

01161



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**EFFECTOS DE TORSION EN ESTRUCTURAS
AISLADAS SISMICAMENTE EN SU BASE**

PRESENTADA POR

LUIS ALBERTO ANTONIO GOMEZ SOBERON

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA
(ESTRUCTURAS)**

DIRIGIDA POR:
DR. ARTURO TENA COLUNGA



MEXICO, 2000

286531



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

A Urbelino Y Mari
mis padres
por la vida, el amor,
el apoyo y la formación

A mis hermanos
Juan, Kiki, Chelo, Mario y Urbe
por el amor, el tiempo compartido
y la ayuda siempre recibida

Al Dr. Arturo Tena Colunga
por sus enseñanzas, tiempo,
y sobre todo amistad

A mis amigos

Wendy, Moisés, Vero,
Tiziano, Mauricio, Manuel,
M. Teresa, Marlene, Kenny,
J. Luis, J. Alfonso, Esther,
David, Afra, Alberto

RESUMEN

Se estudia la respuesta torsional de estructuras con planta regular, aisladas sísmicamente y con fuentes de excentricidad en la superestructura, en el sistema de aislamiento y en ambos casos a la vez; realizando análisis dinámicos paso a paso no lineales de modelos tridimensionales, presentando distintos porcentajes (5%, 10%, 15% y 20% de la dimensión de planta) y ángulos (0 y 45 grados) de excentricidad de los centros de rigidez con respecto a los centros de masa. Se evaluó con estudios paramétricos la respuesta dinámica ante excitación sísmica unidireccional y bidireccional de tres acelerogramas registrados en terreno firme en la costa del Pacífico; los registros empleados fueron Unión (sismo del 19/09/1985, $M_s=8.1$), representativo de terrenos firmes sin efectos de sitio; San Marcos (sismo del 25/04/1989, $M_s=6.9$), de tipo epicentral o impulsivo; y Termoeléctrica de Manzanillo (sismo del 09/10/1995, $M_w=8.0$), con efectos de sitio. Se empleó un intervalo de periodos de la estructura aislada entre 1.5 y 3.0 segundos ($1.5s \leq T_a \leq 3.0s$), diseñando los aisladores con cortantes de fluencia del 5% y 10% del peso estructural ($V_y/W=0.05$ y $V_x/W=0.10$) y una rigidez de postfluencia del 10% de la rigidez elástica ($k_2/k_1=0.10$). Se compararon los desplazamientos dinámicos máximos de los aisladores con los del modelo sin excentricidad, concluyendo sobre la importancia del nivel de excentricidad, con referencia a sistemas simétricos y sobre las distintas respuestas obtenidas para los distintos acelerogramas (desplazamientos, ángulos de desplazamiento, demandas de ductilidad, etc.).

ABSTRACT

The torsional response of base-isolated, regular-plan structures when eccentricities are set in the superstructure, in the isolation system and both cases at the same time is presented. Nonlinear dynamic analyses were used to study peak responses for different ratios (5%, 10%, 15% and 20% of the plan length) and angles (0 and 45 degrees) of the static eccentricities between the centers of mass and the centers of rigidity. Unidirectional and bidirectional actions of selected ground motions typical of firm soils of the Mexican Pacific Coast were used in the study. The selected accelerograms were Unión (09/19/1985 earthquake, $M_s=8.1$), typical of firm soils; San Marcos (04/25/1989 earthquake, $M_s=6.9$), an epicentral or impulsive record; and Termoeléctrica de Manzanillo (10/09/1995 earthquake, $M_w=8.0$), a record of firm soils with a site effect condition. An effective period range between 1.5 and 3.0 seconds ($1.5s \leq T_a \leq 3.0s$) for the base-isolated structures was considered in the present study. Bilinear isolator systems with yielding forces of 5% and 10% the weight of the complete structure ($V_y/W=0.05$ and $V_x/W=0.10$) and postyielding stiffness 10% of their elastic stiffness ($k_2/k_1=0.10$) were considered. Peak dynamic responses such as maximum isolator displacements and peak displacement ductility demands were studied and compared to the ones obtained for symmetric systems of reference for the different ground motions under consideration, assessing the importance of the eccentricity ratio on those response parameters.

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.	xxviii
CAPÍTULO 1: NOCIONES SOBRE EL AISLAMIENTO SÍSMICO.	1
1.1 Aislamiento sísmico: generalidades.	1
1.1.1 Concepto.	1
1.1.2 Aislamiento sísmico en el mundo.	2
1.1.3 Aislamiento sísmico en México.	4
1.1.4 Reglamentación.	9
1.1.5 Criterios de estabilidad.	10
1.2 Tipos de aisladores.	11
1.2.1 Elastómeros.	12
1.2.2 Amortiguadores de acero.	15
1.2.3 Péndulos de fricción.	16
1.2.4 Sistemas colgantes (GT-BIS).	18
1.2.5 Otros.	18
1.2.6 Clasificación de los aisladores de acuerdo a su comportamiento.	19
1.3 Efecto torsional.	22
CAPÍTULO 2: TORSIÓN, ESTUDIOS PREVIOS.	29
2.1 Concepto.	29
2.2 Torsión elástica.	30
2.2.1 Acoplamiento traslación-rotación.	30
2.2.2 Torsión accidental.	32
2.2.3 Inclusión de efectos de torsión en el análisis elástico estático de estructuras.	35
2.2.4 Criterios reglamentarios para considerar la torsión.	37
2.2.5 Método matricial de Damy.	37
2.3 Torsión inelástica.	41
2.3.1 Consideración reglamentaria.	42

2.4	Torsión en estructuras aisladas sísmicamente.	43
2.4.1	Estudios previos de torsión en edificios aislados.	44
CAPÍTULO 3: ACELEROGRAMAS EMPLEADOS.		52
3.1	Estación UNION, sismo del 19 de septiembre de 1985.	52
3.2	Estación SMRZA, sismo del 25 de abril de 1989.	53
3.3	Estación TMANZ, sismo del 9 de octubre de 1995.	53
CAPÍTULO 4: COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS CON AISLAMIENTO SÍSMICO Y SIN EXCENRICIDAD ENTRE LOS CENTROS DE RIGIDEZ Y DE MASA.		57
4.1	Características de la estructura.	57
4.2	Análisis de la estructura base rígida.	58
4.3	Propiedades de los aisladores.	59
4.4	Análisis del modelo con base aislada.	63
4.5	Comentarios finales al capítulo.	65
CAPÍTULO 5: INFLUENCIA DE LA EXCENRICIDAD EN LA SUPERESTRUCTURA EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS CON BASE AISLADA		73
5.1	Excentricidades de los centros de rigidez en los niveles de la superestructura.	73
5.1.1	Excentricidad del 5%.	74
5.1.1.1	Excentricidades en un sentido.	74
5.1.1.2	Excentricidades en ambos sentidos.	75
5.1.2	Excentricidades del 10%, 15% y 20%.	77
5.1.2.1	Excentricidades en un sentido.	77
5.1.2.2	Excentricidades en ambos sentidos.	78
5.2	Comparación de los resultados obtenidos con aquellos del modelo sin excentricidades.	80
5.2.1	Comparación entre el modelo sin excentricidad y el modelo con	80

excentricidad en un sentido.	
5.2.2 Comparación entre el modelo sin excentricidad y el modelo con excentricidad en ambos sentidos.	82
5.3 Comparación de resultados de excentricidad bidireccional y excentricidad en un sentido.	85
5.4 Comentarios finales del capítulo	86
CAPÍTULO 6: INFLUENCIA DE LA EXCENTRICIDAD EN EL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN EDIFICIOS CON BASE AISLADA.	114
6.1 Determinación de la excentricidad en la base.	114
6.1.1 En un sentido.	114
6.1.2 En ambos sentidos.	117
6.2 Respuesta del modelo.	119
6.2.1 Con excentricidad del 5% en un sentido.	119
6.2.2 Con excentricidades del 10%, 15% y 20% en un sentido.	120
6.2.3 Con excentricidad del 5% en ambos sentidos.	121
6.2.4 Con excentricidades del 10%, 15% y 20% en ambos sentido	123
6.3 Comparación de resultados con aquellos obtenidos del modelo sin excentricidades.	124
6.3.1 Comparación entre el modelo sin excentricidad y con excentricidad en un sentido.	124
6.3.2 Comparación entre el modelo sin excentricidad y con excentricidad en ambos sentidos.	127
6.4 Comparación de resultados de excentricidad bidireccional y excentricidad en un sentido.	129
6.5 Influencia del cambio de rigidez torsional.	130
6.6 Comparación de resultados de excentricidad en la superestructura con excentricidad en el sistema de aislamiento.	132
6.7 Comentarios finales al capítulo.	133

CAPÍTULO 7: INFLUENCIA DE LA EXCENTRICIDAD EN LA SUPERESTRUCTURA Y EN EL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS CON BASE AISLADA.	165
7.1 Respuesta del modelo	165
7.1.1 En un sentido.	166
7.1.1.1 Excentricidad en sentidos y direcciones iguales.	168
7.1.1.2 Excentricidades en sentidos iguales y distintas direcciones.	170
7.1.1.3 Excentricidades en distintos sentidos y direcciones.	172
7.1.2 Excentricidad bidireccional.	172
7.1.2.1 Excentricidad en sentidos y direcciones iguales.	172
7.1.2.2 Excentricidades en sentidos iguales y direcciones contrarias.	174
7.2 Comparación de los resultados con aquellos obtenidos del modelo sin excentricidad.	176
7.2.1 Comparación del modelo sin excentricidad y con excentricidad en un sentido.	177
7.2.1.1 Excentricidades en sentidos y direcciones iguales.	179
7.2.1.2 Excentricidades en sentidos iguales y direcciones contrarias.	181
7.2.1.3 Excentricidad en sentidos y direcciones distintas.	183
7.2.2 Comparación del modelo sin excentricidad y con excentricidad bidireccional.	184
7.2.2.1 Excentricidades en sentidos y direcciones iguales.	186
7.2.2.2 Excentricidades en sentidos iguales y con direcciones contrarias.	188
7.3 Comparación de resultados de excentricidad bidireccional y excentricidad en un sentido.	188
7.3.1 Comparación entre excentricidades unidireccional (mismo sentido y dirección) y bidireccional (mismo sentido y dirección).	188
7.3.2 Comparación entre excentricidades unidireccional (mismo sentido y distinta dirección) y bidireccional (distintos sentido y dirección).	189
7.4 Comentarios finales al capítulo	191
CONCLUSIONES.	254
REFERENCIAS.	257

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO I	
1.1	Guía de comportamiento de sistemas de aislamiento de base 21
CAPÍTULO II	
2.1	Valores de los coeficientes para determina las excentricidades de diseño 37
CAPÍTULO III	
3.1	Principales características de los eventos sísmicos considerados 54
CAPÍTULO IV	
4.1	Periodos y frecuencias de los seis primeros modos de vibrar del modelo estructural 58
4.2	Eigenvectores de los seis primeros modos de vibrar del modelo estructural 58
4.3	Datos y valores obtenidos para el diseño de los aisladores a ubicarse en el modelo estructural en estudio 66
CAPÍTULO V	
5.1	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 4 81
5.2	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 4 81
5.3	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 13 82
5.4	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 13 82
5.5	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.05W$ en el aislador 4 84
5.6	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.1W$ en el aislador 4 84
5.7	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.05W$ en el aislador 13 85
5.8	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.1W$ en el aislador 13 85
CAPÍTULO VI	
6.1	Datos para determinar las coordenadas del CR 115
6.2	Fórmulas de rigidez efectiva de aislador para los distintos casos de excentricidad en un sentido 117
6.3	Fórmulas de rigidez efectiva de aislador para los distintos casos de excentricidad en ambos sentidos 119
6.4	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 4 125
6.5	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 4 125
6.6	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 13 126
6.7	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 13 126
6.8	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.05W$ en el aislador 4 128
6.9	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.1W$ en el aislador 4 128
6.10	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.05W$ en el aislador 13 129
6.11	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.1W$ en el aislador 13 129
6.12	Rigideces torsionales para el modelo con excentricidades bidireccionales 131
6.13	Rigideces torsionales para el modelo con excentricidades unidireccionales 132
CAPÍTULO VII	
7.1	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 4, caso I 178
7.2	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 4, caso I 178
7.3	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 13, caso I 179
7.4	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 13, caso I 179
7.5	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 4, caso II 180
7.6	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 4, caso II 180
7.7	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 13, caso II 181
7.8	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 13, caso II 181
7.9	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 4, caso III 182
7.10	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 4, caso III 182
7.11	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 13, caso III 183
7.12	Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 13, caso III 183
7.13	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.05W$ en el aislador 4, caso I 184
7.14	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.1W$ en el aislador 4, caso I 185

	I	
7.15	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.05W$ en el aislador 13, caso I	185
7.16	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.1W$ en el aislador 13, caso I	186
7.17	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.05W$ en el aislador 4, caso II	187
7.18	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.1W$ en el aislador 4, caso II	187
7.19	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.05W$ en el aislador 13, caso II	187
7.20	Factores de amplificación cuando e es en ambos sentidos y $V_y=0.1W$ en el aislador 13, caso II	188

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I		
1.1	Curva histerética clásica en un sistema aislador con comportamiento bilineal	23
1.2	Elastómero laminado	24
1.3	Elastómero laminado con corazón de plomo	24
1.4	Área de traslape	25
1.5	Aislador metálico tipo "U" (Skinner <i>et al.</i> , 1993)	25
1.6	Aislador metálico tipo "T" (Skinner <i>et al.</i> , 1993)	26
1.7	Aislador metálico tipo "E" (Skinner <i>et al.</i> , 1993)	26
1.8	Principio del péndulo. Superficie cóncava sobre la cual se desliza otra	27
1.9	Distinta ubicación de la superficie cóncava en los péndulos friccionantes	27
1.10	Aislador tipo GT-BIS (Villegas Jiménez, O, 1999)	28
CAPÍTULO II		
2.1	Planta con excentricidad exclusivamente en el sentido x	50
2.2	Planta con excentricidad en ambos sentidos	50
2.3	Grados de libertad por nivel, excentricidad bidireccional y rigideces	51
CAPÍTULO III		
3.1	Acelerogramas y espectros de respuesta del registro de la estación UNION, sismo del 19/09/85, $M_s=8.1$	55
3.2	Acelerogramas y espectros de respuesta del registro de la estación SMRZA, sismo del 25/04/89, $M_s=6.9$	55
3.3	Acelerogramas y espectros de respuesta del registro de la termoeléctrica Manzanillo, sismo del 09/10/95, $M_w=8.0$	56
CAPÍTULO IV		
4.1	Modelo en estudio	67
4.2	Vista tridimensional del modelo en estudio	68
4.3	Gráfica fuerza-desplazamiento para un aislador bilineal propuesta por el reglamento UBC	69
4.4	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a excitación E-W	70
4.5	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a excitación N-S	70
4.6	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ)	70
4.7	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W	71
4.8	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S	71
4.9	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional	71
4.10	Medición del ángulo de la dirección del desplazamiento máximo del aislador (α), de 0° a 180° a partir del eje x.	72
CAPÍTULO V		
5.1	Dimensión L de la planta tipo empleada para los porcentajes de excentricidad	88
5.2	Ubicación de los CR ante excentricidades unidireccionales (a) y bidireccional (b), respectivamente	89
5.3	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a excitación E-W, $e=0.05L$ en un sentido	90
5.4	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a excitación N-S, $e=0.05L$ en un sentido	90
5.5	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en un sentido	90

- 5.6 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 91
fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en un sentido
- 5.7 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 91
fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en un sentido
- 5.8 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 91
fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en un sentido
- 5.9 Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante acción 92
bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a excitación E-W, $e=0.05L$
en ambos sentidos
- 5.10 Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante acción 92
bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a excitación N-S, $e=0.05L$
en ambos sentidos
- 5.11 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción 92
bidireccional (θ), $e=0.05L$ en ambos sentidos
- 5.12 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 93
fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos
- 5.13 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 93
fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos
- 5.14 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 93
fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en ambos sentidos
- 5.15 Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante acción 94
bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a excitación E-W, $e=0.2L$
en un sentido
- 5.16 Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante acción 94
bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a excitación N-S, $e=0.2L$ en
un sentido
- 5.17 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción 94
bidireccional (θ), $e=0.2L$ en un sentido
- 5.18 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 95
fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en un sentido
- 5.19 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 95
fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en un sentido
- 5.20 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 95
fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en un sentido
- 5.21 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 96
fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en un sentido
- 5.22 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 96
fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en un sentido
- 5.23 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 96
fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en un sentido
- 5.24 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 97
fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en un sentido
- 5.25 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 97
fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en un sentido
- 5.26 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 97
fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en un sentido
- 5.27 Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación 98
bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en ambos
sentidos
- 5.28 Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación 98
bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en ambos
sentidos
- 5.29 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción 98
bidireccional (θ), $e=0.2L$ en ambos sentidos
- 5.30 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de 99
fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en ambos sentidos

5.31	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de	99
	fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en ambos sentidos	
5.32	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de	99
	fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en ambos sentidos	
5.33	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de	100
	fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en ambos sentidos	
5.34	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de	100
	fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en ambos sentidos	
5.35	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de	100
	fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en ambos sentidos	
5.36	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de	101
	fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos	
5.37	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de	101
	fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos	
5.38	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente del desplazamiento máximo y el de	101
	fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en ambos sentidos	
5.39	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	102
	excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	
	$V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4	
5.40	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	102
	excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	
	$V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4	
5.41	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	102
	excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	
	$V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4	
5.42	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	103
	excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	
	$V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4	
5.43	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	103
	excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	
	$V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4	
5.44	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	103
	excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	
	$V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4	
5.45	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	104
	excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	
	$V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13	
5.46	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	104
	excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	
	$V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13	
5.47	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	104
	excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	
	$V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13	
5.48	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	105
	excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	
	$V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13	
5.49	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	105
	excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	
	$V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13	
5.50	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	105
	excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	
	$V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13	
5.51	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	106
	excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con	

	bidireccional de UNION, en el aislador 13.	
5.70	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 13.	112
5.71	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 13.	112
5.72	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de UNION, en el aislador 13.	113
5.73	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 13.	113
5.74	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 13.	113
CAPÍTULO VI		
6.1	Disposición de los dos tipos de rigidez efectiva de aislador para determinar el CR cuando la excentricidad se da en el sentido x exclusivamente	135
6.2	Disposición de los dos tipos de rigidez efectiva de aislador para determinar el CR cuando la excentricidad se da en ambos sentidos	135
6.3	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en un sentido	136
6.4	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en un sentido	136
6.5	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante la acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en un sentido	136
6.6	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en un sentido	137
6.7	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en un sentido	137
6.8	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en un sentido	137
6.9	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en un sentido	138
6.10	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en un sentido	138
6.11	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante la acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en un sentido	138
6.12	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en un sentido	139
6.13	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en un sentido	139
6.14	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en un sentido	139
6.15	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en un sentido	140
6.16	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en un sentido	140
6.17	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en un sentido	140
6.18	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en un sentido	141
6.19	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en un sentido	141
6.20	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de	141

	fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en un sentido	
6.21	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos	142
6.22	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos	142
6.23	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante la acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en ambos sentidos	142
6.24	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos	143
6.25	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos	143
6.26	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en ambos sentidos	143
6.27	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.1L$ en ambos sentidos	144
6.28	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.1L$ en ambos sentidos	144
6.29	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante la acción bidireccional (θ), $e=0.1L$ en ambos sentidos	144
6.30	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en ambos sentidos	145
6.31	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en ambos sentidos	145
6.32	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en ambos sentidos	145
6.33	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.15L$ en ambos sentidos	146
6.34	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.15L$ en ambos sentidos	146
6.35	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante la acción bidireccional (θ), $e=0.15L$ en ambos sentidos	146
6.36	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en ambos sentidos	147
6.37	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en ambos sentidos	147
6.38	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en ambos sentidos	147
6.39	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos	148
6.40	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos	148
6.41	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante la acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en ambos sentidos	148
6.42	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos	149
6.43	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos	149
6.44	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de	149

	$V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 13	
6.81	Rigideces torsionales para excentricidades unidireccionales y bidireccionales	162
6.82	Relación entre los desplazamientos dinámicos máximos registrados cuando la excentricidad se presenta en la superestructura con aquellos obtenidos cuando la excentricidad se presenta en el sistema de aislamiento, para el aislador 4 y ante la acción de UNION	163
6.83	Relación entre los desplazamientos dinámicos máximos registrados cuando la excentricidad se presenta en la superestructura con aquellos obtenidos cuando la excentricidad se presenta en el sistema de aislamiento, para el aislador 4 y ante la acción de SMRZA	163
6.84	Relación entre los desplazamientos dinámicos máximos registrados cuando la excentricidad se presenta en la superestructura con aquellos obtenidos cuando la excentricidad se presenta en el sistema de aislamiento, para el aislador 4 y ante la acción de TMANZ	163
6.85	Relación entre los desplazamientos dinámicos máximos registrados cuando la excentricidad se presenta en la superestructura con aquellos obtenidos cuando la excentricidad se presenta en el sistema de aislamiento, para el aislador 13 y ante la acción de UNION	164
6.86	Relación entre los desplazamientos dinámicos máximos registrados cuando la excentricidad se presenta en la superestructura con aquellos obtenidos cuando la excentricidad se presenta en el sistema de aislamiento, para el aislador 13 y ante la acción de SMRZA	164
6.87	Relación entre los desplazamientos dinámicos máximos registrados cuando la excentricidad se presenta en la superestructura con aquellos obtenidos cuando la excentricidad se presenta en el sistema de aislamiento, para el aislador 13 y ante la acción de TMANZ	164

CAPÍTULO VII

7.1	Excentricidades en un sentido de los CR con respecto a los CM, tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento, en el mismo sentido y dirección	193
7.2	Excentricidades en un sentido de los CR con respecto a los CM, tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento, en el mismo sentido pero con diferente dirección	194
7.3	Excentricidades en un sentido de los CR con respecto a los CM, tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento, en distintos sentidos y direcciones	194
7.4	Excentricidades en un sentido de los CR con respecto a los CM, tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento, con iguales sentidos y direcciones	195
7.5	Excentricidades en un sentido de los CR con respecto a los CM, tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento, con igual sentido y direcciones contrarias	195
7.6	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en un sentido, caso I	196
7.7	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en un sentido, caso I	196
7.8	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en un sentido, caso I	196
7.9	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en un sentido, caso I	197
7.10	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en un sentido, caso I	197
7.11	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en un sentido, caso I	197
7.12	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en un sentido, caso I	198
7.13	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación	198

	bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en un sentido, caso I	
7.14	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en un sentido, caso I	198
7.15	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en un sentido, caso I	199
7.16	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en un sentido, caso I	199
7.17	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en un sentido, caso I	199
7.18	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en un sentido, caso I	200
7.19	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en un sentido, caso I	200
7.20	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en un sentido, caso I	200
7.21	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en un sentido, caso I	201
7.22	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en un sentido, caso I	201
7.23	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en un sentido, caso I	201
7.24	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en un sentido, caso II	202
7.25	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en un sentido, caso II	202
7.26	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en un sentido, caso II	202
7.27	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en un sentido, caso II	203
7.28	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en un sentido, caso II	203
7.29	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en un sentido, caso II	203
7.30	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en un sentido, caso II	204
7.31	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en un sentido, caso II	204
7.32	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en un sentido, caso II	204
7.33	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en un sentido, caso II	205
7.34	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en un sentido, caso II	205
7.35	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en un sentido, caso II	205
7.36	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en un sentido, caso II	206
7.37	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en un sentido, caso II	206
7.38	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en un sentido, caso II	206

7.39	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en un sentido, caso II	207
7.40	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en un sentido, caso II	207
7.41	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en un sentido, caso II	207
7.42	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en un sentido, caso III	208
7.43	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en un sentido, caso III	208
7.44	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en un sentido, caso III	208
7.45	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en un sentido, caso III	209
7.46	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en un sentido, caso III	209
7.47	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en un sentido, caso III	209
7.48	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en un sentido, caso III	210
7.49	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en un sentido, caso III	210
7.50	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en un sentido, caso III	210
7.51	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en un sentido, caso III	211
7.52	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en un sentido, caso III	211
7.53	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en un sentido, caso III	211
7.54	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en un sentido, caso III	212
7.55	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en un sentido, caso III	212
7.56	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en un sentido, caso III	212
7.57	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en un sentido, caso III	213
7.58	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en un sentido, caso III	213
7.59	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en un sentido, caso III	213
7.60	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos, caso I	214
7.61	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos, caso I	214
7.62	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en ambos sentidos, caso I	214
7.63	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos, caso I	215

7.64	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos, caso I	215
7.65	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en ambos sentidos, caso I	215
7.66	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos, caso I	216
7.67	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos, caso I	216
7.68	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en ambos sentidos, caso I	216
7.69	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en ambos sentidos, caso I	217
7.70	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en ambos sentidos, caso I	217
7.71	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en ambos sentidos, caso I	217
7.72	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en ambos sentidos, caso I	218
7.73	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en ambos sentidos, caso I	218
7.74	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en ambos sentidos, caso I	218
7.75	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos, caso I	219
7.76	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos, caso I	219
7.77	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en ambos sentidos, caso I	219
7.78	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos, caso II	220
7.79	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos, caso II	220
7.80	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en ambos sentidos, caso II	220
7.81	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos, caso II	221
7.82	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos, caso II	221
7.83	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en ambos sentidos, caso II	221
7.84	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos, caso II	222
7.85	Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos, caso II	222
7.86	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en ambos sentidos, caso II	222
7.87	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en ambos sentidos, caso II	223
7.88	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en ambos sentidos, caso II	223

7.89	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de	223
	fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en ambos sentidos, caso II	
7.90	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de	224
	fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en ambos sentidos, caso II	
7.91	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de	224
	fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en ambos sentidos, caso II	
7.92	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de	224
	fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en ambos sentidos, caso II	
7.93	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de	225
	fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos, caso II	
7.94	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de	225
	fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos, caso II	
7.95	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de	225
	fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en ambos sentidos, caso II	
7.96	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	226
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.05W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4, caso I	
7.97	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	226
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.05W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4, caso I	
7.98	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	226
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.05W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4, caso I	
7.99	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	227
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.1W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4, caso I	
7.100	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	227
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.1W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4, caso I	
7.101	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	227
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.1W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4, caso I	
7.102	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	228
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.05W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13, caso I	
7.103	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	228
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.05W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13, caso I	
7.104	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	228
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.05W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13, caso I	
7.105	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	229
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.1W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13, caso I	
7.106	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	229
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.1W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13, caso I	
7.107	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	229
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.1W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13, caso I	
7.108	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	230
	excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.05W$, e en un	
	sentido, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4, caso II	
7.109	Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de	230

INTRODUCCIÓN

En gran parte del territorio mexicano la actividad sísmica es frecuente y recurrente, debido sobre todo al fenómeno de subducción de placas tectónicas en la costa del Pacífico; generando eventos sísmicos de grandes magnitudes ($M_s > 7.0$). Debido a dicha ocurrencia sísmica se estudian actualmente en México técnicas y metodologías sismorresistentes que modifican las filosofías de diseño contenidas en los reglamentos vigentes. Entre las técnicas para controlar la respuesta sísmica estructural se encuentra el aislamiento de base, cuya aplicación en el mundo está incrementándose. Con el aislamiento basal se logra que la respuesta de los edificios ante excitación sísmica se vea notablemente disminuida, principalmente en zonas donde el terreno sea firme.

Como parte de una investigación amplia y detallada que tiene como fin establecer criterios de diseño y reglamentación del aislamiento de base en México, el presente trabajo tiene como objetivo el estudio de la torsión sísmica en edificios aislados. Para lo anterior se propuso un modelo estructural aislado en su base, de tres niveles y simétrico en planta; en cual se presentaron diversas excentricidades de los centros de rigidez con respecto a los centros de masas (en un sentido y bidireccionalmente) en los niveles de la superestructura, en el sistema de aislamiento y en ambos casos conjuntamente.

En la literatura se ha reportado que si el diseño de aisladores es adecuado, el comportamiento de la superestructura es elástico con demandas de deformación reducidas. Por lo anterior, el presente estudio está enfocado en el comportamiento del sistema de aislamiento para estudiar el impacto de la torsión, empleando como parámetros de evaluación a los desplazamientos máximos del aislador a nivel individual y espacial (el conjunto del sistema de aislamiento), las demandas de ductilidad (μ) con respecto al límite asociado a la propuesta del UBC, para garantizar un comportamiento mecánico adecuado del sistema de aislamiento, así como la amplificación observada en las respuestas máximas a partir de comparar la respuesta del sistema asimétrico (con torsión) con respecto a sistemas de referencia donde no se presenta torsión: igualmente, se estudian las amplificaciones observadas al considerar la acción bidireccional de los movimientos del terreno con respecto a considerar acción unidireccional exclusivamente.

La presente tesis está conformada por preliminares y ocho capítulos. En preliminares se tiene resumen, abstract, listas de tablas y figuras e introducción. Los capítulos I y II son informativos sobre el concepto de aislamiento, estudios previos en México y tipos de aisladores (capítulo I), y sobre el concepto de torsión en general, torsión en base aislada y los estudios previos correspondientes (capítulo II). En el capítulo III se muestra brevemente una descripción de los registros acelerográficos empleados en el estudio, mostrando tanto los acelerogramas como los espectros de respuesta.

El capítulo IV inicia con el investigación formal, mostrando el modelo simétrico de referencia, ejecutando los análisis dinámicos basados en un diseño simplificado de los aisladores, y donde se muestran los resultados de los desplazamientos máximos (y sus

ángulos) de los aisladores relacionados con los de fluencia. En el capítulo V se presenta la influencia de la excentricidad en la superestructura en el modelo, modificando la excentricidad en uno y ambos sentidos de la planta estructural y a diferentes distancias de los centros de masa; posteriormente se comparan los resultados obtenidos con aquellos encontrados cuando el modelo no presentaba excentricidad, nuevamente se observaron los desplazamientos máximos y los de fluencia de los aisladores y se normalizaron con distintos parámetros. En el capítulo VI se estableció la misma metodología, pero se consideró ahora que la excentricidad se presentaba exclusivamente en el sistema de aislamiento, que al igual que en el capítulo V, se modificó la excentricidad en uno y ambos sentidos de la planta del sistema de aislamiento y a diferentes distancias del centro de masa; evaluando los parámetros de comportamiento ya señalados. Finalmente, en el capítulo VII se realizó el estudio determinando que la excentricidad se presentaba tanto en el sistema de aislamiento como en la superestructura al mismo tiempo, combinando excentricidades en la superestructura y en la base; primero en el mismo eje vertical, después variando las posiciones de excentricidad verticalmente hablando; todo esto variando, como en los capítulos previos, las distancias desde los centros de masas y modificando el ángulo de ubicación de las distancias de excentricidad. Los parámetros evaluados son los ya descritos anteriormente. Por último en el capítulo VIII se presentan las conclusiones alcanzadas con este estudio.

El trabajo se realizó bajo el patrocinio del CONACyT.

CAPÍTULO I

NOCIONES SOBRE EL AISLAMIENTO SÍSMICO

1.1 AISLAMIENTO SÍSMICO: GENERALIDADES.

1.1.1 Concepto.

Con la ocurrencia aleatoria de eventos sísmicos se generan fuerzas y deformaciones horizontales que actúan sobre las construcciones causando efectos dañinos tanto en ellas como en sus contenidos. Dado que estas excitaciones pueden provocar la vulnerabilidad de los sistemas estructurales, para contrarrestarlas, el diseño sismo-resistente tradicional provee a los elementos estructurales una rigidez y capacidad de deformación que les permite soportar las fuerzas inducidas por el movimiento sísmico.

Una solución alternativa, en voga actualmente, para la mitigación del efecto de los temblores es el aislamiento sísmico, donde se desliga a la estructura del movimiento del terreno. Los aisladores se ubican generalmente entre la cimentación y la estructura, y trabajan de forma que la deformación inducida por el temblor se concentre casi exclusivamente en la zona de aislamiento, disminuyendo los efectos en la superestructura, donde podrían amplificarse las deformaciones de acuerdo con las características dinámicas de la misma. El comportamiento de un aislador sísmico se rige por la introducción de un dispositivo que cuenta con baja rigidez lateral y alta rigidez vertical, con lo cual el periodo natural de la construcción aumenta, llevando a la estructura desplazada en suelo firme a zonas de demandas reducidas. Adicionalmente, los aisladores funcionan también como un amortiguador o disipador de energía, con el que es posible establecer un control en los

desplazamientos relativos entre el suelo y la estructura. Asimismo, deben proporcionar cierta rigidez lateral necesaria ante cargas pequeñas como viento o sismos de intensidades bajas, desplazándose los aisladores con amplitudes prácticamente imperceptibles en los edificios. Es importante hacer notar que estos sistemas son adecuados para emplearse en estructuras desplantadas en sitios con suelos firmes (periodos naturales de vibración cortos); con el aislamiento los periodos de las estructuras aumentan, alejándolas de los periodos donde se encuentran las mayores amplificaciones del terreno inducidas por la acción de movimientos intensos; como ejemplo se tienen amplias zonas del Pacífico mexicano. En la parte contraria, si se usan estos sistemas en lugares como el lago del Valle de México, podría provocarse que al semejarse los periodos fundamentales del terreno y del edificio aislado se presentara el fenómeno de resonancia.

Descripciones más detalladas sobre los sistemas de aislamiento, sus características y su desarrollo se puede encontrar en Skinner *et al.* (1993) y Kelly (1993).

1.1.2 Aislamiento sísmico en el mundo.

El empleo del aislamiento basal se ha intensificado en los años recientes gracias a una aceptación en constante aumento y al crecimiento tecnológico de aspectos tales como (Buckle *et al.*, 1990):

- Pruebas experimentales y desarrollo de materiales modernos (hule, acero, etc.).
- Pruebas en mesas vibratoras que simulen los efectos de eventos reales registrados en distintos tipos de estructuras.
- Análisis estructural dinámico por computadora, con el que se puede predecir el comportamiento de los edificios y determinar los parámetros de diseño en forma rápida y eficaz.
- Habilidad de estimar las características del movimiento del terreno en lugares específicos por parte de los sismólogos, con lo que se puede hacer un mejor análisis del sistema de aislamiento.

Existen en el planeta más de cuatrocientas estructuras aisladas sísmicamente. Prevalece el empleo de elastómeros laminados (placas de acero con hule vulcanizado) como

proveedores de la flexibilidad necesaria, presentes en el 95% de los aisladores en el mundo (UBC, 1993). El 5% restante está dado por distintos tipos de aisladores como péndulos friccionantes (donde la fricción es una fuente importante de disipación energética, pero presentando problemas de autocentrado), resortes de acero coloidal y otros menos comunes. Entre los países con mayor auge en esta técnica sismo-resistente se tienen:

a) Japón.

El primer edificio aislado es la Casa Residencial de Yachiyodai en 1982 (Skinner *et al.*, 1993). El gobierno japonés invierte grandes sumas en Universidades e Institutos para la investigación de técnicas de aislamiento y comportamiento de edificaciones ya aisladas. Se cuenta con el edificio más extenso del mundo con base aislada en Ciudad Fucha, Tokio; cuenta con siete niveles y ático, con un área total de planta de 37,846 m²; fue aislado con elastómeros laminados con corazón de plomo, de 110 a 115 centímetros de diámetro. El número de estructuras aisladas en el Japón es de más de trescientas (Kelly, 1999).

b) Estados Unidos.

La primera estructura aislada fue el Centro de Ley y Justicia de la Comunidad (1986) en San Bernardino, California; tiene cuatro niveles y ático, su altura es de 25.5 metros; está dotado de tres sistemas de resistencia de fuerza lateral: armazón de acero en los niveles superiores, muros de cortante de concreto en el nivel inferior y sótano y aisladores sísmicos en la cimentación; el sistema de aislamiento está compuesto por 98 elastómeros con un diámetro de 76.2 centímetros y altura de 45.7 centímetros (Maison *et al.*, 1992). En este país el aislamiento no tuvo en un principio mucha aceptación, pero actualmente genera gran interés; sobre todo a raíz de que fue considerado dentro de los códigos de construcción regionales y nacionales. Según el UBC (1993), existen 47 estructuras aisladas y 26 estaban en proyecto, 14 para recimentaciones y 12 para diseños originales (Kelly, 1993). Hasta 1999 existían alrededor de 106 puentes y 38 edificios aislados en los Estados Unidos (Tena, 2000).

c) Nueva Zelanda.

Se han empleado aisladores fundamentalmente en puentes. La primera estructura aislada fue el Edificio William Clayton, en Wellington. Es en Nueva Zelanda donde se inventaron los elastómeros con corazón de plomo (Skinner *et al.*, 1993). Cuentan con 45 edificios y puentes aislados (UBC, 1993).

d) Italia.

