



01161

Universidad Nacional Autónoma de México

División de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería

Amplificación de los Desplazamientos de Aisladores de Base por Efectos Bidireccionales

TESIS

Para obtener el grado de:

Maestro en Ingeniería (Estructuras)

PRESENTA

Miguel Ángel Pérez Osornio

Dirigida por:

Dr. Arturo Tena Colunga

Permiso a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Miguel Ángel Pérez Osornio

FECHA: 14 - Octubre - 2004

FIRMA:

México DF, 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1: Antecedentes sobre reglas de combinación por efectos bidireccionales horizontales en estructuras en general	5
Estudios previos	5
Figuras.....	10
Capítulo 2: Modelo estructural en estudio	13
Introducción	13
Características generales de la estructura.....	14
Propiedades de la superestructura (estructura en base rígida).....	14
análisis de la superestructura.....	14
Determinación de las propiedades de los aisladores de comportamiento elástico lineal.....	14
Determinación de las propiedades de los aisladores de comportamiento inelástico bilineal	16
Tablas	18
Figuras.....	21
Capítulo 3: Base de datos utilizada para el presente estudio.....	25
Introducción	25
Sismicidad en México	26
Regiones sísmicas en México	26
Criterios generales de selección de acelerogramas.....	26
Identificación de los acelerogramas seleccionados para aisladores de comportamiento elástico lineal	27
Criterios de escalamiento y selección de acelerogramas para aisladores de comportamiento bilineal.....	28
Identificación de los acelerogramas seleccionados para aisladores de comportamiento bilineal	29
Tablas	30
Figuras.....	66

Capítulos 4: Factores de amplificación de los desplazamientos de los aisladores de base de comportamiento elástico lineal por efectos bidireccionales.....	83
Descripción del procedimiento de análisis utilizado.....	83
Criterio estadístico utilizado.....	86
Discusión de los resultados observados.....	86
Función de amplificación propuesta.....	87
Tablas.....	89
Figuras.....	93

Capítulos 5: Factores de amplificación de los desplazamientos de los aisladores de base de comportamiento bilineal por efectos bidireccionales.....	105
Descripción del procedimiento de análisis utilizado.....	105
Criterio estadístico utilizado.....	106
Discusión de los resultados observados para cada zona.....	106
zona B-I.....	106
zona C-I.....	108
zona D-I.....	110
Funciones de amplificación propuestas para cada zona.....	111
zona B-I.....	112
zona C-I.....	112
zona D-I.....	113
Funciones de amplificación propuestas de demandas de ductilidad para cada zona.....	114
zona B-I.....	114
zona C-I.....	115
zona D-I.....	116
Figuras.....	117

Capítulos 6: Comparación de los factores de amplificación por efectos bidireccionales.....	143
Introducción.....	143
Comparaciones con la regla del 100%+30%.....	143
caso lineal.....	143
caso no-lineal.....	144
Comparaciones entre comportamiento elástico lineal e inelástico bilineal.....	145
Figuras.....	148

Capítulos 7: Resumen y conclusiones.....	155
---	------------

Referencias.....	163
-------------------------	------------

Introducción

Gracias a los recientes adelantos en los métodos de análisis de estructuras (aisladas sísmicamente o no), y al aumento de las investigaciones hechas para considerar los efectos ortogonales, se han dado en los últimos 40 años las primeras reglas prácticas de combinación que permitieron implantar la regla de combinación del 100%+30% por efectos bidireccionales, que hoy en día es tan popular en los principales reglamentos de diseño sísmico del mundo.

Con respecto a las reglas de combinación de acciones bidireccionales para estructuras con aislamiento sísmico, las recomendaciones de diseño del reglamento UBC desde su versión de 1991 ha propuesto aumentar un 30% en los espectros de diseño para considerar los efectos bidireccionales. Esta consideración reglamentaria supone basarse en la regla del 100%+30%, pero como se comenta en el capítulo 6, no son siquiera equivalentes.

Además, el UBC indirectamente ha establecido los desplazamientos de diseño para los aisladores a partir del espectro de diseño de aceleración para estructuras convencionales, en vez de hacerlo transparentemente a partir de un espectro de desplazamientos. Por lo tanto, los desplazamientos asociados a dicho espectro en el intervalo de periodos donde se define la meseta no son rigurosamente proporcionales a los que se definirían procesando independientemente un espectro de desplazamientos y, por tanto, pueden resultar inapropiados para el diseño de sistemas de aislamiento.

Por tal motivo, en este trabajo se trata de dar un mejor enfoque para tomar en cuenta los efectos bidireccionales para obtener los desplazamientos de diseño en estructuras con aislamiento sísmico.

En el capítulo 2 se presenta una breve explicación de cómo en las últimas décadas en nuestro país se ha ido incrementando el interés en el uso de sistemas de aislamiento como control activo, por su versatilidad y capacidad de mantener a las estructuras dentro de los estados límites de servicio y resistencia ante las acciones sísmicas. Para el desarrollo de este estudio paramétrico en particular, se presentan las propiedades del modelo analítico empleado, así como las propiedades de los aisladores lineales y bilineales, considerando periodos en base aislada (T_a) siguiendo las recomendaciones del UBC.

En el capítulo 3 se presenta la selección y filtración de acelerogramas de la Base Mexicana de Sismos Fuertes con características de suelo firme (roca), registrados en estaciones cercanas a la zona de subducción de la costa mexicana del Pacífico, para estudiar las amplificaciones y sus respectivas desviaciones, con la finalidad de obtener expresiones simples que permitan tomar en cuenta los efectos bidireccionales en el diseño de aisladores sísmicos.

Algunos requisitos para la selección de los acelerogramas fueron que: (1) deberán pertenecer a sismos de magnitudes mayor o iguales a 6.5, (2) las aceleraciones máximas del terreno estén cercanas a 10 cm/seg^2 en ambas componentes ortogonales y, (3) que la curva de la integral correspondiente a la intensidad de Arias sea adecuada. De lo anterior, este estudio aceptó 154 pares de acelerogramas organizados en 13 eventos sísmicos, como se explicara con detalle en el capítulo 3.

Se realiza primero un estudio paramétrico que considera un comportamiento elástico lineal de los aisladores, empleando la base de datos depurada, tomando para cada registro sus componentes N-S y E-W, para elaborar los archivos de datos que requiere el programa 3D-BASIS.

Para el caso del estudio paramétrico que considera el comportamiento no-lineal de los aisladores, los acelegramas seleccionados para el análisis lineal se escalaron de manera que tuvieran la misma aceleración espectral para un periodo efectivo dado. En este estudio, dicha ordenada espectral de aceleración corresponde a los espectros de diseño de las zonas D-I, C-I y B-I propuestos por el Manual de Obras Civiles de 1993 (MOC-93), seleccionando el valor del periodo $T=2.24\text{seg}$.

Para el estudio paramétrico con aisladores bilineales, se considera una pendiente posterior a la fluencia del 10%, además de los siguientes valores de cortante de fluencia para cada zona sísmica en estudio, según la zonificación del Manual de Obras Civiles de 1993 (MOC-93, 1993):

$$\text{Zona B-I} \begin{cases} V_y = 3\% \\ V_y = 5\% \end{cases} \quad \text{Zona C-I} \begin{cases} V_y = 8\% \\ V_y = 10\% \end{cases} \quad \text{Zona D-I} \begin{cases} V_y = 8\% \\ V_y = 10\% \\ V_y = 12\% \end{cases}$$

En el capítulo 4 se describe la metodología empleada para obtener los factores de amplificación de los desplazamientos de los aisladores con comportamiento elástico lineal por efectos bidireccionales y el procedimiento de análisis del modelo estructural con base aislada. Se emplearon los 154 pares de acelerogramas correspondientes a los 13 eventos sísmicos diferentes.

Se define la componente dominante normalizada, considerando el criterio de la mínima sumatoria de los factores de amplificación (promedio "pesado"), con base en un criterio energético evaluado de manera indirecta. También se realiza un estudio paramétrico que considera los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max}\text{BID}$) y la componente dominante ($D_{\max}\text{UNI}$), evaluándolos primero considerando a cada evento independientemente, con el fin de determinar si existe alguna relación fuerte entre los factores de amplificación y las características de cada evento, donde se trata de concluir si estas respuestas máximas están ó no están directamente relacionadas entre sí, y también si existe o no una relación en función de la magnitud.

Paralelamente a este estudio, se evalúan los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max}\text{BID}$) y la componente dominante ($D_{\max}\text{UNI}$) correspondientes a la media, la media más una desviación estándar y la media más vez y media la desviación estándar, considerando los 154 registros acelerográficos. Por último, se definen en este capítulo expresiones prácticas simples (una recta) como propuesta de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) y la media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$).

De manera análoga, en el capítulo 5 se presenta la metodología empleada para obtener los factores de amplificación de los desplazamientos de los aisladores de base de comportamiento bilineal por efectos bidireccionales. Para este estudio, se analizaran 73 pares de acelerogramas para la zona D-I, 90 pares para la zona C-I y, 135 pares para la zona B-I, que corresponden a 13 eventos sísmicos diferentes, siguiendo el criterio de escalamiento definido en el capítulo 3.

Se realiza un estudio paramétrico para evaluar los factores de amplificación máximos para la media y la media más una desviación estándar ($X+1.5\sigma$), de cada uno de los cortantes de fluencia correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los

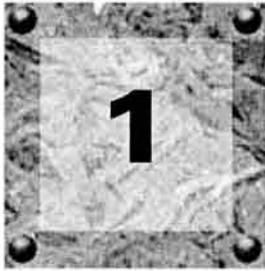
desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante ($D_{\max} \text{BID}/D_{\max} \text{UNI}$) de cada una de las zonas en estudio, con el fin de determinar si existe alguna relación fuerte entre los factores de amplificación de cada uno de los cortantes de fluencia para distintas zonas, si son semejantes en el intervalo de periodos considerado, o si sus características pueden depender de las características del sismo.

Para definir las envolventes de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) y la media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$) en el intervalo de periodos de interés, se decidió emplear ecuaciones prácticas y simples de primer orden correspondientes a los distintos cortantes de fluencia de las zonas B-I, C-I y D-I, para los factores de amplificación máximos.

En este capítulo también se estudian las relaciones entre el periodo de vibración en base aislada (T_a) y el cociente obtenido del desplazamiento dinámico máximo normalizado con el desplazamiento de fluencia del aislador para cada caso (demanda de ductilidad), ante la correspondiente componente dominante. Para las demandas de ductilidad correspondientes a los distintos cortantes de fluencia de las zonas B-I, C-I y D-I, se proponen funciones suaves exponenciales simples para definir una envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) y la media más vez y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$) en el intervalo de periodos de interés.

Para ambos estudios presentados en los capítulos 4 y 5, se presentan las respuestas medias de los efectos bidireccionales de todas las simulaciones realizadas, además de la media más una desviación estándar, asociada este último criterio a una función de densidad de probabilidad acumulada de 0.8413, que se considera un criterio razonable en ingeniería civil. El criterio estadístico correspondiente a la media más vez y media la desviación estándar está asociado a una función de densidad de probabilidad acumulada de 0.9332, y se incluyó en el estudio tomando en cuenta que algunos ingenieros sienten que en el diseño de aisladores sísmicos, se deben tomar criterios estadísticos más conservadores.

Finalmente, en el capítulo 6, se comparan los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis lineal y los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis no lineal con la regla del 100%+30%, donde las interrogantes son si realmente esta regla para combinar efectos bidireccionales es aplicable también al diseño por desplazamientos, si es independiente del periodo de la estructura y de las características de los movimientos del terreno y si es segura. Además, se comparan también los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis lineal con los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis no-lineal.



Antecedentes sobre reglas de combinación por efectos bidireccionales horizontales de estructuras en general

1.1 Estudios Previos

En los inicios de la ingeniería sismo-resistente, la mayoría de las investigaciones sobre la respuesta dinámica de sistemas estructurales solamente se consideraba una componente ante la excitación de sismos fuertes. Actualmente ha ido en aumento en las investigaciones considerar dos e incluso tres componentes traslacionales de los movimientos del terreno para el análisis de estructuras, que con los recientes adelantos en los métodos de análisis por computadora hacen posible su estudio, aunque no de manera generalizada, pues en la práctica normalmente no se usa y varias investigaciones aún se basan en estudiar sistemas planos ante la acción de una de las componentes del terreno.

Dada la complejidad del estudio de la dirección de propagación de las ondas sísmicas, Penzien y Watabe (1975) aplican modelos estocásticos para establecer los movimientos del terreno por medio de análisis estadísticos, lo cual es posible si se cuenta con una extensa base de acelerogramas. En su estudio emplearon la siguiente base:

1. Long Beach, California, 10 de marzo de 1933
2. El Centro, California, 18 de mayo de 1940
3. Taft, California, 21 de julio de 1952
4. Tokachi-Oki, Japón, 16 de mayo de 1968
5. Hiddaka-Sankei, Japón, 21 de enero de 1970
6. Izu-Hanto-Oki, Japón 9 de mayo de 1974

El tratamiento que presentaron fue introducir el concepto de ejes principales del movimiento del sismo, a través de una transformación ortogonal completamente análoga a la transformación típica de esfuerzos; sin embargo, los autores mostraron que a lo largo del movimiento del terreno existe un sistema de ejes ortogonales y que se presentan sin correlación, y que estas direcciones de ejes principales permanecen aproximadamente constantes durante la fase intensa de un sismo, además de que el eje principal mayor es dirigido hacia el epicentro del sitio, el eje intermedio permanece perpendicular al eje mayor y el eje principal menor es casi vertical.

Smeby y Der Kiureghian (1985), basándose en el modelo de Penzien y Watabe, y los conceptos de vibraciones aleatorias estacionarias, propusieron la regla de combinación modal para el análisis de estructuras sujeta a las tres componentes del sismo, donde esta regla responde a la correlación entre las respuestas modales de las estructuras así como entre las componentes del sismo.

Emplean la teoría de vibraciones aleatorias para determinar el ángulo crítico de incidencia para el caso de dos componentes del terreno con formas espectrales idénticas que toman en cuenta una apropiada correlación en las componentes del sismo. Las reglas que desarrollaron son para los casos donde la dirección de ejes principales es conocida y cuando no lo es, el modelo analítico propuesto se ilustra en la figura 1.1. De su estudio concluyeron lo siguiente:

Se deben especificar los espectros de entrada para las componentes del movimiento del sismo a lo largo de los ejes principales y, considerar que a lo largo de cualquier otra dirección puede haber un modelado poco realista en las correlaciones intracomponente. El efecto de correlación entre las componentes de entrada en la respuesta de la estructura es pequeño y casi insignificante a lo largo de los ejes principales que casi son iguales en intensidades.

Recomiendan para fines prácticos usar la regla CQC para la combinación de la respuesta modal cuando se usen componentes individuales del sismo y la regla de Rosenblueth (SRSS) cuando se desee realizar combinaciones que incluyan las tres componentes traslacionales, porque las componentes ortogonales son casi iguales en intensidad.

Debido a que el movimiento del sismo puede actuar en cualquier dirección horizontal, es posible que el ángulo crítico de incidencia que lleva a una mayor respuesta dinámica a una estructura cambie. López y Torres (1997), propusieron un método para calcular el ángulo crítico de incidencia, que ellos consideran un método simple que se puede aplicar a los reglamentos de diseño sísmico. Es un método aproximado, porque no toman en cuenta la correlación apropiada de las componentes del movimiento del terreno cuando actúa a lo largo de los ejes principales de la estructura.

López y Torres (1997) comentan que se puede determinar la respuesta máxima de una estructura para el caso general de las tres componentes de traslación del sismo y que puede ó no tener una forma espectral idéntica. Se basaron en la teoría de vibraciones aleatorias obteniendo expresiones idénticas a las propuestas por Smeby y Der Kiureghian, aplicándolas a un modelo estructural donde se ignora la respuesta vertical y solamente se incluyen las acciones ortogonales. La estructura que emplearon es de concreto reforzado como se ilustra en la figura 1.2 y sujeta a dos espectros de diseño por lo que definieron cinco casos de carga sísmica, demostrando que el ángulo crítico de incidencia no depende de la proporción espectral de las componentes ortogonales para el caso práctico de dos espectros horizontales con formas idénticas y un espectro vertical arbitrario. Para el caso de espectros idénticos a lo largo de las dos direcciones horizontales, la respuesta estructural es crítica en cualquier dirección. Este valor de la respuesta de la estructura es un límite superior para toda posible combinación espectral y ángulo crítico de incidencia.

La intensidad de cada componente del movimiento del terreno es comúnmente evaluada por el espectro de respuesta. La intensidad de varias componentes se evalúa generalmente por reglas de combinación. Por ejemplo, las reglas propuestas por Smeby y Der Kiureghian, son una extensión de la regla de combinación CQC, donde se combinan las contribuciones de las tres componentes traslacionales del sismo para estimar la respuesta total.

Menun y Der Kiureghian (1998) nombraron su regla CQC3, que en su opinión es un procedimiento más general y racional que la regla SRSS que emplean varios reglamentos de diseño sísmico. Hasta donde saben estos autores, no se han estudiado estructuras tridimensionales más complejas. En su artículo ilustran con un ejemplo numérico la respuesta de un puente vehicular donde comentan las ventajas que ofrece la regla CQC3 y los errores que presenta si se consideran las reglas de combinación que actualmente presentan los reglamentos de diseño.

La orientación crítica de los ejes principales de la estructura por medio de la regla SRSS, sólo se puede encontrar a través de pruebas de ensayo y error que requieren demasiados análisis dinámicos, además de que la orientación crítica de los ejes principales será diferente para cantidades de respuesta también diferentes. En contraste, señalan los autores que la formulación de la regla CQC3 proporciona una estimación simple para encontrar la orientación crítica de los ejes relativos de la estructura con los ejes principales del movimiento del terreno y el valor máximo asociado a una respuesta dada.

Según la idealización propuesta por Penzien y Watabe en 1975 (Anastassiadis, *et al.* 1998), el movimiento ortotrópico se describe para tres espectros de respuesta independientes como se ilustra en la figura 1.3.

Las formulas simplificadas que desarrollaron Anastassiadis *et al.* (1998) han sido ya incluidas en algunos reglamentos de diseño sísmico y la simplificación consiste en usar un mismo espectro de respuesta para las componentes ortogonales y 2/3 del espectro usado en las componentes ortogonales para la componente vertical.

De manera similar como comentan otros autores, este tema aún no se ha investigado a fondo, a pesar de la simplicidad que se puede manejar y de ser incorporadas expresiones en los reglamentos ó en los programas de análisis, además de las indagaciones en conocer la respuesta de una estructura sometida a la acción bidireccional, debido a que en la actualidad el análisis está basado en reglas de combinación porcentual formuladas empíricamente, pasando por alto formulaciones digamos “exactas”.

Anastassiadis *et al.* (1998) presentan un ejemplo numérico de una estructura de seis pisos a base de marcos de concreto como se ilustra en la figura 1.4, donde determinan la orientación de la respuesta máxima, los valores máximos y mínimos de la respuesta y, las combinaciones más desfavorables de algunas fuerzas presentadas en la columna “C” de la figura 1.4, para poder evitar así un sobre diseño. Demuestran que para espectros horizontales de diseño iguales, la respuesta en la estructura bajo la acción bidireccional no está en función de la orientación del sismo, y que este caso no se presenta si se usan las reglas de combinación empíricas.

El estudio de la respuesta de estructuras a la acción multidireccional del sismo ha sido estudiado recientemente por López *et al.* (2000), quienes cuestionan que la ubicación del epicentro no se conoce y que es necesario determinar la respuesta de una estructura para todas las posibles ubicaciones de los ejes principales y que se diseñe para la respuesta más crítica. En su artículo se basan en la regla de combinación CQC3 que describe la respuesta estructural en función del ángulo de incidencia y comentan que no es posible determinar la respuesta para varios valores de ángulos de incidencia. La meta principal de los autores es comprender mejor la respuesta de la estructura ante la acción bidireccional del sismo, por ello propusieron una expresión para calcular el valor crítico de la respuesta para cualquier ángulo de incidencia, además de poder aplicar dicha expresión en los reglamentos, sin necesidad de calcular el ángulo crítico de incidencia.

El coeficiente de correlación depende de las propiedades de la estructura, pero siempre limitado entre -1 y 1 . Para un valor fijo del parámetro γ que proponen, la relación r_{cr}/r_{srss} es más grande si $\beta = 1$ y $\alpha = \pm 1$.

donde:

$$\gamma = \frac{A(T_n) \text{ eje mayor}}{A(T_n) \text{ eje intermedio}} = \text{relación entre eje principal mayor y el eje intermedio del espectro de intensidades}$$

T_n = periodo natural de vibración para un sistema de un grado de libertad

$$\beta = \frac{r_y}{r_x} = \text{relación entre respuestas}$$

$$\alpha = \frac{r_y}{r_x r_y} = \text{coeficiente de correlación}$$

$$\frac{r_c}{r_{SRSS}} = \text{relación de la respuesta crítica entre la respuesta de la regla SRSS}$$

Del estudio paramétrico que realizaron a un edificio de un piso concluyen que el coeficiente de correlación γ propuesto puede satisfacerse para las fuerzas axiales en las columnas de edificios simétricos ó aproximarse a los desplazamientos laterales de los elementos de edificios asimétricos mostrados en la figura 1.5.

López *et al.* (2001) comentan que en la práctica es normal determinar las tres respuestas por separado de una estructura y estas reglas que nos dan esta respuesta son la regla SRSS, la regla del 100%+40% (Newmark), la regla del 100%+30% (Rosenblueth y Contreras). El objetivo de López *et al.* (2001) fue evaluar la exactitud que presentan estas reglas comparadas con las estimaciones resultantes de la respuesta contra los valores críticos de la respuesta determinadas de acuerdo con la regla CQC3, presentando expresiones analíticas para límites inferiores y superiores para relaciones r_e/r_{cr} , donde r_e son las respuestas estimadas por las reglas de combinación empíricas empleadas en los reglamentos y r_{cr} es la respuesta crítica determinada por los procedimientos racionales.

López *et al.* (2001) demostraron que estas expresiones son válidas para estructuras elásticas y para cualquier espectro de diseño, para valores de espectro de intensidad (g) entre 0.5 y 0.85. La regla SRSS simplificada estima la relación r_e/r_{cr} limitada entre 1 y 1.265, y la SRSS entre 0.79 y 1.0, la regla 100%+30% entre 0.92 y 1.16 y la regla del 100%+40% limitada entre 0.99 y 1.25 (figura 1.5). Concluyen que aumenta la respuesta crítica para estructuras simétricas y asimétricas cuando el periodo de vibración de los dos modos contribuyen en toda la respuesta sísmica, Este efecto no es tomado en cuenta por las reglas de combinación empíricas.

El estudio paramétrico que realizaron para estructuras simétricas de un piso demostraron que la respuesta crítica sobre-estima 18% más la regla del 100%+40%, en todo el intervalo en la relación de periodos para $\gamma=0.65$, y subestima la respuesta crítica por mas del 16% la regla SRSS para $\gamma=0.65$, cuando $T_x \approx T_y$

Con respecto a las reglas de combinación de acciones bidireccionales para estructuras con aislamiento sísmico, las recomendaciones de diseño del reglamento UBC desde su versión de 1991 han propuesto aumentar un 30% los espectros de diseño para considerar los efectos bidireccionales. Esta consideración reglamentaria supone basarse en la regla del 100%+30%, que como comentan y demuestran Naeim y Kelly (1999), no son ni siquiera equivalentes, como se ilustra en la figura 1.6.

Para el diseño de aisladores conforme al método estático del reglamento UBC, es común que los diseñadores tomen la regla del 100%+30% para obtener desplazamientos de diseño, aunque el UBC no establece en el capítulo de las normas de diseño de aisladores que así deba hacerse conforme al método estático, pero se supone que así se debe hacerse conforme a lo establecido por las normas de diseño sísmico y de la lectura del escalamiento de la ordenada espectral del espectro de diseño para análisis dinámicos.

Este trabajo trata de dar un enfoque más transparente a partir de obtener los factores de amplificación de los desplazamientos de los aisladores de base de comportamiento elástico lineal y bilineal por efectos bidireccionales empleando un modelo lineal cuyas propiedades en base rígida se obtuvieron de estudios previos (Gómez 1999, Tena-Colunga y Gómez-Soberón, 2002).

En este estudio se comparan los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis lineal y los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis no lineal con la regla del 100%+30%, donde la interrogante es si realmente esta regla para combinar efectos bidireccionales es aplicable también al diseño por desplazamientos, si es independiente del periodo de la estructura y de las características de los movimientos del terreno y, si es segura.

Por lo tanto, este estudio paramétrico ha considerado rigurosamente la selección y filtración de registros con características de suelo firme ubicados en su mayoría frente a la zona de subducción de la costa mexicana del Pacífico, para estudiar las amplificaciones y sus respectivas desviaciones, con la finalidad de obtener expresiones simples que permita tomar en cuenta los efectos bidireccionales en el diseño de aisladores sísmicos.

Como se discute capítulos adelante, se empleó un criterio estadístico para evaluar los cocientes de la acción bidireccional entre unidireccional de sistemas de aislamiento sísmico (lineales y bilineales) en un intervalo de periodos entre 1.5s y 3s de todas las simulaciones realizadas, correspondiente a la media más una desviación estándar, asociado a una función de densidad de probabilidad acumulada de 0.8413, que se considera un criterio razonable en ingeniería civil. El criterio estadístico correspondiente a la media más vez y media la desviación estándar también se estudió, tomando en cuenta que algunos ingenieros sienten que en el diseño de aisladores sísmicos se deben tomar criterios estadísticos más conservadores.

En los siguientes capítulos se presenta el estudio con detalle, que como se apreciará, parte de un planteamiento muy distinto al que han hecho otros estudios, pues los resultados que aquí se presentan se basan en la estadística de las respuestas máximas de análisis paso a paso rigurosos, mientras que en la mayoría de los estudios que se resumen en este capítulo parte de combinaciones de las respuestas máximas obtenidas a partir de espectros de respuesta calculados independientemente.

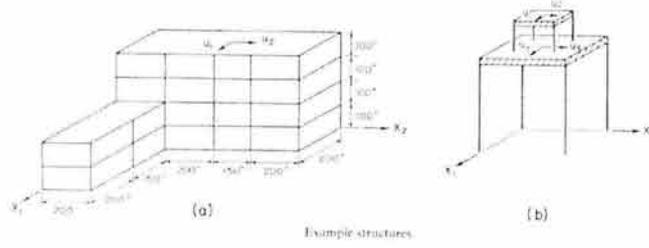
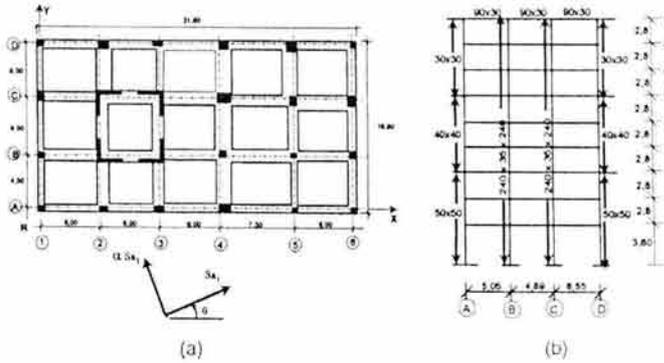


Figura 1.1 Modelo de Smeby y Der Kiureghian (1985)



Nine-storey reinforced concrete asymmetric building. Dimensions of beams and columns are in centimeters. Length of bays and storey heights are in meters. (a) plan view, (b) frames 2 and 3 in direction Y, (c) frames A and D in direction X

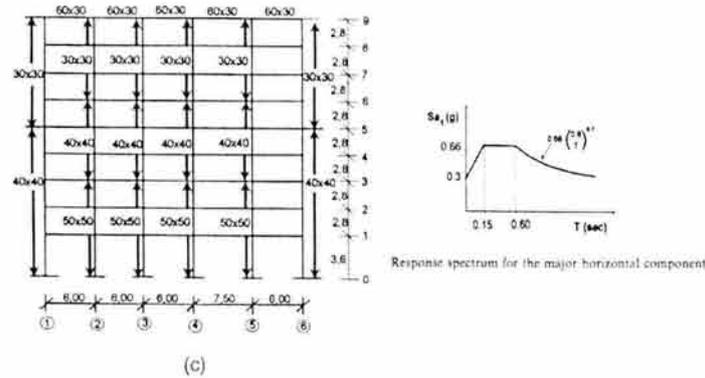
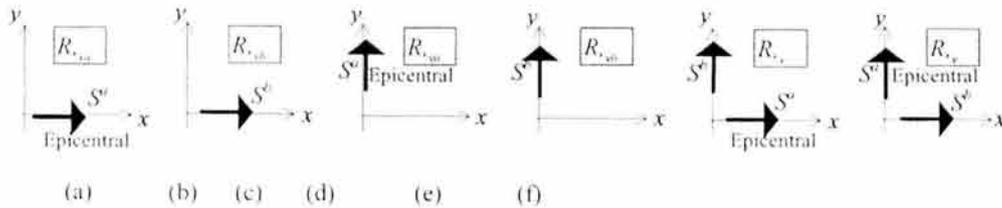


Figura 1.2 Modelo de López y Torres (1997)



Response quantity notation for unidirectional (a to d) and for bidirectional (e,f) seismic excitations.

Figura 1.3 Anastassiadis, Avramidis y Panetsos (1998)

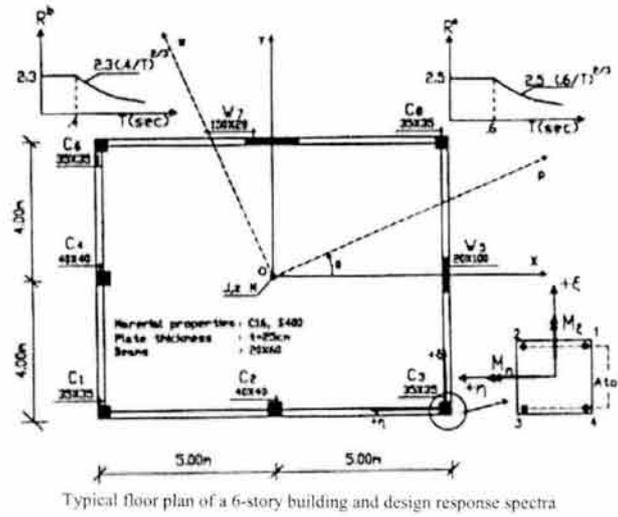


Figura 1.4 Modelo propuesto por Anastasiadis, Avramidis y Panetsos (1998)

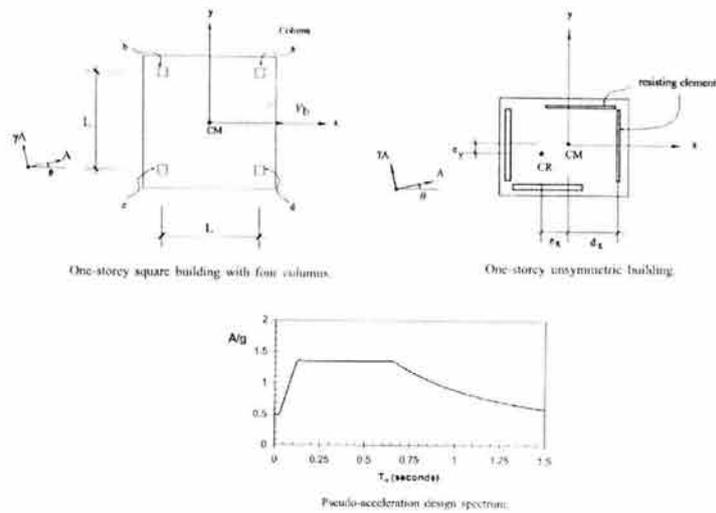


Figura 1.5 Modelos propuestos por López, Chopra y Hernández (2000)

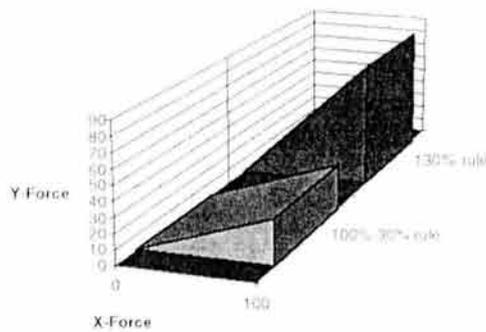


Figura 1.6 Inconsistencia de algunos reglamentos en considerar los efectos ortogonales, Naeim y Kelly (1999)



Modelo estructural en estudio

2.1 Introducción

El aislamiento en estructuras es un procedimiento basado en la idea de reducir las demandas sísmicas, a través de disipación de energía. Dichas demandas están en función de las propiedades dinámicas de la estructura, como el periodo natural de vibración y el amortiguamiento, también dependen de las características del suelo y de las fallas activas que puede presentarse en dicha zona en particular.

Los sistemas de aislamiento usualmente proporcionan amortiguamiento adicional a la estructura, que ayudan a controlar los desplazamientos relativos entre el suelo y la edificación; también proporcionan la rigidez necesaria ante cargas de servicio. Para lograr reducir las demandas sísmicas de la estructura, los sistemas aislantes aumentan la flexibilidad para dar así paso a que se presenten periodos de vibración traslacionales mucho mayores a los que habría en condiciones de empotramiento perfecto (figura 2.1), lo cual se logra por medio de rodillos, esferas, sistemas de fricción pendular y elastómeros laminados, siendo estos últimos los que han dado auge importante para la aplicación del concepto.

En las últimas décadas se ha ido incrementando poco a poco el uso de sistemas de aislamiento como control activo por su versatilidad y capacidad de mantener a las estructuras dentro de los estados límite de servicio y resistencia ante las acciones sísmicas. En los últimos 40 años se han realizado investigaciones experimentales y analíticas para comprender el comportamiento de los distintos sistemas de aislamiento. A partir de ello, se ha propuesto recomendaciones de diseño, tales como las incluidas en el reglamento UBC (*Uniform Building Code*) para edificios y el reglamento AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) para puentes. Los países a la vanguardia en la investigación y aplicación del aislamiento sísmico son Nueva Zelanda, Estados Unidos y Japón. La aplicación de aislamiento en estructuras y puentes también se ha destinado para proyectos de reparación. En la figura 2.2 se presenta un censo de los sistemas de aislamiento aplicados en algunos países hasta el año 1996 y en la figura 2.3 el censo hasta el año 2002.

Nótese que en los últimos tiempos se ha dado un gran aumento en los sistemas de aislamiento y la innovación de otros. En México las aplicaciones se han dado por innovaciones tecnológicas nacionales como el sistema deslizante a base de balines metálicos desarrollado por el Ing. Manuel González Flores en la década de los años setentas y el sistema pendular GT-BIS desarrollado el Ing. Federico Garza Tamez, cuyas aplicaciones se han realizado durante la segunda mitad de la década de los noventas, por ejemplo, en el edificio del periódico REFORMA

2.2 Características generales de la estructura

En este capítulo se presenta la respuesta de una estructura, con planta regular, sin excentricidades de rigideces y aislada en su base ante la acción de carga por sismo. Para lo anterior se propuso como modelo a la estructura mostrada en la figura 2.4, cuyo modelo también es descrito en un estudio previo (Gómez 2000) donde se presenta la planta tipo del edificio y en la cual bajo cada una de las 16 columnas (enumeradas en la figura 2.4) se localiza un aislador sísmico. En la segunda parte de esta figura se observa la vista frontal.

A continuación se describen brevemente las propiedades del modelo.

2.3 Propiedades de la superestructura (estructura en base rígida)

Se trata de una estructura regular, simétrica en ambos ejes ortogonales (eje E-W y eje N-S) como se observa en la figura 2.4, formada por marcos de concreto reforzado y contraventada en las crujeas de esquina en toda su altura. Cuenta con tres niveles y altura de entrepiso de 3 m. Existen tres claros de 7 m por crujía en cada una de las direcciones (E-W y N-S); el área en planta es de 441 m². Existen un total de 16 apoyos; en cada uno de ellos, se localiza un aislador.

El sistema estructural consiste de columnas rectangulares de 50 X 50 cm. y vigas rectangulares de 35 X 75 cm. El esfuerzo nominal a la falla a compresión del concreto (f'_c) en ambos elementos fue de 250 kg/cm², el esfuerzo límite de fluencia del acero (f_y) fue de 4200 kg/cm² y el módulo de elasticidad del concreto fue de $E = 14000 \sqrt{f'_c}$. En las crujeas de esquina (entre ejes A y B, ejes C y D, ejes 1 y 2, y ejes 3 y 4) existen contravientos de acero sección cajón de 25 X 25 cm. con espesor de 0.8 cm. El peso total del sistema estructural del edificio (W) es de 991 ton.

2.3.1 Análisis de la superestructura

Se realizó un análisis estructural previo del modelo en estudio, considerando a la estructura empotrada en su base (Gómez 2000) con el programa ETABS (Habibullah, 1991). De este análisis se obtuvieron los modos y periodos fundamentales de vibración del edificio en base rígida, que son datos que requiere el programa 3D-BASIS (Nagarajaiah *et al.*, 1991) para obtener los parámetros necesarios para el análisis dinámico no lineal de estructuras tridimensionales con base aislada. Este estudio se comentará en secciones más adelante en los capítulos 4 y 5.

En las tablas (2.1 y 2.2) se resumen los resultados obtenidos del análisis con el programa ETABS, y que requiere el programa 3D-BASIS.

2.4 Determinación de las propiedades de los aisladores de comportamiento elástico lineal

Para diseño de los aisladores, este estudio se basó en trabajos anteriores (Gómez, 1996; Tena, Gómez y Salazar, 1997; Tena, 1997; Tena y Gómez, 1997; Gómez y Tena, 1999 y Gómez 2000), donde se emplearon para el diseño elastómeros laminados que están formados por placas de acero vulcanizadas con hule en ambas caras formando capas alternas. En la figura 2.5 se ilustran los dos principales tipos de elastómeros laminados (con y sin corazón de plomo) que han sido utilizados en varias partes del mundo como una alternativa de aislamiento sísmico.

Para el cálculo de las propiedades de los aisladores lineales se consideró el modelo matemático de la figura 2.6.

En primer lugar se determinó el intervalo de periodos naturales de vibración para la estructura aislada sísmicamente (T_a). De acuerdo con las recomendaciones del UBC (*Uniform Building Code*), este periodo debe ser menor o igual a tres segundos y mayor a tres veces el periodo natural de vibración de la estructura con base rígida. También, según criterios de Nueva Zelanda, se recomienda mantener como mínimo un periodo en base aislada de 1.5 segundos. Por lo anterior, se estableció el intervalo en:

$$1.5 \leq T_a \leq 3.0 \quad (2.1)$$

Ya establecido el intervalo de periodos en base aislada, se procedió con el cálculo de la rigidez efectiva global del sistema de aislamiento (k_{eff}); a continuación se resumirá el desarrollo para la obtención de la ecuación que determina esta rigidez. Un estudio más detallado del mismo puede observarse en Gómez, 1996; Gómez y Tena, 1999; Tena, Gómez y Salazar, 1997; Tena y Gómez, 1997; Tena, 1997 y Gomez 2000.

En primer lugar suponemos que la rigidez total del sistema de aislamiento es la misma que la rigidez efectiva, mínima y máxima, esto es:

$$k = k_{min} = k_{max} = k_{eff} \quad (2.2)$$

donde

k_{max} es la rigidez máxima del sistema de aislamiento
 k_{min} es la rigidez mínima del sistema de aislamiento
 k_{eff} es la rigidez efectiva del sistema de aislamiento
 k es la rigidez del sistema de aislamiento.

Los periodos en base aislada (T_a) se determinan de la siguiente manera:

$$T_a = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{min}g}} \quad (2.3)$$

donde

W es el peso total de la estructura
 g es la aceleración de la gravedad.

A partir de la anterior fórmula se despeja el valor de la rigidez total del sistema y de ella la rigidez efectiva, para cada uno de los aisladores como se muestra.

$$k = \frac{W}{\left(\frac{T_a}{2\pi}\right)^2 g} \quad (2.4)$$

$$k_{efais} = \frac{k}{N_{ais}} \quad (2.5)$$

donde

N_{ais} es el número de aisladores a ubicarse bajo la estructura.

Con el anterior desarrollo matemático se cuenta con los datos necesarios para poder realizar los análisis dinámicos lineales del modelo tridimensional con base aislada.

Se establecieron 16 casos de estudio, donde el periodo en base aislada (T_a) varía a partir de 1.5 hasta 3 segundos cada 0.1 segundos. En cada caso se tomaron como datos iniciales el peso de la estructura (W), la aceleración de la gravedad (g) y el número de aisladores (N_{ais}). Se obtuvieron, entre otros resultados, la rigidez efectiva del sistema de aislamiento (k_{efftot}) y la rigidez efectiva de cada aislador (k_{effais}). En la tabla 2.3 se presentan tanto los datos, como los valores obtenidos para los aisladores en cada uno de los 16 casos.

2.5 Determinación de las propiedades de los aisladores de comportamiento inelástico bilineal

De igual manera que en el punto anterior, se determinó el intervalo de periodos en base aislada, para el cálculo de las propiedades de los aisladores bilineales donde se consideró el modelo matemático de la figura 2.7.

De acuerdo con el método estático del UBC y de la figura 2.7, se tiene que para el 20% del desplazamiento máximo total para el sistema de aislamiento (Δ_{tm}) existe una rigidez efectiva k_{ef2} , también sabe que la rigidez efectiva del sistema de aislamiento para el desplazamiento de diseño (k_{ef}) debe ser mayor a un tercio de la rigidez efectiva al 20% del desplazamiento de diseño (k_{ef2}); esto es:

$$k_{ef2} = \frac{V_2}{0.2\Delta_{max}} \quad (2.6)$$

$$k_{ef} = \frac{1}{3} k_{ef2} \Rightarrow k_{ef2} = 3k_{ef} \quad (2.7)$$

Por lo que desarrollando, se obtienen los valores que definen la curva primaria del modelo histerético para aisladores con comportamiento bilineal con pendiente posterior a la fluencia del 10%, además de satisfacer los requerimientos del UBC.

$$k_2 = 0.1k_1 \quad (2.8)$$

$$k_1 = 5 \frac{V_{max}}{\Delta_{max}} = 5k_{eff} \quad (2.9)$$

$$k_2 = 0.5k_{eff} \quad (2.10)$$

Para conocer el valor de la fuerza total necesaria para iniciar el comportamiento inelástico del sistema de aislamiento (V_{yiot}), se consideraron los siguientes valores, donde el cortante de fluencia sea igual al 3%, 5%, 8%, 10% y 12% de W , esto es:

$$V_{yiot1} = \frac{V}{W} = 0.03 \quad (2.11)$$

$$V_{yiot2} = \frac{V}{W} = 0.05 \quad (2.12)$$

$$V_{yiot3} = \frac{V}{W} = 0.08 \quad (2.13)$$

$$V_{yiot4} = \frac{V}{W} = 0.10 \quad (2.14)$$

$$V_{y\text{tot}5} = \frac{V}{W} = 0.12 \quad (2.15)$$

Con los valores obtenidos de las ecuaciones (2.11), (2.12), (2.13), (2.14) y (2.15) se determina el valor de la fuerza de fluencia V_y para cada aislador.

$$V_{y\text{ais}} = \frac{V_{y\text{tot}}}{N_{\text{ais}}} \quad (2.16)$$

Con la fórmula (2.16) y de la gráfica 2.7, se obtiene el desplazamiento de fluencia de cada aislador, esto es:

$$\Delta_{y\text{ais}} = \frac{V_{y\text{ais}}}{k_j} \quad (2.17)$$

De manera similar con el anterior desarrollo matemático, se cuenta con los datos necesarios para poder realizar los análisis dinámicos no lineales del modelo tridimensional con base aislada.

Se establecieron 16 casos de estudio, en los que el periodo en base aislada (T_a) varía a partir de 1.5 hasta 3 segundos cada 0.1 segundos. Para cada periodo, los datos iniciales fueron el peso de la estructura (W), la aceleración de la gravedad (g), el número de aisladores (N_{ais}) y los valores de los cortantes basales para los valores del cortante de fluencia mencionados, ($V=0.03W$, $V=0.05W$, $V=0.08W$, $V=0.10W$ y $V=0.12W$). Se obtuvieron la rigidez efectiva del sistema de aislamiento (k_{efftot}), la rigidez efectiva de cada aislador (k_{effais}), la rigidez inicial anterior a la fluencia (k_j), la fuerza necesaria para producir fluencia en cada uno de los aisladores ($V_{y\text{ais}}$), y el desplazamiento de fluencia de cada uno de los aisladores ($\Delta_{y\text{ais}}$). En la tabla 2.4 se presentan los datos y en la tabla 2.5 los valores obtenidos para los aisladores en cada uno de los 16 casos.

Tabla 2.1. Periodos y frecuencias de los seis primeros modos de vibrar del modelo estructural (Gómez 2000).

Modo	Periodo (T) (s)	Frecuencia (f) (ciclo/s)	Frec. Circular (ω) (rad/s)
1	0.18738	5.33683	33.53228
2	0.18738	5.33683	33.53228
3	0.15617	6.40319	40.23244
4	0.06248	16.00421	100.55743
5	0.06248	16.00421	100.55743
6	0.05356	18.67220	117.32091

Tabla 2.2. Eigen-vectores de los seis primeros modos de vibrar del modelo estructural (Gómez 2000).

Nivel	Dirección	1er. Modo	2do. Modo	3er. Modo	4to. Modo	5to. Modo	6to. Modo
3er. Nivel	X	0.0000000	0.0040312	0.0000000	0.0000000	0.0031339	0.0000000
3er. Nivel	Y	0.0040312	0.0000000	0.0000000	0.0031339	0.0000000	0.0000000
3er. Nivel	rot. Z	0.0000000	0.0000000	0.0003445	0.0000000	0.0000000	0.0002751
2do. Nivel	X	0.0000000	0.0030382	0.0000000	0.0000000	-0.0021609	0.0000000
2do. Nivel	Y	0.0030382	0.0000000	0.0000000	-0.0021609	0.0000000	0.0000000
2do. Nivel	rot. Z	0.0000000	0.0000000	0.0002663	0.0000000	0.0000000	-0.0001735
1er. Nivel	X	0.0000000	0.0014426	0.0000000	0.0000000	-0.0035479	0.0000000
1er. Nivel	Y	0.0014426	0.0000000	0.0000000	-0.0035479	0.0000000	0.0000000
1er. Nivel	rot. Z	0.0000000	0.0000000	0.0001328	0.0000000	0.0000000	-0.0003135

Tabla 2.3 Datos obtenidos para el diseño de los aisladores de base a ubicarse en el modelo estructural lineal en estudio.

T_a	W	g	k_{efftot}	N_{ais}	k_{effais}
(seg)	(g)	$\left(\frac{m}{s^2}\right)$	$\left(\frac{g}{m}\right)$		$\left(\frac{g}{m}\right)$
1.5	991000	9.81	1772482.1314	16	110780.1332
1.6	991000	9.81	1557845.6233	16	97365.3515
1.7	991000	9.81	1379960.1369	16	86247.5086
1.8	991000	9.81	1230890.3690	16	76930.6481
1.9	991000	9.81	1104732.6304	16	69045.7894
2.0	991000	9.81	997021.1989	16	62313.8249
2.1	991000	9.81	904327.6181	16	56520.4761
2.2	991000	9.81	823984.4619	16	51499.0289
2.3	991000	9.81	753891.2657	16	47118.2041
2.4	991000	9.81	692375.8326	16	43273.4895
2.5	991000	9.81	638093.5673	16	39880.8480
2.6	991000	9.81	589953.3721	16	36872.0858
2.7	991000	9.81	547062.3862	16	34191.3991
2.8	991000	9.81	508684.2852	16	31792.7678
2.9	991000	9.81	474207.4668	16	29637.9667
3.0	991000	9.81	443120.5329	16	27695.0333

Tabla 2.4 Datos obtenidos para el diseño de los aisladores de base a ubicarse en el modelo estructural bilineal en estudio.

T_a	W	g	k_{efftot}	N_{ais}	k_{effais}	k_1	k_2
(seg)	(g)	$\left(\frac{m}{s^2}\right)$	$\left(\frac{g}{m}\right)$		$\left(\frac{g}{m}\right)$	$\left(\frac{g}{m}\right)$	$\left(\frac{g}{m}\right)$
1.5	991000	9.81	1772482.1314	16	110780.1332	553900.6661	55390.0666
1.6	991000	9.81	1557845.6233	16	97365.3515	486826.7573	48682.6757
1.7	991000	9.81	1379960.1369	16	86247.5086	431237.5428	43123.7543
1.8	991000	9.81	1230890.3690	16	76930.6481	384653.2403	38465.3240
1.9	991000	9.81	1104732.6304	16	69045.7894	345228.9470	34522.8947
2.0	991000	9.81	997021.1989	16	62313.8249	311569.1247	31156.9125
2.1	991000	9.81	904327.6181	16	56520.4761	282602.3806	28260.2381
2.2	991000	9.81	823984.4619	16	51499.0289	257495.1444	25749.5144
2.3	991000	9.81	753891.2657	16	47118.2041	235591.0205	23559.1021
2.4	991000	9.81	692375.8326	16	43273.4895	216367.4477	21636.7448
2.5	991000	9.81	638093.5673	16	39880.8480	199404.2398	19940.4240
2.6	991000	9.81	589953.3721	16	36872.0858	184360.4288	18436.0429
2.7	991000	9.81	547062.3862	16	34191.3991	170956.9957	17095.6996
2.8	991000	9.81	508684.2852	16	31792.7678	158963.8391	15896.3839
2.9	991000	9.81	474207.4668	16	29637.9667	148189.8334	14818.9833
3.0	991000	9.81	443120.5329	16	27695.0333	138475.1665	13847.5167

Tabla 2.5 Valores obtenidos para el diseño de los aisladores de base a ubicarse en el modelo estructural bilineal en estudio.

T_a (seg)	Caso I 3%			Caso II 5%			Caso III 8%		
	V_b (g)	$V_{\mu is}$ (g)	$\Delta_{\mu is}$ (m)	V_b (g)	$V_{\mu is}$ (g)	$\Delta_{\mu is}$ (m)	V_b (g)	$V_{\mu is}$ (g)	$\Delta_{\mu is}$ (m)
1.5	29730	1858.125	0.003354618	49550	3096.875	0.005591030	79280	4955	0.008945647
1.6	29730	1858.125	0.003816810	49550	3096.875	0.006361349	79280	4955	0.010178159
1.7	29730	1858.125	0.004308820	49550	3096.875	0.007181367	79280	4955	0.011490187
1.8	29730	1858.125	0.004830650	49550	3096.875	0.008051083	79280	4955	0.012881732
1.9	29730	1858.125	0.005382298	49550	3096.875	0.008970496	79280	4955	0.014352794
2.0	29730	1858.125	0.005963765	49550	3096.875	0.009939608	79280	4955	0.015903373
2.1	29730	1858.125	0.006575051	49550	3096.875	0.010958418	79280	4955	0.017533469
2.2	29730	1858.125	0.007216155	49550	3096.875	0.012026926	79280	4955	0.019243081
2.3	29730	1858.125	0.007887079	49550	3096.875	0.013145132	79280	4955	0.021032211
2.4	29730	1858.125	0.008587821	49550	3096.875	0.014313036	79280	4955	0.022900857
2.5	29730	1858.125	0.009318383	49550	3096.875	0.015530638	79280	4955	0.024849020
2.6	29730	1858.125	0.010078763	49550	3096.875	0.016797938	79280	4955	0.026876700
2.7	29730	1858.125	0.010868961	49550	3096.875	0.018114936	79280	4955	0.028983897
2.8	29730	1858.125	0.011688979	49550	3096.875	0.019481632	79280	4955	0.031170611
2.9	29730	1858.125	0.012538816	49550	3096.875	0.020898026	79280	4955	0.033436842
3.0	29730	1858.125	0.013418471	49550	3096.875	0.022364118	79280	4955	0.035782589

Tabla 2.5 Valores obtenidos para el diseño de los aisladores de base a ubicarse en el modelo estructural bilineal en estudio (continuación).

