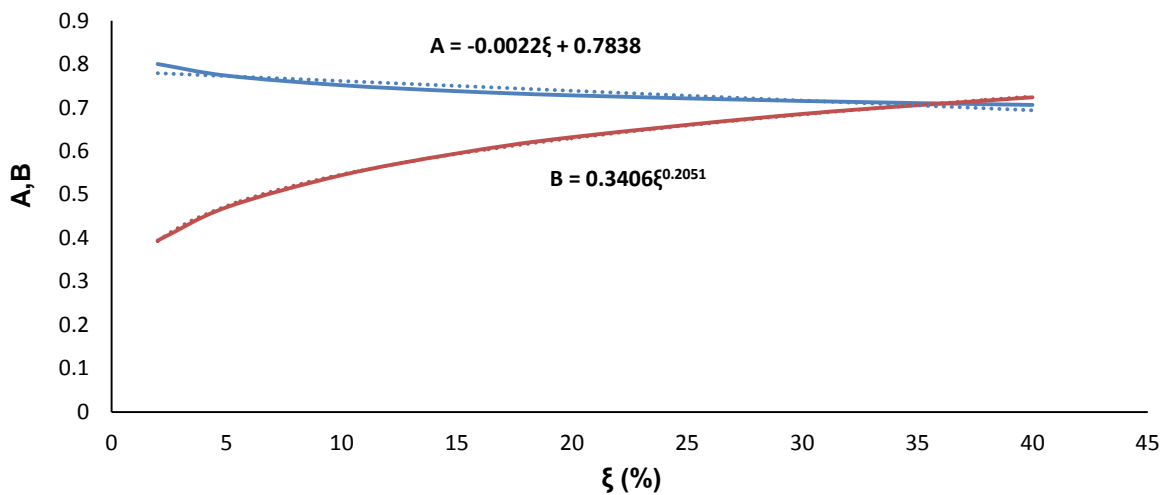


Figura B.6 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona C.