Es otro de los lugares que emplea considerablemente este sistema. Aunque la técnica no se ha acrecentado tanto, existen ya varios ejemplos, principalmente en puentes. Cuentan con 68 puentes y al menos tres edificios bajo construcción (Tena-Colunga *et al.*, 1997a).

e) Otros países.

Existen aplicaciones en otros países como: Francia (dos plantas nucleares, una escuela y un microscopio), Rusia (varias decenas de ejemplos con distintos tipos de aisladores rudimentarios), Macedonia (ex-Yugoslavia, primer edificio con fundamentos de elastómero en Skopje), Grecia (desarrollo del sistema Alexisismo en la Universidad de Patras), Chile, Sudáfrica, Rumania, Irán, Irak, Inglaterra, China, Canadá y México.

1.1.3 Aislamiento sísmico en México.

Dada la fuerte actividad sísmica que se registra en gran parte de nuestro país, resulta de interés el impulsar técnicas innovadoras que reduzcan la vulnerabilidad de las construcciones. Estas investigaciones se encuentran aún en etapa desarrollo, ya que a pesar de atraer la mirada de investigadores e ingenieros de la práctica, persiste cierto escepticismo por parte de las autoridades para su uso en edificios y las grandes compañías nacionales no están dispuestas a invertir dinero en una tecnología que no ha sido usada previamente, además de que la Ciudad de México no es el sitio idóneo para su uso por las condiciones de suelo blando en la zona del lago, donde los periodos naturales del suelo son largos y el uso de aisladores podría provocar resonancia (Tena-Colunga *et al.*, 1997).

Actualmente existen cuatro estructuras aisladas en la zona del Valle del México (Tena-Colunga *et al.*, 1997): una escuela de cuatro niveles, una iglesia (con un mecanismo aislador deslizante), la prensa del periódico Reforma (con un sistema aislador basado en la acción pendular desarrollada por Garza Tamez) y el puente vehicular Hidalgo-San Rafael sobre la autopista México-Queretaro en Cuautitlán; todas están ubicadas en suelos de transición o firmes. Asimismo se han empezado a desarrollar sistemas de aislamiento en otras zonas del país, como un edificio en Guadalajara, empleando también el sistema de Garza Tamez (GT-BIS). A pesar de lo relativamente poco logrado hasta ahora, en México

podrían aplicarse ampliamente estos dispositivos, ya que gran parte de su territorio está en zonas con gran sismicidad y terreno firme.

Los estudios realizados sobre el comportamiento del aislamiento sísmico en México se pueden agrupar en diversas categorías, ellos son los siguientes, de acuerdo a la bibliografía recabada por el autor.

DESARROLLO DE SISTEMAS AISLADORES.

Se desarrolló y patentó un mecanismo de aislamiento conocido como **GT-BIS**, el cual está integrado por aisladores basados en la acción pendular, gracias a los cuales se lleva a cabo los desplazamientos relativos entre cimentación y superestructura; amortiguadores hidráulicos, con los que se controla la adecuada disipación de energía; y un perno que impide desplazamientos relativos ante cargas pequeñas y se desengancha al iniciar un temblor. De acuerdo con Foutch, este sistema fue probado en la Universidad de Illinois (Muñoz, 1995) mediante un modelo a escala que se sometió a la acción de cuatro sismos: Taft, El Centro, Parkfield y el acelerograma **SCT-EW** del sismo del 19 de septiembre de 1985, variando el amortiguamiento hidráulico para lograr valores del orden del 5% al 30% del amortiguamiento crítico. Se observó el comportamiento de péndulo simple del edificio durante la excitación y que las fuerzas cortantes basales sufrieron reducciones de hasta el 95% de las que se presentan en el caso de base rígida, además, las distorsiones de entrepiso fueron muy pequeñas. Posteriormente, se llevó a cabo un estudio analítico comparativo entre dos estructuras (una de concreto, otra de acero) con características similares, de mediana altura y desplantadas en zona III (según reglamento del Distrito Federal), ambas se analizaron en dos casos, base rígida y base aislada con **GT-BIS**. Entre los resultados obtenidos se encontró que la disminución en el efecto de la fuerza sísmica y en los desplazamientos relativos fue importante para las dos edificaciones, también se observó que las superestructuras mantienen un comportamiento dentro del intervalo lineal. Con lo anterior se evidenció que a pesar de la disminución en el uso de concreto para edificios mayores de seis pisos en la última década debido a las posibles altas distorsiones de entrepiso, es aceptable y ventajoso su empleo al implantar este sistema aislador y reducir los costos que implicaría el empleo de acero (Garza Tamez, 1995).

ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON AISLAMIENTO Y RELACIÓN COSTO-BENEFICIO.

A partir de las características del sistema aislador-disipador ubicado en la Escuela Secundaria No. 168 en la Ciudad de México, descrito en la literatura por González Flores, se realizó un estudio comparativo de análisis y costo inicial de estructuras del mismo tipo

(escuelas de cuatro niveles) con base rígida y con base aislada modeladas con marcos bidimensionales y ubicadas una en zona de transición en la Ciudad de México y otra en suelo firme en Acapulco, Guerrero. El análisis se sujetó a los lineamientos de los reglamentos de Guerrero y del D. F., empleando como fuentes de excitación familias de acelerogramas registrados en las estaciones Pellandini en Acapulco y Viveros en el D. F. En los resultados se muestra que en las estructuras empotradas se forman más articulaciones plásticas que en las aisladas y que los edificios con aislamiento se rigen por un comportamiento totalmente elástico ante movimiento del terreno. La respuesta estructural resultó más adecuada en el caso de periodos de vibración del terreno predominantemente bajos, donde los cortantes de diseño se reducen aproximadamente 50% con respecto a los que se obtienen si estuviese el edificio empotrado; para la zona de transición éstos son del orden del 40%. En cuanto al costo total de la construcción se presenta un incremento del 6.3% con respecto al que se obtiene con base rígida para la zona de transición; para la zona de suelo firme, éste fue de 5.24% (Sosa y Ruiz, 1992).

Existen estudios analíticos tridimensionales donde se muestran las características de comportamiento de edificios desplantados en terreno firme y con distintos tipos de aisladores basales sujetos a eventos sísmicos de gran magnitud y gran contenido de energía liberada, originados en la zona de subducción del Pacífico mexicano (que difieren en duración, fase intensa y energía liberada a los ocurridos en otras partes del mundo donde existían estudios previos); así como los lineamientos a seguir para el diseño de los distintos tipos de aisladores empleados (elastómeros y amortiguadores metálicos) basándose en propuestas registradas en la literatura, como Skinner *et al.* (1993). Se comprobó una menor respuesta dinámica de las estructuras aisladas excitadas por los acelerogramas del Pacífico que aquellas con base rígida. Se encontró que en los elastómeros se presentan dificultades en la estabilidad dinámica al registrarse eventos epicentrales, además de que ante efecto torsional la efectividad disminuye. El comportamiento observado de las estructuras fue elástico durante todo el evento, con lo que se disminuyen los daños estructurales y no estructurales, elevando la seguridad, además de presentarse una disminución en el uso de acero y concreto (Muñoz, 1995; Tena *et al.*, 1995; Gómez-Soberón *et al.*, 1996; Tena *et al.*, 1997).

ESTUDIOS COMO PROYECTO DE REPARACIÓN.

De acuerdo a las recomendaciones dadas por el UBC, se elaboró un estudio de aislamiento sísmico con elastómeros y péndulos de fricción en tres edificios de tres niveles, típicos del sistema de escuela pública desarrollados en México de acuerdo al reglamento de

1976, para poder comprobar la efectividad de estos mecanismos sismo-reductores en el caso de reparación o mejoramiento de la conducta estructural ante la acción de un temblor. Entre los alcances obtenidos se notó que ambos dispositivos (elastómeros y péndulos) exhibían comportamientos similares, donde los cortantes basales y los desplazamientos fueron ampliamente restringidos. Como conclusión general se anota: los aisladores basales trasladan a la estructura a ordenadas de menor amplitud, reduciendo la posibilidad de daño estructural en las construcciones, para los registros sísmicos empleados en este estudio (Rojas y Jara, 1996). Otro estudio referente a la reparación de edificios utilizando elementos de aislamiento se presenta en Tena-Colunga (1996), donde se lleva a cabo una comparación con otra técnica de reparación de uso común en México, como es el empleo de cables de acero de presfuerzo; al realizar la investigación se comprobó que, para los casos analizados, el aislamiento resulta ser una alternativa atractiva en cuanto a que mejora el comportamiento estructural.

ESTUDIOS QUE TOMAN EN CUENTA LAS CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO.

Se examinó la respuesta dinámica de una estructura de concreto de nueve niveles dotada con aisladores sísmicos de tipo elastómero NZ, con corazón de plomo (tipo histerético bilineal), y ubicada en zona de transición en la Ciudad de México, excitada por la acción de tres acelerogramas: El Centro, SCT y Ebro (acelerograma artificial), teniendo en cuenta la interacción suelo-estructura. Entre los alcances observados en la investigación se encontró una gran variación en la respuesta del sistema de aislamiento elegido al someterlo a la acción de registros con propiedades dinámicas perceptiblemente distintas, por lo cual se concluyó que la elección de los parámetros de un aislador de base de tipo histerético están sujetos a las particularidades dinámicas tanto del edificio considerado como del movimiento del terreno. Por lo que se deriva que el aislamiento tiene condiciones más favorables para el edificio estudiado cuando se sujeta a sismos con periodos cortos que se generan en terreno firme (El Centro) o de transición (Ebro), caso contrario a lo acontecido con excitaciones de periodo largo (SCT), donde su práctica no es eficiente (González y Noguez, 1994).

ESTUDIOS DE LAS APLICACIÓN DEL AISLAMIENTO EN PUENTES.

García *et al.* (1997) realizaron un estudio para establecer la influencia de apoyos elastoméricos (utilizados para acomodar movimientos provocados por flujo plástico y expansión térmica), diseñados bajo las normas AASHTO y el Código Británico, sobre el comportamiento no lineal de modelos estructurales de puentes de concreto (puente 5 de Mayo en Toluca y un puente de tres claros continuos con vigas de sección cajón); y se hizo

una comparación con resultados obtenidos con modelos lineales. Se estableció una clasificación de la respuesta de puentes ante sismo en tres grupos, de acuerdo a la amplitud, que son: baja amplitud (intervalo elástico, adopción de análisis modal espectral), amplitud moderada (algunos miembros estructurales incursionan en el intervalo inelástico, análisis no lineal paso a paso, no es aplicable el principio de superposición) y gran amplitud (comportamiento no lineal geométrico, no práctico ya que estos desplazamientos no se admiten en el diseño de puentes). Como excitación se emplearon las tres componentes del registro de Zacaula, Guerrero, del sismo de septiembre de 1985; se eligió este registro debido a la importancia de su componente vertical.

Entre los resultados observados con el análisis se encontró un importante incremento en la flexibilidad de los modelos con la inclusión de los elastómeros, reduciendo la respuesta sísmica; se presentaron mayores desplazamientos horizontales y verticales en los análisis lineales (sobre todo cuando tienen apoyos elastoméricos). Se observó que ningún elemento estructural de los puentes en estudio incursionó en el intervalo inelástico, por lo que se concluye que se continua con la práctica de sobrediseño, especialmente en las traveses de la superestructura. Se recomienda considerar en el análisis de puentes las tres componentes del movimiento sísmico para tener en cuenta posibles acoplamientos en modos superiores. Los análisis modales espectrales presentan resultados conservadores, por lo que se sugiere realizar análisis de historia en el tiempo. En puentes se debe tener en cuenta el comportamiento de modos superiores en el análisis paso a paso para una mejor definición de la respuesta estructural. (García *et al.*, 1997)

REGLAMENTACIÓN

Se ha estimado la aplicación de un método de diseño estático para estructuras aisladas sísmicamente en su base y ubicadas en el estado de Guerrero. El método estático se basó en lo planteado por el UBC (1993) adecuándolo a las condiciones propias de México (registros, espectro de diseño del reglamento de Guerrero). Con este método se diseñaron elastómeros con y sin corazón de plomo y al someterlos a la carga sísmica generada por eventos de importancia se comprobó la efectividad de estos sistemas, ya que se logró una disminución importante de las respuestas dinámicas, manteniendo estabilidad ante los desplazamientos máximos permisibles, sujetando así a los edificios a un comportamiento lineal, inhibiendo los daños en los elementos estructurales y no estructurales en caso de ocurrencia sísmica, otorgando mayor nivel de seguridad, y generando menores cortantes de diseño que los que ocurren cuando las construcciones están sujetas al método tradicional rígido; amén de todo lo anterior, se encontró una importante disminución en las cantidades

de acero y concreto empleadas en vigas y columnas. También se encontró que se debe restringir el uso de aisladores en edificios que presenten plantas muy alargadas (Gómez 1996; Tena, Gómez y Salazar, 1997; Tena y Gómez, 1997 y Tena, 1997).

Existe asimismo un estudio innovador para llevar a cabo el diseño de aisladores sísmicos sobre la base de un espectro tripartita de capacidad propuesto por Tena con el que se logra un diseño de estructuras aisladas de tipo más sencillo y fiable (Tena, Gómez y Salazar, 1997; Salazar, 1998; Tena, 2000). El espectro tripartita se creó a partir de una base de datos representativa de temblores de reciente ocurrencia registrados en varias estaciones ubicadas en suelo firme. Estos espectros relacionan respuestas máximas no lineales de aceleración, velocidad y desplazamiento con periodos efectivos de aislamiento para sistemas de comportamiento histerético bilineal donde se conocen los cortantes de fluencia y las pendientes posteriores a la fluencia. A partir del espectro tripartita se realizaron el análisis y diseño de los aisladores en varios edificios y se verificó la reducción en la respuesta estructural (Tena, Gómez y Salazar, 1997; Salazar, 1998; Tena, 2000). También se desarrolló un estudio sobre la adecuación a las características mexicanas (zona I del estado de Guerrero) del método dinámico de diseño de aisladores de base propuesto por el **UBC**, planteando ecuaciones para el cálculo de los desplazamientos de diseño para diversos niveles de amortiguamiento basadas en espectros elásticos de desplazamiento de diversos acelerogramas reales y artificiales; se realizaron análisis dinámicos no lineales paso a paso para establecer la confiabilidad de la propuesta, encontrando respuestas satisfactorias (Villegas, 1999; Villegas y Tena, 1999; Villegas-Jiménez y Tena Colunga, 2000).

1.1.4 Reglamentación.

Un reglamento o código de construcción marca los lineamientos a los que se debe apegar el análisis, diseño detallado y construcción de edificaciones en sus distintos aspectos y posibilidades, garantizando así la seguridad y el buen comportamiento estructural, todo esto dentro de un marco legal. Estos escritos se basan en los conocimientos alcanzados fundamentados en estudios de investigación, en prácticas reales y en criterio ingenieril.

En diversos países como E.E. U.U. y Nueva Zelanda se cuenta ya con recomendaciones sobre el diseño de estructuras aisladas sísmicamente en su base en los

reglamentos de diseño sísmico. En el caso particular de México existen distintos reglamentos en los que existen apartados referentes a la acción sísmica; sin embargo, no se tiene aún una sección inherente al aislamiento sísmico basal como en otros países. Por ello es necesario un mayor desarrollo de estudios relativos al tema para poder agruparlos y proponer una reglamentación sobre aislamiento para las características propias de los sistemas constructivos de México, así como para el tipo de sollicitaciones sísmicas que se generan en nuestro país. En la literatura se encuentran ya algunos estudios encaminados al establecimiento de una reglamentación de este tipo en nuestro país (Gómez, 1996; Tena, Gómez y Salazar, 1997; Tena y Gómez, 1997; Tena, 1997; Villegas, 1999; Villegas y Tena, 1999; Villegas-Jiménez y Tena-Colunga, 2000).

1.1.5 Criterios de estabilidad.

De acuerdo a Hadjian y Tseng, para que un aislador sísmico trabaje de acuerdo con los objetivos para que fuera creado, debe cumplir las siguientes condicionantes (Muñoz, 1995):

a) Estabilidad estructural.

En caso de no poder aislar todas las componentes de un movimiento sísmico, mínimamente debe hacerse en la dirección crítica; no olvidando que tanto la rigidez como la resistencia y la ductilidad sean las adecuadas para que, en el aspecto general, se mantenga la estabilidad en la edificación.

b) Intervalo de ejecución.

La facultad aislante se mantendrá ante una amplia gama de cargas sísmicas con intensidades y frecuencias variables, ya que no son predecibles los valores con los que un movimiento actuará sobre una estructura ubicada en un sitio específico.

c) Capacidad de reserva.

Si ocurre una falla, ésta no debe de ser muy superior a los límites que se plantearon en el diseño, para así no poner en peligro a los restantes componentes estructurales.

d) Continuidad en la capacidad aislante.

Tras un sismo principal de gran magnitud, el aislador no debe de requerir reparación o reemplazo alguno para resistir sin ningún problema las posibles réplicas que se presentasen, dando así mayor grado de confiabilidad.

e) Adaptación ante condiciones adversas.

Tiene que habituarse, en lo posible, a distintos tipos de superficies (lisas, inclinadas, mixtas, con fallas de nivelación, etc.), irregularidades en la carga que soporta el aislador, variación de temperatura, cambio de humedad, impactos inesperados, etc.

f) Interacción con estructuras vecinas.

Se deberá comportar de manera independiente, no existiendo interacción alguna con estructuras vecinas, ya que esto llegaría a perjudicar al sistema, produciendo choques o hundimientos.

g) Pronóstico de respuesta y flexibilidad de diseño ante sollicitaciones.

La excitación sísmica en una edificación que cuente con aislador de base provocará una respuesta; la cual, a falta de algún mecanismo de seguridad contra la falla, debe de ser predecible y estar dentro del límite establecido en el proyecto.

h) Capacidad de disipación de energía.

Para evitar una amplificación excesiva de la respuesta dinámica, el aislador cuenta con un amortiguador de energía que hace que ésta sea disipada por histéresis, es decir, la compensación entre las curvas de carga y descarga sujetas a ciclos de esfuerzo. En la figura 1.1 se puede observar una curva histerética, relacionada con la disipación energética de la que se hace mención.

1.2 TIPOS DE AISLADORES.

Ya que la carga horizontal es generadora de importantes problemas en las construcciones, el uso de los aisladores es favorecedor porque ayudan a que al producirse un movimiento lateral del suelo, las estructuras no sufran desplazamientos en este sentido ante la sollicitación sísmica. Debido a avances tecnológicos, fue posible el desarrollo de distintos tipos de aisladores con diferentes materiales, entre los más importantes se tienen:

- Elastómeros.
- Amortiguadores metálicos.
- Péndulos de fricción.
- Sistemas colgantes (GT-BIS).
- Amortiguadores por extrusión.
- Otros.

A continuación se describirá brevemente algunos sistemas de aislamiento.

1.2.1 Elastómeros.

En la actualidad, según la literatura disponible, los elastómeros son el sistema de aislamiento más empleado en todo el mundo; esto debido a que son ya un producto comercial industrializado y establecido mundialmente, además del buen comportamiento que han registrado. Los elastómeros o **LRB** (*Laminated Rubber Bearing*) consisten en elementos cilíndricos o cúbicos compuestos por placas delgadas de acero vulcanizadas con hule (natural o sintético) en ambos lados, formando así capas alternas (hule-acero) sobre las que descansa el edificio. El hule tiene como función aplicar una fuerza restitutiva que coloque a la edificación en su posición original después de una excitación (Skinner *et al.*, 1993). Los elastómeros son apoyos rígidos en la dirección vertical y flexibles en la horizontal, con lo que ante la carga sísmica se aísla al edificio de la componente horizontal del movimiento del terreno, mientras que la vertical se transmite íntegramente. En la figura 1.2 se muestra un elastómero laminado tradicional.

Este tipo de aislador no presenta un amortiguamiento significativo, por lo que para aumentarlo se crearon dos tipos de aisladores, los llamados elastómeros de alto amortiguamiento **HD-LRB** (*High Damping Laminated Rubber Bearing*) y los elastómeros con corazón de plomo, nombrados **LRB-NZ** o simplemente **NZ** (*New Zealand*), llamado así ya que fue en Nueva Zelanda donde se aplicó por vez primera en 1975 por W. H. Robinson (Skinner *et al.*, 1993). El **LRB-NZ** cuenta con un cilindro de plomo ubicado en una oquedad en el centro del soporte. Con el corazón de plomo se produce, por su histéresis, considerables incrementos en el amortiguamiento (del 10 al 15% del crítico en estratos de hule-acero convencionales); también la resistencia por carga de viento aumenta,

ya que prevé una alta rigidez inicial (antes de la cedencia) en el soporte (Nagarajaiah *et al.*, 1993). En la figura 1.3 se muestra un **LRB-NZ**. El elastómero se usó principalmente en puentes, pero son ya varios los edificios beneficiados por este mecanismo aislatorio.

La capacidad de carga y la rigidez lateral, para cierta composición de un elastómero con área dada, se puede incrementar al reducir el espesor de los estratos de hule. Por otra parte, al aumentar la altura total del apoyo, se reduce la rigidez ante movimientos horizontales y rotacionales. La siguiente secuencia puede encontrarse en Tena *et al.* (1995) y se basa en el procedimiento descrito por Skinner *et al.* (1993). En un elastómero laminado la máxima capacidad de carga está dada por:

$$W_{\max} = A'GS\gamma_w \quad (1.1)$$

$$S = \frac{D}{4t} \quad (1.2)$$

$$\gamma_w = 0.2\varepsilon_1 \quad (1.3)$$

donde:

W_{\max} es el peso máximo permisible por el aislador.

S es un factor de forma que toma en cuenta la relación entre el área cargada y el área sin cargar.

A' es el área de traslape existente entre la acción del área de su base, la figura 1.4 muestra ésta área.

G es el módulo de cortante del elastómero ($G = 10.2 \text{ kg/cm}^2$ para elastómeros convencionales).

γ_w es la deformación por cortante admisible para soportar la carga vertical (para sismos: $0.4 < \gamma_w < 0.7$).

t es la deformación vertical unitaria de diseño.

D es el diámetro de la sección transversal del elastómero (elastómeros circulares) o el ancho mínimo del elastómero (elastómeros rectangulares).

t es el espesor del estrato de hule utilizado.

La rigidez vertical de un elastómero laminado se puede calcular como:

$$K_z = \frac{6GS^2Ak}{(6GS^2 + k)h} \quad (1.4)$$

donde:

k es la resistencia del elastómero a compresión ($k=20390 \text{ kg/cm}^2$ para elastómeros convencionales).

A es el área de la sección transversal del elastómero.

h es la altura total del elastómero.

La rigidez lateral (horizontal) está dada por:

$$K_b = G \frac{A}{h} \quad (1.5)$$

A partir de las ecuaciones (1.1) y (1.5) es posible hallar el periodo natural de vibración de una estructura aislada con elastómeros laminados cuando estos soportan su carga máxima.

$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{Sh\gamma_w \frac{A'}{A}}{g}} \quad (1.6)$$

En los elastómeros laminados el amortiguamiento viscoso equivalente es estimulado por la pérdida de energía relacionada con la deformación del hule, la cual es dependiente de la velocidad de la carga. El amortiguamiento viscoso equivalente en un elastómero laminado varía del 5% al 10% del crítico, aunque si bien, actualmente ya se fabrican elastómeros especiales con hasta un 15% a 20% de amortiguamiento viscoso equivalente.

Un elastómero puede permitir un desplazamientos horizontal máximo (ante carga sísmica sin que se pierda su estabilidad) de:

$$X_b = h\gamma_s \quad (1.7)$$

donde:

γ_s es la deformación por cortante admisible para acomodar desplazamientos ante sismos.

Se ha comprobado que en el caso de sección circular, el desplazamiento máximo se puede calcularse como:

$$X_b \approx 0.8\phi \left(1 - \frac{A'}{A}\right) \quad (1.8)$$

donde:

ϕ es el diámetro del aislador

Análogamente, para sección rectangular el desplazamiento horizontal máximo es:

$$X_b \approx l \left(\ell - \frac{A'}{A} \right) \quad (1.9)$$

donde:

l es el lado paralelo al desplazamiento límite.

En caso de que el desplazamiento pueda llegar a producirse en cualquier dirección, se recomienda el uso de la siguiente expresión:

$$X_b \approx 0.8l \left(\ell - \frac{A'}{A} \right) \quad (1.10)$$

donde:

l es el flanco del elastómero con menor dimensión.

Se ha estimado en diversos estudios que generalmente la relación de traslape en los elastómeros, sujetos a carga sísmica, debe acotarse a 0.6, es decir, $A'/A > 0.6$ (Skinner *et al.*, 1993), entonces de (1.8) y (1.10), tenemos que los desplazamientos horizontales límites del elastómero ante sismos están sujetos, para un elastómero de sección circular:

$$X_h \approx \frac{\phi}{3} \quad (1.11)$$

y para uno de sección rectangular:

$$X_b \approx \frac{\ell}{3} \quad (1.12)$$

1.2.2 Amortiguadores de acero.

Estos dispositivos amortiguadores fueron empleados por vez primera con vigas de acero en la década de los sesenta, su trabajo se fundamenta en su deformación plástica. La ductilidad ante carga cíclica de estos elementos se encontraba limitada por la propiedad del material, pandeo local y los efectos secundarios provocados por soldadura. Su empleo está difundido sobre todo en Nueva Zelanda tanto en puentes como en viaductos, chimeneas y edificios (Skinner *et al.*, 1993).

Con los amortiguadores de acero se logra mayor resistencia a la fatiga y una deformación plástica superior que la que se encuentra en las vigas de acero convencionales; por lo cual se emplearon aceros dulces muy dúctiles. El diseño de la forma de los amortiguadores depende de los intervalos de deformación plástica iguales que se quieran obtener a lo largo de la sección transversal, usándose vigas de sección compacta, ya sean rectangulares o circulares, donde las conexiones entre los amortiguadores y los elementos de carga estén bien detalladas, para así no dar pie a concentraciones de esfuerzos, máxime en las soldaduras. La histéresis que se presenta en estos amortiguadores generalmente se aproxima con modelos bilineales.

Dentro de la amplia gama de amortiguadores de acero, existen tres que presentan por su geometría, estabilidad para diversos tamaños, estos aisladores pueden contemplarse en las figuras 1.5 a 1.7; estos aisladores son:

- Amortiguadores tipo "U": de sección uniforme, trabajo a flexión.
- Amortiguadores tipo "T": de sección variable, trabajo a flexión.
- Amortiguadores tipo "E": de sección uniforme, trabajo a torsión.

1.2.3 Péndulos de fricción.

Los aisladores tipo péndulo de fricción o **FP** (*Friction Pendulum*) son soportes de acero formados por una superficie cóncava, sobre la cual se desliza otra superficie de acero articulada como se puede observar en la figura 1.8. Existen dos aspectos básicos con los que el aislamiento se lleva a cabo: la fricción y el movimiento pendular. Entonces el **FP** reduce la acción sísmica en dos vertientes: primero cambia el periodo natural de la estructura alejándolo de frecuencias predominantes del movimiento del terreno (vía movimiento pendular) y, segundo absorbiendo la energía del sismo (vía fricción).

El cambio en el periodo natural de la estructura se efectúa por la presencia de un nivel flexible bajo el edificio. Este nivel toma la forma de un oscilador dinámico (entre éstos el péndulo clásico es el más simple). Estos apoyos registran un movimiento pendular al soportar la estructura duplicando cinemáticamente el péndulo simple. Con los movimientos del terreno, el deslizador articulado se mueve en la superficie esférica

cóncava, provocando una elevación en la masa soportada, con una pequeña amplitud de movimientos equivalentes a los del péndulo simple. Esta mínima elevación de la superestructura provoca una transformación de energía cinética a potencial, la cual regresa al péndulo a su posición de equilibrio original después del término de la excitación dinámica. El aislador, al igual que el péndulo clásico, posee una propiedad elemental simple y lógica, aprovecha la energía generada por la demanda sísmica y la transforma en una energía que disipa dicha demanda. La cinemática y la operación del soporte son los mismos si la superficie cóncava está en la parte superior o inferior del aislador (figura 1.9). El periodo del aislador es controlado por el radio de curvatura de la superficie cóncava, y es independiente de la masa de la superestructura soportada, variando dicho radio se puede registrar cada periodo deseado; con lo que se facilita la aplicación de diversas cargas, ligeras, fuertes o variables. Está probado que los soportes individuales pueden resistir cargas superiores a 2270 toneladas dimensionando el diámetro del articulador deslizante (Zayas *et al.*, 1993). Cualquier desplazamiento sísmico requerido puede ser acomodado dando el correcto dimensionamiento del diámetro del círculo cóncavo.

La fricción absorbente de la energía sísmica es el segundo mecanismo importante en el FP. La cantidad de fricción en el aislador y la capacidad de disipación energética o espesor en las curvas histeréticas dependen de la selección del material en el soporte.

Durante la ocurrencia de sismos, la rigidez lateral y la fuerza de fricción registradas en cada apoyo son directamente proporcionales al peso que soporta, provocando que los centros de rigideces y la resistencia lateral se agrupen para coincidir con los centros de masas de la superestructura, compensando así las excentricidades de masas. Esta propiedad minimiza los efectos torsionales de la superestructura, los que son comúnmente causas de daños severos o colapso en las edificaciones. Se ha verificado la eficacia de los FP en diversas pruebas aplicadas para un amplio nivel de cargas sísmicas y para distintos tipos de superestructuras (Zayas *et al.*, 1993).

En un estudio reciente (Almazan *et al.*, 2000), se muestra a estructuras simétricas que contienen este tipo de sistema aislador, donde se presentan problemas de torsión. Lo anterior se debe a los momentos de volteo y la dinámica asociada a la componente vertical de los movimientos del terreno, que tienden a cargar unos aisladores más que otros, por lo que las demandas de desplazamientos de éstos y los planos de resistencia de la superestructura no son uniformes. Se demostró que el máximo incremento de deformación es usualmente menor al 5% en el nivel de aislamiento, pero hasta de 30% en la

superestructura; con relación a lo que sucede en estructuras con base rígida. Este incremento en deformación es mayor para mayores valores de esbeltez en el edificio, disminuyendo la rigidez torsional

1.2.4 Sistemas colgantes (GT-BIS).

Dentro de los sistemas colgantes se encuentra el sistema GT-BIS. Este tipo de sistema aislador se fundamenta en la acción pendular, es capaz de reducir los cortantes sísmicos basales hasta un 95%, según estudios experimentales realizados por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Illinois (Garza Tamez, 1995).

El **GT-BIS** es un sistema conceptualmente simple y eficiente, se compone de varios elementos, aisladores basados en la acción pendular que admiten el desplazamiento relativo entre cimentación y superestructura sin afectar su estabilidad; amortiguadores hidráulicos diseñados para lograr una disipación de energía óptima así como también controlar el desplazamiento relativo y evitar un posible giro de la estructura aislada y un perno para evitar desplazamientos relativos en la base, el cual se desengancha de forma automática cuando se inicia una excitación sísmica (Garza, 1995). El uso de este mecanismo aislatorio no es tan significativo como otros, ya que se está hablando de un prototipo de desarrollo comercial reciente. En la figura 1.10 se observa un aislador tipo **GT-BIS**.

1.2.5 Otros.

En este apartado se tiene como ejemplo el aislador de apoyos rodantes basándose en balines de acero; sistema desarrollado en México con el que cuentan dos construcciones de la Ciudad de México (una iglesia y el edificio de cuatro niveles de la Escuela Secundaria No. 168). Estas edificaciones ante la acción del evento sísmico del 19 de septiembre de 1985 presentaron una buena respuesta. Sin embargo, hay que hacer notar que el amortiguamiento en estos apoyos no tiene ninguna fuerza resistente al empuje por viento, por lo que se debe utilizar, además, otros mecanismos capaces de proveer resistencia contra

este tipo de carga (Muñoz, 1995). Está también el resorte coloidal, con poca divulgación y reducida utilización.

1.2.6 Clasificación de los aisladores de acuerdo con su comportamiento.

De acuerdo con lo establecido por Skinner *et al.* en 1993, existen múltiples tipos de aisladores, los cuales pueden ser clasificados de acuerdo a su comportamiento de la siguiente forma (Tena *et al.*, 1995):

Clase 1.- Aisladores de base elásticos con amortiguamiento ligero, donde el amortiguamiento viscoso equivalente del aislador es de menos del 10% del crítico ($\xi < 0.10$), en ellos se recomienda que el sistema tenga un factor de aislamiento sísmico mínimo de dos, es decir, $T_b/T_{1u} \geq 2$, y un periodo natural del aislador de por lo menos 1.5 segundos para terrenos firmes y acelerogramas similares a los de El Centro, California en 1940. Donde T_b es el periodo natural del sistema aislado y T_{1u} es el periodo natural de vibración de la estructura en base rígida. La respuesta de estos sistemas es casi exclusivamente de primer modo, con muy poca influencia de los modos superiores (altas frecuencias) en la respuesta global. Este aislamiento se consigue con elastómeros laminados, donde el amortiguamiento es proporcionado por los estratos del elastómero, con pilotes flexibles, con amortiguadores viscosos o con resortes helicoidales con amortiguadores viscosos.

Clase 2.- Aisladores de base elásticos que tengan un amortiguamiento moderado, es decir, $0.10 < \xi < 0.25$, con factor de aislamiento sísmico de por lo menos 2 ($T_b/T_{1u} \geq 2$), y un periodo natural del aislador de por lo menos 1.5 segundos. El mayor grado de amortiguamiento viscoso reduce el cortante basal y el desplazamiento experimentado por el aislador, pero en cambio, la respuesta en altas frecuencias (modos superiores) se incrementa. Este tipo de amortiguamiento se consigue con elastómeros laminados con amortiguadores viscosos adicionales.

Clase 3.- Aisladores de base con comportamiento histerético bilineal, con un amplio intervalo de comportamiento elástico ($T_b/T_{1u} \geq 2$), y con una no-linealidad de tipo

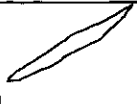


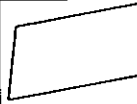
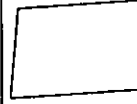
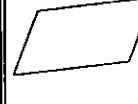
moderado, es decir, $0.20 < \xi < 0.30$. Para alcanzar que los cortantes basales y los desplazamientos del aislador bajos en su diseño, este sistema resulta el más razonable. Para poder obtener este tipo de aislamiento se utilizan elastómeros laminados con corazón de plomo.

Clase 4.- Aisladores de base con comportamiento histerético bilineal, con un comportamiento elástico bajo ($T_b/T_{lu} < 1$) y periodos posteriores a la fluencia relativamente cortos ($T_{b2} < 1.5s$). La rigidez inicial relativamente alta de estos sistemas genera desplazamientos menores en el aislador; sin embargo, las respuestas en altas frecuencias se ven substancialmente incrementadas, así como los cortantes basales con respecto a los aisladores de la clase anterior.

Clase5.- Aisladores de base con comportamiento histerético bilineal, con un intervalo pobre de comportamiento elástico ($T_b/T_{lu} < 1$) y periodos posteriores a la fluencia relativamente largos ($T_{b2} > 3s$), lo que se puede asociar con un comportamiento sensiblemente elastoplástico y, por ende, con amortiguamientos histeréticos y factores de no-linealidad grandes. Este tipo de aislamiento lo proporcionan sistemas rígido-plásticos, como los aisladores de deslizamiento por fricción. Con este aislamiento se pueden alcanzar cortantes basales extremadamente bajos, debido a la baja rigidez posterior a la fluencia y el alto grado de amortiguamiento histerético, siempre y cuando se utilicen esfuerzos de fluencia bajos. En contraste, la excitación en altas frecuencias se ve incrementada. Los desplazamientos del aislador pueden resultar muy grandes si son sujetos a acelerogramas que sobrepasen las características de los considerados para su diseño.

Clase 6.- Aisladores de base con comportamiento histerético bilineal, con un intervalo importante de comportamiento elástico ($T_b/T_{lu} > 3$) y periodos posteriores a la fluencia relativamente largos ($T_{b2} > 3s$), lo que redundará en un amortiguamiento histerético grande. El que se tenga una rigidez baja posterior a la fluencia impacta en que el cortante basal se puede controlar con el límite de fluencia del aislador, teniendo una excitación por sismo muy baja. El que se tenga un intervalo de comportamiento elástico importante reduce las respuestas en altas frecuencias, las cuales generalmente se incrementan con factores de no-linealidad altos. Si se pueden acomodar desplazamientos grandes del sistema de aislamiento, este tipo de aisladores resultan ideales para alcanzar cortantes bajos en sismos intensos. Este tipo de aislamiento se logra a base de pilotes flexibles con amortiguadores extruidos de plomo flexiblemente anclados.

Tabla 1.1. Guía de comportamiento de sistemas de aislamiento de base
 (Skinner *et al.*, 1993)
 Traducción Tena *et al.* (1995).