T_a (seg)	Caso IV 10%			Caso V 12%		
	V_b (g)	$V_{\mu is}$ (g)	$\Delta_{\mu is}$ (m)	V_b (g)	$V_{\mu is}$ (g)	$\Delta_{\mu is}$ (m)
1.5	99100	6193.75	0.011182059	118920	7432.5	0.013418471
1.6	99100	6193.75	0.012722698	118920	7432.5	0.015267238
1.7	99100	6193.75	0.014362734	118920	7432.5	0.017235280
1.8	99100	6193.75	0.016102165	118920	7432.5	0.019322598
1.9	99100	6193.75	0.017940993	118920	7432.5	0.021529191
2.0	99100	6193.75	0.019879216	118920	7432.5	0.023855059
2.1	99100	6193.75	0.021916836	118920	7432.5	0.026300203
2.2	99100	6193.75	0.024053852	118920	7432.5	0.028864622
2.3	99100	6193.75	0.026290263	118920	7432.5	0.031548316
2.4	99100	6193.75	0.028626071	118920	7432.5	0.034351286
2.5	99100	6193.75	0.031061275	118920	7432.5	0.037273530
2.6	99100	6193.75	0.033595875	118920	7432.5	0.040315051
2.7	99100	6193.75	0.036229872	118920	7432.5	0.043475846
2.8	99100	6193.75	0.038963264	118920	7432.5	0.046755917
2.9	99100	6193.75	0.041796052	118920	7432.5	0.050155263
3.0	99100	6193.75	0.044728237	118920	7432.5	0.053673884

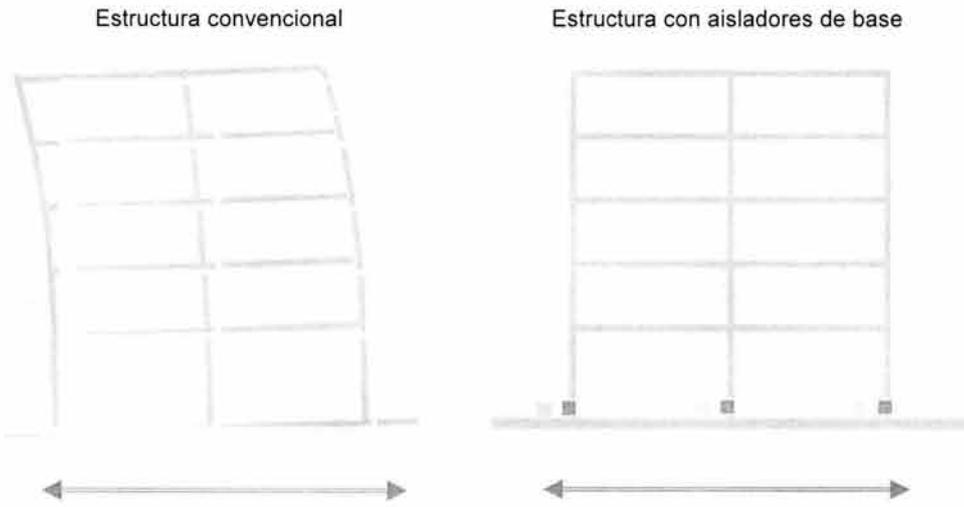


Figura 2.1. Sistema de aislamiento de una estructura

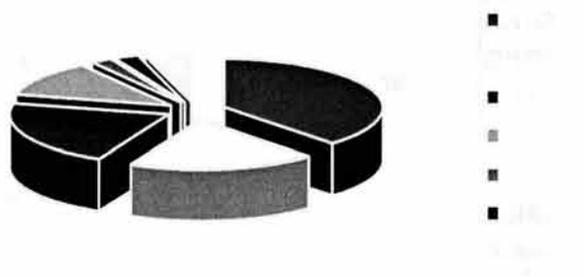


Figura 2.2 Trabajos sobre Aislamiento Sísmico 11WCEE (42 en total), Acapulco (1996)

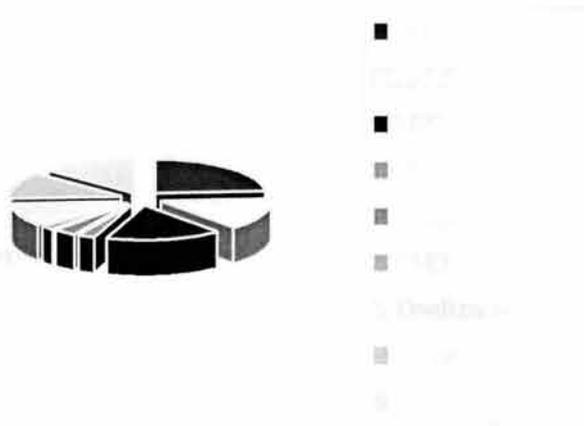
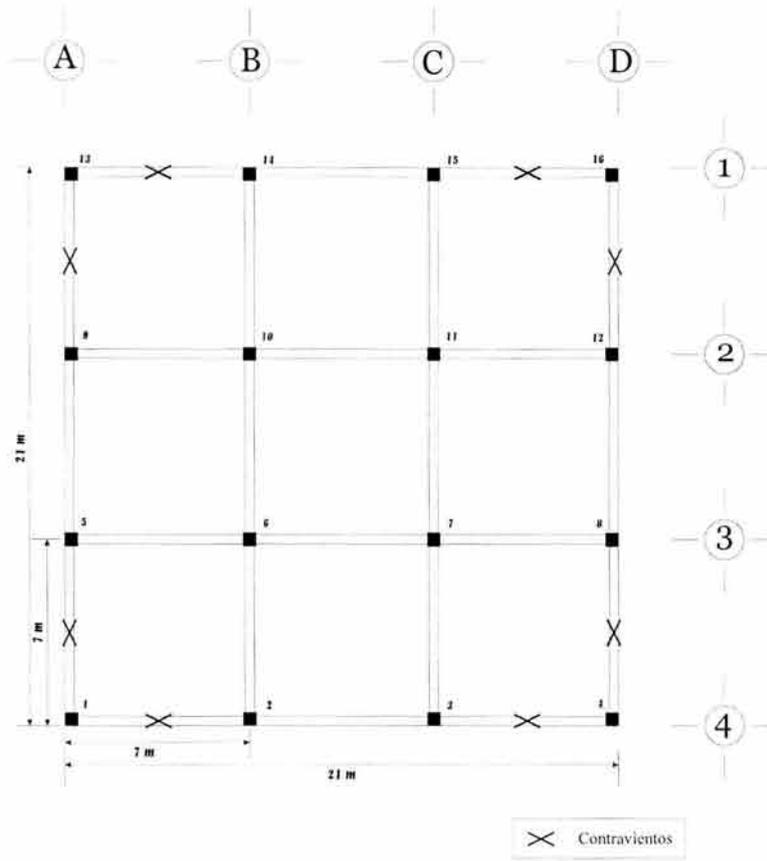
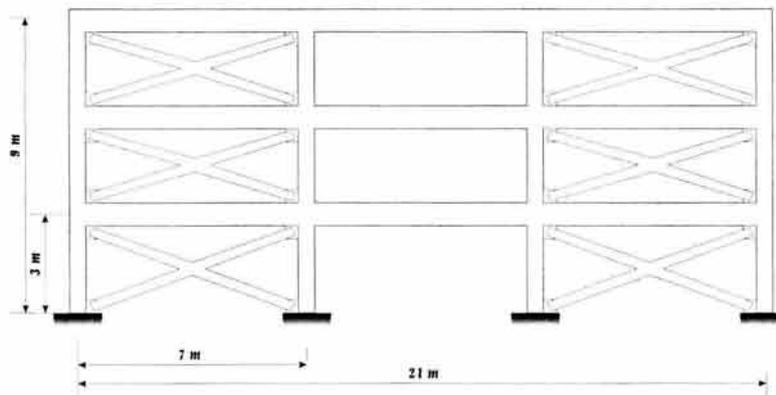


Figura 2.3 Trabajos sobre aislamiento sísmico 12WCEE (74 en total), Nueva Zelanda (2002)

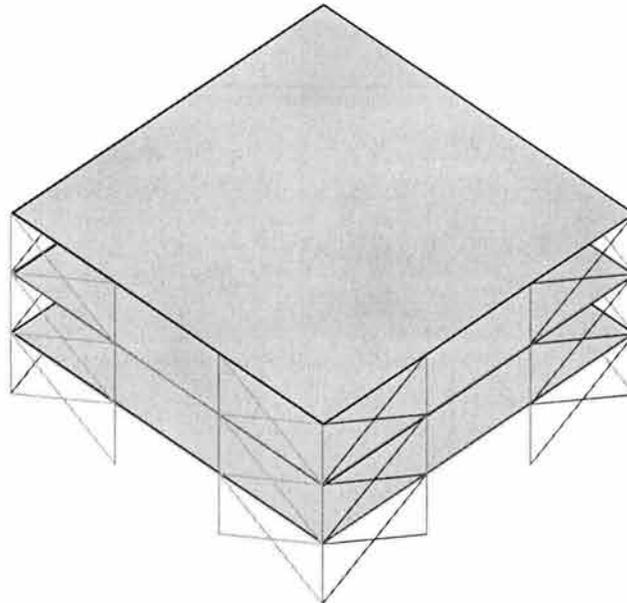


a) Planta



b) vista frontal

Figura 2.4 Modelo en estudio



c) Vista Tridimensional

Figura 2.4 Modelo en estudio

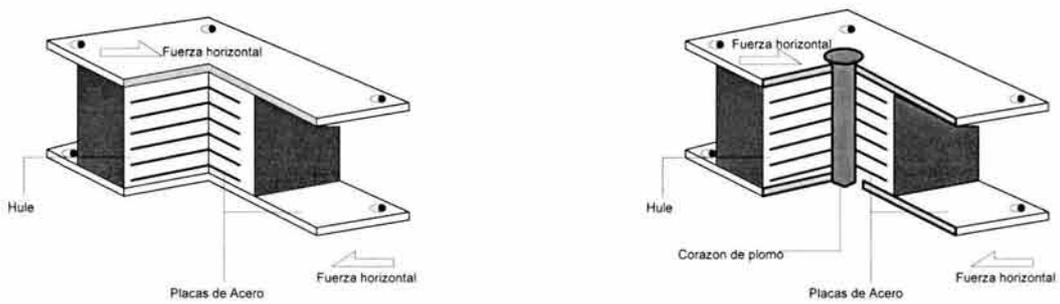


Fig. 2.5. Elastómeros laminados, sin y con corazón de plomo

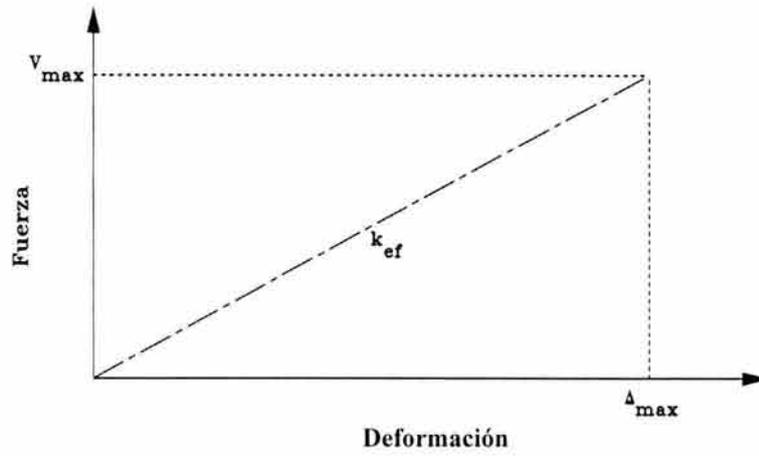


Fig. 2.6 Gráfica esfuerzo-deformación de un aislador lineal

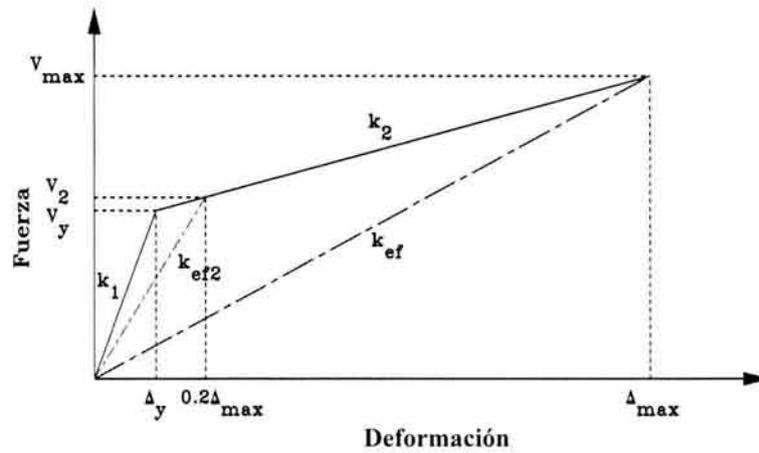


Fig. 2.7 Gráfica esfuerzo-deformación de un aislador bilineal



Base de datos utilizada para el presente estudio

3.1 Introducción

Durante el periodo de Porfirio Díaz, se fundó el Servicio Sismológico Nacional (SSN), cuyo propósito primordial era de difundir todos aquellos sismos ocurridos dentro de la República Mexicana y así determinar la magnitud y epicentros de cada uno de los sismos, cuyos datos fueron agrupados en catálogos mensuales para ser difundidos a los investigadores. En aquel tiempo solo se contaba con sismógrafos de alta ganancia, que por lo regular saturaban sus registros durante los eventos y por consiguiente eran poco adecuados para propósitos ingenieriles. Se comenzó en aquella época con una red que permitió localizar sismos en toda la República con magnitudes mayores a 6.0 (figura 3.1, tomada de “Servicio”, 2002).

Para el ingeniero es importante saber el papel que desempeñan los registros en las teorías donde son aplicadas, y una de ellas es la respuesta estructural. Esta situación se viene generando desde 1940 que se instalaron los primeros instrumentos de medición de registros sísmicos fuertes, y que después del terremoto de San Marcos ocurrido en 1957 ($M = 7.5$), el ingeniero tuvo la necesidad de medir las ondas sísmicas generadas por temblores fuertes y estudiar sus efectos en suelos y estructuras vulnerables a daños.

En 1960 se instalaron los primeros dos acelerógrafos en la Ciudad de México, uno en la Alameda Central y el otro en la Ciudad Universitaria. Los primeros registros que se obtuvieron fueron los temblores de Acapulco de 1962 que motivó a seguir instrumentando la Ciudad de México y otras regiones sísmicas del país, particularmente en las presas hidroeléctricas.

En las siguientes décadas aumentó el crecimiento de la red en México y de igual manera la generación de registros aumentó exponencialmente, en particular después del sismo de 1985, año en el cual se generó la máxima destrucción del terremoto de Michoacán. En esta fecha sólo se contaba en operación 110 estaciones de la República, y posterior al evento más instituciones se sumaron al esfuerzo de instalar y operar redes sísmicas para recolectar datos de sismos fuertes (“Base”, 2000).

En la actualidad la red de acelerógrafos de México está integrada por 547 estaciones y cerca de 50 instrumentos de medición, desde los mecánicos que se instalaron a principio de siglo hasta los más modernos, la mayor parte con registros digitales, las cuales se localizan en la Ciudad de México y estados vecinos, a lo largo de la zona de subducción en la costa del Pacífico y en la parte noroeste del país (“Servicio”, 2002).

3.2 Sismicidad en México

La República Mexicana se encuentra dividida por cinco placas tectónicas y el mayor peligro lo presentan los sismos que ocurren a lo largo de las costas del Pacífico donde se presentan los mayores sismos registrados, entre las ciudades de Puerto Vallarta y Tapachula (Figura 3.2, "Servicio", 2002). Estos sismos, que por su cercanía a las costas representan un grave peligro a las poblaciones costeras, también afectan al Valle de México, que por sus condiciones del suelo ha sido afectado, como se ha constatado durante los grandes sismos de 1911, 1957, 1979 y 1985.

En la figura 3.3 se muestran las zonas de ruptura de algunos sismos que se han presentado en este siglo que son producto de la subducción de la placa oceánica bajo la placa continental, dicha falla denominada fosa mesoamericana es en donde se han generado los grandes sismos, cuya zona de ruptura ha alcanzado los 200km ., como en el sismo registrado en 1932 frente a las costas de Jalisco, el de Michoacán en 1985 y el de Oaxaca de 1965. Se ha notado en la figura otras pequeñas brechas, una en las costas de Colima-Michoacán y frente al Istmo de Tehuantepec, de las cuales no se ha tenido información histórica de ocurrencias de sismos importante en el pasado. Por último el otro segmento importante es la brecha de Guerrero donde se tiene conocimiento de sismos ocurridos entre los años 1909 y 1911 donde los sismos alcanzaron magnitudes de 7.5 que pudieron haber fracturado este segmento, pero no se ha contado con información suficiente para definir esta zona de ruptura. En la figura se muestran con estrellas rojas a los sismos más significativos que han provocado daños a las ciudades de Morelia y Michoacán en 1858, Oaxaca en 1931 y Orizaba en 1973, y con estrellas azules a los sismos que han ocurrido dentro del continente a poca profundidad. La magnitud de estos sismos rara vez ha llegado a sobrepasar la magnitud 7.0, y su periodo de ocurrencia se da más esporádicamente que el de los sismos provenientes de la costa.

3.3 Regiones sísmicas en México

El Manual de Diseño de Obras Civiles en su sección de diseño por sismo ha dividido la República Mexicana en cuatro zonas sísmicas (figura 3.4 cortesía MOC-93, "Servicio", 2002), estas zonas por sus regiones representan las máximas aceleraciones del terreno a esperarse en un siglo y la frecuencia en que se dan los sismos en dichas regiones. La zona A es una zona donde no se han reportado eventos sísmicos en los últimos años y que pueden esperarse aceleraciones del terreno menores al 10%. Las zonas C y B son zonas donde se pueden presentar sismos frecuentes y en donde las aceleraciones no sobrepasan el 70% de la aceleración de la gravedad. Por último la zona D considerada como una zona donde se han reportado los grandes sismos y de mayor ocurrencia cuyas aceleraciones sobrepasan el 70% de las aceleraciones del suelo.

3.4 Criterios generales de selección de acelerogramas

Inicialmente se seleccionaron las estaciones ubicadas en la zona sísmica D. terreno tipo I (Roca) ubicadas en la costa del Pacífico. Para ello se recurrió al disco compacto con archivos estándar de aceleración (ASA ver 2.0, 1999). Las estaciones seleccionadas se indican en la tabla 3.1, su localización se ilustra en las figuras 3.5 y 3.6 y sus características para cada evento en la tabla 3.2.

Existen dos propósitos en este capítulo para su elección:

- 1) Seleccionar los acelerogramas cuya magnitud sea mayor o igual que 6.5 y que además presentaran las aceleraciones máximas del terreno cercanas a 10 cm/seg^2 en ambas componentes ortogonales y

- 2) Que la curva obtenida a partir del cálculo de la intensidad de Arias muestre una forma adecuada, es decir, que la curva de dicha integral no se parezca a la que se obtiene para un pulso o para una señal de ruido. La intensidad de Arias se calcula como:

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_a^{\infty} a^2(t) dt$$

Este estudio fue calculado con el programa *Degtra* desarrollado por investigadores y estudiantes del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM), donde el programa *Degtra* no aplica, en el cálculo, la constante $\frac{\pi}{2g}$, por lo que el resultado es una cantidad

proporcional a la intensidad de Arias. El programa realiza la evaluación para la parte limitada por los cursores, y los resultados obtenidos son: el valor de la intensidad, la duración de la fase intensa, y el punto inicial y final de dicha fase. La fase intensa es la porción de la señal en que se desarrolla entre el 5% y el 95% de la intensidad de Arias, normalizada por el valor máximo alcanzado por dicha curva, siendo esta la unidad.

En la figura 3.7 se muestran algunos ejemplos de acelerogramas seleccionados bajo el criterio presentado y en la figura 3.8 ejemplos de acelerogramas que no cumplieron el criterio de selección.

3.5 Identificación de los acelerogramas seleccionados para aisladores de comportamiento elástico lineal

Una vez seleccionadas las estaciones, se eligieron los eventos sísmicos de los que se tienen registros que se presentan en la tabla 3.3 en forma resumida por evento. Los sismos seleccionados son los siguientes:

- 1) 19 de septiembre de 1985 (M = 8.1).
- 2) 21 de septiembre de 1985 (M = 7.6).
- 3) 30 de abril de 1986 (M = 7.0).
- 4) 25 de abril de 1989 (M = 6.9).
- 5) 24 de octubre de 1993 (M = 6.6).
- 6) 14 de marzo de 1994 (M = 6.8).
- 7) 14 de septiembre de 1995 (M = 6.4).
- 8) 9 de octubre de 1995 (M = 6.5).
- 9) 21 de octubre de 1995 (M = 6.5).
- 10) 15 de julio de 1996 (M = 6.5).
- 11) 11 de enero de 1997 (M = 6.9).
- 12) 15 de julio de 1999 (M = 6.5).
- 13) 30 de septiembre de 1999 (M = 7.5).

De cada evento sísmico se eligieron, de los acelerogramas de diferentes estaciones, sus componentes N-S y E-W, para ello se desarrolló un programa en FORTRAN que tiene como objetivo agilizar el proceso para obtener por separado los archivos de las componentes horizontales; este proceso se describe detalladamente a continuación:

El programa lee el formato de los archivos seleccionados de la "Base Mexicana de Sismos Fuertes Volumen 2" ("Base", 2000) y obtiene como salida las componentes N-S y E-W, además un archivo que nos proporciona información necesaria para elaborar los archivos de datos que requiere el

programa 3D-Basis (Nagarajiah *et al.*, 1991); como es la clave del registro, número de muestras, el incremento de tiempo y el factor de diezmado.

Luego se procedió a corregir por línea base y filtrar cada una de las componentes de los acelerogramas seleccionados mediante el programa FILTRAACEL desarrollado por el Dr. Eduardo Reinoso y modificado para este estudio en particular por el Dr. Arturo Tena; el filtrado se hace en el dominio de la frecuencia. Sea $y(t)$ la señal filtrada. Su transformada de Fourier $Y(\omega)$, estará dada por:

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

donde

$X(\omega)$, es la transformada de Fourier de la señal original después de haber aplicado tapering
 $H(\omega)$, es el filtro.

La función $H(\omega)$ toma diferentes valores, que se indican a continuación en las siguientes expresiones, donde N es el número de polos.

Un filtro Pasa-banda, entre las frecuencias F_{min} y F_{max}

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f^2 - F_{min}F_{max}}{f(F_{max} - F_{min})} \right)^{2N}}}$$

Un filtro Pasa-Alta, desde la frecuencia F_{min}

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

Para el filtrado de cada uno de los acelerogramas, con un filtro pasa-alta, se emplearon los siguientes datos:

Frecuencia mínima (F_{min}) = 0.1

Número de polos (N) = 6

Tapering = 5%

3.6 Criterios de escalamiento y selección de acelerogramas para aisladores de comportamiento bilineal

Después de haber filtrado cada uno de los acelerogramas seleccionados, se procedió a escalar cada uno de ellos de manera que tuvieran la misma aceleración espectral, que en este caso particular corresponde al espectro de diseño de las zonas D-I, C-I y B-I propuesto por el Manual de Obras Civiles de 1993 (MOC-93), seleccionando el valor del periodo $T=2.24seg.$ siendo este un valor intermedio del intervalo de periodos $1.5seg. \leq T_u \leq 3.0seg.$ considerando para el diseño sísmico de

sistemas de aislamiento las recomendaciones del UBC-97. En la figura 3.1 se ilustran algunos registros escalados tomando como parámetro el valor del periodo $T=2.24\text{seg}$.

Para seleccionar cada uno de los acelerogramas escalados, se cuidó que presentaran una forma adecuada en su señal (como se explicó anteriormente), además de observar que no se sobrepasaran aceleraciones máximas del terreno mayores de 1.2 g (1200 gals), ni que el factor de escala fuera superior de 100. El máximo factor de escala utilizado fue de 66.51 para la zona D-I, de 96.19 para la zona C-I y de 45.32 para la zona B-I. Este último criterio evita amplificar la aceleración máxima del terreno a valores extremos que pudieran estar fuera de la realidad registrada para terrenos firmes en sismos intensos.

3.7 Identificación de los acelerogramas seleccionados para aisladores de comportamiento bilineal

En las tablas 3.3 a 3.5 se presentan los factores de escalamiento que regirán para ambas componentes de cada uno de los eventos, de manera que su aceleración espectral para el periodo $T=2.24\text{ seg}$. coincida con los espectros de diseño de las zonas D-I, C-I y B-I.

Tabla 3.1 Estaciones Seleccionadas (ASA v2.0, 1999)					
Estación			Localización		Tipo de suelo
Estado	Nombre de la estación	Clave	Lat. N	Lat. W	
Guerrero	ACAPULCO PELLANDINI	ACAP	16.8360	99.9140	<i>Roca Granítica</i>
Guerrero	ACAPULCO SOP	ACAS	16.8580	99.8940	<i>Aluvial</i>
Guerrero	ATOYAC	ATYC	17.2110	100.4310	<i>Roca</i>
Guerrero	AGUACALIENTE	AGCA	16.830	99.639	<i>Roca</i>
Guerrero	ACAPULCO DIANA POZO 63 M.	ACPD	16.867	99.880	<i>Roca</i>
Guerrero	AEROPUERTO ZIHUATANEJO	AZIH	17.6030	101.4550	<i>Roca</i>
Michoacán	CALETA DE CAMPOS	CALE	18.0730	102.7550	<i>Roca</i>
Guerrero	COYUCA	COYC	16.9680	100.0840	<i>Roca</i>
Guerrero	CERRO DE PIEDRA	CPDR	16.7690	99.6330	<i>Roca</i>
Guerrero	CHILPANCINGO	CHI1	17.5530	99.5000	<i>Roca</i>
Guerrero	FILO DE CABALLO	FIC2	17.6520	99.8420	<i>Roca</i>
Guerrero	LAS MESAS	MSAS	17.0070	99.4560	<i>Roca</i>
Guerrero	EL OCOTITO	OCTT	17.2500	99.5110	<i>Roca</i>
Guerrero	PAPANOA	PAPN	17.3280	101.0400	<i>Roca</i>
Guerrero	EL PARAISO	PARS	17.3440	100.2140	<i>Roca</i>
Guerrero	EL SUCHIL	SUCH	17.2260	100.6420	<i>Roca</i>
Guerrero	TEACALCO	TEAC	18.6180	99.4530	<i>Roca</i>
Guerrero	LA UNION	UNIO	17.9820	101.8050	<i>Roca</i>
Guerrero	VILLITA MARGEN DERECHA	VILE	18.0160	102.2050	<i>Roca</i>
Guerrero	LA VENTA	VNTA	16.9230	99.8160	<i>Roca</i>
Guerrero	XALTIANGUIS	XALT	17.0950	99.7200	<i>Roca</i>
Michoacán	ZACATULA	ZACA	18.0090	102.1780	<i>Arcilla Compacta</i>
Michoacán	ARTEAGA	ARTG	18.3560	102.2930	<i>Roca</i>
Colima	COLIMA	COLI	19.2380	103.7210	<i>Suelo Duro</i>
Michoacán	GUACAMAYAS	GUAC	18.0250	102.2040	<i>Arcilla Compacta</i>
Michoacán - Guerrero	VILLITA MARGEN DERECHA	VILD	17.9820	102.1900	<i>Brecha Andesítica</i>
Guerrero	ACAPULCO RENACIMIENTO	ACAR	16.8990	99.8270	<i>Aluvial</i>
Guerrero	LA COMUNIDAD	COMD	18.1240	100.5070	<i>Roca</i>
Guerrero	COPALA	COPL	16.6050	98.9740	<i>Roca</i>
Puebla	CIUDAD SERDAN	CSER	18.9910	97.3840	<i>Roca</i>
Guerrero	LA LLAVE	LLAV	17.3460	100.7920	<i>Roca</i>
Guerrero	LOS MAGUEYES	MAGY	17.3770	100.5770	<i>Roca</i>
Guerrero	OCOTILLO	OCLL	17.0380	99.8750	<i>Roca</i>
Guerrero	SAN MARCOS	SMR2	16.7760	99.4080	<i>Roca</i>
Guerrero	LAS VIGAS	VIGA	16.7570	99.2360	<i>Roca</i>
Guerrero	ESTACION No.1, ACAPULCO, superficie	ACAJ	16.8731	99.8769	<i>Roca</i>
Guerrero	ACAPULCO LA SALLE	ACAN	16.8660	99.8630	<i>Granito Alterado</i>
Morelos	ESTACION No.5, CUERNAVACA, Sup.	CUER	18.9841	99.2371	<i>Roca</i>
Guerrero	ESTACION No.2, CHILPANCINGO, Sup.	CHIL	17.4660	99.4520	<i>Roca</i>
Guerrero	LA ESTANCIA	ESTA	17.3130	100.2560	<i>Roca</i>
Guerrero	ESTACION No.4, IGUALA, superficie	IGUA	18.3912	99.5038	<i>Roca</i>
Guerrero	ESTACION No.3, MEZCALA, superficie	MEZC	17.9302	99.5910	<i>Roca</i>
Guerrero	POZUELOS	POZU	17.1000	99.6300	<i>Granito</i>
Guerrero	PETAQUILLAS	PTQL	17.4660	99.4530	<i>Roca</i>

Tabla 3.1 Estaciones Seleccionadas (ASA v2.0, 1999 *continuación*)

Estación			Localización		Tipo de suelo
Estado	Nombre de la estación	Clave	Lat. N	Lat. W	
Puebla	CENTRAL UPAEP	RIPC	19.0500	98.2200	<i>Roca Caliza Fragmentada</i>
Guerrero	TONALAPA DEL SUR	TNLP	18.0980	99.5590	<i>Roca</i>
Oaxaca	HUATULCO	HUIG	15.7684	96.1082	<i>Cuarzomonzita</i>
Guerrero	CAYACO	CAIG	17.0478	100.2673	<i>Diorita</i>
Oaxaca	OAXACA FACULTAD DE MEDICINA	OAXM	17.0840	96.7160	<i>Aluvial</i>
Guerrero	ANAFREUD	RICA	17.5400	99.5100	<i>Roca Caliza</i>
Edo. de México	CENTRAL UAEM	RITC	19.2800	99.6800	<i>Roca</i>
Jalisco	MIRAVALLE	MIRV	20.6330	103.3420	<i>Roca</i>
Michoacán	PETACALCO SUBESTACION	PTSU	17.9830	102.1170	<i>Conglomerado Sobre Lutitas</i>
Jalisco	SAN RAFAEL	SNRA	20.6540	103.3110	<i>Roca</i>
Jalisco	TONALA	TONA	20.6410	103.2790	<i>Roca</i>
Guerrero	NUXCO	NUXC	17.2070	100.7580	<i>Roca</i>
Edo. de México	ESTACION No. 17, TLAMACAS, superficie	TLAM	19.0663	98.6278	<i>Roca</i>
Guerrero	ZIHUATANEJO	ZIIG	17.6070	101.4650	<i>Cuarzomonzonita</i>
Guerrero	SAN LUIS DE LA LOMA	SLUI	17.2720	100.8910	<i>Roca</i>
Puebla	POPOCATEPETL	PPIG	19.0670	98.6270	<i>Colada De Lava</i>
Guerrero	COYUQUILLA	COYQ	17.3800	101.0000	<i>Roca</i>
Guerrero	PETATLAN	PETA	17.542	101.271	<i>Roca</i>
Guerrero	PETATLAN II	PET2	17.5400	101.3000	<i>Roca</i>
Guerrero	IGUALA	PLIG	18.3920	99.5020	<i>Caliza</i>
Oaxaca	PINOTEPA	PNIG	16.3920	98.1270	<i>Diorita</i>
Morelos	YAUTEPEC	YAIG	18.8620	99.0670	<i>Caliza</i>
Jalisco	CHAMELA	CJIG	19.4990	105.0430	<i>Andesita</i>

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0								
Sismo del 19 de septiembre de 1985 (850919)								
<i>Coordenadas del epicentro</i>			<i>Profundidad focal (Km)</i>			<i>Magnitud</i>		
18.081 LAT. N		102.942 LONG. W		15		8.1		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
ACAP	0.01	9.42	-16.611	N00E	-27.597	+V	27.72	N90W
ACAS	0.02	11.98	19.219	S00E	-17.468	V	-25.168	N90E
ATYC	0.005	42.11	59.96	S90E	-59.70	V	53.04	S00E
AZIH	0.01	72.64	-100.09	+V	-153.93	S90W	-98.62	S00W
CALE	0.005	50.60	-140.68	S90E	88.45	+V	-139.73	S00E
COYC	0.01	38.8	18.841	+V	35.689	N90W	42.042	S00E
CPDR	0.01	25.63	-12.30	+V	-15.30	S90W	25.78	SOOW
CHI1	0.02	84.66	-157.371	N00E	84.473	+V	187.33	N90W
FIC2	0.02	58.72	67.274	N00E	37.330	+V	69.182	N90E
MSAS	0.005	14.78	17.44	S90E	22.12	+V	22.69	S00E
OCTT	0.01	85.95	-20.49	+V	-53.22	S90W	-48.08	SOOW
PAPN	0.01	89.29	-80.68	+V	111.61	S90W	154.95	SOOW
PARS	0.005	52.8	87.320	S90E	67.675	+V	-109.817	S00E
SUCH	0.01	60.01	49.623	+V	-81.446	S90W	-103.120	SOOW
TEAC	0.01	38.41	-24.733	S90E	27.136	+V	-51.302	S00E
UNIO	0.005	62.89	148.58	S90E	-129.46	+V	-165.29	S00E
VILE	0.005	64.31	122.54	S90E	58.40	+V	-125.17	S00E
VNTA	0.005	10.27	-20.08	S90E	-18.30	+V	19.20	S00E
XALT	0.005	16.55	-17.11	S90E	24.16	+V	-30.82	S00E
ZACA	0.01	146.38	-147.38	+V	-174.18	N90W	262.23	S00E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)								
Sismo del 21 de septiembre de 1985 (850921)								
<i>Coordenadas del epicentro</i>			<i>Profundidad focal (Km)</i>			<i>Magnitud</i>		
18.021 LAT. N		101.479 LONG. W		15		7.6		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
ACAP	0.02	11.62	-18.705	N00E	-22.324	+V	26.369	N90W
ACAS	0.02	13.72	28.960	S00E	-22.418	+V	35.767	N90E
ATYC	0.005	34.55	74.26	S90E	-73.59	+V	79.66	S00E
AZIH	0.01	33.86	95.02	+V	133.14	N90E	-158.23	N00E
COYC	0.01	44.99	-24.85	+V	-47.92	S90W	-42.32	SOOW
CPDR	0.01	21.51	9.00	+V	-10.51	N90E	-11.83	N00E
CHI1	0.02	66.3	93.481	N00E	0.000	+V	-18.135	N90W
FIC2	0.02	33.22	56.899	N00E	-37.872	+V	-47.422	N90E
PAPN	0.01	63.79	171.62	+V	-219.83	S90W	242.69	SOOW
PARS	0.005	46.29	-473.78	S90E	169.63	+V	-625.78	S00E
SUCH	0.01	41.47	-39.04	+V	72	S90W	-85.98	SOOW
TEAC	0.005	18.09	-22.68	S90E	-19.47	+V	30.74	S00E
UNIO	0.005	41.48	-76.98	S90E	59.23	+V	-49.54	S00E
VILE	0.005	11.65	41.10	S90E	23.34	+V	30.41	S00E
VNTA	0.005	9.35	18.50	S90E	-14.17	+V	-13.40	S00E
XALT	0.005	16.59	16.01	S90E	19.09	+V	-17.19	S00E
ZACA	0.01	60.89	36.37	+V	70.82	N90W	-72.73	S00E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 19 de septiembre de 1985 (2° evento) (850919r)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
17.407 LAT. N			101.506 LONG. W			<5		
						4.30		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
AZIH	0.01	14.20	3.486	+V	9.071	S90W	5.024	S00W
CALE	0.005	25.40	50.98	S90E	25.49	+V	41.15	S00E
ZACA	0.01	15.71	4.79	+V	15.31	N90W	-12.44	S00E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 30 de abril de 1986 (860430)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
18.024 LAT. N			103.057 LONG. W			20		
						7.0		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
ARTG	0.01	36.47	22.53	+V	20.39	S90W	-27.06	SO0W
CALE	0.005	25.185	97.170	S90E	-34.420	+V	-76.515	S00E
COLI	0.02	50.64	-69.192	N00W	0.000	+V	-84.052	N90W
GUAC	0.01	44.49	-21.94	+V	31.489	N90W	55.444	S00E
VILD	0.01	31.11	19.47	V	-25.71	S85W	-24.75	S05E
ZACA	0.01	36.24	-17.391	+V	-54.265	N90W	-35.887	S00E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 25 de abril de 1989 (890425)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
16.603 LAT. N			99.400 LONG. W			19		
						6.9		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
ACAP	0.01	41.02	61.50	V	-63.86	N90E	104.39	N00E
ACAR	0.01	49.24	75.63	V	-106.37	N90E	-105.70	N00E
ACAS	0.02	14.88	-139.619	S00E	28.465	V	-116.709	S90E
ATYC	0.005	15.61	16.47	S90E	10.41	V	-19.18	S00E
COMD	0.005	16.08	8.69	S90E	10.69	V	-8.10	S00E
COPL	0.005	35.65	31.48	S90E	57.74	V	-105.14	S00E
COYC	0.01	24.18	-47.86	V	85.08	N90E	-41.09	N00E
CPDR	0.01	38.70	-65.75	V	-92.89	N90E	102.53	N00E
CSEB	0.01	57.59	-5.40	V	14.84	N90E	12.80	N00E
FIC2	0.005	64.89	-15.23	N90E	12.08	V	-14.47	N00E
LLAV	0.005	17.02	11.96	S90E	9.77	V	12.29	S00E
MAGY	0.005	12.21	-7.94	S90E	9.72	V	7.50	S00E
MSAS	0.005	34.19	111.97	S90E	-63.16	V	-107.19	S00E
OCLL	0.01	26.85	-35.24	V	30.93	N90E	28.66	N00E
OCTT	0.01	53.08	195.74	V	-201.16	N90E	126.54	N00E
PARS	0.005	36.63	-102.22	S90E	36.91	V	-117.11	S00E
SMR2	0.005	30.82	127.29	S90E	132.07	V	-175.14	S00E
TEAC	0.005	161.84	13.83	N90E	7.32	V	13.34	N00E
VIGA	0.005	34.39	-310.08	S90E	128.20	V	345.94	S00E
VNTA	0.005	22.68	-62.03	S90E	-40.76	V	29.11	S00E
XALT	0.005	95.71	-54.14	N90E	78.13	V	-55.03	N00E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 24 de octubre de 1993 (931024)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
16.54 LAT. N		98.98 LONG. W		19			6.6	
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
ACAJ	0.01	84.48	28.56	N00E	26.03	N90E	13.52	+V
ACAN	0.005	22.58	-23.83	S90E	-13.57	V	24.57	S00E
ACAR	0.01	44.42	43.07	V	-73.21	N90E	71.30	N00E
ATYC	0.005	18.80	5.34	S90E	5.66	V	-8.78	S00E
COPL	0.01	58.86	-125.04	V	-274.03	N90E	-211.53	N00E
COYC	0.01	23.29	-14.36	V	20.10	N90E	21.05	N00E
CPDR	0.01	25.30	39.24	V	-44.02	N90E	60.29	N00E
CSER	0.01	18.06	2.87	V	-4.79	N90E	-4.79	N00E
CUER	0.01	104.96	5.43	N00E	5.28	N90E	-4.09	+V
CHIL	0.01	96.42	-19.65	N00E	-20.78	N90E	13.34	+V
ESTA	0.01	20.97	-8.61	V	-6.70	N90E	9.57	N00E
FIC2	0.005	49.79	10.42	N90E	6.44	V	-8.84	N00E
IGUA	0.01	97.28	-3.69	N00E	3.51	N90E	-2.62	+V
MEZC	0.01	81.92	-6.59	N00E	7.51	N90E	6.62	+V
MSAS	0.005	46.65	67.73	S90E	-40.24	V	119.05	S00E
OCLL	0.01	23.41	-15.31	V	-18.18	N90E	-17.23	N00E
OCTT	0.01	39.02	-43.07	V	-59.34	N90E	65.08	N00E
POZU	0.005	90.03	-71.70	N90E	-20.89	V	44.91	N00E
PTQL	0.01	53.49	-13.40	V	-22.01	N90E	-19.14	N00E
RIPC	0.005	24.285	-4.02	N00E	2.55	+V	-4.83	N90E
SMR2	0.005	35.62	60.24	S90E	46.86	V	62.21	S00E
TEAC	0.005	69.71	7.36	N90E	2.59	V	-6.35	N00E
TNLP	0.005	59.24	-7.19	N90E	-6.96	V	-7.53	N00E
VIGA	0.005	34.33	261.71	S90E	-140.40	V	-347.64	S00E
VNTA	0.005	28.52	15.28	S90E	-14.16	V	17.09	S00E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 21 de octubre de 1993 (2º evento) (931024r)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
16.54 LAT. N		98.98 LONG. W		19			6.6	
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
CSER	0.01	51.78	2.87	V	-8.61	N90E	-11.48	N00E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 14 de marzo de 1994 (940314)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
15.68 LAT. N		92.43 LONG. W		204			6.8	
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
CSER	0.01	54.77	-4.79	V	10.53	N90E	-9.57	N00E
HUIG	0.0125	425	36.512	N90E	-10.726	V	28.76	N00E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 14 de septiembre de 1995 (950914)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
16.31 LAT. N 98.88 LONG. W			22			6.4		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
ACAJ	0.01	93.86	13.76	N00E	-13.28	N90E	-11.60	+V
ACAN	0.005	35.76	-10.20	S90E	-7.82	V	-14.45	S00E
ACAR	0.01	51.78	-23.45	V	-31.58	N90E	-41.15	N00E
ATYC	0.005	19.16	-6.80	S90E	-5.10	V	8.75	S00E
CAIG	0.0125	608.0	-3.617	N90E	4.081	V	6.037	N00E
COPL	0.01	63.15	46.42	V	68.91	N90E	-77.04	N00E
COYC	0.01	34.89	-8.61	V	12.44	N90E	11.48	N00E
CUER	0.01	157.86	12.70	N00E	12.85	N90E	7.78	+V
CHIL	0.01	109.22	-26.31	V	19.10	N90E	-18.55	N00E
IGUA	0.01	139.09	-6.84	N00E	-6.96	N90E	-7.84	+V
MEZC	0.01	104.10	0.00	N00E	-15.32	N90E	7.66	+V
OAXM	0.01	57.26	-31.29	V	-40.96	N90E	40.02	N00E
OCLL	0.005	137.0	-12.17	N90W	-10.35	V	11.68	N00W
OCTT	0.01	61.0	31.58	V	-48.81	N90E	59.34	N00E
POZU	0.004	81.96	19.27	V	31.54	N90E	-41.68	N00E
RICA	0.005	64.0	49.35	N00E	26.69	+V	-46.61	N90E
RIPC	0.005	148.36	11.20	N00E	10.42	+V	-16.93	N00E
RITC	0.005	102.305	5.89	N00E	3.56	+V	5.59	N90E
TEAC	0.005	157.38	-7.69	N90E	-6.89	+V	11.69	N00E
TNLP	0.005	95.06	-11.20	N90E	11.28	V	10.96	N00E
VIGA	0.005	40.97	-79.42	S90E	57.98	V	100.35	S00E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 14 de septiembre de 1995 (2° evento) (950914r)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
16.31 LAT. N 98.88 LONG. W			22			6.4		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
COPL	0.01	20.72	-9.57	V	-25.84	N90E	-21.53	N00E
OCTT	0.01	16.45	-6.70	V	-13.40	N90E	-17.23	N00E
POZU	0.004	47.00	5.24	V	8.67	N90E	6.44	N00E
RICA	0.005	85.76	5.66	N00E	-2.97	+V	-3.65	N90E
TNLP	0.005	31.12	0.75	N90E	0.57	V	-0.65	N00E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 09 de octubre de 1995 (951009)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
18.74 LAT. N 104.67 LONG. W			5 y 33			6.5		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
IGUA	0.01	157.01	-1.92	N00E	1.80	N90E	-1.95	+V
MIRV	0.005	121.605	-7.411	N90W	7.697	V	6.910	N00W
PTSU	0.01	102.61	-10.53	V	-12.92	N90E	-14.36	N00E
RICA	0.005	203.52	6.40	N00E	-3.83	+V	5.56	N90E
SNRA	0.005	64.005	-5.857	N90W	5.834	V	6.924	N00W
TEAC	0.005	165.78	-2.43	N90E	-2.42	V	-2.98	N00E
TNLP	0.005	139.20	-1.82	N90E	1.77	V	-1.98	N00E
TONA	0.005	85.765	7.330	N90W	6.741	V	5.514	N00W
VILD	0.01	20.49	3.91	V	-5.59	S85W	4.44	S05E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 21 de octubre de 1995 (951021)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
16.92 LAT. N			93.62 LONG. W			98		
						M _b = 6.2, M _c = 6.5		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
OAXM	0.01	84.25	-18.74	V	-32.99	N90E	-34.41	N00E
RIPC	0.005	95.88	2.78	N00E	-1.77	+V	-3.45	N90E
TEAC	0.005	47.15	0.78	N90E	-0.41	V	-0.55	N00E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 25 de febrero de 1996 (960225)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
15.83 LAT. N			98.25 LONG. W			3		
						6.9		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
CAIG	0.0125	1404.00	0.3482	V	0.4461	N00E	-0.2706	N90E
CSER	0.01	14.74	-1.45	V	-4.37	N90E	-4.85	N00E
TNLP	0.005	44.08	0.89	N90E	-1.47	V	0.85	N00E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 15 julio de 1996 (960715)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
17.45 LAT. N			101.16 LONG. W			20		
						6.5		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
ACAJ	0.01	76.80	4.61	N00E	4.82	N90E	4.49	+V
ACAR	0.01	30.39	11.98	V	-22.61	N90E	16.40	N00E
ATYC	0.005	89.00	26.88	N90W	18.30	V	25.80	N00W
AZIH	0.01	32.26	-27.64	V	-36.24	N90E	31.58	N00E
CAIG	0.0125	961.00	5.01	V	7.3876	N00E	-6.4577	N90E
COMD	0.005	60.73	-15.94	S90E	21.63	V	22.24	S00E
CPDR	0.005	63.00	3.97	N90W	-3.06	V	-4.79	N00W
CUER	0.01	120.00	-5.46	N00E	-3.03	+V	-6.23	N90E
CHIL	0.01	75.09	4.76	N00E	3.30	N90E	3.63	+V
IGUA	0.01	122.02	2.66	N00E	-3.42	N90E	-3.60	+V
MEZC	0.01	74.24	-4.61	N00E	4.36	N90E	3.72	+V
NUXC	0.005	83.00	-44.94	N90W	24.87	V	-49.58	N00W
OCLL	0.005	68.00	-6.99	N90W	6.58	V	-7.83	N00W
OCTT	0.01	25.43	-5.34	V	-18.05	N90E	-14.63	N00E
PAPN	0.005	127.00	-319.64	N90W	145.73	V	-292.86	N00W
PETA	0.005	48.97	135.03	S90E	123.24	V	-183.45	S00E
POZU	0.004	47.00	-4.37	V	5.37	N90E	-6.22	N00E
PTSU	0.01	47.77	-14.83	V	30.15	N90E	-21.05	N00E
RICA	0.005	108.80	-21.08	N00E	-11.97	+V	-22.15	N90E
RIPC	0.005	83.20	-3.42	N00E	-1.72	+V	-3.73	N90E
TEAC	0.005	77.75	6.49	N90E	6.50	V	9.56	N00E
TLAM	0.01	123.91	-4.02	N00E	1.77	+V	8.44	N90E
TMLP	0.005	91.69	-9.21	N90E	-6.33	V	-10.68	N00E
UNIO	0.005	42.60	18.35	S90E	-14.76	V	16.11	S00E
VNTA	0.005	73.00	-4.72	N90W	-4.27	V	-4.58	N00W
ZIIG	0.0125	441.00	22.6708	V	46.3571	N00E	-4.7919	N90E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 11 enero de 1997 (970111)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
17.91 LAT. N		103.04 LONG. W		16			6.9	
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
ACAR	0.01	33.16	-9.36	V	13.65	N90E	17.06	N00E
ACPD	0.004	51.00	0.00	V	-2.10	N90E	-2.11	N00E
ATYC	0.005	111.00	-10.37	N90W	8.91	V	9.98	N00W
CALE	0.005	65.50	396.21	S90E	413.94	V	-350.27	S00E
COYC	0.005	73.00	7.13	N90W	-3.62	V	-6.75	N00W
CPDR	0.005	67.00	-4.21	N90W	3.26	V	4.03	N00W
CSER	0.01	7.28	-2.44	V	3.02	N90E	4.94	N00E
CUER	0.01	140.99	9.96	N00E	-4.87	+V	-9.78	N90E
CHIL	0.01	113.99	3.74	N00E	3.41	+V	3.23	N90E
IGUA	0.01	156.99	-5.65	N00E	-2.65	+V	3.16	N90E
MEZC	0.01	111.99	4.21	N00E	3.18	+V	3.91	N90E
NUXC	0.005	80.00	-13.27	N90W	-7.03	V	-13.44	N00W
OCLL	0.005	62.94	4.95	N90W	-3.48	V	4.21	N00W
PAPN	0.005	119.00	-36.62	N90W	-37.15	V	-53.35	N00W
PETA	0.005	64.61	50.67	S90E	-45.72	V	59.58	S00E
POZU	0.004	56.00	-2.85	V	-5.26	N90E	4.57	N00E
PTSU	0.01	106.12	-170.35	V	221.07	N90E	-311.04	N00E
RICA	0.005	124.16	-19.50	N00E	9.48	+V	-14.24	N90E
RIPC	0.005	88.32	-5.22	N00E	1.97	+V	-5.12	N90E
SLUI	0.005	100.00	9.50	N90W	-11.59	V	13.86	N00W
SUCH	0.005	81.00	-5.69	N90W	5.45	V	6.97	N00W
TLAM	0.01	122.25	-4.07	N00E	2.04	+V	5.94	N90E
UNIO	0.005	66.58	-77.81	S90E	68.13	V	-76.51	S00E
VILE	0.005	55.10	99.50	S90E	70.82	V	-103.36	S00E
VNTA	0.005	61.00	2.45	N90W	1.86	V	2.21	N00W

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 01 mayo de 1997 (970501)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
18.91 LAT. N		107.25 LONG. W		15			7.0	
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
CAIG	0.0125	595.638	0.0743	V	-0.0869	N00E	0.0893	N90E
PPIG	0.0125	782.00	-0.1255	V	-0.0091	N00E	-0.1505	N90E

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 03 febrero de 1998 (980203)								
Coordenadas del epicentro			Profundidad focal (Km)			Magnitud		
15.69 LAT. N		96.37 LONG. W		33			6.2	
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación					
VIGA	0.005	65.00	-2.78	N90W	-1.58	V	4.42	N00W

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 15 junio de 1999 (990615)									
Coordenadas del epicentro				Profundidad focal (Km)			Magnitud		
18.18 LAT. N		97.51 LONG. W		69			6.5		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación						
ACAJ	0.01	153.00	-5.53	N00E	4.86	+V	5.69	N90E	
ACAR	0.01	87.59	-12.59	V	17.99	N90E	15.66	N00E	
ACPD	0.004	114.00	-3.19	V	4.48	N90E	-5.05	N00E	
AGCA	0.005	140.00	-8.97	N90W	-8.24	V	11.43	N00W	
ATYC	0.005	133.00	-7.16	N90W	-6.96	V	-7.35	N00W	
CAIG	0.0125	444.00	3.8053	V	-4.9208	N00E	-3.6924	N90E	
COMD	0.005	94.00	14.49	N90W	12.07	V	16.72	N00W	
COPL	0.005	143.00	10.83	N90W	14.75	V	-8.52	N00W	
COYC	0.005	133.00	-7.63	N90W	12.23	V	-9.07	N00W	
COYQ	0.005	91.00	8.35	N90W	5.88	V	10.01	N00W	
CSER	0.01	134.41	-108.06	V	199.13	N90E	-171.19	N00E	
CUER	0.01	195.00	42.88	N00E	-17.40	V	-44.69	N90E	
CHIL	0.01	186.00	23.16	N00E	18.45	+V	-21.23	N90E	
HUIG	0.0125	512.00	6.2933	V	-13.0202	N00E	-11.1606	N90E	
IGUA	0.01	177.00	14.15	N00E	11.16	+V	-19.01	N90E	
MEZC	0.01	150.00	-23.59	N00E	-18.11	+V	31.90	N90E	
OCLL	0.005	129.00	7.25	N90W	7.21	V	8.42	N00W	
PET2	0.005	92.00	3.59	N90W	2.386	V	-3.24	N00W	
PLIG	0.0125	547.00	14.370	V	-18.358	N00E	19.165	N90E	
PNIG	0.0125	372.00	-3.3086	V	3.4938	N00E	3.4530	N90E	
POZU	0.005	152.00	-20.20	N90W	-10.92	V	17.06	N00W	
PPIG	0.0125	564.00	35.638	V	-0.020	N00E	-56.495	N90E	
RICA	0.005	80.64	51.21	N00E	28.30	+V	84.48	N90E	
SMR2	0.005	128.00	-7.50	N90W	15.55	V	-7.65	N00W	
TEAC	0.005	126.00	35.11	N90W	-15.80	V	31.65	N00W	
TNLP	0.005	129.00	35.07	N90W	22.14	V	-36.46	N00W	
UNIO	0.005	79.00	2.15	N90W	-2.04	V	-2.75	N00W	
VIGA	0.005	142.00	-17.03	N90W	-11.57	V	18.50	N00W	
VNTA	0.005	131.00	5.56	N90W	-5.27	V	-6.60	N00W	
YAIG	0.0125	503.00	-26.974	V	69.285	N00E	-55.569	N90E	
ZIIG	0.0125	542.00	-1.6299	V	-2.0666	N00E	1.8594	N90E	

Tabla 3.2 Características de los acelerogramas originales seleccionados de la base ASA V2.0 (continuación)

Sismo del 30 septiembre de 1999 (990930)									
Coordenadas del epicentro				Profundidad focal (Km)			Magnitud		
15.95 LAT. N		97.03 LONG. W		16			7.5		
Clave	Intervalo de muestreo (s)	Duración del registro (s)	Aceleración Máxima (gals.) y Orientación						
CJIG	0.0125	569.00	-0.183700	V	-0.2113	N00E	-0.1816	/N90E	
CSER	0.01	143.00	-15.43	V	-32.32	N90E	43.37	N00E	
CUER	0.01	194.00	16.20	N00E	-10.80	+V	16.52	N90E	
HUIG	0.0125	443.00	-76.371	V	-146.553	N00E	124.933	N90E	
PNIG	0.0125	330.09	32.314	V	-35.607	N00E	-40.489	N90E	
PPIG	0.0125	561.00	-5.850	V	15.577	N00E	-22.310	N90E	
YAIG	0.0125	579.00	9.160	V	13.826	N00E	17.486	N90E	

Tabla 3.3 Acelerogramas seleccionadas por evento

Estado	clave	Eventos														
		850919	850919r	850921	860430	890425	931024	940314	950914	950914r	951009	951021	960715	970111	990615	990630
Guerrero	ACAP	■		■		■										
	ACAS	■		■		■										
	ATYC	■		■		■	■		■				■	■	■	
	AZIH	■	■	■									■			
	COYC	■				■	■		■						■	
	CPDR	■		■		■	■						■	■		
	CHI1	■		■												
	FIC2	■		■		■	■									
	MSAS	■				■	■									
	OCTT	■				■	■		■	■			■			
	PAPN	■		■									■	■		
	PARS	■		■			■									
	SUCH	■		■										■		
	TEAC	■		■			■	■		■		■	■	■	■	
	UNIO	■		■									■	■	■	
	VILE	■		■									■			
	VNTA	■		■			■	■					■	■	■	
	XALT	■		■			■									
	ACAR						■	■		■			■	■	■	
	COMD						■						■		■	
	COPL						■	■		■	■				■	
	LLAV						■									
	MAGY						■									
	OCLL						■	■		■			■	■	■	
	SMR2						■	■								
	VIGA						■	■		■					■	
ACAJ							■		■			■		■		
ACAN							■		■							

AMPLIFICACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE AISLADORES DE BASE POR EFECTOS RÍDIRECCIONALES

Base de datos utilizada para el presente estudio

Tabla 3.3 Acelerogramas seleccionadas por evento (*continuación*)

Estado	Clave	Evento														
		850919	850919r	850921	860430	890425	931024	940314	950914	950914r	951009	951021	960715	970111	990615	990630
Guerrero	CHIL						■		■				■	■	■	
	ESTA						■									
	IGUA						■		■		■		■	■	■	
	MEZC						■						■	■	■	
	POZU						■		■	■			■	■	■	
	PTQL						■									
	TNLP						■		■	■			■		■	
	CAIG								■	■	■		■		■	
	RICA								■	■	■		■	■	■	
	NUXC												■	■		
	ZIIG												■	■	■	
	SLUI													■		
	COYQ														■	
	PET2														■	
	PLIG														■	
PETA												■	■			
AGCA														■		
Michoacán-Guerrero	VILD				■						■					
Michoacán	CALE	■	■		■									■		
	ZACA	■	■	■	■											
	ARTG				■											
	GUAC				■											
	PTSU										■		■	■		
Colima	COLI				■											
Puebla	CSER					■	■	■						■	■	
	RIPC						■		■			■	■	■	■	
	PPIG													■	■	

Miguel Ángel Pérez Osornio

Base de datos utilizada para el presente estudio

Tabla 3.3 Acelerogramas seleccionadas por evento (continuación)

estado	Clave	Evento														
		850919	850919r	850921	860430	890425	931024	940314	950914	950914r	951009	951021	960715	970111	990615	990630
Morelos	CUER						■		■				■	■	■	
	YAIG														■	■
Oaxaca	HIUG							■							■	■
	OAXM							■			■					
	PNIG													■	■	
Edo. Mex.	RITC								■							
	TLAM												■	■	■	
Jalisco	MIRV										■					
	SNRA										■					
	TONA															
	CJIG															■

total
154

No se presentó registro
 Acelerograma aceptado
 Acelerograma rechazado

i) ZONA D-I

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I

Sismo del 19 de septiembre de 1985 (850919)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAP	0.0282	0.0169	0.0013	0.0021	202.1899	126.0337	5.7044	2.1357	!!!
ATYC	0.0609	0.0549	0.0186	0.0447	13.8885	5.7949	0.8454	0.3179	5.7949
AZIH	0.1591	0.099	0.1099	0.1161	2.3538	2.2282	0.3745	0.2206	2.2282
CALE	0.1418	0.1403	0.1048	0.1655	2.4706	1.5637	0.3504	0.2194	1.5637
COYC	0.0364	0.0429	0.0149	0.0523	17.4125	4.9442	0.6334	0.2119	4.9442
CPDR	0.0151	0.0266	0.0087	0.0122	29.8832	21.1933	0.4504	0.5645	21.1933
MSAS	0.018	0.0234	0.0182	0.0154	14.2298	16.7784	0.2566	0.392	14.2298
OCTT	0.0545	0.048	0.0186	0.0462	13.9028	5.6007	0.7582	0.2689	5.6007
PAPN	0.113	0.1593	0.0188	0.0323	13.774	8.0124	1.5563	1.276	!!!
PARS	0.0877	0.1119	0.0193	0.0371	13.425	6.9773	1.1778	0.781	6.9773
SUCH	0.083	0.1051	0.0346	0.0523	7.4873	4.947	0.6216	0.52	4.947
TEAC	0.0252	0.0523	0.0337	0.0436	7.6851	5.9356	0.1938	0.3103	5.9356
UNIO	0.1502	0.1673	0.0695	0.1191	3.724	2.1735	0.5595	0.3636	2.1735
VILE	0.1237	0.1252	0.0578	0.0704	4.4812	3.6768	0.5545	0.4602	3.6768
VNTA	0.0211	0.0182	0.0167	0.0265	15.5426	9.7553	0.3278	0.1776	9.7553
XALT	0.0179	0.0313	0.0214	0.0305	12.0833	8.4936	0.2158	0.2662	8.4936
ZACA	0.1784	0.2681	0.0507	0.0932	5.1048	2.7766	0.9105	0.7444	2.7766
ACAS	0.0257	0.0196	0.0023	0.0022	110.7344	120.1676	2.8501	2.3572	!!!
CHII	0.191	0.1597	0.3476	0.343	0.7445	0.7545	0.1422	0.1205	0.7445
FICA	0.0705	0.0685	0.0279	0.0572	9.2644	4.521	0.6535	0.3099	4.521

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (continuación)

Sismo del 19 de septiembre de 1985, 2° evento (850919r)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
CALE	0.0517	0.0408	0.0177	0.0227	14.5894	11.4192	0.7548	0.4656	11.4192
ZACA	0.0159	0.0129	0.0005	0.0006	523.9856	432.7559	8.3192	5.5874	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (*continuación*)

Sismo del 21 de septiembre de 1985 (850921)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ATYC	0.0727	0.0819	0.0091	0.0165	28.3817	15.6617	2.0625	1.283	!!!
AZIH	0.137	0.159	0.0568	0.0788	4.5571	3.2862	0.6241	0.5225	3.2862
COYC	0.0491	0.0421	0.006	0.0144	43.014	17.9477	2.1123	0.7562	!!!
CPDR	0.0098	0.0123	0.0047	0.0044	55.0942	58.216	0.541	0.717	55.0942
PAPN	0.2243	0.249	0.0212	0.0308	12.2345	8.3903	2.7448	2.0891	!!!
PARS	0.4836	0.5131	0.0074	0.0185	34.7971	13.9967	16.8279	7.1815	!!!
SUCH	0.0731	0.087	0.0114	0.0278	22.7503	9.3214	1.6632	0.8108	!!!
TEAC	0.0218	0.0314	0.0067	0.0151	38.6008	17.1876	0.8405	0.5401	17.1876
UNIO	0.0779	0.0475	0.0177	0.0146	14.6537	17.7206	1.1413	0.8416	14.6537
VILE	0.0411	0.034	0.0241	0.038	10.7343	6.8113	0.4413	0.2318	6.8113
VNTA	0.0182	0.013	0.0035	0.0072	73.862	35.7201	1.3437	0.4651	!!!
XALT	0.0151	0.017	0.0045	0.0114	57.2393	22.7523	0.8623	0.3859	22.7523
ZACA	0.0725	0.0742	0.0301	0.0518	8.5894	4.9992	0.6231	0.3707	4.9992
ACAP	0.0268	0.0191	0.0052	0.0028	49.5453	92.2939	1.3289	1.7638	!!!
ACAS	0.0365	0.0295	0.0036	0.0037	71.583	69.4489	2.6126	2.0486	!!!
CHIL	0.12	0.0959	0.1553	0.1634	1.6667	1.5836	0.2001	0.1519	1.5836
FICA	0.0483	0.058	0.0122	0.0119	21.2018	21.658	1.0249	1.2553	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (*continuación*)

Sismo del 30 de abril de 1986 (860430)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ARTG	0.0209	0.0272	0.005	0.0068	51.7487	38.0802	1.0803	1.0375	38.0802
CALE	0.0991	0.0778	0.0244	0.0267	10.5946	9.7058	1.0494	0.7547	9.7058
GUAC	0.0321	0.0565	0.0004	0.0113	713.0259	22.8116	22.8879	1.289	!!!
VILD	0.0246	0.0232	0.0089	0.0059	28.9945	43.8893	0.714	1.0167	28.9945
ZACA	0.0553	0.0366	0.0057	0.0065	45.3897	40.1171	2.5108	1.4677	!!!
COLI	0.0857	0.0705	0.042	0.0221	6.1605	11.7356	0.5278	0.8278	6.1605

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (*continuación*)