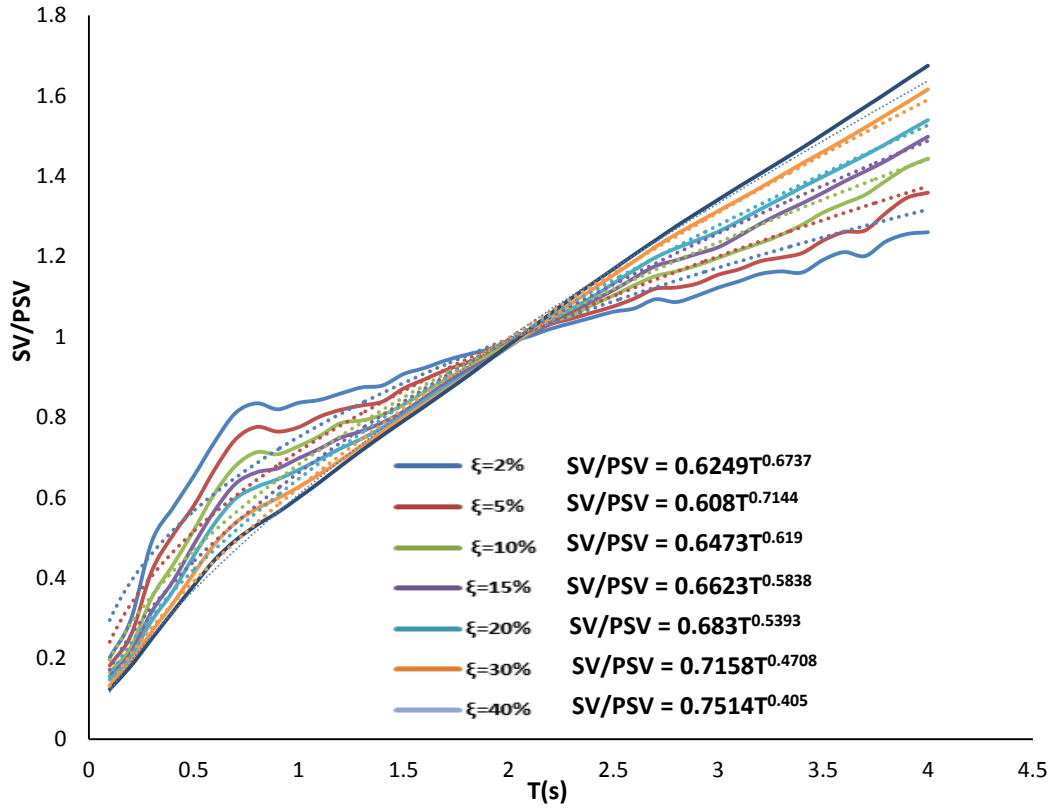


Figura B.7 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SV/PSV. Zona D.

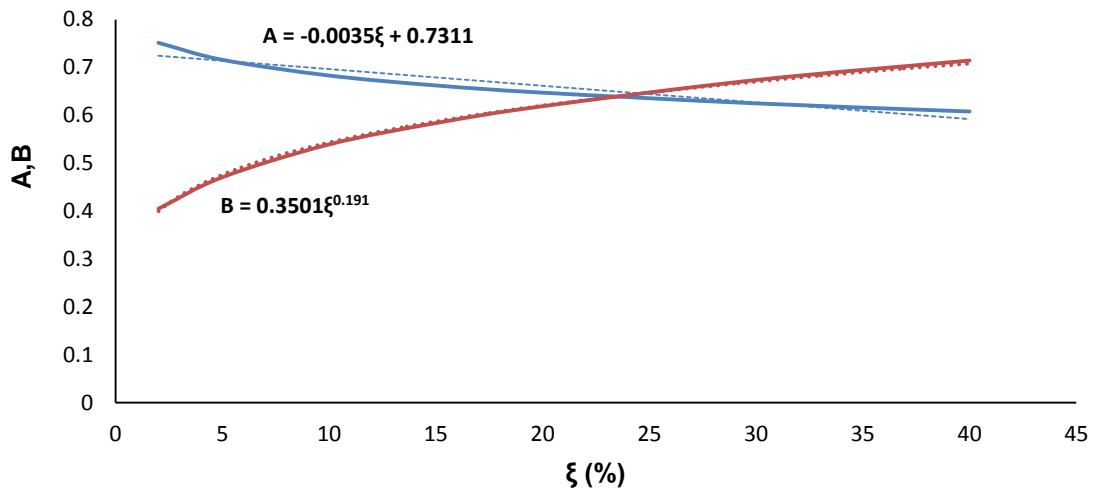


Figura B.8 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona D.

Para las zonas E, F y G la forma de la relación es como sigue:

$$\frac{SV}{PSV} = (a\xi + b)T^{(c\xi+d)} \quad (B.6)$$

En las figuras B.10, B.12 y B.14 se muestra el mejor ajuste que se dio a las variaciones de coeficientes fue mediante una línea de tendencia tipo lineal, y siguiendo el mismo método se obtuvieron las expresiones correspondientes a estas zonas.

La ecuación 7.5 de la relación SV/PSV de la zona E corresponde a las figuras B.9 y B.10.

La ecuación 7.6 de la relación SV/PSV de la zona F corresponde a las figuras B.11 y B.12.

La ecuación 7.7 de la relación SV/PSV de la zona G corresponde a las figuras B.13 y B.14.