Consideración	Aisladores elásticos		Aisladores de comportamiento bilineal			
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6
Tipo						
Curva carga v.s. Deformación						
Δ estructura	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Δ aislador	Alto	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo	mod/alto
Acel. de la estructura	Baja	Baja	Baja	Moderada	moderada	Moderada
Cortante basal	Moderado	Mod/bajo	Bajo	Moderado	bajo	muy alto
Factor de pandeo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	muy alto	Moderado
Ventajas no inferibles de la tabla.	Minimiza la respuesta en altas frecuencias	Minimiza la respuesta en altas frecuencias	El aislador no es excitado por vientos comunes	El aislador no es excitado por vientos comunes	El aislador no es excitado por vientos comunes	El aislador no es excitado por vientos comunes
Desventajas no inferibles de la tabla.	Susceptible al viento. Posible resonancia en periodos de vibrar largos.	Susceptible al viento. Requiere de amortiguador externo.	Bajo a moderado ataque en frecuencias altas.	Moderado a alto ataque en frecuencias altas.	Alto a muy alto ataque en frecuencias altas.	Desplazamientos del aislador moderados o muy altos en sismos severos.

En la tabla 1.1 se observan las propiedades más importantes de cada sistema aislador. Para hacer la selección idónea del sistema de aislamiento en cada aplicación se debe abarcar una serie de relaciones complejas entre diferentes factores a tomar en cuenta. El disminuir los cortantes basales se logra al permitir mayores desplazamientos del aislador y/o tolerar una respuesta mayor en altas frecuencias. En no pocos casos, las limitaciones en

diseñar el sistema de aislamiento de manera que alcancen cortantes basales y desplazamientos del aislador aceptables utilizando aisladores de base que se ajusten al presupuesto del proyecto acarrea que una inevitable respuesta en altas frecuencias; sin embargo, esta consecuencia puede ser tolerable en bastantes casos de aplicación (Tena *et al.*, 1995). Para cada caso en particular se selecciona el sistema aislador apropiado considerando los factores más desfavorables en su diseño (cortante basal, desplazamiento del aislador de base, aceleraciones espectrales en pisos estructurales para altas frecuencias o control del cortante o desplazamiento basal para excitaciones mayores que las de diseño).

1.3 EFECTO TORSIONAL.

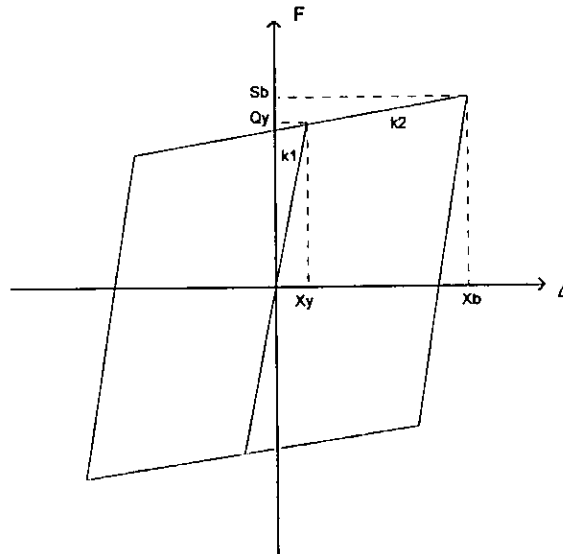
Al presentarse carga sísmica en una edificación convencional que contenga excentricidades entre sus centros de masas y de rigideces existirá una respuesta de tipo torsional además de las traslacionales, dando lugar a tres grados de libertad. Análogamente, esta evidencia está presente en estructuras con aislamiento basal, donde las excentricidades pueden manifestarse tanto en la superestructura como en el sistema aislador o ambos.

Al idealizar una estructura aislada para su estudio es válido el realizarlo en dos dimensiones (2D) sólo en edificaciones simétricas o con excentricidades despreciables o en las que la superestructura sea torsionalmente rígida. En estos casos se consideran parámetros como: periodo de la superestructura, periodo del amortiguador del aislador, características de cedencia (fuerza y desplazamiento) y radio de frecuencia de excitación predominante. Estos puntos no son suficientes para cubrir el aspecto torsional en estructuras asimétricas; en ellas es necesario el tomar en cuenta esta característica en el estudio, por lo que se debe dimensionar en tres dimensiones (3D), para que con ello se diseñe con las posibles peores condiciones de excentricidad.

Estudios recientes (Nagarajaiah, 1993) anotan que en el caso de los sistemas aisladores con elastómeros la fuente principal de movimientos torsionales es la excentricidad que pueda existir en el sistema aislador (a mayor excentricidad en el aislador, mayor amplificación del efecto torsional en la estructura), aunque la excentricidad en la

superestructura también llega a ocasionar incrementos en desplazamientos laterales o influencia en la amplificación torsional. En el caso de aisladores con sistemas deslizantes se encuentra que la excentricidad en la rigidez de la superestructuras es la que aporta el mayor efecto torsional.

Tanto el cortante como la torsión en bases aisladas tienden a ser menores que los que se presentan en bases rígidas, pero no son del todo insignificantes y son consideraciones que no deben olvidarse a la hora del diseño del sistema aislador, ya que en caso contrario se sobrestima la efectividad de la base aislada; también es importante el recordar la necesidad de modelar en 3D para estimar los efectos torsionales.



k_1 .- Rigidez antes de la fluencia.
 k_2 .- Rigidez después de fluencia.
 Q_y .- Fuerza de fluencia

X_y .- Desplazamiento de fluencia.
 X_b .- Desplazamiento máximo.
 S_b .- Fuerza máxima.

Figura 1.1 Curva histerética clásica en un sistema aislador con comportamiento bilineal.

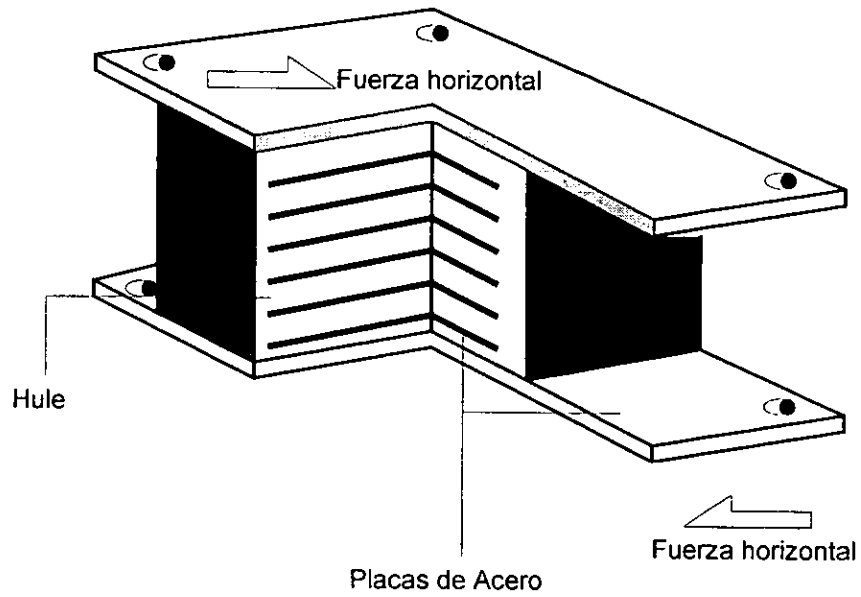


Figura 1.2. Elastómero laminado.

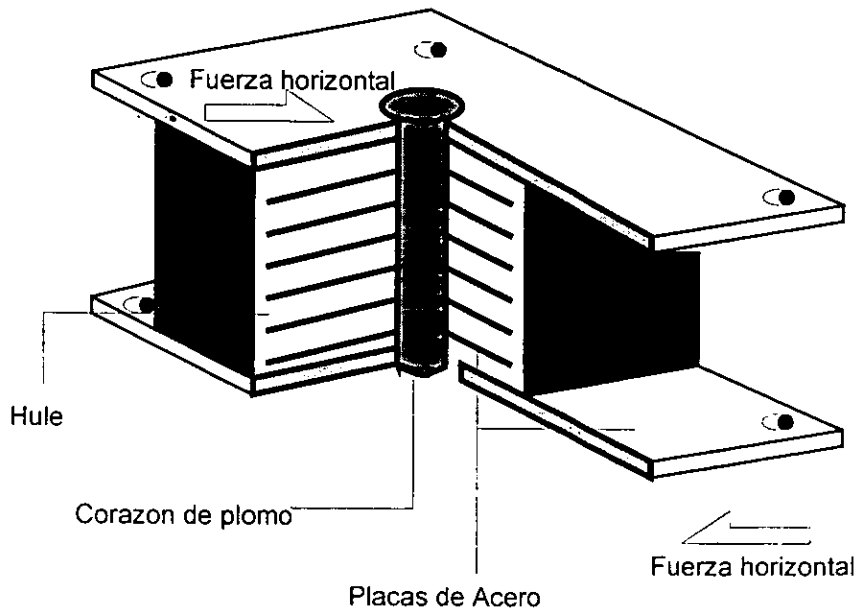


Figura 1.3. Elastómero laminado con corazón de plomo.

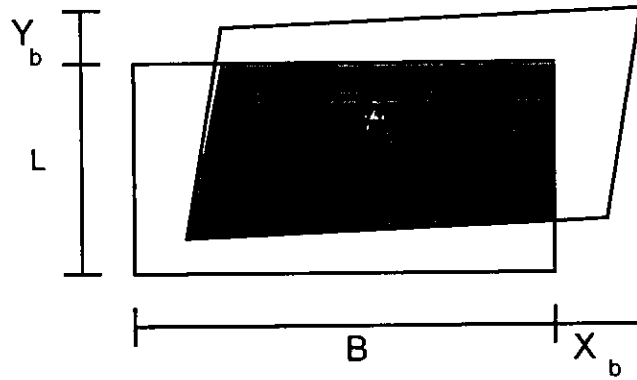


Figura 1.4. Área de traslape.

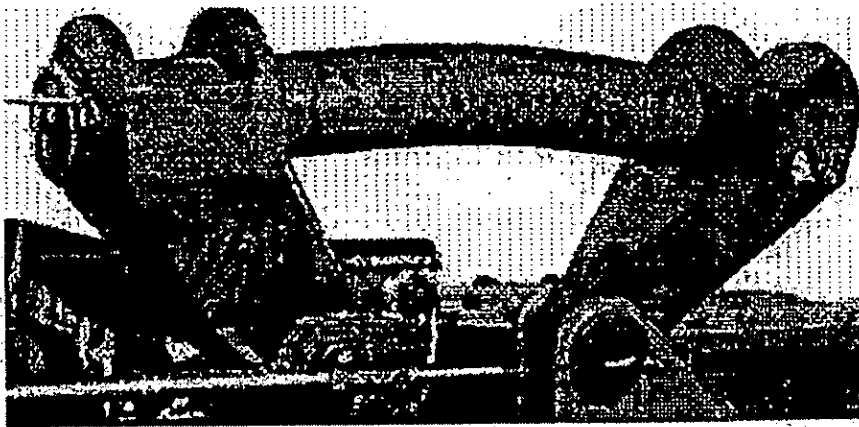


Figura 1.5. Aislador metálico tipo "U" (Skinner *et al.*, 1993).

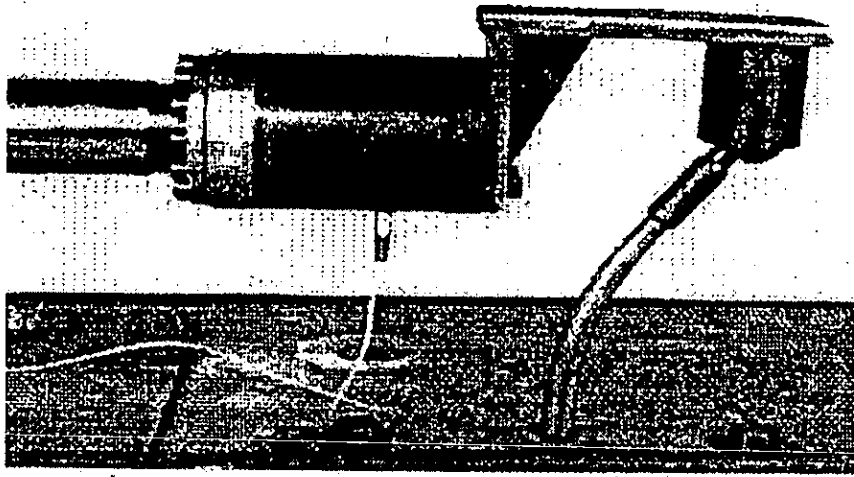


Figura 1.6. Aislador metálico tipo "T" (Skinner *et al.*, 1993).

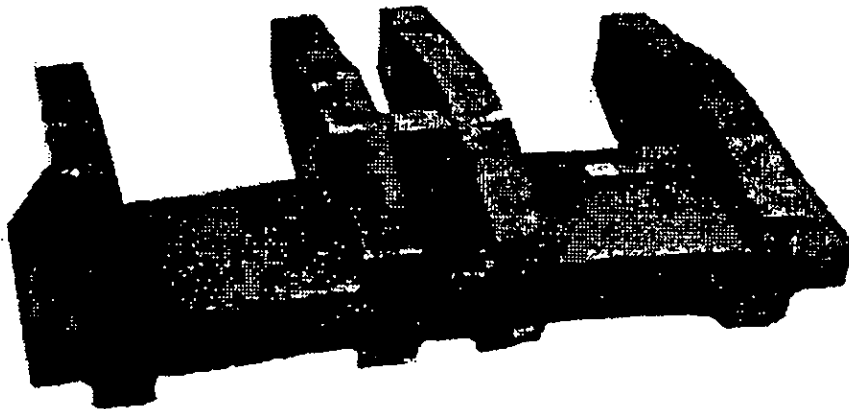


Figura 1.7. Aislador metálico tipo "E" (Skinner *et al.*, 1993).

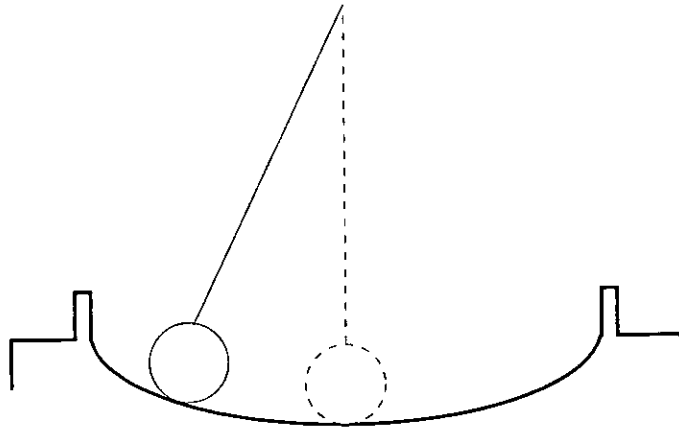
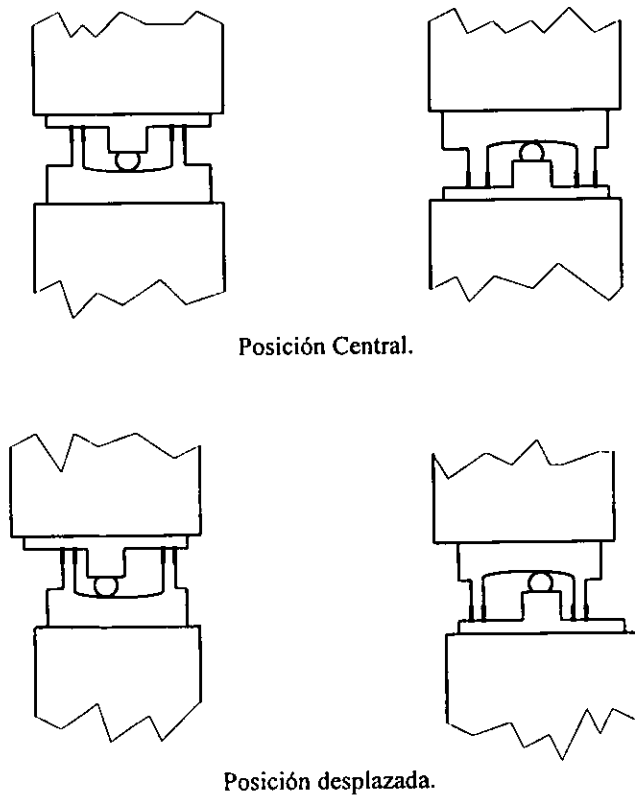


Figura 1.8. Principio del péndulo. Superficie cóncava sobre la cual se desliza otra.



Posición Central.

Posición desplazada.

Figura 1.9. Distinta ubicación de la superficie cóncava en los péndulos friccionantes.

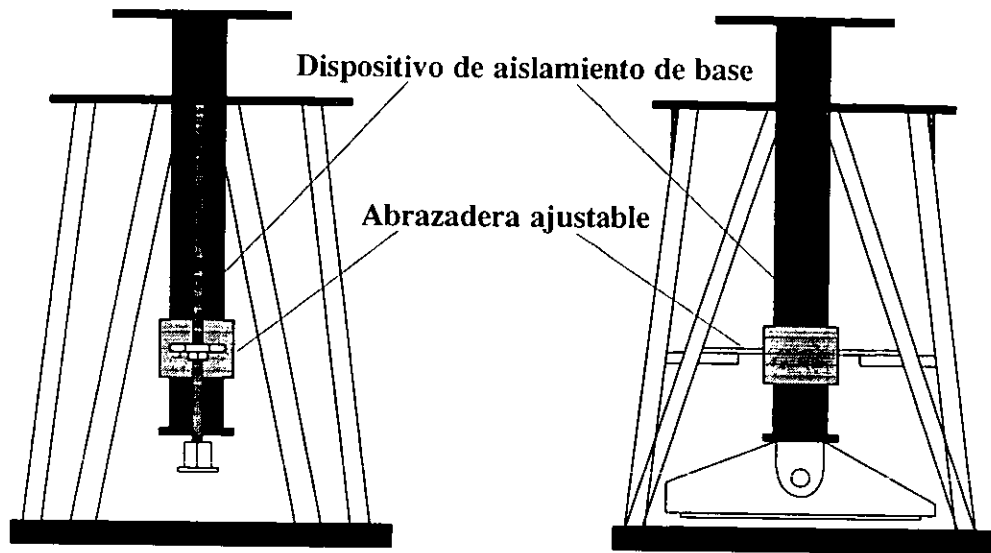


Figura 1.10. Aislador tipo GT-BIS (Villegas Jiménez, O, 1999)

CAPÍTULO II

TORSIÓN, DESCRIPCIÓN Y ESTUDIOS PREVIOS EN AISLAMIENTO

2.1 CONCEPTO

Al aplicar cargas laterales en estructuras tridimensionales puede presentarse torsión; es decir, ante alguna excitación dada, en la respuesta pueden generarse giros o rotaciones.

Se establecen a continuación definiciones que se emplearán en el estudio. El centro de cortante es el punto de aplicación de la fuerza cortante de entrepiso (de ahora en adelante **CC**). El centro de masas es el punto de aplicación de la fuerza sísmica en un cierto nivel (de ahora en adelante nombrado **CM**). El centro de torsión (**CT**) es el punto donde se aplica la resultante de las resistencias de un entrepiso, por lo cual también se le conoce como centro de resistencias (de ahora en adelante nombrado como **CR**).

En estructuras tridimensionales, en general, se presenta un momento torsionante (**T**) cuando no existe una coincidencia entre el **CC** y el **CR** en el sistema de piso de cada nivel del edificio, esto induce en la generación de una vibración torsional en los mismos; esta separación entre los **CC** y **CT** puede deberse a problemas de simetría en la planta, es decir, excentricidades geométricas de masa. Sin embargo, existe también la llamada torsión accidental o adicional que puede llegar a ser importante para ciertos sistemas, ocasionada por diversas fuentes como la influencia de las condiciones de suelo y de las ondas sísmicas (Heredia y Barranco, 1996), la componente rotacional del movimiento del terreno con relación a un eje vertical, errores de cálculo en las rigideces y masas con respecto a los valores reales y relaciones asimétricas fuerza-deformación; y a otras menores como la

asimetría de las constantes de amortiguamiento y la deformación en una dirección perpendicular a la que se está analizando (Newmark y Rosenblueth, 1976).

Para estructuras simétricas, al presentarse carga sísmica, en los sistemas de piso ocurre un cierto acoplamiento entre la torsión generada por una cierta excentricidad y la traslación pura en una dirección horizontal (sentido x , y , o ambos). En la figura 2.1 se presenta una planta donde se ilustra excentricidades en el sentido y exclusivamente, generando ante acción sísmica en el sentido x un acoplamiento entre la rotación y la traslación en el sentido x , y en la figura 2.2 se observan excentricidades en ambos ejes perpendiculares, con lo que ante acción sísmica se genera acoplamiento de la torsión con traslación tanto en x como en y . En estas figuras se muestran las excentricidades entre los **CM** y los **CR**, dadas por las distancias e_x (excentricidad en el eje de las ordenadas o y) y e_y (excentricidad en el eje de las abscisas o x).

Es importante tomar en cuenta el comportamiento no elástico de los elementos empleados en las estructuras; dado que puede presentarse el fenómeno de la resonancia paramétrica, es decir, es posible que al excitar una planta simétrica (sin excentricidades) se presente un acoplamiento por efectos no lineales de desplazamientos (Alcocer, 1986).

2.2 TORSIÓN ELÁSTICA.

2.2.1 Acoplamiento traslación-rotación.

Ante carga sísmica y en presencia de excentricidades del **CR** con respecto al **CM** en los pisos de una estructura, se genera un acoplamiento entre la respuesta de traslación y la de rotación. El estudio de estas respuestas generalmente se ha realizado considerando un comportamiento elástico del sistema, aunque en realidad algunos de los elementos estructurales incursionan en el intervalo inelástico ante sismos de moderados a intensos (Kan y Chopra, 1981).

Comúnmente, al estudiar efectos de torsión se emplean ciertas consideraciones como: la masa se concentra en el nivel de piso, es decir, se desprecia la masa de los elementos de soporte y resistencia (por ejemplo columnas y muros), que además no presentan deformación axial alguna. Por lo anterior, se considera que en cada nivel de piso se cuenta con tres grados de libertad, dos desplazamientos laterales del **CM**, ortogonales entre sí, con relación a su estado inicial (u_x y u_y), y una rotación o desplazamiento torsional (u_θ) alrededor de un eje vertical ubicado en el **CM**. En la figura 2.3 se presentan estos elementos, en el dibujo k_{ix} y k_{iy} representan la rigidez lateral del i -ésimo elemento resistente (por ejemplo columna o muro) a lo largo de los ejes de resistencia x y y , respectivamente; entonces, las rigideces estructurales en las direcciones x y y están dadas por:

$$K_x = \Sigma k_{ix} \quad (2.1)$$

$$K_y = \Sigma k_{iy} \quad (2.2)$$

La rigidez torsional de piso, definida en su **CM**, estará dada por la expresión:

$$K_\theta = \Sigma k_{ix} y_i^2 + \Sigma k_{iy} x_i^2 \quad (2.3)$$

donde:

y_i es la distancia en el sentido y entre el **CM** y el i -ésimo elemento con resistencia lateral en el sentido x .

x_i es la distancia en el sentido x entre el **CM** y el i -ésimo elemento con resistencia lateral en el sentido y .

El **CR** se ubica a las distancias e_x y e_y (excentricidades estáticas) del **CM**, éstas se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$e_x = \frac{\Sigma x_i k_{yi}}{K_y} \quad (2.4)$$

$$e_y = \frac{\Sigma y_i k_{xi}}{K_x}$$

Como se observa en la figura 2.1, existe simetría con respecto al eje y , por lo que la excentricidad $e_x = 0$ y no existe acoplamiento entre la traslación en el sentido y y el

movimiento rotacional. En este caso los tres grados de libertad con los que contamos pueden simplificarse en dos para efectos del cálculo: traslación u_x y rotación u_θ .

Considerando un comportamiento lineal, la respuesta del sistema acoplado, ante carga sísmica en la dirección x , está en función de ciertos parámetros del sistema, como son: la relación e/r , donde e es la excentricidad estática (en este caso sólo e_y) y r es el radio de giro del diafragma alrededor de un eje vertical en el CM; el coeficiente de amortiguamiento ξ y la relación de frecuencias torsional y lateral no acopladas Ω ; cuando este cociente se encuentra en la vecindad de uno se presenta una mayor influencia en los efectos del acoplamiento torsional si la excentricidad no es muy grande (Kan y Chopra, 1981). Esta relación de frecuencias se obtiene de la siguiente forma:

$$\Omega = \frac{\omega_\theta}{\omega_x} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} \omega_x &= \sqrt{\frac{K_x}{m}} \\ \omega_\theta &= \sqrt{\frac{K_\theta}{mr^2}} \end{aligned} \quad (2.6)$$

donde m es la masa del diafragma.

Aunque la respuesta está gobernada principalmente por la traslación, ya que la mayor parte de los edificios cuentan con resistencia a la torsión; se ha encontrado que el acoplamiento torsional crea deformaciones por torsión y modifica, aumenta o disminuye la deformación lateral del sistema (Kan y Chopra, 1981).

2.2.2 Torsión accidental.

La torsión en edificios se puede presentar incluso en sistemas estructurales simétricos al ser sometidos por excitaciones sísmicas, esto se debe a diversos factores, entre ellos:

Rigideces no reales. Los valores de rigidez de los elementos resistentes empleados en los análisis estructurales pueden ser distintos a los reales, dada la variabilidad en los métodos de clasificación y el control de calidad, historial de carga del elemento, incertidumbres en propiedades y dimensiones, y porque los métodos de análisis empleados no consideran con exactitud el valor de la rigidez (De la Llera y Chopra, 1994).

Excitación rotacional en la base. Se debe a movimientos especialmente no uniformes, con los que se genera un giro (alrededor de un eje vertical) en la cimentación de un edificio. Esta condición se origina en la acción sísmica por: (a) onda pasajera, diferentes puntos del terreno excitados por el mismo movimiento pero con un desfase en el tiempo, y (b) incoherencia del movimiento del terreno, distintos puntos del terreno experimentan movimientos con distintas amplitudes y fases características a causa de las ondas entrantes desde diferentes puntos de una fuente sísmica extendida, las reflexiones y refracciones de onda alrededor de la cimentación o modificaciones en las ondas durante su trayectoria a la estructura, recorridos con propiedades físicas no iguales (De la Llera y Chopra, 1994).

Para tomar en cuenta los efectos de torsión accidental en edificios, en varios países se utiliza el concepto de excentricidades de diseño, e_d , donde se agrupan tanto a las excentricidades estáticas vistas anteriormente como a las excentricidades accidentales, para esto se emplea una ecuación del siguiente tipo:

$$\begin{aligned} e_d &= \alpha e_s + \beta b \\ e_d &= \delta e_s - \beta b \end{aligned} \tag{2.7}$$

donde

e_s es la excentricidad estática e_x o e_y , dada por el acoplamiento lateral torsional generado por las excentricidades presentes en la planta del edificio.

β es el coeficiente de la excentricidad accidental.

b es la dimensión de la planta del edificio perpendicular a la dirección del sismo.

α y δ son los coeficientes de la excentricidad estática.

Los valores de los coeficientes especificados en las expresiones (2.7) varían de acuerdo a los distintos códigos en los diversos países.

Sin embargo, en estudios recientes se encontró que esta estimación no es siempre del todo acertada (De la Llera y Chopra, 1995), ya que puede presentarse el caso en el que

el incremento en las fuerzas de diseño arrojadas (con la torsión accidental) por el análisis estructural sea erróneo o muy conservador (sistemas torsionalmente flexibles) o se subestime el efecto (sistemas torsionalmente rígidos). De la Llera y Chopra (1995) proponen un nuevo método de análisis en el cual se reduce la posible incertidumbre en la estimación de las fuerzas de diseño considerando excentricidades accidentales; los pasos que sigue dicho método son:

1. Determinación de la relación de frecuencias fundamentales desacopladas de los movimientos torsional y lateral, Ω .
2. Obtención de los incrementos en los desplazamientos al borde de la planta del edificio, resultante de todas las fuentes de torsión accidental; este incremento se encuentra en función de la relación Ω y la relación b/r entre la dimensión de la planta ortogonal a la dirección del movimiento del terreno y el radio de giro de la planta del edificio.
3. Cálculo del incremento de desplazamientos en los planos resistentes interiores de la planta estructural debidos a torsión accidental. Cada plano resistente incluye marcos, muros y otros elementos estructurales.
4. Cálculo de las fuerzas de los elementos estructurales en cada plano resistente, amplificando a las fuerzas correspondientes al sistema sin torsión accidental con los factores determinados en los pasos 2 y 3.

El estudio de De la Llera y Chopra (1995) intenta demostrar ventajas considerables, analíticamente y mediante ejemplos, sobre otros métodos tradicionales. Entre estas virtudes se tiene:

- a) Evita la necesidad de desarrollar análisis estructurales adicionales para tomar en cuenta la torsión accidental; esto es, se prescinde del uso de dos análisis estáticos en el edificio en cada dirección con las fuerzas estáticas equivalentes cambiando el **CM** un $\pm \beta b$, o dos análisis dinámicos tridimensionales con un cambio $\pm \beta b$ del **CM**.
- b) A consideración de los autores, se abarca en forma más adecuada a distintas fuentes de torsión accidental, considerando que los códigos sísmicos incluyen sólo aquellas que pueden ser representadas por una constante de excentricidad accidental.

- c) Se obtiene un único valor para el incremento en las fuerzas de diseño debidas a la torsión accidental, mientras que los códigos actuales muestran distintos valores dependiendo del análisis estático o dinámico empleado.
- d) El procedimiento afirma explícitamente cual es el incremento esperado en las fuerzas de diseño debido a la torsión accidental, mientras que el empleo de la excentricidad accidental de los reglamentos implica un incremento indirecto en las fuerzas de los elementos que pueden ser menores o mayores dependiendo de los parámetros del sistema, principalmente la relación Ω . Según Chopra y De la Llera, este método presenta una probabilidad de excedencia bien establecida.

2.2.3 Inclusión de los efectos de torsión en el análisis elástico estático de estructuras.

A partir de las excentricidades de diseño calculadas pueden encontrarse los momentos torsionantes (**T**) que actúan en los entrepisos; para su determinación, en primer lugar, se define cuál de las dos expresiones para excentricidad de diseño (ecuación 2.7) resulta más desfavorable y se multiplica este valor por el cortante de entrepiso (**V**). Así, para encontrar el valor del **T** en el sentido x se efectúa la multiplicación de la fuerza **V** en el sentido x y de la excentricidad de diseño en el sentido y , para el **T** en el sentido y el procedimiento es análogo. A partir del **T** y de **V** se estiman las fuerzas a resistir por cualquier elemento resistente (muro, columna); para lo cual se suman los efectos debidos a **V** (supuesta actuando en el centro de torsión) y al **T** (Bazán y Meli, 1999).

Por ejemplo, si se analiza una planta estructural con un sismo en dirección paralela al eje x , se obtiene lo siguiente:

En los elementos resistentes en la dirección x , por efecto de la fuerza cortante en el centro de torsión:

$$V_{ixv} = \frac{V_x k_{xi}}{K_{xi}} \quad (2.8)$$

En los elementos resistentes x , por efecto de la torsión:

$$V_{ixt} = \frac{Tk_{xi}y_{ir}}{\Sigma(k_{ix}y_{ir}^2) + \Sigma(k_{iy}x_{ir}^2)} \quad (2.9)$$

El **T** con sismo en el sentido *x* genera, asimismo, un cortante en el sentido *y*:

$$V_{iyt} = \frac{Tk_{yi}x_{ir}}{\Sigma(k_{ix}y_{ir}^2) + \Sigma(k_{iy}x_{ir}^2)} \quad (2.10)$$

donde

T es el momento torsionante de entrepiso.

x_{ir} y *y_{ir}* son las distancias de los elementos resistentes con respecto al centro de torsión del entrepiso en consideración (figura 2.3).

V_x es la fuerza cortante aplicada al entrepiso, en el sentido *x*.

V_{ixv} es la contribución de la fuerza cortante directa en el sentido *x* en la fuerza a resistir por los elementos resistentes.

V_{ixt} es la contribución del momento torsionante en el sentido *x* en la fuerza a resistir por los elementos resistentes.

El acoplamiento torsional crea mayores fuerzas que actúan sobre los elementos resistentes verticales. Kan y Chopra (1981) determinaron que el cociente Ω juega un importante papel en los efectos de deformación que puedan llegar a sufrir las columnas. Para valores elevados de esta razón, mayores a dos, la deformación se eleva con el incremento de las relaciones *e/r* y *a/b* (dimensiones de la planta). En cambio, al tender a cantidades pequeñas, los efectos del acoplamiento varían en forma complicada por lo que no se establece una relación de variación.

Hejal y Chopra (1989b), reportan que el acoplamiento torsional provoca disminución en el cortante basal, el momento de volteo y el desplazamiento del centro de rigidez en el nivel superior de una estructura, pero crea un aumento en los efectos de torsión en la base.

2.2.4 Criterios reglamentarios para considerar la torsión.

Para considerar los efectos de torsión, tanto la provocada por problemas de asimetría como la generada por la llamada torsión accidental, varios reglamentos actualmente siguen la consideración de las excentricidades de diseño, fórmula (2.7), los valores de los coeficientes varían de código a código, como se indica en la tabla 2.1.

Tabla 2.1			
Valores de los coeficientes para determinar las excentricidades de diseño			
(datos tomados de De La Llera, J C y A K Chopra (1995))			
	α	δ	β
UBC 1991-1997	1	1	0.05
RDF 1988-1993	1.5	1	0.1
NBCC 1985	1.5	0.5	0.1

donde:

UBC es el *Uniform Building Code*.

RDF es el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

NBCC es el *National Building Code of Canada*.

En el caso del Reglamento del Distrito Federal los lineamientos a seguir para tomar en cuenta el efecto del acoplamiento torsional, una vez conocidas las excentricidades de diseño, es similar al planteado en el apartado 2.2.3 de este capítulo.

2.2.5 Método matricial de Damy.

Existen también otros planteamientos para considerar los efectos de la torsión de edificios en el análisis estructural. Tal es el caso del método propuesto por Damy, cuyo objetivo radica en la aplicación de un análisis matricial sísmico tridimensional de edificios. Dicho procedimiento puede considerarse como una herramienta más general para la ubicación del centro de torsión en los entresijos de una estructura, ya que no se encuentra limitado por las condiciones de los métodos tradicionales simplificados basados en

rigideces de entrepiso (Alcocer, 1986). A continuación se realiza una breve descripción del método, presentado con mayor detalle en Damy y Alcocer (1987), Alcocer (1986) y Tena (1998).

En primer lugar, se obtienen las matrices de rigidez lateral de los marcos o muros que conforman a la estructura ($[K_D]$) y mediante un ensamble se conforma la matriz de rigidez, teniendo en cuenta el método de las rigideces se tiene la siguiente ecuación:

$$\{F\} = [K]\{d\} \quad (2.11)$$

donde:

$\{F\}$ es el vector de fuerzas laterales, en un marco o muro dado, necesario para provocar un desplazamiento $\{d\}$.

$[K]$ es la matriz de rigidez ensamblada.

$\{d\}$ es el vector de desplazamientos en función de los tres grados de libertad con que cuenta cada diafragma.

La forma ampliada de la ecuación (2.11) es:

$$\begin{Bmatrix} \{F_x\} \\ \{F_y\} \\ \{M_o\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{xx}] & [K_{xy}] & [K_{x\theta}] \\ [K_{yx}] & [K_{yy}] & [K_{y\theta}] \\ [K_{\theta x}] & [K_{\theta y}] & [K_{\theta\theta}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{d_x\} \\ \{d_y\} \\ \{\theta\} \end{Bmatrix} \quad (2.12)$$

A continuación deben encontrarse los centros de torsión; para lo cual, a partir de la ecuación (2.11), se tiene:

$$\begin{Bmatrix} \{F_x\} \\ \{F_y\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{xx}] & [K_{xy}] \\ [K_{yx}] & [K_{yy}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{d_x\} \\ \{d_y\} \end{Bmatrix} \quad (2.13)$$

y

$$\{M_o\} = [K_{\theta x}]\{d_x\} + [K_{\theta y}]\{d_y\} \quad (2.14)$$

con ello se calculan los centros de pseudotorsión en cada orientación (X_{pt} y Y_{pt} en la direcciones x y y , respectivamente). De la fórmula (2.13), conociendo las fuerzas actuantes, se determina el vector de desplazamientos, el cual posteriormente se sustituye en la ecuación (2.14) para finalmente emplear las siguientes expresiones tanto para x como para y :

$$\begin{aligned} X_{pt} &= \frac{\{M_o\}}{\{F_y\}} \\ Y_{pt} &= \frac{-\{M_o\}}{\{F_x\}} \end{aligned} \quad (2.15)$$

A partir de los centros de pseudotorsión se hallan los de torsión (X_t y Y_t), para el caso del sentido x se tiene:

$$\begin{aligned} X_{tn} &= X_{ptn} \\ X_{ti} &= \frac{V_{yi+1} X_{ti+1} + F_{yi} X_{pti}}{V_{yi}} \end{aligned} \quad (2.16)$$

y para el sentido y :

$$\begin{aligned} Y_{tn} &= Y_{ptn} \\ Y_{ti} &= \frac{V_{xi+1} Y_{ti+1} + F_{xi} Y_{pti}}{V_{xi}} \end{aligned} \quad (2.17)$$

donde:

n es el último nivel de la superestructura.

i es el i -ésimo nivel de la estructura.