Sismo del 25 de abril de 1989 (890425)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escalar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAP	0.0652	0.107	0.0099	0.0254	26.2561	10.2032	1.7132	1.0918	!!!
ACAR	0.1085	0.1077	0.0066	0.017	39.4185	15.2556	4.2754	1.6433	!!!
ATYC	0.0166	0.0186	0.0024	0.0038	107.5012	68.6181	1.7858	1.2772	!!!
COPL	0.0585	0.1067	0.0062	0.0172	41.8851	15.0871	2.4487	1.6101	!!!
COYC	0.0865	0.0421	0.0076	0.0081	33.9523	32.1415	2.9372	1.3536	!!!
CPDR	0.0947	0.1049	0.0337	0.0307	7.6709	8.4272	0.7265	0.8838	7.6709
CSER	0.015	0.0127	0.0105	0.0074	24.587	34.7732	0.3676	0.4427	24.587
FIC2	0.0156	0.0148	0.0086	0.0074	30.068	35.0769	0.4682	0.5174	30.068
LLAV	0.0118	0.0125	0.0017	0.0036	156.754	72.3037	1.8539	0.9011	!!!
MSAS	0.1141	0.1088	0.0281	0.0198	9.2208	13.0785	1.0518	1.4224	!!!
OCLL	0.0314	0.0293	0.0081	0.0108	32.0097	23.8676	1.0055	0.6986	23.8676
OCTT	0.2046	0.1289	0.0148	0.0096	17.4554	26.8562	3.5705	3.4617	!!!
PARS	0.1023	0.1173	0.0041	0.004	62.7486	64.4373	6.4198	7.5583	!!!
SMR2	0.1254	0.178	0.0737	0.0641	3.511	4.036	0.4402	0.7185	3.511
TEAC	0.014	0.0138	0.008	0.0075	32.5461	34.3726	0.4563	0.4727	32.5461
VIGA	0.2978	0.3536	0.016	0.0373	16.165	6.9302	4.8141	2.4505	!!!
VNTA	0.0612	0.0296	0.0077	0.0119	33.6448	21.7979	2.0602	0.646	!!!
XALT	0.0552	0.0535	0.0082	0.0105	31.4333	24.5418	1.735	1.314	!!!
ACAS	0.1189	0.1423	0.0093	0.0131	27.9505	19.7021	3.3244	2.8044	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (*continuación*)

Sismo del 14 de marzo de 1994 (940314)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escalar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
CSER	0.0111	0.0104	0.0021	0.0033	121.395	78.5018	1.349	0.8162	!!!
HUIG	0.0372	0.0293	0.0008	0.001	331.6975	265.8226	12.3432	7.791	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (continuación)

Sismo del 24 de octubre de 1993(931024)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
	E-W	N-S	E-W	N-S	para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)				
					E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAJ	0.0266	0.0292	0.0029	0.005	89.8567	51.7301	2.3946	1.5127	!!!
ACAN	0.024	0.0241	0.0031	0.0058	84.4346	44.8047	2.0267	1.0804	!!!
ACAR	0.0745	0.073	0.0029	0.0032	90.791	80.4357	6.7683	5.8719	!!!
COPL	0.2854	0.2089	0.0277	0.0917	9.3502	2.8232	2.6687	0.5898	!!!
COYC	0.0202	0.0217	0.0022	0.0049	119.0342	52.6396	2.4041	1.1435	!!!
CPDR	0.0445	0.0614	0.0059	0.0131	43.5986	19.7311	1.9388	1.2119	!!!
CHIL	0.0212	0.0201	0.0037	0.0061	70.4948	42.181	1.4936	0.8459	!!!
FIC2	0.0106	0.0092	0.0019	0.0019	135.505	133.62	1.4363	1.2256	!!!
MSAS	0.0691	0.1216	0.0043	0.0133	60.0963	19.4747	4.1532	2.369	!!!
OCLL	0.0192	0.0176	0.0041	0.0055	63.1696	46.717	1.2114	0.8241	!!!
OCTT	0.0603	0.0662	0.009	0.0063	28.9043	41.0877	1.7433	2.7205	!!!
POZU	0.0732	0.0457	0.0056	0.0071	46.1643	36.5789	3.3787	1.6731	!!!
PTQL	0.0221	0.02	0.0032	0.0064	80.0481	40.4813	1.7691	0.8089	!!!
SMR2	0.0613	0.0621	0.0121	0.0303	21.3732	8.529	1.3096	0.53	!!!
VIGA	0.2663	0.3546	0.0078	0.0369	33.1132	7.0089	8.8172	2.4851	!!!
VNTA	0.0159	0.0173	0.004	0.004	63.9107	65.4848	1.0137	1.1345	63.9107

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (continuación)

Sismo del 14 de septiembre de 1995, 2º evento (950914r)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
	E-W	N-S	E-W	N-S	para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)				
					E-W	N-S	E-W	N-S	
COPL	0.0265	0.0218	0.0011	0.002	225.3368	128.9793	5.9782	2.8071	!!!
OCTT	0.0135	0.0169	0.0007	0.0013	387.2799	201.8508	5.2307	3.4167	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (*continuación*)

Sismo del 14 de septiembre de 1995 (950914)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAJ	0.0134	0.0142	0.0035	0.0069	73.1301	37.3498	0.9792	0.5288	37.3498
ACAR	0.0332	0.0421	0.0081	0.0071	31.878	36.2202	1.058	1.5238	!!!
COPL	0.0705	0.0787	0.0197	0.0449	13.1386	5.7626	0.9266	0.4534	5.7626
COYC	0.0122	0.0121	0.0038	0.0066	67.6292	39.0718	0.8234	0.4715	39.0718
CUER	0.0132	0.0131	0.0226	0.0343	11.4381	7.5439	0.151	0.0985	7.5439
CHIL	0.0194	0.027	0.0039	0.0065	67.0388	40.0819	1.3004	1.0812	!!!
OAXM	0.0416	0.0405	0.0143	0.0156	18.1213	16.5821	0.7542	0.672	16.5821
OCLL	0.0122	0.0117	0.0042	0.0077	62.1065	33.6588	0.7603	0.3944	33.6588
OCTT	0.0496	0.0613	0.0063	0.0067	40.8666	38.7258	2.0272	2.3723	!!!
RICA	0.0475	0.0503	0.0175	0.0195	14.7897	13.241	0.703	0.6663	13.241
RIPC	0.0172	0.0114	0.0334	0.0381	7.7397	6.7948	0.1335	0.0776	6.7948
TEAC	0.008	0.012	0.0096	0.0086	26.8862	29.9348	0.2158	0.359	26.8862
TNLP	0.0115	0.0107	0.0075	0.0076	34.3227	34.0843	0.3943	0.3652	34.0843
VIGA	0.079	0.1024	0.0095	0.0186	27.1283	13.926	2.1425	1.426	!!!
POZU	0.0317	0.0423	0.005	0.0023	52.2024	113.9672	1.6541	4.8186	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (*continuación*)

Sismo del 09 de octubre de 1995 (951009)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
PTSU	0.0133	0.0149	0.0085	0.0088	30.5672	29.5272	0.4069	0.44	29.5272

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (*continuación*)

Sismo del 21 de octubre de 1995 (951021)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
OAXM	0.0337	0.0351	0.0036	0.0022	72.5806	119.6564	2.4424	4.2008	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (*continuación*)

Sismo del 15 de julio de 1996 (960715)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAR	0.0236	0.0167	0.004	0.0018	64.3597	142.1927	1.5212	2.3725	!!!
ATYC	0.0274	0.0262	0.0019	0.0043	133.5527	59.6059	3.6595	1.5619	!!!
AZIH	0.0365	0.032	0.0146	0.0231	17.7154	11.1965	0.6474	0.3587	11.1965
COMD	0.0163	0.0216	0.0016	0.0015	161.7725	174.4386	2.6364	3.7656	!!!
NUXC	0.0445	0.0505	0.0022	0.0048	119.8266	53.8938	5.3272	2.7242	!!!
OCLL	0.007	0.008	0.0011	0.0025	237.5177	104.3548	1.6649	0.8389	!!!
OCTT	0.0184	0.015	0.001	0.0013	262.7741	196.2627	4.8308	2.9383	!!!
PAPN	0.296	0.2985	0.0085	0.0146	30.4709	17.6822	9.0206	5.2773	!!!
PETA	0.138	0.1865	0.0126	0.0168	20.5915	15.4167	2.842	2.8757	!!!
PTSU	0.0308	0.0217	0.0122	0.0136	21.2831	19.0067	0.6564	0.4122	19.0067
RICA	0.0226	0.0214	0.0052	0.0064	49.578	40.5676	1.1189	0.8696	40.5676
TEAC	0.0065	0.0097	0.0017	0.002	148.9551	128.8015	0.9683	1.2495	!!!
TNLP	0.0093	0.0107	0.0013	0.002	198.8435	126.9838	1.8589	1.3576	!!!
UNIO	0.0176	0.0163	0.0053	0.0028	48.9176	93.3301	0.8617	1.5192	!!!
ZIIG	0.0456	0.0471	0.0132	0.0239	19.6532	10.838	0.8969	0.5104	10.838

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (*continuación*)

Sismo del 11 de enero de 1997 (970111)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I				
	E-W	N-S	E-W	N-S	T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)		E-W	N-S	
ACAR	0.0138	0.0175	0.0019	0.0015	132.9933	171.9397	1.8295	3.0015	!!!
ATYC	0.0106	0.0092	0.0013	0.0023	193.6528	112.0503	2.0463	1.0335	!!!
CALE	0.3906	0.3568	0.0369	0.0646	7.0134	4.0056	2.7391	1.4294	!!!
COYC	0.0072	0.0069	0.0014	0.0012	188.2851	216.2412	1.3635	1.4887	!!!
NUXC	0.0135	0.0136	0.0014	0.0027	184.9068	94.2748	2.502	1.2808	!!!
PAPN	0.0374	0.0544	0.0016	0.0018	163.8586	144.61	6.1217	7.8613	!!!
PETA	0.0519	0.0611	0.0029	0.0035	88.749	73.3437	4.6041	4.4803	!!!
PTSU	0.2255	0.3167	0.1253	0.0814	2.0646	3.181	0.4656	1.0074	2.0646
RICA	0.0145	0.0198	0.0067	0.0103	38.6671	25.2247	0.5609	0.4982	25.2247
SLUI	0.0097	0.0125	0.0024	0.0016	108.019	160.1189	1.0437	2.0056	!!!
UNIO	0.0794	0.0771	0.0352	0.0228	7.3435	11.347	0.5832	0.8746	7.3435
VILE	0.1014	0.1054	0.0289	0.0255	8.9511	10.1498	0.9072	1.0699	8.9511

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (*continuación*)

Sismo del 30 de septiembre de 1999 (990930)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I				
	E-W	N-S	E-W	N-S	T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)		E-W	N-S	
CSER	0.0329	0.044	0.0401	0.0342	6.4465	7.5665	0.212	0.3328	6.4465
CUER	0.0168	0.0166	0.0158	0.0171	16.3782	15.1314	0.2748	0.2506	15.1314
HUIG	0.1272	0.1494	0.0159	0.0058	16.2546	44.8183	2.0684	6.6956	!!!
PNIG	0.0412	0.0363	0.0015	0.0014	176.3557	188.3976	7.27	6.8322	!!!
PPIG	0.0226	0.0157	0.0371	0.0359	6.9686	7.2021	0.1575	0.1134	6.9686
YAIG	0.0179	0.0142	0.0057	0.0049	45.2449	52.7527	0.8111	0.748	45.2449

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.4 Características de las estaciones seleccionadas para la zona D-I (*continuación*)

Sismo del 15 de junio de 1999 (990615)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona D-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.2588$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAR	0.0187	0.0159	0.0059	0.0019	43.8085	136.3948	0.8194	2.1726	!!!
AGCA	0.0092	0.0117	0.0041	0.0061	62.8053	42.6728	0.575	0.4984	42.6728
ATYC	0.0073	0.0074	0.0025	0.0039	102.9057	66.513	0.7528	0.4915	66.513
COMD	0.0148	0.017	0.0023	0.0083	114.4321	31.0607	1.6932	0.5296	!!!
COPL	0.0094	0.0086	0.0039	0.0054	66.7554	47.5781	0.629	0.408	47.5781
COYC	0.0078	0.0092	0.0037	0.0048	70.5351	54.0786	0.5498	0.4991	54.0786
COYQ	0.0085	0.0096	0.0016	0.0026	157.3901	98.6598	1.3383	0.9506	!!!
CSER	0.2027	0.1748	0.0428	0.0401	6.0446	6.4599	1.2254	1.1289	!!!
CUER	0.0455	0.0437	0.0238	0.0122	10.8596	21.2937	0.4944	0.9298	10.8596
CHIL	0.0216	0.0236	0.0054	0.0062	47.7253	41.6169	1.0306	0.9822	41.6169
IGUA	0.0193	0.0144	0.0043	0.0045	59.9207	57.6838	1.1577	0.8288	57.6838
MEZC	0.0326	0.0241	0.004	0.0055	65.228	47.055	2.1259	1.133	!!!
POZU	0.0206	0.0174	0.0059	0.005	43.9794	51.544	0.9065	0.8965	43.9794
RICA	0.0861	0.0517	0.0183	0.0312	14.1576	8.2935	1.2188	0.4289	!!!
TEAC	0.0358	0.0316	0.0066	0.0056	39.3973	46.3323	1.4086	1.4655	!!!
TNLP	0.0347	0.0364	0.0051	0.0048	51.1839	53.9608	1.7763	1.9633	!!!
VIGA	0.0173	0.0188	0.0068	0.0077	38.0625	33.6569	0.6573	0.6343	33.6569
HUIG	0.0114	0.0133	0.0018	0.0014	144.8558	186.5379	1.6489	2.4763	!!!
PLIG	0.0196	0.0187	0.0045	0.0043	57.2802	59.9905	1.1225	1.1239	57.2802
YAIG	0.0566	0.0706	0.0057	0.0125	45.642	20.6461	2.5812	1.4583	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

ii) ZONA C-I

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I

Sismo del 19 de septiembre de 1985 (850919)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.1863$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAP	0.0282	0.0169	0.0013	0.0021	145.5486	90.7267	4.1064	1.5374	!!!
ATYC	0.0609	0.0549	0.0186	0.0447	9.9978	4.1715	0.6086	0.2288	4.1715
AZIH	0.1591	0.099	0.1099	0.1161	1.6944	1.604	0.2696	0.1588	1.604
CALE	0.1418	0.1403	0.1048	0.1655	1.7785	1.1256	0.2522	0.1579	1.1256
COYC	0.0364	0.0429	0.0149	0.0523	12.5346	3.5592	0.4559	0.1526	3.5592
CPDR	0.0151	0.0266	0.0087	0.0122	21.5117	15.2562	0.3242	0.4064	15.2562
MSAS	0.018	0.0234	0.0182	0.0154	10.2435	12.0781	0.1847	0.2822	10.2435
OCTT	0.0545	0.048	0.0186	0.0462	10.0081	4.0317	0.5458	0.1936	4.0317
PAPN	0.113	0.1593	0.0188	0.0323	9.9154	5.7678	1.1203	0.9186	5.7678
PARS	0.0877	0.1119	0.0193	0.0371	9.6641	5.0227	0.8479	0.5622	5.0227
SUCH	0.083	0.1051	0.0346	0.0523	5.3898	3.5612	0.4475	0.3743	3.5612
TEAC	0.0252	0.0523	0.0337	0.0436	5.5322	4.2728	0.1395	0.2234	4.2728
UNIO	0.1502	0.1673	0.0695	0.1191	2.6808	1.5646	0.4028	0.2617	1.5646
VILE	0.1237	0.1252	0.0578	0.0704	3.2258	2.6468	0.3992	0.3313	2.6468
VNTA	0.0211	0.0182	0.0167	0.0265	11.1885	7.0225	0.2359	0.1279	7.0225
XALT	0.0179	0.0313	0.0214	0.0305	8.6983	6.1142	0.1554	0.1917	6.1142
ZACA	0.1784	0.2681	0.0507	0.0932	3.6747	1.9988	0.6554	0.5359	1.9988
ACAS	0.0257	0.0196	0.0023	0.0022	79.7134	86.504	2.0517	1.6969	!!!
CHIL	0.191	0.1597	0.3476	0.343	0.536	0.5431	0.1024	0.0868	0.536
FICA	0.0705	0.0685	0.0279	0.0572	6.6691	3.2545	0.4704	0.2231	3.2545

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (continuación)

Sismo del 19 de septiembre de 1985, 2° evento (850919r)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.1863$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
CALE	0.0517	0.0408	0.0177	0.0227	10.5023	8.2202	0.5434	0.3352	8.2202
ZACA	0.0159	0.0129	0.0005	0.0006	377.1968	311.5241	5.9887	4.0222	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (continuación)

Sismo del 21 de septiembre de 1985 (850921)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.1863$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ATYC	0.0727	0.0819	0.0091	0.0165	20.4309	11.2742	1.4847	0.9236	!!!
AZIH	0.137	0.159	0.0568	0.0788	3.2805	2.3656	0.4493	0.3761	2.3656
COYC	0.0491	0.0421	0.006	0.0144	30.9641	12.9198	1.5206	0.5444	!!!
CPDR	0.0098	0.0123	0.0047	0.0044	39.6601	41.9074	0.3894	0.5162	39.6601
PAPN	0.2243	0.249	0.0212	0.0308	8.8071	6.0399	1.9759	1.5039	!!!
PARS	0.4836	0.5131	0.0074	0.0185	25.0491	10.0757	12.1137	5.1697	!!!
SUCH	0.0731	0.087	0.0114	0.0278	16.3771	6.7101	1.1973	0.5837	6.7101
TEAC	0.0218	0.0314	0.0067	0.0151	27.7872	12.3727	0.605	0.3888	12.3727
UNIO	0.0779	0.0475	0.0177	0.0146	10.5486	12.7564	0.8216	0.6059	10.5486
VILE	0.0411	0.034	0.0241	0.038	7.7272	4.9032	0.3177	0.1669	4.9032
VNTA	0.0182	0.013	0.0035	0.0072	53.1704	25.7135	0.9673	0.3348	25.7135
XALT	0.0151	0.017	0.0045	0.0114	41.2043	16.3785	0.6207	0.2778	16.3785
ZACA	0.0725	0.0742	0.0301	0.0518	6.1832	3.5987	0.4485	0.2668	3.5987
ACAP	0.0268	0.0191	0.0052	0.0028	35.6657	66.4388	0.9566	1.2697	!!!
ACAS	0.0365	0.0295	0.0036	0.0037	51.5298	49.9936	1.8807	1.4747	!!!
CHI1	0.12	0.0959	0.1553	0.1634	1.1998	1.1399	0.144	0.1093	1.1399
FICA	0.0483	0.058	0.0122	0.0119	15.2624	15.5907	0.7378	0.9036	15.2624

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (continuación)

Sismo del 30 de abril de 1986 (860430)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.1863$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ARTG	0.0209	0.0272	0.005	0.0068	37.2519	27.4125	0.7777	0.7468	27.4125
CALE	0.0991	0.0778	0.0244	0.0267	7.6266	6.9869	0.7554	0.5433	6.9869
GUAC	0.0321	0.0565	0.0004	0.0113	513.2794	16.4212	16.4761	0.9279	!!!
VILD	0.0246	0.0232	0.0089	0.0059	20.872	31.5942	0.514	0.7319	20.872
ZACA	0.0553	0.0366	0.0057	0.0065	32.6742	28.8788	1.8074	1.0566	!!!
COLI	0.0857	0.0705	0.042	0.0221	4.4347	8.448	0.38	0.5959	4.4347

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (*continuación*)

Sismo del 25 de abril de 1989 (890425)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escalar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.1863$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAP	0.0652	0.107	0.0099	0.0254	18.9007	7.3449	1.2332	0.7859	!!!
ACAR	0.1085	0.1077	0.0066	0.017	28.3758	10.9819	3.0777	1.183	!!!
ATYC	0.0166	0.0186	0.0024	0.0038	77.3859	49.3955	1.2856	0.9194	!!!
COPL	0.0585	0.1067	0.0062	0.0172	30.1514	10.8606	1.7627	1.159	!!!
COYC	0.0865	0.0421	0.0076	0.0081	24.4409	23.1374	2.1144	0.9744	!!!
CPDR	0.0947	0.1049	0.0337	0.0307	5.522	6.0664	0.523	0.6362	5.522
CSER	0.015	0.0127	0.0105	0.0074	17.6992	25.0319	0.2646	0.3187	17.6992
FIC2	0.0156	0.0148	0.0086	0.0074	21.6448	25.2505	0.337	0.3725	21.6448
LLAV	0.0118	0.0125	0.0017	0.0036	112.8411	52.0486	1.3345	0.6486	!!!
MSAS	0.1141	0.1088	0.0281	0.0198	6.6377	9.4147	0.7572	1.024	6.6377
OCLL	0.0314	0.0293	0.0081	0.0108	23.0426	17.1814	0.7238	0.5029	17.1814
OCTT	0.2046	0.1289	0.0148	0.0096	12.5654	19.3327	2.5703	2.4919	!!!
PARS	0.1023	0.1173	0.0041	0.004	45.1702	46.3859	4.6213	5.4409	!!!
SMR2	0.1254	0.178	0.0737	0.0641	2.5275	2.9053	0.3168	0.5172	2.5275
TEAC	0.014	0.0138	0.008	0.0075	23.4287	24.7435	0.3284	0.3403	23.4287
VIGA	0.2978	0.3536	0.016	0.0373	11.6366	4.9888	3.4655	1.764	!!!
VNTA	0.0612	0.0296	0.0077	0.0119	24.2195	15.6915	1.4831	0.4651	!!!
XALT	0.0552	0.0535	0.0082	0.0105	22.6276	17.6667	1.2489	0.9459	!!!
ACAS	0.1189	0.1423	0.0093	0.0131	20.1205	14.1828	2.3931	2.0188	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (*continuación*)

Sismo del 14 de marzo de 1994 (940314)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escalar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.1863$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
CSER	0.0111	0.0104	0.0021	0.0033	87.3875	56.5104	0.9711	0.5876	56.5104
HUIG	0.0372	0.0293	0.0008	0.001	238.7761	191.3553	8.8854	5.6085	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (continuación)

Sismo del 24 de octubre de 1993(931024)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAJ	0.0266	0.0292	0.0029	0.005	64.6843	37.2385	1.7238	1.0889	!!!
ACAN	0.024	0.0241	0.0031	0.0058	60.7812	32.2531	1.4589	0.7778	!!!
ACAR	0.0745	0.073	0.0029	0.0032	65.3569	57.9025	4.8722	4.2269	!!!
COPL	0.2854	0.2089	0.0277	0.0917	6.7308	2.0323	1.9211	0.4245	!!!
COYC	0.0202	0.0217	0.0022	0.0049	85.6881	37.8932	1.7306	0.8232	!!!
CPDR	0.0445	0.0614	0.0059	0.0131	31.385	14.2037	1.3957	0.8724	!!!
CHIL	0.0212	0.0201	0.0037	0.0061	50.7464	30.3645	1.0752	0.6089	30.3645
FIC2	0.0106	0.0092	0.0019	0.0019	97.5448	96.1878	1.0339	0.8823	96.1878
MSAS	0.0691	0.1216	0.0043	0.0133	43.261	14.0191	2.9897	1.7054	!!!
OCLL	0.0192	0.0176	0.0041	0.0055	45.4733	33.6298	0.872	0.5933	33.6298
OCTT	0.0603	0.0662	0.009	0.0063	20.8071	29.5774	1.2549	1.9584	!!!
POZU	0.0732	0.0457	0.0056	0.0071	33.2319	26.3317	2.4322	1.2044	!!!
PTQL	0.0221	0.02	0.0032	0.0064	57.6235	29.1409	1.2735	0.5823	!!!
SMR2	0.0613	0.0621	0.0121	0.0303	15.3857	6.1397	0.9427	0.3815	6.1397
VIGA	0.2663	0.3546	0.0078	0.0369	23.8369	5.0454	6.3472	1.7889	!!!
VNTA	0.0159	0.0173	0.004	0.004	46.0068	47.14	0.7297	0.8167	46.0068

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (continuación)

Sismo del 14 de septiembre de 1995, 2° evento (950914r)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
COPL	0.0265	0.0218	0.0011	0.002	162.2111	92.8472	4.3035	2.0207	!!!
OCTT	0.0135	0.0169	0.0007	0.0013	278.7877	145.3045	3.7653	2.4596	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (*continuación*)

Sismo del 14 de septiembre de 1995 (950914)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.1863$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAJ	0.0134	0.0142	0.0035	0.0069	52.6435	26.8866	0.7049	0.3806	26.8866
ACAR	0.0332	0.0421	0.0081	0.0071	22.9477	26.0735	0.7616	1.0969	22.9477
COPL	0.0705	0.0787	0.0197	0.0449	9.4579	4.1482	0.667	0.3264	4.1482
COYC	0.0122	0.0121	0.0038	0.0066	48.6836	28.1263	0.5928	0.3394	28.1263
CUER	0.0132	0.0131	0.0226	0.0343	8.2338	5.4306	0.1087	0.0709	5.4306
CHIL	0.0194	0.027	0.0039	0.0065	48.2586	28.8534	0.9361	0.7783	28.8534
OAXM	0.0416	0.0405	0.0143	0.0156	13.0448	11.9368	0.5429	0.4838	11.9368
OCLL	0.0122	0.0117	0.0042	0.0077	44.708	24.2296	0.5473	0.2839	24.2296
OCTT	0.0496	0.0613	0.0063	0.0067	29.4183	27.8772	1.4593	1.7077	!!!
RICA	0.0475	0.0503	0.0175	0.0195	10.6465	9.5317	0.506	0.4796	9.5317
RIPC	0.0172	0.0114	0.0334	0.0381	5.5715	4.8913	0.0961	0.0558	4.8913
TEAC	0.008	0.012	0.0096	0.0086	19.3544	21.5489	0.1553	0.2585	19.3544
TNLP	0.0115	0.0107	0.0075	0.0076	24.7076	24.536	0.2839	0.2629	24.536
VIGA	0.079	0.1024	0.0095	0.0186	19.5286	10.0248	1.5423	1.0265	!!!
POZU	0.0317	0.0423	0.005	0.0023	37.5785	82.0405	1.1907	3.4687	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (*continuación*)

Sismo del 09 de octubre de 1995 (951009)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.1863$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
PTSU	0.0133	0.0149	0.0085	0.0088	22.0041	21.2555	0.2929	0.3168	21.2555

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (continuación)

Sismo del 21 de octubre de 1995 (951021)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.1863$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
OAXM	0.0337	0.0351	0.0036	0.0022	52.2479	86.136	1.7582	3.024	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (continuación)

Sismo del 15 de julio de 1996 (960715)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.1863$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAR	0.0236	0.0167	0.004	0.0018	46.3301	102.359	1.0951	1.7079	!!!
ATYC	0.0274	0.0262	0.0019	0.0043	96.1394	42.908	2.6344	1.1243	!!!
AZIH	0.0365	0.032	0.0146	0.0231	12.7526	8.0599	0.4661	0.2582	8.0599
COMD	0.0163	0.0216	0.0016	0.0015	116.4537	125.5715	1.8978	2.7107	!!!
NUXC	0.0445	0.0505	0.0022	0.0048	86.2585	38.796	3.8349	1.961	!!!
OCLL	0.007	0.008	0.0011	0.0025	170.9797	75.121	1.1985	0.6039	75.121
OCTT	0.0184	0.015	0.001	0.0013	189.1608	141.2818	3.4775	2.1151	!!!
PAPN	0.296	0.2985	0.0085	0.0146	21.9348	12.7287	6.4936	3.7989	!!!
PETA	0.138	0.1865	0.0126	0.0168	14.823	11.0979	2.0458	2.0701	!!!
PTSU	0.0308	0.0217	0.0122	0.0136	15.3209	13.6822	0.4725	0.2967	13.6822
RICA	0.0226	0.0214	0.0052	0.0064	35.6893	29.203	0.8055	0.626	29.203
TEAC	0.0065	0.0097	0.0017	0.002	107.227	92.7191	0.697	0.8995	92.7191
TNLP	0.0093	0.0107	0.0013	0.002	143.1397	91.4107	1.3381	0.9772	!!!
UNIO	0.0176	0.0163	0.0053	0.0028	35.2138	67.1847	0.6203	1.0936	35.2138
ZIIG	0.0456	0.0471	0.0132	0.0239	14.1476	7.8018	0.6457	0.3674	7.8018

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (continuación)

Sismo del 11 de enero de 1997 (970111)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.1863$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAR	0.0138	0.0175	0.0019	0.0015	95.7367	123.7727	1.317	2.1606	!!!
ATYC	0.0106	0.0092	0.0013	0.0023	139.4031	80.6606	1.4731	0.744	!!!
CALE	0.3906	0.3568	0.0369	0.0646	5.0487	2.8835	1.9718	1.029	!!!
COYC	0.0072	0.0069	0.0014	0.0012	135.5391	155.6636	0.9815	1.0716	135.5391
NUXC	0.0135	0.0136	0.0014	0.0027	133.1072	67.8648	1.8011	0.922	!!!
PAPN	0.0374	0.0544	0.0016	0.0018	117.9554	104.0991	4.4068	5.6591	!!!
PETA	0.0519	0.0611	0.0029	0.0035	63.8869	52.7973	3.3143	3.2252	!!!
PTSU	0.2255	0.3167	0.1253	0.0814	1.4862	2.2899	0.3352	0.7252	1.4862
RICA	0.0145	0.0198	0.0067	0.0103	27.8349	18.1583	0.4038	0.3587	18.1583
SLUI	0.0097	0.0125	0.0024	0.0016	77.7587	115.2633	0.7513	1.4438	!!!
UNIO	0.0794	0.0771	0.0352	0.0228	5.2863	8.1682	0.4198	0.6296	5.2863
VILE	0.1014	0.1054	0.0289	0.0255	6.4435	7.3064	0.6531	0.7702	6.4435

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (continuación)

Sismo del 30 de septiembre de 1999 (990930)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.1863$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
CSER	0.0329	0.044	0.0401	0.0342	4.6406	5.4468	0.1526	0.2396	4.6406
CUER	0.0168	0.0166	0.0158	0.0171	11.79	10.8925	0.1978	0.1804	10.8925
HUIG	0.1272	0.1494	0.0159	0.0058	11.7011	32.2629	1.4889	4.8199	!!!
PNIG	0.0412	0.0363	0.0015	0.0014	126.9516	135.6201	5.2334	4.9182	!!!
PPIG	0.0226	0.0157	0.0371	0.0359	5.0164	5.1845	0.1133	0.0816	5.0164
YAIG	0.0179	0.0142	0.0057	0.0049	32.57	37.9746	0.5839	0.5384	32.57

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.5 Características de las estaciones seleccionadas para la zona C-I (continuación)

Sismo del 15 de junio de 1999 (990615)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)				Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona C-I		A_{max} escalada		
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAR	0.0187	0.0159	0.0059	0.0019	31.536	98.1853	0.5898	1.564	!!!
AGCA	0.0092	0.0117	0.0041	0.0061	45.2111	30.7185	0.4139	0.3588	30.7185
ATYC	0.0073	0.0074	0.0025	0.0039	74.0778	47.8801	0.5419	0.3538	47.8801
COMD	0.0148	0.017	0.0023	0.0083	82.3752	22.3594	1.2188	0.3812	!!!
COPL	0.0094	0.0086	0.0039	0.0054	48.0546	34.2496	0.4528	0.2937	34.2496
COYC	0.0078	0.0092	0.0037	0.0048	50.7754	38.9291	0.3958	0.3593	38.9291
COYQ	0.0085	0.0096	0.0016	0.0026	113.299	71.0213	0.9634	0.6843	71.0213
CSER	0.2027	0.1748	0.0428	0.0401	4.3513	4.6502	0.8821	0.8127	4.3513
CUER	0.0455	0.0437	0.0238	0.0122	7.8174	15.3285	0.3559	0.6694	7.8174
CHIL	0.0216	0.0236	0.0054	0.0062	34.3556	29.9584	0.7419	0.707	29.9584
IGUA	0.0193	0.0144	0.0043	0.0045	43.1346	41.5243	0.8334	0.5966	41.5243
MEZC	0.0326	0.0241	0.004	0.0055	46.9551	33.8731	1.5303	0.8156	!!!
POZU	0.0206	0.0174	0.0059	0.005	31.659	37.1045	0.6525	0.6454	31.659
RICA	0.0861	0.0517	0.0183	0.0312	10.1915	5.9702	0.8774	0.3088	5.9702
TEAC	0.0358	0.0316	0.0066	0.0056	28.3606	33.3528	1.014	1.055	28.3606
TNLP	0.0347	0.0364	0.0051	0.0048	36.8453	38.8443	1.2787	1.4133	!!!
VIGA	0.0173	0.0188	0.0068	0.0077	27.3997	24.2283	0.4732	0.4566	24.2283
HUIG	0.0114	0.0133	0.0018	0.0014	104.276	134.2814	1.187	1.7826	!!!
PLIG	0.0196	0.0187	0.0045	0.0043	41.2337	43.1848	0.8081	0.809	41.2337
YAIG	0.0566	0.0706	0.0057	0.0125	32.8559	14.8623	1.8581	1.0498	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

iii) ZONA B-I

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I

Sismo del 19 de septiembre de 1985 (850919)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAP	0.0282	0.0169	0.0013	0.0021	56.6413	35.3070	1.5980	0.5983	!!!
ATYC	0.0609	0.0549	0.0186	0.0447	3.8907	1.6234	0.2368	0.0891	1.6234
AZIH	0.1591	0.0990	0.1099	0.1161	0.6594	0.6242	0.1049	0.0618	0.6242
CALE	0.1418	0.1403	0.1048	0.1655	0.6921	0.4381	0.0981	0.0615	0.4381
COYC	0.0364	0.0429	0.0149	0.0523	4.8779	1.3851	0.1774	0.0594	1.3851
CPDR	0.0151	0.0266	0.0087	0.0122	8.3714	5.9371	0.1262	0.1581	5.9371
MSAS	0.0180	0.0234	0.0182	0.0154	3.9863	4.7003	0.0719	0.1098	3.9863
OCTT	0.0545	0.0480	0.0186	0.0462	3.8947	1.5690	0.2124	0.0753	1.569
PAPN	0.1130	0.1593	0.0188	0.0323	3.8586	2.2446	0.4360	0.3575	2.2446
PARS	0.0877	0.1119	0.0193	0.0371	3.7609	1.9546	0.3300	0.2188	1.9546
SUCH	0.0830	0.1051	0.0346	0.0523	2.0975	1.3859	0.1741	0.1457	1.3859
TEAC	0.0252	0.0523	0.0337	0.0436	2.1529	1.6628	0.0543	0.0869	1.6628
UNIO	0.1502	0.1673	0.0695	0.1191	1.0433	0.6089	0.1567	0.1018	0.6089
VILE	0.1237	0.1252	0.0578	0.0704	1.2553	1.0300	0.1553	0.1289	1.03
VNTA	0.0211	0.0182	0.0167	0.0265	4.3541	2.7329	0.0918	0.0498	2.7329
XALT	0.0179	0.0313	0.0214	0.0305	3.3850	2.3794	0.0605	0.0746	2.3794
ZACA	0.1784	0.2681	0.0507	0.0932	1.4301	0.7778	0.2551	0.2085	0.7778
ACAS	0.0257	0.0196	0.0023	0.0022	31.0210	33.6637	0.7984	0.6604	31.021
CHIL	0.1910	0.1597	0.3476	0.3430	0.2086	0.2114	0.0398	0.0338	0.2086
FICA	0.0705	0.0685	0.0279	0.0572	2.5953	1.2665	0.1831	0.0868	1.2665

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (continuación)

Sismo del 19 de septiembre de 1985, 2° evento (850919r)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
CALE	0.0517	0.0408	0.0177	0.0227	4.0871	3.1990	0.2115	0.1304	3.199
ZACA	0.0159	0.0129	0.0005	0.0006	146.7889	121.2319	2.3305	1.5653	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (continuación)

Sismo del 21 de septiembre de 1985 (850921)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ATYC	0.0727	0.0819	0.0091	0.0165	7.9508	4.3874	0.5778	0.3594	4.3874
AZIH	0.137	0.159	0.0568	0.0788	1.2766	0.9206	0.1748	0.1464	0.9206
COYC	0.0491	0.0421	0.006	0.0144	12.0499	5.0278	0.5917	0.2118	5.0278
CPDR	0.0098	0.0123	0.0047	0.0044	15.434	16.3086	0.1515	0.2009	15.434
PAPN	0.2243	0.249	0.0212	0.0308	3.4274	2.3505	0.7689	0.5852	2.3505
PARS	0.4836	0.5131	0.0074	0.0185	9.748	3.921	4.7141	2.0118	!!!
SUCH	0.0731	0.087	0.0114	0.0278	6.3732	2.6113	0.4659	0.2271	2.6113
TEAC	0.0218	0.0314	0.0067	0.0151	10.8136	4.8149	0.2355	0.1513	4.8149
UNIO	0.0779	0.0475	0.0177	0.0146	4.1051	4.9642	0.3197	0.2358	4.1051
VILE	0.0411	0.034	0.0241	0.038	3.0071	1.9081	0.1236	0.0649	1.9081
VNTA	0.0182	0.013	0.0035	0.0072	20.6916	10.0066	0.3764	0.1303	10.0066
XALT	0.0151	0.017	0.0045	0.0114	16.035	6.3738	0.2416	0.1081	6.3738
ZACA	0.0725	0.0742	0.0301	0.0518	2.4062	1.4005	0.1745	0.1038	1.4005
ACAP	0.0268	0.0191	0.0052	0.0028	13.8796	25.8551	0.3723	0.4941	13.8796
ACAS	0.0365	0.0295	0.0036	0.0037	20.0532	19.4554	0.7319	0.5739	19.4554
CHIL	0.12	0.0959	0.1553	0.1634	0.4669	0.4436	0.0561	0.0425	0.4436
FICA	0.0483	0.058	0.0122	0.0119	5.9395	6.0672	0.2871	0.3517	5.9395

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (continuación)

Sismo del 30 de abril de 1986 (860430)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ARTG	0.0209	0.0272	0.005	0.0068	14.4968	10.6678	0.3026	0.2906	10.6678
CALE	0.0991	0.0778	0.0244	0.0267	2.9679	2.719	0.294	0.2114	2.719
GUAC	0.0321	0.0565	0.0004	0.0113	199.7464	6.3904	6.4118	0.3611	!!!
VILD	0.0246	0.0232	0.0089	0.0059	8.1225	12.2951	0.2	0.2848	8.1225
ZACA	0.0553	0.0366	0.0057	0.0065	12.7154	11.2384	0.7034	0.4112	11.2384
COLI	0.0857	0.0705	0.042	0.0221	1.7258	3.2876	0.1479	0.2319	1.7258

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (*continuación*)

Sismo del 25 de abril de 1989 (890425)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
	E-W	N-S	E-W	N-S	para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
					E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAP	0.0652	0.107	0.0099	0.0254	7.3554	2.8583	0.4799	0.3059	2.8583
ACAR	0.1085	0.1077	0.0066	0.017	11.0427	4.2737	1.1977	0.4604	4.2737
ATYC	0.0166	0.0186	0.0024	0.0038	30.1153	19.2226	0.5003	0.3578	19.2226
COPL	0.0585	0.1067	0.0062	0.0172	11.7336	4.2265	0.686	0.4511	4.2265
COYC	0.0865	0.0421	0.0076	0.0081	9.5114	9.0041	0.8228	0.3792	9.0041
CPDR	0.0947	0.1049	0.0337	0.0307	2.1489	2.3608	0.2035	0.2476	2.1489
CSER	0.015	0.0127	0.0105	0.0074	6.8878	9.7413	0.103	0.124	6.8878
FIC2	0.0156	0.0148	0.0086	0.0074	8.4232	9.8264	0.1312	0.1449	8.4232
LLAV	0.0118	0.0125	0.0017	0.0036	43.9129	20.2551	0.5193	0.2524	20.2551
MSAS	0.1141	0.1088	0.0281	0.0198	2.5831	3.6638	0.2947	0.3985	2.5831
OCLL	0.0314	0.0293	0.0081	0.0108	8.9672	6.6863	0.2817	0.1957	6.6863
OCTT	0.2046	0.1289	0.0148	0.0096	4.8899	7.5235	1.0002	0.9697	4.8899
PARS	0.1023	0.1173	0.0041	0.004	17.5783	18.0514	1.7984	2.1174	!!!
SMR2	0.1254	0.178	0.0737	0.0641	0.9836	1.1306	0.1233	0.2013	0.9836
TEAC	0.014	0.0138	0.008	0.0075	9.1174	9.6291	0.1278	0.1324	9.1174
VIGA	0.2978	0.3536	0.016	0.0373	4.5285	1.9414	1.3486	0.6865	!!!
VNTA	0.0612	0.0296	0.0077	0.0119	9.4252	6.1064	0.5771	0.181	6.1064
XALT	0.0552	0.0535	0.0082	0.0105	8.8057	6.8751	0.486	0.3681	6.8751
ACAS	0.1189	0.1423	0.0093	0.0131	7.83	5.5193	0.9313	0.7856	5.5193

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (*continuación*)

Sismo del 14 de marzo de 1994 (940314)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
	E-W	N-S	E-W	N-S	para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
					E-W	N-S	E-W	N-S	
CSER	0.0111	0.0104	0.0021	0.0033	34.0075	21.9914	0.3779	0.2287	21.9914
HUIG	0.0372	0.0293	0.0008	0.001	92.9214	74.4673	3.4578	2.1826	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (*continuación*)

Sismo del 24 de octubre de 1993(931024)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
	E-W	N-S	E-W	N-S	para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
					E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAJ	0.0266	0.0292	0.0029	0.005	25.1724	14.4916	0.6708	0.4238	14.4916
ACAN	0.024	0.0241	0.0031	0.0058	23.6534	12.5515	0.5678	0.3027	12.5515
ACAR	0.0745	0.073	0.0029	0.0032	25.4341	22.5332	1.8961	1.6449	!!!
COPL	0.2854	0.2089	0.0277	0.0917	2.6194	0.7909	0.7476	0.1652	0.7909
COYC	0.0202	0.0217	0.0022	0.0049	33.3461	14.7464	0.6735	0.3203	14.7464
CPDR	0.0445	0.0614	0.0059	0.0131	12.2137	5.5275	0.5431	0.3395	5.5275
CHIL	0.0212	0.0201	0.0037	0.0061	19.7483	11.8165	0.4184	0.237	11.8165
FIC2	0.0106	0.0092	0.0019	0.0019	37.9603	37.4322	0.4024	0.3433	37.4322
MSAS	0.0691	0.1216	0.0043	0.0133	16.8353	5.4556	1.1635	0.6637	5.4556
OCLL	0.0192	0.0176	0.0041	0.0055	17.6963	13.0873	0.3393	0.2309	13.0873
OCTT	0.0603	0.0662	0.009	0.0063	8.0972	11.5103	0.4884	0.7621	8.0972
POZU	0.0732	0.0457	0.0056	0.0071	12.9324	10.2472	0.9465	0.4687	10.2472
PTQL	0.0221	0.02	0.0032	0.0064	22.4246	11.3404	0.4956	0.2266	11.3404
SMR2	0.0613	0.0621	0.0121	0.0303	5.9875	2.3893	0.3669	0.1485	2.3893
VIGA	0.2663	0.3546	0.0078	0.0369	9.2763	1.9635	2.4701	0.6962	!!!
VNTA	0.0159	0.0173	0.004	0.004	17.9039	18.3449	0.284	0.3178	17.9039

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (*continuación*)

Sismo del 14 de septiembre de 1995, 2° evento (950914r)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
	E-W	N-S	E-W	N-S	para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
					E-W	N-S	E-W	N-S	
COPL	0.0265	0.0218	0.0011	0.002	63.1256	36.1321	1.6747	0.7864	!!!
OCTT	0.0135	0.0169	0.0007	0.0013	108.4922	56.5463	1.4653	0.9572	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (*continuación*)

Sismo del 14 de septiembre de 1995 (950914)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escalar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAJ	0.0134	0.0142	0.0035	0.0069	20.4866	10.4631	0.2743	0.1481	10.4631
ACAR	0.0332	0.0421	0.0081	0.0071	8.9303	10.1467	0.2964	0.4269	8.9303
COPL	0.0705	0.0787	0.0197	0.0449	3.6806	1.6143	0.2596	0.127	1.6143
COYC	0.0122	0.0121	0.0038	0.0066	18.9456	10.9455	0.2307	0.1321	10.9455
CUER	0.0132	0.0131	0.0226	0.0343	3.2043	2.1133	0.0423	0.0276	2.1133
CHIL	0.0194	0.027	0.0039	0.0065	18.7802	11.2285	0.3643	0.3029	11.2285
OAXM	0.0416	0.0405	0.0143	0.0156	5.0765	4.6453	0.2113	0.1883	4.6453
OCLL	0.0122	0.0117	0.0042	0.0077	17.3984	9.4291	0.213	0.1105	9.4291
OCTT	0.0496	0.0613	0.0063	0.0067	11.4483	10.8486	0.5679	0.6646	10.8486
RICA	0.0475	0.0503	0.0175	0.0195	4.1432	3.7093	0.1969	0.1866	3.7093
RIPC	0.0172	0.0114	0.0334	0.0381	2.1682	1.9035	0.0374	0.0217	1.9035
TEAC	0.008	0.012	0.0096	0.0086	7.5319	8.3859	0.0604	0.1006	7.5319
TNLP	0.0115	0.0107	0.0075	0.0076	9.6151	9.5484	0.1105	0.1023	9.5484
VIGA	0.079	0.1024	0.0095	0.0186	7.5997	3.9012	0.6002	0.3995	3.9012
POZU	0.0317	0.0423	0.005	0.0023	14.6239	31.9267	0.4634	1.3499	!!!

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (*continuación*)

Sismo del 09 de octubre de 1995 (951009)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escalar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
PTSU	0.0133	0.0149	0.0085	0.0088	8.5631	8.2717	0.114	0.1233	8.2717

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (continuación)

<i>Sismo del 21 de octubre de 1995 (951021)</i>									
Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
OAXM	0.0337	0.0351	0.0036	0.0022	20.3327	33.5204	0.6842	1.1768	20.3327
!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento									

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (continuación)

<i>Sismo del 15 de julio de 1996 (960715)</i>									
Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escarlar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAR	0.0236	0.0167	0.004	0.0018	18.0297	39.8337	0.4262	0.6646	18.0297
ATYC	0.0274	0.0262	0.0019	0.0043	37.4133	16.6979	1.0252	0.4375	16.6979
AZIH	0.0365	0.032	0.0146	0.0231	4.9628	3.1366	0.1814	0.1005	3.1366
COMD	0.0163	0.0216	0.0016	0.0015	45.3188	48.8671	0.7386	1.0549	45.3188
NUXC	0.0445	0.0505	0.0022	0.0048	33.5681	15.0978	1.4924	0.7632	!!!
OCLL	0.007	0.008	0.0011	0.0025	66.538	29.2339	0.4664	0.235	29.2339
OCTT	0.0184	0.015	0.001	0.0013	73.6133	54.9809	1.3533	0.8231	!!!
PAPN	0.296	0.2985	0.0085	0.0146	8.5361	4.9535	2.527	1.4784	!!!
PETA	0.138	0.1865	0.0126	0.0168	5.7685	4.3188	0.7962	0.8056	4.3188
PTSU	0.0308	0.0217	0.0122	0.0136	5.9622	5.3245	0.1839	0.1155	5.3245
RICA	0.0226	0.0214	0.0052	0.0064	13.8887	11.3646	0.3135	0.2436	11.3646
TEAC	0.0065	0.0097	0.0017	0.002	41.7282	36.0823	0.2713	0.35	36.0823
TNLP	0.0093	0.0107	0.0013	0.002	55.7038	35.5731	0.5207	0.3803	35.5731
UNIO	0.0176	0.0163	0.0053	0.0028	13.7037	26.1454	0.2414	0.4256	13.7037
ZIIG	0.0456	0.0471	0.0132	0.0239	5.5056	3.0361	0.2513	0.143	3.0361
!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento									

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (*continuación*)

Sismo del 11 de enero de 1997 (970111)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escalar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAR	0.0138	0.0175	0.0019	0.0015	37.2566	48.167	0.5125	0.8408	37.2566
ATYC	0.0106	0.0092	0.0013	0.0023	54.2497	31.3897	0.5733	0.2895	31.3897
CALE	0.3906	0.3568	0.0369	0.0646	1.9647	1.1221	0.7673	0.4004	1.1221
COYC	0.0072	0.0069	0.0014	0.0012	52.746	60.5776	0.382	0.417	52.746
NUXC	0.0135	0.0136	0.0014	0.0027	51.7996	26.4101	0.7009	0.3588	26.4101
PAPN	0.0374	0.0544	0.0016	0.0018	45.9032	40.5109	1.7149	2.2023	!!!
PETA	0.0519	0.0611	0.0029	0.0035	24.8621	20.5464	1.2898	1.2551	!!!
PTSU	0.2255	0.3167	0.1253	0.0814	0.5784	0.8911	0.1304	0.2822	0.5784
RICA	0.0145	0.0198	0.0067	0.0103	10.8322	7.0664	0.1571	0.1396	7.0664
SLUI	0.0097	0.0125	0.0024	0.0016	30.2604	44.8556	0.2924	0.5619	30.2604
UNIO	0.0794	0.0771	0.0352	0.0228	2.0572	3.1787	0.1634	0.245	2.0572
VILE	0.1014	0.1054	0.0289	0.0255	2.5075	2.8433	0.2541	0.2997	2.5075

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (*continuación*)

Sismo del 30 de septiembre de 1999 (990930)

Estación	A_{max} (g)		S_a (g)		Factor de escala (f)		A_{max} escalada		Escalar ambas componentes a
					para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
CSER	0.0329	0.044	0.0401	0.0342	1.8059	2.1197	0.0594	0.0932	1.8059
CUER	0.0168	0.0166	0.0158	0.0171	4.5882	4.2389	0.077	0.0702	4.2389
HUIG	0.1272	0.1494	0.0159	0.0058	4.5536	12.5553	0.5794	1.8757	!!!
PNIG	0.0412	0.0363	0.0015	0.0014	49.4041	52.7775	2.0366	1.914	!!!
PPIG	0.0226	0.0157	0.0371	0.0359	1.9522	2.0176	0.0441	0.0318	1.9522
YAIG	0.0179	0.0142	0.0057	0.0049	12.6749	14.7781	0.2272	0.2095	12.6749

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento

Tabla 3.6 Características de las estaciones seleccionadas para la zona B-I (*continuación*)

Sismo del 15 de junio de 1999 (990615)

Estación	A_{max} (g)		S_d (g)		Factor de escala (f)				Escarar ambas componentes a
					A_{max} escalada				
	para igualar la amplitud del espectro de la Zona B-I T=2.24 seg., ($A_{max}=0.0725$ g)				E-W	N-S	E-W	N-S	
ACAR	0.0187	0.0159	0.0059	0.0019	12.2725	12.2725	0.2295	0.6086	12.2725
AGCA	0.0092	0.0117	0.0041	0.0061	17.5942	17.5942	0.1611	0.1396	11.9543
ATYC	0.0073	0.0074	0.0025	0.0039	28.8279	28.8279	0.2109	0.1377	18.6329
COMD	0.0148	0.017	0.0023	0.0083	32.0569	32.0569	0.4743	0.1483	8.7013
COPL	0.0094	0.0086	0.0039	0.0054	18.7008	18.7008	0.1762	0.1143	13.3285
COYC	0.0078	0.0092	0.0037	0.0048	19.7596	19.7596	0.154	0.1398	15.1495
COYQ	0.0085	0.0096	0.0016	0.0026	44.0911	44.0911	0.3749	0.2663	27.6385
CSER	0.2027	0.1748	0.0428	0.0401	1.6933	1.6933	0.3433	0.3163	1.6933
CUER	0.0455	0.0437	0.0238	0.0122	3.0422	3.0422	0.1385	0.2605	3.0422
CHIL	0.0216	0.0236	0.0054	0.0062	13.3697	13.3697	0.2887	0.2751	11.6585
IGUA	0.0193	0.0144	0.0043	0.0045	16.7861	16.7861	0.3243	0.2322	16.1595
MEZC	0.0326	0.0241	0.004	0.0055	18.2729	18.2729	0.5955	0.3174	13.182
POZU	0.0206	0.0174	0.0059	0.005	12.3203	12.3203	0.2539	0.2512	12.3203
RICA	0.0861	0.0517	0.0183	0.0312	3.9661	3.9661	0.3414	0.1202	2.3233
TEAC	0.0358	0.0316	0.0066	0.0056	11.0367	11.0367	0.3946	0.4105	11.0367
TNLP	0.0347	0.0364	0.0051	0.0048	14.3386	14.3386	0.4976	0.55	14.3386
VIGA	0.0173	0.0188	0.0068	0.0077	10.6628	10.6628	0.1841	0.1777	9.4286
HUIG	0.0114	0.0133	0.0018	0.0014	40.5798	40.5798	0.4619	0.6937	40.5798
PLIG	0.0196	0.0187	0.0045	0.0043	16.0464	16.0464	0.3145	0.3148	16.0464
YAIG	0.0566	0.0706	0.0057	0.0125	12.7861	12.7861	0.7231	0.4085	5.7838

!!! Estación descartada por sobrepasar el criterio de escalamiento



Figura 3.1 Primeras estaciones sísmicas de México (cortesía SSN).

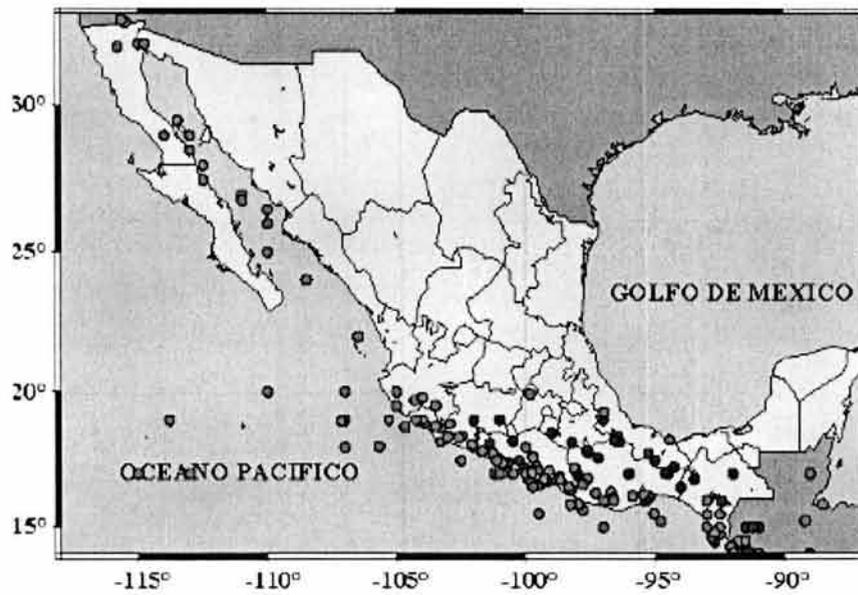


Figura 3.2 Los grandes sismos del siglo ($M > 6.5$, cortesía SSN).