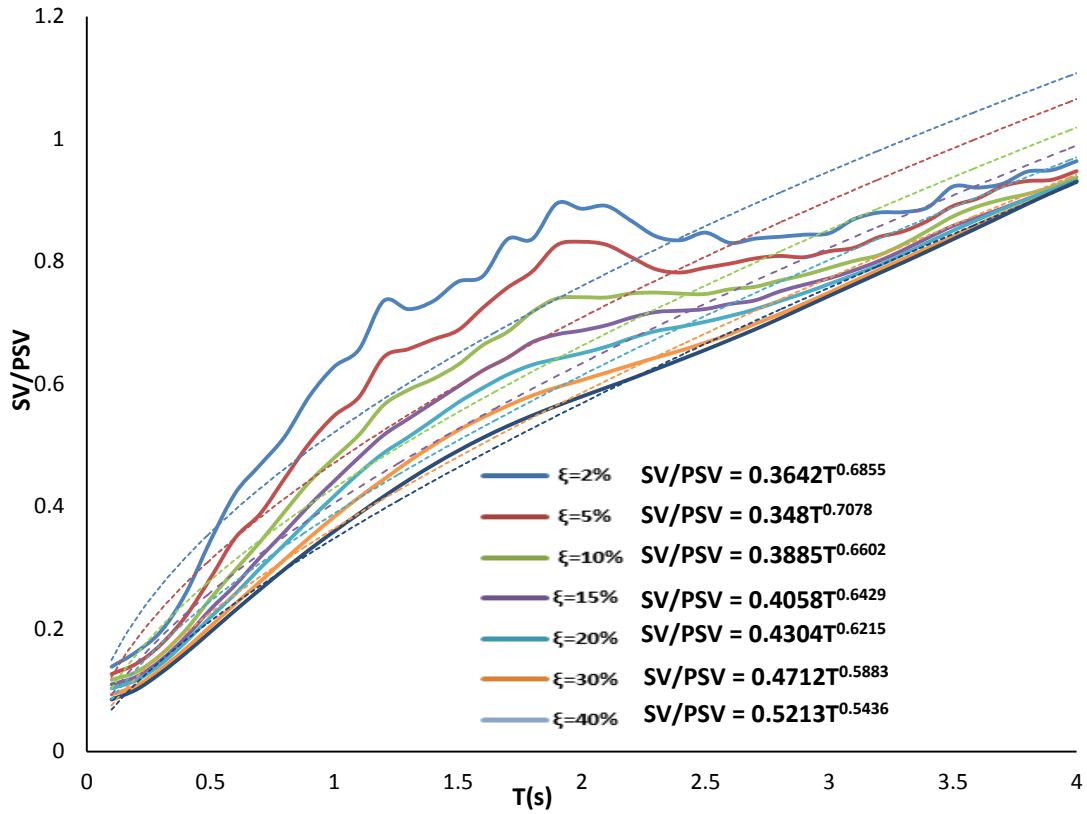


Figura B.9 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SV/PSV. Zona E.

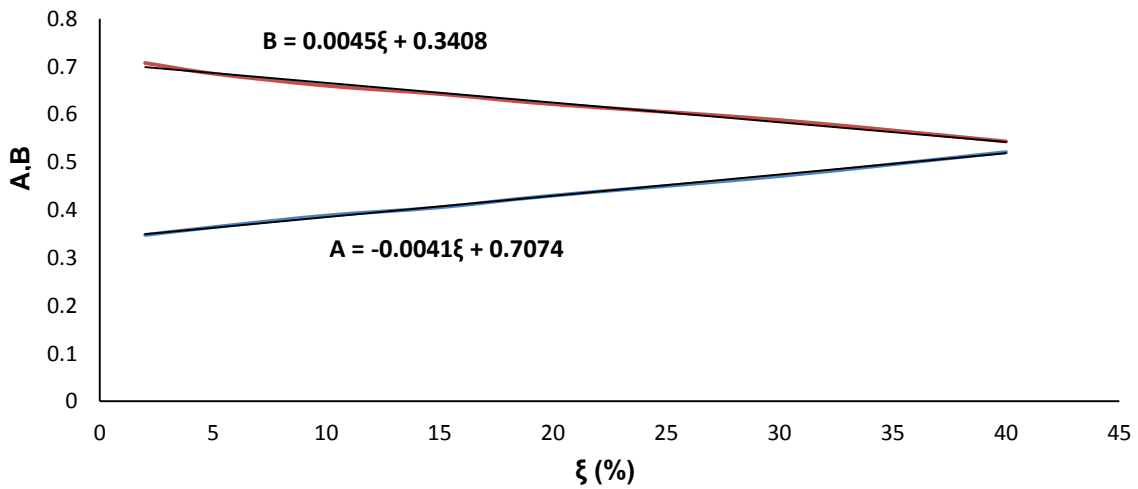


Figura B.10 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona E.