Seguidamente se procede al cálculo de los centros de cortante (X_c y Y_c) a partir de los centros de masa, para dirección x :

$$\begin{aligned} X_{cn} &= X_{mn} \\ X_c &= \frac{V_{yi+1} X_{ci+1} + F_{yi} X_{mti}}{V_{yi}} \end{aligned} \quad (2.18)$$

para el sentido y .

$$\begin{aligned} Y_{cn} &= Y_{mn} \\ Y_c &= \frac{V_{xi+1} Y_{ci+1} + F_{xi} Y_{mti}}{V_{xi}} \end{aligned} \quad (2.19)$$

Una vez ejecutados los cálculos pertinentes para el establecimiento de los centros de torsión y de rigidez, se continúa con el cómputo de las llamadas excentricidades existentes, que son:

$$\begin{aligned} e_{xi} &= X_{ci} - X_{ti} \\ e_{yi} &= Y_{ci} - Y_{ti} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Con ellas, y de acuerdo al Reglamento del Distrito Federal, se encuentran las excentricidades de diseño, esto es:

$$\begin{aligned} e'_{x1i} &= 1.5e_{xi} + 0.1b_x \\ e'_{x2i} &= e_{xi} - 0.1b_x \\ e'_{y1i} &= 1.5e_{yi} + 0.1b_y \\ e'_{y2i} &= e_{yi} - 0.1b_y \end{aligned} \quad (2.21)$$

donde, para edificios con marcos ortogonales:

b_x es la dimensión máxima en planta de cualquier entrepiso medida en dirección x .

b_y es la dimensión máxima en planta de cualquier entrepiso medida en dirección y .

Cabe recordar que en la ecuación (2.21) deben respetarse los signos de e_{xi} y e_{yi} .

Con las excentricidades de diseño se calculan los momentos torsionantes de diseño en ambas direcciones, esto es, para el caso de la dirección en x .

$$\begin{aligned} M_{o1i} &= -V_{xi} Y_{c1di} \\ M_{o2i} &= -V_{xi} Y_{c2di} \end{aligned} \quad (2.22)$$

donde

$$\begin{aligned} Y_{c1di} &= Y_{ti} + e'_{y1i} \\ Y_{c2di} &= Y_{ti} + e'_{y2i} \end{aligned} \quad (2.23)$$

Para el sentido y :

$$\begin{aligned} M_{o1i} &= V_{yi} X_{c1di} \\ M_{o2i} &= V_{yi} X_{c2di} \end{aligned} \quad (2.24)$$

donde

$$\begin{aligned} X_{c1d} &= X_t + e'_{x1} \\ X_{c2d} &= X_t + e'_{x2} \end{aligned} \quad (2.25)$$

Los distintos valores encontrados de los momentos torsionantes de diseño se sustituyen en el sistema de la ecuación (2.12). Al resolverlo se encuentran diversos valores

para el vector de desplazamientos y giros. En cada caso se aplican las siguientes fórmulas para encontrar las fuerzas que se supone actuarán en cada muro o marco; y finalmente, se determina cual de los casos es el más desfavorable.

$$\{d\} = \{d_x\} \cos \beta + \{d_y\} \sin \beta + \{\theta\}r \quad (2.26)$$

$$\{F\} = [K_D] \{d\} \quad (2.27)$$

donde

β es el ángulo que forma la dirección del muro o marco con respecto a un eje de coordenadas con el que se realizó el estudio

r es la distancia del eje de coordenadas al muro o marco de estudio.

2.3 TORSIÓN INELÁSTICA.

Como se mencionó anteriormente, se establece la existencia de torsión en el intervalo no lineal cuando alguno de los elementos estructurales inicia un comportamiento inelástico ante sismos de moderados a intensos y bajo estas circunstancias hay excentricidades (Kan y Chopra, 1981). En la literatura varios investigadores como Sadek, Tso y otros, reportan que la respuesta estructural torsional no lineal está habitualmente ligada a la distribución en planta de las resistencias de los elementos estructurales (García, 1992).

La fluencia de los elementos estructurales se rige sobre todo por el cortante de fluencia. Después de la cedencia inicial, el sistema tiende a fluir más en traslación y a comportarse más como un sistema inelástico, por lo tanto, el acoplamiento torsional afecta sobre todo a las deformaciones máximas en el sistema inelástico, en menor grado que los sistemas elásticos lineales (Kan y Chopra, 1981).

El trabajo de García (1992) emplea como parámetro de comportamiento para considerar la respuesta inelástica a torsión a la demanda máxima de ductilidad de los elementos resistentes normalizada respecto al valor correspondiente de ductilidad máxima

para el caso simétrico, este estudio junto con el realizado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM por Ayala y Barrón, encontraron lo siguiente (García, 1992):

A mayor resistencia de un elemento estructural se presenta una menor demanda máxima de ductilidad hasta un cierto límite, por lo que una estructura más resistente que otra no necesariamente genera un mejor comportamiento ante excitación sísmica. Asimismo, cuando Ω (relación de frecuencias torsional y lateral no acopladas) se acerca a un valor unitario, no se generan las mayores demandas de ductilidad, éstas pueden llegar a ser altas para otros valores; con esto se observa el distinto comportamiento de sistemas no lineales, ya que se contradice los resultados de los modelos elásticos. Además, se encontró que una mayor demanda de ductilidad en los elementos puede obtenerse con el incremento en la excentricidad estructural y que estas demandas disminuyen cuando se incrementa la resistencia del elemento con cortante por torsión negativo.

Otros factores que intervienen en la respuesta torsional de edificios en el intervalo inelástico son: el periodo lateral fundamental de vibración de la dirección no acoplada y el tipo de sistema de múltiples niveles del edificio, además de otros menores como la relación de rigidez en la unión viga-columna en marcos (Hejal y Chopra, 1989a). Se ha establecido que el acoplamiento traslación-rotación crea una disminución en el cortante basal, en el momento de volteo en la base y en el desplazamiento del CR en el nivel superior; pero un incremento torsional en la base, como lo demuestra el estudio de Hejal y Chopra, 1989b.

2.3.1 Consideración reglamentaria.

En cuanto al aspecto reglamentario, para tomar en cuenta el posible comportamiento no lineal ante excitación sísmica, en la actualidad el RDF repara en una probable irrupción de las estructuras en este intervalo a través del llamado *factor de comportamiento sísmico* Q . Con este factor, tomando como base los resultados obtenidos considerando el comportamiento elástico, se procura establecer la respuesta no lineal de la estructura ante sismos. García (1992) determina que estructuras rígidas con periodo menor o igual a 0.5 segundos y un Q alto, presentan las mayores demandas de ductilidad.

Existen otras propuestas para estimar los rasgos inelásticos en la respuesta de los edificios. Kan y Chopra (1981) plantean que para tener en cuenta la no linealidad de los elementos de resistencia (por ejemplo columnas y muros) con aceptable aproximación, es necesario considerar el cortante de fluencia V_p y el momento torsionante en el estado plástico T_p , además de los parámetros básicos del sistema lineal, según esto y para un sistema con acoplamiento de la traslación en x y la rotación se tiene:

$$\left(\frac{V}{V_p}\right)^2 + \left(\frac{T}{T_p}\right)^2 = 1 \quad (2.28)$$

$$\frac{T_p}{rV_p} = q \left[\left(\frac{\omega_\theta}{\omega_x}\right)^2 - \left(\frac{e}{r}\right)^2 \right] \quad (2.29)$$

donde:

q es un coeficiente que varía entre 0.58 y 0.68, que depende del número, tipo y ubicación de los elementos de la estructura.

En este estudio, Kan y Chopra (1981) calcularon la respuesta torsional, sin considerar fuentes de torsión accidental, de una estructura de un nivel y con tres grados de libertad; tanto elástica como inelásticamente. Las características del sistema fueron con acoplamiento de la traslación en x y la rotación, sometido a una excitación dada por el registro de El Centro en su componente SOOE. Se encontró que las máximas deformaciones en el sistema inelástico, dadas por efectos del acoplamiento, son en términos cualitativos muy similares a las del sistema elástico.

2.4 TORSIÓN EN ESTRUCTURAS AISLADAS SÍSMICAMENTE.

Actualmente la mayoría de los ingenieros que realizan estudios de estructuras desligadas del movimiento del terreno por medio de un sistema aislador emplean programas que consideran el análisis en 3D, como el 3D-BASIS o el ETABS6; pero, en ocasiones, se

elaboran análisis en 2D, omitiendo los efectos del acoplamiento torsional en la respuesta del sistema con asimetrías.

En una estructura aislada en su base existen dos fuentes principales de acoplamiento traslación-rotación ante excitación: excentricidad en el sistema estructural y excentricidad en el sistema de aislamiento. Un factor importante relacionado con la respuesta de sistemas torsionalmente acoplados es el efecto de la interacción de las fuerzas resistentes durante la fluencia de los aisladores; este efecto es complejo y depende del tipo de aislador empleado (Jangid y Datta, 1994a).

2.4.1 Estudios previos de torsión en edificios aislados.

Son pocos los estudios relativos al comportamiento estructural en sistemas aislados y torsionalmente acoplados al ser excitados por carga sísmica.

Existen trabajos enfocados a indagar la efectividad de los elastómeros en la respuesta de estructuras que presentan acoplamientos (Jangid y Datta, 1994a, Jangid y Datta, 1994b y Nagarajaiah *et al.*, 1993a). Estos autores analizan modelos aislados en 3D con elastómeros (comportamiento fuerza-deformación elastoplástico) para estudiar los efectos de la interacción de las fuerzas durante la cedencia de los aisladores, la influencia del acoplamiento torsional, relación de masas (m_b/m) y relación de excentricidad de la estructura (e_x/d) (Jangid y Datta, 1994a; Jangid y Datta, 1994b); la flexibilidad de la superestructura y el número de aisladores empleados (Nagarajaiah *et al.*, 1993). Todos ellos considerando la influencia de la relación entre frecuencias torsional y lateral no acopladas, Ω .

En los estudios de Jangid y Datta (1994a y 1994b) se emplearon parámetros ya mencionados como las rigideces laterales y de rotación de la base rígida (ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3), las excentricidades estáticas (ecuación 2.4), las frecuencias no acopladas traslacionales y rotacional del sistema rígido (ecuaciones 2.5 y 2.6); pero incluyen términos nuevos: la rigidez del aislador en las direcciones x y y (k_b), las coordenadas del aislador con respecto al CM de la base, x_b y y_b (figura 2.3), la rigidez a torsión del sistema aislador K_{b0} , dada por:

$$K_{b\theta} = \Sigma k_b (x_b^2 + y_b^2) \quad (2.30)$$

Las frecuencias no acopladas de la estructura con base aislada:

$$\omega_b = \sqrt{\frac{K_b}{m + m_b}} \quad (2.31)$$

$$\omega_{b\theta} = \sqrt{\frac{K_{b\theta}}{mr^2 + m_b r_b^2}} \quad (2.32)$$

donde

ω_b es la frecuencia traslacional del sistema no acoplado y con base aislada.

$\omega_{b\theta}$ es la frecuencia rotacional del sistema no acoplado y con base aislada.

r es el radio de giro de la masa de entrespiso.

r_b es el radio de giro de la masa de la base.

m_b es la masa de la base.

Los elastómeros presentan un comportamiento bilineal, idealizado en algunas ocasiones como elastoplástico, e inician su cedencia cuando la superficie de fluencia, ϕ , es mayor o igual a la unidad ($\phi \geq 1$). Para obtener ϕ se tiene que para elastómeros circulares y sin interacción de las fuerzas en las direcciones x y y :

$$\phi = \frac{|Q|}{F} \quad (2.33)$$

y para elastómeros cuadrados y con interacción de las fuerzas biaxiales.

$$\phi = \left[\frac{Q_{ix}}{F_{iy}} \right]^2 + \left[\frac{Q_{iy}}{F_{ix}} \right]^2 \quad (2.34)$$

donde

Q es la fuerza resistente del elastómero en la dirección la dirección x o y .

F es la resistencia a la fluencia del elastómero en x o y .

Q_{ix} y Q_{iy} son las fuerzas resistentes del i -ésimo elastómero en las direcciones x y y , respectivamente.

F_{ix} y F_{iy} son las resistencias a la fluencia del i -ésimo elastómero en las direcciones x y y , respectivamente.

En ambas investigaciones las ecuaciones de movimiento empleadas consideraron tanto las características de la superestructura como las del sistema de aislamiento

Uno de los trabajos de Jangid y Datta (1994a) muestra un sistema de aislamiento simétrico que evita problemas por excentricidades en la base. Con este proyecto se investigó la efectividad del mecanismo de aislamiento, en un sistema torsionalmente acoplado, con respecto a las siguientes variables: e_x/d , $\omega_{b\theta}/\omega_x$, ω_b/ω_x , y el ángulo de incidencia de la aceleración del suelo con respecto al eje x , α . Estos valores se modifican al cambiar las propiedades de masa y rigidez de la superestructura y del sistema de aislamiento. La respuesta se dio en términos del índice de desempeño R_e , definido por:

$$R_e = \frac{r_a}{r_r} \quad (2.35)$$

donde

r_a es la mayor respuesta del sistema asimétrico con base aislada.

r_r es la mayor respuesta del sistema con base rígida.

Se determinó que cuando R_e es menor a la unidad, la base aislada es eficiente. Cuando una de las direcciones no está acoplada (paralela a la excentricidad) R_e permanece insensible para distintos valores de e_x/d ; en cambio, el desplazamiento y la rotación en la dirección acoplada están directamente ligados a este factor, reduciendo la habilidad del sistema aislador al incrementar la excentricidad del sistema (excepto para respuesta torsional del sistema con valores muy bajos de Ω , menores a uno). La eficacia de la base aislada para reducir la respuesta torsional crece elocuentemente al aumentar Ω (de cero a uno). También se observó una menor efectividad de la base aislada con el aumento de ω_b/ω_x . Finalmente, determinaron la poca importancia del ángulo de incidencia de la aceleración del suelo (α) en los resultados (Jangid y Datta, 1994a).

En el otro trabajo de Jangid y Datta (1994b), el modelo consistió de un sistema de un nivel con tres grados de libertad en el nivel de entrepiso y tres en la base. En el estudio de referencia se consideró también la excentricidad del sistema aislador, dada por:

$$e_{bx} = \frac{1}{K_{ob}} \sum k_{oi} x_{bi} \quad (2.36)$$

donde

K_{ob} es la rigidez total del sistema aislador.

x_{bi} es la coordenada en x del i -ésimo elastómero con respecto al centro de masa de la base.

$k_{oi} = Q/q$, es la rigidez inicial.

Q_i y q , son la fuerza y el desplazamiento de fluencia del aislador, respectivamente.

La respuesta se planteó en términos tanto de R_e , como de R_t (efecto del acoplamiento torsional en el comportamiento sísmico del sistema aislado), dado por:

$$R_t = \frac{r_a}{r_s} \quad (2.37)$$

donde

r_s es la máxima respuesta correspondiente al sistema simétrico con base aislada.

Entre los resultados obtenidos en este estudio se muestra que la eficiencia del sistema acoplado es menor que el correspondiente simétrico, especialmente en reducir los desplazamientos perpendiculares a la dirección de la excentricidad de la superestructura. Los valores de R_e y R_t para los desplazamientos en la dirección no acoplada permanecen estables ante distintos valores de e_x/d , con lo que los desplazamientos paralelos a las excentricidades no se influyen por el acoplamiento torsional. Sin embargo; R_e , para el desplazamiento acoplado y u_0 está influenciados por e_x/d ; por lo que la efectividad del sistema aislador disminuye al aumentar la excentricidad; y R_t para el mismo desplazamiento aumenta con el incremento de excentricidad, es decir, este desplazamiento crece debido a la influencia del acoplamiento.

Otros resultados son: al incrementar el acoplamiento torsional (esto es, en el intervalo de $0 \leq \Omega \leq 1$), la efectividad del aislamiento en la respuesta torsional aumenta y en la de traslación disminuye, la efectividad del aislamiento disminuye al incrementar la relación m_b/m , los desplazamientos del aislador perpendiculares a la dirección de la excentricidad son menores para sistemas torsionalmente acoplados comparándolos con sistemas simétricos, la excentricidad en el aislador disminuye la capacidad del aislamiento en la deformación torsional, aumenta los desplazamientos basales y disminuye los de la superestructura perpendiculares a la dirección de la excentricidad.

Nagarajaiah *et al.* (1993a), emplearon en su estudio el programa 3D-BASIS (Nagarajaiah *et al.*, 1991) para efectuar la investigación en varios edificios con superestructuras elásticas y aisladores con comportamiento inelástico (elastómeros). La distribución de resistencias del sistema aislador se idealiza concentrándola en el centro de

rigidez del sistema de aislamiento **CRA**, que es la resultante de las fuerzas de fluencia de los aisladores. Al igual que en la superestructura, al no concordar el **CM** del sistema de aislamiento y el **CRA**, se generan excentricidades en él, denotadas por e_b , aunque la expresión para determinarlo difiere algo de la presentada en la ecuación (2.32), esta es, en caso de excentricidad en la dirección y :

$$e_b = \frac{1}{F_y} \sum y_i f_i^y \quad (2.38)$$

donde

F_y es la resultante de la resistencia a la fluencia de los aisladores en la dirección x .

f_i^y es la resultante a la fluencia del i -ésimo aislador en la dirección x .

y_i es la distancia del i -ésimo aislador desde el **CM** de la base en la dirección y .

Nagarajaiah et al. (1993a) emplearon en el diseño del sistema de aislamiento elastómeros bilineales, basándose en los comentarios del **UBC** 1991 y usando como excitaciones a los registros de Taft 1952 y El Centro 1940. Se emplearon dos distintos grupos de aisladores, uno de 36 y otro de cuatro, aunque ambos reflejaban el mismo comportamiento en general. Se normalizó la excentricidad presentada en el sistema de aislamiento con la dimensión mayor de la planta, y se encontró que en edificios aislados con elastómeros la principal fuente de torsión es precisamente este factor; al ir incrementando este cociente, aumenta la amplificación de la torsión, por lo que una excentricidad accidental del sistema aislador ($e_b/L = 0.5$) puede ocasionar amplificaciones torsionales de importancia. Aunque el cortante y el momento torsionante generados en edificios aislados son menores que los que se presentan en condiciones de rigidez, las amplificaciones torsionales no deben ser despreciadas o ignoradas.

Nagarajaiah et al. (1993a) determinaron que la respuesta inelástica lateral-torsional de una estructura con base aislada (con número, ubicación y rigidez arbitraria de los aisladores) depende principalmente de los periodos no acoplados, de Ω , de e/r y de e_b/r . Asimismo, se determinó que el número de apoyos con aisladores en la base no genera gran influencia en la respuesta.

Nagarajaiah et al. (1993b), presentan también un estudio relativo a torsión en estructuras aisladas con sistemas deslizantes, utilizando nuevamente el programa 3D-BASIS, recurriendo a apoyos deslizantes de acero con resortes recentrantes, representativos de la mayoría de los sistemas deslizantes empleados en la práctica de los Estados Unidos,

modelados con un comportamiento biaxial y no lineal. Se usaron estructuras en 3D en las que se asume un comportamiento elástico. La finalidad del artículo era el identificar cuáles son las fuentes que contribuyen significativamente en el acoplamiento torsional; los parámetros indagados fueron: flexibilidad de la superestructura, excentricidad en el sistema de aislamiento, efectos de modos superiores y efecto del número de soportes y dimensiones de la planta estructural.

Las conclusiones dadas por la investigación son: el acoplamiento torsional en estructuras aisladas con sistemas deslizantes es, en muchos casos, similar al de sistemas rígidos; sin embargo, el cortante y el momento torsionante generados son de menor magnitud que en sistemas rígidos. La principal fuente de torsión es la excentricidad de rigideces en la superestructura: e_s/r . El número de soportes en estructuras aisladas con sistemas deslizantes tiene poco efecto en la respuesta. Las consecuencias de modos superiores en la respuesta lateral torsional es importante si el sistema cuenta con una superestructura flexible.

Existe el estudio de Almazán *et al.* (2000), donde se investigó el problema de torsión en estructuras simétricas con péndulos de fricción con sistema aislante. Se encontró que se presentaba torsión debido a momentos de volteo y dinámica vertical que tienden a cargar unos aisladores más que otros, provocando que las demandas de desplazamientos de éstos y los planos de resistencia de la superestructura sean no uniformes, encontrándose que el incremento en deformación es mayor para mayores valores de esbeltez en el edificio, disminuyendo la rigidez torsional.

En México, Tena *et al.* (1997) presentan un estudio sobre aislamiento en estructuras con problemas de torsión. Se concluye, igual que en los trabajos descritos anteriormente, que la respuesta torsional afecta la habilidad de aislamiento de elastómeros, ya que algunos de ellos inician cedencia y desplazamiento en forma notoria mientras que otros permanecen en el intervalo lineal. Además, se observó que la respuesta torsional del sistema de aislamiento se ve influenciada por la inherente respuesta torsional de la superestructura ante excitación.

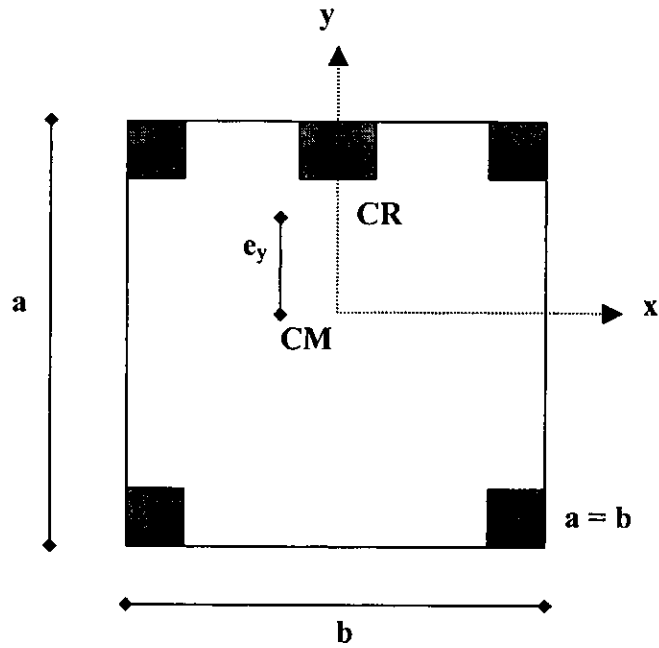


Figura 2.1. Planta con excentricidad en el sentido y exclusivamente.

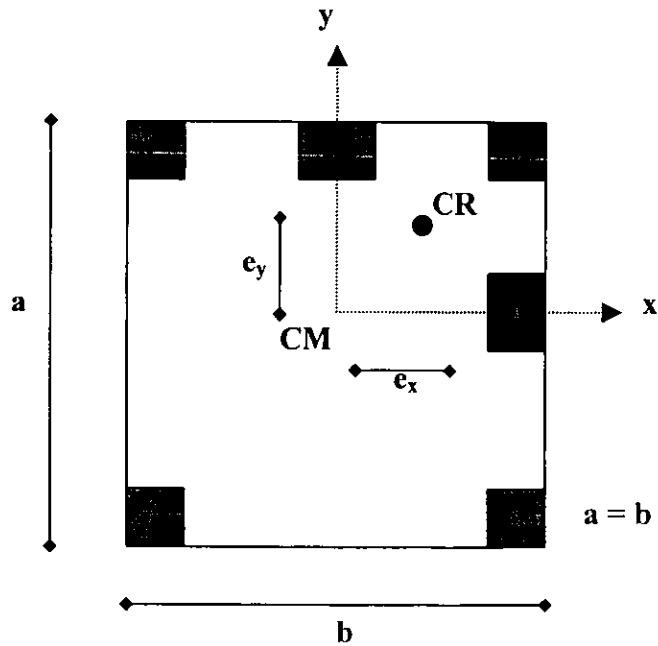


Figura 2.2. Planta con excentricidades en ambos sentidos.

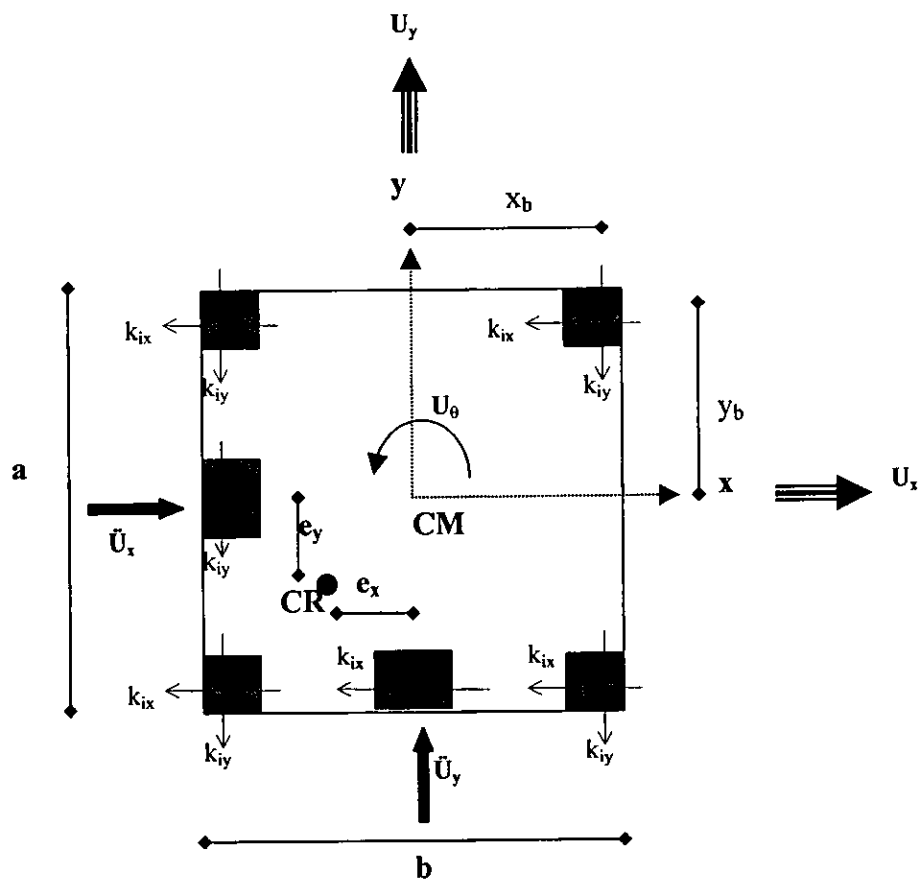


Figura 2.3. Grados de libertad por nivel, excentricidad bidireccional y rigideces .

CAPÍTULO III

ACELEROGRAMAS SELECCIONADOS

En estudios previos (por ejemplo Gómez, 1996; Tena y Gómez, 1997) se señaló que los sitios idóneos para emplear los aisladores son aquellas que cuentan con condiciones de suelo firme, esto es, que ofrecen una deformabilidad mínima ante asentamientos y son de carácter estable. Por lo anterior, en el estudio se emplearon registros acelerográficos de estaciones ubicadas en terrenos firmes, con periodos dominantes cortos. Se seleccionaron tres estaciones de la zona costera del Pacífico; dos en el estado de Guerrero (dada su constante actividad telúrica y construcción de edificios importantes en zonas turísticas) y una en Manzanillo, Colima (donde hace pocos años ocurrió un sismo de considerable magnitud).

Los acelerogramas seleccionados son registros de sismos de considerable magnitud y reciente ocurrencia. Se emplearon las componentes horizontales de los registros, con el fin de poder observar y cuantificar la señal que para cada caso generaba mayores desplazamientos en la estructura. En la tabla 3.1 se muestran las características principales de cada uno de los registros.

3.1 ESTACIÓN UNION, SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985

Se trata de un registro medido en suelo de tipo firme y sin efectos de sitio. El sismo del 19 de septiembre de 1985 se considera de gran trascendencia en el desarrollo de la ingeniería sísmica mexicana y mundial, ya que fue la primera ocasión en que un temblor de gran magnitud en zona de subducción se observa instrumentalmente con equipo digital.

Presentó una magnitud de $M_s = 8.1$. El registro de la estación UNION presenta amplificaciones considerables en ambas componentes horizontales y una duración de 62.3

segundos. Afecta principalmente a edificios con periodo de vibración de entre 0.1 y 0.6 segundos en la componente E-W y de entre 0.2 a 2.0 segundos en la componente N-S. Se seleccionó este registro debido a que en estudios previos (por ejemplo Gómez, 1996; Tena y Gómez, 1997) se observó que dentro de un gran número de registros generados en suelo firme UNION era el que ocasionaba mayores desplazamientos dinámicos en aisladores. En la figura 3.1 se observan los acelerogramas y los espectros de respuesta de pseudoaceleraciones, para $\xi = 5\%$, de esta estación.

3.2 ESTACIÓN SMRZA, SISMO DEL 25 DE ABRIL DE 1989

Se trató de un registro epicentral o impulsivo en suelo firme. La magnitud del sismo del 25 de abril de 1989 fue $M_s = 6.9$. En la estación SMRZA se presentó una duración cercana a los 30 segundos, pero dada su característica epicentral, pueden llegar a darse problemas con los aisladores, como ya se ha observado en estudios previos (Gómez 1996; Tena, Gómez y Salazar, 1997; Tena y Gómez, 1997 y Tena, 1997). El registro presenta pulso de gran duración que dispara a la aceleración en ambas direcciones alcanzando picos de gran importancia, la energía de este registro afecta principalmente a construcciones con periodos de entre 0.2 y 1.5 segundos en ambas componentes. Se seleccionó este registro por ser impulsivo, en estudios previos (por ejemplo Gómez, 1996; Tena y Gómez, 1997) se observó que este tipo de registros pueden generar problemas para la estabilidad de los aisladores, tal como lo menciona el UBC. En la figura 3.2 se aprecian los acelerogramas y espectros de respuesta de pseudoaceleraciones para $\xi = 5\%$.

3.3 ESTACIÓN TMANZ, SISMO DEL 9 DE OCTUBRE DE 1995

Registro en suelo firme con efectos de sitio. Las magnitudes del sismo del 9 de octubre de 1995 fueron $M_s = 7.9$, $M_w = 8.0$. La estación TMANZ se ubica en la termoeléctrica de la ciudad de Manzanillo, donde se presentaron daños significativos. Esta estación arrojó un registro que tanto en su componente N-S, como en la E-W, presenta picos de importancia en las amplitudes cercanas a los quince segundos de duración; provoca problemas a las edificaciones que mantengan periodos fundamentales de entre 0.1

y 0.4 segundos. Se seleccionó este registro debido a sus características de efecto de sitio (por ejemplo relación entre componentes vertical y horizontal), además de ser un registro de enorme duración (154 segundos). Los acelerogramas y espectros de respuesta de pseudoaceleraciones para $\xi=5\%$, de TMANZ se observan en la figura 3.3.

Tabla 3.1 Principales características de los eventos sísmicos considerados							
Sismo	Registro	Duración (s)		Aceleración máxima (cm/s ²)		Periodo dominante (s)	
		Registro	Fase intensa	E-W	N-S	E-W	N-S
19/09/85	UNION	62.3	25	127	174	0.11	0.17
25/04/89	SMRZA	30.4	4	148	165	0.09	0.15
09/10/95	TMANZ	154.6	20	387	381	0.1	0.1

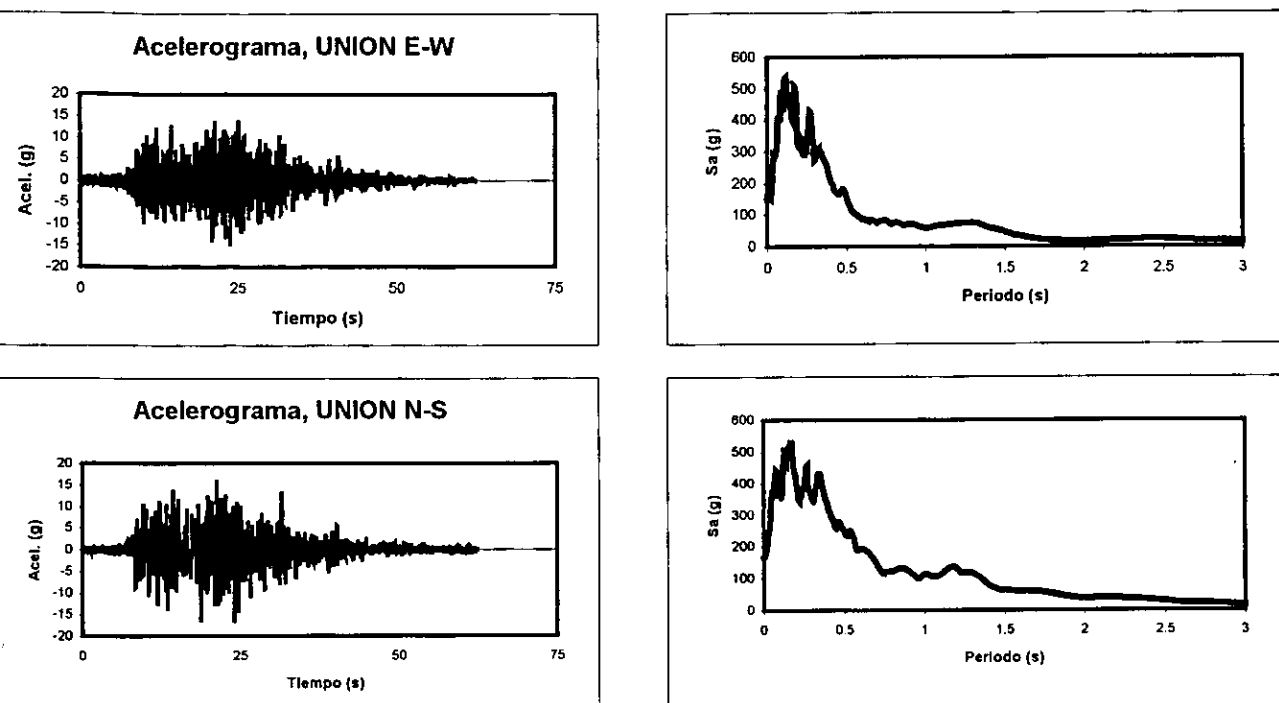


Figura 3.1 Acelerogramas y espectros de respuesta del registro de la estación UNION, sismo del 19/09/85, $M_s=8.1$

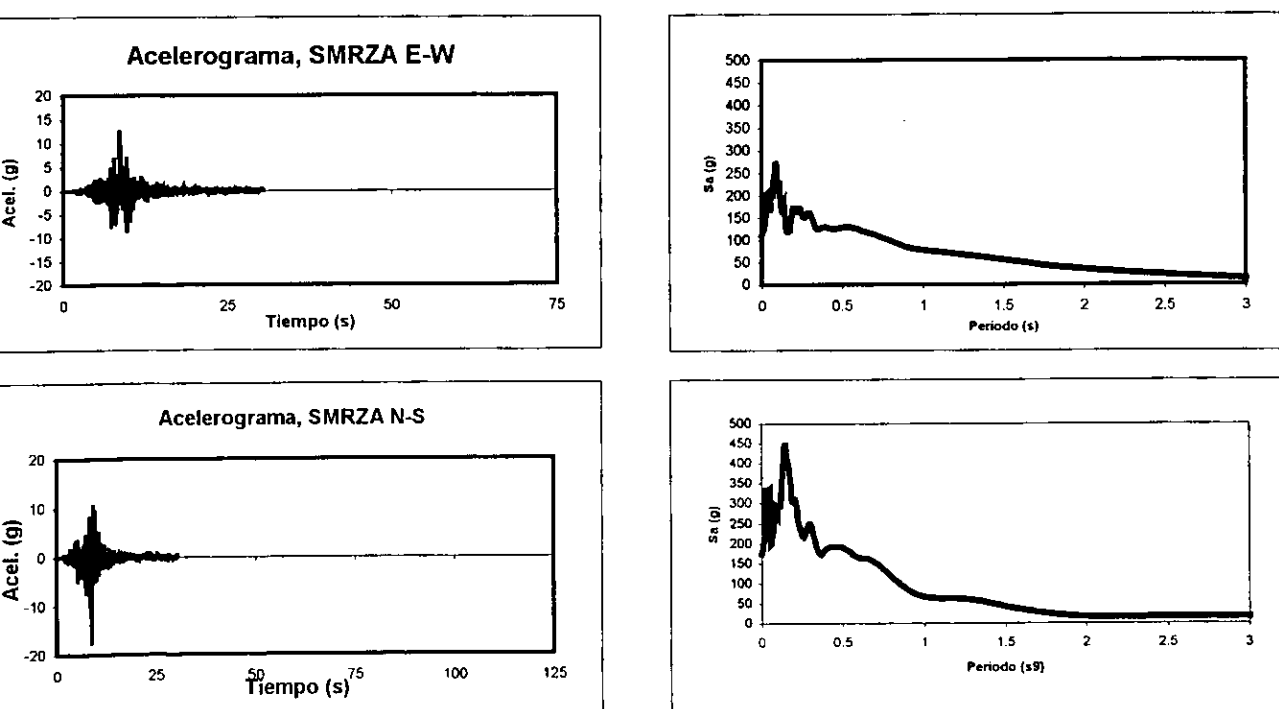


Figura 3.2 Acelerogramas y espectros de respuesta del registro de la estación SMRZA, sismo del 25/04/89, $M_s=6.9$

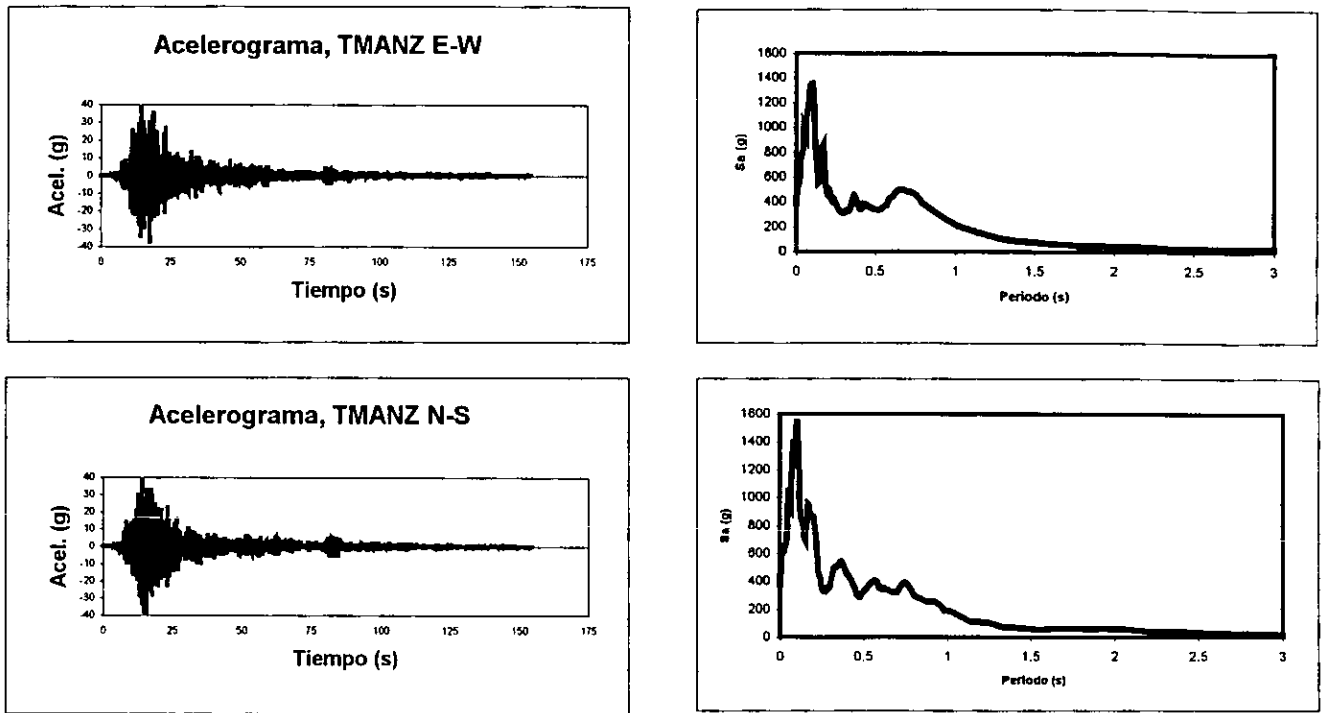


Figura 3.1 Acelerogramas y espectros de respuesta del registro de la termoeléctrica Manzanillo, sismo del 09/10/95, Mw=8.0

CAPÍTULO IV

COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS CON AISLAMIENTO SÍSMICO Y SIN EXCENRICIDAD ENTRE LOS CENTROS DE RIGIDEZ Y DE MASA.