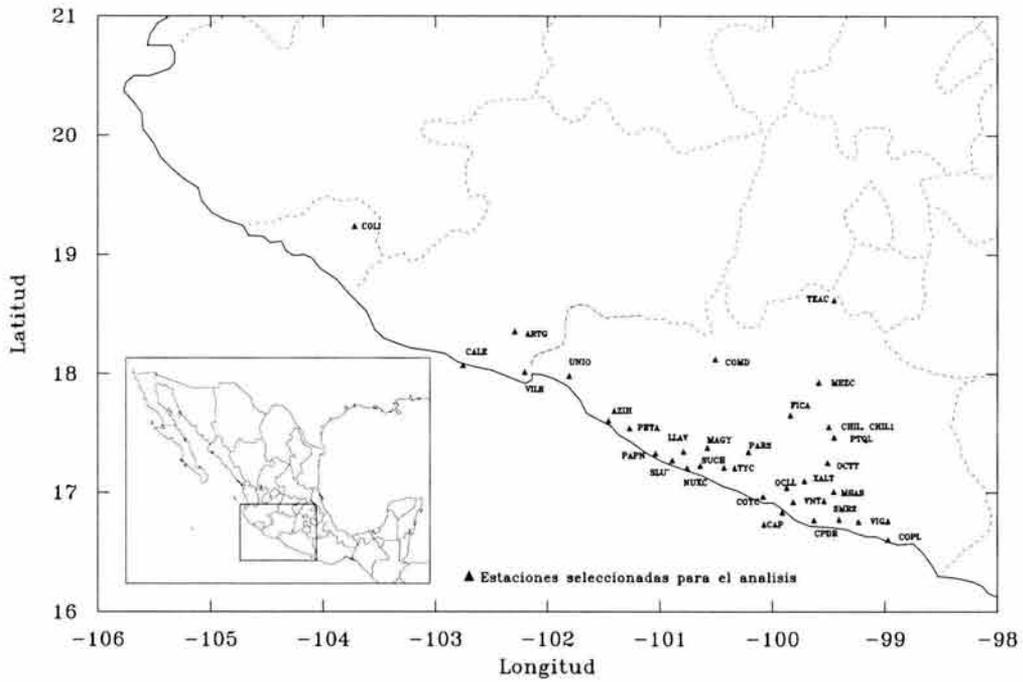


Figura 3.5 Estaciones en Zona B, C y D Terreno Tipo I

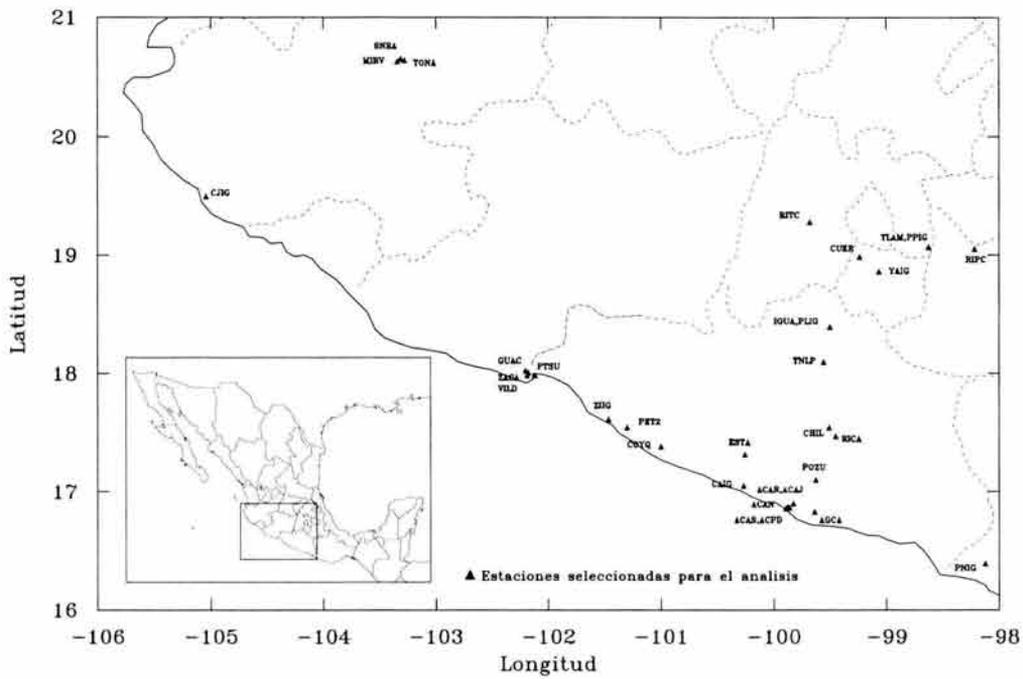


Figura 3.6 Estaciones en Zona B, C y D Terreno Tipo I (continuación)

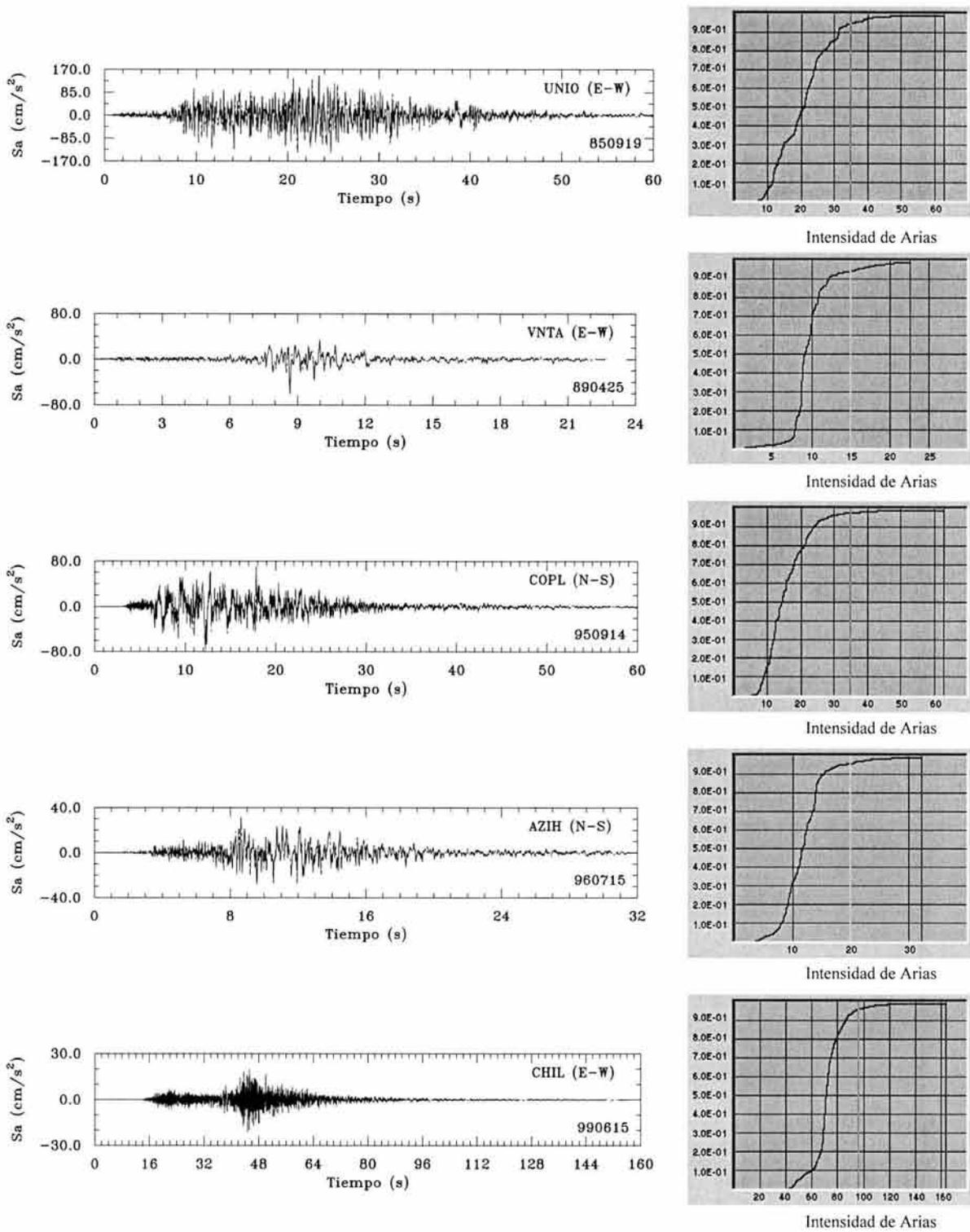


Figura 3.7 ejemplos de acelerogramas que cumplieron el criterio de selección

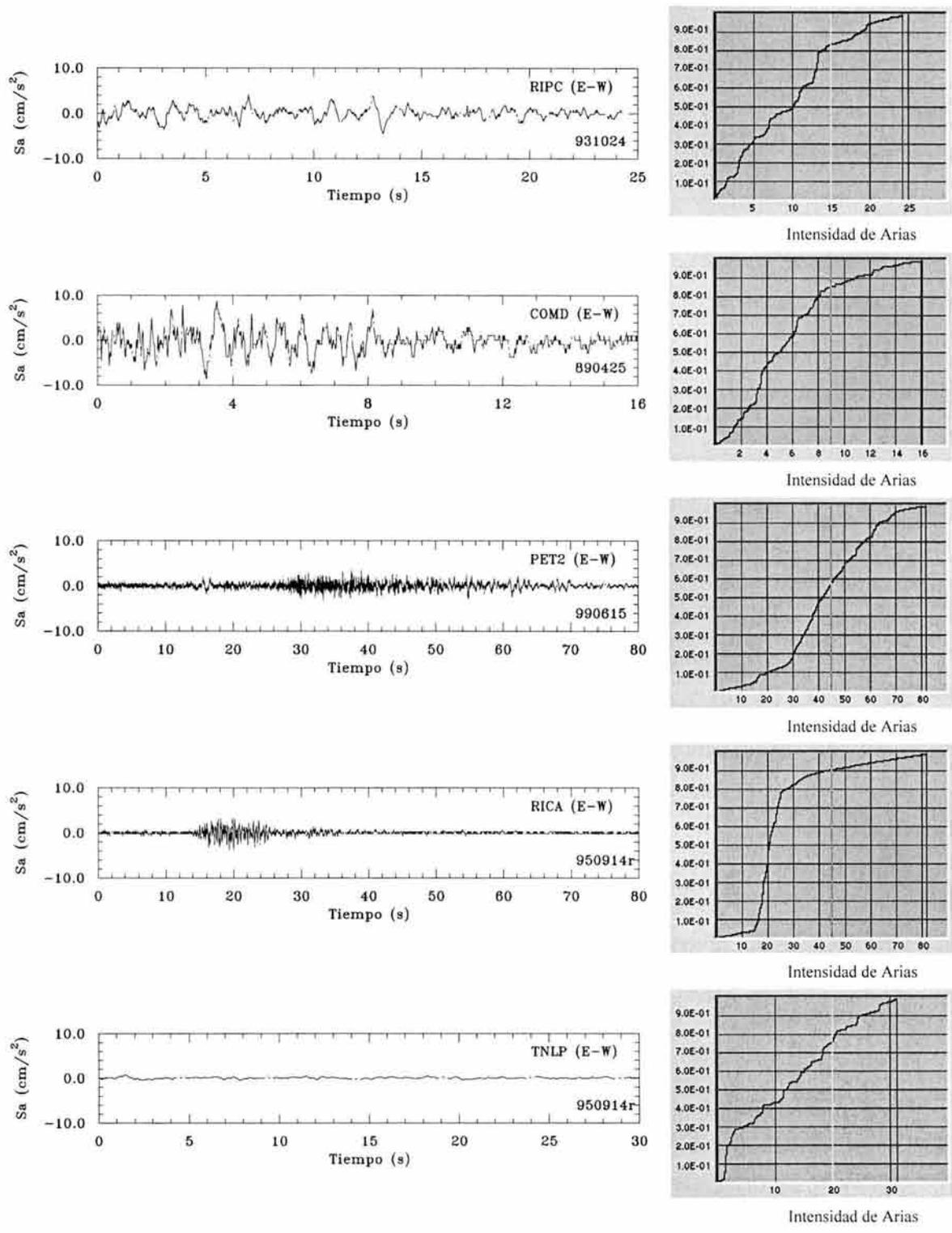


Figura 3.8 ejemplos de acelerogramas que no cumplieron el criterio de selección

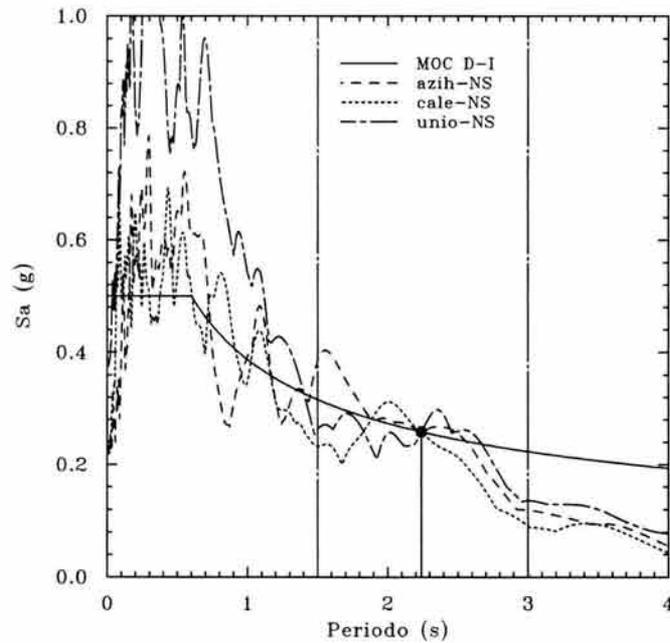


Figura 3.9 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona D-I (MOC-93, 850919)

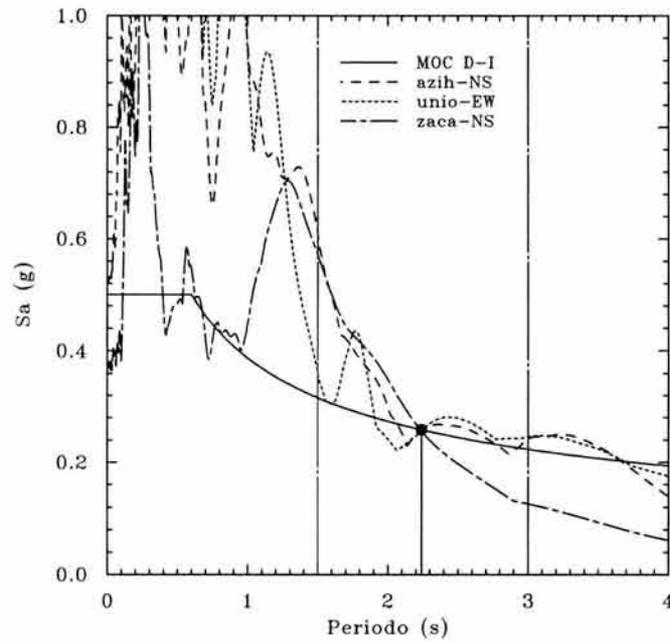


Figura 3.10 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona D-I (MOC-93, 850921)

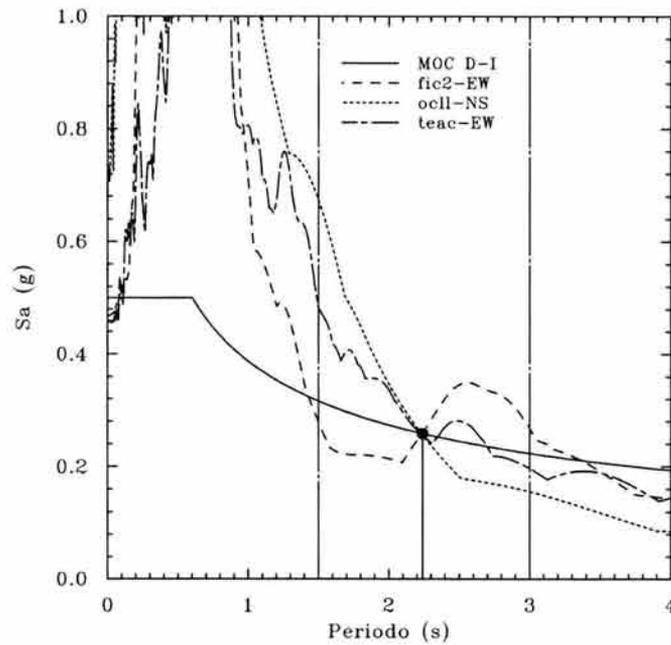


Figura 3.11 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona D-I (MOC-93, 890425)

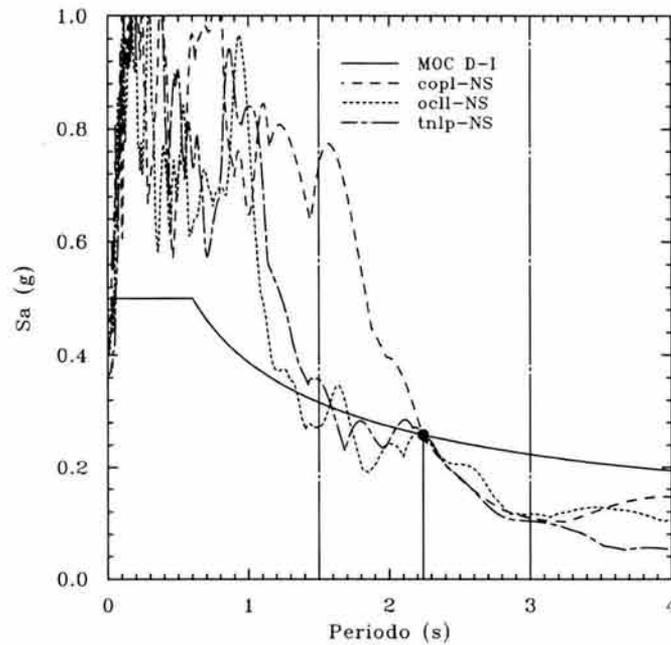


Figura 3.12 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona D-I (MOC-93, 950914)

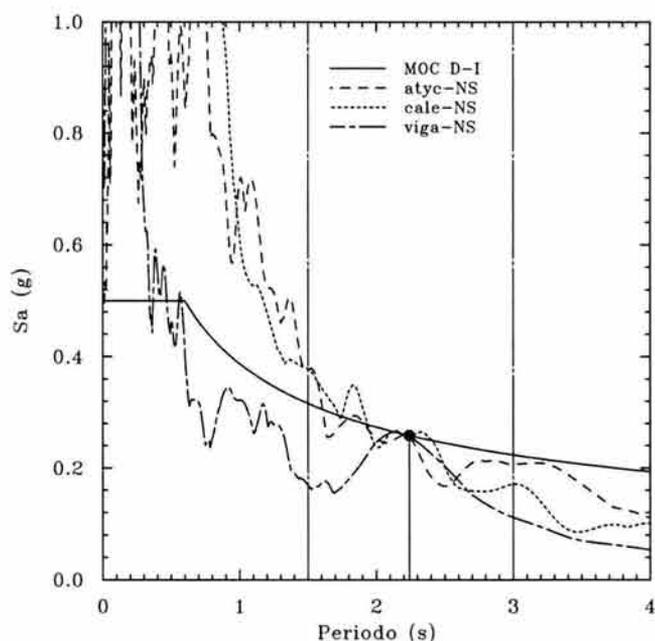


Figura 3.13 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona D-I (MOC-93, 990615)

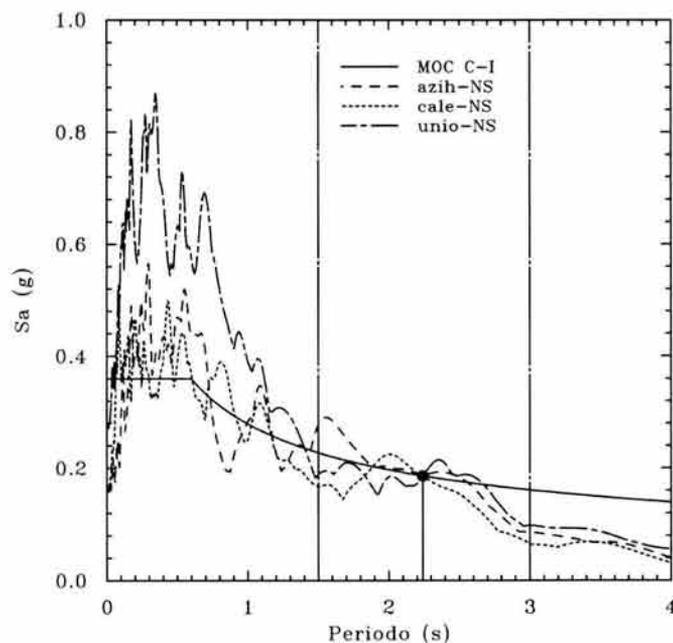


Figura 3.14 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona C-I (MOC-93, 850919)

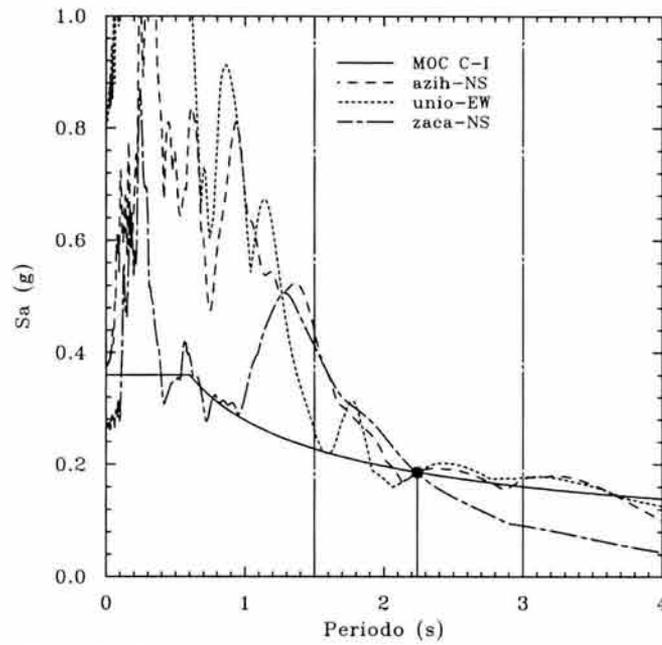


Figura 3.15 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona C-I (MOC-93, 850921)

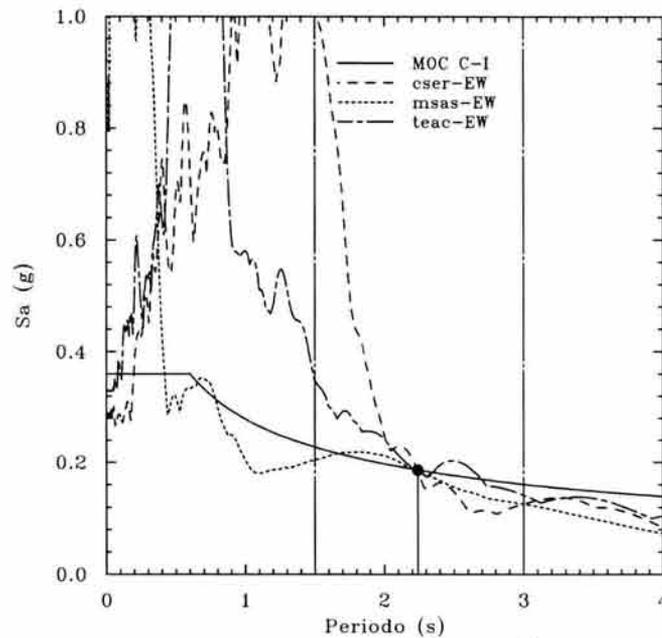


Figura 3.16 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona C-I (MOC-93, 890425)

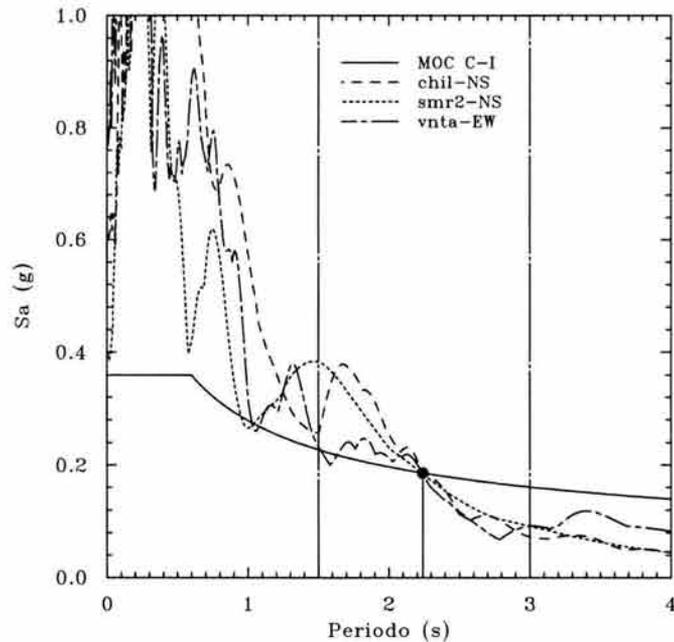


Figura 3.17 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona C-I (MOC-93, 931024)

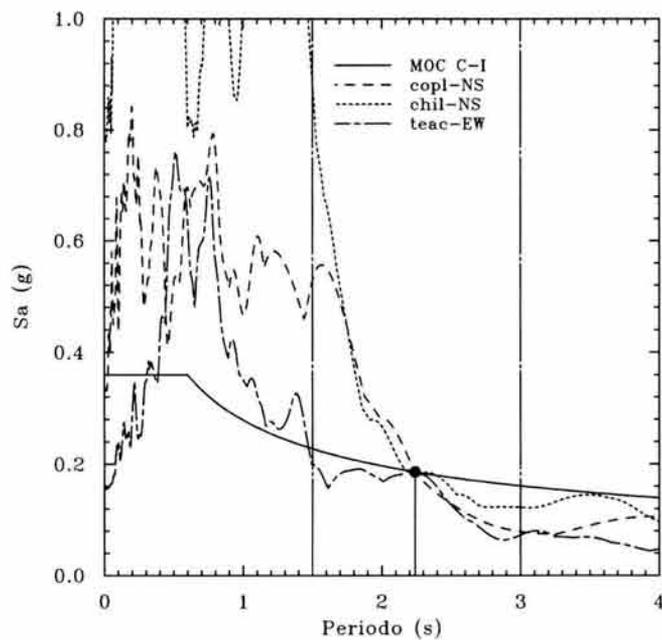


Figura 3.18 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona C-I (MOC-93, 950914)

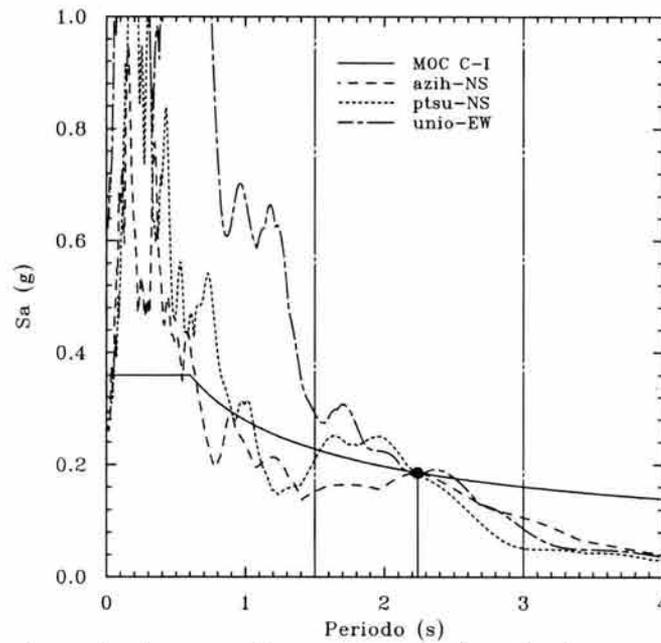


Figura 3.19 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona C-I (MOC-93, 960715)

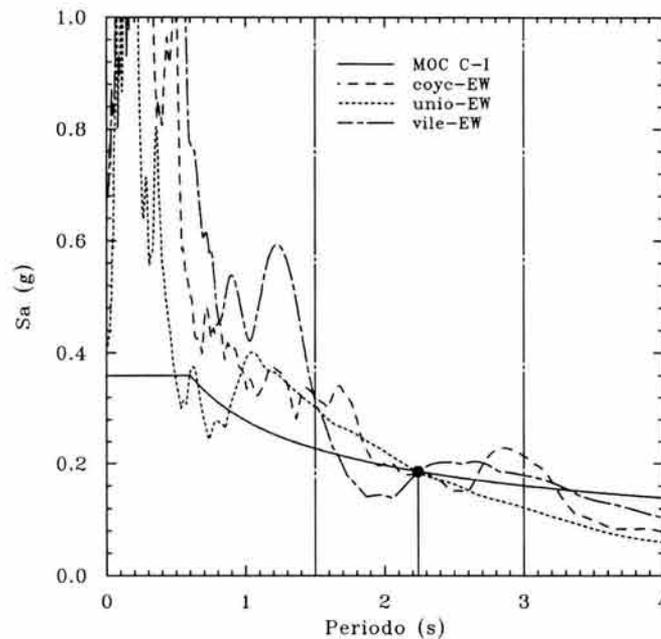


Figura 3.20 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona C-I (MOC-93, 970111)

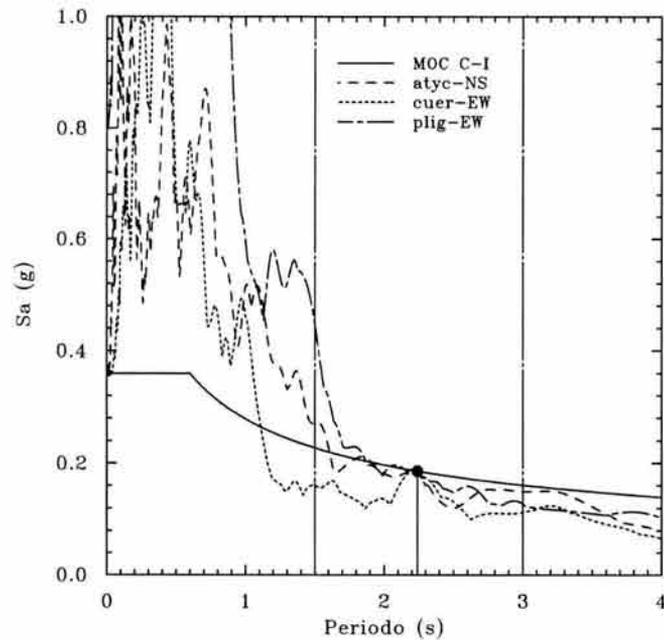


Figura 3.21 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$, coincida con la del espectro de diseño de la zona C-I (MOC-93, 990615)

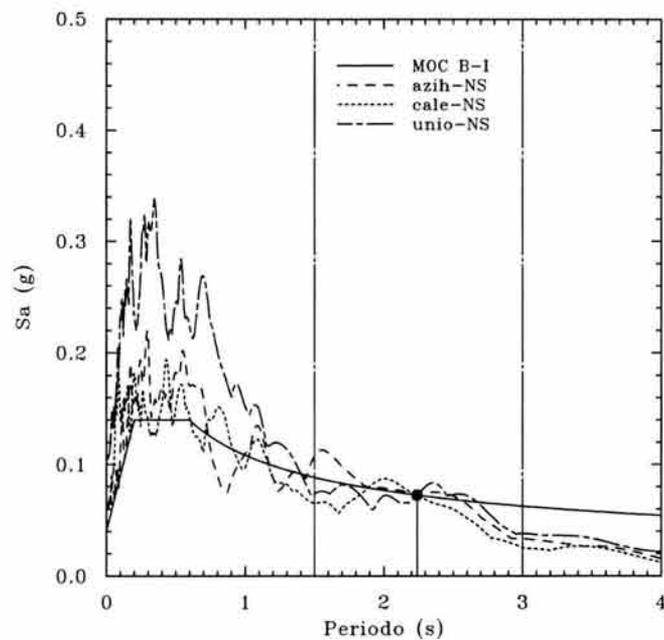


Figura 3.22 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$, coincida con la del espectro de diseño de la zona B-I (MOC-93, 850919)

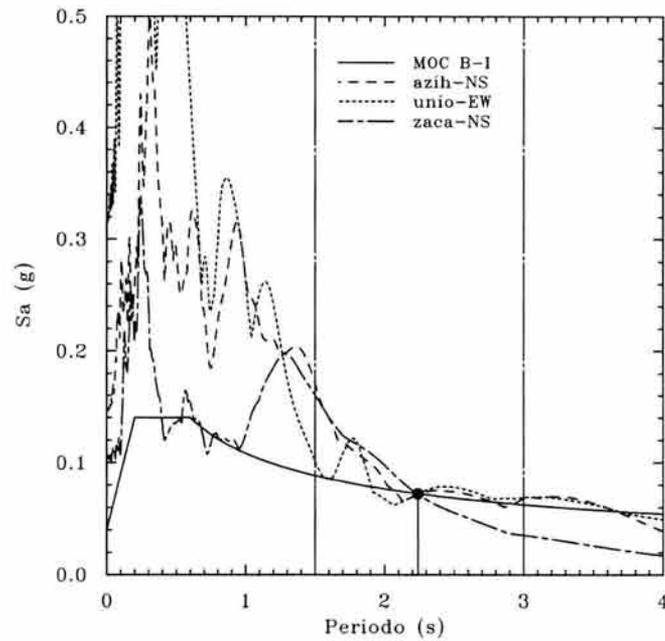


Figura 3.23 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona B-I (MOC-93, 850921)

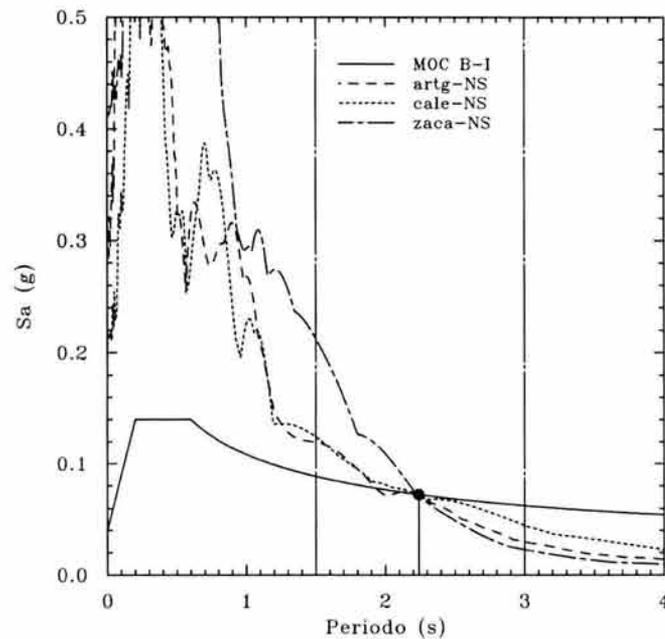


Figura 3.24 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona B-I (MOC-93, 860430)

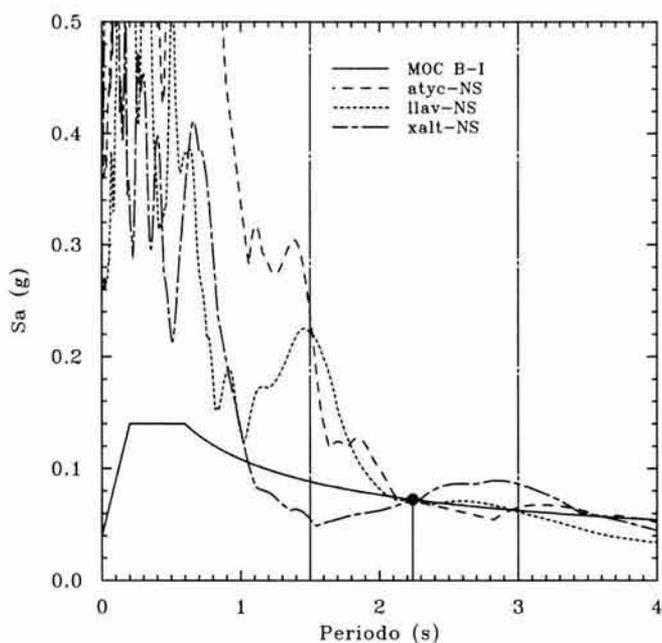


Figura 3.25 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona B-I (MOC-93, 890425)

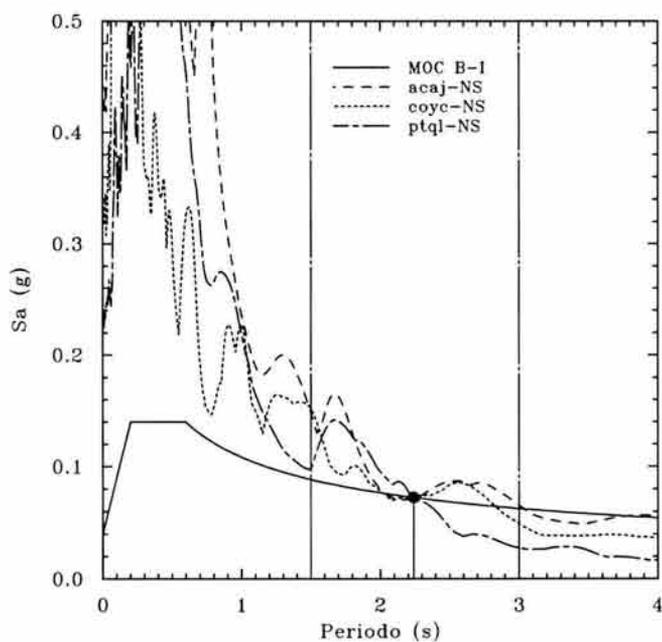
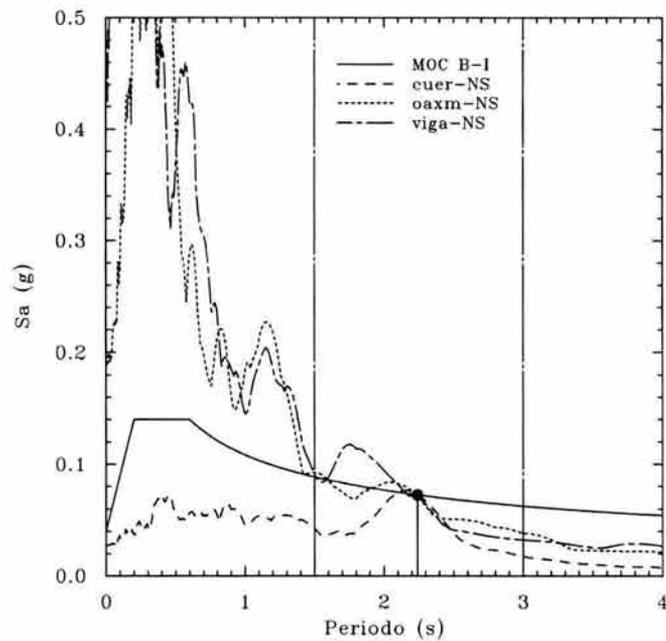


Figura 3.26 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona B-I (MOC-93, 931024)



ESTA TESIS NO SALI
DE LA BIBLIOTECA

Figura 3.27 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona B-I (MOC-93, 950914)

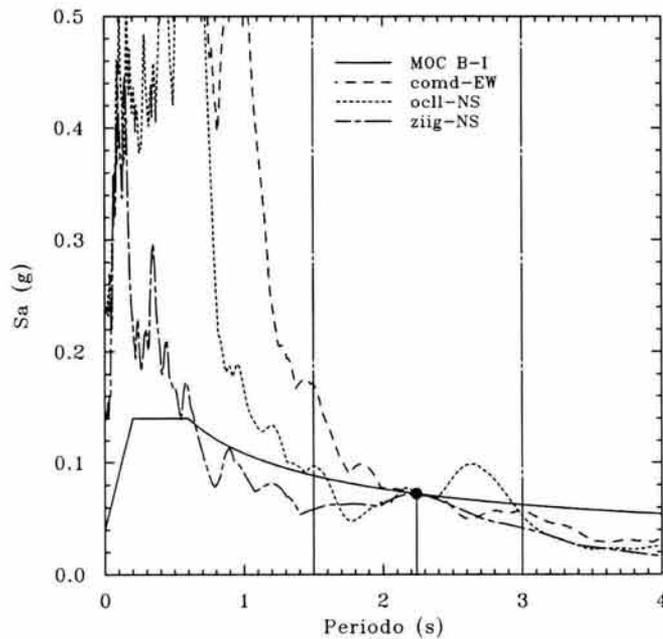


Figura 3.28 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincida con la del espectro de diseño de la zona B-I (MOC-93, 960715)

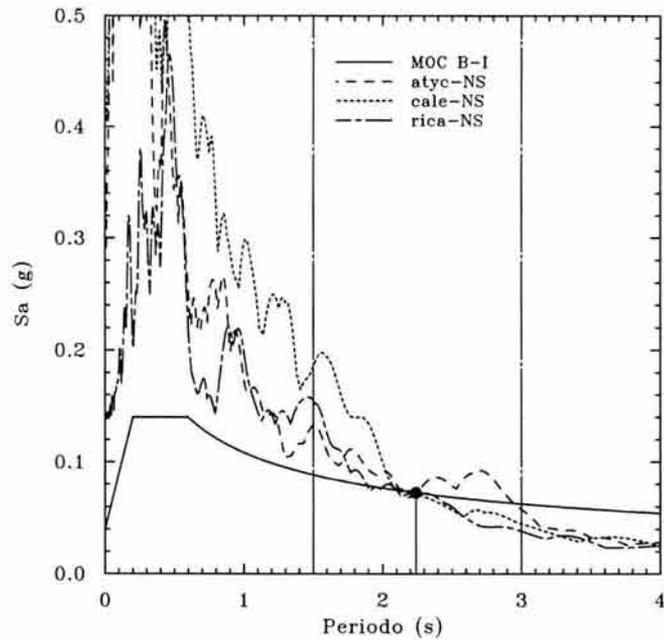


Figura 3.29 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincide con la del espectro de diseño de la zona B-I (MOC-93, 970111)

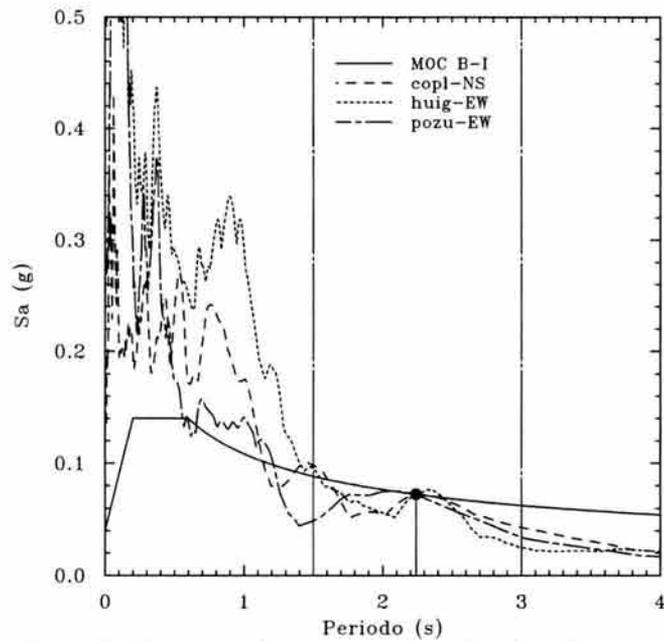


Figura 3.30 Escalamiento de algunos acelerogramas seleccionados de manera que su aceleración espectral para $T = 2.24s$. coincide con la del espectro de diseño de la zona B-I (MOC-93, 990615)



Factores de amplificación de los desplazamientos de los aisladores de base de comportamiento elástico lineal por efectos bidireccionales

4.1 Descripción del procedimiento de análisis utilizado

Se procedió a realizar un análisis dinámico no lineal del modelo estructural con base aislada, empleando el programa 3D-BASIS (Nagarajaiah *et al.*, 1991), donde se considera a la superestructura como elástica. En este estudio, se consideraron 154 pares de acelerogramas correspondientes a 13 eventos diferentes, como se identifican en las tablas 3.2 y 3.3.

Para cada condición de carga dinámica se tienen 16 casos, considerando un intervalo de periodos en base aislada entre 1.5 seg. a 3.0 seg. con incrementos a cada 0.1 segundos. Los análisis se organizaron clasificando los archivos de datos por evento. Para cada par de acelerogramas, se consideraron tres casos. Primero, se excitó a los modelos con la componente *E-W* exclusivamente; segundo, con la componente *N-S* exclusivamente y, finalmente, con la excitación *bidireccional* de ambas componentes ortogonales (figura 4.1). Por lo tanto, se realizaron 48 simulaciones por cada par de acelerogramas. Por tanto, se realizaron un total de 7,392 simulaciones para este estudio en particular.

De los resultados obtenidos se seleccionaron los desplazamientos dinámicos máximos que experimentan los aisladores. Debido a la simetría del modelo y a la ausencia de una componente rotacional del terreno, se puede seleccionar cualquier aislador de los 16 aisladores del modelo (figura 2.4), ya que todos experimentan los mismos desplazamientos, como se comprobó aleatoriamente.

Para la agilización del análisis se elaboró el programa *TAB* desarrollado en FORTRAN, que extrae de cada una de las simulaciones hechas en el programa *3D-BASIS* los desplazamientos de los aisladores seleccionados de las componentes horizontales y la acción bidireccional a lo largo del intervalo de vibración T_a seleccionado. En las tablas 4.1 a 4.4 se ejemplifica como el programa *TAB* tabula, para cada simulación, los desplazamientos máximos de los aisladores (columna 2), los desplazamientos máximos de las componentes ortogonales (*E-W* y *N-S*, columnas 3 y 4 respectivamente), la acción bidireccional máxima (columna 5), la acción bidireccional normalizada ante la correspondiente excitación *E-W* (columna 6), la acción bidireccional normalizada ante la acción *N-S* (columna 7), la acción dominante de una de las dos anteriores (columna 8).

Para definir cuál es la componente dominante normalizada (columna 8), se puede proceder de varias maneras, como se discute a continuación.

En la tabla 4.1 se ilustra un criterio que considera que podría tomarse el factor de amplificación menor que resulte de las columnas 6 y 7 para cada incremento de periodo en el intervalo de periodos de interés, esto es, formar una especie de envolvente que nos permita obtener los máximos desplazamientos normalizados ante la acción bidireccional (columna 8), representado en la tabla con flechas el mínimo valor en color sombreado tomados entre la columna 6 y 7. Este criterio envolvente, aunque fácil de implantar, resultaría conceptualmente inadecuado, pues no define precisamente qué componente es la dominante, que es un objetivo importante en este estudio paramétrico en particular. Por lo anterior, este procedimiento fue rechazado.

En la tabla 4.2 se presenta un criterio distinto al mostrado en la tabla 4.1, donde en color sombreado se identifican los valores que representan los mínimos factores de amplificación (columnas 6 y 7), dichos valores nos permitirán contar con la cantidad de periodos dominantes en el intervalo de interés ($1.5\text{seg.} \leq T_u \leq 3.0\text{seg.}$) para ambas columnas. Para determinar la componente dominante (columna 8), en este criterio se considera la sumatoria de los factores de amplificación de las columnas 6 y 7 (promedio “pesado”) y, por lo tanto, la componente dominante se identifica con la columna asociada a la menor sumatoria. Este criterio es el adoptado en este trabajo, aunque es obvio que otros autores pudieran considerar procedimientos distintos. Sin embargo, este criterio luce razonablemente práctico para definir qué componente es la dominante en el intervalo de periodos de interés con base en un criterio energético evaluado de manera indirecta.

Nótese que en la tabla 4.2 la mínima sumatoria queda representada por la columna 7 con un valor de 18.003, comparada con la columna 6 cuya sumatoria resulta ser 33.093. Obsérvese también que la cantidad de periodos dominantes que *a-priori* se identifican es de 15 para la columna 7 y de uno para la columna 6; de esta observación puede concluirse que la acción dominante para esta simulación en particular queda representada por la columna 7 (acción N-S) y que queda expresada en la columna 8 en un recuadro enmarcado.

No siempre resulta simple definir a la componente dominante como en el caso presentado en la tabla 4.2, y esto se ilustra con la tabla 4.3 (estación CHIL del sismo de junio del 99). Nótese que al comparar los mínimos factores de amplificación de las columnas 6 y 7, en algunos incrementos de periodo rige la columna 6 (acción E-W con 7 periodos dominantes) y en otras la columna 7 (acción N-S con 9 periodos dominantes), lo cual no resulta tan claro a simple vista como quedó ejemplificado en la simulación de la tabla 4.2, por sólo el hecho que ambas columnas pudieran ser candidatas a ser identificadas como la componente dominante, por lo cual resulta difícil tomar una decisión al respecto. Es precisamente en estos casos donde el criterio propuesto muestra sus bondades. Si la decisión se toma con el criterio de la sumatorias mínimas de las columnas 6 y 7, éste nos da otro parámetro más para tomar una decisión razonable, lo que se puede observar en la tabla 4.3, ya que la mínima sumatoria corresponde a la columna 7 con un valor de 20.603, por lo que se concluye que esta componente representa la acción dominante y, por lo tanto, se identifica como tal con un marco en la columna 8.

Por lo tanto, este criterio de la mínima sumatoria de los factores de amplificación fue aplicado para las 7392 simulaciones. Se observó que cuando se presenta un cierto equilibrio en el número de periodos dominantes entre las columnas 6 y 7, existen ciertas excepciones donde no siempre coincide el máximo número de periodos dominantes con la mínima sumatoria de los factores de amplificación, esto es, cuando el número de periodos dominantes oscila entre los 11 a 7 para una de las columnas y de 5 a 9 para la otra. Por ejemplo, se observa en la tabla 4.4 que la columna 7 (acción N-S) presenta el máximo número de periodos dominantes con un total de 9, pero la mínima sumatoria de los factores de amplificación le corresponde a la columna 6 con un total de 21.091; de lo anterior, la acción dominante (columna 8) queda definida por la columna 6 para esta simulación en particular, que hemos identificado en la columna 8 en un recuadro y con una flecha en la tabla.

En la figura 4.2 se presenta un histograma que resume el patrón de periodos dominantes (E-W o N-S) en el intervalo considerado para los 154 registros seleccionados. Cada barra del histograma representa una combinación donde rigen los mínimos factores de amplificación para cada incremento de periodo tanto para la acción E-W como para la acción N-S con base en la información extraída de las columnas 6 y 7 de los archivos generados por el programa TAB para cada registro, esto es, desde considerar que todos los desplazamientos máximos en cada incremento de periodo están relacionados con la componente N-S = 16, hasta donde todos los desplazamientos máximos en cada incremento de periodo están asociados con la componente E-W = 16, dentro del intervalo de interés ($1.5\text{seg.} \leq T_a \leq 3.0\text{seg.}$). Además, cada barra representa la cantidad de registros que caen dentro de dicha combinación.

De la figura 4.2 se observa que en 19 registros de diferentes eventos, los mínimos factores de escala están asociados a la componente N-S y sólo uno por la acción E-W, y existen 13 donde los mínimos factores de escala son por igual para ambas componentes, esto es, E-W = 8 y N-S = 8. De igual manera, se ilustran la frecuencia en que se observan las demás combinaciones posibles dentro de las simulaciones realizadas. Cabe señalar que, en general, la componente N-S tiende a ser la dominante.

En la figura 4.3 se presenta un histograma donde se agrupan los casos de estadística similar, es decir, donde domina una componente (por ejemplo 0-16 y 16-0 de la figura 4.2), o donde esto no resulta tan claro (por ejemplo, 7-9 y 9-7 de la tabla 4.2). De la figura 4.3 se aprecia que los casos donde una componente es claramente dominante (13-3, 14-2, 15-1 y 16-0) son prácticamente igualados por los casos donde esto no es obvio (11-5, 10-6, 9-9 y 8-8), por lo que el criterio utilizado es importante en el análisis de los resultados que se presentan.

En las figuras 4.4 a 4.8 se ilustran las relaciones entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante la acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a la excitación E-W y N-S de algunas estaciones representativas, para determinar en que dirección se presentan los máximos desplazamientos en el intervalo de interés. Esta información complementa la que estadísticamente se resume en las figuras 4.2 y 4.3 y las tablas 4.2 y 4.3. Por ejemplo, en la estación ATYC del sismo del 15 de julio del 96 (figura 4.4), durante todo el intervalo los factores de amplificación mínimos están asociados a la componente N-S, identificada con línea discontinua. En la estación OCTT del sismo del 25 de abril del 89 (figura 4.7), se observa que entre los periodos 1.7 a 2.1 segundos los máximos desplazamientos se dan en la dirección N-S (línea discontinua), pero el resto del intervalo los máximos corresponden bajo la excitación E-W (línea continua); sin embargo, el criterio utilizado identifica que los máximos desplazamientos se dan generalmente bajo la acción E-W.

Se mencionó en párrafos anteriores que cuando se presenta un cierto equilibrio en el número de periodos dominantes entre las acciones E-W y N-S, no es fácil determinar, *a-priori*, bajo qué excitación se presentan los máximos desplazamientos para algunas de las estaciones seleccionadas. Esta situación se ejemplifica en las estaciones VNTA, CPDR y OCLL (figuras 4.9 a 4.12) de los sismos del 21 de septiembre de 85, del 19 de septiembre del 85 y del 15 de julio del 96 respectivamente.

En la figura 4.11 se observa que entre el intervalo de periodos de 1.9 a 2.2 segundos, los máximos desplazamientos se dan bajo la excitación E-W, y entre el intervalo de 2.3 a 2.6 segundos se asocian a la componente N-S, pero los factores de amplificación son menores bajo la componente E-W entre el intervalo de 2.3 a 2.6. Igualmente, se puede también hacer notar que es difícil apreciar en qué incrementos de periodo domina una componente, aunque sea insignificante, o en su defecto igual (figura 4.12). Por lo tanto, a simple vista podemos concluir que un conteo simple (E-W=9, N-S=7) no constituye un buen parámetro para decidir qué componente es la dominante, porque

además de la cantidad de periodos dominantes que se identifican para cada componente en el intervalo estudiado, influyen otros parámetros relevantes en los factores de amplificación. Por lo tanto, consideramos que el criterio elegido y que se ha ilustrado anteriormente es razonable y consistente.

4.2 Criterio estadístico utilizado

En este trabajo, se estudian las respuestas medias de los efectos bidireccionales de todas las simulaciones realizadas (154 registros acelerográficos en terreno firme para sismos de magnitud mayor o igual a 6.5 e identificados en la tabla 3.2). Además, se consideraron las respuestas asociadas a la media más una desviación estándar, y la media más vez y media la desviación estándar. El criterio estadístico correspondiente a la media más una desviación estándar, asociado a una función de densidad de probabilidad acumulada de 0.8413 se considera un criterio razonable en ingeniería civil. El criterio estadístico correspondiente a la media más vez y media la desviación estándar se estudió tomando en cuenta que algunos ingenieros sienten que en el diseño de aisladores sísmicos se deben tomar criterios estadísticos más conservadores. Con este último criterio, se obtiene una función de densidad de probabilidad acumulada de 0.9332.

4.3 Discusión de los resultados observados

Se realizó un estudio paramétrico que considera los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max} \text{BID}$) y la componente dominante ($D_{\max} \text{UNI}$) para sismos de magnitud mayor a 6.5, evaluándolos primero considerando a cada evento independientemente, con el fin de determinar si existe alguna relación fuerte entre los factores de amplificación y las características de cada evento (por ejemplo, magnitud).

De lo observado en las figuras 4.13 a 4.18, se puede concluir que los factores de amplificación correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante ($D_{\max} \text{BID}/D_{\max} \text{UNI}$):

- (1) No son constantes en el intervalo de periodos considerado.
- (2) No son semejantes entre un evento y otro, pero aunque sus características pueden depender de las características del sismo, parecen no depender claramente de su magnitud.
- (3) Pueden presentarse amplificaciones mayores al 30% en algún intervalo de periodos, pero de igual manera no existe un patrón definido entre un evento y otro.
- (4) Como es lógico, presentan mayor dispersión si la muestra del evento es reducida y esto se refleja en sus desviaciones estándar.

De las figuras 4.13 a 4.18 se observa que las respuestas máximas no están directamente relacionadas si, pues dependen de muchos factores, y se necesita de un análisis más exhaustivo para intentar entender si existe o no una relación en función de la magnitud o del mecanismo de falla que genera el sismo (subducción, sismo de falla normal, etc), aspectos que están fuera del alcance de este estudio.

En la figura 4.19 se presentan los resultados cuando se consideran los 154 registros acelerográficos al mismo tiempo, sin discriminar por evento o magnitud. A partir de su observación se puede concluir que la media de los factores de amplificación tanto para la componente N-S ($D_{\max} \text{BID}/D_{\max} \text{N-S}$), como para la componente dominante como se define en este estudio ($D_{\max} \text{BID}/D_{\max} \text{UNI}$) no son constantes, ni semejantes en todo el intervalo de periodos considerado. En la figura 4.19 se observa que en el criterio empleado se obtienen factores de amplificación

menores que si se hubiera elegido una componente en particular (por ejemplo, N-S), por lo que el criterio en realidad si identifica de una manera más consistente a la que estadísticamente es la componente dominante del terreno.

En la figura 4.20 se presentan los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max\text{BID}}$) y la componente dominante ($D_{\max\text{UNI}}$) correspondientes a la media (línea continua), la media más una desviación estándar (línea con punto y raya) y la media más vez y media la desviación estándar (línea discontinua), cuando se consideran los 154 registros acelerográficos. En la figura 4.20 se observa que la variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodos de vibración seleccionado (T_a), por lo que es claro que el factor de amplificación depende del periodo. Además, se aprecia que en el intervalo de periodos de 2.2 a 2.7 segundos, la amplificación toma una forma senoidal de dos jorobas, además que se incrementan estos factores de amplificación; esto se debe a que en dicho intervalo se presenta una mayor desviación estándar. En general, en la curva correspondiente a $X+\sigma$ se pueden presentar amplificaciones mayores al 35%, y esta curva es la que regularmente está asociada a criterios convencionales de diseño.

En las últimas décadas nuestro país ha comenzado a introducir el sistema de aislamiento como una opción estructural en las zonas sísmicas, principalmente en el Pacífico. Debido a lo poco informado que se encuentra el gremio mexicano, y por lo tanto, la gran desconfianza e incertidumbre que muchos ingenieros tienen sobre su potencial aplicación, se consideró por tal motivo valorar curvas para $X+1.5\sigma$, que es un criterio más conservador, pero que pudiera imbuir mayor confianza a los diseñadores. Si la diferencia al considerar este criterio más conservador ($X+1.5\sigma$) lleva a factores de amplificación ligeramente mayores a los del criterio estadístico común ($X+\sigma$), entonces valdrá la pena considerar que, para fines de diseño, se utilicen los factores de amplificación correspondientes al criterio más conservador. En caso contrario, deberá evaluarse el impacto económico que tendría el seleccionar un criterio más conservador al que normalmente se utiliza en otros elementos estructurales.

4.4 Función de amplificación propuesta

En los Estados Unidos, sus reglamentos para aislamiento sísmico establecen que los desplazamientos de diseño para los aisladores se obtienen indirectamente a partir del espectro de diseño de aceleración para estructuras convencionales, en vez de hacerlo transparentemente a partir de un espectro de desplazamientos. Además, el espectro de diseño de aceleración es una envolvente que define mesetas que toman en cuenta la incertidumbre en el dominio de la aceleración de la respuesta de estructuras convencionales. Por lo tanto, los desplazamientos asociados a dicho espectro en el intervalo de periodos donde se define la meseta no son rigurosamente proporcionales a los que se definirían procesando independientemente un espectro de desplazamientos y, por tanto, pueden resultar inapropiados para el diseño de sistemas de aislamiento. Esto ha sido reconocido por el Dr. Arturo Tena y colaboradores, que con fines reglamentarios han dado los primeros pasos para definir ecuaciones transparentes para obtener desplazamientos de diseño en sistemas de aislamiento sísmico a partir de espectros de desplazamientos (por ejemplo, Villegas 1999, Villegas y Tena 1999, Villegas-Jiménez y Tena-Colunga 2000 y Gómez 2000).

Por lo tanto, este estudio paramétrico ha considerado rigurosamente la selección y filtración de los 154 registros con características de suelo firme ubicados en la zona de la costa del Pacífico para estudiar las amplificaciones y sus respectivas desviaciones, con la finalidad de obtener una

expresión simple que permita tomar en cuenta los efectos bidireccionales en el diseño de aisladores sísmicos.

Se decidió definir una ecuación simple de primer orden (una recta) para definir una envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) y la media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$) en el intervalo de periodos de interés, por lo que vienen a ser poco conservadoras entre el intervalo de periodos de 2.3 a 2.6 segundos como se ilustra en las figuras 4.21 y 4.22.