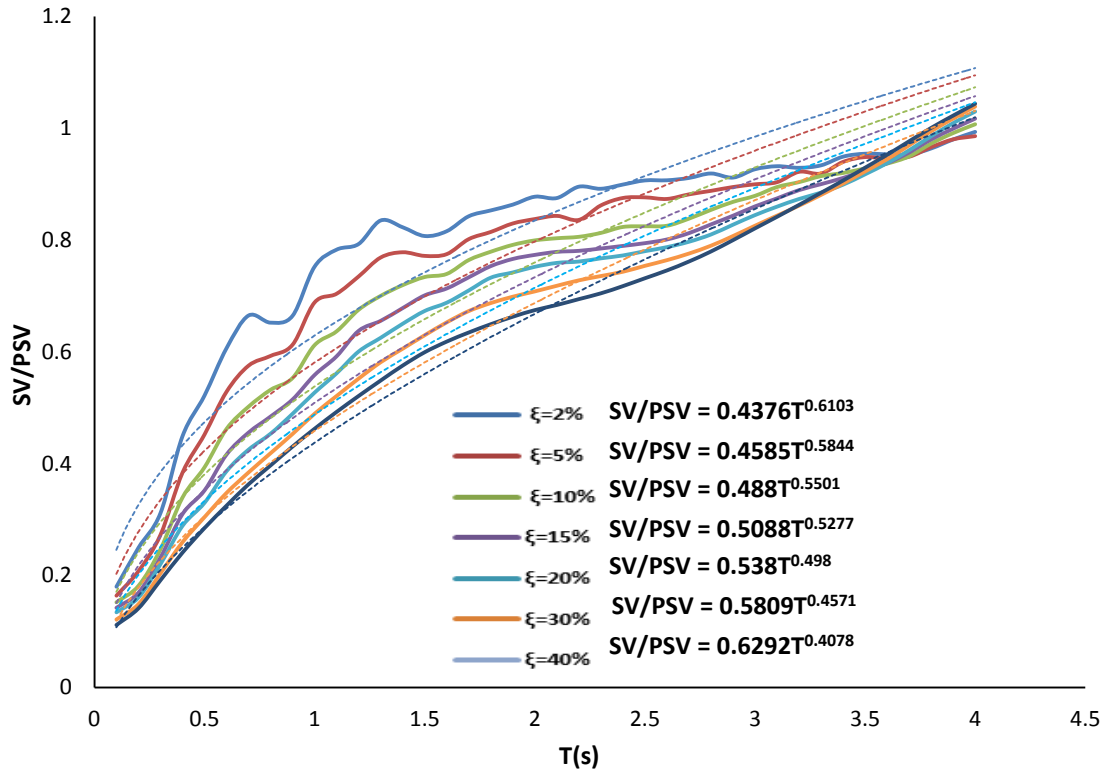


Figura B.11 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SV/PSV. Zona F.