En el presente 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 4.1, donde en la primera parte se presenta la planta tipo del edificio y en la cual bajo cada una de las 16 columnas (enumeradas en la gráfica) se localiza un aislador sísmico. En la segunda parte se observa la vista frontal.

A continuación se describe brevemente las propiedades del modelo.

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA.

Como se observa en las figuras 4.1 y 4.2, se trata de una estructura regular y simétrica en ambos ejes perpendiculares (eje E-W y eje N-S), conformada por marcos de concreto reforzado y contravientos en las crujías de esquina. Cuenta con tres niveles y altura de entrepiso de 3 m, con lo que se obtiene una altura total de 9 m. Existen tres claros de 7 m cada uno en ambas direcciones (E-W y N-S); dando una longitud por lado de 21 m, contando con un área en planta de 441 m². Existen un total de 16 apoyos, donde 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 compresiva en el concreto (f'_c) en ambos elementos fue de 250 kg/cm², el esfuerzo del acero límite de fluencia (f_y) fue de 4200 kg/cm² y el módulo de elasticidad del concreto fue de $E = 14000\sqrt{f'_c}$. En las crujías de esquina (eje 1 y eje 4 entre ejes A y B y entre C y D, eje A y eje D entre ejes 1 y 2 y entre 3 y 4) existen contravientos de acero sección cajón de 25 X 25 cm con espesor de 0.8 cm; que

ayudaron a disminuir la flexibilidad inicial que tenía la estructura cuando se idealizó como a base de marcos exclusivamente. El peso total del sistema estructural del edificio es de 991 ton.

4.2 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA EN BASE RÍGIDA.

Se procedió a realizar un análisis estructural previo del modelo en estudio, considerando a la estructura empotrada en su base, con la ayuda del programa ETABS (Habibullah, 1991); a fin de obtener parámetros necesarios para el análisis dinámico no lineal de estructuras tridimensionales con base aislada, tales como los modos y periodos fundamentales de vibración del edificio en base rígida, datos requeridos por el programa 3D-BASIS (Nagarahaiyah, 1991).

En las siguientes tablas (4.1 y 4.2) se resumen los resultados obtenidos del análisis con el ETABS y que requiere el programa 3D-BASIS.

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

Nivel	Dirección	1er. Modo	2do. Modo	3er. Modo	4to. Modo	5to. Modo	6to. Modo
3er. Nivel	XI	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

4.3 PROPIEDADES DE LOS AISLADORES.

El diseño de los aisladores empleados para el presente estudio se basó en trabajos anteriores (Gómez, 1996; Tena, Gómez y Salazar, 1997; Tena, 1997; Tena y Gómez, 1997 y Gómez y Tena, 1999), donde se emplearon elastómeros laminados con corazón de plomo, considerando como premisas para su diseño algunas de las recomendaciones del UBC (*Uniform Building Code*) y de la práctica neozelandesa.

En primer lugar se determinó el intervalo de periodos naturales de vibración para la estructura aislada sísmicamente (T_a). De acuerdo con el UBC, 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:

$$1.5 \leq T_a \leq 3.0 \quad (4.1)$$

Una vez establecido el intervalo de periodos en base aislada, se procedió con el cálculo de la rigidez efectiva global del sistema de aislamiento ($k_{\text{eff tot}}$); a continuación se presenta un breve 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 y Tena, 1997.

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

$$k_{\text{max}} = k_{\text{min}} = k_{\text{eff}} = k \quad (4.2)$$

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

y que cada uno de los periodos en base aislada (T_a) se determinan como sigue:

$$T_a = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{\text{min}}g}} \quad (4.3)$$

donde W es el peso total de la estructura y 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.

$$k = \frac{W}{25.4T_a^2} \quad (4.4)$$

$$k_{\text{eff}} = \frac{k}{N_{\text{ais}}} \quad (4.5)$$

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

Ahora bien, en la figura 4.3 se contempla una gráfica fuerza-desplazamiento, donde de acuerdo al UBC método estático, se tiene que para el 20% del desplazamiento máximo total para el sistema de aislamiento (Δ_{im}) existe una rigidez efectiva k_{eff2} .

Se sabe también que la rigidez de un elemento deformado en cortante es:

$$k = \frac{V}{\Delta} \quad (4.6)$$

donde V es la fuerza necesaria para ejecutar un desplazamiento y Δ es el desplazamiento generado en un elemento con cierta rigidez ante la acción de una carga. Por lo mencionado anteriormente y de la gráfica:

$$k_{\text{eff2}} = \frac{V_2}{0.2\Delta_{\text{max}}} \quad (4.7)$$

donde Δ_{max} es el desplazamiento máximo total y V_2 es la fuerza que genera dicho desplazamiento.

También del UBC se sabe que la rigidez efectiva del sistema de aislamiento para el desplazamiento de diseño (k_{eff}) debe ser mayor a un tercio de la rigidez efectiva al 20% del desplazamiento de diseño (k_{eff2}); esto es.

$$k_{\text{eff}} = \frac{1}{3}k_{\text{eff2}} \therefore k_{\text{eff2}} = 3k_{\text{eff}} \quad (4.8)$$

sustituyendo la ecuación (4.7) en la (4.8) se tiene:

$$\frac{V_2}{0.2\Delta_{\text{max}}} = 3k_{\text{eff}} \quad (4.9)$$

de donde

$$V_2 = 0.6\Delta_{\text{max}}k_{\text{eff}} \quad (4.10)$$

entonces, en la gráfica observamos:

$$\Delta_{\max} k_{\text{eff}} = V_{\max} \quad (4.11)$$

al sustituir (4.11) en (4.10):

$$V_2 = 0.6V_{\max} \quad (4.12)$$

Los valores de k_1 y de k_2 se obtienen con la ayuda de un sistema de ecuaciones, donde por la experiencia registrada en la bibliografía se sabe que la rigidez posterior a la fluencia, k_2 , es generalmente el 10% de la rigidez inicial, k_1 , esto es:

$$k_2 = 0.1k_1 \quad (4.13)$$

De la gráfica obtenemos el valor del Δ_{\max} a partir del V_{\max} :

$$V_{\max} = V_y + (V_{\max} - V_y) \quad (4.14)$$

donde

$$V_y = k_1 \Delta_y \quad (4.15)$$

$$V_{\max} - V_y = k_2 (\Delta_{\max} - \Delta_y) \quad (4.16)$$

entonces:

$$V_{\max} = k_1 \Delta_y + k_2 (\Delta_{\max} - \Delta_y) \quad (4.17)$$

al sustituir la ecuación (4.11) en la (4.13) se tiene

$$V_{\max} = k_1 \Delta_y + 0.1k_1 (\Delta_{\max} - \Delta_y) \quad (4.18)$$

$$V_{\max} = 0.9k_1 \Delta_y + 0.1k_1 \Delta_{\max} \quad (4.19)$$

Para un desplazamiento del 20% del Δ_{\max} es necesario una fuerza máxima basada en V_2 , esto es, del gráfico y de la ecuación (4.10).

$$0.6V_{\max} = 0.9k_1 \Delta_y + 0.1k_1 (0.2\Delta_{\max}) \quad (4.20)$$

con lo que formamos el sistema de ecuaciones con las fórmulas (4.18) y (4.19)

$$V_{\max} = 0.9k_1 \Delta_y + 0.1k_1 \Delta_{\max} \quad (4.21)$$

$$0.6V_{\max} = 0.9k_1 \Delta_y + 0.1k_1 (0.2\Delta_{\max}) \quad (4.22)$$

resolviendo el sistema encontramos el valor de k_1 :

$$k_1 = 5 \frac{V_{\max}}{\Delta_{\max}} = 5k_{\text{eff}} \quad (4.23)$$

Para conocer el valor de la fuerza total necesaria para iniciar el comportamiento inelástico del sistema de aislamiento (V_{ytot}), se consideraron dos valores, el primero donde el cortante de fluencia sea igual al 5% de W y el segundo donde dicho cortante sea igual al 10% de W , esto es:

$$V_{ytot1} = \frac{V}{W} = 0.05 \quad (4.24)$$

$$V_{ytot2} = \frac{V}{W} = 0.10 \quad (4.25)$$

Para un sistema aislador, con comportamiento bilineal, de acuerdo con las restricciones del UBC (figura 4.3) y de la relación de rigideces de pre-fluencia a post-fluencia: $k_2/k_1=0.10$, se tiene:

$$\Delta_y = 0.111\Delta_{max} \therefore \mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} = \frac{1}{0.111} = 9 \quad (4.26)$$

Con los valores obtenidos de las ecuaciones (4.24) y (4.25) se determina el valor de la fuerza de fluencia V_y para cada aislador.

$$V_{yais} = \frac{V_{ytot}}{N_{ais}} \quad (4.27)$$

Con la fórmula (4.27) y de la gráfica se obtiene el desplazamiento de fluencia de cada aislador, esto es:

$$\Delta_{yais} = \frac{V_{yais}}{k_1} \quad (4.28)$$

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, donde el periodo en base aislada, T_a , varía a partir de 1.5 hasta tres segundos cada 0.1 segundos; en cada uno de éstos se contó como datos iniciales con 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 dos valores del cortante de fluencia, ($V = 0.05W$ y $V = 0.10W$). 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_1), la fuerza necesaria para producir fluencia en cada uno de los aisladores (V_{yais}) y el desplazamiento de fluencia de cada uno de los aisladores (Δ_{yais}). De los 16 casos y dos propuestas de cortante de fluencia se obtienen 32 conjuntos de datos distintos, a cada uno de los cuales se les excitará con los registros acelerográficos seleccionados (capítulo III); por lo que el total de casos a estudiar suma 96. En la tabla 4.3 se observan tanto los datos como los valores obtenidos para los aisladores en cada uno de los 32 conjuntos de datos.

4.4 ANÁLISIS DEL MODELO CON BASE AISLADA.

Con los valores mostrados en la tabla 4.3 se procede a realizar un análisis dinámico no lineal del modelo estructural con base aislada, empleando el programa **3DBASIS** (Nagarajaiah, 1991), donde se considera a la superestructura como elástica. Entre los datos necesarios para este análisis se tiene: los eigenvalores y eigenvectores del análisis dinámico de la estructura en base rígida, número de pisos y sus alturas, número de apoyos y sus coordenadas, la longitud y el intervalo de tiempo Δ_t del registro empleado, la masa traslacional y el momento de inercia de la masa de cada uno de los niveles de la superestructura y de la base; la relación de rigideces entre la pre-fluencia y la post-fluencia de los aisladores (para el estudio se consideraron aisladores con comportamiento histerético cuya relación es de 0.1, como se observa en la fórmula 4.13), la fuerza y el desplazamiento de fluencia de los aisladores y la selección de alguno de los aisladores donde se quería obtener la historia de la relación carga-desplazamiento.

Con los 96 archivos de datos elaborados se procedió al cálculo, considerando tres variables en cada caso, primero, excitando al modelo con la componente **E-W** de los registros; segundo, con la componente **N-S** y, finalmente, con la excitación bidireccional de ambas componentes horizontales.

De los resultados obtenidos se evaluaron los desplazamientos dinámicos máximos que sufren los aisladores. De los 16 aisladores ubicados en los apoyos del modelo se seleccionaron los aisladores número 4 y número 13 (figura 4.1), ya que al encontrarse en esquina podrían ser los que presentasen mayores efectos de desplazamiento y/o torsión. Dada la gran cantidad de información dada por los análisis se optó por presentarla conjuntamente en forma gráfica, para un mejor y más rápido entendimiento.

En las figuras 4.4 y 4.5 se observan los máximos desplazamientos dinámicos de los aisladores seleccionados ante acción bidireccional (en este caso, al no presentar el sistema excentricidad, los valores son los mismos para todos los aisladores, es decir, se presenta una traslación pura sin acoplamiento torsional), normalizados con los correspondientes ante excitación **E-W** y **N-S**, respectivamente; se observa la trayectoria que sufren estos desplazamientos a lo largo del intervalo de periodos de vibración T_a seleccionado. Además, se aprecia la variación de estos comportamientos ante las dos propuestas del cortante de fluencia en cada uno de los registros empleados. Como comentario se distingue que en general la respuesta ante la acción bidireccional amplifica aquella dada por la acción en una sola dirección, aunque existen algunas excepciones, como es el caso de **TMANZ** con un cortante de fluencia del 10% del peso estructural en periodos de 2.0 a 2.4 segundos y excitación **N-S** y de 1.5 a 2.0 y 2.6 a 3.0 segundos ante excitación **E-W**. En ambas gráficas se observa que ante la acción de **SMRZA**, para ambos casos de cortante de fluencia, la amplificación es la más acentuada y constante. En general, se observa una mayor amplificación con respecto a la componente **E-W** que con la **N-S**, indicando que para los acelerogramas seleccionados, la componente **N-S** es más intensa en el intervalo de periodos seleccionados.

En la figura 4.6 se presenta la relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo que describe el desplazamiento dinámico máximo obtenido ante la acción bidireccional de los tres registros utilizados, medido como se observa en la figura 4.10. Cuando se excita al modelo con los registros **SMRZ** y **UNION** (para ambos casos del cortante de fluencia), la trayectoria del desplazamiento máximo describe un ángulo cercano a cierto valor en forma continua a lo largo de todo el intervalo de periodos; en el primero cercano a 125 grados y en el segundo cercano a 85 grados. Pero, en cambio, al observar la respuesta cuando se emplea **TMANZ**, ocurren cambios más destacables, sobre todo para el periodo de 1.7 segundos donde se observan valores oscilantes entre 0° y 80° para $V_y=0.1W$ y entre 60° y 80° para $V_y=0.05W$. Como comentario final a esta gráfica se puede apuntar que los desfases de la dirección de los desplazamientos ante **TMANZ** nos muestra que los efectos de sitio del registro parecen repercutir en la respuesta estructural, aunque para afirmarlo sería necesario realizar estudios con varios acelerogramas de este tipo, objetivo que escapa de los alcances de la presente investigación.

Las últimas tres figuras, 4.7 a 4.9, 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 4.3), que también puede llamarse demanda de ductilidad, , primero para excitación E-W, después para excitación N-S y finalmente para la excitación bidireccional. De estas gráficas se desprenden los siguientes comentarios.

En la mayoría de los casos observamos que los aisladores 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 . Sin embargo, hay casos donde la respuesta es elástica, como en **SMRZA** ($V_y = 0.10W$) en las tres gráficas y **UNION** ($V_y = 0.10W$) para excitación E-W. Se aprecia que el mayor cociente de desplazamiento se genera ante la acción del registro **TMANZ** ($V_y = 0.05W$), obteniendo desplazamientos que amplifican hasta en ocho veces al de fluencia ante carga bidireccional. En ninguna de las tres figuras se observa que en ningún caso se exceda el valor de nueve, límite obtenido a partir de la curva primaria definida por el reglamento **UBC** para un aislador bilineal donde la pendiente posterior a la fluencia es del 10% ($k_2/k_1=0.10$).

También se observa que las respuestas producidas al considerar valores menores del cortante de fluencia, $V_y = 0.05W$, muestran desplazamientos dinámicos máximos considerablemente mayores a los que se obtienen con un de cortante de fluencia mayor, esto es, $V_y = 0.10W$, donde los aisladores presentan una fluencia limitada. Esto indica que, para los acelerogramas en cuestión, sería óptimo un diseño para $V_y = 0.05W$ que para $V_y = 0.1W$.

Una vez que se ha conocido la respuesta del modelo en estudio ante la acción de los acelerogramas empleados, se procederá en capítulos subsecuentes a estudiar el comportamiento del mismo modelo, pero ahora considerando la existencia de excentricidades en los niveles de la superestructura, en la base y en ambas zonas a la vez; con ello se relacionará a los desplazamientos dinámicos máximos de los aisladores que se

obtengan con los del modelo de referencia (sistema sin excentricidad), para conocer la influencia de la excentricidad en la respuesta torsional.

4.5 COMENTARIOS FINALES AL CAPÍTULO.

Con respecto al estudio del modelo sin excentricidades ni en la superestructura ni en el sistema de aislamiento se encontró:

- En estructuras convencionales sin excentricidades (edificios regulares de dimensiones pequeñas) no se observa que los movimientos del terreno generen respuesta torsional en el sistema de aislamiento, aunque hay que aclarar que en este caso no se evaluó la componente rotacional de los movimientos del terreno. En el caso de otros sistemas estructurales, como puentes, se tendría que realizar estudios por separado que consideren, entre otras cosas, movimientos fuera de fase en los apoyos.
- Al excitar al modelo con acelerogramas típicos del Pacífico mexicano se encontró que cuando el cortante de fluencia empleado es del 5% del peso W de la estructura se genera un comportamiento más eficiente de los aisladores que cuando dicho cortante es del 10% de W , ya que en este último caso se presentan intervalos de periodos en los que los aisladores alcanzan desplazamientos muy bajos, menores incluso que los de fluencia.
- Los desplazamientos dinámicos máximos tienden a ser, generalmente, mayores cuando se emplean ambas componentes horizontales del movimiento del terreno que cuando se emplean por separado, además el mayor comportamiento inelástico se presenta al inicio del intervalo de periodos T_a . En todos los casos se observó que el comportamiento inelástico en el desplazamiento de los aisladores no rebasa el límite de nueve obtenido a partir de la curva primaria definida por el reglamento UBC para un aislador bilineal donde la pendiente posterior a la fluencia es del 10% ($k_2/k_1=0.10$). Los mayores desplazamientos dinámicos se generan ante la excitación del registro de TMANZ.
- En cuanto al ángulo que describe el desplazamiento máximo se observa que se generan trayectorias constantes a lo largo de los distintos periodos de vibración estructural con base aislada, T_a , salvo para el registro TMANZ, donde se generan desfases en la dirección.
- En la amplificación de la respuesta ante carga sísmica bidireccional con respecto a un sentido se observa que las variaciones más notorias son con el registro de la Termoeléctrica de Manzanillo, encontrándose extremos de amplificación de 1.8 como máximo y 0.9 como mínimo, componente N-S.

Tabla 4.3

Datos y valores obtenidos para el diseño de los aisladores a ubicarse en el modelo estructural en estudio

T _a (seg)	W (kg)	G (m/s ²)	K _{effort} (kg/m)	N _{ais}	k _{effais} (kg/m)	k _t (kg/m)	k ₂ (kg/m)	Caso I V = 0.05W			Caso II V = 0.10W		
								V _{basal} (kg)	V _{yais} (kg)	Δ _{yais} (m)	V _{basal} (kg)	V _{yais} ^S (kg)	Δ _{yais} (m)
1.5	991000	9.81	1772482.13	16	110780.1332	55390.6666	55390.06661	49550	3096.875	0.00559103	99100	6193.75	0.011182059
1.6	991000	9.81	1557845.62	16	97365.35146	486826.757	48682.67573	49550	3096.875	0.00636135	99100	6193.75	0.012722698
1.7	991000	9.81	1379960.14	16	86247.50856	431237.543	43123.75428	49550	3096.875	0.00718137	99100	6193.75	0.014362734
1.8	991000	9.81	1230890.37	16	76930.64807	384653.24	38465.32403	49550	3096.875	0.00805108	99100	6193.75	0.016102165
1.9	991000	9.81	1104732.63	16	69045.7894	345228.947	34522.8947	49550	3096.875	0.0089705	99100	6193.75	0.017940993
2	991000	9.81	997021.199	16	62313.82493	311569.125	31156.91247	49550	3096.875	0.00993961	99100	6193.75	0.019879216
2.1	991000	9.81	904327.618	16	56520.47613	282602.381	28260.23806	49550	3096.875	0.01095842	99100	6193.75	0.021916836
2.2	991000	9.81	823984.462	16	51499.02887	257495.144	25749.51444	49550	3096.875	0.01202693	99100	6193.75	0.024033852
2.3	991000	9.81	753891.266	16	47118.20411	235591.021	23559.10205	49550	3096.875	0.01314513	99100	6193.75	0.026290263
2.4	991000	9.81	692375.833	16	43273.48954	216367.448	21636.74477	49550	3096.875	0.01431304	99100	6193.75	0.028626071
2.5	991000	9.81	638093.567	16	39880.84796	199404.24	19940.42398	49550	3096.875	0.01553064	99100	6193.75	0.031061275
2.6	991000	9.81	589953.372	16	36872.08576	184360.429	18436.04288	49550	3096.875	0.01679794	99100	6193.75	0.033595875
2.7	991000	9.81	547062.386	16	34191.39914	170956.996	17095.69957	49550	3096.875	0.01811494	99100	6193.75	0.036229872
2.8	991000	9.81	508684.285	16	31792.76782	158963.839	15896.38391	49550	3096.875	0.01948163	99100	6193.75	0.038963264
2.9	991000	9.81	474207.467	16	29637.96667	148189.833	14818.98334	49550	3096.875	0.02089803	99100	6193.75	0.041796052
3	991000	9.81	443120.533	16	27695.0333	138475.167	13847.51665	49550	3096.875	0.02236412	99100	6193.75	0.044728237

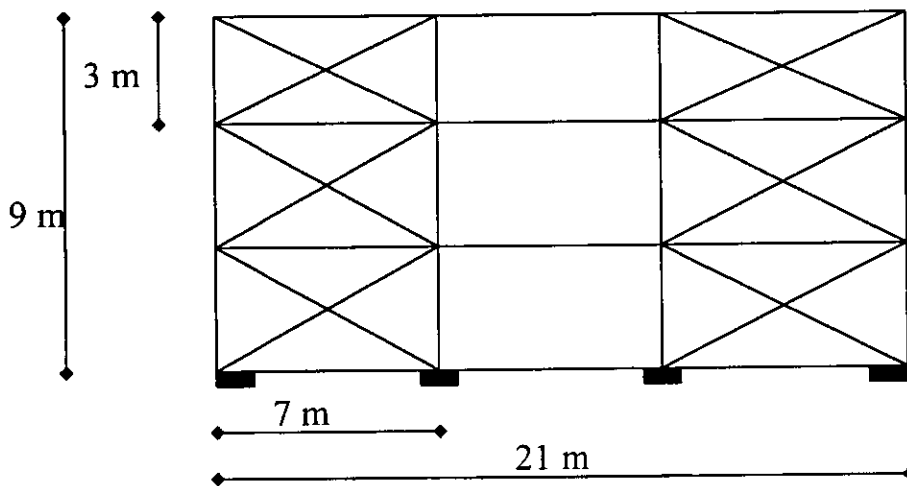
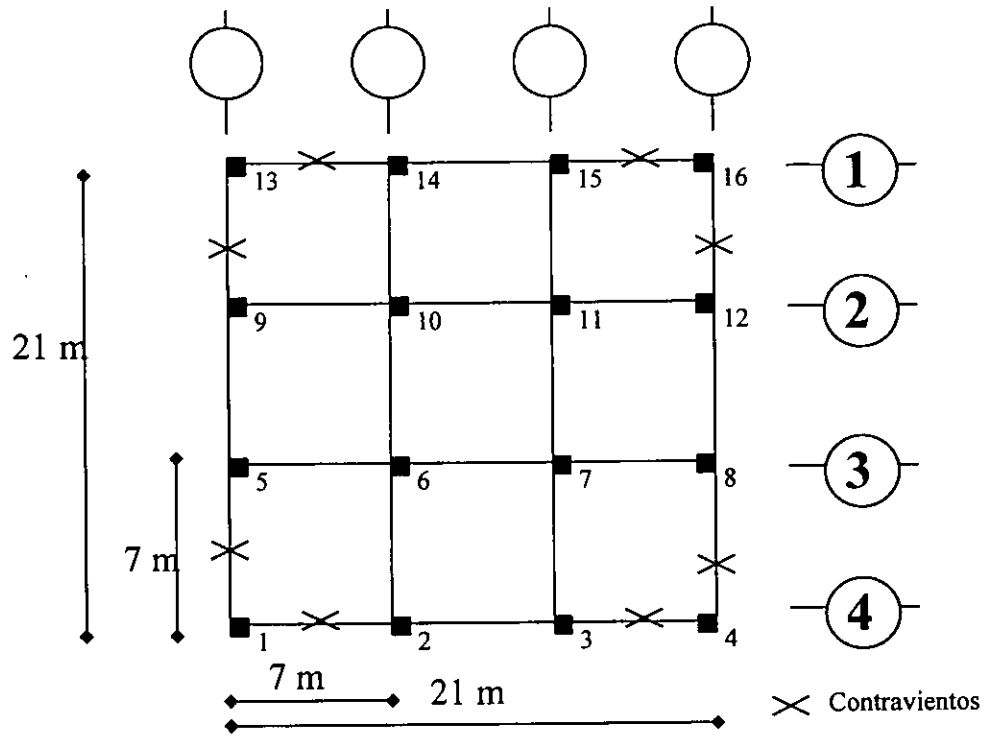


Figura 4.1 Modelo en estudio

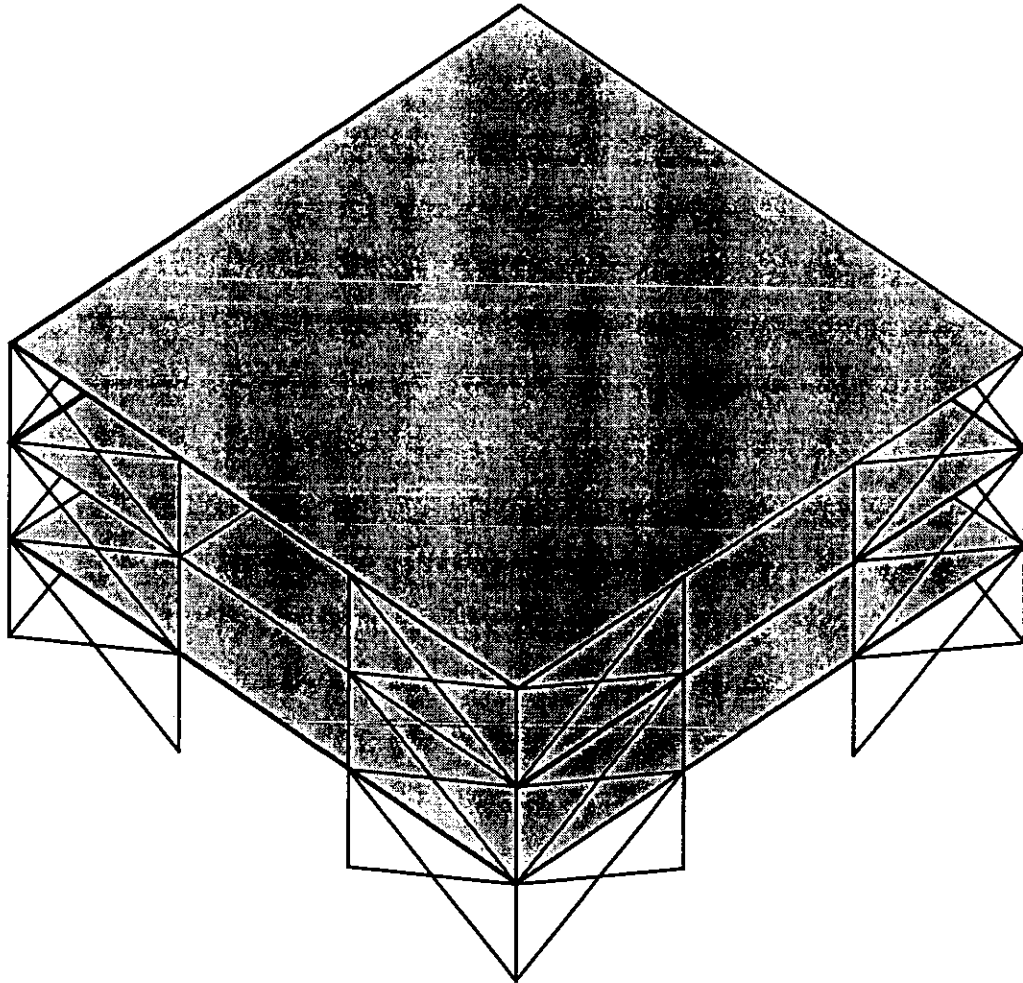


Figura 4.2 Vista tridimensional del modelo en estudio.