La ecuación obtenida para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) (figura 4.21) es:

$$\frac{D_{max} BID}{D_{max} UNI} = 1.437 - 0.00621T_a$$

válida en el intervalo $1.5 s. \leq T_a \leq 3.0 s.$

La ecuación obtenida para la media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$) (figura 4.22) es:

$$\frac{D_{max} BID}{D_{max} UNI} = 1.555 - 0.00597T_a$$

válida en el intervalo $1.5 s. \leq T_a \leq 3.0 s.$

Tabla 4.1 Desplazamientos extraídos del programa 3D-BASIS, cocientes normalizados generados por el programa TAB (*criterio rechazado*)

Estación CHIL (sismo del 15 de junio de 1999)

1	2	3	4	5	6	7	8
T_a (seg.)	D_{ais} (m)	D_{MaxE-W} (m)	D_{MaxN-S} (m)	D_{MaxBID} (m)	$\frac{D_{MaxBID}}{D_{MaxE-W}}$	$\frac{D_{MaxBID}}{D_{MaxN-S}}$	$\frac{D_{MaxBID}}{D_{MaxUNI}}^*$
1.5	0.00559	0.00906	0.00788	0.00911	1.006	1.157	1.006
1.6	0.00636	0.00665	0.00624	0.00811	1.219	1.301	1.219
1.7	0.00718	0.00774	0.00970	0.01148	1.484	1.184	1.184
1.8	0.00805	0.00883	0.01491	0.01507	1.708	1.011 ↑	↑ 1.011
1.9	0.00897	0.01424	0.00875	0.01458	1.024	1.667	1.024
2.0	0.00994	0.01147	0.01278	0.01295	1.129	1.014	1.014
2.1	0.01096	0.00595	0.00943	0.00967	1.626	1.026	1.026
2.2	0.01203	0.00502	0.00780	0.00781	1.555	1.001	1.001
2.3	0.01315	0.01205	0.00847	0.01363	1.130 ↑	1.609	↑ 1.130
2.4	0.01431	0.01171	0.00722	0.01260	1.076	1.745	1.076
2.5	0.01553	0.01218	0.00806	0.01221	1.002	1.514	1.002
2.6	0.01680	0.00647	0.00829	0.00864	1.335	1.042	1.042
2.7	0.01812	0.01459	0.02215	0.02508	1.719	1.133	1.133
2.8	0.01948	0.00890	0.02107	0.02107	2.367	1.000	1.000
2.9	0.02090	0.01566	0.01660	0.01865	1.191	1.124	1.124
3.0	0.02236	0.01911	0.01031	0.02139	1.119	2.075	1.119

Tabla 4.2 Desplazamientos extraídos del programa 3D-BASIS, cocientes normalizados generados por el programa TAB (*empleando el criterio de la mínima sumatoria*)

Estación CALE (sismo del 19 de septiembre de 1985)

1	2	3	4	5	6	7	8
T_a (seg.)	D_{ais} (m)	D_{MaxE-W} (m)	D_{MaxN-S} (m)	D_{MaxBID} (m)	$\frac{D_{MaxBID}}{D_{MaxE-W}}$	$\frac{D_{MaxBID}}{D_{MaxN-S}}$	$\frac{D_{MaxBID}}{D_{MaxUNI}}^*$
1.5	0.00559	0.04202	0.09732	0.10036	2.389	1.031	1.031
1.6	0.00636	0.11005	0.18809	0.20244	1.840	1.076	1.076
1.7	0.00718	0.08439	0.19345	0.20382	2.415	1.054	1.054
1.8	0.00805	0.07651	0.11364	0.11373	1.487	1.001	1.001
1.9	0.00897	0.07626	0.18937	0.20052	2.630	1.059	1.059
2.0	0.00994	0.04222	0.20124	0.20131	4.769	1.000	1.000
2.1	0.01096	0.08367	0.13919	0.14736	1.761	1.059	1.059
2.2	0.01203	0.08609	0.14859	0.16738	1.944	1.126	1.126
2.3	0.01315	0.04623	0.10262	0.10617	2.297	1.035	1.035
2.4	0.01431	0.06907	0.14618	0.15688	2.271	1.073	1.073
2.5	0.01553	0.12558	0.12573	0.15902	1.266	1.265	1.265
2.6	0.01680	0.13469	0.15594	0.19734	1.465	1.266	1.266
2.7	0.01812	0.19733	0.14288	0.21792	1.104	1.525	1.525
2.8	0.01948	0.11661	0.17289	0.19937	1.710	1.153	1.153
2.9	0.02090	0.13512	0.25807	0.28930	2.141	1.121	1.121
3.0	0.02236	0.22712	0.31427	0.36437	1.604	1.159	1.159
Σ					33.093	18.003	
Periodos dominantes					1	15	

* Se considera en este caso como componente dominante la acción N-S

Tabla 4.3 Desplazamientos extraídos del programa 3D-BASIS, cocientes normalizados generados por el programa TAB (Tabla 4.1 empleando el criterio de la mínima sumatoria)

Estación CHIL (sismo del 15 de junio de 1999)

1	2	3	4	5	6	7	8
T_a (seg.)	D_{ais} (m)	D_{MaxE-W} (m)	D_{MaxN-S} (m)	D_{MaxBID} (m)	$\frac{D_{MaxBID}}{D_{MaxE-W}}$	$\frac{D_{MaxBID}}{D_{MaxN-S}}$	$\frac{D_{MaxBID}}{D_{MaxUNI}}$ *
1.5	0.00559	0.00906	0.00788	0.00911	1.006	1.157	1.157
1.6	0.00636	0.00665	0.00624	0.00811	1.219	1.301	1.301
1.7	0.00718	0.00774	0.00970	0.01148	1.484	1.184	1.184
1.8	0.00805	0.00883	0.01491	0.01507	1.708	1.011	1.011
1.9	0.00897	0.01424	0.00875	0.01458	1.024	1.667	1.667
2.0	0.00994	0.01147	0.01278	0.01295	1.129	1.014	1.014
2.1	0.01096	0.00595	0.00943	0.00967	1.626	1.026	1.026
2.2	0.01203	0.00502	0.00780	0.00781	1.555	1.001	1.001
2.3	0.01315	0.01205	0.00847	0.01363	1.130	1.609	1.609
2.4	0.01431	0.01171	0.00722	0.01260	1.076	1.745	1.745
2.5	0.01553	0.01218	0.00806	0.01221	1.002	1.514	1.514
2.6	0.01680	0.00647	0.00829	0.00864	1.335	1.042	1.042
2.7	0.01812	0.01459	0.02215	0.02508	1.719	1.133	1.133
2.8	0.01948	0.00890	0.02107	0.02107	2.367	1.000	1.000
2.9	0.02090	0.01566	0.01660	0.01865	1.191	1.124	1.124
3.0	0.02236	0.01911	0.01031	0.02139	1.119	2.075	2.075
Σ					21.69	20.603	
Periodos dominantes					7	9	

* Se considera en este caso como componente dominante la acción N-S

Tabla 4.4 Desplazamientos extraídos del programa 3D-BASIS, cocientes normalizados generados por el programa TAB (*criterio tomado*)

Estación AZIH (sismo del 15 de julio de 1996)

1	2	3	4	5	6	7	8
T_a (seg.)	D_{ais} (m)	D_{MaxE-W} (m)	D_{MaxN-S} (m)	D_{MaxBID} (m)	$\frac{D_{MaxBID}}{D_{MaxE-W}}$	$\frac{D_{MaxBID}}{D_{MaxN-S}}$	$\frac{D_{MaxBID}}{D_{MaxUNI}}^*$
1.5	0.00559	0.00897	0.01215	0.01491	1.662	1.228	1.662
1.6	0.00636	0.00841	0.00915	0.01204	1.431	1.315	1.431
1.7	0.00718	0.01291	0.01107	0.01558	1.207	1.408	1.207
1.8	0.00805	0.01572	0.01637	0.02190	1.394	1.338	1.394
1.9	0.00897	0.01970	0.01750	0.02618	1.329	1.496	1.329
2.0	0.00994	0.01716	0.01727	0.02397	1.397	1.388	1.397
2.1	0.01096	0.01267	0.01699	0.01917	1.514	1.128	1.514
2.2	0.01203	0.01252	0.01347	0.01568	1.253	1.164	1.253
2.3	0.01315	0.02474	0.01351	0.02474	1.000	1.832	1.000
2.4	0.01431	0.03546	0.01549	0.03637	1.025	2.347	1.025
2.5	0.01553	0.03333	0.02040	0.03814	1.144	1.869	1.144
2.6	0.01680	0.03140	0.02256	0.03799	1.210	1.684	1.210
2.7	0.01812	0.02614	0.02211	0.03366	1.288	1.522	1.288
2.8	0.01948	0.02282	0.02290	0.02921	1.280	1.275	1.280
2.9	0.02090	0.02055	0.02574	0.03005	1.462	1.167	1.462
3.0	0.02236	0.02118	0.02780	0.03166	1.495	1.139	1.495
Σ					21.091	23.3	
Periodos dominantes					7	9	

* Se considera en este caso como componente dominante la acción E-W

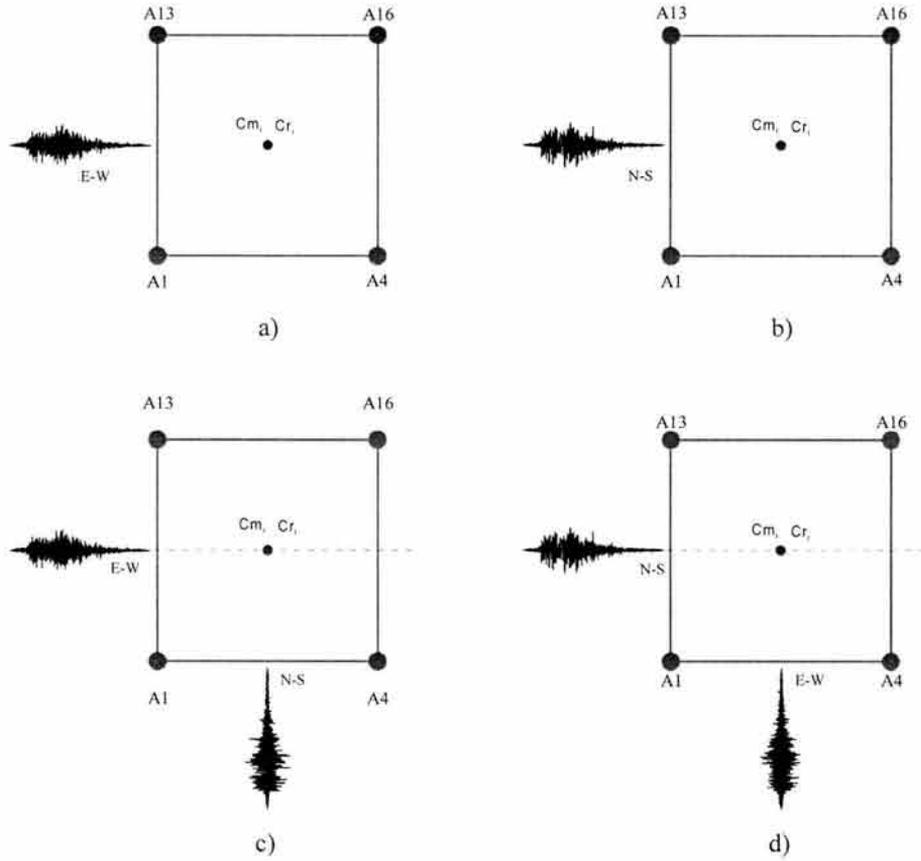


Figura 4.1 Sistema simétrico a) unidireccional dirección E-W, b) unidireccional dirección N-S, c) bidireccional dirección E-W, N-S y d) bidireccional dirección N-S, E-W

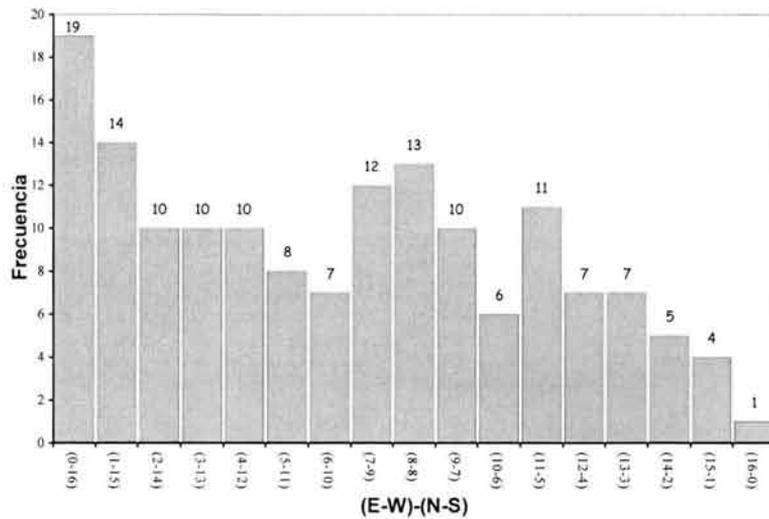


Figura 4.2 Histograma que resume el patrón de periodos dominantes [(E-W) o (N-S)] en el intervalo considerado para los 154 registros seleccionados

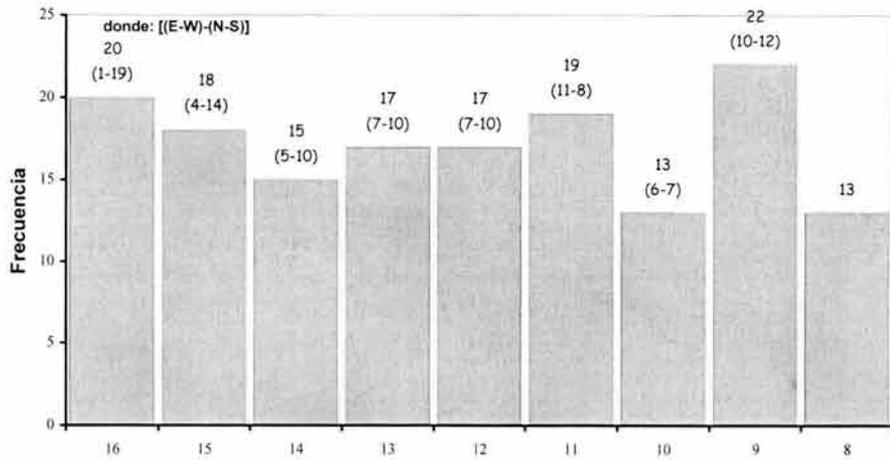


Figura 4.3 Histograma donde se agrupan los casos de estadística donde domina una componente

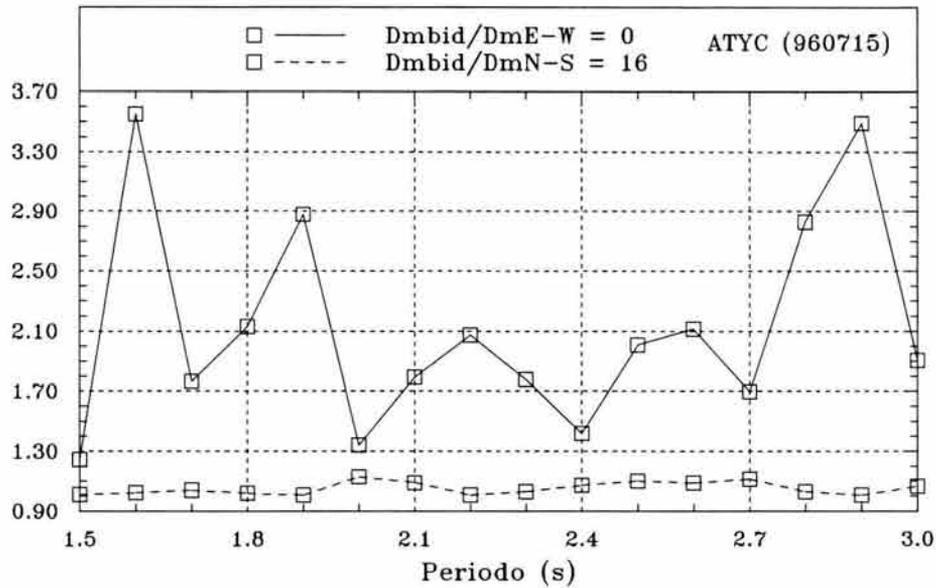


Figura 4.4 Relaciones entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante la acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a la excitación E-W y N-S de la estación ATYC (960715)

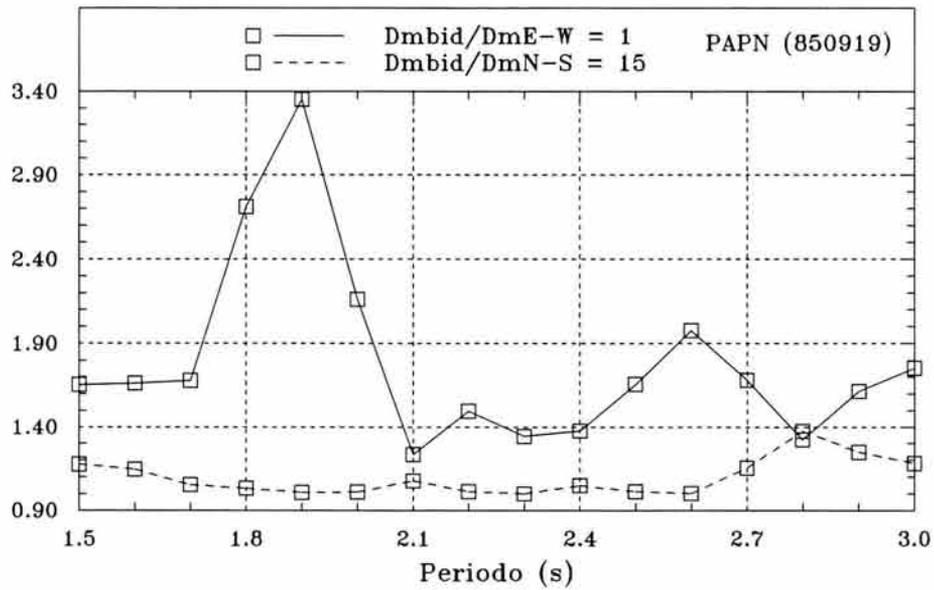


Figura 4.5 Relaciones entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante la acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a la excitación E-W y N-S de la estación PAPN (850919)

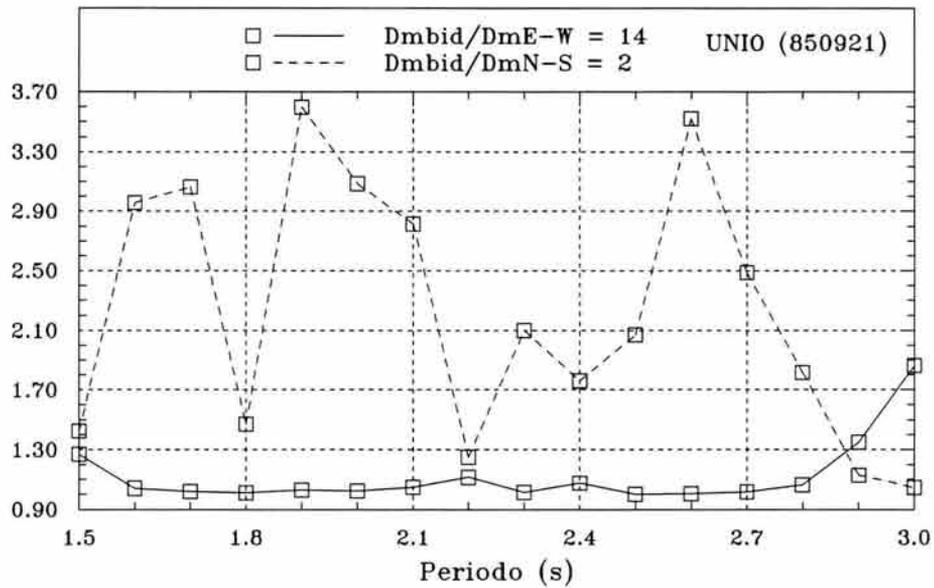


Figura 4.6 Relaciones entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante la acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a la excitación E-W y N-S de la estación UNIO (850921)

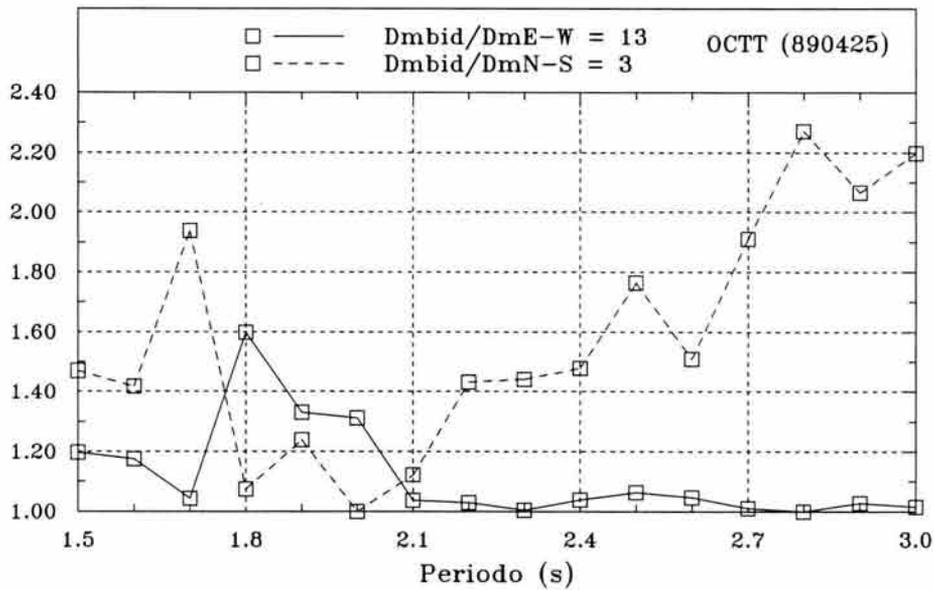


Figura 4.7 Relaciones entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante la acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a la excitación E-W y N-S de la estación OCTT (890425)

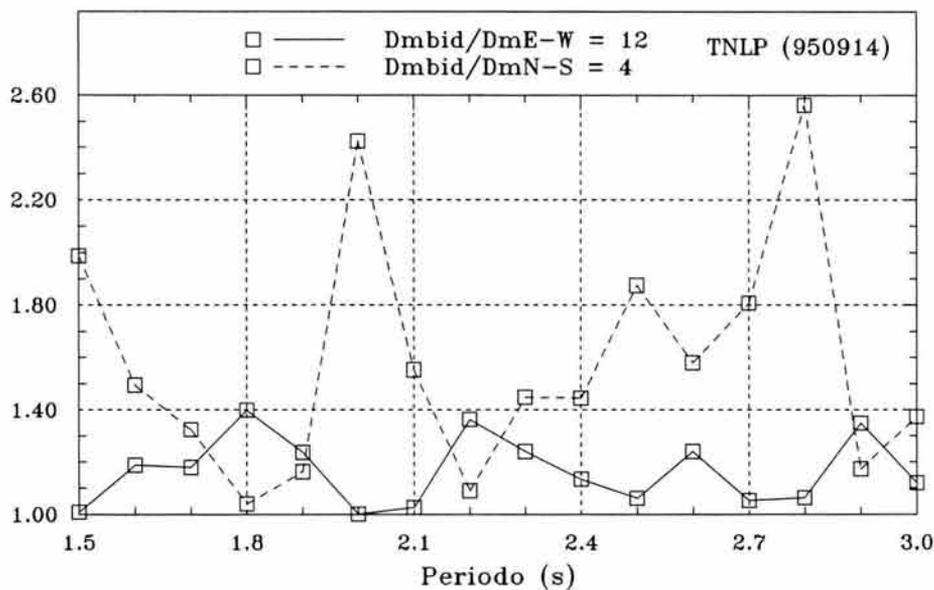


Figura 4.8 Relaciones entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante la acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a la excitación E-W y N-S de la estación TNLP (950914)

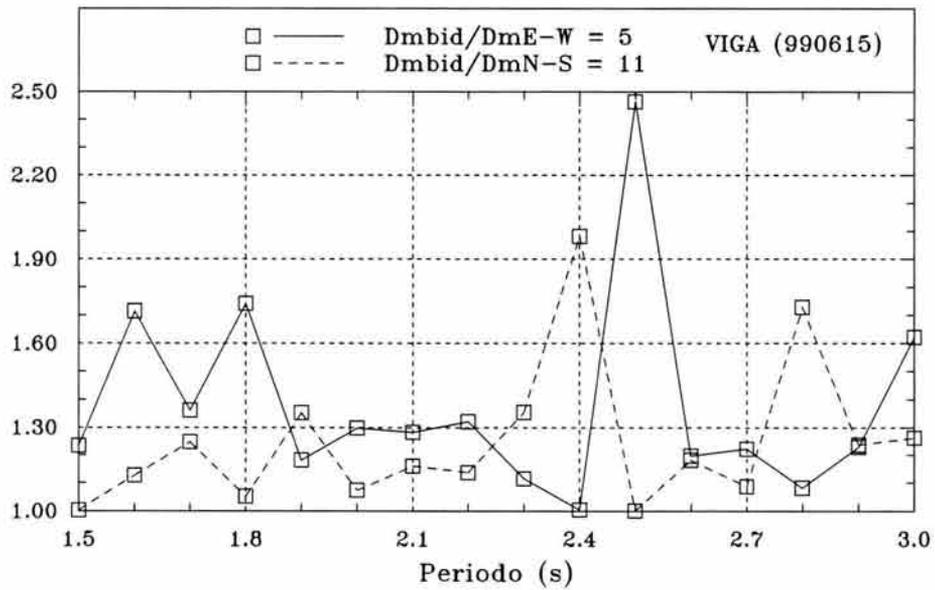


Figura 4.9 Relaciones entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante la acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a la excitación E-W y N-S de la estación VIGA (990615)

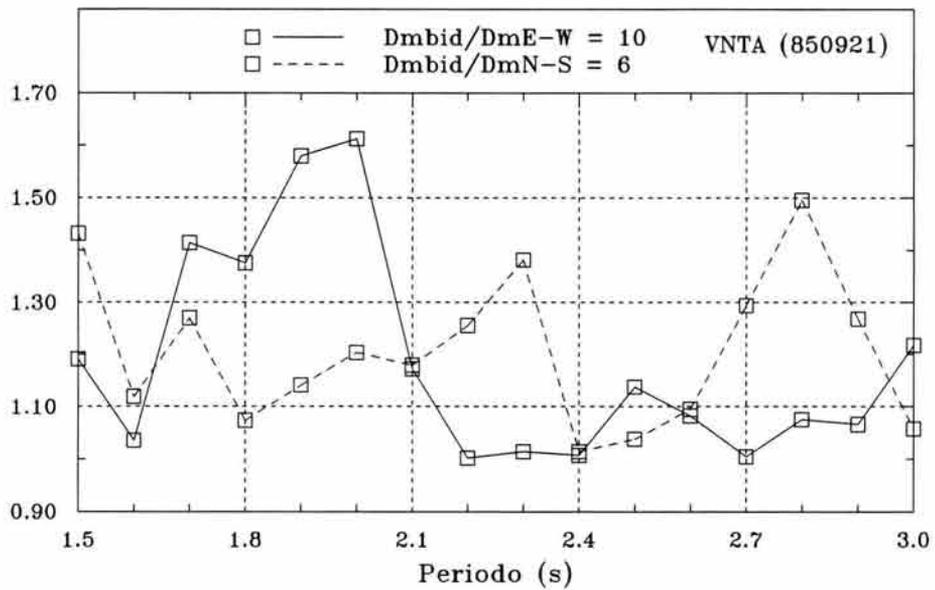


Figura 4.10 Relaciones entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante la acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a la excitación E-W y N-S de la estación VNTA (850921)

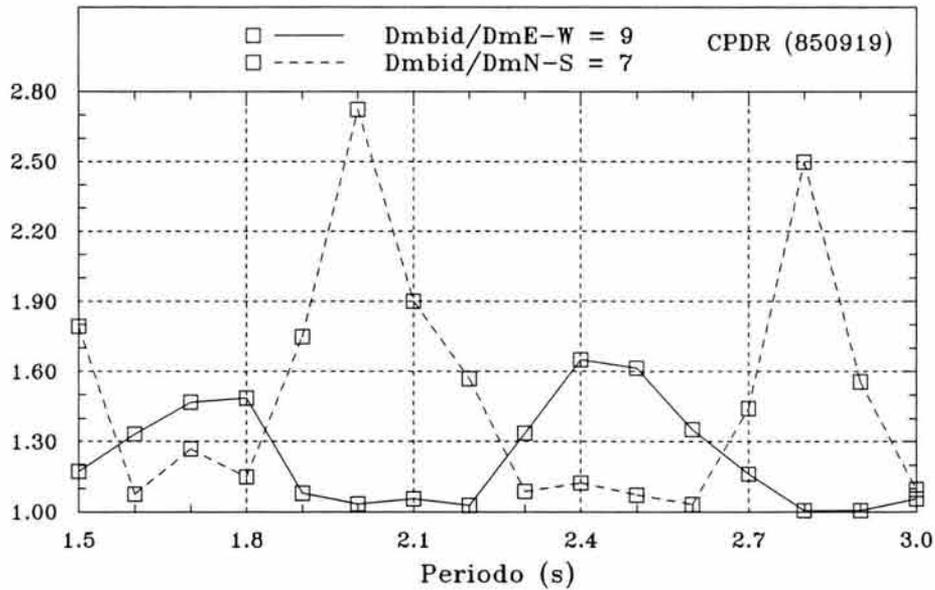


Figura 4.11 Relaciones entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante la acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a la excitación E-W y N-S de la estación CPDR (850919)

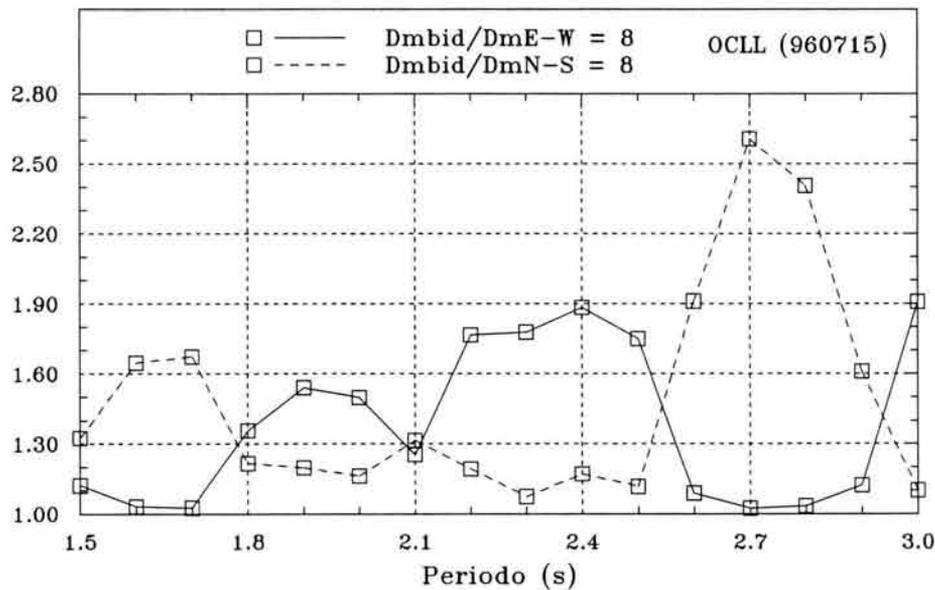


Figura 4.12 Relaciones entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante la acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a la excitación E-W y N-S de la estación ATYC (960715)

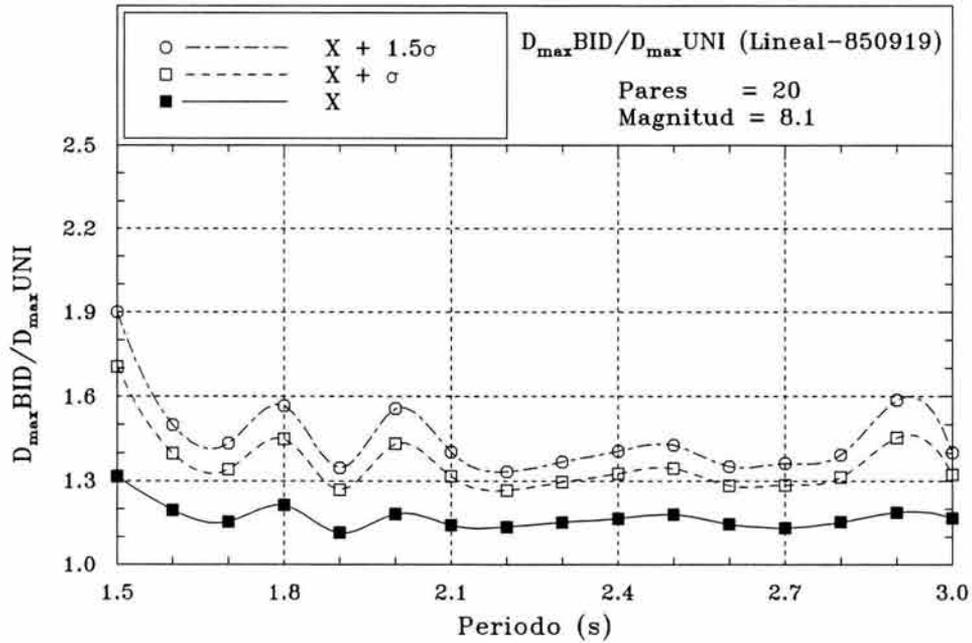


Figura 4.13 Estudio paramétrico que considera los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max \text{ BID}}$) y la componente dominante ($D_{\max \text{ UNI}}$) para sismos de magnitud de 8.1 para el evento del 19 de septiembre de 1985

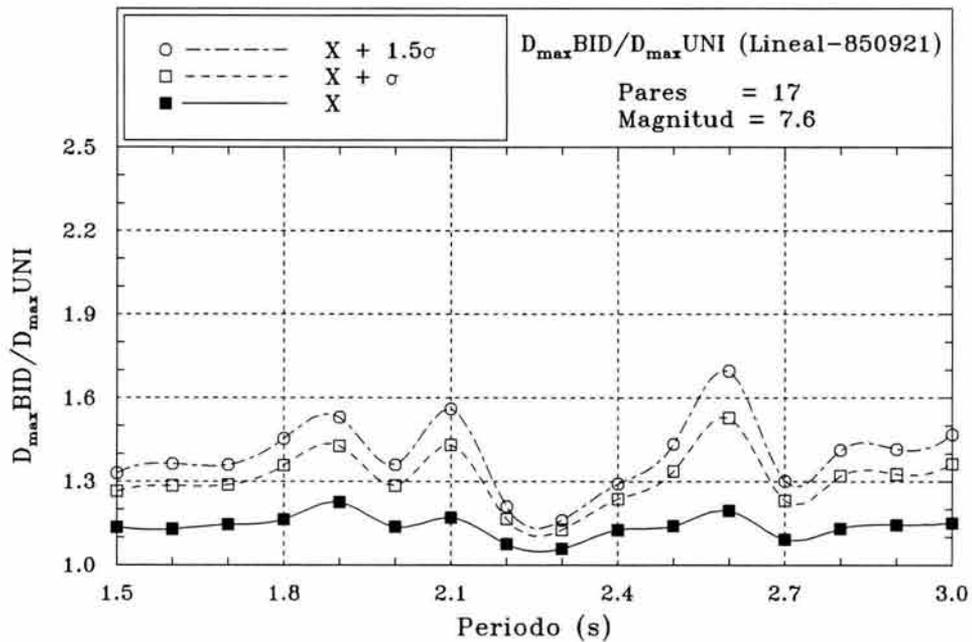


Figura 4.14 Estudio paramétrico que considera los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max \text{ BID}}$) y la componente dominante ($D_{\max \text{ UNI}}$) para sismos de magnitud de 7.6 para el evento del 21 de septiembre de 1985

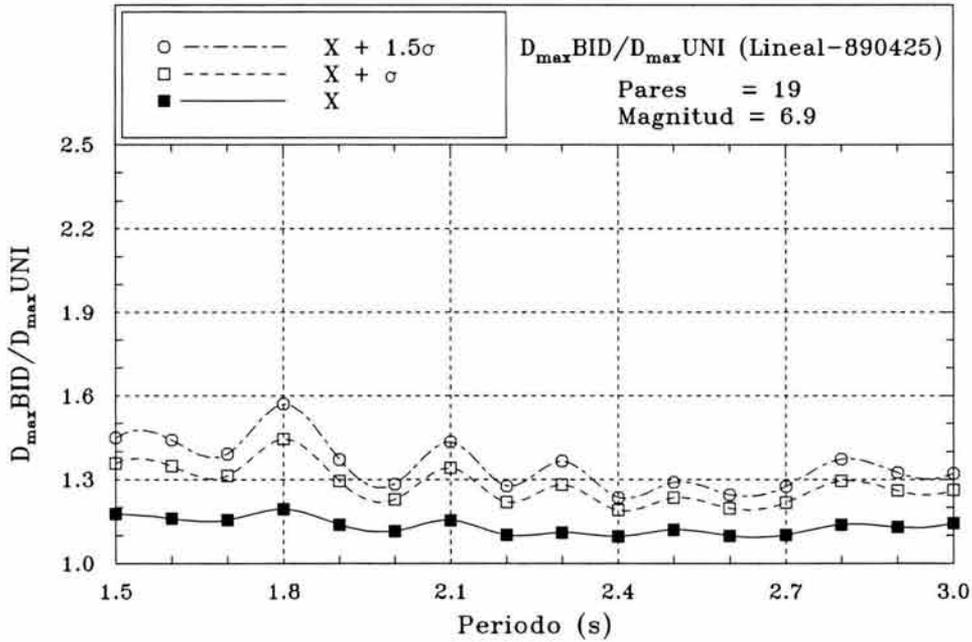


Figura 4.15 Estudio paramétrico que considera los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max \text{ BID}}$) y la componente dominante ($D_{\max \text{ UNI}}$) para sismos de magnitud de 6.9 para el evento del 25 de abril de 1989

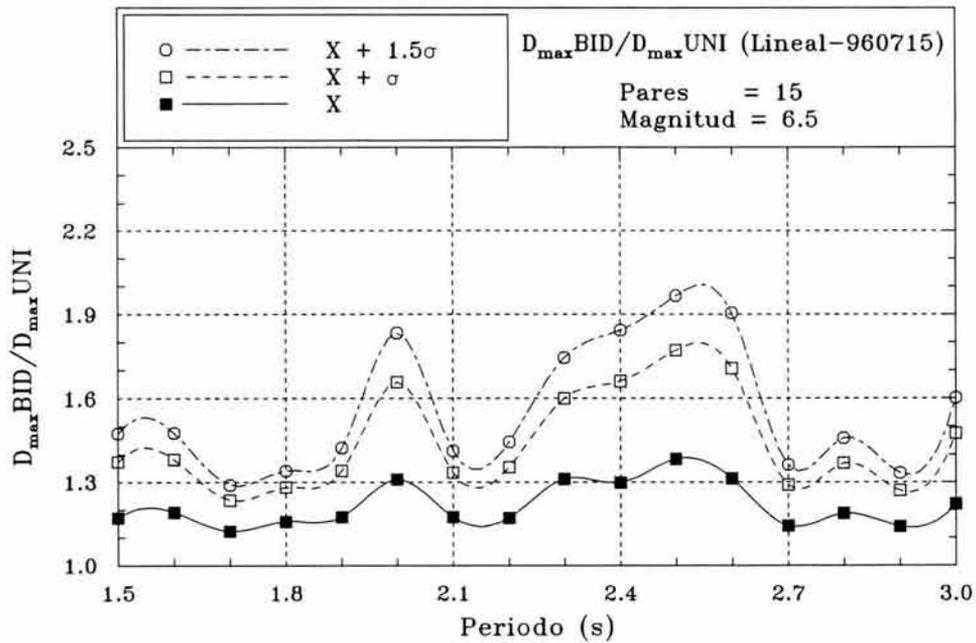


Figura 4.16 Estudio paramétrico que considera los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max \text{ BID}}$) y la componente dominante ($D_{\max \text{ UNI}}$) para sismos de magnitud de 6.5 para el evento del 15 de julio de 1996

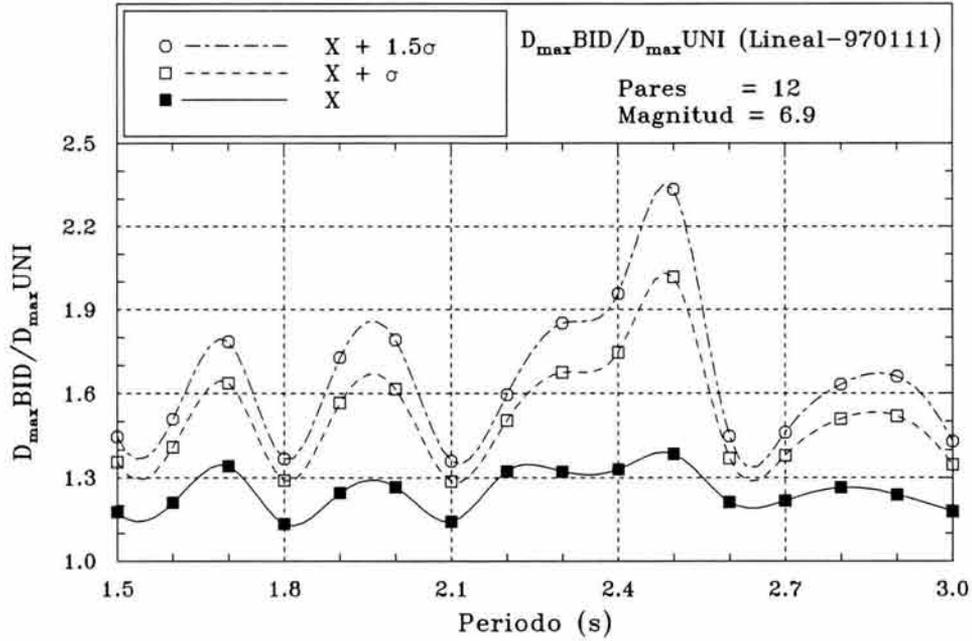


Figura 4.17 Estudio paramétrico que considera los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max \text{ BID}}$) y la componente dominante ($D_{\max \text{ UNI}}$) para sismos de magnitud de 6.9 para el evento del 11 de enero de 1997

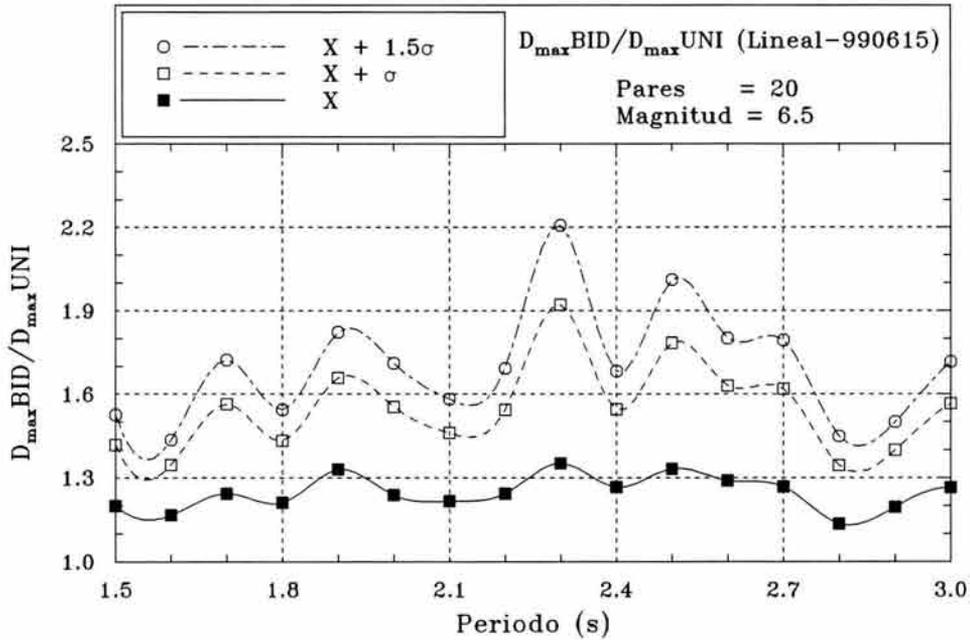


Figura 4.18 Estudio paramétrico que considera los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max \text{ BID}}$) y la componente dominante ($D_{\max \text{ UNI}}$) para sismos de magnitud de 6.5 para el evento del 15 de junio de 1999

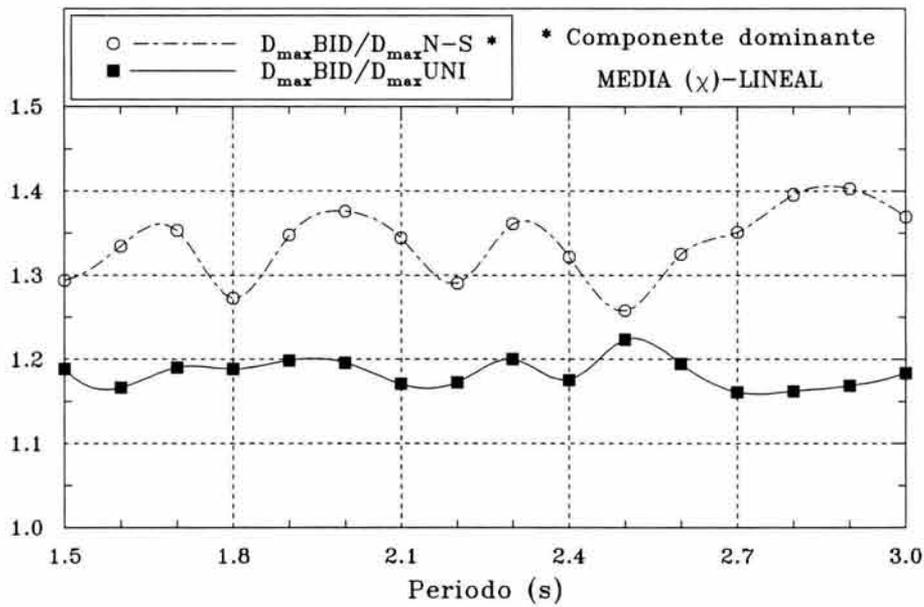


Figura 4.19 Estudio paramétrico considerando los 154 registros acelerográficos al mismo tiempo, sin discriminar por evento o magnitud, al comparar los factores de amplificación de la componente N-S ($D_{\max} \text{BID} / D_{\max} \text{N-S}$) con la componente dominante ($D_{\max} \text{BID} / D_{\max} \text{UNI}$)

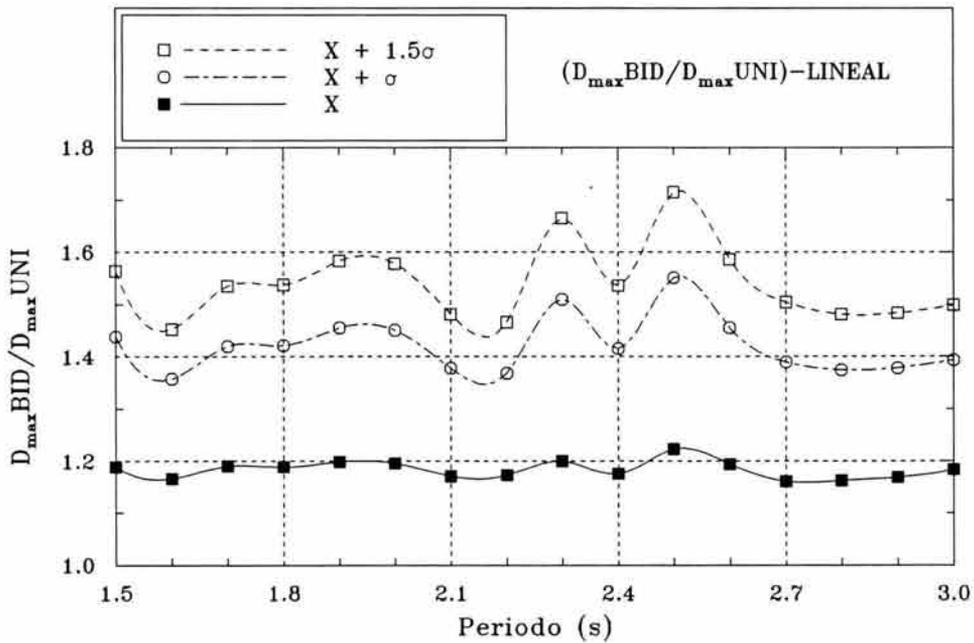


Figura 4.20 Estudio paramétrico donde se gráfica la variación que experimentan los factores de amplificación máximos de la acción bidireccional ($D_{\max} \text{BID}$) entre la componente dominante a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a)

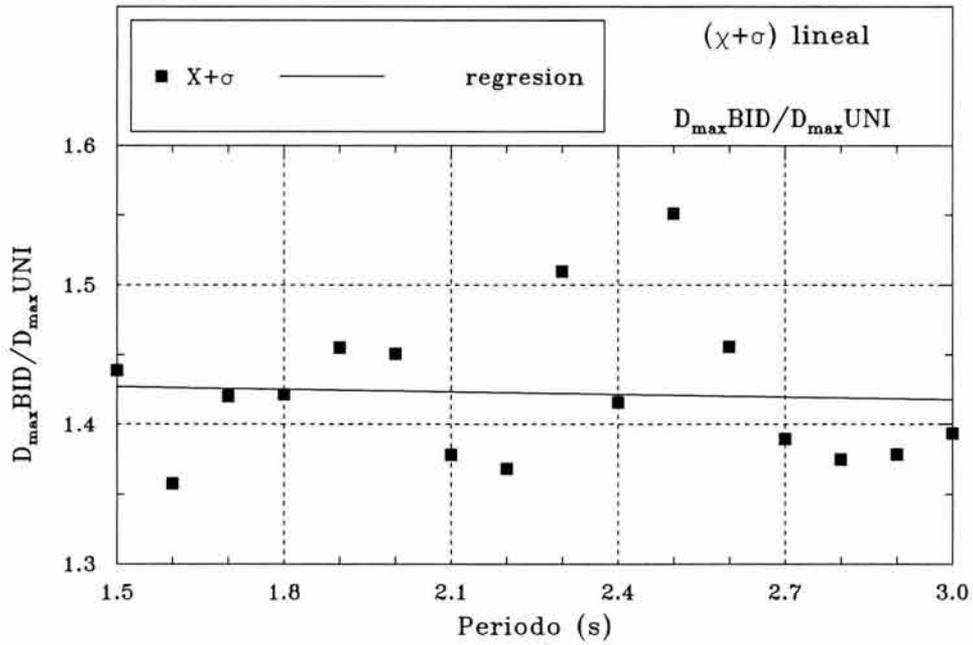


Figura 4.21 Función de amplificación propuesta para la $X + \sigma$ (ecuación primer orden)

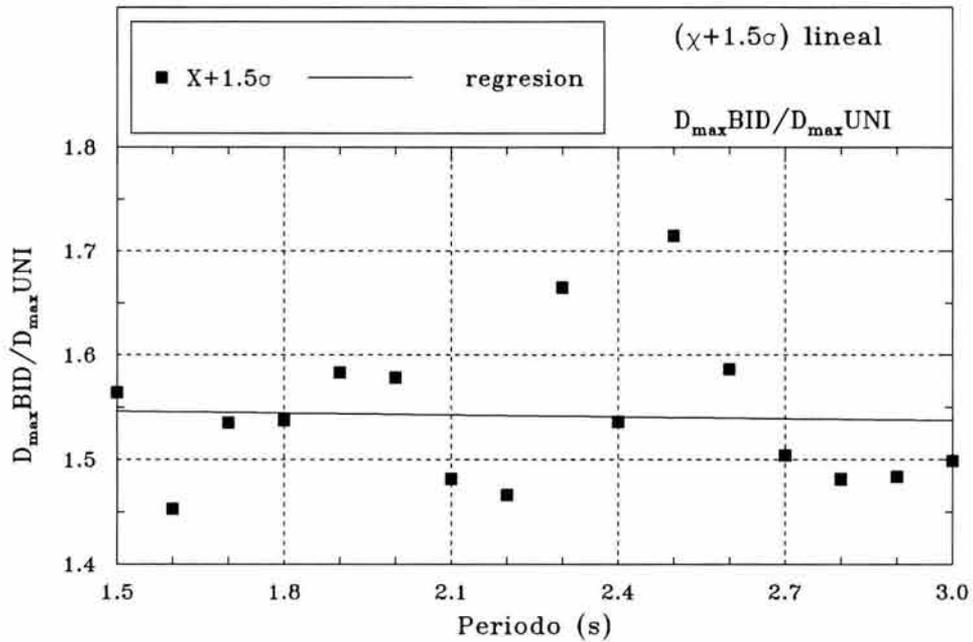


Figura 4.22 Función de amplificación propuesta para la $X + 1.5\sigma$ (ecuación primer orden)



Factores de amplificación de los desplazamientos de los aisladores de base de comportamiento bilineal por efectos bidireccionales

5.1 Descripción del procedimiento de análisis utilizado

Se procedió a realizar un análisis dinámico no lineal del modelo estructural con base aislada, para el sistema bilineal con pendiente posterior a la fluencia del 10% ($k_2/k_1 = 0.10$) empleando el programa 3D-BASIS (Nagarajaiah *et al.*, 1991), donde se considera a la superestructura como elástica. En este estudio se analizaron 73 pares de acelerogramas para la zona D-I, 90 pares para la zona C-I y 135 pares para la zona B-I del Manual de Obras Civiles, que corresponden, como se menciona en capítulos anteriores, a 13 eventos diferentes siguiendo el criterio de escalamiento definido en el capítulo 3, como se identifican en las tablas 3.4 a 3.6.

De igual manera como se describió en el capítulo 4, para cada condición de carga dinámica se tienen 16 casos, considerando un intervalo de periodos en base aislada entre 1.5 seg. a 3.0 seg. con incrementos a cada 0.1 segundos. Los análisis se organizaron clasificando los archivos de datos por evento, en cada archivo se contó como información adicional el valor del cortante basal (V_{yais}) para el valor del cortante de fluencia correspondiente y el desplazamiento de fluencia de cada uno de los aisladores (Δ_{yais}) como se identifica en la tabla 2.5. De cada par de acelerogramas, se consideraron los mismos tres casos de análisis descritos en el capítulo 4. Por lo tanto, se realizaron 48 simulaciones por cada par de acelerogramas.

Este estudio se organizó para cada zona de la siguiente manera:

Zona D-I, se realizaron análisis para un cortante de fluencia del 8%, 10% y 12%, por lo que para cada cortante de fluencia se realizaron un total de 3,504 simulaciones.

Zona C-I, se realizaron análisis para un cortante de fluencia del 8% y 10%, por lo que para cada cortante de fluencia se realizaron un total de 4,320 simulaciones.

Zona B-I, se realizaron análisis para un cortante de fluencia del 3% y 5%, por lo que para cada cortante de fluencia se realizaron un total de 6,480 simulaciones.

Por lo tanto, se realizaron un total de 32,112 simulaciones para este estudio en particular.

Para determinar la componente dominante (columna 8), se considera el criterio de la sumatoria de los factores de amplificación de las columnas 6 y 7 (promedio “pesado” como se describió con detalle en el capítulo 4) y, por lo tanto, la componente dominante se identifica con la columna asociada a la menor sumatoria. Este criterio de la mínima sumatoria de los factores de amplificación fue aplicado para cada uno de los cortantes de fluencia correspondientes a cada zona.

El criterio de escalamiento mencionado en el capítulo 3 se ejemplifica en las simulaciones de las estaciones AŦ, PAPN, UNIO (figuras 5.1 a 5.3) de los sismos del 15 de julio del 96, del 19 de septiembre del 85 y del 21 de septiembre del 85 respectivamente.

En la figura 5.1 se observa que para un cortante de fluencia del 5% para la zona B-I del Manual de Obras Cíviles, donde se escalaron ambas componentes con un valor de 16.69, conforme a lo establecido en el capítulo 3; los factores de amplificación durante el intervalo de interés tienden a uniformizar los factores provenientes para el caso lineal de la figura 4.4, además como se ilustra en la figura 5.2, la relación de factores de escala dominantes entre la componente E-W y N-S varían de una manera más suave a la observada en el caso lineal (figura 4.7). De esta comparación se puede concluir que cuando se escalan cada uno de los acelerogramas para distintos cortantes de fluencia tienden a suavizarse los factores de amplificación, y que pueden variar el factor de escala dominante en algunos incrementos de período en el intervalo de interés como puede apreciarse al comparar las figuras 4.4 a 4.6 del caso lineal con las figuras 5.1 a 5.3 del caso no lineal.

5.2 Criterio estadístico utilizado

En este trabajo, se estudian las respuestas medias de los efectos bidireccionales para todas las simulaciones realizadas de cada una de las zonas y para distintos cortantes de fluencia como se discutió en párrafos anteriores. Además, se consideraron las respuestas asociadas a la media más una desviación estándar, y la media más vez y media la desviación estándar. El criterio estadístico correspondiente a la media más una desviación estándar, asociado a una función de densidad de probabilidad acumulada de 0.8413 se considera un criterio razonable en ingeniería civil. El criterio estadístico correspondiente a la media más vez y media la desviación estándar asociado a una función de densidad de probabilidad acumulada de 0.9332, que es más conservador.

5.3 Discusión de los resultados observados para cada zona

Se realizó un estudio paramétrico que considera los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max}BID$) y la componente dominante ($D_{\max}UNI$) para sismos de magnitud mayor a 6.5, evaluándolos primero considerando a cada evento independientemente, con el fin de determinar si existe alguna relación fuerte entre los factores de amplificación y las características de cada evento (por ejemplo, magnitud).

5.3.1 Zona B-I

Como se describió con detalle en el capítulo 4, en las figuras 5.4 y 5.5 se presenta un histograma que resume el patrón de periodos dominantes (E-W o N-S) en el intervalo considerado para los 135 registros seleccionados para un cortante de fluencia del 3% y 5%. Cada barra del histograma representa una combinación donde rigen los mínimos factores de amplificación para cada incremento de periodo tanto para la acción E-W como para la acción N-S con base en la información extraída de las columnas 6 y 7 de los archivos generados por el programa AB para cada registro y cortante de fluencia.

De las figuras 5.4 y 5.5 se observa que los mínimos factores de escala están asociados a la componente N-S, 61 registros para un cortante de fluencia del 3% y de 46 para un cortante del 5%, y para la acción E-W 18 registros para un cortante de fluencia del 3% y de 15 para un cortante del 5%. De igual manera, se ilustran la frecuencia en que se observan las demás combinaciones posibles dentro de las simulaciones realizadas que tienden a ser minoría. Cabe señalar que, en general, para esta condición donde se escalaron los acelerogramas al ser filtrados de la condición lineal se define muy fuertemente que la componente N-S tiende a ser la dominante.

En las figuras 5.6 y 5.7 se presenta un histograma donde se agrupan los casos de estadística similar, se aprecia que los casos donde una componente es claramente dominante (13-3, 14-2, 15-1 y 16-0) superan a los casos donde esto no es obvio (11-5, 10-6, 9-9 y 8-8). De esta observación se concluye que es más dominante la componente N-S cuanto menor sea el cortante de fluencia.

En las figuras 5.8 y 5.9 se presentan los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max} \text{ BID}$) y la componente dominante ($D_{\max} \text{ UNI}$) correspondientes a la media (línea continua), la media más una desviación estándar (línea con punto y raya) y la media más vez y media la desviación estándar (línea discontinua), cuando se consideran los 135 registros acelerográficos con cortantes de fluencia $V_y/W = 3\%$ y $V_y/W = 5\%$. En las figuras 5.8 y 5.9 se observa la variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodos de vibración seleccionado (T_a), por lo que es claro que el factor de amplificación depende del periodo. Además, se aprecia que en el intervalo de periodos de 1.5 a 1.8 segundos, la amplificación es ligeramente mayor y se acentúa de manera constante el resto del intervalo. En general, en la curva correspondiente a $X + \sigma$ se pueden presentar amplificaciones aproximadamente del 30% para un cortante de fluencia del 3% y del orden del 20% para el 5% del cortante de fluencia, y esta curva es la que regularmente está asociada a criterios convencionales de diseño.