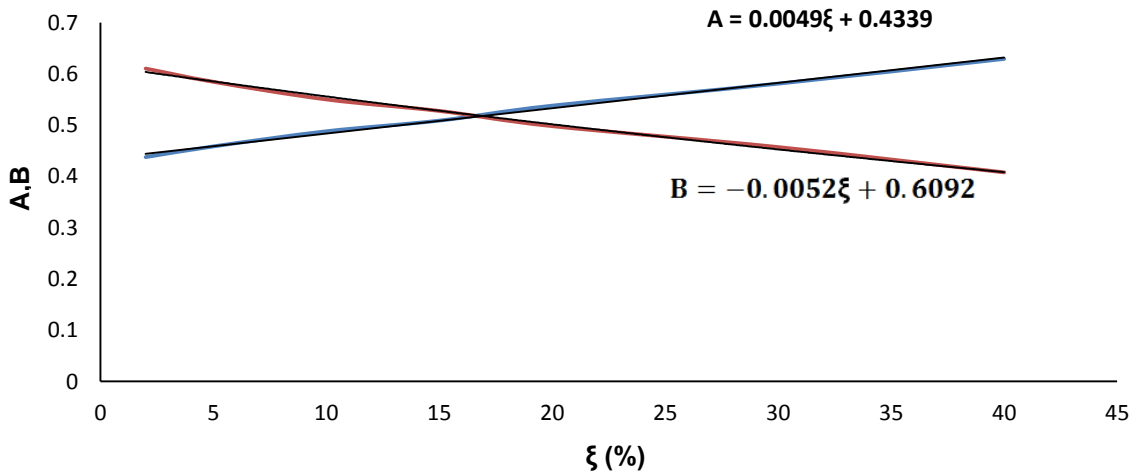


Figura B.12 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona F.

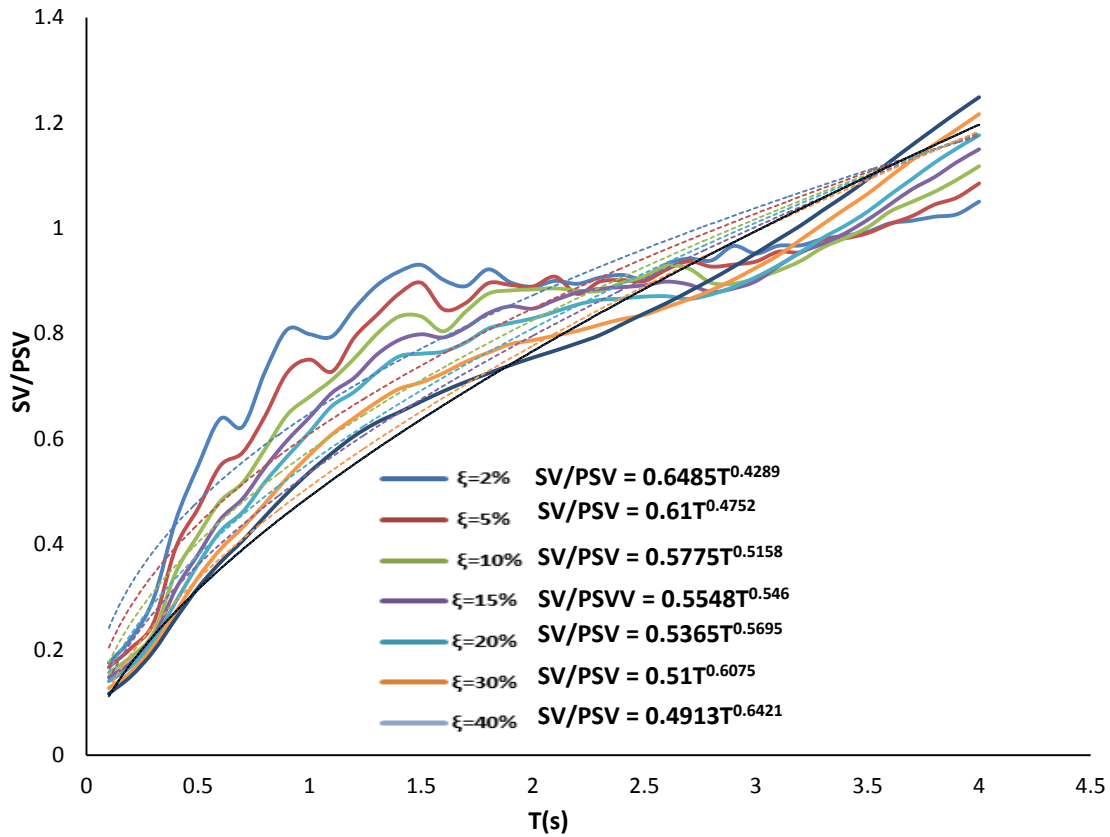


Figura B.13 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SV/PSV. Zona G.