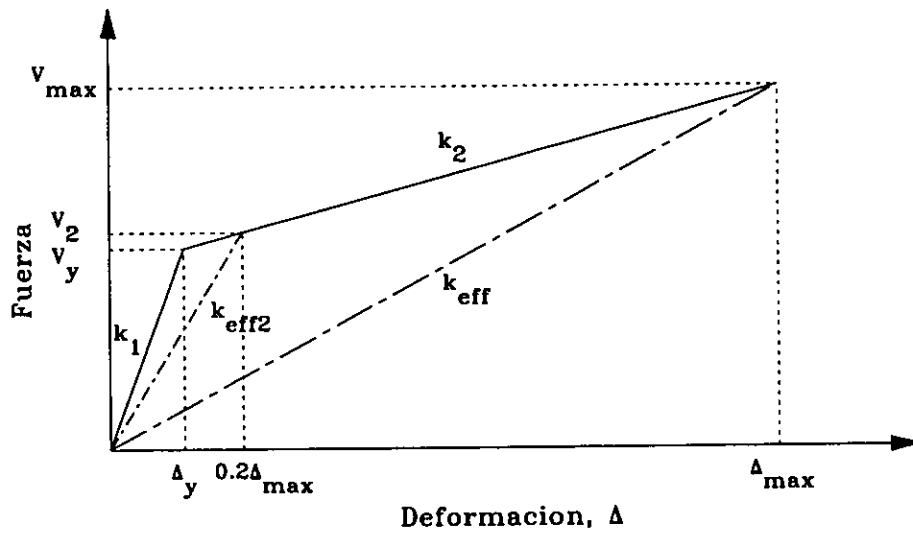


Figura 4.3. Gráfica esfuerzo-desplazamiento en el aislador

Figura 4.4
 Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a excitación E-W

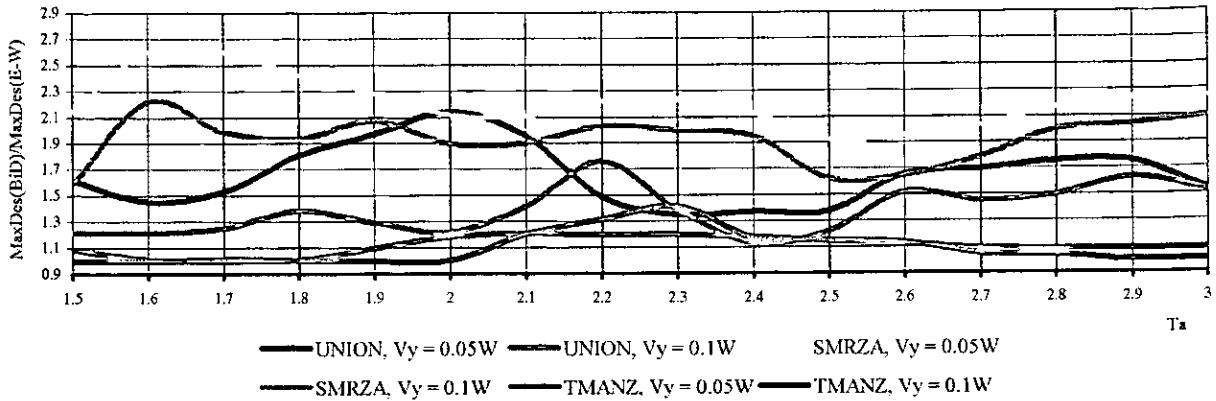


Figura 4.5
 Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante acción bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a excitación N-S

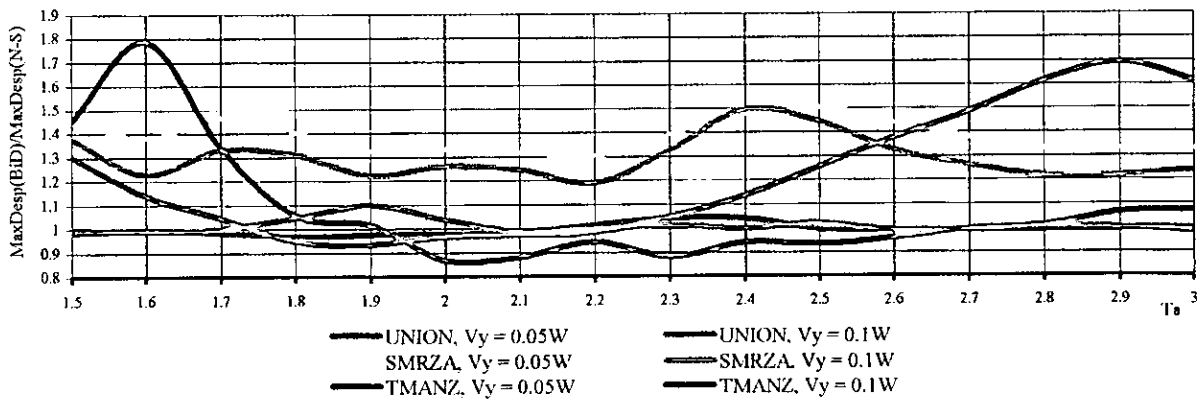


Figura 4.6
 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ)

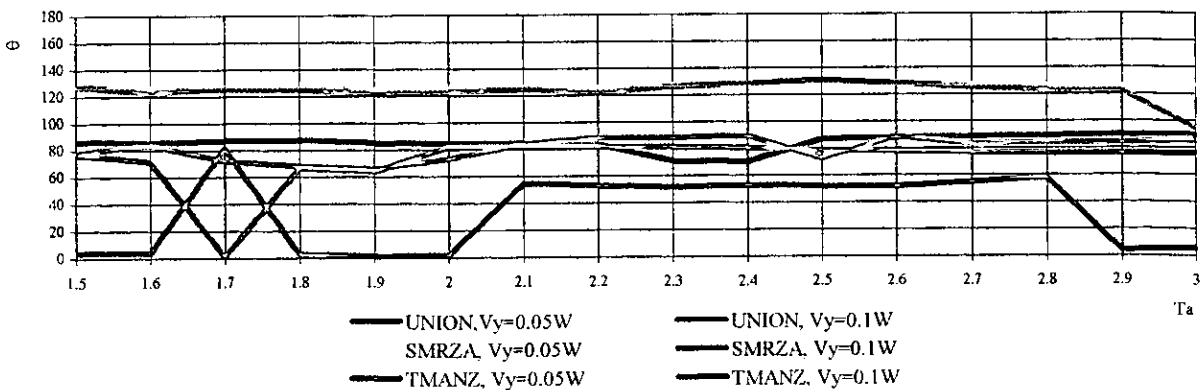


Figura 4.7

Relación entre el periodo aislado (T_a) y cociente del desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W

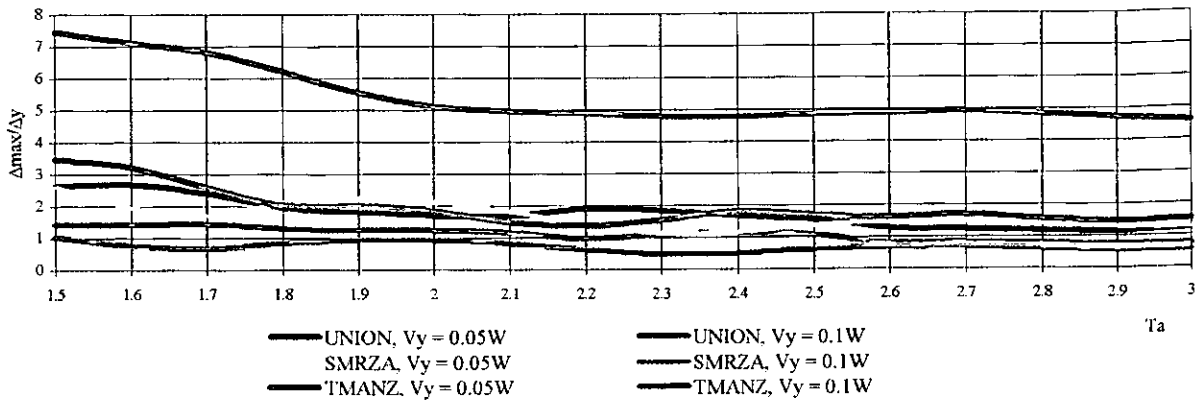


Figura 4.8

Relación entre el periodo aislado (T_a) y cociente del desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S

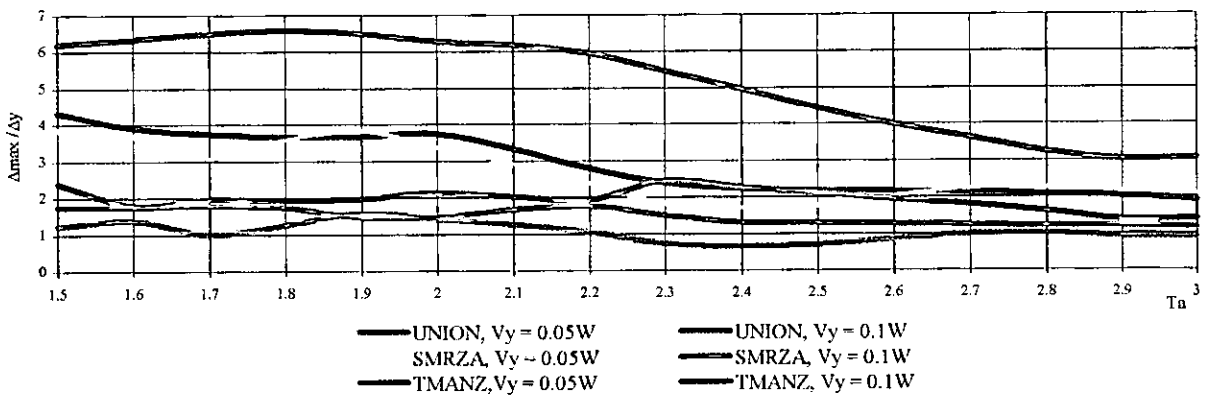
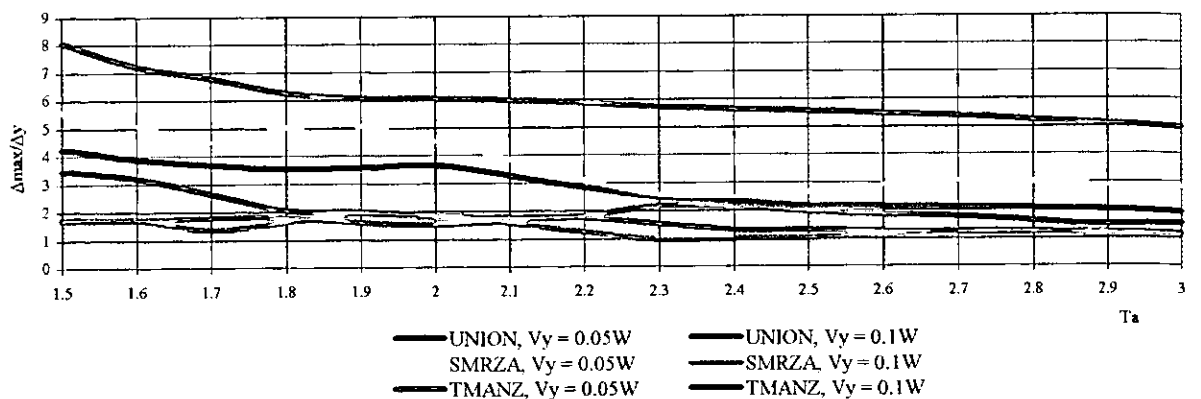


Figura 4.9

Relación entre el periodo aislado (T_a) y cociente del desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional



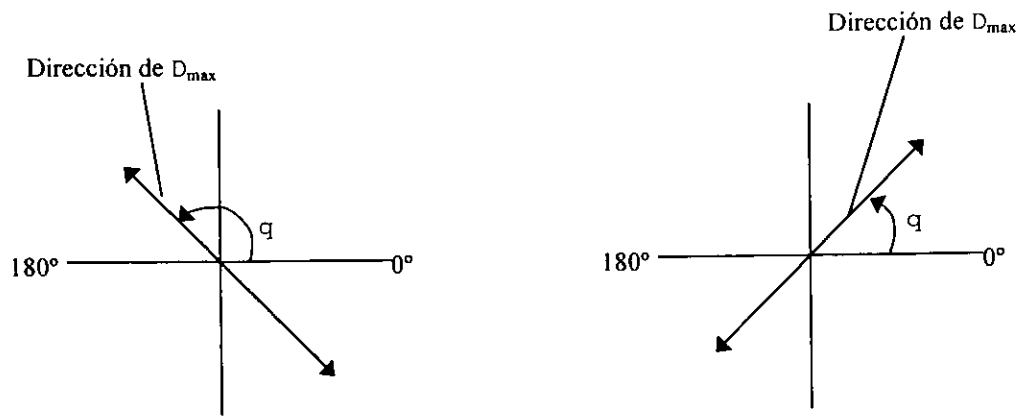


Figura 4.10 Medición del ángulo de la dirección del desplazamiento máximo del aislador (q), de 0° a 180° a partir del eje x.

CAPÍTULO V

INFLUENCIA DE LA EXCENTRICIDAD EN LA SUPERESTRUCTURA EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS CON BASE AISLADA

En el capítulo previo se ilustró la respuesta del modelo en estudio cuando éste no presenta excentricidades de los **CR** con respecto a los **CM** y es excitado por carga sísmica donde los desplazamientos dinámicos máximos que se generan son iguales para todos los aisladores, es decir, se desplazaban la misma distancia y con el mismo ángulo. En el presente capítulo se estudia la respuesta del mismo sistema estructural pero, presentando ahora excentricidades de los centros de rigideces con respecto a los de masas en los distintos niveles de la superestructura. Además, se realizará una comparación de los desplazamientos dinámicos máximos de los aisladores con respecto a modelos de referencia, que en este caso es la estructura sin considerar excentricidades en la superestructura (capítulo IV); con el fin de establecer la influencia de los efectos de torsión en dichos desplazamientos.

5.1 EXCENTRICIDADES DE LOS CENTROS DE RIGIDEZ EN LOS NIVELES DE LA SUPERESTRUCTURA.

Se estudiaron cuatro casos de excentricidad en la superestructura, variando la excentricidad a porcentajes del 5%, 10%, 15% y 20% de la dimensión **L** de la planta tipo (figura 5.1); en cada uno de estos porcentajes se determinaron dos variables; primero cuando la excentricidad del **CR** con respecto al **CM** se da en un solo sentido y, segundo, cuando se da en ambos sentidos (figura 5.2). En ambas variantes se excitó al modelo en primer lugar con la componente **E-W** de los registros seleccionados, posteriormente con la componente **N-S** y, finalmente, con las dos componentes horizontales; para ello se hizo uso nuevamente del programa de análisis no lineal para estructuras con base aislada, **3DBASIS**, donde se ingresaron los valores de excentricidad en superestructura en los archivos de datos, moviendo la ubicación del **CR**, ya que así lo permite el **3DBASIS**. El resto de los datos son los mismos que se presentaron en el capítulo IV, donde se explicaron las

propiedades del modelo y de los aisladores. Cabe mencionar que, al igual que en el capítulo IV, se emplearon dos valores de cortante de fluencia, tres acelerogramas y 16 periodos de vibración para el modelo en base aislada, dando lugar a 96 análisis distintos para cada caso de excentricidad en estudio.

A continuación se desglosan por separado cada uno de los casos mencionados en el párrafo anterior y los resultados obtenidos, que nuevamente se observarán sobre los aisladores número 4 y número 13 (figura 4.1).

5.1.1 Excentricidad del 5%.

La dimensión L de la planta para el modelo en estudio es de 21 m (figura 5.1), el 5% de este valor es 1.05 m, que es la distancia que se empleó como excentricidad e entre los centros de masa y de rigidez en los niveles de la superestructura; tanto para excentricidad en un solo sentido y excitación en el sentido distinto de ésta (noventa grados a partir del eje x , para excitación E-W y noventa grados a partir del eje y para excitación N-S), como para excentricidad en dos sentidos (45 grados a partir del eje x , acción de ambas componentes horizontales del movimiento del terreno); figura 5.2. A continuación se presenta el estudio por separado los resultados de los casos antes mencionados, presentándolos en forma gráfica dada la gran cantidad de información obtenida y, además, para un más fácil estudio y entendimiento de la influencia de la excentricidad en sistemas aislados.

5.1.1.1 Excentricidad en un sentido.

Se ubicó el CR a 1.05 m del CM primero sobre el eje x , siendo esta excentricidad la misma en los tres niveles de la superestructura, a partir de lo cual se realizaron los análisis dinámicos correspondientes, empleando las componentes N-S de los registros acelerográficos. Posteriormente se llevó a cabo el mismo proceso, pero ahora ubicando el CR sobre el eje y a 1.05m del CM y excitando al modelo con la componente E-W y, finalmente, se ubicó de nuevo sobre el eje x y se excitó con ambas componentes al mismo tiempo (figura 5.2-a).

En las figuras 5.3 y 5.4 se muestran los desplazamientos dinámicos máximos de los aisladores ante acción bidireccional normalizados con aquellos obtenidos ante excitación E-W y N-S; contando ahora con el CR sobre los ejes x y y de la planta tipo, correspondientemente; usando las dos variables del cortante de fluencia y a lo largo del intervalo de periodos de vibración T_a .

La marcada amplificación de la respuesta ante la acción bidireccional es la constante, las excepciones se observan con el registro **TMANZ** para excitación con la componente **E-W** (figura 5.3) y **UNION** y **TMANZ** para el aislador número 13 bajo la acción de la componente **N-S** (figura 5.4). Se recuerda que este aislador está comprendido en el marco sobre el cual actúa dicha componente de la excitación.

La figura 5.5 muestra el ángulo de desplazamiento dinámico máximo ante acción bidireccional a lo largo del intervalo de periodo de vibración T_a , cuando la excentricidad se presenta en un sentido de la planta tipo. Los cambios bruscos de dirección más significativos se dan al excitar al modelo con el registro **TMANZ**, sobre todo para $T_a = 1.9$ segundos, reafirmando la idea de la influencia de los efectos de sitio.

Las últimas tres figuras, 5.6, 5.7 y 5.8, muestran el cociente del desplazamiento dinámico máximo entre el desplazamiento de fluencia (o demanda de ductilidad), para las excitaciones **E-W**, **N-S** y bidireccional. El incursionamiento en el comportamiento inelástico es importante para $V_y=0.05W$. En las figuras existe un acoplamiento torsional debido a la excentricidad, generando desplazamientos dinámicos máximos distintos para los aisladores en estudio; en general, se observa que la demanda de ductilidad es algo mayor cuando se emplean ambas componentes de los registros seleccionados, las trayectorias de los dos aisladores son similares en la mayoría de los casos (generalmente el aislador número 13 muestra trayectorias algo mayores ante carga sísmica unidireccional y algo menores ante carga sísmica bidireccional).

5.1.1.2 Excentricidad en ambos sentidos.

Se ubicó el **CR** a 1.05 m del **CM** sobre el eje x y a 1.05 m sobre el eje y , a 45 grados a partir del eje x (figura 5.2-b), en todos los niveles de la superestructura. Se realizaron análisis dinámicos para conocer el comportamiento de los aisladores ante esta variación de excentricidades en el modelo, conservando el **CR** en el mismo punto ante los tres casos de excitación (**E-W**, **N-S** y bidireccional).

Las figuras 5.9 a 5.14 muestran los resultados de los análisis con excentricidad del 5%, en ambos sentidos, en la superestructura. En primer término las figuras 5.9 y 5.10 nos describen los máximos desplazamientos dinámicos de los aisladores seleccionados ante acción bidireccional normalizados con los correspondientes ante excitación **E-W** y **N-S**, respectivamente, observando la trayectoria de los desplazamientos a lo largo del intervalo de periodos de vibración T_a de 1.5 s a 3 s. Además, se observa la variación del comportamientos ante las dos variables del cortante de fluencia.

Al igual que en el estudio de la respuesta del modelo con excentricidad nula, nuevamente, la respuesta ante la acción bidireccional amplifica aquella de la acción en una sola dirección, con ciertas excepciones; entre las éstas se tienen: **TMANZ** con ambos cortantes de fluencia para el aislador 13, que obtiene unos desplazamientos dinámicos muy semejantes tanto bajo la excitación bidireccional como bajo la excitación **E-W** (figura 5.9); también están las respuestas de **UNION** y **TMANZ** con ambos cortantes de fluencia en el

aislador 4 y bajo excitación de la componente N-S, resaltando que en TMANZ se presenta una deamplificación de la respuesta al emplear la acción bidireccional de aquella obtenida con acción.

Se puede señalar que en el caso de la excitación E-W las amplificaciones de respuesta más pronunciadas se dan en el aislador número 4 y que ante la carga de la excitación N-S ocurre el caso contrario, es decir, en el aislador 13; esto se explica entendiendo que las excentricidades unidireccionales se encuentran en la misma dirección de la excitación que se les aplica, por lo cual el aislador que registra mayores desplazamientos dinámicos es aquel que se encuentra más lejano del lado donde la carga dinámica es aplicada (figura 5.2). Finalmente se observa que las respuestas de los registros que generan mayores amplificaciones se dan generalmente en periodos relativamente cortos (1.5 a 1.7 segundos) dentro del intervalo observado, aunque también existen amplificaciones importantes para el intervalo de periodos largo (2.6 a 3 segundos).

En la figura 5.11 se presenta la relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo en que se presenta el desplazamiento dinámico máximo obtenido ante la acción bidireccional de los tres registros. En general, el aislador número 4 (líneas continuas en la figura) presenta un comportamiento similar a lo largo de todo el intervalo de T_a , con ángulos semejantes; sin embargo, para el aislador número 13 se presentan variaciones apreciables bajo la acción de TMANZ y UNION. Se observa también que la variación del cortante de fluencia no genera cambios considerables en las direcciones de los desplazamientos dinámicos de los aisladores, a excepción de TMANZ. Los desfases de las direcciones de los desplazamientos fueron también observados en el capítulo IV, por lo que nuevamente se piensa en la posible problemática de los efectos de sitio, aunque para estar 100% seguros sería necesario un estudio más exhaustivo con diversos registros con esta característica, objetivo fuera del alcance del presente estudio.

Las siguientes tres gráficas, 5.12, 5.13 y 5.14, 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 (o demanda de ductilidad) para cada caso (tabla 4.3); para excitación E-W, N-S y bidireccional, respectivamente. En la mayoría de los casos los aisladores incursionan en el comportamiento inelástico, generando desplazamientos dinámicos mayores a los de fluencia; sobre todo en los periodos cortos del intervalo de T_a y descendiendo para periodos mayores. Las respuestas más reducidas se presentan cuando se excita al modelo con el registro SMRZA, ya que ambos aisladores, 4 y 13, no fluyen en secciones del intervalo de periodos, en ciertos periodos la respuesta ante el registro UNION en el aislador 13 tampoco fluye. En general las mayores amplificaciones del desplazamiento de fluencia se generan bajo TMANZ, en ambos aisladores y con ambas variables del cortante de fluencia. En todos los casos, el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador es inferior al límite de nueve que se obtendría a partir de la definición de las características mecánicas deseables para un aislador bilineal con $k_2/k_1=0.1$, de acuerdo con el reglamento UBC.

De ambos casos de excentricidad se observa que los comportamientos de ambos aisladores estudiados (4 y 13) son semejantes entre ellos que aquellos de los mismos

aisladores ante la distinta propuesta de excentricidad. Además de que los desplazamientos normalizados son menores cuando la excentricidad se presenta en un solo sentido. Por lo anterior se puede concluir que la existencia de excentricidades en ambos sentidos provoca mayores efectos de torsión que cuando ésta se encuentra sólo sobre un eje de la planta tipo.

5.1.2 Excentricidades del 10%, 15% y 20%.

Se estudia ahora la influencia de la excentricidad en los desplazamientos dinámicos máximos cuando los porcentajes de excentricidad son del 10%, 15% y 20% de la misma dimensión L . Se realizaron igual número de análisis que en el punto precedente para cada porcentaje nuevo, obteniendo igual cantidad de información; por cuestiones de espacio sólo se presentan las figuras con los resultados más importantes y/o interesantes, donde las condiciones observadas en las figuras del punto anterior varíen o muestren comportamientos diferentes en los nuevos análisis obtenidos.

5.1.2.1 Excentricidad en un sentido.

Se realizan el mismo tipo de comparaciones que cuando la excentricidad es del 5% de L , pero incrementando los porcentajes de excentricidad del CR con respecto al CM a 10%, 15% y 20% de la dimensión L , relacionando los resultados con aquellos obtenidos cuando la excentricidad es del 5%. Se comparan primeramente los desplazamientos máximos ante excitación bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a excitaciones $E-W$ y $N-S$.

En primer lugar se tiene que cuando se excita al modelo con la componente $E-W$ del movimiento horizontal del terreno y la excentricidad se ubica sobre el eje y de la planta tipo, las variaciones dependen del registro que se emplee como carga sísmica; por ejemplo, cuando se usa $SMRZA$, en ambos aisladores y con ambos variantes del cortante de fluencia, los desplazamientos ante carga bidireccional con respecto a los dados ante carga $E-W$ aumentan en forma constante al ir incrementando el valor de la excentricidad. En la figura 5.15 se muestra esta relación cuando la excentricidad es del 20% del valor L . En los casos de $UNION$ y $TMANZ$, se tiene que para el aislador número 4, para ambas variantes de cortante de fluencia, la respuesta tiende a incrementarse ligeramente a mayor grado de excentricidad; sin embargo, para el aislador número 13 tiende a disminuir o conservar los mismos valores; en la misma figura 5.15 se observan estas tendencias.

Cuando se excita al modelo con la componente $N-S$ del movimiento del terreno, ocurre un comportamiento similar, al ir incrementando la excentricidad y cargar al modelo con el registro $SMRZA$, se producen incrementos en la respuesta en ambos aisladores, con las componentes $UNION$ y $TMANZ$ se presentan incrementos ligeros para el aislador

número 4 y presentan poca variación en el aislador número 13. En la figura 5.16 se observan estos resultados cuando la excentricidad del CR es de 20% de la dimensión L.

En cuanto a los ángulos en que se presentan los desplazamientos máximos al ir variando el porcentaje de excentricidad del CR, se tiene que la tendencia con el incremento de excentricidad es de mayor constancia para el aislador número 4; para el aislador número 13 se observa también una constante a lo largo del intervalo de periodos T_a cuando se excita al modelo con el registro SMRZA (pero variaciones cuando se emplean los registros TMANZ y UNION). En la figura 5.17 se observan los ángulos de los desplazamientos para excentricidad del CR igual al 20 % de la dimensión L.

Finalmente se relacionaron los desplazamientos máximos obtenidos al excitar al modelo con aquellos desplazamientos de fluencia de los aisladores. Al emplear como carga sísmica la componente E-W (contando el modelo con excentricidad en un solo sentido en la superestructura) e incrementar los porcentajes de excentricidad se encontró que los cocientes aumentaban para el aislador 13 en proporción al aumento de excentricidad y disminuían ligeramente para el aislador 4, lo mismo sucedió al emplear la componente N-S y ambas componentes a la vez; en todos los casos se observó que bajo ciertas excentricidades (mayores al 10% de L) se generaban demandas mayores a 9, valor límite para el buen comportamiento de aisladores de tipo bilineal (por ejemplo elastómeros).

En las figuras 5.18 a 5.20 se muestra este cociente cuando la excentricidad del CR es del 10% de L, para cuando es del 15% se tienen las figuras 5.21 a 5.23 y las 5.24 a 5.26 para $e = 0.2L$. Al compararlas con las figuras 5.6 a 5.8 se tiene que cuando se emplean los registros UNION y TMANZ es notoria la amplificación de la respuesta para el aislador número 4, en el aislador número 13 se presenta una tendencia a variaciones, pero de magnitud mínima; para el registro SMRZA el incremento es notorio para ambos aisladores. Se entiende por lo anterior que a mayor incremento de excentricidad y ante ambas componentes horizontales del movimiento sísmico, la respuesta será cada vez más inelástica. Se observa que para $e > 0.1L$, TMANZ y $V_y = 0.05W$, el límite máximo $\mu = 9$ ligado a las recomendaciones del UBC es sobrepasado en un intervalo de periodos considerable, sobre todo para $e = 0.2L$ (figura 5.26).

5.1.2.2 Excentricidad en ambos sentidos.

Se estudian los desplazamientos máximos ante excitación bidireccional normalizados con los máximos correspondientes a excitaciones E-W y N-S. Comparando los resultados obtenidos con excentricidades del 10%, 15% y 20% de la dimensión L, con aquellos encontrados cuando $e = 0.05L$, se pueden hacer las siguientes observaciones.

Al relacionar los desplazamientos máximos ante acción bidireccional con los generados por acción en un solo sentido, en general, el comportamiento de los aisladores era similar para los nuevos casos de excentricidad con el conocido cuando la excentricidad era del 5% de L; solo que al aumentar el porcentaje de excentricidad la amplificación de los

desplazamientos dados por la excitación bidireccional también aumentaba para el aislador más lejano al lado donde se generaba la excitación en un sólo sentido (aislador número 4 para componente E-W y aislador número 13 para la componente N-S), y permanecía sin gran variación para el aislador más cercano (aislador número 13 para componente E-W y aislador número 4 para la componente N-S). En las figuras 5.27 y 5.28 se muestran estas relaciones de desplazamientos máximos para los dos aisladores en el intervalo de periodos T_a , primero para excitación E-W y después, para excitación N-S, cuando el porcentaje de excentricidad es $e = 0.2L$. Como se mencionó antes se observa un comportamiento semejante a las figuras 5.3 y 5.4, pero ahora la máxima amplificación alcanza valores de 5.1, aproximadamente, para la excitación SMRZA alrededor de los 1.6-1.7 segundos de periodo (figura 5.27) y de 2.3 para excitación TMANZ a los 2.7 segundos de periodo (figura 5.28). Se concluye de estas figuras que, habitualmente, a mayores excentricidades en los niveles de la superestructura, la amplificación de los desplazamientos ante excitación bidireccional tomando como origen la excitación en un solo sentido, aumenta en el aislador lejano a la fuente de excitación en un solo sentido, conforme dicha excentricidad va en aumento.

En cuanto a los ángulos que describen los desplazamientos máximos cuando se excita al modelo con ambas componentes horizontales del movimiento del terreno, se tiene que para el aislador número 4 la tendencia se torna más constante a lo largo del intervalo de periodos T_a al ir aumentando el porcentaje de excentricidad del CR; para el aislador número 13 continúan algunas variaciones observadas en la figura 5.29, donde se observa la gráfica de los ángulos cuando la excentricidad del CR es del 20% de L, se destaca que en el aislador 13 se presentan algunos cambios de ángulo. Se concluye por lo tanto que las variaciones de excentricidad en la superestructura del modelo aislado no generan, por lo general, cambios bruscos en el ángulo que describe el desplazamiento máximo de los aisladores al excitar al modelo.

Para las relaciones del desplazamiento máximo de los aisladores normalizados con los desplazamientos de fluencia correspondientes, se observó nuevamente tendencias similares a las de las figuras 5.12, 5.13 y 5.14, a lo largo del intervalo de periodos T_a ; sólo que dichos comportamientos se amplificaban al ir incrementando los porcentajes de excentricidad del CR.

En las figuras 5.30 a 5.32 se muestran dichos cocientes para excitaciones E-W, N-S y bidireccional, respectivamente, cuando la excentricidad del CR es igual al 10% de L, las figuras 5.33 a 5.35 presenta dichas relaciones para $e=0.15L$ y para $e=0.2L$ se tienen las figuras 5.36 a 5.38. Se observa, por ejemplo, que el máximo valor de incursionamiento al comportamiento inelástico ante la excitación de TMANZ en el aislador 4 y con cortante de fluencia del 5% del peso W, es de 11 veces el dado para generar la fluencia, en el mismo caso cuando la excentricidad es del 5% de L, dicho desplazamiento alcanza un valor de nueve veces al de fluencia. Con lo anterior se entiende que al ir aumentando los porcentajes de excentricidad en la superestructura, los aisladores alcanzan desplazamientos cada vez mayores a los necesarios para la fluencia. En este caso es aún más notorio que para

TMANZ, $V_y=0.05W$ y $e>0.1L$, se sobrepasa el límite $\mu=9$ ligado a la recomendación del UBC en un intervalo de periodos considerable, sobre todo para $e=0.2L$ (figura 5.38).

5.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON AQUELLOS OBTENIDOS DEL MODELO SIN EXCENTRICIDADES.

Se realiza una comparación de los desplazamientos dinámicos máximos obtenidos en cada caso de excentricidad en la superestructura, 5%, 10%, 15% y 20% de la dimensión L (tanto en una dirección como en ambas a la vez); con valores de referencia; en este caso, los desplazamientos obtenidos cuando el modelo no presenta excentricidades (capítulo IV). Con lo anterior se estudia la influencia de la excentricidad en la amplificación de los desplazamientos y en el acoplamiento torsional.

5.2.1 Comparación entre el modelo sin excentricidad y el modelo con excentricidad en un sentido.

Se realiza la normalización entre desplazamientos máximos cuando la excentricidad se genera en un sentido entre aquellos cuando el modelo no presenta excentricidad; empleando ambas componentes horizontales de los registros seleccionados. Las figuras 5.39 a 5.41 presentan, respectivamente, esta normalización en el aislador 4, con $V_y = 0.05W$ y con UNION, SMRZA y TMANZ como carga sísmica; cuando $V_y = 0.1W$ las relaciones se observan en las figuras 5.42 a 5.44. Las figuras 5.45 a 5.50 muestran los mismos casos anteriores pero observados en el aislador número 13. Se desprenden los siguientes comentarios:

Cuando se sujeta el modelo con los acelerogramas de UNION, con $V_y = 0.05W$ (figura 5.39), se observan amplificaciones de los desplazamientos con la presencia de excentricidad en la superestructura, sobre todo alrededor de los 1.8 segundos del periodo de vibración T_a . Lo mismo ocurre para TMANZ en la figura 5.41, pero el comportamiento es más constante con mayores desplazamientos alrededor de 1.8 segundos y con ligera tendencia descendente al aumentar el periodo T_a . Sin embargo, con SMRZA (figura 5.40) las amplificaciones y deamplificaciones son marcadas. Cuando $V_y = 0.1W$ y se solicita al modelo con los registros de UNION, figura 5.42, se presentan amplificaciones con un pico de importancia en los 1.9 segundos de T_a . Para TMANZ, figura 5.44, la tendencia es a la amplificación con incursiones a deamplificación en $T_a=2.3$ segundos. Finalmente para SMRZA (figura 5.43) vuelve a observarse la misma tendencia del caso anterior, con amplificaciones y deamplificaciones.

En las tablas 5.1 y 5.2 se observan los valores de amplificación y deamplificación para el aislador número 4 y con ambas variantes del cortante de fluencia.

Tabla 5.1
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 4

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.05	2.1	1.15	2.5	0.99	2.2	1.05	2.4	1.03	1.7	1.10	2.5
10	1.06	2.1	1.22	2.5	0.91	2.1	1.20	2.4	1.19	1.7	1.29	1.9
15	1.04	2.1	1.35	1.8	0.85	2.1	1.30	2.4	1.19	3.0	1.47	1.9
20	1.01	2.0	1.39	1.7	0.85	2.0	1.59	2.4	1.17	3.0	1.62	1.8

Tabla 5.2
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 4

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.09	2.2	1.21	1.7	0.95	2.4	1.10	1.8	0.91	2.3	1.15	2.9
10	1.09	2.2	1.30	1.9	0.89	2.2	1.29	1.8	0.86	2.3	1.32	2.9
15	1.05	2.2	1.49	2.0	0.79	2.1	1.63	1.7	0.86	2.3	1.41	2.1
20	0.99	2.2	1.50	1.9	0.79	2.0	1.80	1.7	0.97	2.3	1.50	2.1

De los casos correspondientes al comportamiento del aislador número 13 se encuentra que la figura 5.45 muestra, al ser excitada por UNION y con $V_y = 0.05W$, tendencias a la deamplificación todo el tiempo. Para TMANZ (figura 5.47) se observa una tendencia general hacia la amplificación de la respuesta a medida que el valor de la excentricidad aumenta, pasando incluso de una pequeña deamplificación (cuando $e = 0.05L$, en $T_a = 2.3$ segundos) a amplificaciones para mayores excentricidades. Ante SMRZA (figura 5.46) nuevamente se observa el cambio entre amplificaciones y deamplificaciones a lo largo del intervalo de periodos.

Cuando $V_y = 0.1W$ se tiene que para UNION (figura 5.48) la tendencia es hacia la deamplificación de los desplazamientos al aumentar la excentricidad e, sobre todo en los 2.2 y 2.8 segundos de T_a , sólo que cuando $e= 0.2L$ la tendencia se revierte ligeramente y se marcan deamplificaciones menores que las registradas en excentricidades más bajas. Con TMANZ (figura 5.50) se produce el efecto inverso, es decir, se generan amplificaciones con picos alrededor de los 2.21 segundos de T_a y una tendencia a igualar los valores de $e = 0$ en los 2.7 segundos. Para SMRZA (figura 5.49) el comportamiento es de amplificaciones y deamplificaciones son marcadas. Por lo que, en general, conforme aumenta la excentricidad se amplifica o deamplifica más la respuesta con respecto al sistema simétrico.

En las tablas 5.3 y 5.4 se observan los valores de amplificación y deamplificación para el aislador número 13 y con ambas variantes del cortante de fluencia.

Tabla 5.3
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 13

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.82	2.8	0.93	2.3	0.92	2.1	1.05	2.5	0.92	2.3	1.11	1.7
10	0.75	1.7	0.88	2.5	0.83	2.1	1.19	2.5	1.01	2.2	1.20	1.7
15	0.66	2.0	0.88	2.5	0.75	2.1	1.35	2.4	1.13	2.1	1.25	2.4
20	0.66	2.0	0.86	2.3	0.72	2.0	1.53	2.4	1.18	3.0	1.36	2.3

Tabla 5.4
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 13

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.79	2.8	0.98	2.5	0.90	2.2	1.05	1.8	1.01	2.6	1.20	2.2
10	0.75	2.8	1.01	2.0	0.79	2.1	1.15	2.5	1.00	2.7	1.31	2.1
15	0.71	2.8	0.95	2.0	0.60	2.1	1.40	1.7	0.96	2.7	1.39	2.1
20	0.85	2.5	0.95	2.0	0.59	2.0	1.50	1.7	0.97	2.7	1.48	2.1

Al comparar el comportamiento de ambos aisladores se encuentran tendencias similares, salvo que ante **UNION** y **TMANZ** en el aislador número 13 se producen deamplificaciones y en el aislador número 4 amplificaciones. Al variar el cortante de fluencia V_y , el comportamiento no genera grandes variantes, salvo en **TMANZ**, tal vez debido a los efectos de sitio que caracterizan este acelerograma.

5.2.2 Comparación entre el modelo sin excentricidad y el modelo con excentricidad en ambos sentidos.

Se normalizaron los desplazamientos máximos cuando la excentricidad se presenta en ambos sentidos de los niveles de la superestructura con aquellos obtenidos en el capítulo IV (modelo sin excentricidad); empleando como excitación a las dos componentes horizontales del movimiento del terreno de los registros seleccionados.

En las figuras 5.51 a 5.53 se observa dicha relación entre desplazamientos para el aislador número 4, con un cortante de fluencia $V_y = 0.05W$ y ante la acción de **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ**, respectivamente. La misma relación se presenta en las figuras 5.54 a 5.56, pero para los desplazamientos obtenidos al considerar un cortante de fluencia $V_y = 0.1W$.

Para el aislador número 13 el cociente de respuestas se muestra en las figuras 5.57 a 5.62; con $V_y = 0.05W$ (5.57 a 5.59) y $V_y = 0.1W$ (5.60 a 5.62). De todas las gráficas anteriores se desprenden las siguientes observaciones

Al excitar al aislador número 4 con el registro UNION, en general, para ambas variantes de V_y , a mayor excentricidad del CR se observan mayores amplificaciones de los desplazamientos dinámicos máximos; a excepción de una pequeña franja en el intervalo de periodos T_a , alrededor de los 2.1 segundos, donde las amplificaciones tienden a cero y los desplazamientos a constante. Se observa asimismo que las variaciones de amplificaciones entre las dos variantes de V_y (figuras 5.51 y 5.54) no son muy significativas, salvo algunos picos, por lo que se concluye que las amplificaciones de los desplazamientos máximos al incrementar la excentricidad del CR suelen ser muy similares independientemente de los valores del cortante de fluencia V_y empleado en el análisis.

Cuando se emplea TMANZ, el mismo aislador 4 sufre una marcada amplificación de desplazamientos con el incremento de la excentricidad; que para $V_y = 0.05W$ alcanza un máximo de 1.58 veces el desplazamiento cuando la excentricidad es nula, en 1.9 segundos y con $e=0.2L$; para $V_y = 0.1W$, la amplificación es de 1.68 veces en 2.1 segundos. En este caso el valor del cortante de fluencia influye, ya que cuando éste es el 5% de W , la tendencia de amplificación de respuesta es casi constante, sobre todo a partir de los 1.9 segundos; mientras que cuando $V_y = 0.1W$ la amplificación se presenta alrededor de los 2.1 y 2.9 segundos, tendiendo a presentar amplificación baja o nula alrededor de los 1.7 segundos.

En el caso de SMRZA (figuras 5.52 y 5.55) la amplificación de la respuesta no es tan marcada, dándose sólo en ciertos intervalos de T_a , como se observa en las figuras correspondientes, generalmente alrededor de los 1.7 y 2.5 segundos; mientras que entre 1.8 y 2.2 segundos la orientación es hacia una deamplificación de la respuesta con el incremento de excentricidades. En general el comportamiento es similar con ambos valores de V_y , salvo los casos de $e=0.5L$ y $e=0.2L$.