En las figuras 5.10 y 5.11 se presenta la media y la media más una desviación estándar ($X + \sigma$) de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 3% y 5% correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante ($D_{\max} \text{ BID} / D_{\max} \text{ UNI}$). De estas figura se observa que dichos factores:

- (1) No son semejantes en el intervalo de periodos considerado.
- (2) Sus características pueden depender de las características del sismo.
- (3) Conforme disminuye la fuerza de fluencia el sistema es más no lineal, por lo que a medida que el sistema es más no lineal, los factores de amplificación aumentan.
- (4) Cuando el cortante de fluencia es del 5% del peso de la estructura, se observan amplificaciones menores en los aisladores por efectos bidireccionales que cuando dicho cortante es del 3% de W .
- (5) A partir del periodo de 2.7s, los factores de amplificación tienden a ser constantes en sus valores, sin importar el cortante de fluencia.

Por último, en las figuras 5.12 y 5.13 se presentan las relaciones entre el periodo de vibración en base aislada (T_a) y el cociente obtenido del desplazamiento dinámico máximo normalizado con el desplazamiento de fluencia del aislador para cada caso (tabla 2.5), que también puede llamarse demanda de ductilidad, ante la correspondiente dominante ($D_{\max} \text{ BID} / D_{\max} \text{ UNI}$). De estas gráficas se observa lo siguiente.

En la figura 5.12, correspondiente a la media para los dos cortantes de fluencia considerados (3% y 5%), se observó que la demanda máxima de ductilidad de desplazamiento de los aisladores no rebasa el límite de 9 obtenido a partir de la curva primaria definida por el UBC para aisladores bilineales donde la pendiente posterior a la fluencia es del 10%.

En la figura 5.13, correspondiente a la media más una desviación estándar, se observa que las demandas de ductilidad asociadas a un cortante de fluencia del 5% no son tan altas para el intervalo periodo de interés y que se encuentran valores inferiores a 9 en ese mismo intervalo. Para un cortante de fluencia de 3%, esto sólo se observa para periodos mayores o iguales a 2.1s. En general se puede concluir que, a medida que aumenta el cortante de fluencia, las demandas de ductilidad disminuyen, como era de esperarse.

Desde el punto de vista de demandas de ductilidad aceptables para un comportamiento estable de los aisladores en estudio (iguales o inferiores a nueve, de acuerdo con la restricción mecánica de la curva primaria recomendada por el reglamento UBC), a partir de la figura 5.13 se aprecia que lo más correcto para la curva con cortante de fluencia del 3%, sería acotarla para el intervalo de periodos entre 2.0s. y 3.0s. Sin embargo, lo que el estudio nos indica es que, para la zona B, sería más adecuado diseñar para cortantes de fluencia más cercanos al 5% que para el 3% en todo el intervalo de periodos considerado.

Se observa que con los cortantes de fluencia considerados los aisladores efectivamente incursionan en el comportamiento no lineal, es decir, desarrollan una respuesta de desplazamiento dinámico mayor a la de fluencia. Esta característica se acentúa, generalmente, en los periodos cortos del intervalo en estudio y desciende en forma ligera y paulatina para valores mayores de T_a .

5.3.2 Zona C-I

En las figuras 5.14 y 5.15 se presenta el histograma que resume el patrón de periodos dominantes (E-W o N-S) en el intervalo considerado para los 90 registros seleccionados para un cortante de fluencia del 8% y 10%. Se observa que los mínimos factores de escala están asociados a la componente N-S, 38 registros para un cortante de fluencia del 8% y de 37 para un cortante del 10%, y para la acción E-W, 12 registros para un cortante de fluencia del 8% y de 13 para un cortante del 10%. De manera similar, se ilustran la frecuencia en que se observan las demás combinaciones posibles dentro de las simulaciones realizadas que tienden a ser minoría. Cabe señalar que, en general como se observó del análisis para la zona B-I, para esta condición donde se escalaron los acelerogramas al ser filtrados de la condición lineal, también se identifica que la componente N-S es más intensa en el intervalo de periodos de interés.

En las figuras 5.16 y 5.17 se presenta un histograma donde se agrupan los casos de estadística similar, se aprecia que los casos donde una componente es claramente dominante (13-3, 14-2, 15-1 y 16-0) también superan notablemente a los casos donde esto no es obvio (11-5, 10-6, 9-9 y 8-8).

En las figuras 5.18 y 5.19 se presentan los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max,BID}$) y la componente dominante ($D_{\max,UNI}$) correspondientes a la media (línea continua), la media más una desviación estándar (línea con punto y raya) y la media más vez y media la desviación estándar (línea discontinua), cuando se consideran los 90 registros acelerográficos con cortantes de fluencia $V_f/W=8\%$ y $V_f/W=10\%$. En las figuras 5.18 y 5.19 se observa la variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodos de vibración seleccionado (T_a), por lo que es claro que el factor de amplificación depende del periodo. Además, se aprecia que en el intervalo de periodos de 1.8 a 2.2 segundos, la

amplificación es ligeramente menor que el resto del intervalo, también podemos apreciar que para esta zona en particular los factores de amplificación en sus curvas presentan cierta similitud para ambos cortantes de fluencia en el intervalo de periodos de 1.5s a 2.1s y esto se ve reflejado en la media y la media más una desviación estándar mostradas en las figuras 5.20 y 5.21. En general, en la curva correspondiente a $X+\sigma$ se pueden presentar amplificaciones del 25% para ambos cortantes de fluencia, y esta curva es la que regularmente está asociada a criterios convencionales de diseño.

En las figuras 5.20 y 5.21 se presenta la media y la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 8% y 10% correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante ($D_{\max\text{BID}}/D_{\max\text{UNI}}$). De estas figuras se observa que dichos factores:

- (1) Presentan cierta similitud en sus curvas en el intervalo de 1.5s. a 2.1s., como se mencionó en párrafos anteriores que los presentados en las curvas de la zona B-I.
- (2) Sus características pueden depender de las características del sismo.
- (3) Conforme disminuye la fuerza de fluencia el sistema es más no lineal, por lo que a medida que el sistema es más no lineal, los factores de amplificación aumentan.
- (4) Cuando el cortante de fluencia es del 10% del peso de la estructura, se observan amplificaciones menores en los aisladores por efectos bidireccionales que cuando dicho cortante es del 8% de W .
- (5) Podría decirse que en el periodo de 2.8s. los factores de amplificación son los mismos para ambos cortantes de fluencia.
- (6) Los factores de amplificación son menores en el intervalo de periodos de 1.5s a 1.9s. comparados con los obtenidos para la zona B-I.

Por último, en las figuras 5.22 y 5.23 se presentan las demandas de ductilidad, ante la correspondiente dominante ($D_{\max\text{BID}}/D_{\max\text{UNI}}$). De estas gráficas se observa lo siguiente.

En la figura 5.22, correspondiente a la media para los dos cortantes de fluencia considerados (8% y 10%), se observó que la demanda máxima de ductilidad de desplazamiento de los aisladores no rebasa el límite de 9 obtenido a partir de la curva primaria definida por el UBC para aisladores bilineales donde la pendiente posterior a la fluencia es del 10%. Además, su variación es más suave y se parecen más entre sí, en comparación con las presentadas para la zona B-I.

En la figura 5.23, correspondiente a la media más una desviación estándar, se observa que las demandas de ductilidad asociadas a un cortante de fluencia del 10% no son tan altas para el intervalo periodo de interés y que se encuentran valores inferiores a 9 en ese mismo intervalo. Para un cortante de fluencia de 8%, esto sólo se observa para periodos mayores o iguales a 1.8s.

Desde el punto de vista de demandas de ductilidad aceptables para un comportamiento estable de los aisladores en estudio (iguales o inferiores a nueve), a partir de la figura 5.23 se aprecia que lo más correcto para la curva con cortante de fluencia del 8%, sería acotarla para el intervalo de periodos entre 1.8s. y 3.0s. Sin embargo, lo que el estudio nos indica es que, para la zona C, sería más adecuado diseñar para cortantes de fluencia más cercanos al 10% que para el 8% en todo el intervalo de periodos considerado.

5.3.3 Zona D-I

En las figuras 5.24 a 5.26 se presentan los histogramas que resumen el patrón de periodos dominantes (E-W o N-S) en el intervalo considerado para los 73 registros seleccionados para un cortante de fluencia del 8%, 10% y 12%. Se observa que los mínimos factores de escala están asociados a la componente N-S, 30 registros para un cortante de fluencia del 8%, 31 para un cortante del 10%, y de 27 para un cortante del 12%. Para la acción E-W, 15 registros para un cortante de fluencia del 8%, 11 para un cortante del 10%, y diez para un cortante del 12%. De manera similar, se ilustran la frecuencia en que se observan las demás combinaciones posibles dentro de las simulaciones realizadas que tienden a ser minoría. Cabe señalar que, en general como se observó del análisis para la zona B-I y C-I, para esta condición donde se empleó el criterio de escalación mencionado en el capítulo 3, los acelerogramas al ser filtrados de la condición lineal se define por igual que la componente N-S es más intensa en el intervalo de periodos de interés.

De manera análoga como se procedió para las zonas B-I y C-I, en las figuras 5.27 a 5.29 se presenta un histograma donde se agrupan los casos de estadística similar, y se aprecia nuevamente que los casos donde una componente es claramente dominante (13-3, 14-2, 15-1 y 16-0) superan notablemente los casos donde esto no es obvio (11-5, 10-6, 9-9 y 8-8). Se concluye entonces que el criterio de escalamiento utilizado impacta notablemente la definición de una componente dominante, que en este estudio por lo general resultó ser la componente N-S.

En las figuras 5.30 y 5.32 se presentan los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max} \text{BID}$) y la componente dominante ($D_{\max} \text{UNI}$) correspondientes a la media (línea continua), la media más una desviación estándar (línea con punto y raya) y la media más vez y media la desviación estándar (línea discontinua), cuando se consideran los 73 registros acelerográficos con cortantes de fluencia $V_y/W = 8\%$, $V_y/W = 10\%$, y $V_y/W = 12\%$. En las figuras 5.30 a 5.32 se observa la variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodos de vibración seleccionado (T_a), de la misma manera se hace notar que es claro que el factor de amplificación depende del periodo. Además, podemos hacer notar que para esta zona en particular los factores de amplificación en sus curvas no presentan similitud para los tres cortantes de fluencia, pero si podemos observar que para el 8% del cortante de fluencia se amplifican en el intervalo de 1.5s. a 2.0s. y se acentúa el resto del intervalo de periodos; en el intervalo de periodos de 2.0s a 3.0s. los factores de amplificación tienden a aumentar ligeramente para los cortantes de fluencia del 10% y 12%; esto se ve reflejado en la media y la media más una desviación estándar mostradas en las figuras 5.30 a 5.32. En general, en la curva correspondiente a $X + \sigma$ se aprecia que los factores de amplificación son mayores entre menor sea el cortante de fluencia, esto es, se presentan amplificaciones ligeramente por encima del 30% para el 8% del cortante de fluencia, del 30% para el 10% del cortante de fluencia y del 25% para el 12% del cortante de fluencia, y estas curvas son las que están asociadas a criterios convencionales de diseño.

En las figuras 5.33 y 5.34 se presenta la media y la media más una desviación estándar ($X + \sigma$) de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 8%, 10% y 12% correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante ($D_{\max} \text{BID} / D_{\max} \text{UNI}$). De estas figuras se observa que dichos factores:

- (1) Presentan cierta similitud en sus curvas en el intervalo de periodos de interés, aunque con diferencias en algún intervalo entre las curvas de 12% con las demás. De hecho, existe menor similitud en las curvas si se comparan éstas con las obtenidas para las zonas B-I y C-I. Sin embargo, se puede decir que en el intervalo de periodos de 2.1s. a 3.0s., estas curvas tienden a comportarse de la misma manera para todas las resistencias consideradas.

- (2) Sus características parecen depender de las características de los sismos.
- (3) Como se presentó para los casos de las zonas B-I y C-I, entre más disminuye la fuerza de fluencia, los factores de amplificación son ligeramente mayores.
- (4) Cuando el cortante de fluencia es del 12% del peso de la estructura, se observan amplificaciones menores en los aisladores por efectos bidireccionales que cuando dicho cortante es del 10% y 8% de W .
- (5) A partir de la figura 5.34 se observa que en el periodo de 2.7s, los factores de amplificación tienden a ser similares para los tres cortantes de fluencia considerados.
- (6) Los factores de amplificación son mayores en la mayor parte del intervalo de periodos de interés, con respecto a los obtenidos para la zona B-I y C-I.

Por último, en las figuras 5.35 y 5.36, se presentan las demandas de ductilidad, ante la correspondiente dominante ($D_{\max} \text{BID}/D_{\max} \text{UNI}$). De estas gráficas se puede concluir lo siguiente:

En la figura 5.35 correspondiente a la media, sólo para dos cortantes de fluencia (10% y 12%) se observó que la demanda máxima de ductilidad de desplazamiento de los aisladores no rebasa el límite de nueve obtenido a partir de la curva primaria definida por el UBC. Para el 8% del cortante de fluencia, la curva estuvo por encima de este límite en el intervalo de periodos entre 1.5s y 1.7s.

En la figura 5.36, correspondiente a la media más una desviación estándar, se puede hacer notar que las demandas de ductilidad asociadas a un cortante de fluencia del 12% están muy cerca del valor límite de nueve para el intervalo periodo de interés, y que para los cortantes de fluencia del 8% y 10% los valores se encuentran por encima de este límite para un cierto intervalo de periodos. En general, se observa que se presentó una mayor desviación al inicio del intervalo de periodos para esta zona.

Desde de punto de vista de demandas de ductilidad aceptables para un comportamiento estable de los aisladores en estudio (iguales o inferiores a nueve), a partir de la figura 5.36 se aprecia que lo más correcto para la curva con cortante de fluencia del 8%, sería acotarla para el intervalo de periodos entre 2.3s. y 3.0s y en el intervalo de periodos entre 1.9s y 3.0s para el cortante de fluencia de 10%. Sin embargo, lo que el estudio nos indica es que, para la zona D, sería más adecuado diseñar para cortantes de fluencia más cercanos al 12% que para el 10% en todo el intervalo de periodos considerado, pero que en el intervalo de periodos más largos, 8% puede ser adecuado.

5.4 Funciones de amplificación propuestas para cada zona

Como se describió en el capítulo 4, este estudio ha considerado la selección y filtración de cada uno de los registros correspondientes a las zonas en estudio con características de suelo firme ubicados en la zona de la costa del Pacífico para estudiar las amplificaciones y sus respectivas desviaciones, con la finalidad de obtener una expresión simple que permita tomar en cuenta los efectos bidireccionales en el diseño de aisladores sísmicos.

Para los factores de amplificación de los desplazamientos máximos entre acción bidireccional ($D_{\max} \text{BID}$) y la componente dominante ($D_{\max} \text{UNI}$), correspondientes a los distintos cortantes de fluencia de las zonas B-I, C-I y D-I, se decidió emplear una ecuación simple de primer orden (una recta) para definir una envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) y la media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$) en el intervalo de periodos de interés, por lo que vienen a ser poco conservadoras dentro del intervalo de periodos de interés, como se ilustra en las figuras 5.38 a 5.43.

5.4.1 Las ecuaciones obtenidas para la zona B-I son (figuras 5.38 y 5.39):

$$i) \quad V_y/W = 3\%$$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.362 - 0.0349T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.798$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.463 - 0.0402T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.769$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

$$ii) \quad V_y/W = 5\%$$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.302 - 0.0362T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.608$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.399 - 0.0466T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.632$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

5.4.2 Las ecuaciones obtenidas para la zona C-I son (figuras 5.40 y 5.41):

$$i) \quad V_y/W = 8\%$$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.221 + 0.0193T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.486$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.281 + 0.0309T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.546$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

$$ii) \quad V_y/W = 10\%$$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.198 + 0.0160T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.340$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.258 - 0.0231T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.382$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

5.4.3 Las ecuaciones obtenidas para la zona D-I son (figuras 5.42 y 5.43):

$$i) \quad V_y/W = 8\%$$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.400 - 0.0271T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.664$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.513 - 0.0308T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.534$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

$$ii) \quad V_y/W = 10\%$$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.186 + 0.0506T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.851$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.236 + 0.0706T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.854$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

$$iii) \quad V_y/W = 12\%$$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.176 + 0.0404T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.851$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\frac{D_{\max} BID}{D_{\max} UNI} = 1.232 + 0.0541T_a \text{ y cuya correlación es } r = 0.828$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

5.5 Funciones de amplificación propuestas de demandas de ductilidad para cada zona

Para las demandas de ductilidad correspondientes a los distintos cortantes de fluencia de las zonas B-I, C-I y D-I, y en función de su variación suave y descaradamente exponencial, se decidió definir ecuaciones simples exponenciales para definir una envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) y la media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$) en el intervalo de periodos de interés, por lo que vienen a ser muy precisas en todo el intervalo de periodos de interés como se ilustra en las figuras 5.44 a 5.49, ya que los datos se identifican con símbolos y la curva de regresión propuesta se ilustra con líneas discontinúas.

5.5.1 Las ecuaciones obtenidas para la zona B-I son (figuras 5.44 y 5.45):

$$i) \quad V_y/W = 3\%$$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{ais}} = 2.596e^{5.218+0.488T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{ais}} = 2.956e^{5.454+0.483T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

$$ii) \quad V_y/W = 5\%$$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{\text{ais}}} = 1.663e^{4.489 \cdot 0.483 T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{\text{ais}}} = 1.856e^{4.713 \cdot 0.483 T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

5.5.2 Las ecuaciones obtenidas para la zona C-I son (figura 5.46 y 5.47):

i) $V_y/W = 8\%$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{\text{ais}}} = 2.571e^{5.021 \cdot 0.460 T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{\text{ais}}} = 2.872e^{5.165 \cdot 0.462 T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

ii) $V_y/W = 10\%$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{\text{ais}}} = 1.909e^{4.384 \cdot 0.494 T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{\text{ais}}} = 2.180e^{4.632 \cdot 0.486 T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

5.5.3 Las ecuaciones obtenidas para la zona D-I son (figuras 5.48 y 5.49):

$$i) \quad V_y/W = 8\%$$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{\text{ais}}} = 2.688e^{4.759 \cdot 0.562 T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{\text{ais}}} = 3.156e^{4.756 \cdot 0.552 T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$,

$$ii) \quad V_y/W = 10\%$$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{\text{ais}}} = 2.513e^{4.261 \cdot 0.524 T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{\text{ais}}} = 2.856e^{4.417 \cdot 0.523 T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

$$iii) \quad V_y/W = 12\%$$

La media más una desviación estándar ($X+\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{\text{ais}}} = 1.995e^{3.901 \cdot 0.539 T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

La media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$)

$$\mu = \frac{D_{\max} BID}{D_{\text{ais}}} = 2.271e^{4.069 \cdot 0.535 T_a} \text{ y cuya correlación es } r = 0.999$$

Válidas en el intervalo $1.5s \leq T_a \leq 3.0s$.

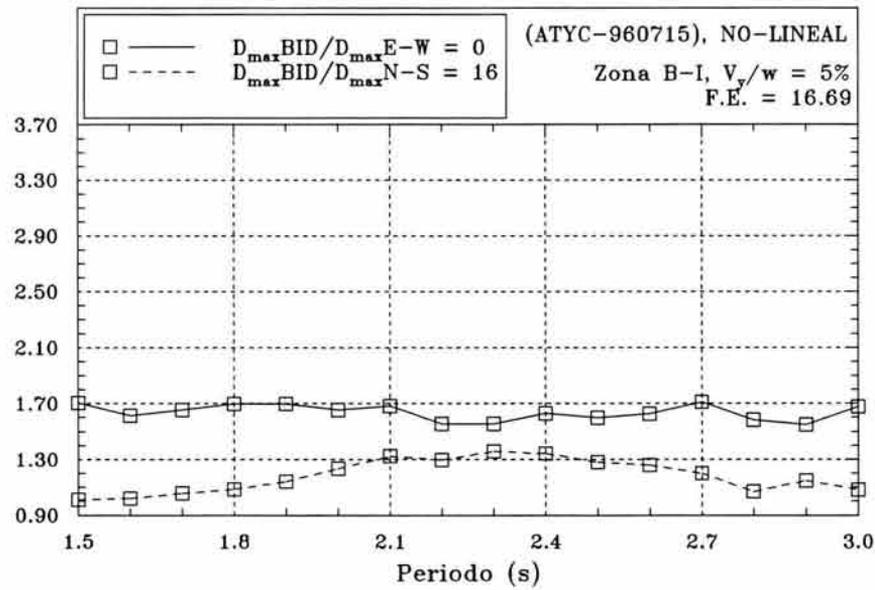


Figura 5.1 Factores de amplificación para un cortante de fluencia del 5% para la zona B-I, donde se escalaron ambas componentes con un valor de 16.69 conforme a lo establecido en el capítulo 3. (simulación de la estación ATYC del sismos del 15 de julio del 96)

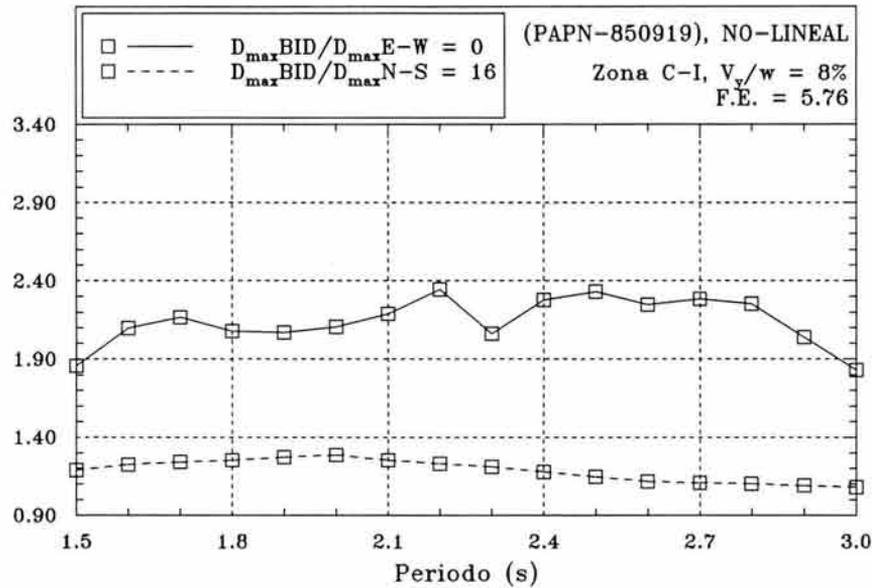


Figura 5.2 Factores de amplificación para un cortante de fluencia del 8% para la zona C-I, donde se escalaron ambas componentes con un valor de 5.76 conforme a lo establecido en el capítulo 3. (simulación de la estación PAPN del sismos del 19 de septiembre del 85)

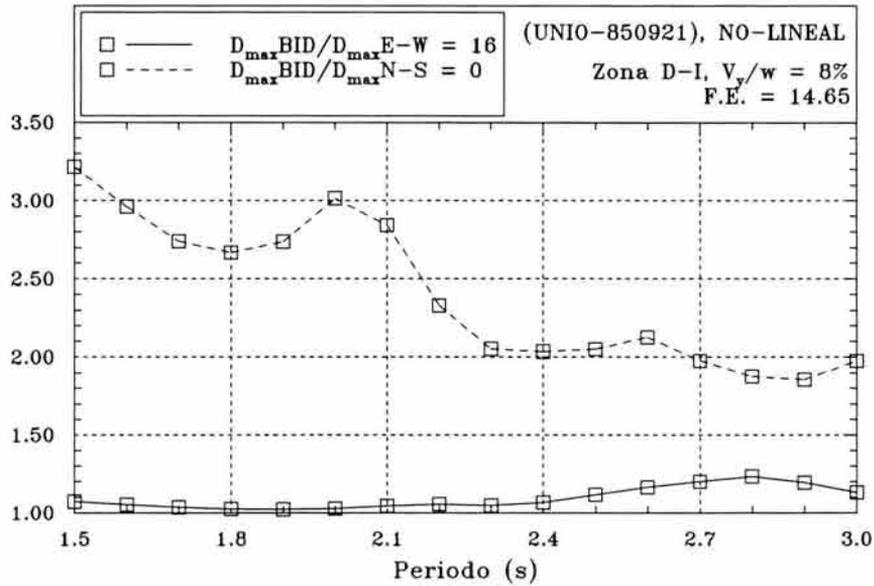


Figura 5.3 Factores de amplificación para un cortante de fluencia del 8% para la zona D-I, donde se escalaron ambas componentes con un valor de 14.65 conforme a lo establecido en el capítulo 3. (simulación de la estación UNIO del sismo del 21 de septiembre del 85)

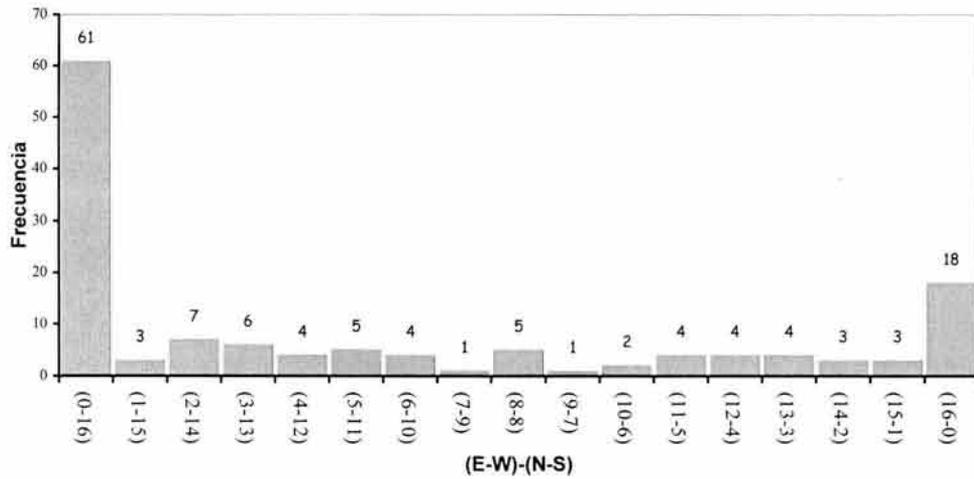


Figura 5.4 Histograma que resume el patrón de periodos dominantes en el intervalo de interés para un cortante de fluencia del 3%, zona B-I

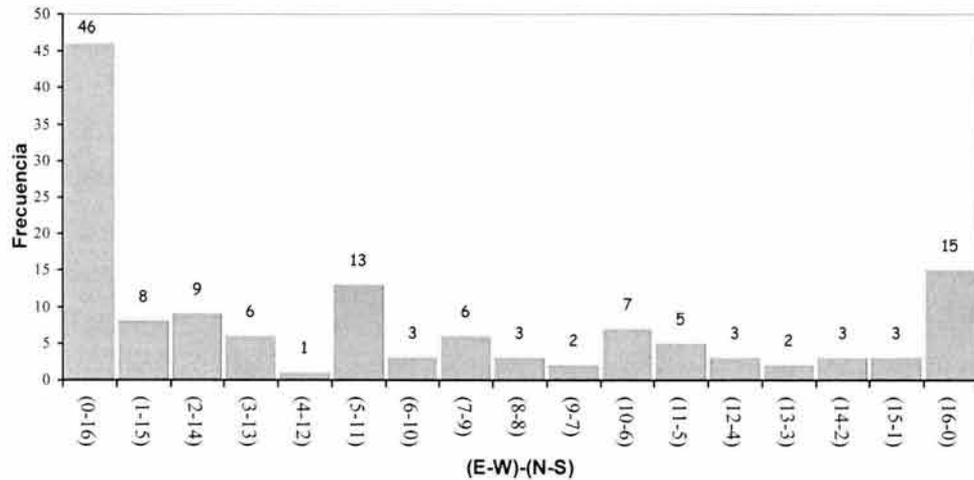


Figura 5.5 Histograma que resume el patrón de periodos dominantes en el intervalo de interés para un cortante de fluencia del 5%, zona B-I

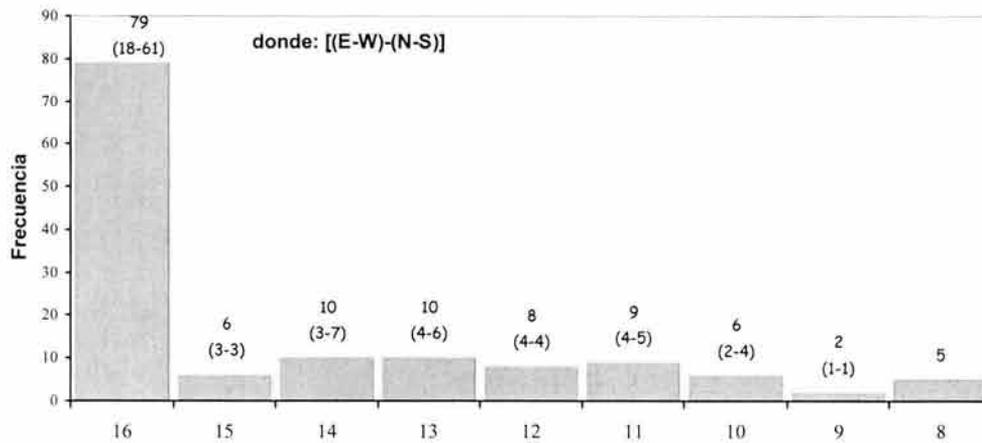


Figura 5.6 Histograma donde se agrupan los casos de estadística donde domina una componente para un cortante de fluencia del 3%, zona B-I

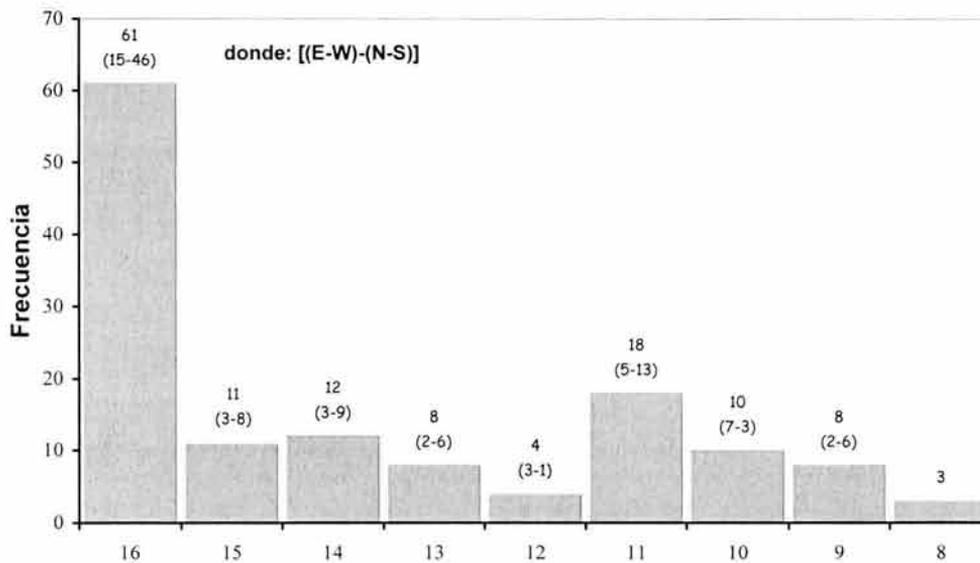


Figura 5.7 Histograma donde se agrupan los casos de estadística donde domina una componente para un cortante de fluencia del 5%, zona B-I

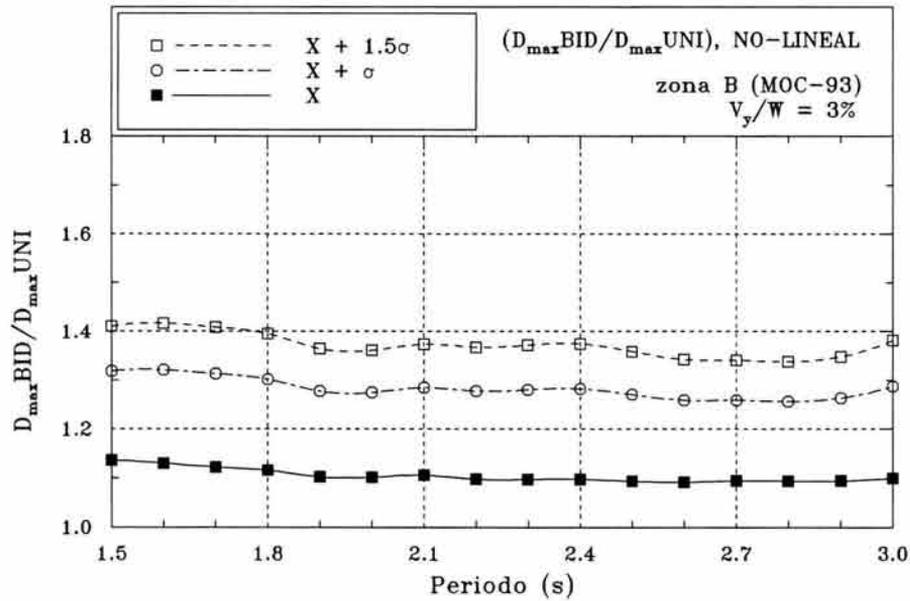


Figura 5.8 Estudio paramétrico donde se registra la variación que experimentan los factores de amplificación máximos de la acción bidireccional entre la componente dominante a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) para un cortante de fluencia del 3%, zona B-I

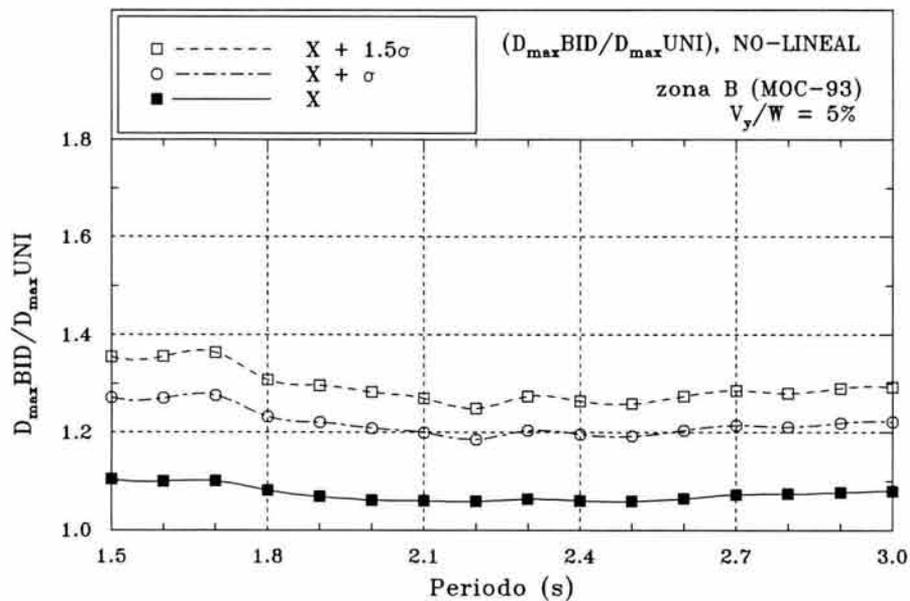


Figura 5.9 Estudio paramétrico donde se registra la variación que experimentan los factores de amplificación máximos de la acción bidireccional entre la componente dominante a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) para un cortante de fluencia del 5%, zona B-I

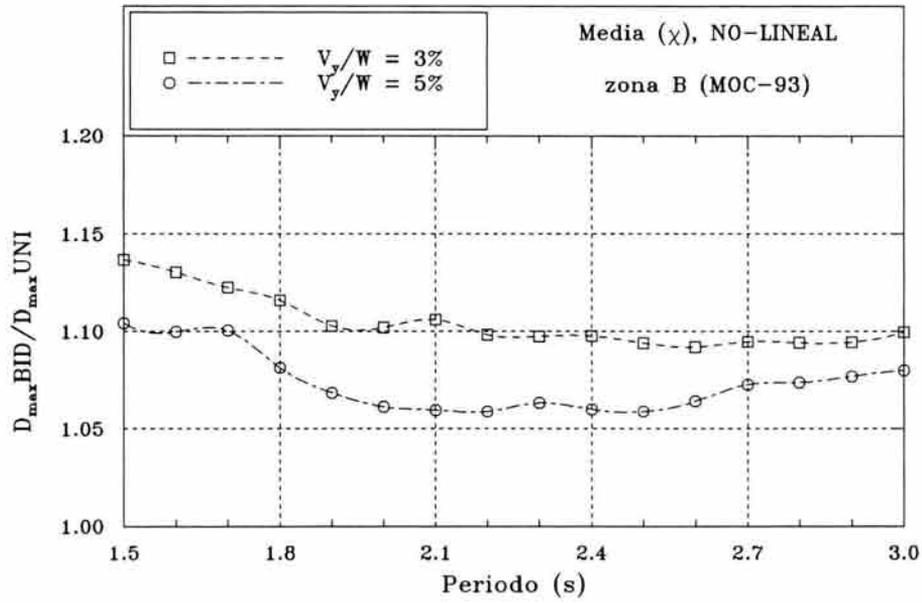


Figura 5.10 Factores de amplificación donde se registra la media para los cortantes de fluencia del 3% y 5% correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante

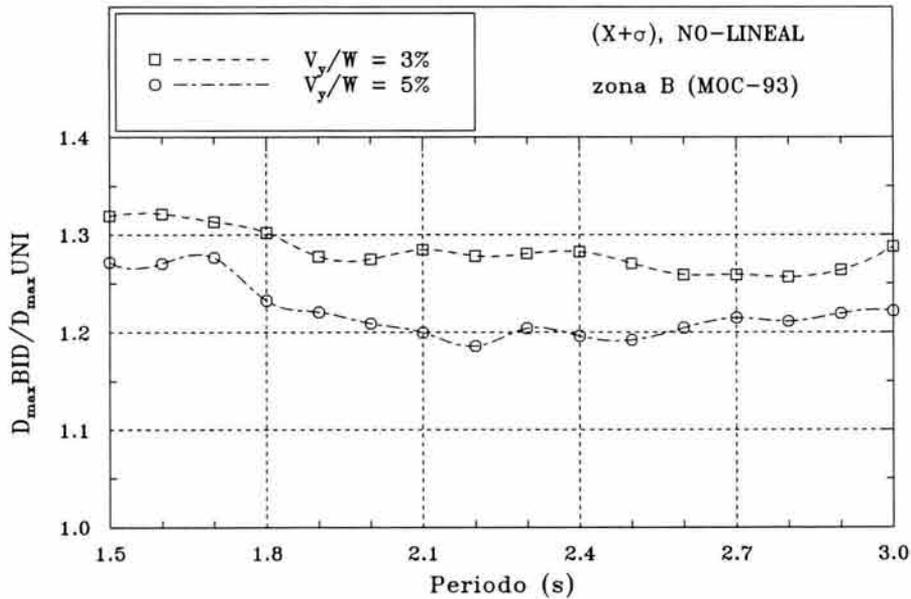


Figura 5.11 Factores de amplificación donde se registra la media más una desviación estándar para los cortantes de fluencia del 3% y 5% correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante

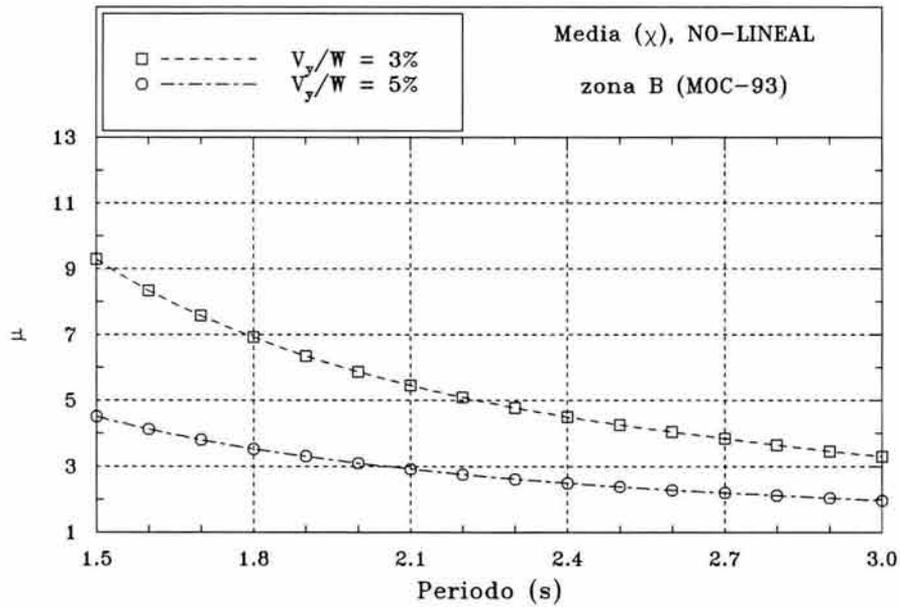


Figura 5.12 Demandas de ductilidad donde se registra la media para los cortantes de fluencia del 3% y 5%, zona B-I a lo largo del intervalo de vibración en base aislada (T_a)

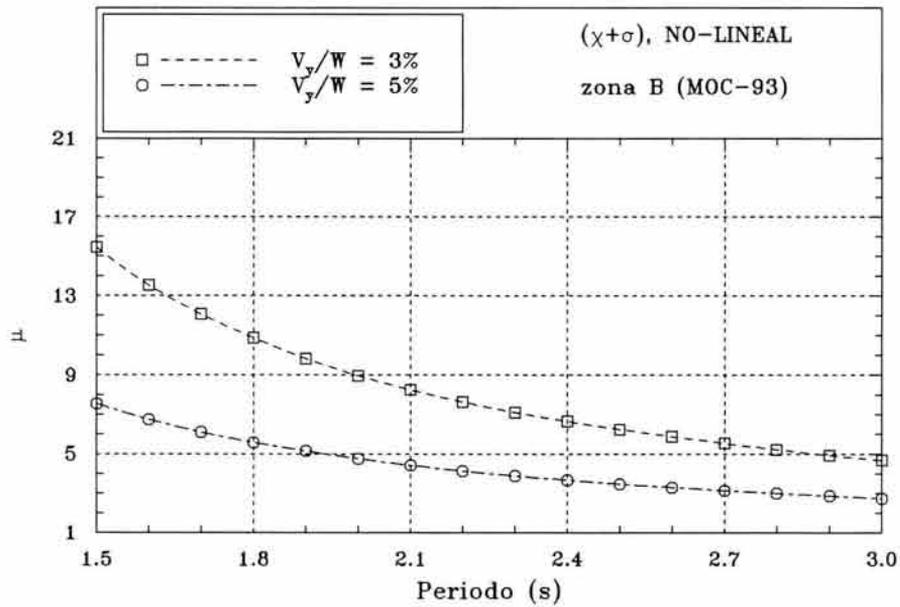


Figura 5.13 Demandas de ductilidad donde se registra la media más una desviación estándar para los cortantes de fluencia del 3% y 5%, zona B-I a lo largo del intervalo de vibración en base aislada (T_a)

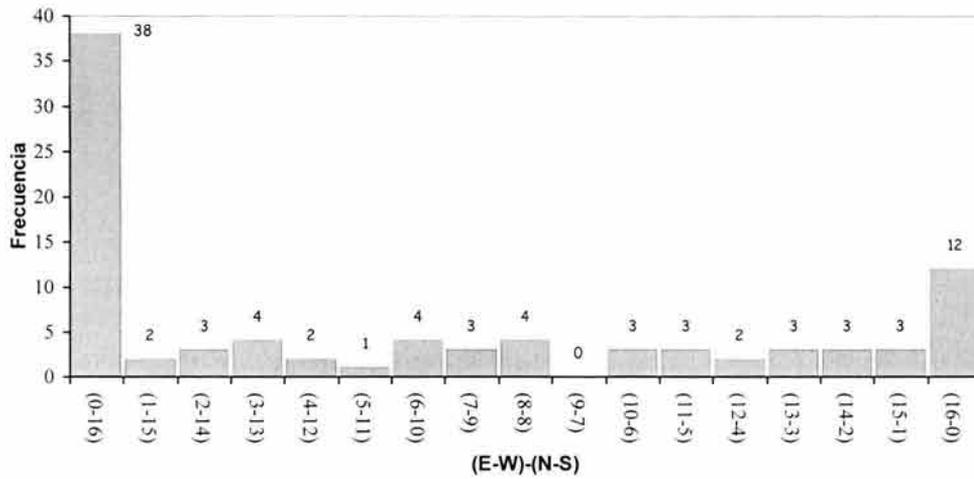


Figura 5.14 Histograma que resume el patrón de periodos dominantes en el intervalo de interés para un cortante de fluencia del 8%, zona C-I

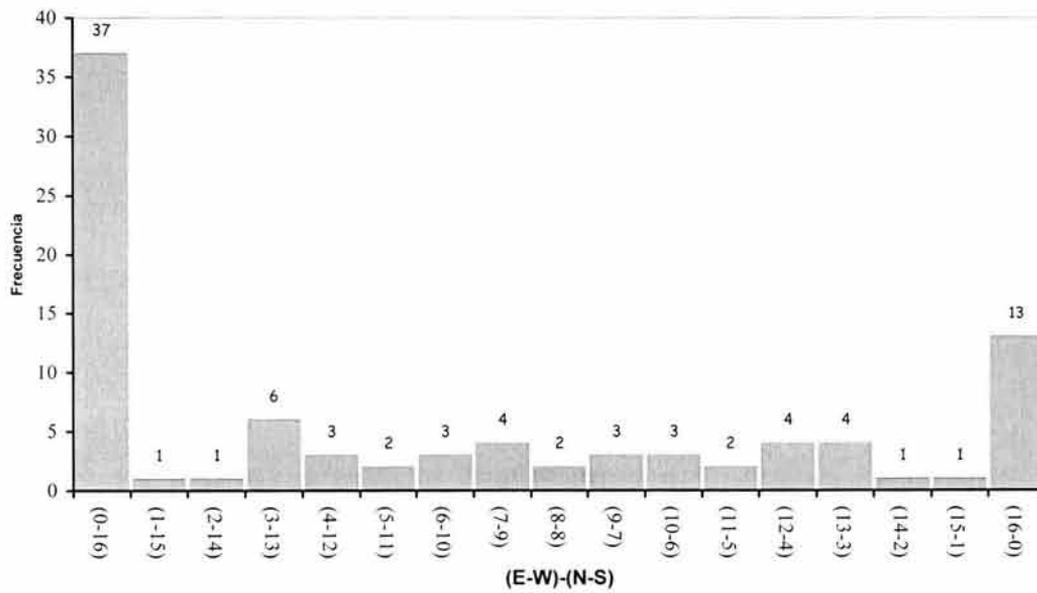


Figura 5.15 Histograma que resume el patrón de periodos dominantes en el intervalo de interés para un cortante de fluencia del 10%, zona C-I

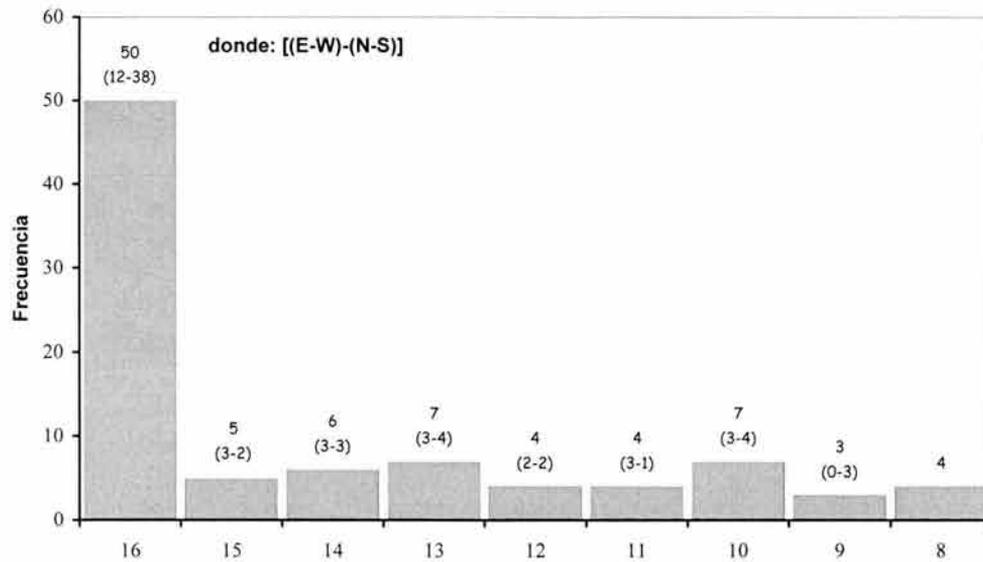


Figura 5.16 Histograma donde se agrupan los casos de estadística donde domina una componente para un cortante de fluencia del 8%, zona C-I

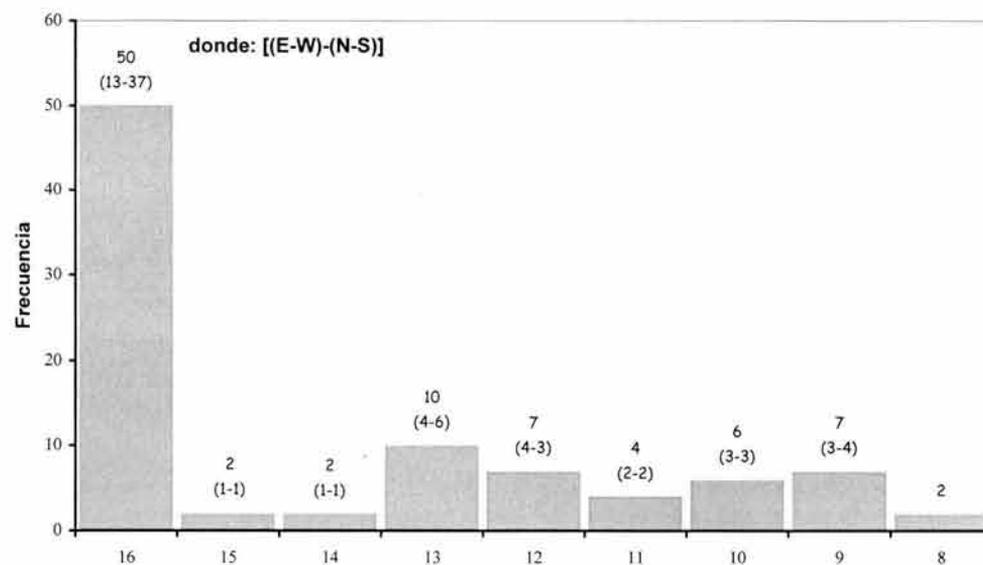


Figura 5.17 Histograma donde se agrupan los casos de estadística donde domina una componente para un cortante de fluencia del 10%, zona C-I

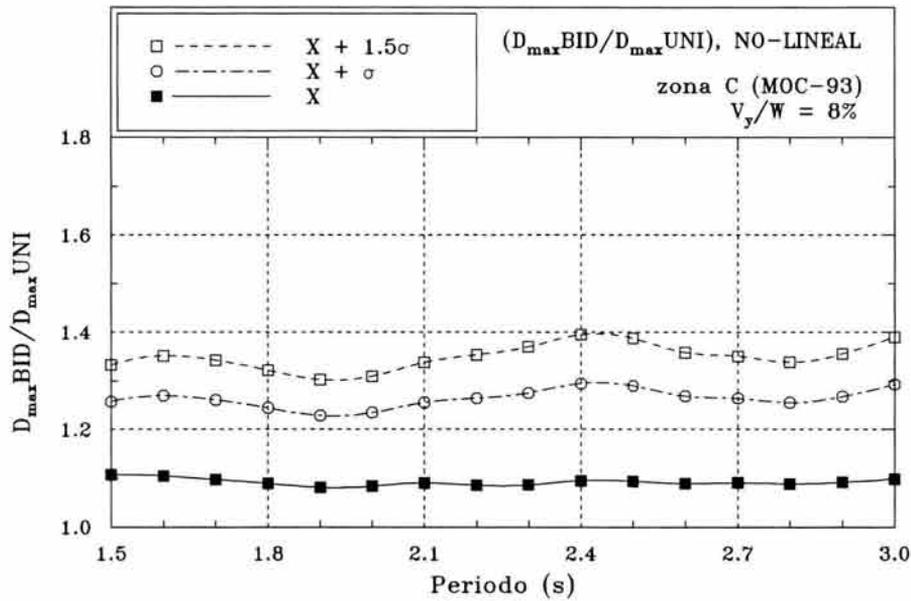


Figura 5.18 Estudio paramétrico donde se registra la variación que experimentan los factores de amplificación máximos de la acción bidireccional entre la componente dominante a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) para un cortante de fluencia del 8%, zona C-I

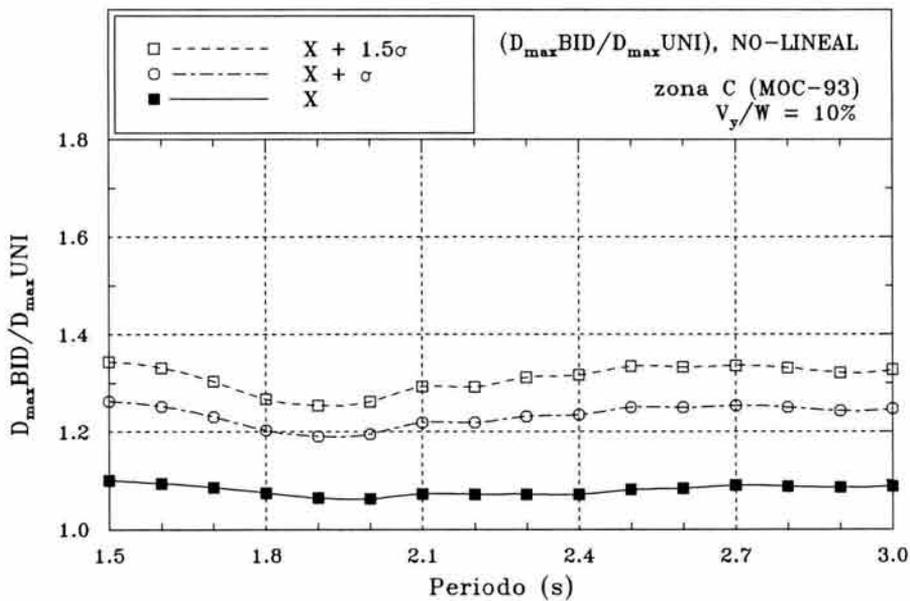


Figura 5.19 Estudio paramétrico donde se registra la variación que experimentan los factores de amplificación máximos de la acción bidireccional entre la componente dominante a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) para un cortante de fluencia del 10%, zona C-I

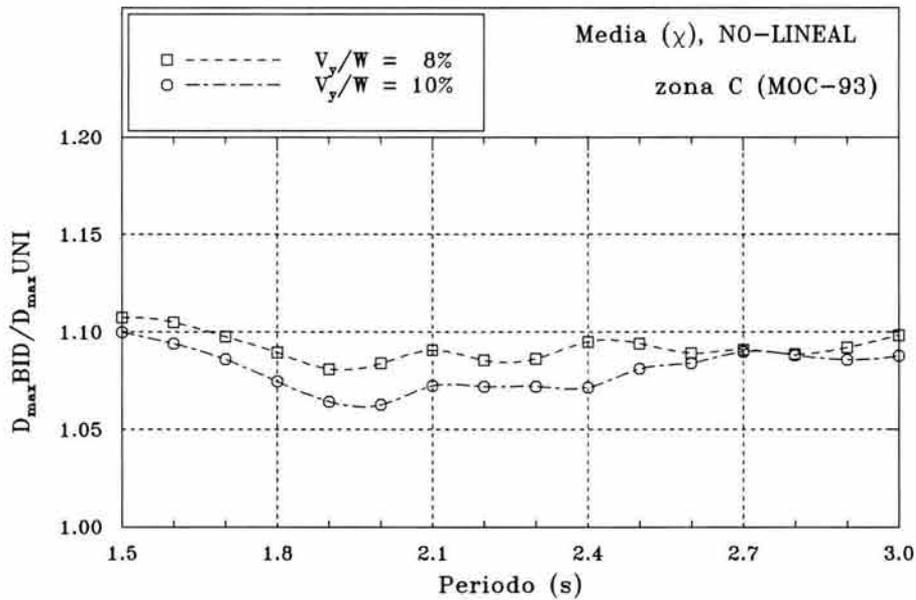


Figura 5.20 Factores de amplificación donde se registra la media para los cortantes de fluencia del 8% y 10% correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante

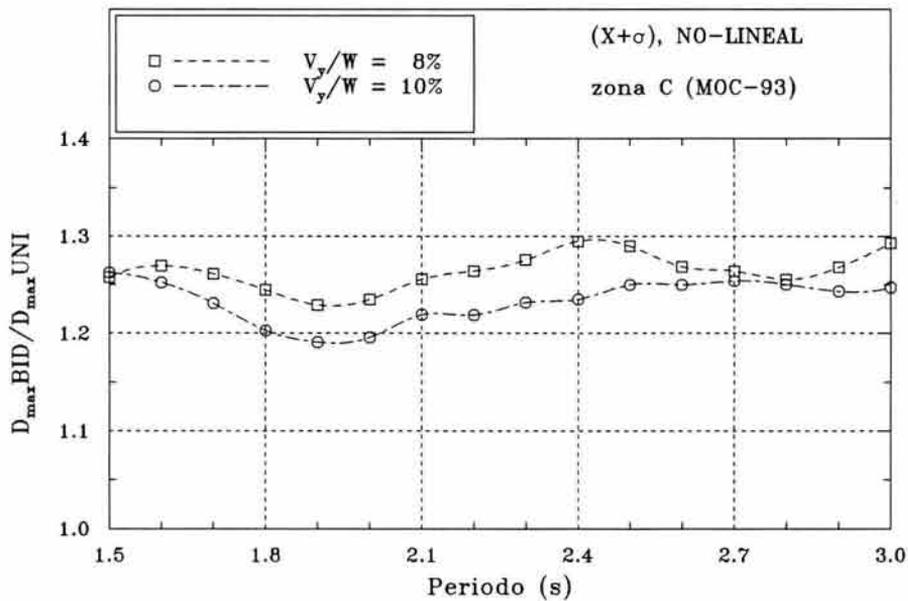


Figura 5.21 Factores de amplificación donde se registra la media más una desviación estándar para los cortantes de fluencia del 8% y 10% correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante