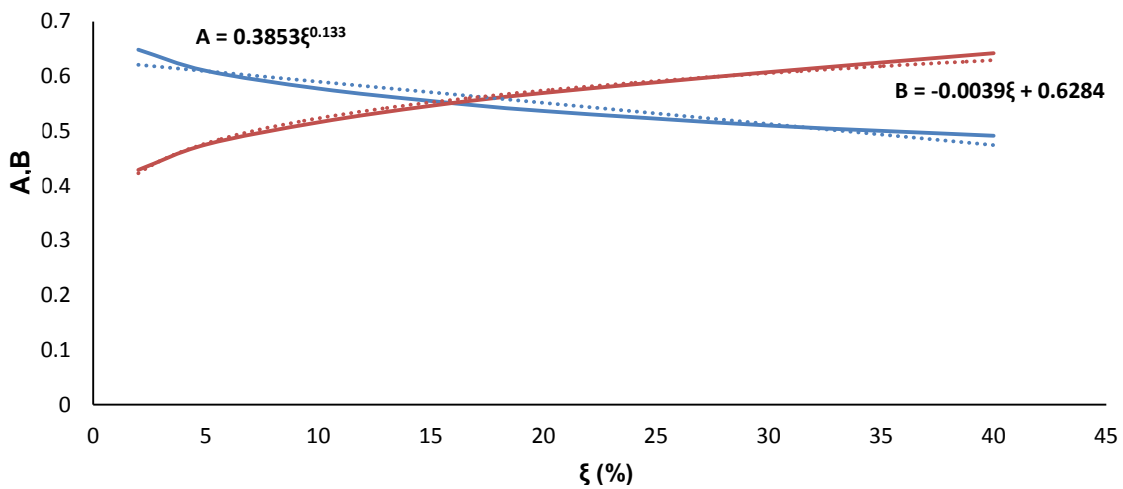


Figura B.14 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zona G.

La expresión general para la relación SV/PSV de todas las zonas sísmicas del valle de México es como sigue:

$$\frac{SV}{PSV} = [(0.003T - 0.0083)\xi + (1.1377)]T^{(-.0053\xi^{(0.79T)})} \quad (B.7)$$

El proceso para obtener la anterior se describe a continuación.

Se tomaron en cuenta cada una de las expresiones de las relaciones SV/PSV encontradas para cada zona sísmica del valle de México.

Tabla B.4 Expresiones encontradas para la relación SV/PSV de cada una de las zonas sísmicas del valle de México aquí analizadas

Zona	Expresión
A	$\frac{SV}{PSV} = (-0.0005\xi + 1)T^{(0.06\xi^{0.46})}$
B	$\frac{SV}{PSV} = (-0.001\xi + 1)T^{(0.1\xi^{0.41})}$
C	$\frac{SV}{PSV} = (-0.0028\xi + 0.925)T^{(0.17\xi^{0.33})}$
D	$\frac{SV}{PSV} = (-0.0065\xi + 0.83)T^{(0.25\xi^{0.3})}$
E	$\frac{SV}{PSV} = (0.0075\xi + 0.37)T^{(-0.0097\xi+0.66)}$
F	$\frac{SV}{PSV} = (0.0075\xi + 0.4)T^{(-0.0097\xi+0.66)}$
G	$\frac{SV}{PSV} = (-0.0078\xi + 0.47)T^{(-0.47\xi+0.61)}$