De los anteriores comentarios se concluye que en este caso, al emplear un registro epicentral como SMRZA el acoplamiento torsional, al incrementar el valor de la excentricidad del CR, aumenta y disminuye a lo largo del intervalo de periodos T_a ; mientras que para los otros registros la tendencia suele ser a la alza. También se observa que al variar el cortante de fluencia V_y , la tendencia de amplificaciones de las respuestas al aumentar la excentricidad del CR se mantiene, salvo con el registro TMANZ, donde se presentan variaciones entre las dos variantes de T_a ; como ya se comentó anteriormente, las características del registro hacen pensar en que estos efectos posiblemente se deban a efectos de sitio, estudio fuera de los objetivos del presente trabajo.

Las tablas 5.5 y 5.6 resumen los valores de amplificación y deamplificación para el aislador número 4 y con ambas variantes del cortante de fluencia.

Para el comportamiento del aislador número 13 se anotan los siguientes comentarios extraídos de las figuras 5.57 a 5.62.

Tabla 5.5
Factores de amplificación con e en ambos sentidos y $V_y=0.05W$ en el aislador 4

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.06	2.1	1.14	1.6	0.79	1.8	1.10	2.3	1.05	1.7	1.10	2.0
10	1.07	2.1	1.25	1.6	0.95	2.2	1.10	1.7	1.13	1.7	1.25	1.9
15	1.07	2.1	1.39	1.6	0.94	2.2	1.20	1.7	1.29	1.7	1.40	1.9
20	1.06	2.0	1.39	1.7	0.89	2.1	1.30	1.7	1.18	3.0	1.57	1.9

Tabla 5.6
Factores de amplificación con e en ambos sentidos y $V_y=0.05W$ en el aislador 4

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.09	1.9	1.19	2.8	0.91	2.4	1.04	1.8	1.00	2.0	1.13	2.6
10	1.10	2.2	1.22	2.8	0.91	2.2	1.15	1.8	1.00	2.0	1.30	2.9
15	1.10	2.2	1.49	2.0	0.88	2.2	1.25	1.8	1.05	2.0	1.46	2.9
20	1.08	2.2	1.60	2.0	0.60	2.0	1.51	1.7	1.02	1.7	1.66	2.1

Al excitar al modelo con el registro UNION se observa en general una deamplificación de la respuesta a mayor excentricidad del CR. A partir de los 2.4 segundos este comportamiento se revierte cuando $V_y = 0.05W$ y $e=0.05L$.

Cuando se somete a la estructura a los acelerogramas de TMANZ con $V_y = 0.05W$ se presenta una deamplificación de la respuesta, para las distintas excentricidades, en forma constante. Cuando $V_y = 0.1W$ el comportamiento es distinto, presentándose primero, una respuesta cercana a constante para las distintas excentricidades; segundo, una amplificación y, finalmente, se observa una deamplificación marcada con tendencia al comportamiento de $e = 0$ en los últimos valores del intervalo de periodos T_a .

Para SMRZA se presentan tanto amplificaciones como deamplificaciones de la respuesta original ($e=0$) con tendencia similar para ambas variantes de V_y , sobresaliendo la deamplificación descrita con $V_y = 0.05W$ cuando la excentricidad del CR es $e = 0.05L$ entre 1.8 y 2 segundos.

Las tablas 5.7 y 5.8 resumen los valores de amplificación y deamplificación para el aislador número 13 y con ambas variantes del cortante de fluencia.

Como comentario final para las anteriores figuras se anota que nuevamente se generan tendencias distintas ante V_y distintos cuando la sollicitación sísmica está dada por el registro TMANZ. Al comparar los resultados obtenidos para el aislador número 4 con los

encontrados con el aislador número 13 se encuentra semejanza en el comportamiento de dichos aisladores, a excepción de que el aislador número 4 tiende más hacia la amplificación y el número 13 hacia amplificaciones menores o deamplificaciones. Lo anterior se debe a la ubicación de los aisladores en la planta del modelo y a que las dos componentes horizontales de los registros empleados tienen diferentes intensidades para el intervalo de periodos seleccionado (la mayor intensidad se presenta en la componente E-W).

Tabla 5.7

Factores de amplificación con e en ambos sentidos y $V_y=0.05W$ en el aislador 13

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.81	2.6	0.90	2.3	0.61	1.8	1.02	2.5	0.91	2.4	1.00	1.8
10	0.76	2.0	0.85	2.7	0.93	2.1	1.09	2.5	0.86	2.3	1.00	1.8
15	0.60	2.0	0.90	2.7	0.90	2.0	1.14	2.5	0.85	2.4	1.00	1.8
20	0.48	2.0	0.91	3.0	0.85	2.1	1.19	2.4	0.89	2.6	1.00	1.8

Tabla 5.8

Factores de amplificación con e en ambos sentidos y $V_y=0.05W$ en el aislador 13

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.78	2.8	0.93	2.1	0.91	2.4	1.01	1.8	0.89	2.5	1.09	2.1
10	0.69	2.8	0.90	2.4	0.88	2.2	1.09	1.8	0.87	2.4	1.16	2.1
15	0.61	2.2	0.88	3.0	0.82	2.2	1.11	1.7	0.85	2.3	1.20	2.1
20	0.58	2.2	0.90	2.4	0.78	2.1	1.25	1.7	0.84	2.3	1.15	2.1

5.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE EXCENTRICIDAD BIDIRECCIONAL Y EXCENTRICIDAD EN UN SENTIDO.

Se realiza una normalización de los resultados obtenidos cuando el porcentaje de excentricidad del CR respecto al CM es bidireccional con respecto a los observados cuando tales porcentajes se generan sólo en un sentido de la planta tipo del modelo en estudio, con el fin de conocer ante que tipo de excentricidad se producen los máximos desplazamientos dinámicos. Para lo anterior se graficaron los desplazamientos máximos de ambos casos y ante los distintos porcentajes de excentricidad e y de fuente de excitación.

En las figuras 5.63 a 5.65 se observan las normalizaciones correspondientes para el aislador número 4, con un porcentaje de excentricidad $V_y = 0.05W$ y ante la acción bidireccional del movimiento del terreno de los registros **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ**, respectivamente. Las figuras 5.66 a 5.68 muestran los mismo casos pero con $V_y = 0.1W$. Para el aislador número 13 se presentan las figuras 5.69 a 5.71 para $V_y = 0.05W$ y 5.72 a 5.74 para $V_y = 0.1W$. De todas estas figuras se mencionan los siguientes comentarios.

Para el aislador número 4, con ambas variantes de V_y y ante **UNION** (figuras 5.63 y 5.66) los mayores desplazamientos se generan cuando la excentricidad se presenta bidireccionalmente, aunque para algunos porcentajes de e y en ciertos periodos de T_a se observa mayor desplazamiento cuando la excentricidad es unidireccional. Ante **SMRZA** (figuras 5.64 y 5.67) ante los distintos porcentajes de e , los desplazamientos máximos varían y se presentan, a lo largo del intervalo T_a , tanto para la excentricidad bidireccional como la unidireccional, además con el incremento de excentricidad no se crean grandes amplificaciones en las relaciones de desplazamientos. Ante **TMANZ** las respuestas de ambas propuestas de excentricidad son más parecidas entre los distintos porcentajes de excentricidad, sobre todo cuando $V_y=0.05W$, donde los valores son muy cercanos a la unidad; en $V_y=0.1W$ se presenta una amplificación notoria en $T_a=2.3$ segundos.

Para el aislador número 13 (figuras 5.69 a 5.74) se observa nuevamente que las respuestas mayores varían, en unos casos se obtienen cuando la excentricidad es bidireccional y en otros cuando ésta es unidireccional; la mayor amplificación de respuestas se observa cuando la excentricidad se ubica bidireccionalmente con $V_y=0.1W$, en el aislador 13 y ante la excitación de **SMRZA** (figura 5.73), cuando $e=0.15L$.

5.4 COMENTARIOS FINALES DEL CAPÍTULO.

En cuanto a los resultados del estudio del modelo con excentricidades en la superestructura se anotan las siguientes conclusiones:

- Se observó que los ángulos que describen los desplazamientos dinámicos generan trayectorias constantes a lo largo del intervalo de periodos T_a cuando se emplea como excitación el registro **SMRZA**; con **UNION** se observó cierta variación en las trayectorias de desplazamientos registradas para el aislador número 13; pero la mayor variación de trayectorias es con **TMANZ**, sobre todo con porcentajes de excentricidad bajos, nuevamente se piensa que este comportamiento podría quizá deberse a los efectos de sitio que caracterizan este registro, aunque para establecer esta idea sería necesario realizar estudios con varios registros de iguales características.
- Se observó que, en general, a mayor excentricidad, mayor amplificación o deamplificación de los desplazamientos de los aisladores con respecto a los obtenidos para el sistema simétrico.

- Se observó diferencia entre los desplazamientos de los dos aisladores en estudio, existiendo acoplamiento torsional por las excentricidades presentes.
- Para los aisladores en estudio y en el intervalo de periodos considerado, se observó que, contra lo que se suponía *a priori*, el contar con excentricidad en ambos sentidos en la superestructura no necesariamente lleva a desplazamientos mayores que cuando se cuenta con ese mismo porcentaje de excentricidad, pero en un solo sentido.
- Al emplear los registros bidireccionalmente se encontró, en general, una marcada amplificación de la respuesta con respecto a la dada cuando se emplearon los registros unidireccionalmente, con excepciones en pequeños intervalos y ante la acción, sobre todo, del registro **TMANZ**. El aislador que generalmente registra las mayores amplificaciones con excentricidades unidireccionales es el número 4, para excentricidad en ambos sentidos el que registra la mayor amplificación es el que se encuentra más lejano de la fuente de excitación en un sentido (aislador número 4 para excitación E-W, aislador número 13 para excitación N-S). Con el incremento de e la amplificación de los desplazamientos (excitación bidireccional vs excitación unidireccional) aumenta en el aislador más lejano a la fuente de excitación en un solo sentido.
- Las variaciones más notorias de amplificación de la respuesta (excitación sísmica bidireccional vs un sentido) se obtienen con **TMANZ**, encontrándose extremos de amplificación de 1.9 como máximo y 0.8 como mínimo, componente N-S para $e=0.05L$ en un sentido; 1.98 como máximo y 0.9 como mínimo, componente N-S para $e=0.2L$ en un sentido; 2.1 como máximo y 1.1 como mínimo, componente N-S para $e=0.05L$ en ambos sentidos y; 2.25 como máximo y 1.3 como mínimo, componente N-S para $e=0.2L$ en ambos sentidos.
- Ante los registros empleados y $V_y=0.05W$ se genera un comportamiento más eficiente de los aisladores (desde el punto de vista de demandas de ductilidad), que con $V_y=0.1W$, ya con éste último existen respuestas donde los aisladores no alcanzan el desplazamiento de fluencia; esta conducta se observa en ambos casos (uno y ambos sentidos) y porcentajes de excentricidad.
- Al emplear como fuente sísmica sólo una de las componentes horizontales (E-W, N-S), o ambas componentes simultáneamente, contando el modelo con excentricidad en un solo sentido e incrementando los porcentajes de ésta, se encontró que las demandas de ductilidad se incrementaban con el aumento de excentricidad, siendo la respuesta más inelástica cuanto mayor es la excentricidad.
- Se observa un mayor comportamiento inelástico en el desplazamiento de los aisladores al inicio del intervalo de periodos T_a considerado. Se rebasa el límite de nueve (para el buen funcionamiento de aisladores bidireccionales) asociado a la curva primaria del **UBC** para $k_1/k_2=0.10$, cuando la excentricidad es unidireccional para excitaciones mayores a $e=0.1L$ para **TMANZ**. Cuando la excentricidad es bidireccional dicho límite es superado nuevamente por **TMANZ** en el mismo porcentaje de excentricidad.

- En general, las mayores respuestas ante la acción de los registros **UNION** y **TMANZ** se obtienen en ambos aisladores cuando la excentricidad es unidireccional, sólo cuando $V_y=0.05W$ ante **UNION** en el aislador 4 se obtienen mayores desplazamientos cuando e es bidireccional. Para **SMRZA** los desplazamientos máximos varían y se presentan tanto para la excentricidad bidireccional como la unidireccional.
- En general, se observó que para el registro **TMANZ** al variar el cortante de fluencia cambia la respuesta del sistema; mientras que ante la acción de los registros sin efectos de sitio la respuesta tiende a variaciones mínimas.
- En general, se puede concluir que la amplificación o deamplificación de los desplazamientos dinámicos máximos de los aisladores por concepto de excentricidad en la superestructura no son constantes para el intervalo de periodos considerados, y sus características dependen fuertemente de las características propias de los movimientos del terreno, observándose diferencias significativas en las curvas obtenidas para los registros considerados en el presente estudio.

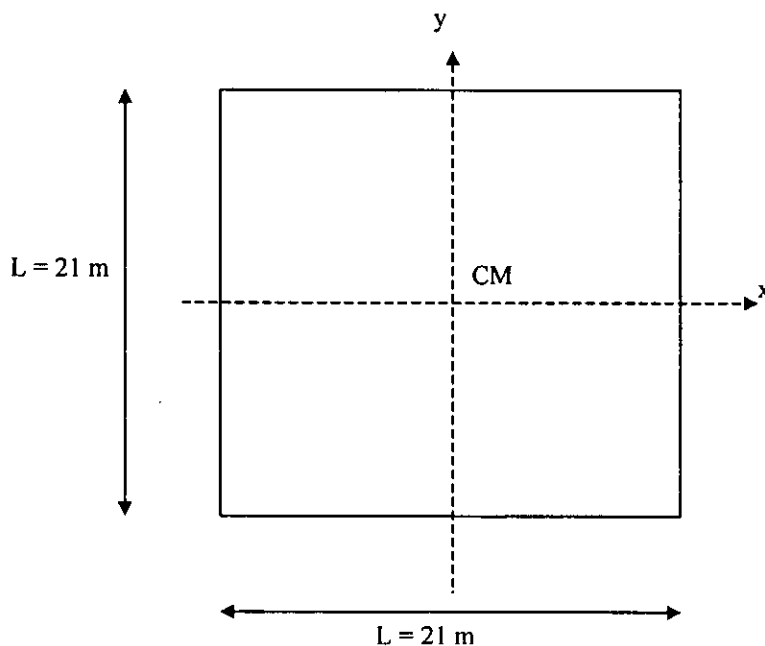


Figura 5.1. Dimensión L de la planta tipo para porcentajes de excentricidad

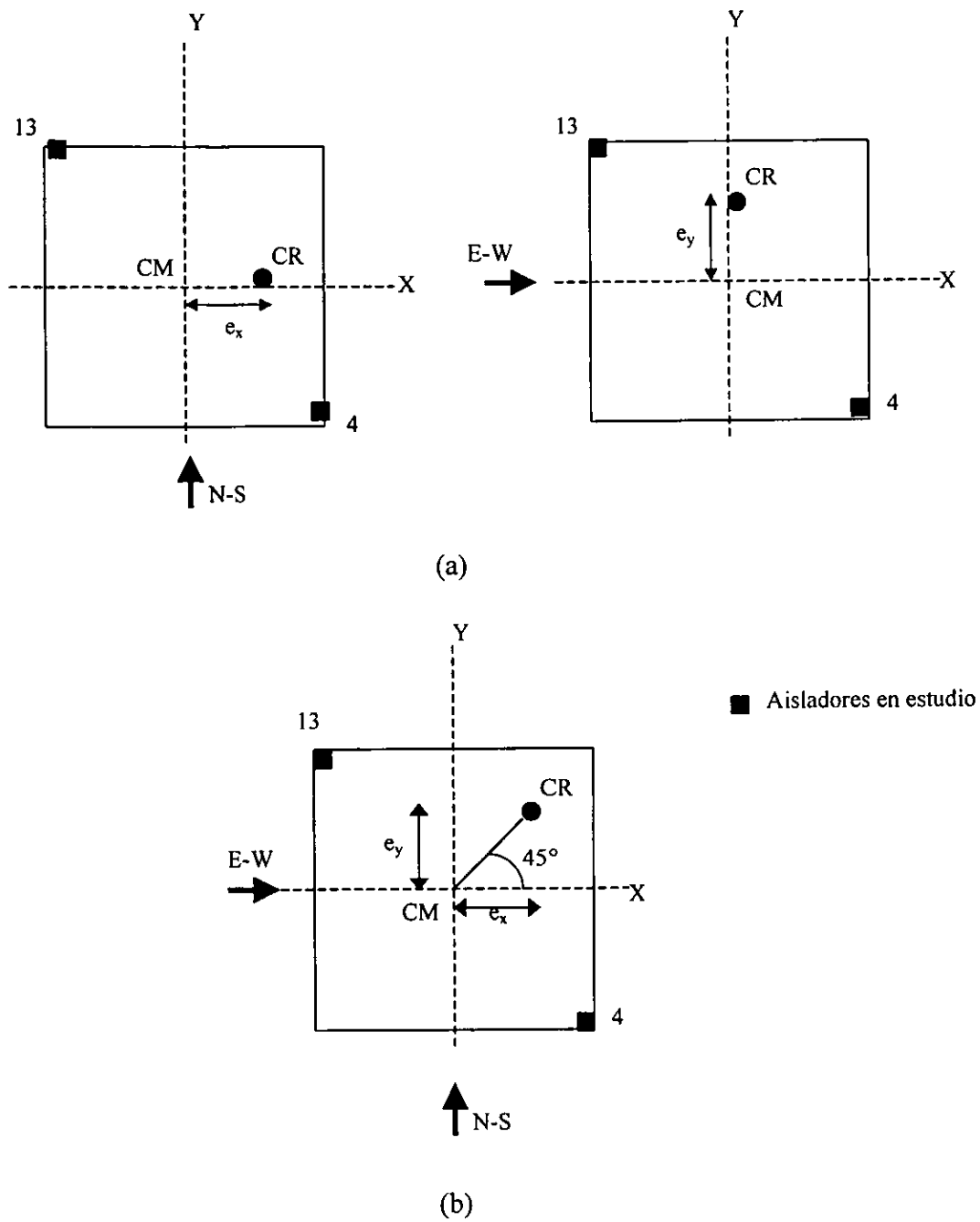


Figura 5.2. Ubicación de los CR ante excentricidades unidireccionales (a) y bidireccional (b), respectivamente.

Figura 5.3

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en un sentido

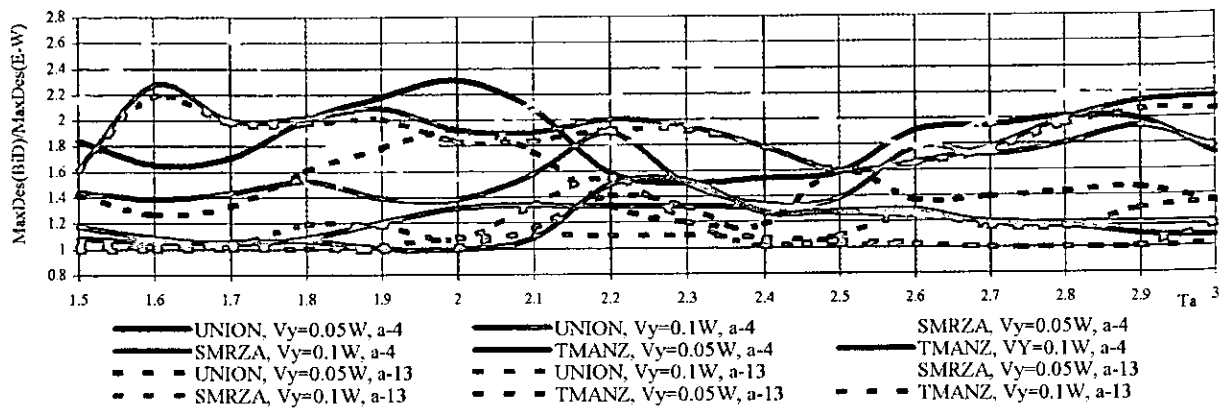


Figura 5.4

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en un sentido

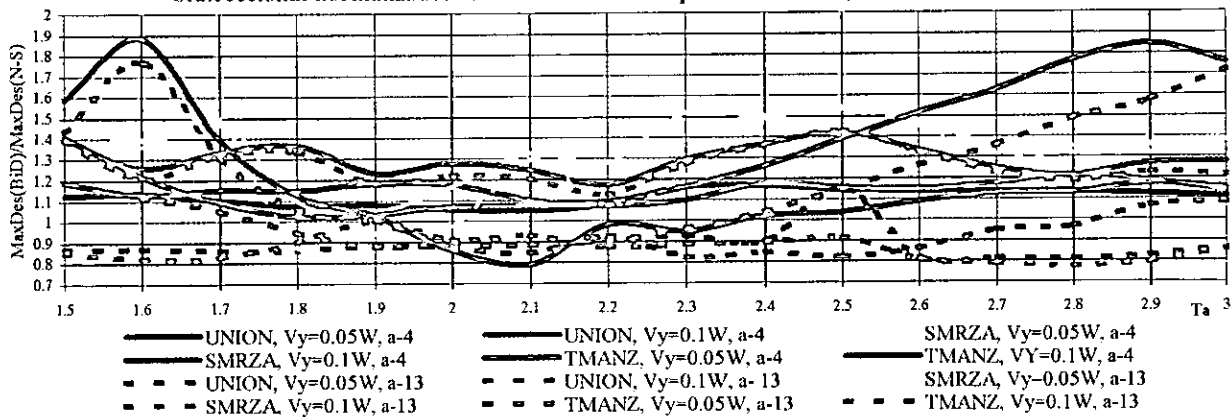


Figura 5.5

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en un sentido

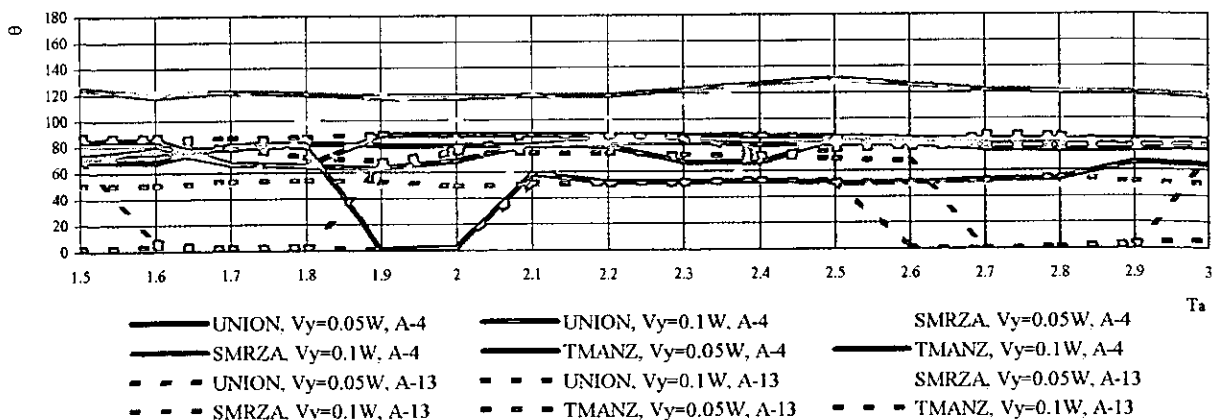


Figura 5.6

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en un sentido

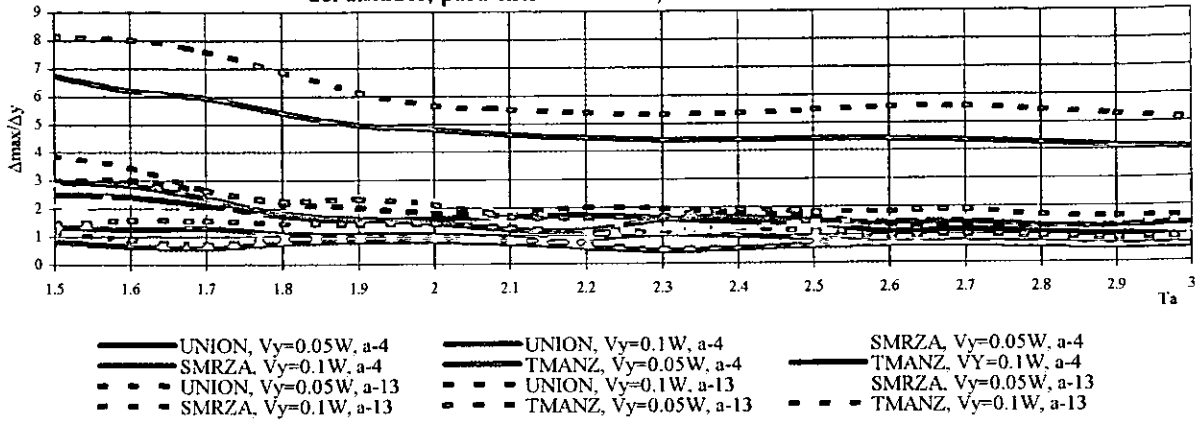


Figura 5.7

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en un sentido

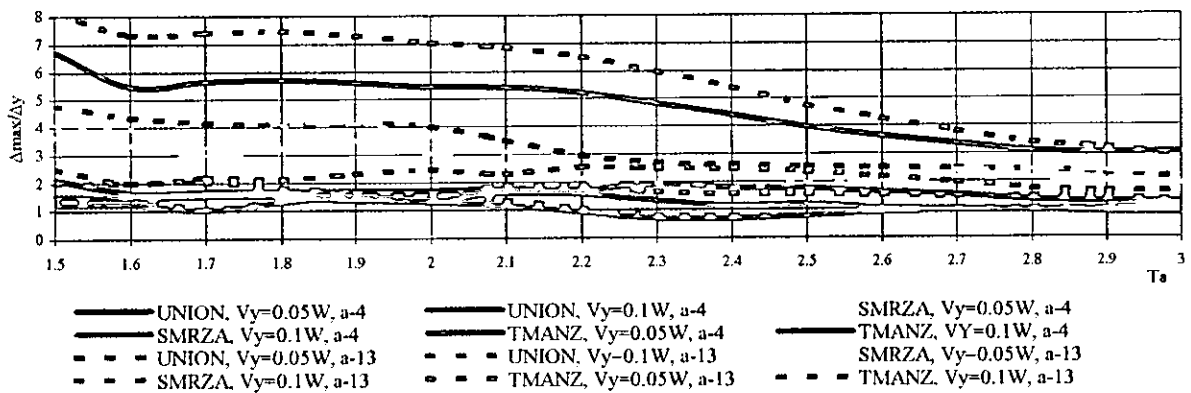


Figura 5.8

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en un sentido

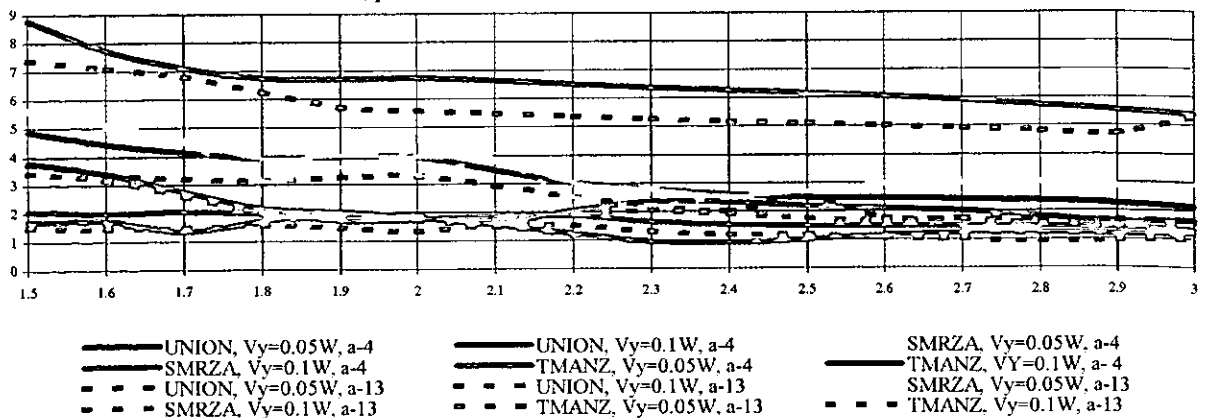


Figura 5.9

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos

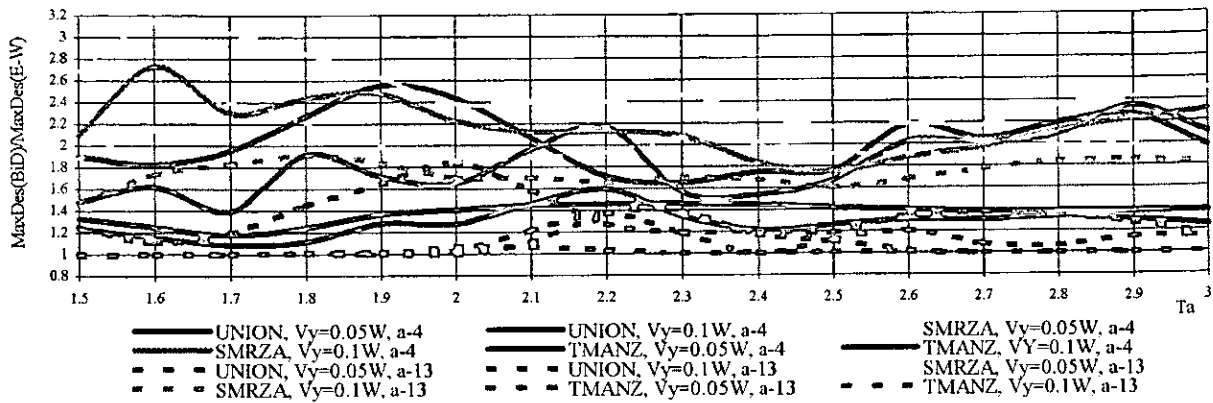


Figura 5.10

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e = 0.05L$ en ambos sentidos

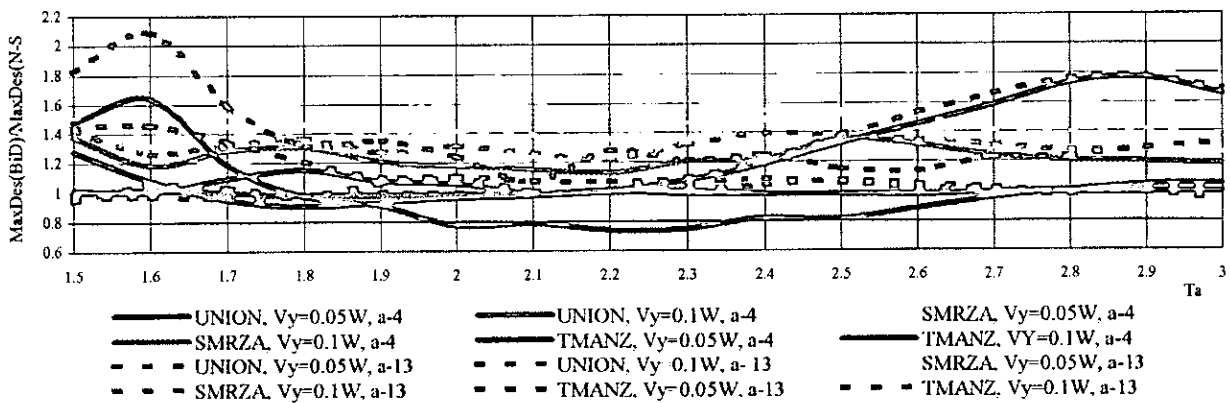


Figura 5.11

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en ambos sentidos

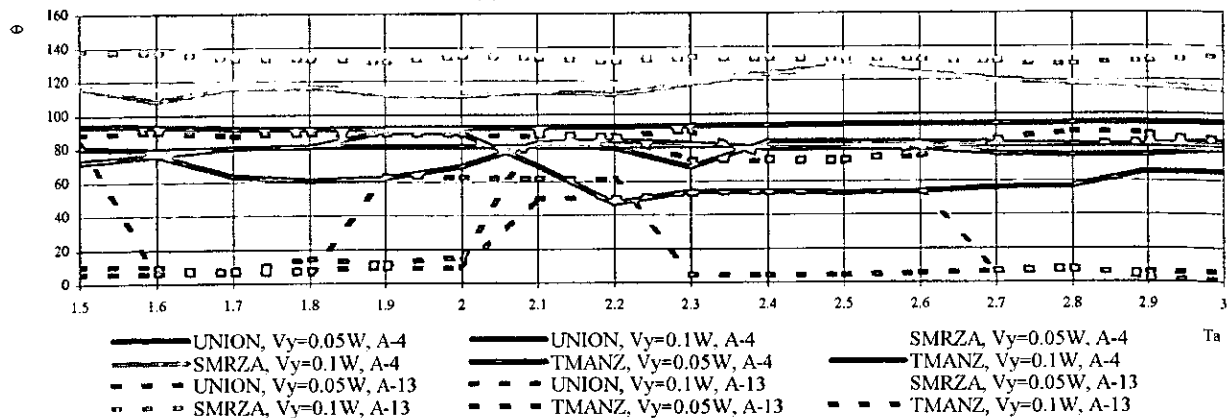


Figura 5.12

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos

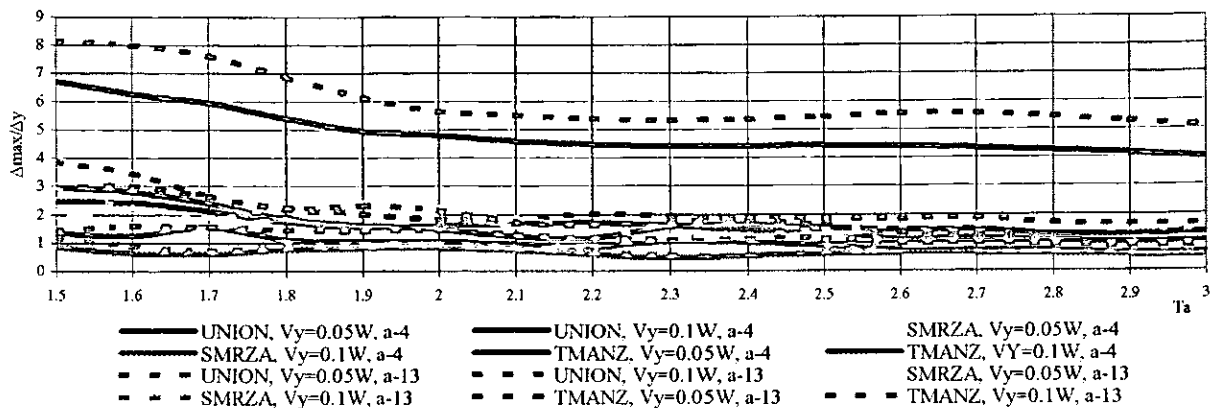


Figura 5.13

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos

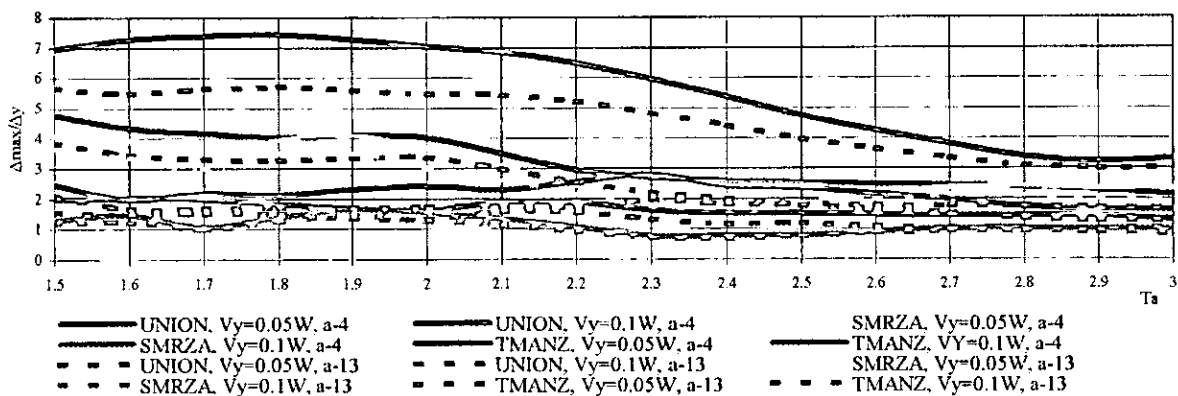


Figura 5.14

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en ambos sentidos

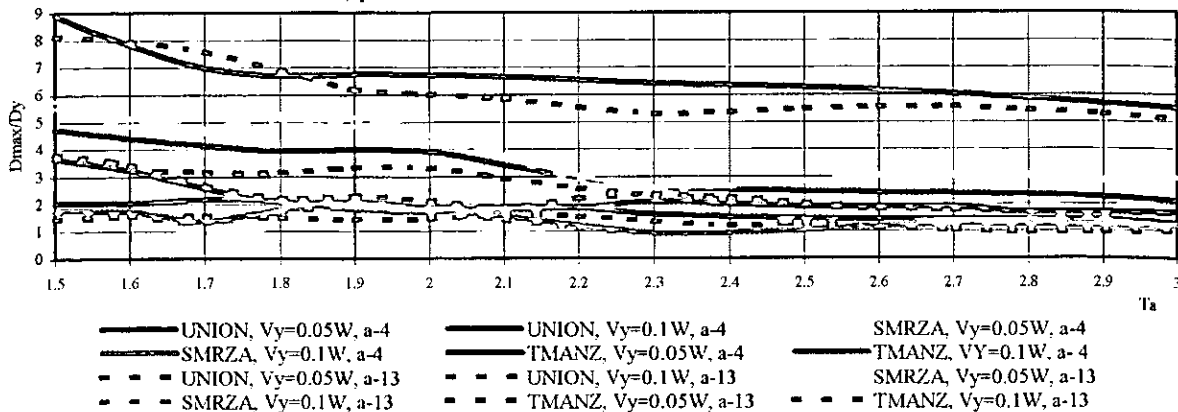


Figura 5.15

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en un sentido

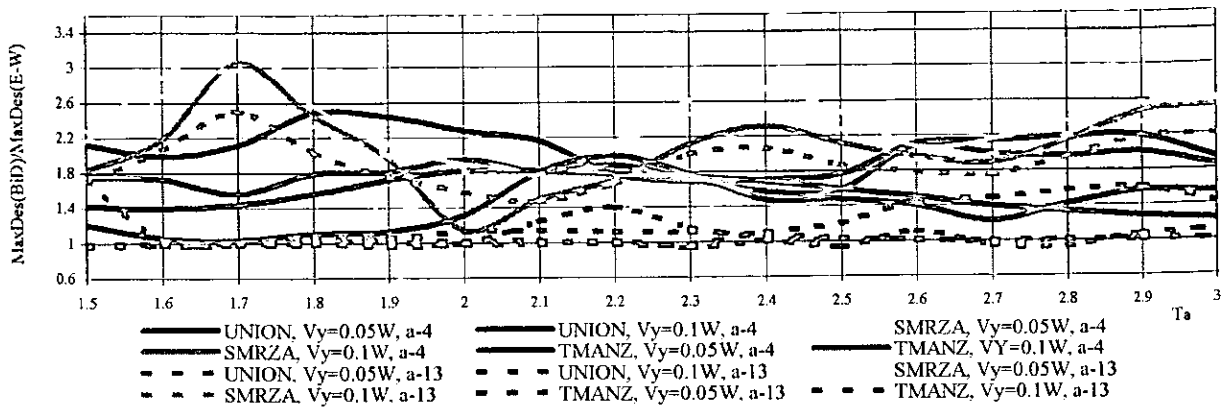


Figura 5.16

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos generales normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en un sentido