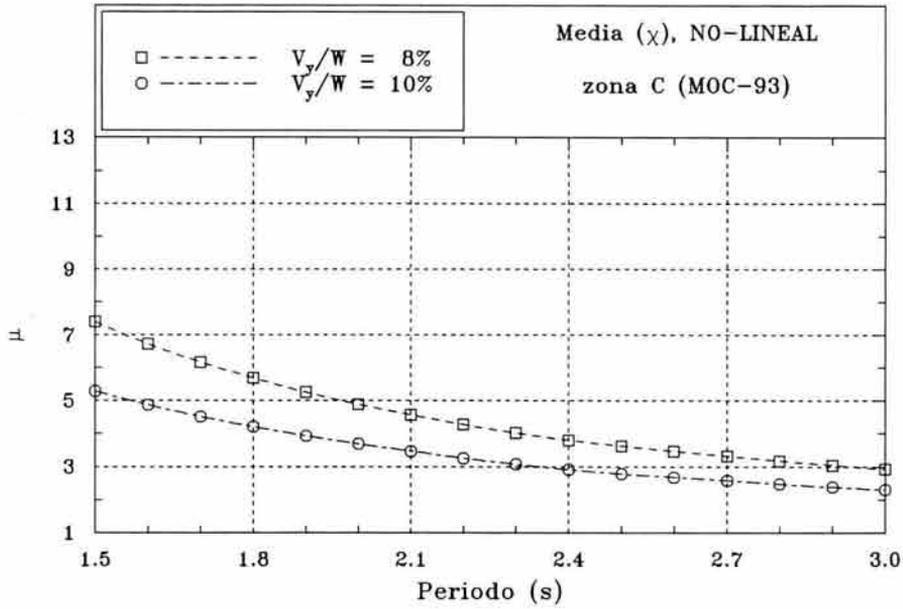


Figura 5.22 Demandas de ductilidad donde se registra la media para los cortantes de fluencia del 8% y 10%, zona B-I a lo largo del intervalo de vibración en base aislada (T_a)

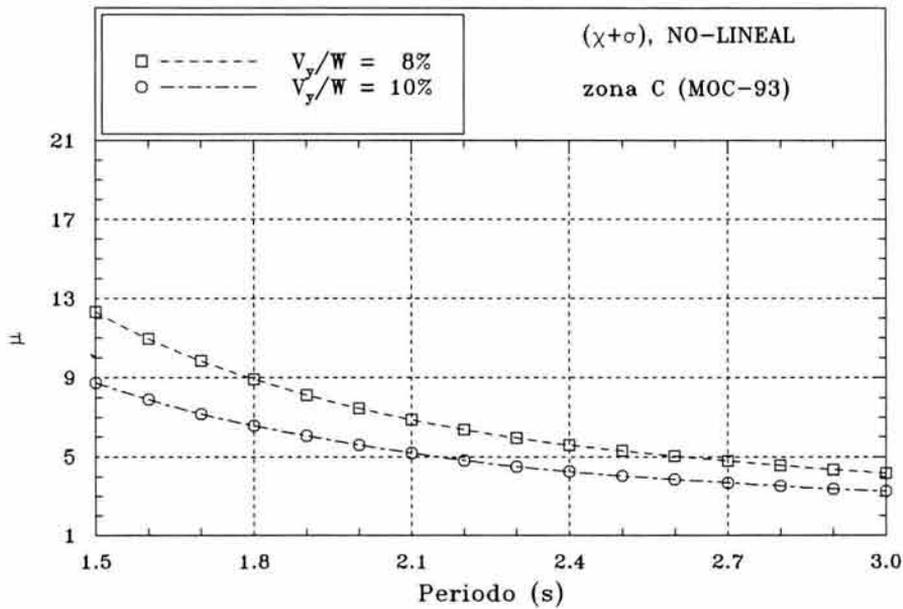


Figura 5.23 Demandas de ductilidad donde se registra la media más una desviación estándar para los cortantes de fluencia del 8% y 10%, zona C-I a lo largo del intervalo de vibración en base aislada (T_a)

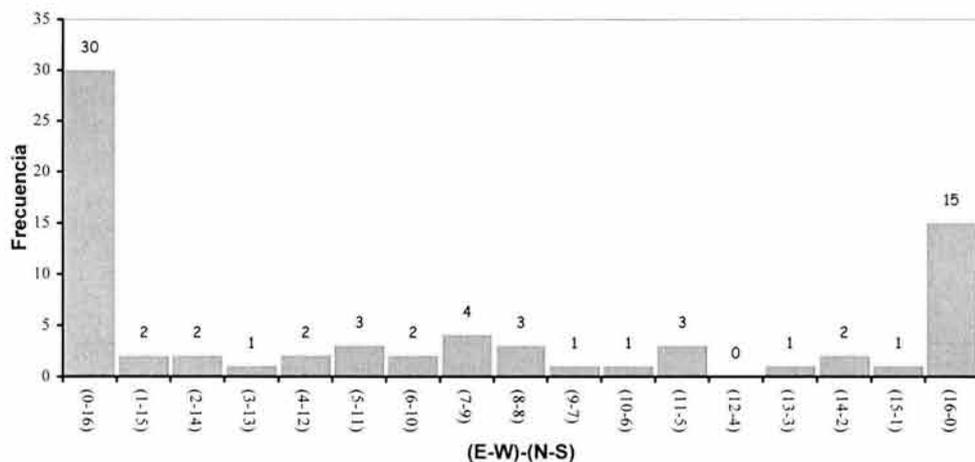


Figura 5.24 Histograma que resume el patrón de periodos dominantes en el intervalo de interés para un cortante de fluencia del 8%, zona D-I

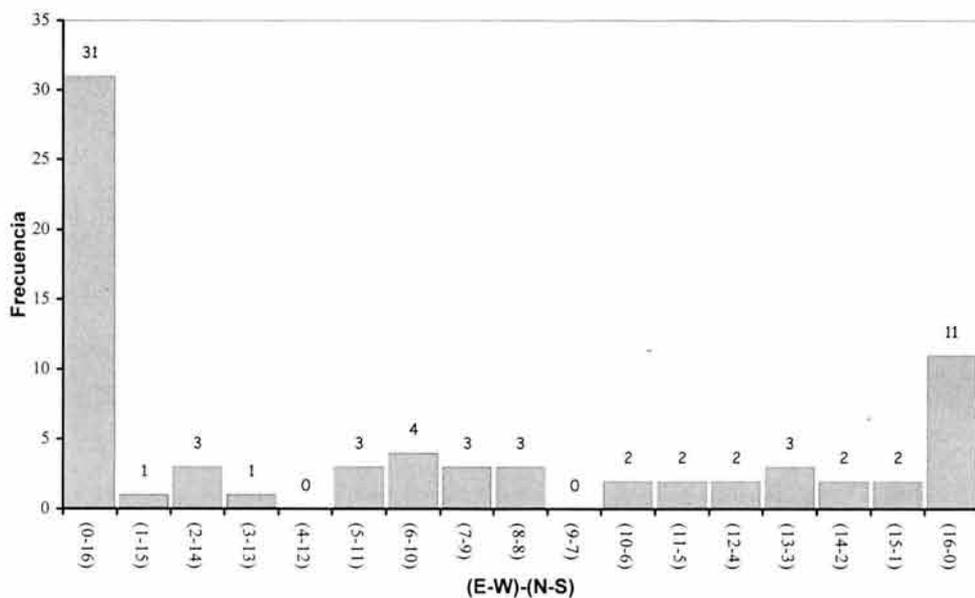


Figura 5.25 Histograma que resume el patrón de periodos dominantes en el intervalo de interés para un cortante de fluencia del 10%, zona D-I

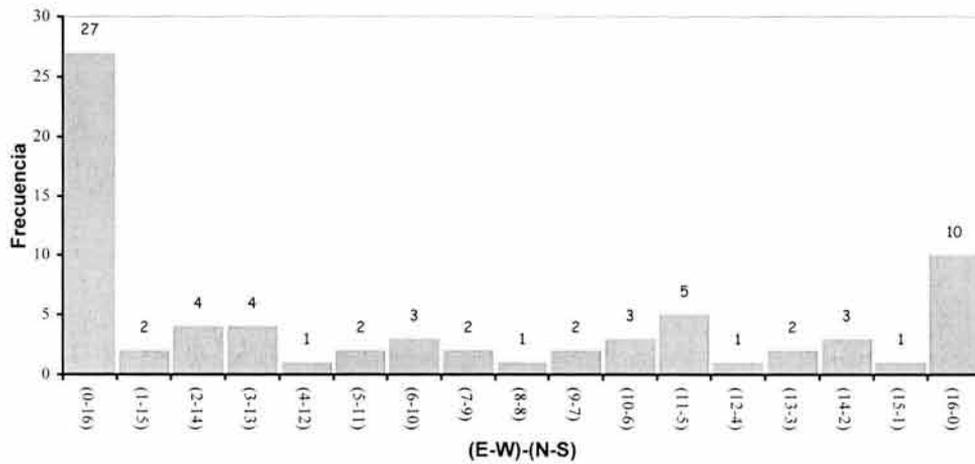


Figura 5.26 Histograma que resume el patrón de periodos dominantes en el intervalo de interés para un cortante de fluencia del 12%, zona D-I

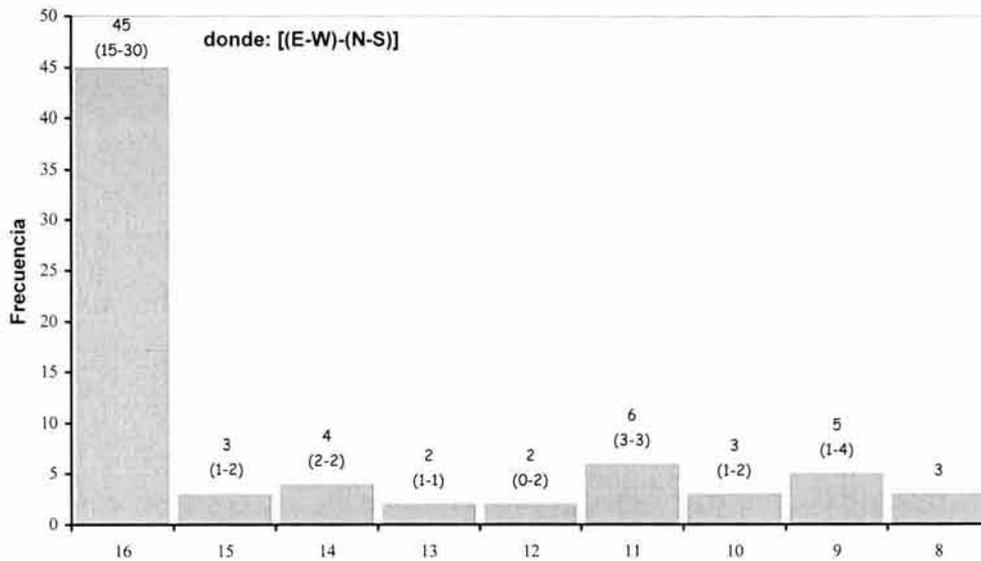


Figura 5.27 Histograma donde se agrupan los casos de estadística donde domina una componente para un cortante de fluencia del 8%, zona D-I

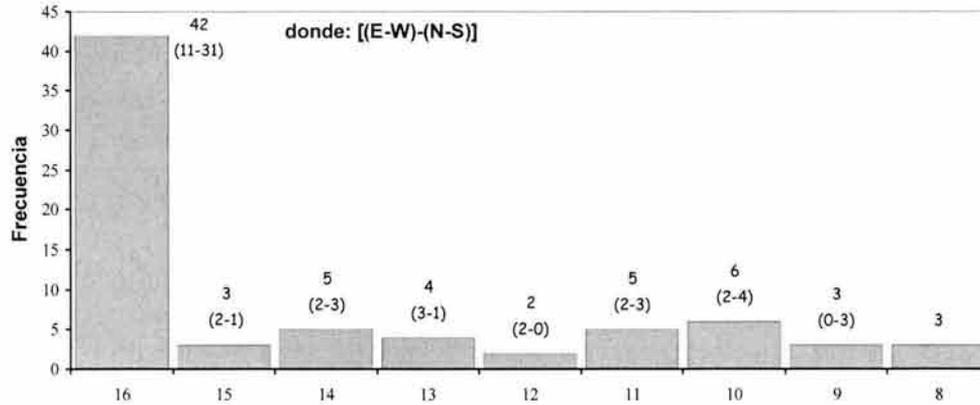


Figura 5.28 Histograma donde se agrupan los casos de estadística donde domina una componente para un cortante de fluencia del 10%, zona D-I

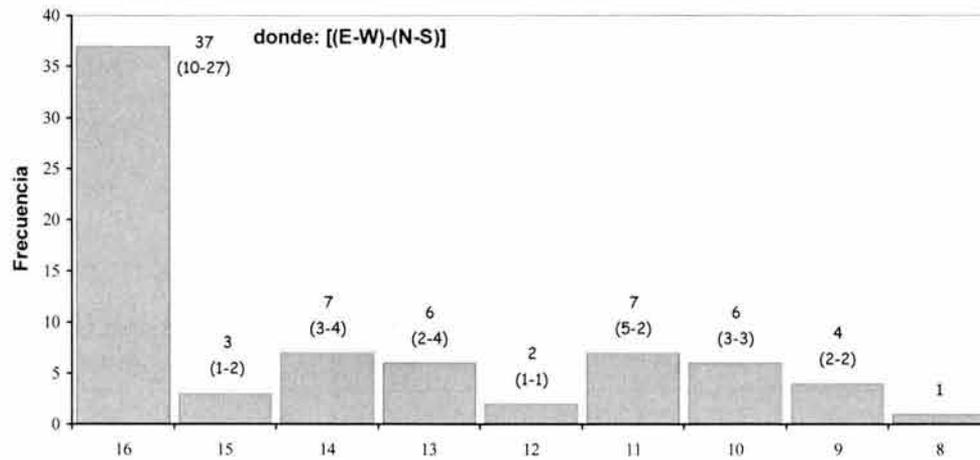


Figura 5.29 Histograma donde se agrupan los casos de estadística donde domina una componente para un cortante de fluencia del 12%, zona D-I

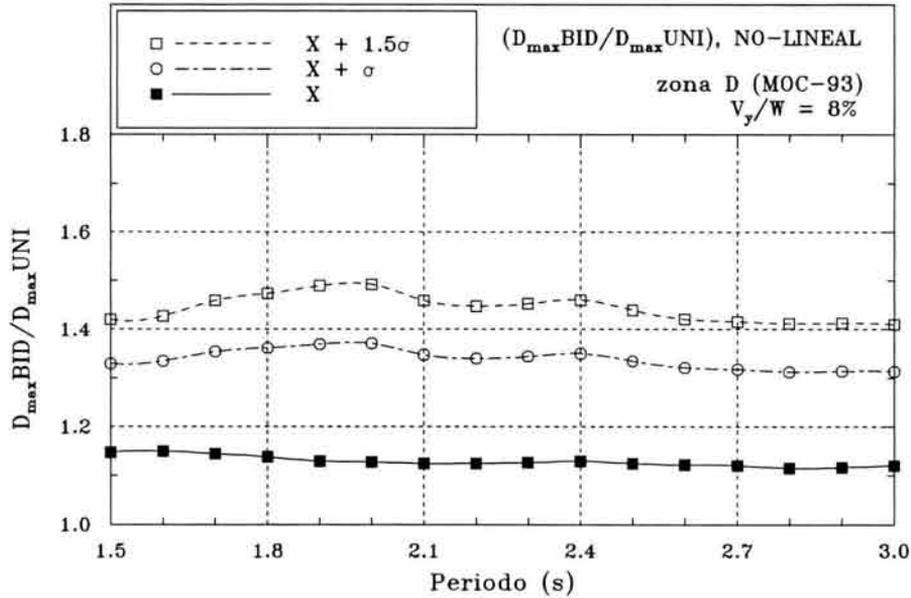


Figura 5.30 Estudio paramétrico donde se registra la variación que experimentan los factores de amplificación máximos de la acción bidireccional entre la componente dominante a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) para un cortante de fluencia del 8%, zona D-I

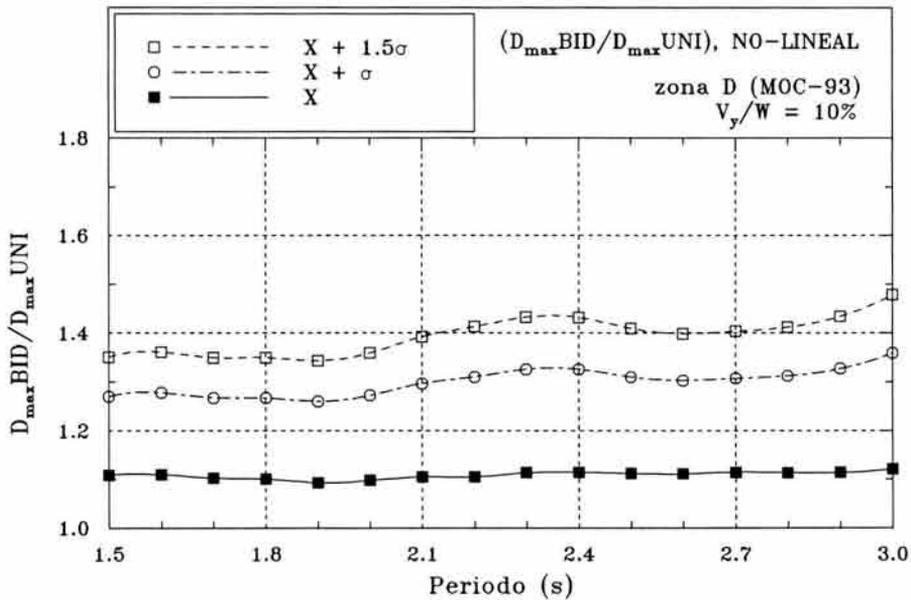


Figura 5.31 Estudio paramétrico donde se registra la variación que experimentan los factores de amplificación máximos de la acción bidireccional entre la componente dominante a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) para un cortante de fluencia del 10%, zona D-I

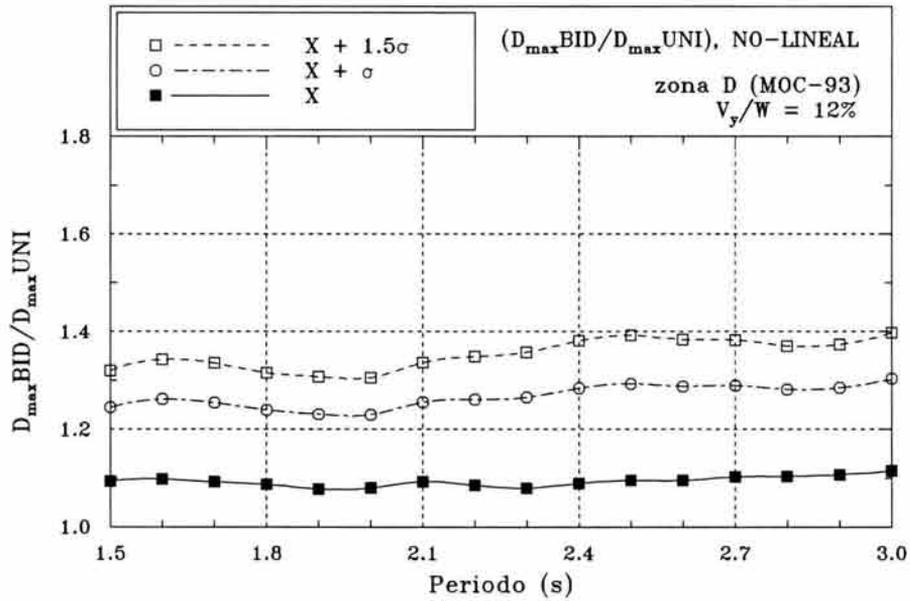


Figura 5.32 Estudio paramétrico donde se registra la variación que experimentan los factores de amplificación máximos de la acción bidireccional entre la componente dominante a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) para un cortante de fluencia del 12%, zona D-I

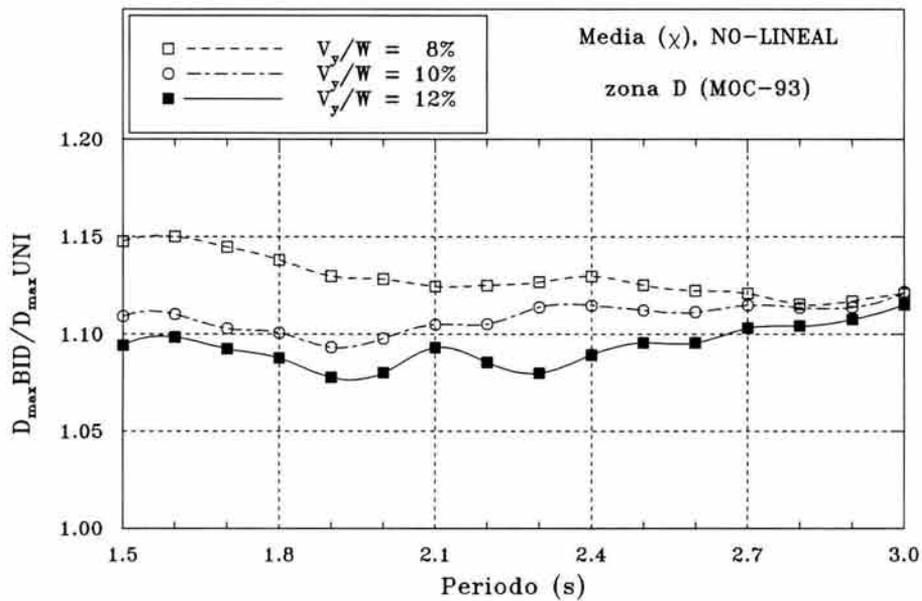


Figura 5.33 Factores de amplificación donde se registra la media para los cortantes de fluencia del 8%, 10% y 12% correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante

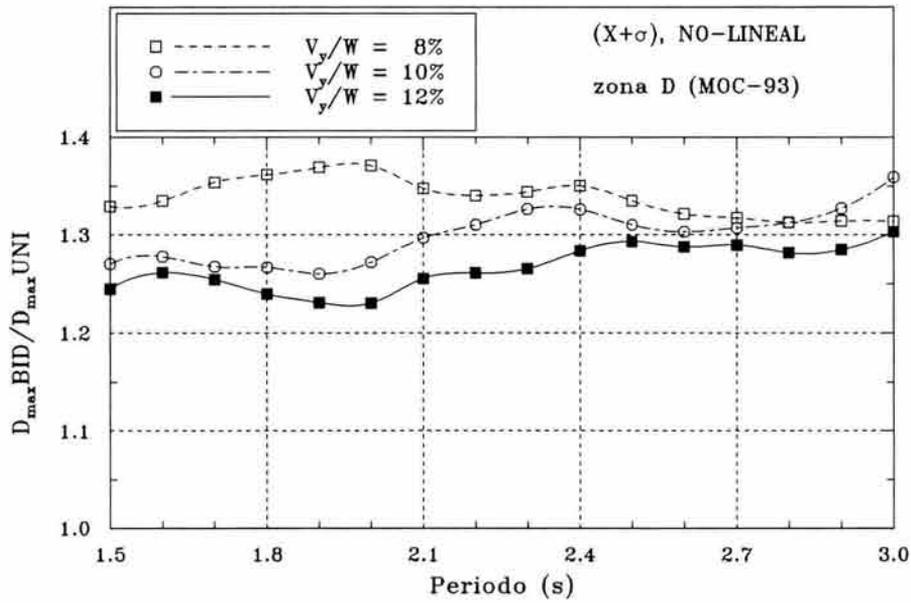


Figura 5.34 Factores de amplificación donde se registra la media más una desviación estándar para los cortantes de fluencia del 8%, 10% y 12% correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante

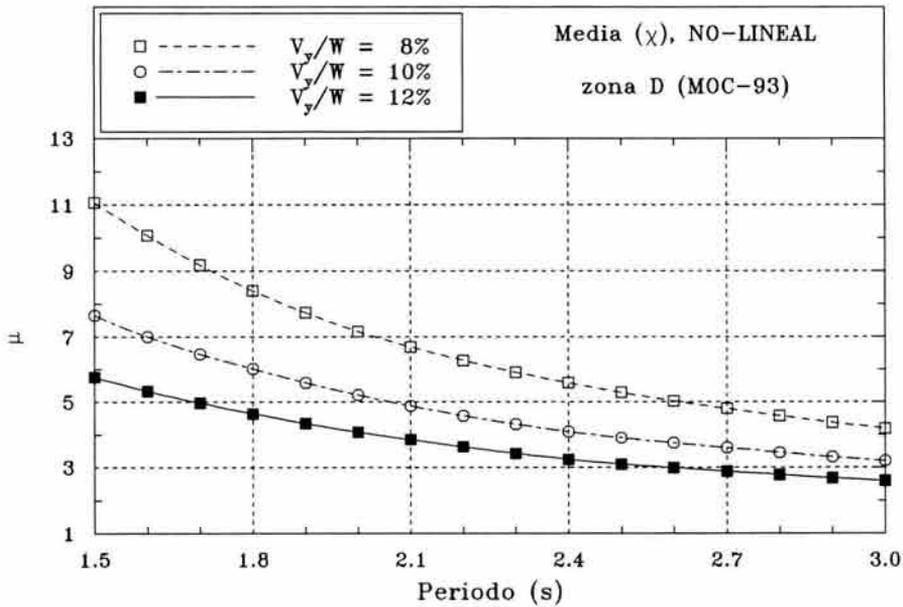


Figura 5.35 Demandas de ductilidad donde se registra la media para los cortantes de fluencia del 8%, 10% y 12%, zona B-I a lo largo del intervalo de vibración en base aislada (T_a)

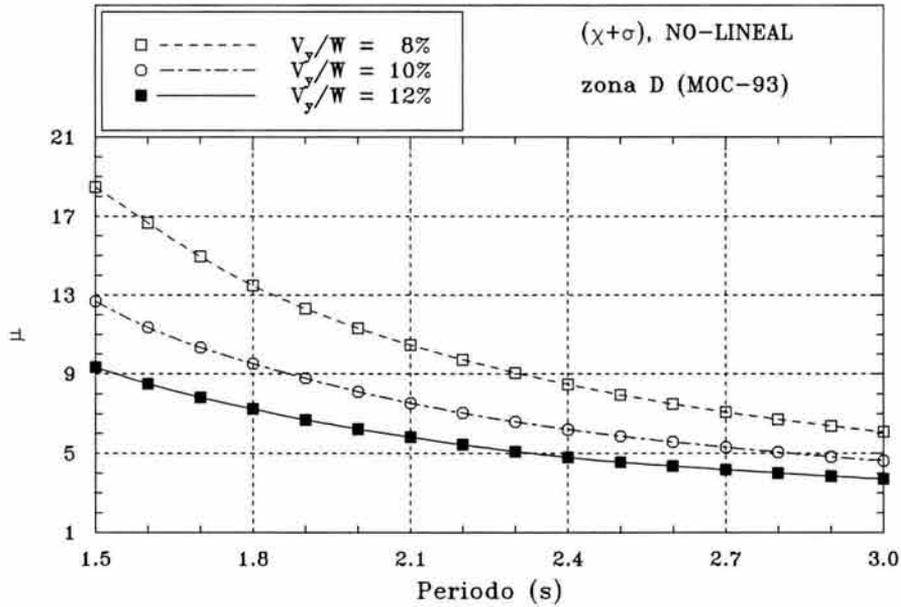


Figura 5.36 Demandas de ductilidad donde se registra la media más una desviación estándar para los cortantes de fluencia del 8%, 10% y 12%, zona D-I a lo largo del intervalo de vibración en base aislada (T_a)

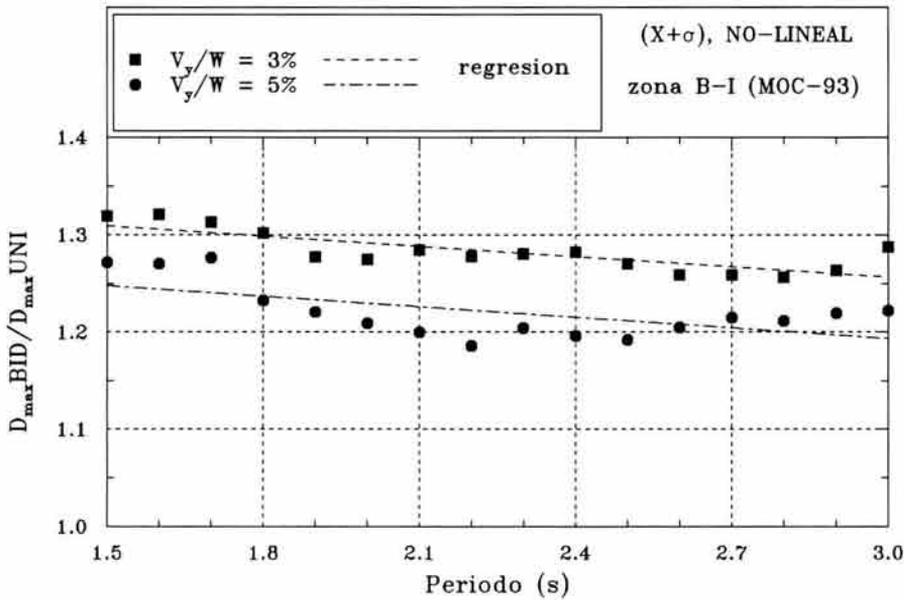


Figura 5.38 Funciones de amplificación propuestas para la $X + \sigma$ y cortantes de fluencia del 3% y 5%, zona B-I (ecuaciones de primer orden)

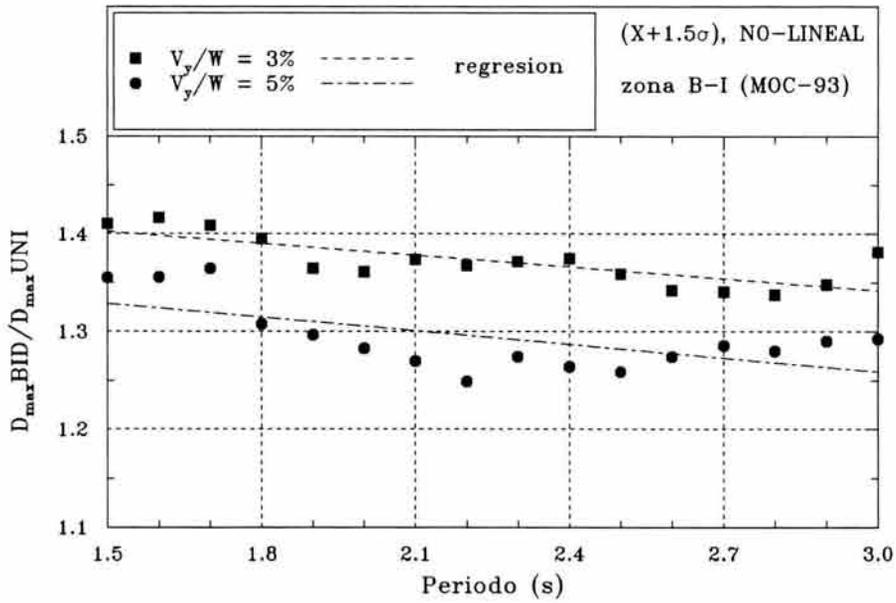


Figura 5.39 Funciones de amplificación propuestas para la X+1.5σ y cortantes de fluencia del 3% y 5%, zona B-I (ecuaciones de primer orden)

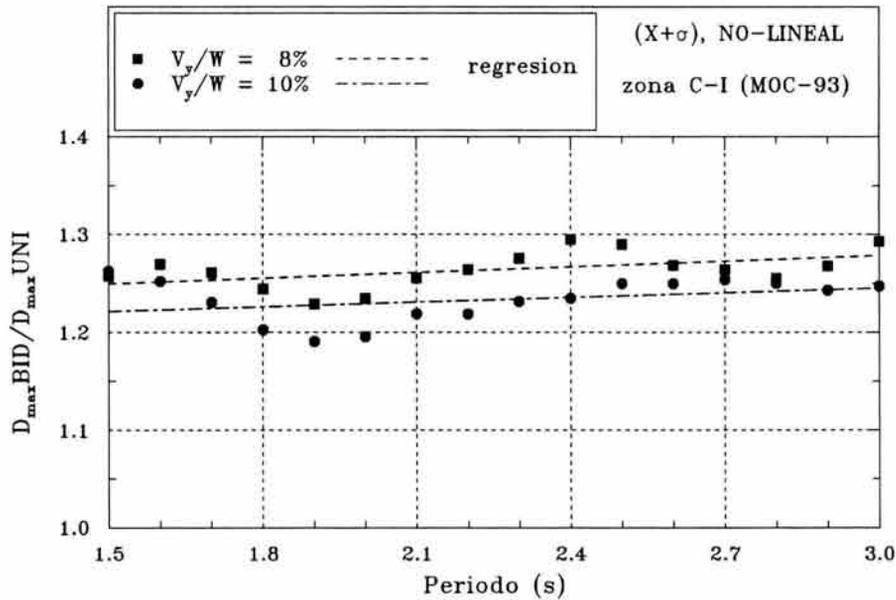


Figura 5.40 Funciones de amplificación propuestas para la X+σ y cortantes de fluencia del 8% y 10%, zona C-I (ecuaciones de primer orden)

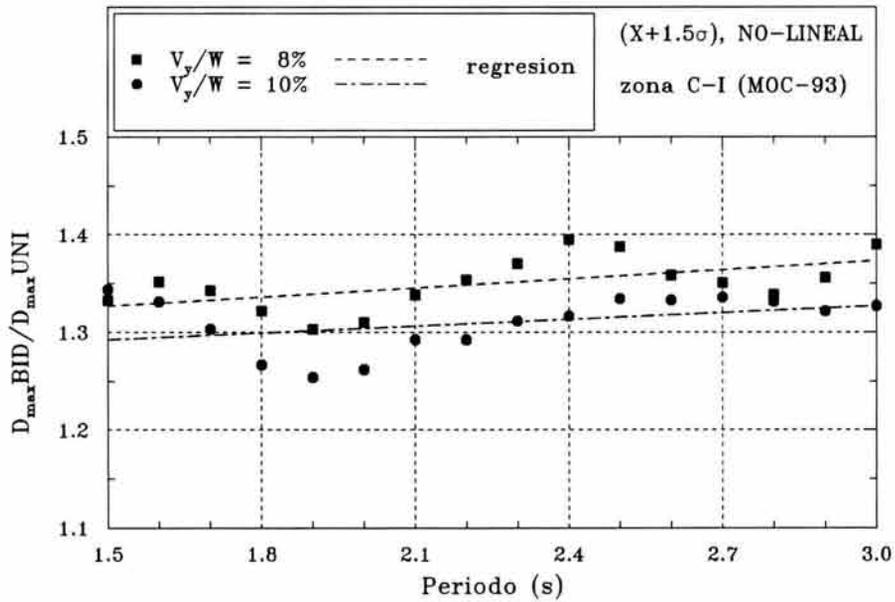


Figura 5.41 Funciones de amplificación propuestas para la X+1.5 σ y cortantes de fluencia del 8% y 10%, zona C-I (ecuaciones de primer orden)

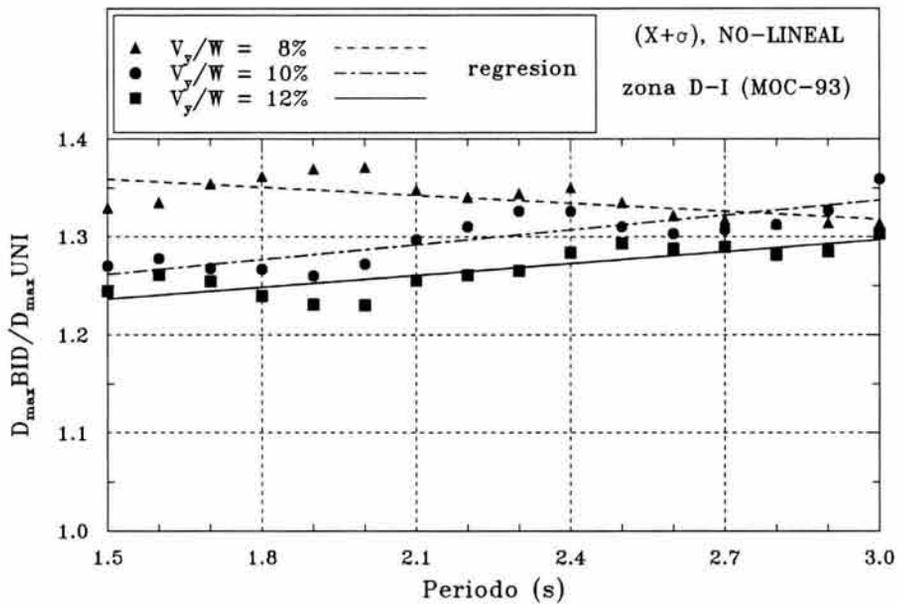


Figura 5.42 Funciones de amplificación propuestas para la X+ σ y cortantes de fluencia del 8%, 10% y 12%, zona D-I (ecuaciones de primer orden)

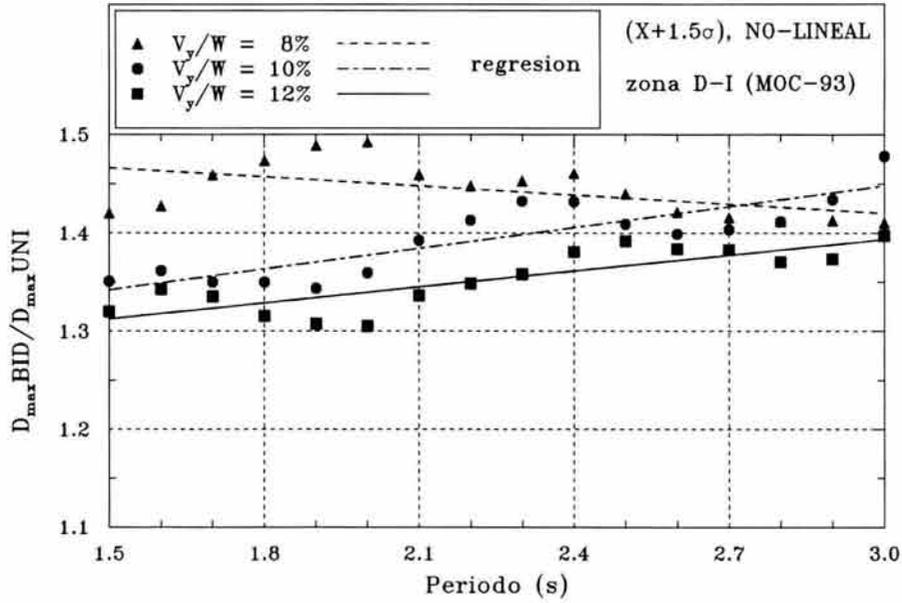


Figura 5.43 Funciones de amplificación propuestas para la $X+1.5\sigma$ y cortantes de fluencia del 8%, 10% y 12%, zona D-I (ecuaciones de primer orden)

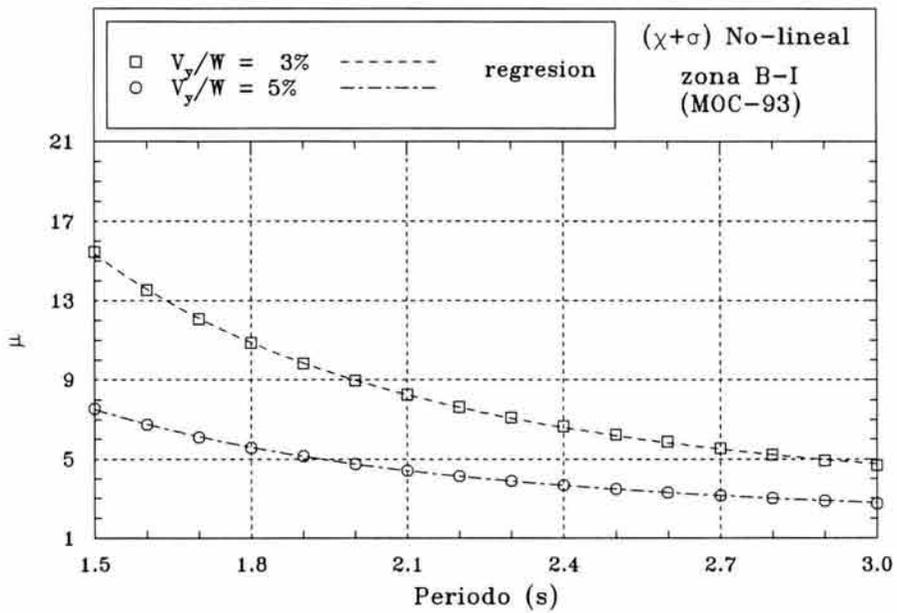


Figura 5.44 Funciones de amplificación propuestas de demandas de ductilidad para la $X+\sigma$ y cortantes de fluencia del 3% y 5%, zona B-I (ecuaciones exponenciales)

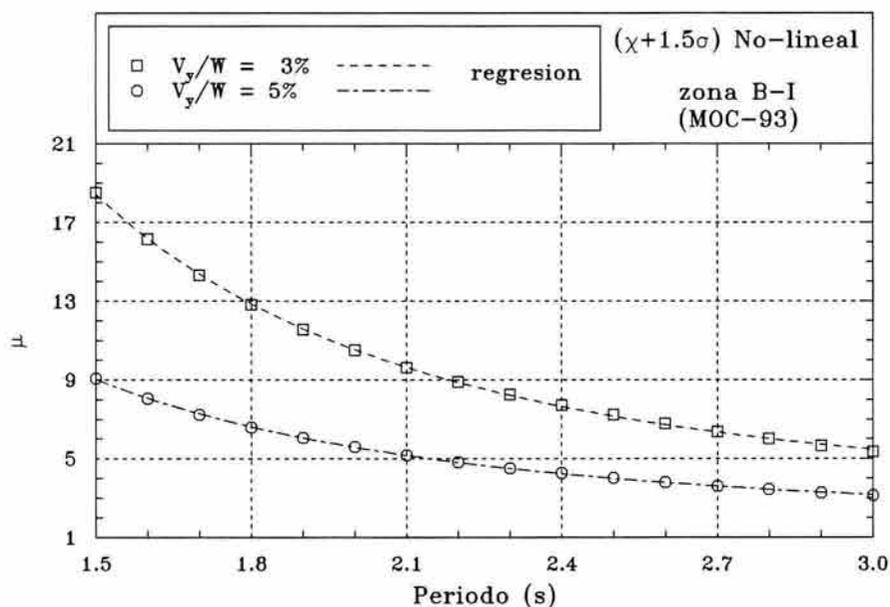


Figura 5.45 Funciones de amplificación propuestas de demandas de ductilidad para la $X+1.5\sigma$ y cortantes de fluencia del 3% y 5%, zona B-I (ecuaciones exponenciales)

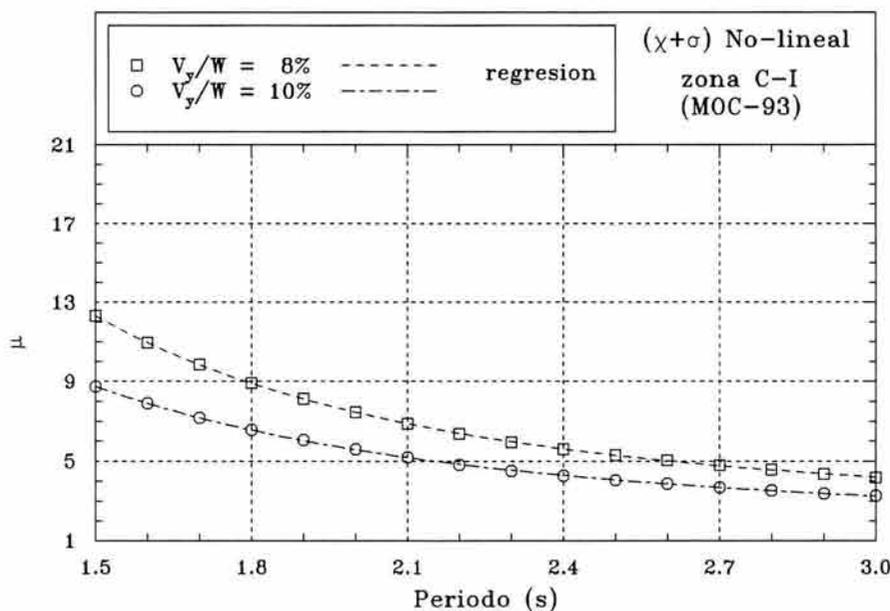


Figura 5.46 Funciones de amplificación propuestas de demandas de ductilidad para la $X+\sigma$ y cortantes de fluencia del 8% y 10%, zona C-I (ecuaciones exponenciales)

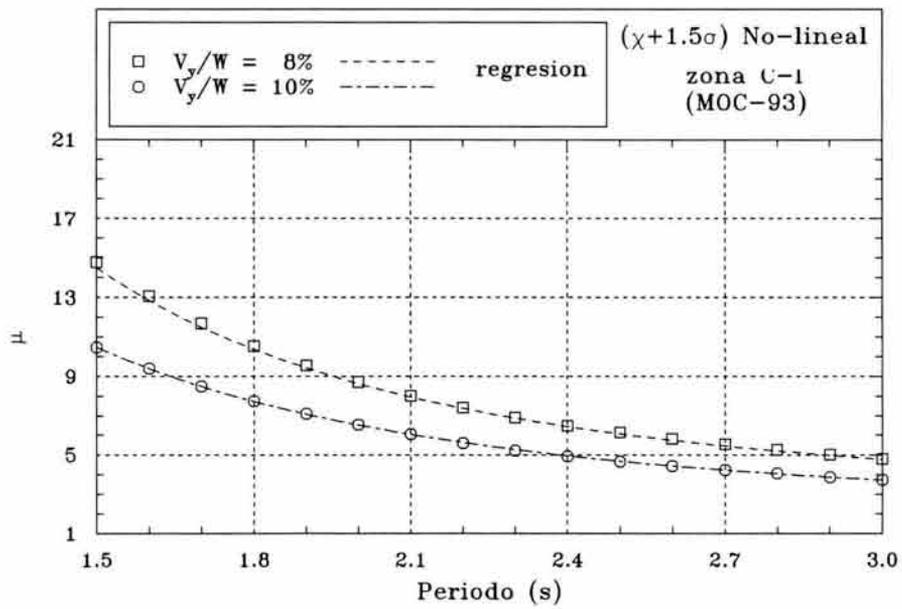


Figura 5.47 Funciones de amplificación propuestas de demandas de ductilidad para la $X+1.5\sigma$ y cortantes de fluencia del 8% y 10%, zona C-I (ecuaciones exponenciales)

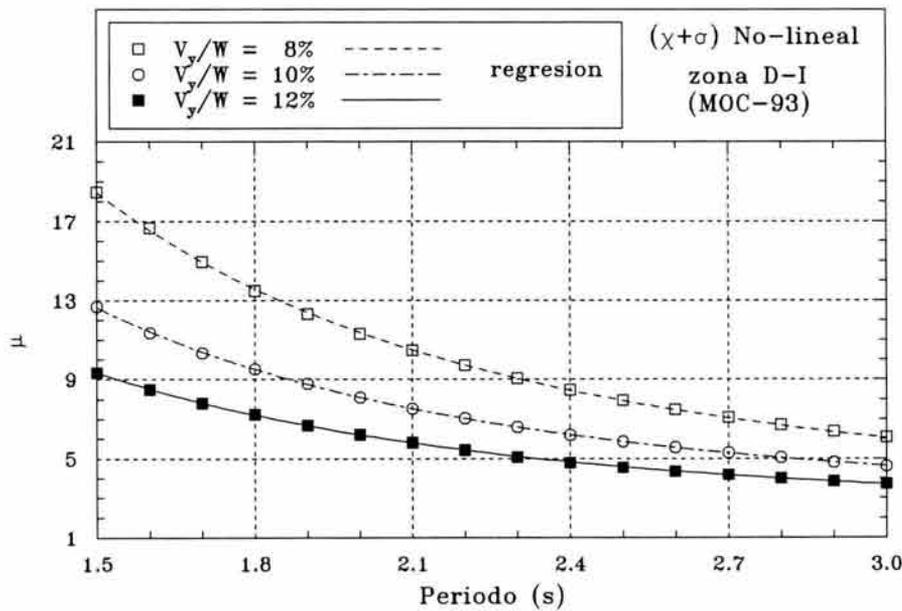


Figura 5.48 Funciones de amplificación propuestas de demandas de ductilidad para la $X+\sigma$ y cortantes de fluencia del 8%, 10% y 12%, zona D-I (ecuaciones exponenciales)

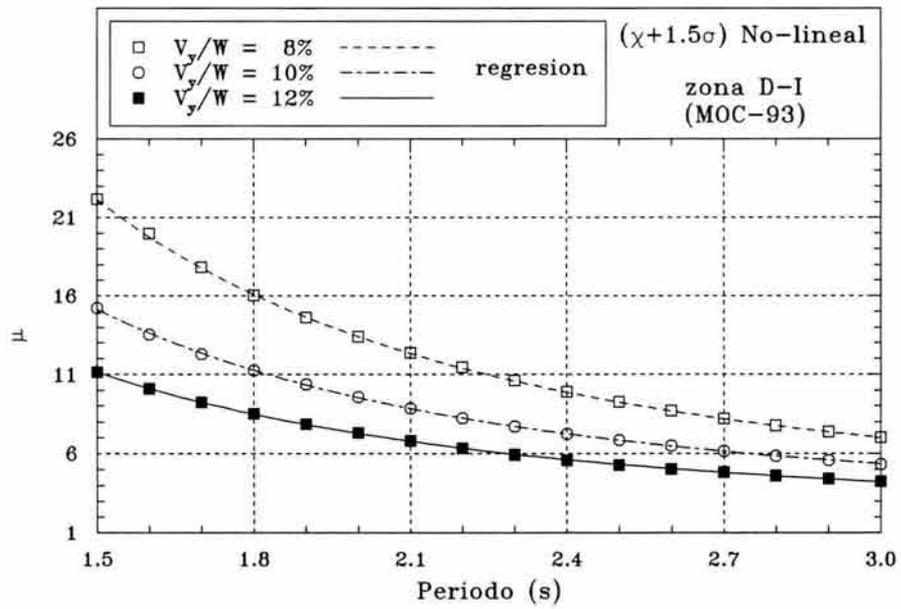


Figura 5.49 Funciones de amplificación propuestas de demandas de ductilidad para la $X+1.5\sigma$ y cortantes de fluencia del 8%, 10% y 12%, zona D-I (ecuaciones exponenciales)



Comparación de los efectos de amplificación por efectos bidireccionales

6.1 Introducción

En el diseño de cualquier estructura tridimensional (aislada sísmicamente o no) es muy importante tomar en cuenta la acción bidireccional de los movimientos del terreno. Ha sido costumbre de muchos reglamentos de diseño sísmico, entre ellos los reglamentos mexicanos, tomar en cuenta los efectos de ambas componentes horizontales del movimiento del terreno combinado, en cada dirección en que se analice la estructura, el 100 por ciento de los efectos del componente que obra en esa dirección y el 30 por ciento de los efectos del que obra perpendicularmente a ella, con los signos que resulten más desfavorables para cada concepto. Esta regla se basa en estudios que toman en cuenta las aceleraciones registradas y, como es obvio, la combinación es independiente del periodo fundamental de la estructura en cuestión. La extensión de esta regla al diseño por desplazamiento no está justificada en ningún estudio, sino más bien por costumbre (Tena, 2001).

A continuación se describe en este estudio la comparación de los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis lineal y los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis no lineal con la regla del 100%+30%, donde la interrogante es si realmente esta regla para combinar efectos bidireccionales es aplicable también al diseño por desplazamientos, si es independiente del periodo de la estructura y de las características de los movimientos del terreno y, si es segura.

6.2 Comparaciones con la regla del 100%+30%.

6.2.1 Caso lineal

En la figura 6.1 se presentan los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max} \text{BID}$) y la componente dominante ($D_{\max} \text{UNI}$) correspondientes a la media más una desviación estándar (línea discontinua) y la media más vez y media la desviación estándar (línea con punto y raya) del análisis lineal, y la recta que define la regla del 100%+30% (línea continua). Observando la figura 6.1 es clara la variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodos de vibración seleccionado (T_a), por lo que es claro también que el factor de amplificación depende del periodo, como se mencionó en el capítulo 4. Además, se puede concluir, entre otras cosas, que los factores de escalamiento del análisis lineal supera notablemente la recta de la regla del 100%+30%, por lo que para un sistema de aislamiento lineal no es seguro diseñar conforme a la regla del 100%+30%.

En la figura 6.2 se presentan las ecuaciones de primer orden que definen la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$), la media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$) y la recta que define la regla del 100%+30% en el intervalo de periodos de interés. Se observa en la figura 6.2, en la curva correspondiente a $X+\sigma$ que se pueden presentar amplificaciones que superan la regla del 100%+30% del orden del 12.5%, y esta curva es la que regularmente está asociada a criterios convencionales de diseño. Debido a la incertidumbre que algunos diseñadores de la práctica sienten por aplicar los mismos criterios de diseño usados para materiales convencionales para sistemas de aislamiento, se consideró para tal motivo valorar curvas para $X+1.5\sigma$, que es un criterio más conservador. La recta resultante supera la regla del 100%+30% en un 25%, por lo que valdrá la pena considerar que, para fines de diseño, se utilicen los factores de amplificación correspondientes a este criterio más conservador. Por supuesto, deberá evaluarse el impacto económico que tendría el seleccionar este criterio más conservador al que normalmente se utiliza para otros elementos estructurales.

6.2.2 Caso no-lineal

Para el caso de la zona B-I, en la figura 6.3 se presenta la media y la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) de los factores de amplificación correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante ($D_{\max} \text{ BID} / D_{\max} \text{ UNI}$) para los cortantes de fluencia del 3% (línea discontinua), del 5% (línea con punto y raya) y, con línea continua la recta que define la regla del 100%+30%. En la figura 6.3 se observa la variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodos de vibración seleccionado (T_d), por lo que es claro, como se mencionó en el capítulo 5, que el factor de amplificación depende del periodo. Además, se aprecia que en el intervalo de periodos de 1.5 a 1.8 segundos, para el cortante de fluencia del 3% la amplificación es ligeramente mayor que la recta que define la regla del 100%+30%. En general, en la curva correspondiente a $X+\sigma$ para ambos cortantes de fluencia se pueden presentar amplificaciones menores a lo que define la regla del 100% y 30%, por lo que para un sistema de aislamiento bilineal con estos cortantes de fluencia, parece seguro diseñar conforme a la regla del 100%+30%.

En la figura 6.4 se presentan las ecuaciones de primer orden que definen la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) para los cortantes de fluencia del 3% y 5% y la recta que define la regla del 100%+30% en el intervalo de periodos de interés. Se observa en la figura 6.4, para el periodo de 1.8 segundos la recta para el cortante de fluencia del 3% coincide el valor del factor de amplificación que define la regla del 100%+30%, además que para ambas cortantes de fluencia sus pendientes en sus rectas se consideran paralelas y con pendiente negativa en todo el intervalo de periodos de interés con una diferencia en sus factores de amplificación del 6%.

Para el caso de la zona C-I, en la figura 6.5 se presenta la media y la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 8% y 10% correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante ($D_{\max} \text{ BID} / D_{\max} \text{ UNI}$). De esta figura se observa para el cortante de fluencia del 8% para el periodo de 2.4s. el factor de amplificación es similar al a lo que define la regla del 100%+30%, además que ambos cortantes de fluencia en sus factores de amplificación dependen del periodo. En general, en la curva correspondiente a $X+\sigma$ para ambos cortantes de fluencia se presentan amplificaciones menores a lo

que define la regla del 100%+30%, por lo que para un sistema de aislamiento bilineal con estos cortantes de fluencia parece seguro diseñar conforme a la regla del 100%+30%.

En la figura 6.6 se presenta las ecuaciones de primer orden que define la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) para los cortantes de fluencia del 8% y 10% y la recta que define la regla del 100%+30% en el intervalo de periodos de interés. Se puede observar en la figura 6.6, caso contrario como se presentó para la zona B-I, las rectas para ambos cortantes de fluencia se acercan más a los valores de los factores de amplificación que define la regla del 100%+30%, mientras mayor sean los periodos en el intervalo de periodos de interés, además que para ambas cortantes de fluencia sus pendientes en sus rectas se pueden considerar paralelas en todo el intervalo de periodos de interés con una diferencia en sus factores de amplificación del 2%.

Para el caso de la zona D-I, en la figura 6.7 se presenta la media y la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 8%, 10% y 12% correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante ($D_{\max \text{ BID}}/D_{\max \text{ UNI}}$). De esta figura se observa que dichos factores presentan cierta similitud en sus curvas en el intervalo de periodos de interés, aunque con diferencias en algún intervalo entre las curvas de 12% con las demás. De hecho, existe menor similitud en las curvas si se comparan éstas con las obtenidas para las zonas B-I y C-I. Sin embargo, se puede decir que en el intervalo de periodos de 2.1s. a 3.0s., estas curvas tienden a comportarse de la misma manera para todas las resistencias consideradas y semejarse a la recta de la regla del 100%+30%.

De la figura 6.7 se concluye, entre otras cosas, que los factores de escalamiento para el cortante de fluencia del 8% del análisis no-lineal superan la recta de la regla del 100%+30% dentro del intervalo de periodos de 1.5s a 2.7s y para un cortante de fluencia del 10% supera la recta de la regla del 100%+30% en el intervalo 2.2s a 2.6s. y de 2.7s. a 3.0s., por lo que para un sistema de aislamiento bilineal en la zona D-I no es conservador diseñar conforme a la regla del 100%+30%.

En la figura 6.8 se presentan las ecuaciones de primer orden que definen la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) para los cortantes de fluencia del 8%, 10%, 12% y la recta que define la regla del 100%+30% en el intervalo de periodos de interés. Se puede observar en la figura 6.8 lo siguiente:

- 1) mientras mayor sea el periodo en el intervalo de periodos de interés de las rectas que definen los cortantes de fluencia del 10% y 12% se acercan más a los valores de los factores de amplificación que define la regla del 100%+30%.
- 2) la recta para el cortante de fluencia del 8% presenta una pendiente negativa sobreestimando la recta que define la regla del 100%+30% mientras el periodo sea más corto en el intervalo de periodos de interés.
- 3) para el cortante de fluencia del 10% se superan los factores de amplificación que define la recta de la regla del 100%+30% en el intervalo de periodos de 2.3s. a 3.0s.
- 4) para un cortante de fluencia del 12% los factores de amplificación tienden a valores similares a los que define la regla del 100%+30% mientras mayor sea el periodo en el intervalo de periodos de interés.