Las zonas A, B, C y D se ajustaron a la forma:

$$\frac{SV}{PSV} = (a\xi + b)T^{(c\xi^d)} \quad (B.8)$$

Las zonas E, F y G se ajustaron a la forma:

$$\frac{SV}{PSV} = (a\xi + b)T^{(c\xi+d)} \quad (B.9)$$

Se realizó un análisis para determinar la forma de la expresión general para la relación SV/PSV de todas las zonas sísmicas del valle de México, este análisis contó con la tabulación y ajuste de los valores de los coeficientes a , b , c y d como se ha visto en ajustes anteriores, esto para ambas, formas. En base a los resultados se dedujo que la forma de la expresión general sería:

$$\frac{SV}{PSV} = (a\xi + b)T^{(c\xi^d)} \quad (B.10)$$

En la tabla B.5 se presenta la variación de los coeficientes mencionados anteriormente de acuerdo a cada zona analizada. Esta misma sirve para presentar la figura B.16 donde se grafica la variación de esos coeficientes de acuerdo al periodo dominante de cada zona, establecido en el presente trabajo en la tabla 3.2, con esto se encuentra la línea de tendencia que más se ajusta a los valores.

Tabla B.5 Tabulación de los valores de los coeficientes a , b , c y d de las expresiones SV/PSV de todas las zonas sísmicas del valle de México

Zonas	T (s)	a	b	c	d
A	.5	-0.0005	1	0.06	0.46
B	1	-0.001	1	0.1	0.41
C	1.5	-0.0028	0.925	0.17	0.33
D	2	-0.0065	0.83	0.25	0.3
E	2.5	0.0075	0.37	-0.0097	0.66
F	3	0.0075	0.4	-0.0097	0.66
G	4	0.0078	0.47	-0.47	0.49

Una vez realizados los ajustes se determinó que cada una de las expresiones de ajuste de los coeficientes serían del tipo lineal como se muestra en la figura B.16. Esto debido a que con esto se logra tener una expresión general para la relación SV/PSV de todas las zonas sísmicas del valle de México congruente en tamaño y forma.

Resultando entonces:

$$\frac{SV}{PSV} = (a\xi + b)T^{(c\xi^d)} \quad (B.11)$$

La figura B.11 representa la forma de la expresión general para la relación SV/PSV de todas las zonas sísmicas del valle de México, mientras que la ecuación B.12 representa la expresión anterior desglosada con sus tipos de ajuste, los cuales se observan en la figura B.16, es decir la línea de ajuste del coeficiente a esta representada por la ecuación con los coeficientes e y f , para b se obtuvo un ajuste mediante una línea de tendencia cuya ecuación se pudo ajustar al valor de g de igual manera para el coeficiente c y d , con sus correspondientes valores h e i , dando como resultado la ecuación B.12.

$$\frac{SV}{PSV} = [(eT + f)\xi + g]T^{(h\xi^i)} \quad (B.12)$$

Se realizó el análisis para encontrar los valores de los coeficientes e , f , g , h e i , con esto dando fin al procedimiento y quedando la expresión final global de la relación SV/PSV de todas las zonas sísmicas del valle de México de la siguiente manera:

$$\frac{SV}{PSV} = [(0.003T - 0.0083)\xi + (1.1377)]T^{(-.0053\xi^{(.079T)})} \quad (B.13)$$

$$\frac{SV}{PSV} = [(.003T - 0.0083)\xi + (1.1377)]T^{(-.0053\xi^{(0.079T)})} \quad (B.14)$$