6.3 Comparaciones entre comportamiento elástico lineal e inelástico bilineal

A continuación se describe la comparación de los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis lineal con los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis no-lineal.

En la figura 6.9 se presenta la media y la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 3% (línea discontinua), 5% (línea con punto y raya), los factores de amplificación entre acción bidireccional (D_{\max} BID) y la componente dominante (D_{\max} UNI) correspondientes a la media más una desviación estándar del análisis lineal empleando la base de datos de los 154 registros seleccionados (línea continua) y la media más una desviación estándar del análisis lineal empleando la base de datos de los 137 registros (sin escalas) seleccionados para la zona B-I (línea con puntos y raya). De lo observado en la figura 6.9 se presenta la variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodos de vibración seleccionado (T_a) y la similitud que existe entre la variación de las curvas del análisis lineal tomando los 154 registros y los 137 registros de la base empleada para la zona B-I, donde se observa que existe poca dispersión y que en las curvas se ilustra que, en este caso, no se modifican de manera apreciable los factores de amplificación si se tomara la base completa (línea continua). Además, se puede concluir, entre otras cosas, que los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 3% y 5%, son siempre inferiores a los correspondientes a los factores de amplificación del análisis lineal.

En la figura 6.10 se presentan las ecuaciones de primer orden que define la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$), de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia (3% y 5%) y la ecuación obtenida para el análisis lineal tomando la base de datos de los 154 registros seleccionados en el intervalo de periodos de interés. Se observa en la figura 6.10 que los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 3% y 5%, son inferiores a los obtenidos de los factores de amplificación del análisis lineal. Además, se observa en el intervalo de periodos de interés que mientras menor sea el periodo, las rectas que definen los cortantes de fluencia del 3% y 5% se acercan más a los valores de los factores de amplificación que define la recta para el caso lineal.

De manera análoga, se observa en la figura 6.11 la similitud que existe entre la variación de las curvas del análisis lineal tomando los 154 registros y los 90 registros de la base empleada para la zona C-I (línea con puntos y raya), donde se observa que existe una mayor dispersión que la presentada para la zona B-I, como consecuencia lógica de promediar un menor número de simulaciones, y que en las curvas se ilustra una mayor variación de éstas en los factores de amplificación que si se tomara la base completa (línea continua). Además, se concluye, entre otras cosas, que los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 8% y 10%, siguen siendo inferiores a los correspondientes a los factores de amplificación del comportamiento lineal de los aisladores. Cabe señalar que a diferencia de la zona B-I, en la figura 6.12 se observa, en el intervalo de periodos de interés, que mientras mayor sea el periodo, las rectas que definen los cortantes de fluencia del 8% y 10% se acercan más a los valores de los factores de amplificación que define la recta para el comportamiento lineal.

En la figura 6.13 se presenta el estudio para la zona D-I, donde se comparan las ecuaciones de primer orden que definen la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$), de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 8% (línea discontinua), 10% (línea con punto y raya), y 12% (línea con rayas) y los factores de amplificación correspondientes al análisis lineal empleando la base de datos de los 154 registros seleccionados (línea continua) y el análisis lineal empleando la base de datos de los 73 registros (sin escalas) seleccionados para la zona D-I (línea con puntos y raya), donde se observa que existe una mayor dispersión en este estudio que en los presentados para el análisis de la zona C-I y B-I respectivamente, consecuencia lógica de contar con un menor número de datos. Además, se concluye, entre otras cosas, que los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 8% 10% y 12%, difieren menos de los obtenidos para el caso lineal que los calculados para las zonas C-I y B-I. Esto puede ser consecuencia de utilizar una base más reducida, pues se observa claramente que la curva elástica

asociada a 73 registros normalmente obtiene mayores amplificaciones que cuando se consideran los 154 registros y, por ende, esto también se debe reflejar en la estadística del caso no lineal.

En la figura 6.14 se presentan las ecuaciones de primer orden que definen la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$), de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia (8%, 10% y 12%) y la ecuación obtenida para el análisis lineal tomado la base de datos de los 154 registros seleccionados en el intervalo de periodos de interés. Se observa para el cortante de fluencia del 8%, en el intervalo de periodos de interés, que mientras menor sea el periodo, la recta que define los cortantes de fluencia se acerca más a los valores de los factores de amplificación que define la recta para el comportamiento lineal. En contraste, para los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 10% y 12%, se observa en el intervalo de periodos de interés que, mientras mayor es el periodo, los cortantes de fluencia se acercan más a los valores de los factores de amplificación que define la recta para el caso lineal.

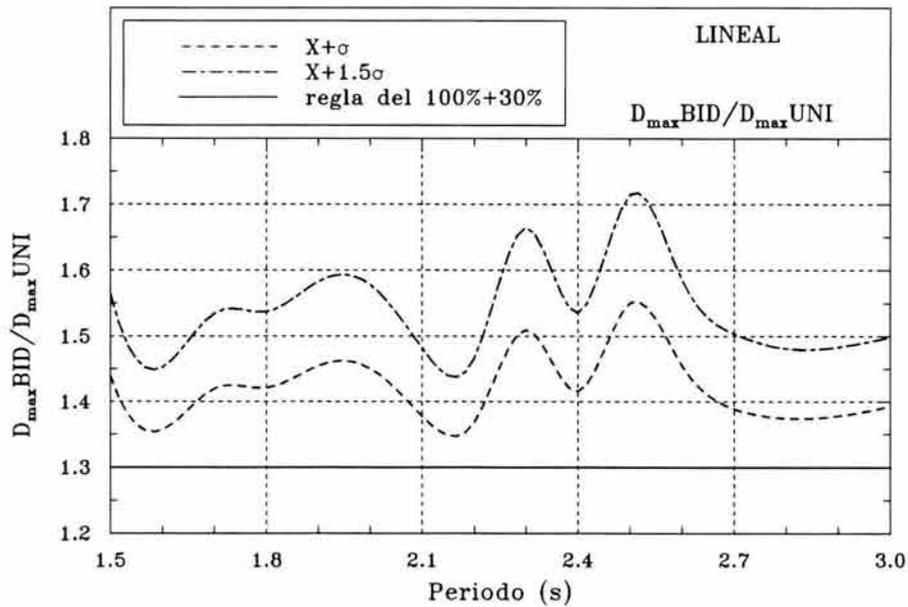


Figura 6.1 Variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) correspondiente entre acción bidireccional y la componente dominante para la $X+\sigma$, $X+1.5\sigma$, y la recta que define la regla del 100%+30%

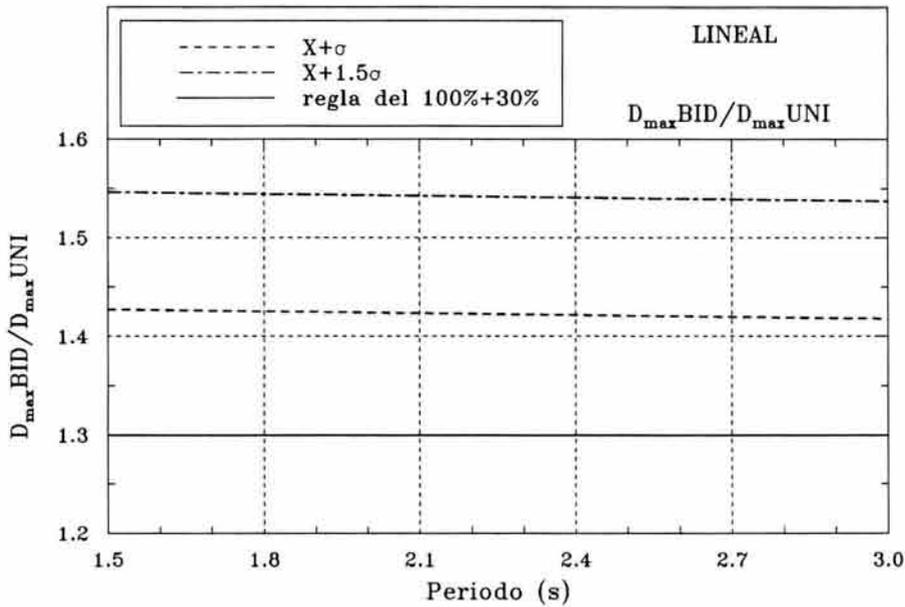


Figura 6.2 Ecuaciones de primer orden que definen la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar, la media más una y media la desviación estándar y la recta que define la regla del 100%+30% en el intervalo de periodos de interés

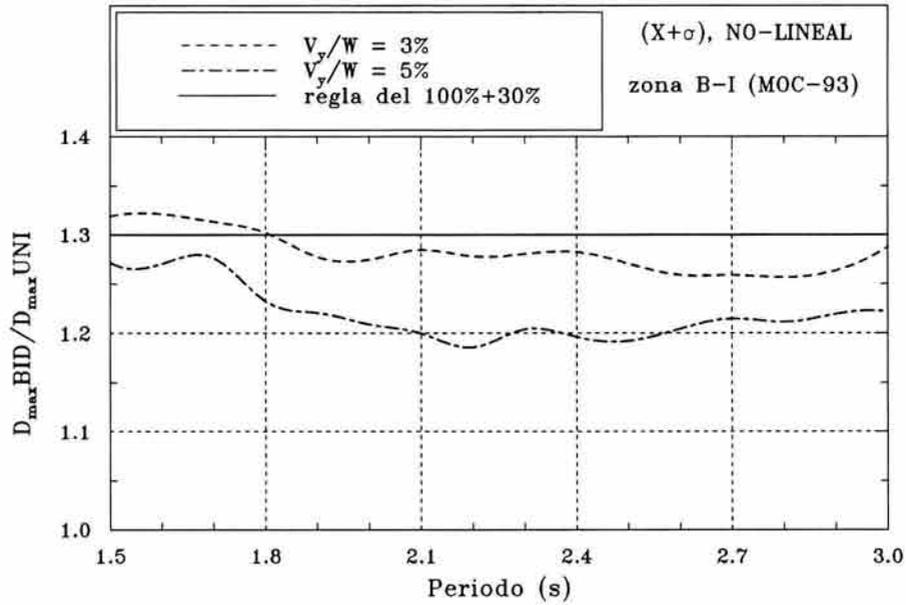


Figura 6.3 Variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) para la media y la media más una desviación estándar correspondientes entre la acción bidireccional y la componente dominante para los cortantes de fluencia del 3%, 5% y la recta que define la regla del 100%+30%

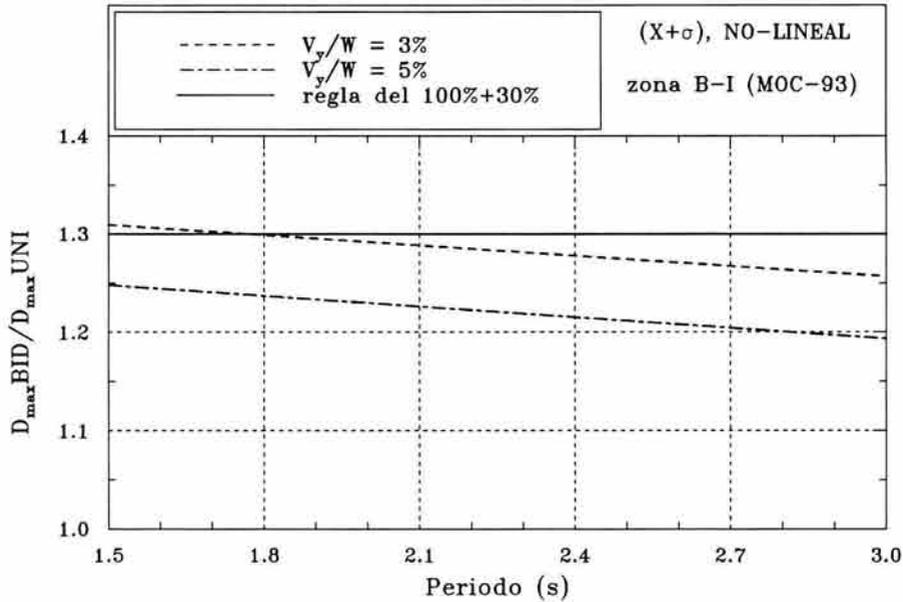


Figura 6.4 Ecuaciones de primer orden que definen la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar, media la desviación estándar para los cortantes de fluencia del 3%, 5% y la regla que define la regla del 100%+30% en el intervalo de periodos de interés

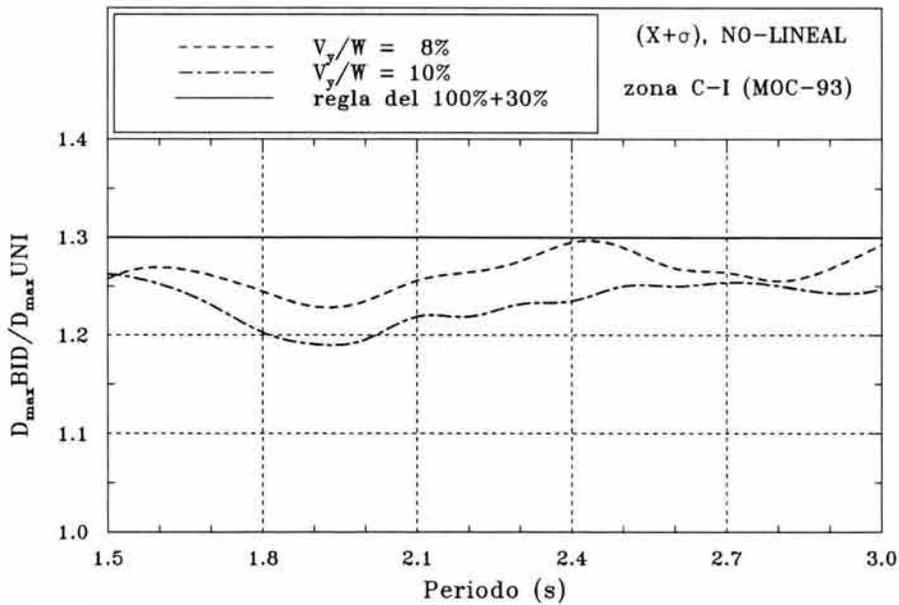


Figura 6.5 Variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) para la media y la media más una desviación estándar correspondientes entre la acción bidireccional y la componente dominante para los cortantes de fluencia del 8%, 10% y la recta que define la regla del 100%+30%

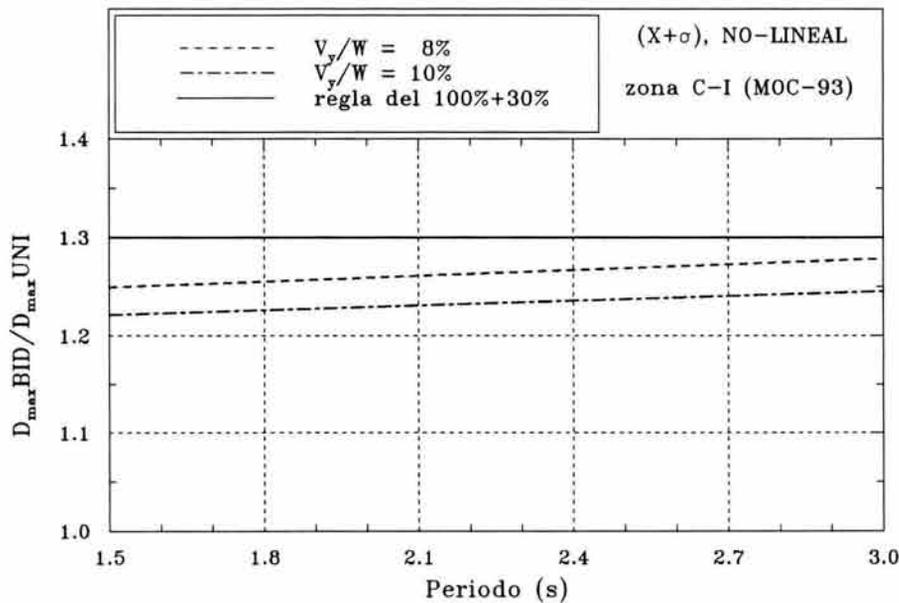


Figura 6.6 Ecuaciones de primer orden que definen la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar, media la desviación estándar para los cortantes de fluencia del 8%, 10% y la recta que define la regla del 100%+30% en el intervalo de periodos de interés

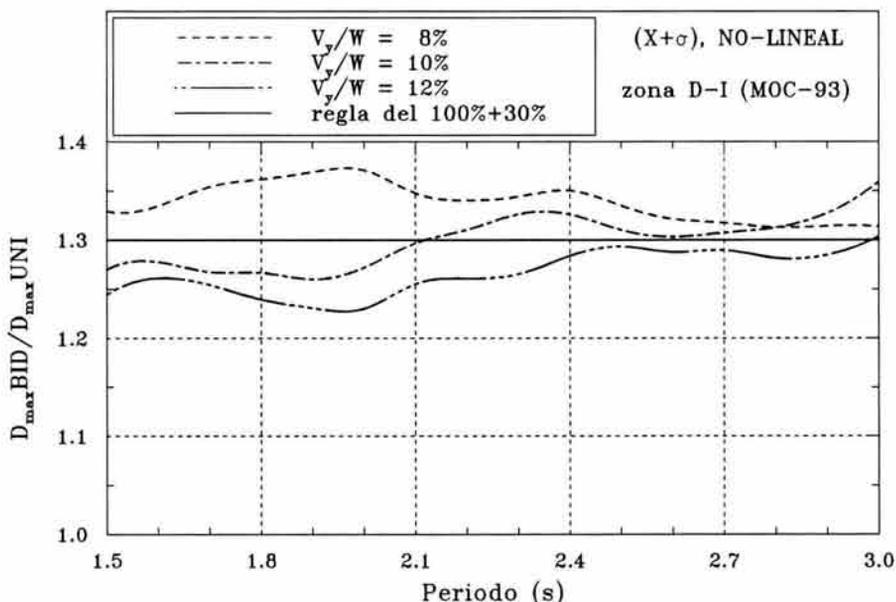


Figura 6.7 Variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) para la media y la media más una desviación estándar correspondientes entre la acción bidireccional y la componente dominante para los cortantes de fluencia del 8%, 10%, 12% y la recta que define la regla del 100%+30%

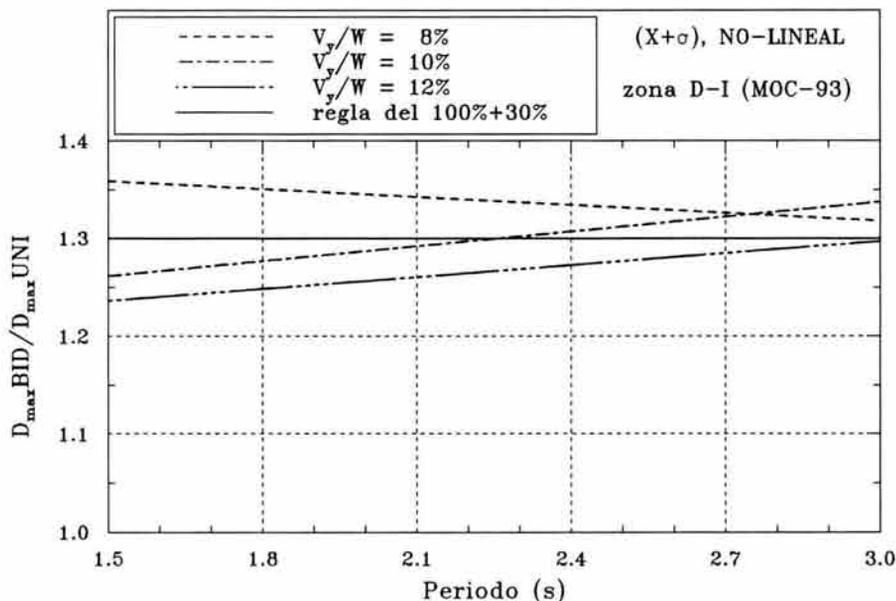


Figura 6.8 Ecuaciones de primer orden que definen la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar, media la desviación estándar para los cortantes de fluencia del 8%, 10%, 12% y la recta que define la regla del 100%+30% en el intervalo de periodos de interés

Zona B-I

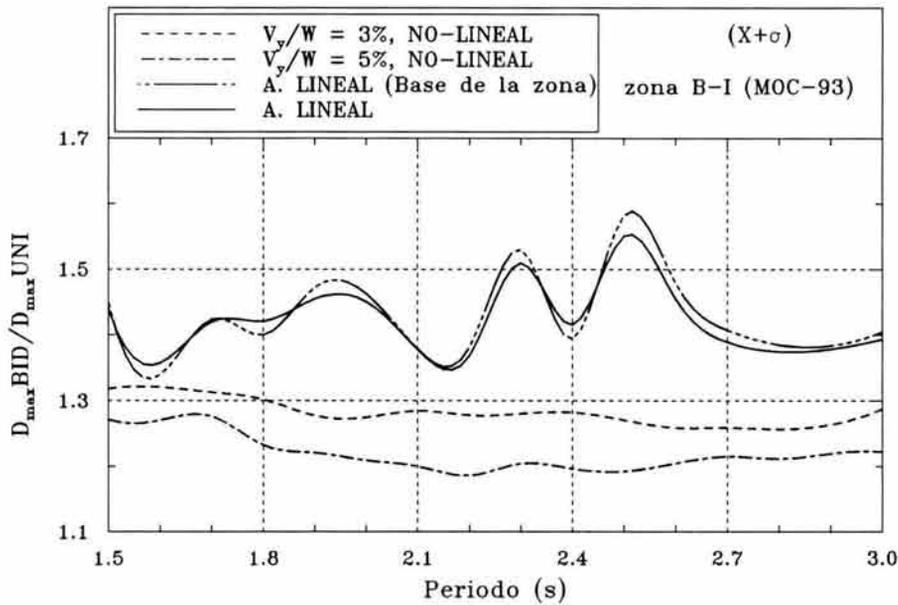


Figura 6.9 Variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_o) y la similitud que existe entre la variación de las curvas del análisis lineal tomando los 154 registros y los 137 registros de la base empleada para la zona B-I

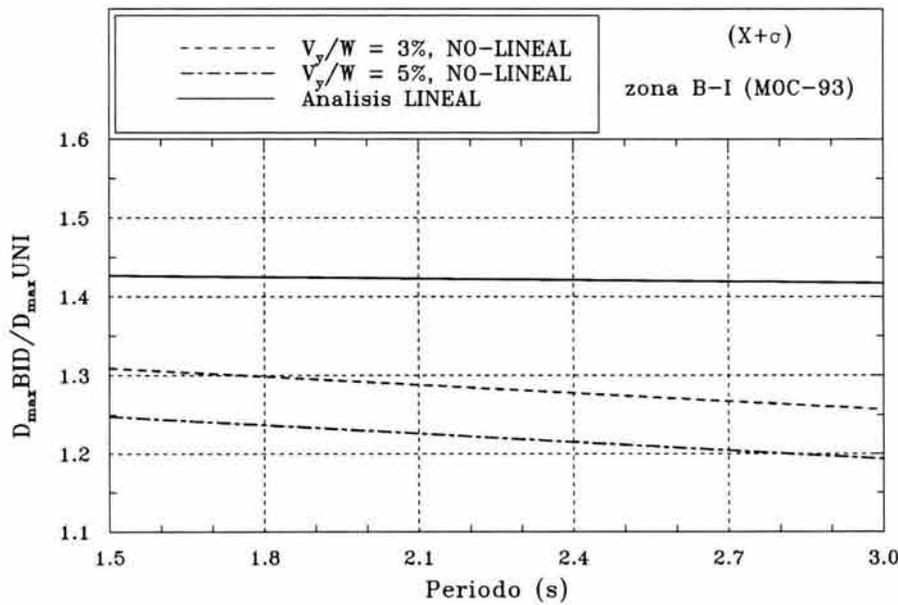


Figura 6.10 Ecuaciones de primer orden que definen la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$), de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia (3% y 5%) y la ecuación obtenida para el análisis lineal tomando la base de datos de los 154 registros seleccionados en el intervalo de periodos de interés

Zona C-I

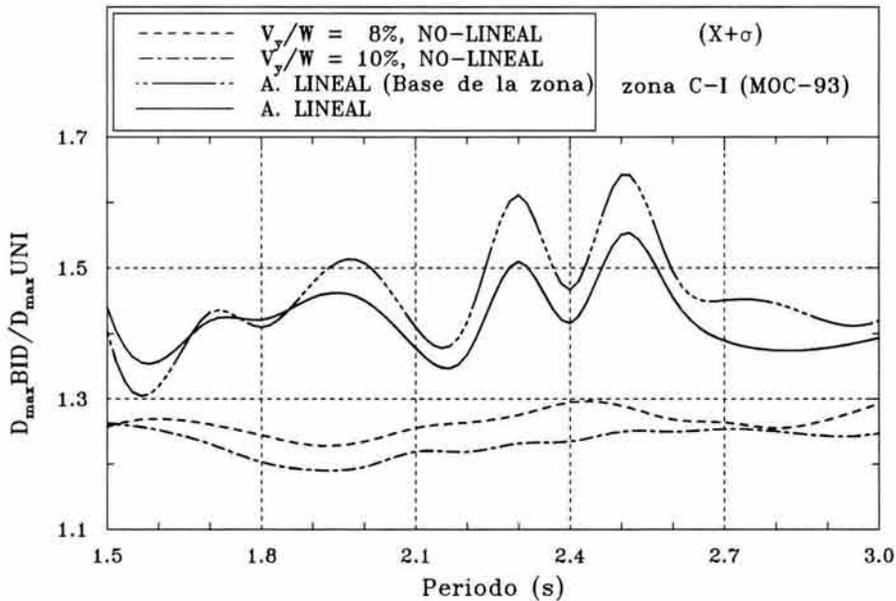


Figura 6.11 Variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) y la similitud que existe entre la variación de las curvas del análisis lineal tomando los 154 registros y los 90 registros de la base empleada para la zona C-I

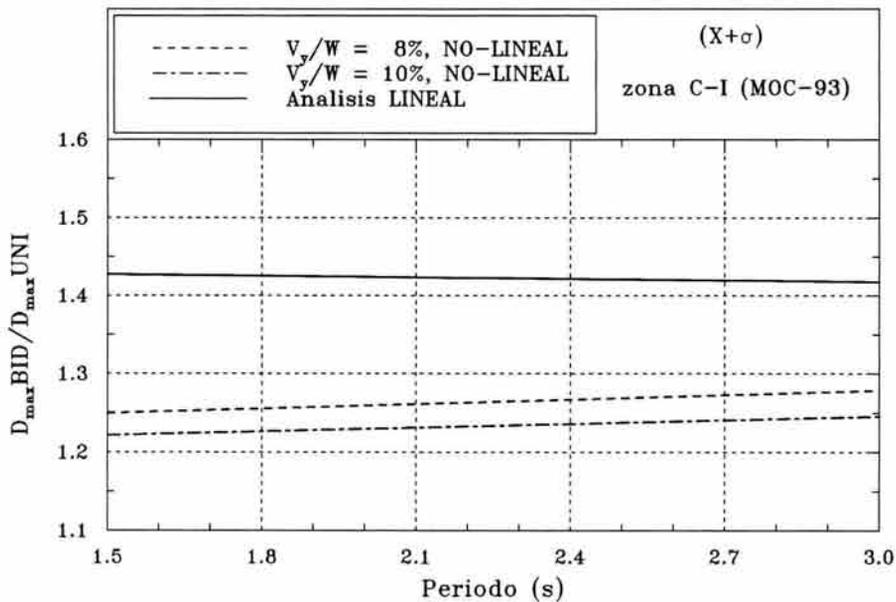


Figura 6.12 Ecuaciones de primer orden que definen la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$), de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia (8% y 10%) y la ecuación obtenida para el análisis lineal tomado la base de datos de los 154 registros seleccionados en el intervalo de periodos de interés

Zona D-I

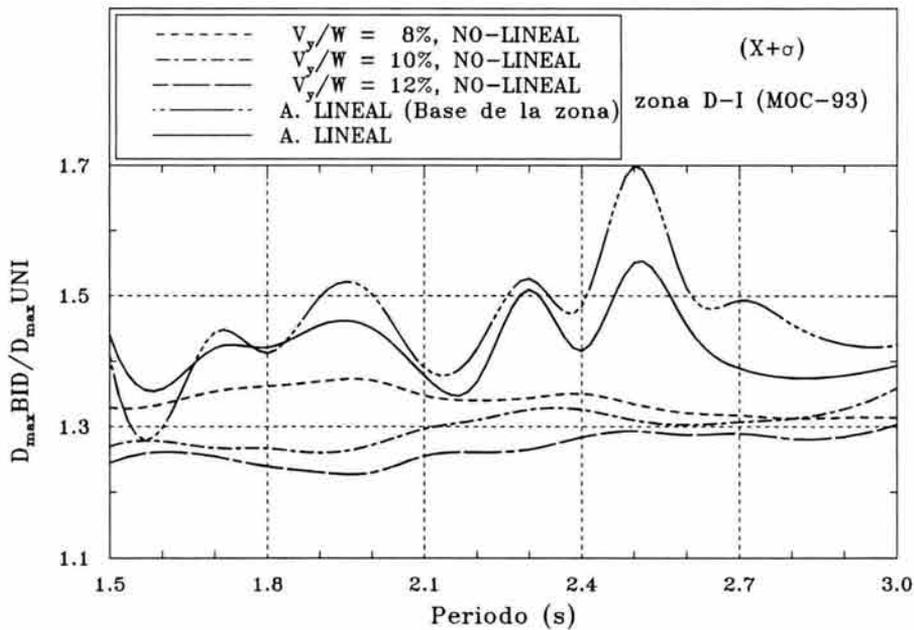


Figura 6.13 Variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodo de vibración seleccionado (T_a) y la similitud que existe entre la variación de las curvas del análisis lineal tomando los 154 registros y los 73 registros de la base empleada para la zona C-I

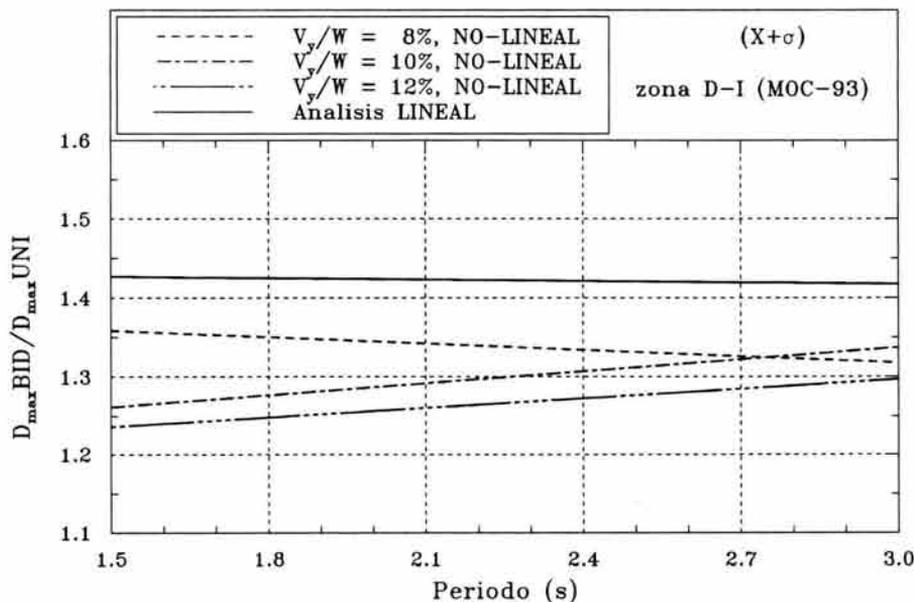


Figura 6.14 Ecuaciones de primer orden que definen la envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$), de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia (8%, 10% y 12%) y la ecuación obtenida para el análisis lineal tomado la base de datos de los 154 registros seleccionados en el intervalo de periodos de interés



Resumen y conclusiones

Hoy en día ha ido en aumento, en las investigaciones, el considerar los efectos ortogonales de un sismo para el análisis de estructuras (aisladas sísmicamente o no), que con los recientes adelantos en los métodos de análisis por computadora lo hacen posible. En el pasado era prácticamente imposible hacerlo, pero gracias a las primeras investigaciones hechas por algunos autores, se dieron las primeras reglas de carácter práctico, que permitieron implantar la regla de combinación del 100%+30% por efectos bidireccionales tan popular en los últimos 30 años en los principales reglamentos de diseño sísmico del mundo.

Varios autores han comentado que el tema de efectos multidireccionales aún no se ha investigado a fondo. Con respecto a las reglas de combinación de acciones bidireccionales para estructuras con aislamiento sísmico, las recomendaciones de diseño para estructuras con aislamiento sísmico del reglamento UBC desde su versión de 1991 han propuesto aumentar un 30% en los espectros de diseño para considerar los efectos bidireccionales. Esta consideración reglamentaria supone basarse en la regla del 100%+30%, que como comentan y demuestran en su libro Naeim y Kelly, no son ni siquiera equivalentes. En los reglamentos mexicanos, por mucho tiempo han tomado en cuenta los efectos de ambas componentes horizontales del movimiento del terreno combinado, en cada dirección en que se analice la estructura, el 100 por ciento de los efectos del componente que obra en esa dirección y el 30 por ciento de los efectos del que obra perpendicularmente a ella.

Para el diseño de aisladores conforme al método estático del reglamento UBC, es común que los diseñadores tomen la regla del 100%+30% para obtener desplazamientos de diseño, aunque el UBC no establece en el capítulo de las normas de diseño de aisladores que así deba hacerse conforme al método estático. Establecen los desplazamientos de diseño para los aisladores indirectamente a partir del espectro de diseño de aceleración para estructuras convencionales, en vez de hacerlo transparentemente a partir de un espectro de desplazamientos. Por lo tanto, los desplazamientos asociados a dicho espectro en el intervalo de periodos donde se define la meseta no son rigurosamente proporcionales a los que se definirían procesando independientemente un espectro de desplazamientos y, por tanto, pueden resultar inapropiados para el diseño de sistemas de aislamiento.

Por tal motivo, se trata de dar un mejor enfoque para tomar en cuenta los efectos bidireccionales en una estructura para obtener los desplazamientos de diseño. Este estudio compara los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis lineal y los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis no lineal con la regla del

100%+30%, donde la interrogante es si realmente esta regla para combinar efectos bidireccionales es aplicable también al diseño por desplazamientos, si es independiente del periodo de la estructura y de las características de los movimientos del terreno y, si es segura.

Para obtener las propiedades de los aisladores lineales y bilineales que requiere el programa 3D-BASIS, este estudio empleó un modelo lineal cuyas propiedades en base rígida se obtuvieron de estudios previos, considerando periodos en base aislada (T_a) que varían entre 1.5 y 3.0 segundos con incrementos cada 0.1 segundos.

Para el cálculo de las propiedades de los aisladores lineales, se consideró un modelo lineal para la estructura aislada sísmicamente (T_a) con base en una rigidez efectiva siguiendo las recomendaciones del UBC.

De manera similar, para el cálculo de las propiedades de los aisladores bilineales se estudió dicho modelo con pendiente posterior a la fluencia del 10%, considerando los siguientes valores de cortante de fluencia para cada zona sísmica en estudio del Manual de Obras Civiles:

$$\text{Zona B - I} \begin{cases} V_y = 3\% \\ V_y = 5\% \end{cases} \quad \text{Zona C - I} \begin{cases} V_y = 8\% \\ V_y = 10\% \end{cases} \quad \text{Zona D - I} \begin{cases} V_y = 8\% \\ V_y = 10\% \\ V_y = 12\% \end{cases}$$

Este estudio paramétrico ha considerado con cierto rigor la selección y filtración de acelerogramas con características de suelo firme (roca) registrados en estaciones cercanas a la zona de subducción de la costa mexicana del Pacífico, para estudiar las amplificaciones y sus respectivas desviaciones, con la finalidad de obtener expresiones simples que permitan tomar en cuenta los efectos bidireccionales en el diseño de aisladores sísmicos.

La selección se realizó empleando los archivos de la Base de Acelerogramas de Sismos Fuertes, vol. 2. Como requisitos de su selección los acelerogramas deberían presentar magnitudes mayor o iguales a 6.5, que las aceleraciones máximas del terreno estén cercanas a 10 cm/seg^2 en ambas componentes ortogonales y que hayan mostrado una forma adecuada calculando la intensidad de Arias. De lo anterior se aceptaron 154 sismos organizados de la manera siguiente por 13 eventos:

- 1) 19 de septiembre de 1985 (M = 8.1).
- 2) 21 de septiembre de 1985 (M = 7.6).
- 3) 30 de abril de 1986 (M = 7.0).
- 4) 25 de abril de 1989 (M = 6.9).
- 5) 24 de octubre de 1993 (M = 6.6).
- 6) 14 de marzo de 1994 (M = 6.8).
- 7) 14 de septiembre de 1995 (M = 6.4).
- 8) 9 de octubre de 1995 (M = 6.5).
- 9) 21 de octubre de 1995 (M = 6.5).
- 10) 15 de julio de 1996 (M = 6.5).
- 11) 11 de enero de 1997 (M = 6.9).
- 12) 15 de julio de 1999 (M = 6.5).
- 13) 30 de septiembre de 1999 (M = 7.5).

Paso siguiente, por cada evento sísmico se eligieron los acelerogramas de diferentes estaciones sus componentes N-S y E-W, para elaborar los archivos de datos que requirió el programa 3D-Basis y proceder al estudio paramétrico lineal.

Para el caso del estudio paramétrico no-lineal, los acelegramas seleccionados para el análisis lineal se escalaron cada uno de ellos de manera que tuvieran la misma aceleración espectral, que en este caso particular corresponde al espectro de diseño de las zonas D-I, C-I y B-I propuesto por el Manual de Obras Civiles de 1993 (MOC-93), seleccionando el valor del periodo $T=2.24\text{seg.}$ del periodo del intervalo de interés. Para la selección de cada uno de los acelerogramas escalados para cada zona en estudio (B, C y D) se cuidó que en cada uno de ellos presentara una forma adecuada en su señal, que no se sobrepasaran aceleraciones máximas del terreno mayores de 1.2 g.

De lo anterior, se procedió a realizar un análisis dinámico no lineal del modelo estructural con base aislada, para el sistema bilineal con pendiente posterior a la fluencia del 10% ($k_2/k_1 = 0.10$) empleando el programa 3D-BASIS, donde se considera a la superestructura como elástica. En este estudio, se analizaron 73 pares de acelerogramas para la zona D-I, 90 pares para la zona C-I y, 135 pares para la zona B-I. Para cada archivo se contó con información adicional como el valor del cortante basal (V_{yais}) para el valor del cortante de fluencia correspondiente y el desplazamiento de fluencia de cada uno de los aisladores (Δ_{yais}).

De cada uno de los estudios paramétricos, para cada par de acelerogramas, se consideraron tres casos. Primero, se excitó a los modelos con la componente *E-W exclusivamente*; segundo, con la componente *N-S exclusivamente* y, finalmente, con la excitación *bidireccional* de ambas componentes ortogonales.

De los resultados obtenidos para ambos estudios se seleccionaron los desplazamientos dinámicos máximos que experimentan los aisladores. Para definir la componente dominante normalizada (columna 8) en el intervalo de interés ($1.5\text{seg.} \leq T_a \leq 3.0\text{seg.}$), se consideró la mínima sumatoria de los factores de amplificación (promedio “pesado”), con base en un criterio energético evaluado de manera indirecta.

El criterio estadístico utilizado para el estudio de las respuestas medias de los efectos bidireccionales de todas las simulaciones realizadas, corresponde a la media más una desviación estándar, asociado a una función de densidad de probabilidad acumulada de 0.8413, se considera un criterio razonable en ingeniería civil. El criterio estadístico correspondiente a la media más vez y media la desviación estándar se estudió tomando en cuenta que algunos ingenieros sienten que en el diseño de aisladores sísmicos se deben tomar criterios estadísticos más conservadores. Este último criterio está asociado a una función de densidad de probabilidad acumulada de 0.9332.

A continuación se resumen las observaciones y conclusiones más importantes del estudio de los factores de amplificación por efectos bidireccionales de los desplazamientos de los aisladores de base de comportamiento lineal y no lineal.

i) Factores de amplificación de los desplazamientos de los aisladores de base de comportamiento elástico lineal por efectos bidireccionales.

Se realizó un estudio paramétrico que considera los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max}\text{BID}$) y la componente dominante ($D_{\max}\text{UNI}$) para sismos de magnitud mayor a 6.5, evaluándolos primero considerando a cada evento independientemente, con el fin de determinar

si existe alguna relación fuerte entre los factores de amplificación y las características de cada evento (por ejemplo, magnitud). Se concluyó lo siguiente:

- (1) No son constantes en el intervalo de periodos considerado.
- (2) No son semejantes entre un evento y otro, pero aunque sus características pueden depender de las características del sismo, parecen no depender claramente de su magnitud.
- (3) Pueden presentarse amplificaciones mayores al 30% en algún intervalo de periodos, pero de igual manera no existe un patrón definido entre un evento y otro.
- (4) Como es lógico, presentan mayor dispersión si la muestra del evento es reducida y esto se refleja en sus desviaciones estándar.

De esta observación las respuestas máximas no están directamente relacionadas entre sí, pues dependen de muchos factores, y se necesita de un análisis más exhaustivo para intentar entender si existe o no una relación en función de la magnitud o del mecanismo de falla que genera el sismo (subducción, sismo de falla normal, etc), aspectos que están fuera del alcance de este estudio.

En un segundo estudio se evaluaron los resultados cuando se consideran los 154 registros acelerográficos al mismo tiempo, sin discriminar por evento o magnitud. A partir de su observación se puede concluir que la media de los factores de amplificación tanto para la componente N-S ($D_{\max} \text{BID}/D_{\max} \text{N-S}$), como para la componente dominante como se define en este estudio ($D_{\max} \text{BID}/D_{\max} \text{UNI}$) no son constantes, ni siquiera semejantes en todo el intervalo de periodos considerado, que con el criterio empleado de la mínima sumatoria de los factores de amplificación se obtienen factores de amplificación menores que si se hubiera elegido la componente N-S, por lo que el criterio en realidad si identifica de una manera más consistente a la que estadísticamente es la componente dominante del terreno.

Se evaluaron los factores de amplificación entre acción bidireccional ($D_{\max} \text{BID}$) y la componente dominante ($D_{\max} \text{UNI}$) correspondientes a la media, la media más una desviación estándar y la media más vez y media la desviación estándar, cuando se consideran los 154 registros acelerográficos. Se pudo observar nuevamente que la variación que experimentan los factores de amplificación de los desplazamientos máximos a lo largo del intervalo de periodos de vibración seleccionado (T_a), depende del periodo. Además, que en el intervalo de periodos de 2.2 a 2.7 segundos, debido a que en dicho intervalo se presenta una mayor desviación estándar la amplificación toma una forma senoidal incrementándose estos factores de amplificación. En general, en la curva correspondiente a $X+\sigma$ se pueden presentar amplificaciones mayores al 35%, y esta curva es la que regularmente está asociada a criterios convencionales de diseño.

Se decidió definir una ecuación simple de primer orden (una recta) como propuesta de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) y la media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$) en el intervalo de periodos de interés, por lo que vienen a ser poco conservadoras entre el intervalo de periodos de 2.3 a 2.6 segundos.

Se comparó también a los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis lineal con la regla del 100%+30%. De lo observado, en la curva correspondiente a $X+\sigma$ se pueden presentar amplificaciones que superan la regla del 100%+30% del orden del 12.5%, y esta curva es la que regularmente está asociada a criterios convencionales de diseño. Debido a la incertidumbre que algunos diseñadores de la práctica sienten por aplicar los mismos criterios de diseño usados para materiales convencionales para sistemas de aislamiento, se consideró para tal motivo valorar curvas para $X+1.5\sigma$, que es un criterio más conservador. La recta resultante supera la regla del 100%+30% del orden del 25%, por lo que valdrá la pena considerar que, para fines de diseño, se utilicen los factores de amplificación correspondientes a este criterio más conservador.

Por supuesto, deberá evaluarse el impacto económico que tendría el seleccionar este criterio más conservador al que normalmente se utiliza para otros elementos estructurales.

ii) *Factores de amplificación de los desplazamientos de los aisladores de base de comportamiento bilineal por efectos bidireccionales*

De manera semejante que para el caso lineal, se realizó un estudio paramétrico donde se presentan la media y la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) de los factores de amplificación para los cortantes de fluencia correspondientes al cociente entre los desplazamientos máximos bidireccionales entre los desplazamientos máximos de los aisladores ante la excitación dominante ($D_{\max} \text{ BID} / D_{\max} \text{ UNI}$), donde se concluyó lo siguiente:

- a) Conclusiones generales para todas las zonas:
 - (1) No son semejantes en el intervalo de periodos considerado.
 - (2) Sus características pueden depender de las características del sismo.
 - (3) Conforme disminuye la fuerza de fluencia el sistema es más no lineal, por lo que a medida que el sistema es más no lineal, los factores de amplificación aumentan.
- b) Conclusiones particulares, zona B-I, para cortantes de fluencia del 3% y 5%
 - (1) Cuando el cortante de fluencia es del 5% del peso de la estructura, se observan amplificaciones menores en los aisladores por efectos bidireccionales que cuando dicho cortante es del 3% de W.
 - (2) A partir del periodo de 2.7s, los factores de amplificación tienden a ser constantes en sus valores, sin importar el cortante de fluencia
- c) Conclusiones particulares, zona C-I, para los cortantes de fluencia del 8% y 10%
 - (1) Cuando el cortante de fluencia es del 10% del peso de la estructura, se observan amplificaciones menores en los aisladores por efectos bidireccionales que cuando dicho cortante es del 8% de W.
 - (2) Podría decirse que en el periodo de 2.8s. los factores de amplificación son los mismos para ambos cortantes de fluencia.
 - (3) Los factores de amplificación son menores en el intervalo de periodos de 1.5s a 1.9s. comparados con los obtenidos para la zona B-I.
- d) Conclusiones particulares, zona D-I, para los cortantes de fluencia del 8%, 10% y 12%
 - (1) Presentan cierta similitud en sus curvas en el intervalo de periodos de interés, aunque con diferencias en algún intervalo entre las curvas de 12% con las demás. De hecho, existe menor similitud en las curvas si se comparan éstas con las obtenidas para las zonas B-I y C-I. Sin embargo, se puede decir que en el intervalo de periodos de 2.1s. a 3.0s., estas curvas tienden a comportarse de la misma manera para todas las resistencias consideradas.
 - (2) Cuando el cortante de fluencia es del 12% del peso de la estructura, se observan amplificaciones menores en los aisladores por efectos bidireccionales que cuando dicho cortante es del 10% y 8% de W.
 - (3) A partir del periodo de 2.7s, los factores de amplificación tienden a ser similares para los tres cortantes de fluencia considerados.

- (4) Los factores de amplificación son mayores en la mayor parte del intervalo de periodos de interés, con respecto a los obtenidos para la zona B-I y C-I.

Se compararon también los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis no-lineal con la regla del 100%+30%, para cada una de las zonas en estudio. Para ello se emplearon también ecuaciones simples de primer orden para definir una envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) y la media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$) en el intervalo de periodos de interés, para los factores de amplificación de los desplazamientos máximos entre acción bidireccional ($D_{\max}BID$) y la componente dominante ($D_{\max}UNI$), correspondientes a los distintos cortantes de fluencia de las zonas B-I, C-I y D-I,, donde los coeficientes de correlación para estas ecuaciones propuestas oscilan entre el 40% y 50%.

Para la zona B-I, para el periodo de 1.8 segundos, la recta para el cortante de fluencia del 3% coincide el valor del factor de amplificación que define la regla del 100%+30%, además que para ambas cortantes de fluencia sus pendientes en sus rectas se consideran paralelas y con pendiente negativa en todo el intervalo de periodos de interés con una diferencia en sus factores de amplificación del 6%.

Para la zona C-I, se observó lo contrario a lo que se presentó para la zona B-I, las rectas para ambos cortantes de fluencia se acercan más a los valores de los factores de amplificación que define la regla del 100%+30%, mientras mayor sean los periodos en el intervalo de periodos de interés, además que para ambas cortantes de fluencia sus pendientes en sus rectas se pueden considerar paralelas en todo el intervalo de periodos de interés con una diferencia en sus factores de amplificación del 2%.

Para el caso de la zona D-I, los factores de escalamiento para el cortante de fluencia del 8% superan la recta de la regla del 100%+30% dentro del intervalo de periodos de 1.5s a 2.7s y para un cortante de fluencia del 10% supera la recta de la regla del 100%+30% en el intervalo 2.2s a 2.6s. y de 2.7s. a 3.0s., por lo que para un sistema de aislamiento bilineal en la zona D-I no es conservador diseñar conforme a la regla del 100%+30%.

Se estudiaron además las relaciones entre el periodo de vibración en base aislada (T_a) y el cociente obtenido del desplazamiento dinámico máximo normalizado con el desplazamiento de fluencia del aislador para cada caso (demanda de ductilidad), ante la correspondiente dominante ($D_{\max}BID/D_{\max}UNI$). De lo anterior se observa lo siguiente:

- a) Observaciones generales para todas las zonas y cortantes de fluencia

Para los cortantes de fluencia considerados, con base en la media se observó que la demanda máxima de ductilidad de desplazamiento de los aisladores no rebasa el límite de nueve obtenido a partir de la curva primaria definida por el UBC para aisladores bilineales donde la pendiente posterior a la fluencia es del 10%.

Para la media más una desviación estándar, se observa en general que las demandas de ductilidad asociadas a un cortante de fluencia del 5% no son tan altas para el intervalo periodo de interés y que se encuentran valores inferiores a nueve en ese mismo intervalo.

Se observa que con los cortantes de fluencia considerados los aisladores desarrollan una respuesta de desplazamiento dinámico mayor a la de fluencia. Esta característica se acentúa, generalmente, en los periodos cortos del intervalo en estudio y descende en forma ligera y paulatina para valores mayores de T_a .

- b) Observaciones particulares para la zona B-I, para cortantes de fluencia del 3% y 5%.

Desde de punto de vista de demandas de ductilidad aceptables para un comportamiento estable de los aisladores en estudio para la curva con cortante de fluencia del 3%, sería acotarla para el intervalo de periodos entre 2.0s. y 3.0s. Sin embargo, lo que el estudio nos indica es que, para la zona B, sería más adecuado diseñar para cortantes de fluencia más cercanos al 5% que para el 3% en todo el intervalo de periodos considerado.

- c) Observaciones particulares para la zona C-I, para cortantes de fluencia del 8% y 10%.

Desde de punto de vista de demandas de ductilidad aceptables para un comportamiento estable de los aisladores en estudio (iguales o inferiores a nueve), se aprecia que lo más correcto para la curva con cortante de fluencia del 8%, sería acotarla para el intervalo de periodos entre 1.8s. y 3.0s. Sin embargo, lo que el estudio nos indica es que, para la zona C, sería más adecuado diseñar para cortantes de fluencia más cercanos al 10% que para el 8% en todo el intervalo de periodos considerado.

- d) Observaciones particulares para la zona D-I, para cortantes del 8%, 10% y 12%

Desde de punto de vista de demandas de ductilidad aceptables para un comportamiento estable de los aisladores en estudio (iguales o inferiores a nueve), se aprecia que lo más correcto para la curva con cortante de fluencia del 8%, sería acotarla para el intervalo de periodos entre 2.3s. y 3.0s y en el intervalo de periodos entre 1.9s y 3.0s para el cortante de fluencia de 10%. Sin embargo, lo que el estudio nos indica es que, para la zona D, sería más adecuado diseñar para cortantes de fluencia más cercanos al 12% que para el 10% en todo el intervalo de periodos considerado, pero que en el intervalo de periodos más largos, 8% puede ser adecuado.

Para las demandas de ductilidad correspondientes a los distintos cortantes de fluencia de las zonas B-I, C-I y D-I, y en función de su variación suave (con coeficientes de correlación del 99%), se definieron ecuaciones exponenciales simples para definir una envolvente de diseño para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$) y la media más una y media la desviación estándar ($X+1.5\sigma$) en el intervalo de periodos de interés, por lo que vienen a ser muy precisas en todo el intervalo de periodos de interés.

En este trabajo se compararon también los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis lineal con los factores de amplificación resultado de los efectos bidireccionales del análisis no lineal para la media más una desviación estándar ($X+\sigma$).

Cabe señalar que la componente dominante ($D_{\max\text{UNI}}$) correspondientes a la media más una desviación estándar del análisis lineal empleando la base de datos de los 154 registros seleccionados y las correspondientes medias más una desviación estándar del análisis lineal empleando la base de datos de los 137 registros (sin escalar) seleccionados para la zona B-I, los 90 registros de la base empleada para la zona C-I y, los 73 registros para la zona D-I, donde se observó que existe poca dispersión, por lo que no influye trascendentalmente los factores de amplificación que si se tomara la base completa.

De lo anterior se concluye que para la zona B-I los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 3% y 5%, son inferiores a los obtenidos de los factores de amplificación del análisis

lineal. Además, se observa en el intervalo de periodos de interés que mientras menor sea el periodo, las rectas que definen los cortantes de fluencia del 3% y 5% se acercan más a los valores de los factores de amplificación que definen la recta para el caso lineal.

De manera análoga, para la zona C-I los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 8% y 10%, siguen siendo inferiores a los correspondientes a los factores de amplificación del comportamiento lineal de los aisladores. A diferencia de la zona B-I, en el intervalo de periodos de interés, mientras mayor sea el periodo, las rectas que definen los cortantes de fluencia del 8% y 10% se acercan más a los valores de los factores de amplificación que define la recta para el comportamiento lineal.

Para la zona D-I, el cortante de fluencia del 8%, para periodos cortos dentro del intervalo de periodos de interés, la recta que define los cortantes de fluencia se acerca más a los valores de los factores de amplificación que define la recta para el comportamiento lineal. En contraste, para los factores de amplificación para los cortantes de fluencia del 10% y 12%, se observa en el intervalo de periodos de interés que, mientras mayor es el periodo, los cortantes de fluencia se acercan más a los valores de los factores de amplificación que define la recta para el caso lineal.

Finalmente, se puede concluir que el resultado más importante del estudio realizado es demostrar fehacientemente que la respuesta estadística de desplazamientos ante acción bidireccional y unidireccional para sistemas de aislamiento sísmico simétricos en ambas direcciones no es constante y no cumple con la regla de combinación del 100%+30%, tanto para aisladores de comportamiento lineal, como de comportamiento bilineal. Se observa que dicha respuesta depende en gran medida del comportamiento del sistema de aislamiento (lineal o bilineal inelástico), por lo que se cree que también dependerá de ciertos parámetros que definen la respuesta inelástica, como son la pendiente posterior a la fluencia y las características generales de rigidez y resistencia del modelo inelástico (con o sin degradación), lo que deberá valorarse en estudios futuros.

Dada la variabilidad de este cociente en el intervalo de periodos observado, se propone una regresión lineal simple para su posible introducción en reglamentos de diseño, cuya finalidad es hacer saber al usuario de un reglamento de una manera simple que esta respuesta no es independiente del periodo, cubriendo razonablemente la respuesta para la media más una desviación estándar de las respuestas estudiadas. Se podría tener un mejor ajuste con algún otro tipo de curva de regresión, incluyendo algunas expresiones muy complicadas; sin embargo, de momento se consideró poco práctico.

Referencias

1. Anastassiadis K, I E Avramidis y P K Panetsos (1998), "Earthquake resistant design of structures under three-component orthotropic seismic excitation", *Memorias, XIth European Conference on Earthquake Engineering*, Paris, France, CDROM, septiembre.
2. "Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes volumen 2" (2000), CDROM, *Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C.*, diciembre
3. Gómez, L A A y A Tena (2000), "Importancia de la excentricidad en la superestructura en la respuesta torsional de estructuras con aislamiento sísmico", *Memorias, XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, León, CDROM, noviembre.
4. Hernández, J J y O A López (2002), "Response to three-component seismic motion of arbitrary direction", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 31, pp. 55-77.
5. Hernández, J J y O A López (2002), "Revision of code combination rules for response to three components of seismic motion", *Memorias, Seventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering (7NCEE)*, Urban Earthquake Risk, Boston, Massachusetts, USA, CDROM, julio.
6. López, O A y R Torres (1997), "The critical angle of seismic incidence and the maximum structural response", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 26, pp. 881-894.
7. López, O A, A K Chopra y J J Hernández (2000), "Critical response of structures to multicomponent earthquake excitation", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 29, pp.1759-1778.
8. López, O A, A K Chopra y J J Hernández (2001), "Evaluation of combination rules for maximum response calculation in multicomponent seismic analysis", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 30, pp. 1379-1398.
9. Menun, C, y A Der Kiureghian (1998), "A replacement for the 30%, 40% and SRSS rules for multicomponent seismic analysis", *Earthquake Spectra*, Vol. 14, No. 1, pp.153-156.
10. Naeim, F y J M Kelly (1999), *Design of Seismic Isolated Structures (from theory to practice)*, primera edición, John Wiley & Sons, Nueva York.
11. Nagarajaiah, S, A M Reinhorn y M C Constantinou (1991), "3D-Basis: Nonlinear dynamic analysis of three-dimensional base isolated structures: Part II", *Technical Report NCEER-91-0005*, National Center for Earthquake Engineering, State University of New York at Buffalo.
12. Penzien, J y M Watabe (1975), "Characteristics of 3-dimensional earthquake ground motion", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 3, pp. 365-374.
13. Smeby, W y A Der Kiureghian (1985), "Modal combination rules for multicomponent earthquake excitation", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 13, pp.1-12.
14. "Servicio Sismológico Nacional" (2002), página web: <http://www.ssn.unam.mx/>

15. Tena, A (1997), "Evaluación de un método de diseño estático para el aislamiento sísmico de estructuras de la costa Mexicana del Pacífico", *Revista de Ingeniería Sísmica*, SMIS, No. 57, pp. 1-34, septiembre-diciembre.
16. Tena Colunga, A (2001), "Diseño de estructuras con aislamiento sísmico mediante el uso de espectros de diseño por capacidad", *Revista de Ingeniería Sísmica*, SMIS, No. 65, pp 49-80, julio-diciembre.
17. Villegas, O y A Tena (1999), "Criterios de diseño dinámico para estructuras aisladas sísmicamente en zonas costeras del Pacífico mexicano", *Memorias, XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Morelia, Michoacán, Vol. II, pp. 1172-1180, noviembre.