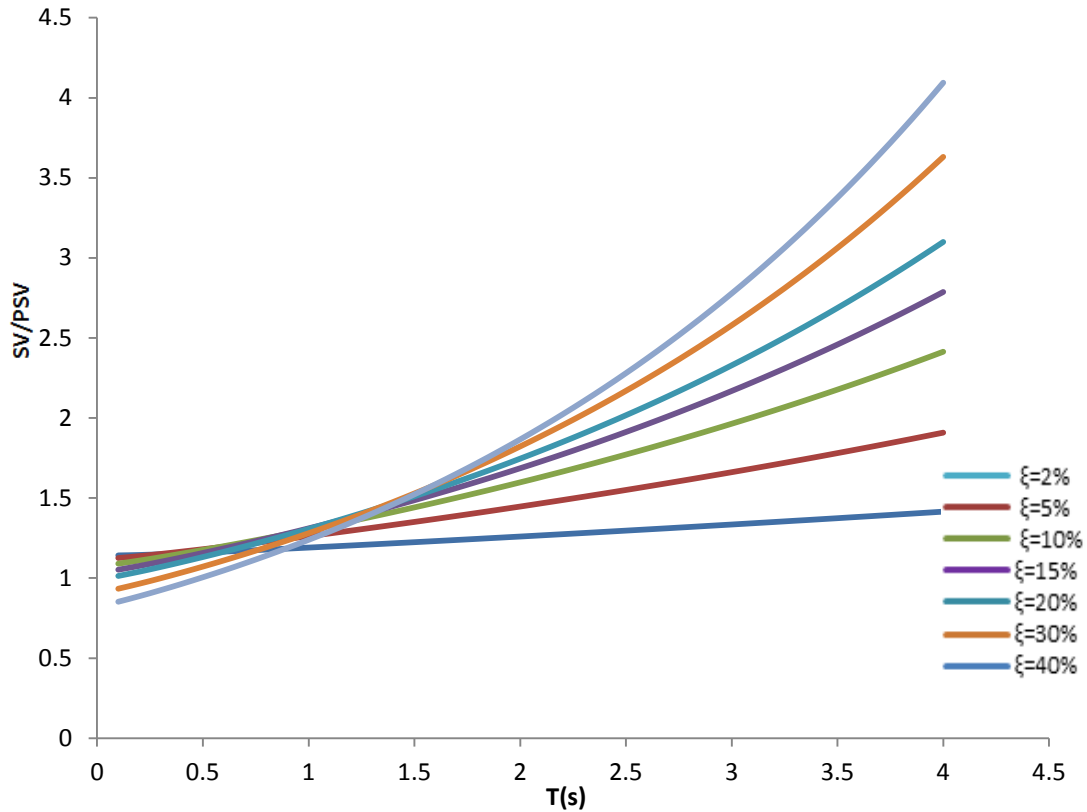


Figura B.15 Ajuste mediante líneas de tendencia para el comportamiento de SV/PSV. Zonas sísmicas del valle de México.

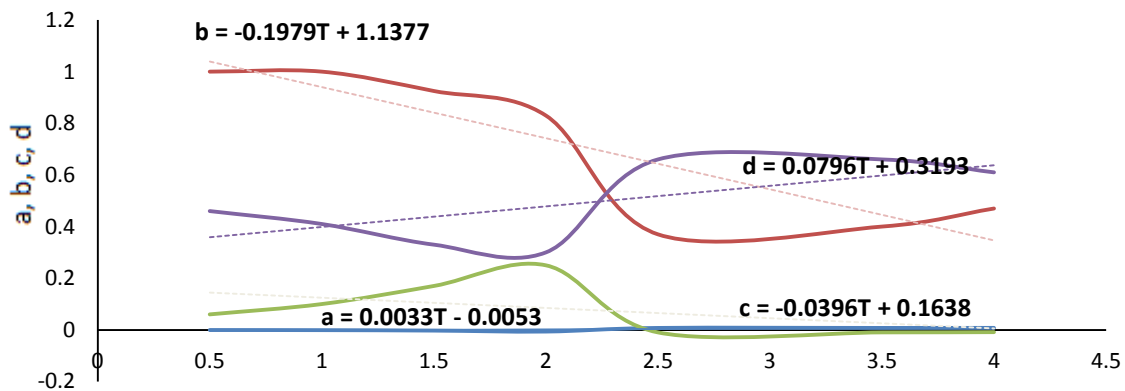


Figura B.16 Representación de la variación de los coeficientes, con sus respectivas líneas de tendencia. Zonas sísmicas del valle de México.

Tabla B.6 Coeficientes a, b, c y d con sus correspondientes expresiones de ajuste

Coeficiente	Expresión de ajuste
a	$y = -0.0396T + 0.1638$
b	$y = -0.1979T + 1.1377$
c	$y = 0.0033T - 0.0053$
d	$y = 0.0796T + 0.3193$