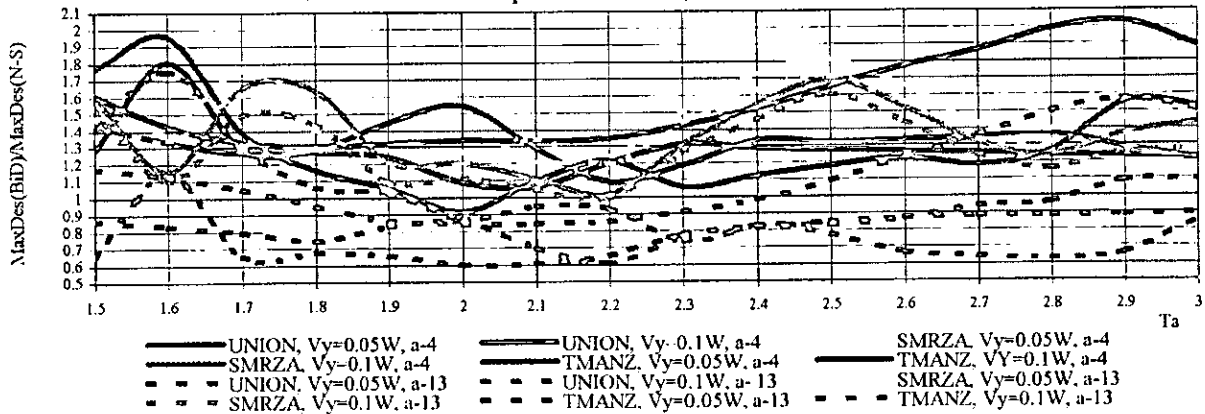


Figura 5.17

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en un sentido

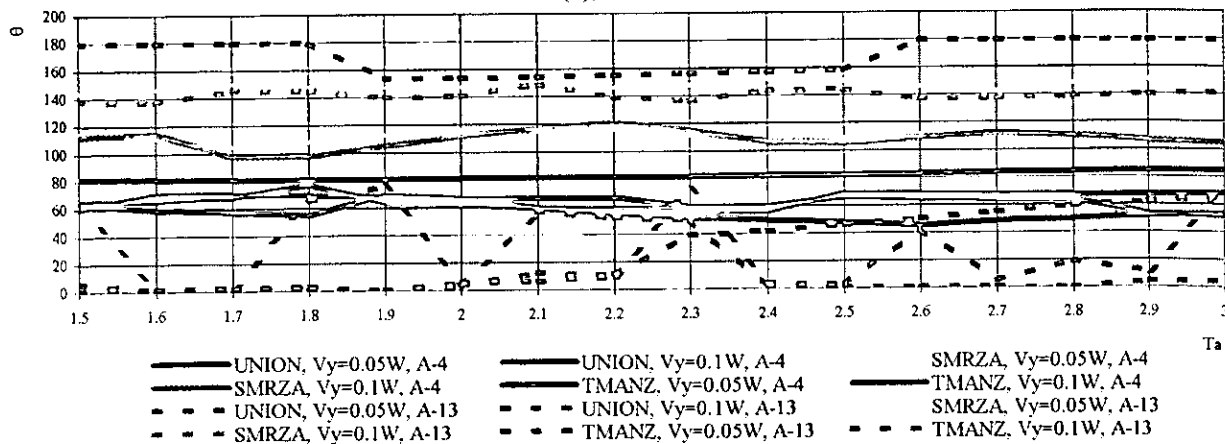


Figura 5.18

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en un sentido

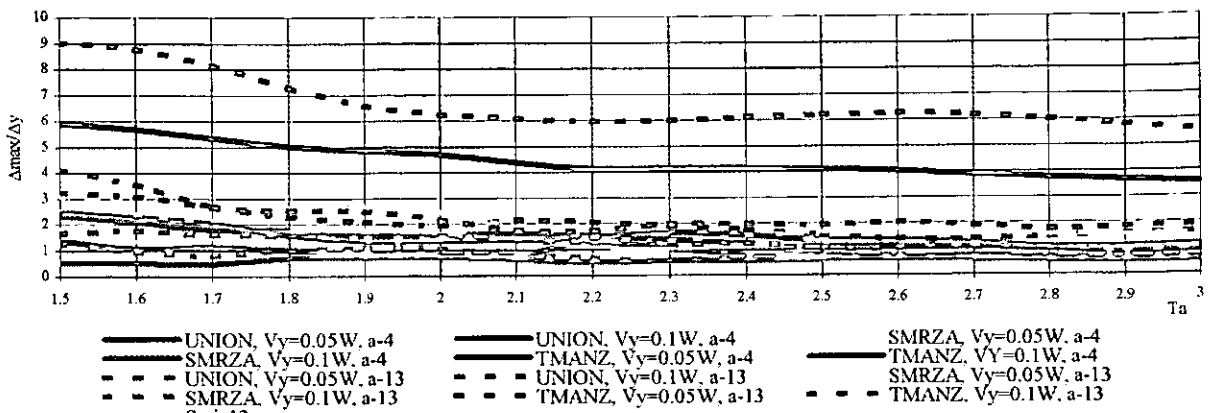


Figura 5.19

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en un sentido

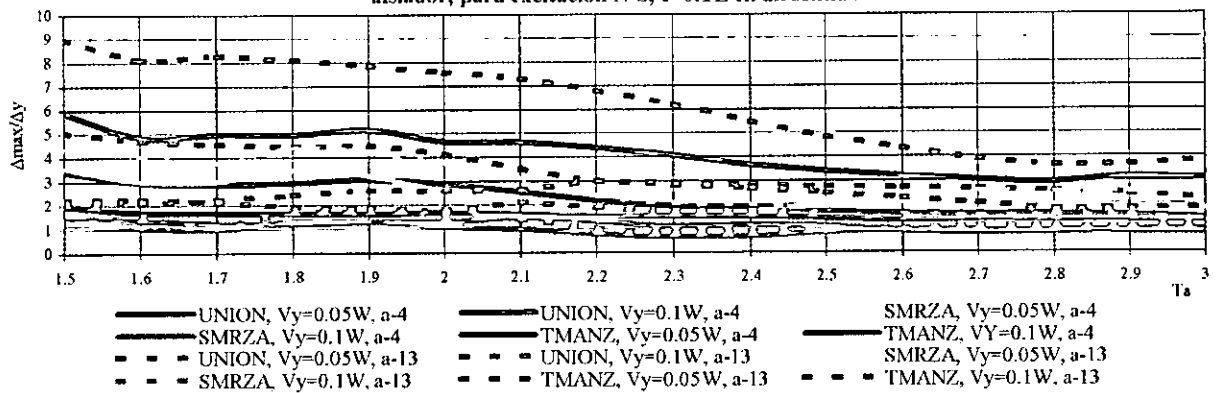


Figura 5.20

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en un sentido

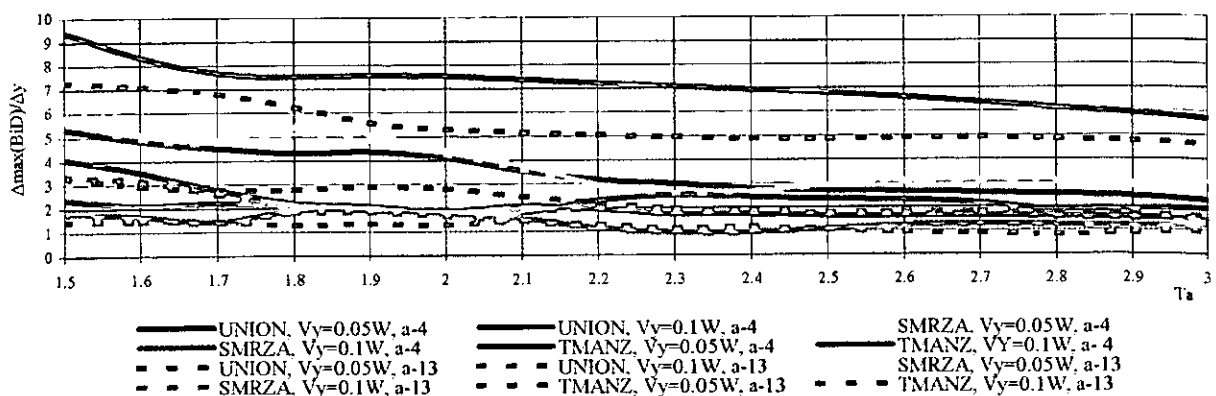


Figura 5.21

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en un sentido

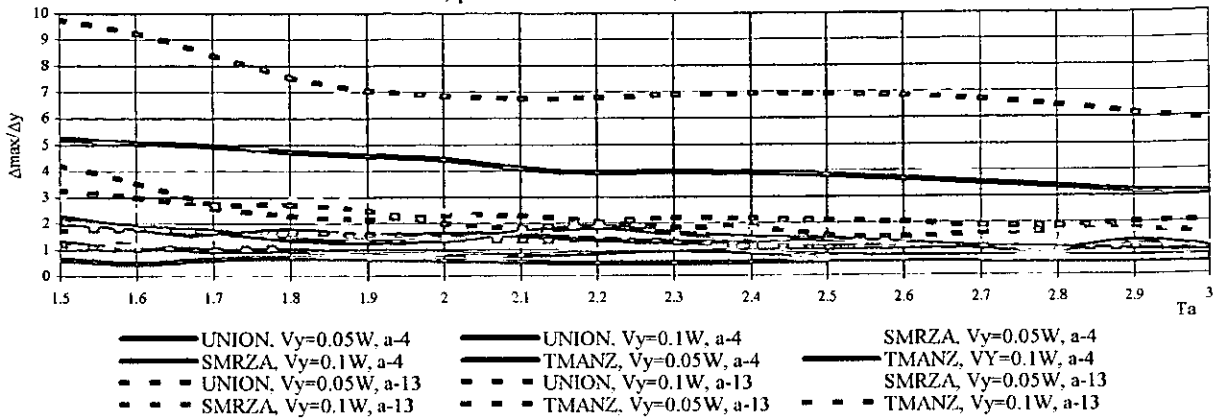


Figura 5.22

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en un sentido

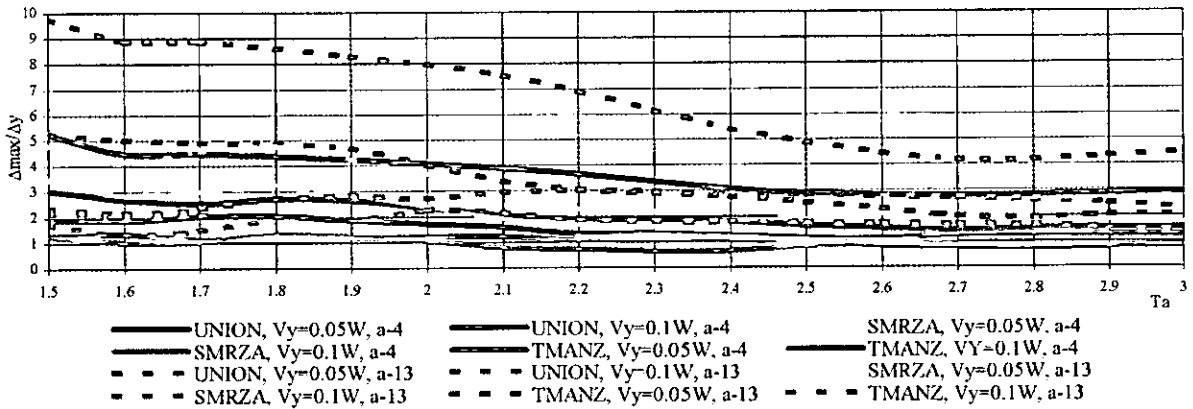


Figura 5.23

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en un sentido

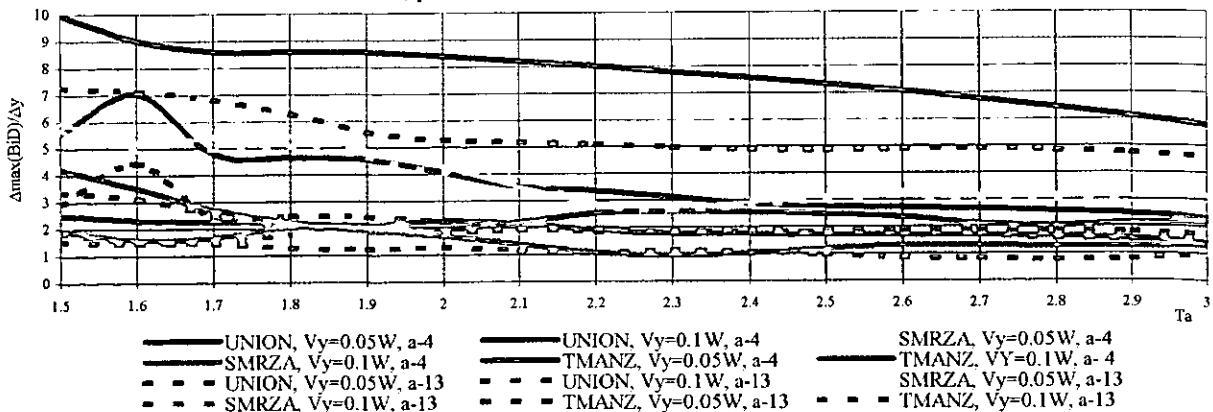


Figura 5.24

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en un sentido

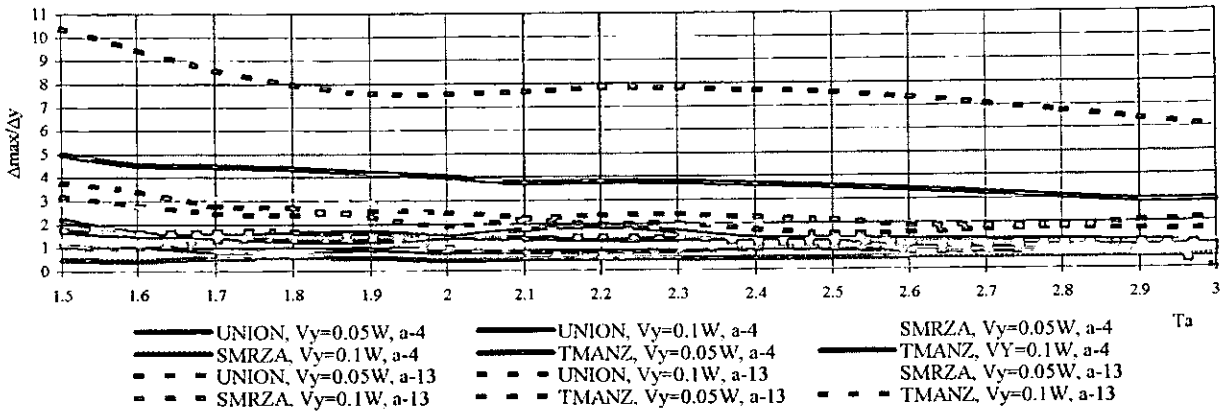


Figura 5.25

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en un sentido

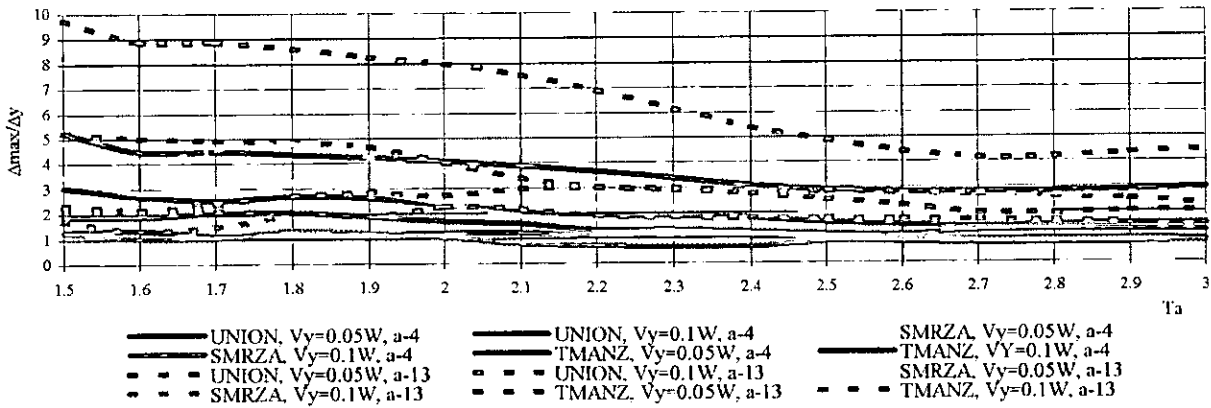


Figura 5.26

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en un sentido

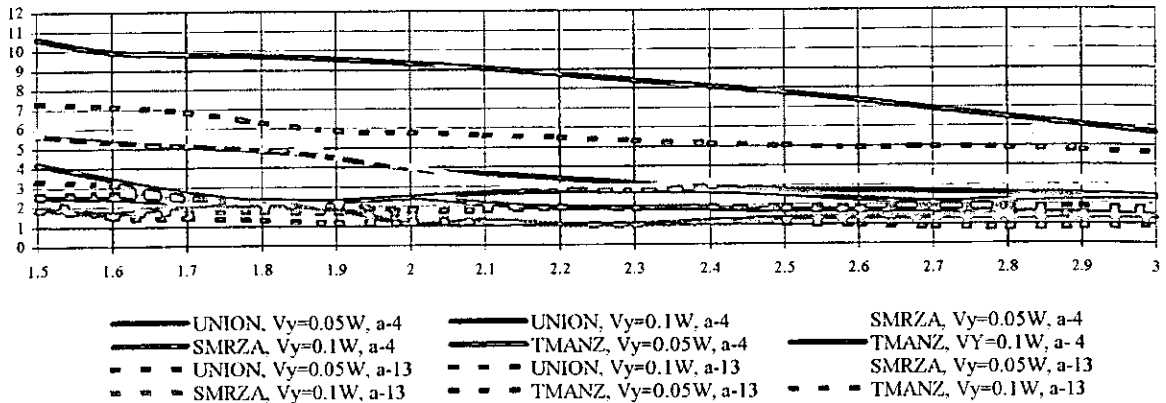


Figura 5.27

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos

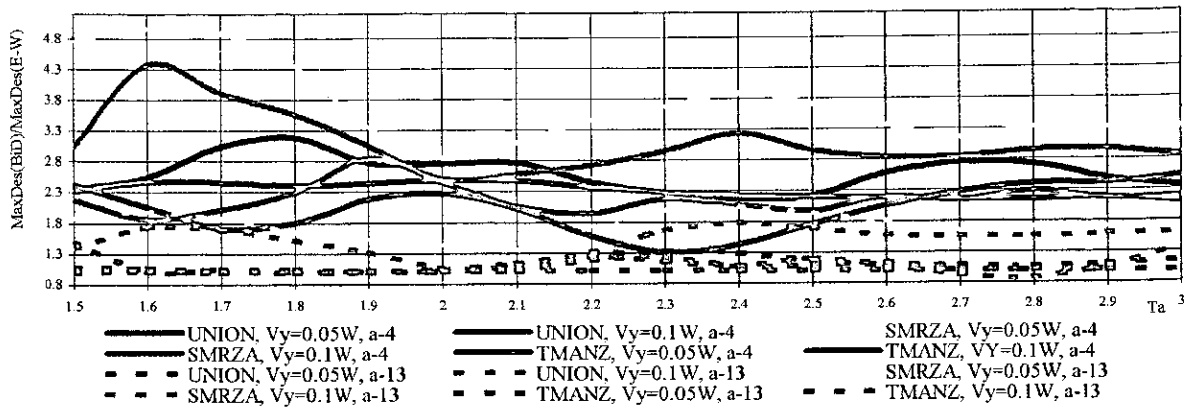


Figura 5.28

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos

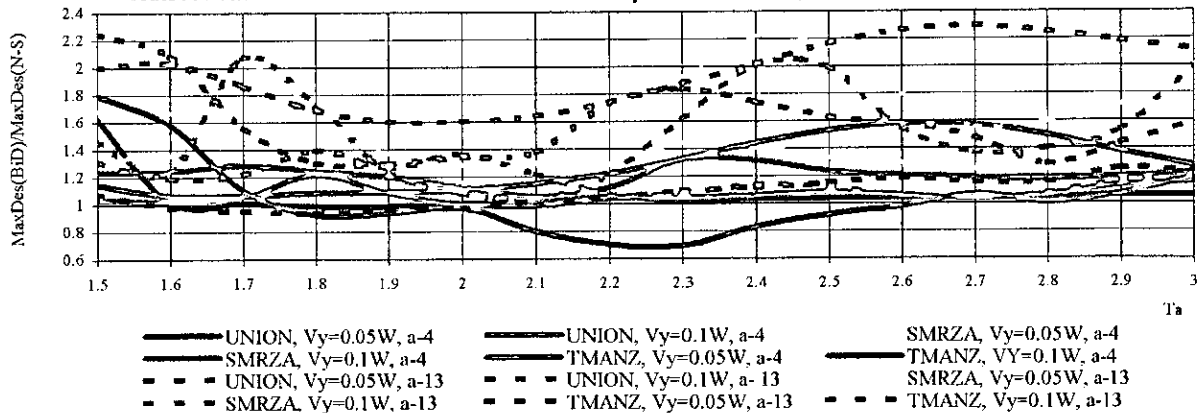


Figura 5.29

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en ambos sentidos

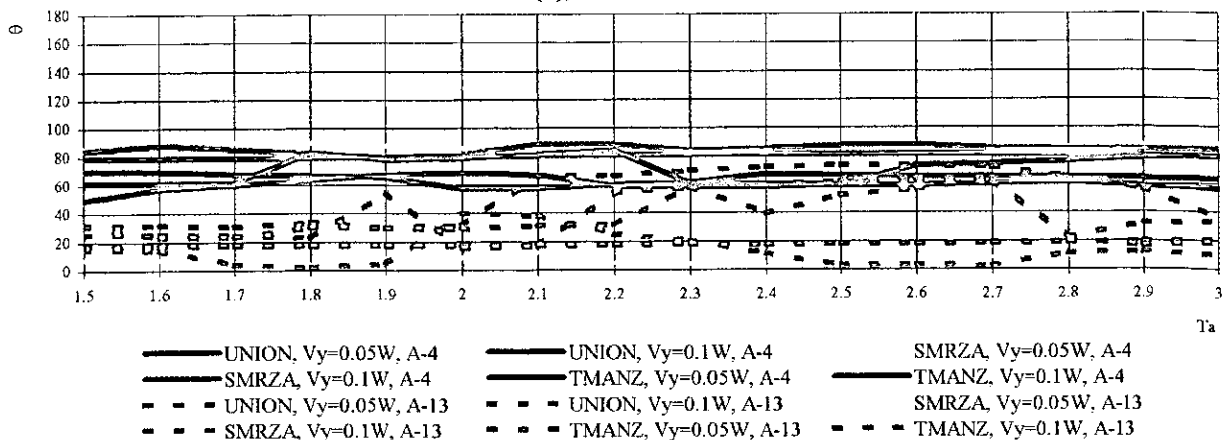


Figura 5.30

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en ambos sentidos

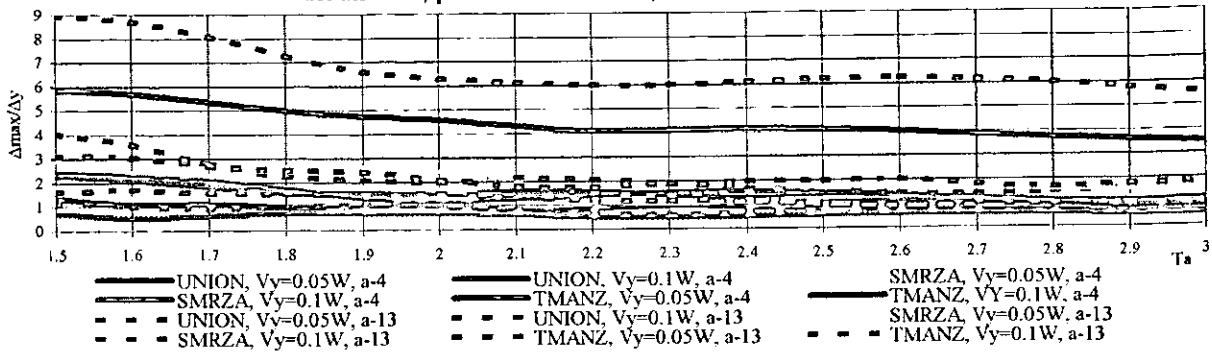


Figura 5.31

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en ambos sentidos

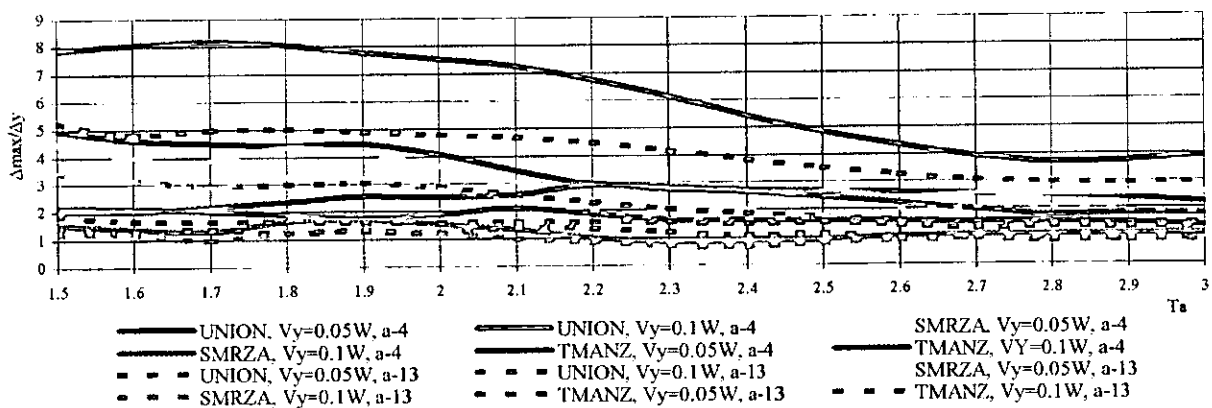


Figura 5.32

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en ambos sentidos

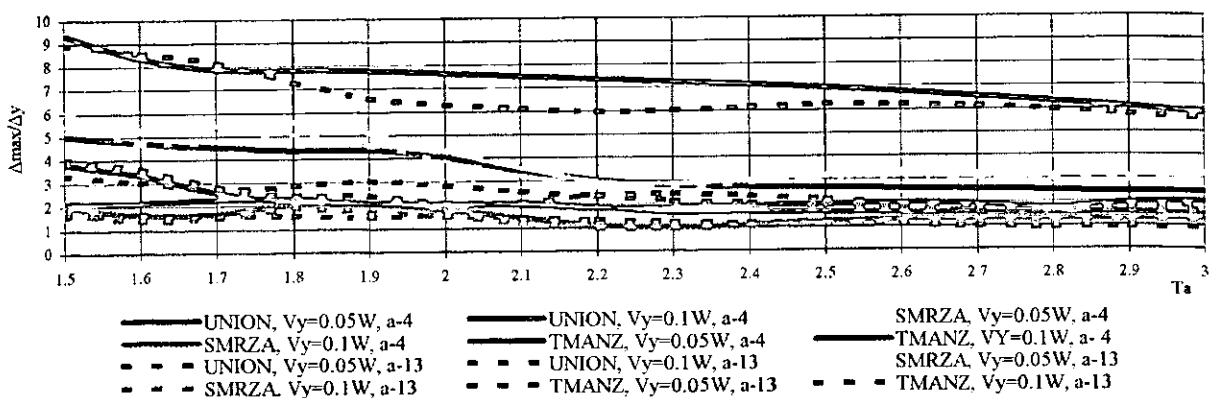


Figura 5.33

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en ambos sentidos

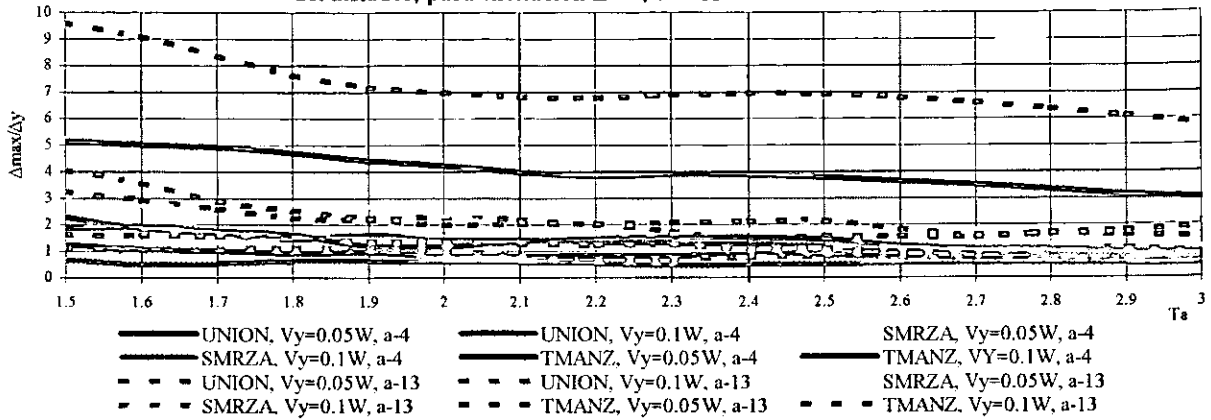


Figura 5.34

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en ambos sentidos

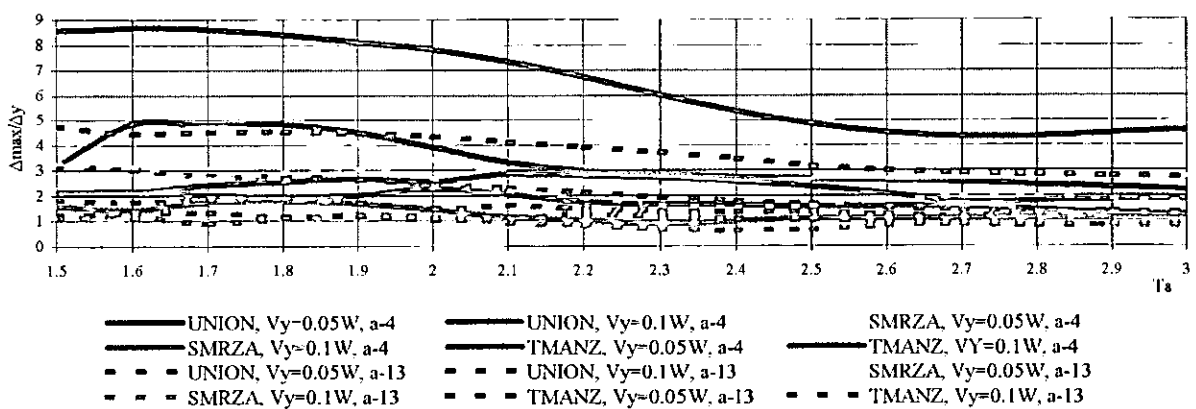


Figura 5.35

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en ambos sentidos

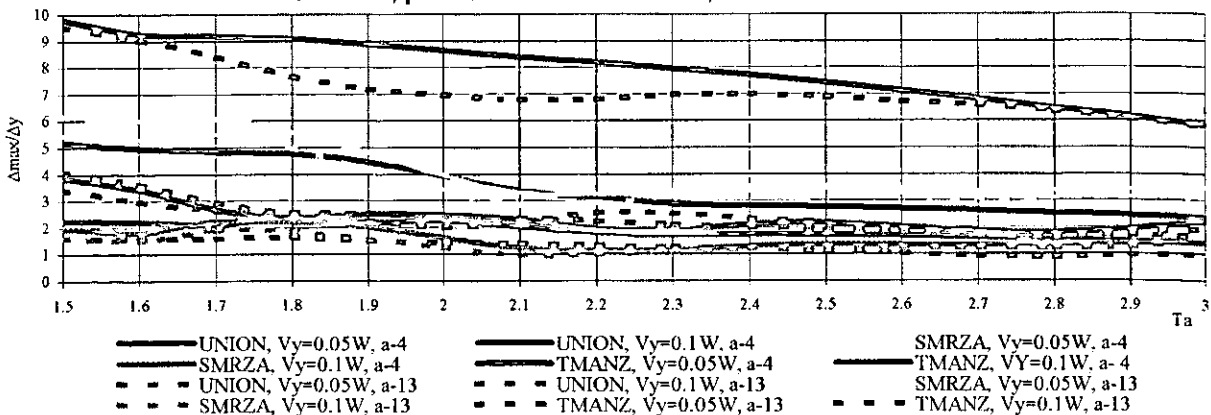


Figura 5.36

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos

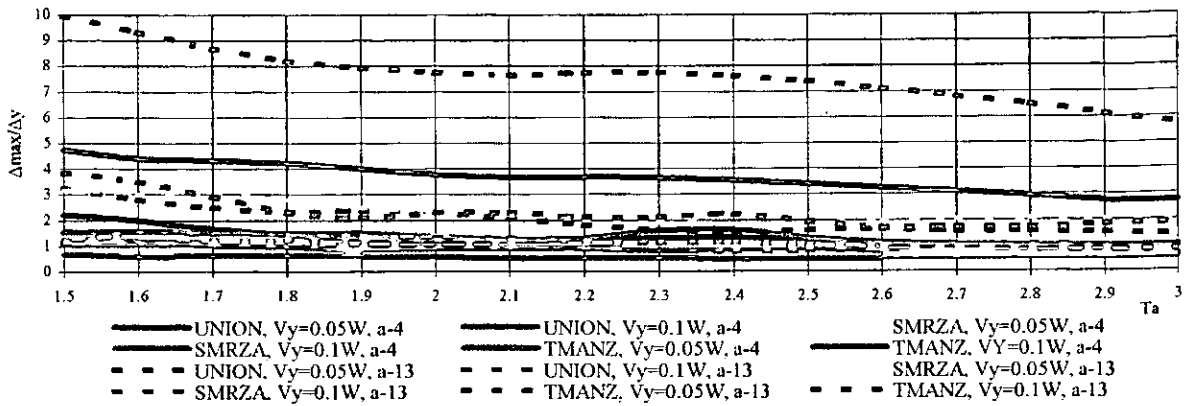


Figura 5.37

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos

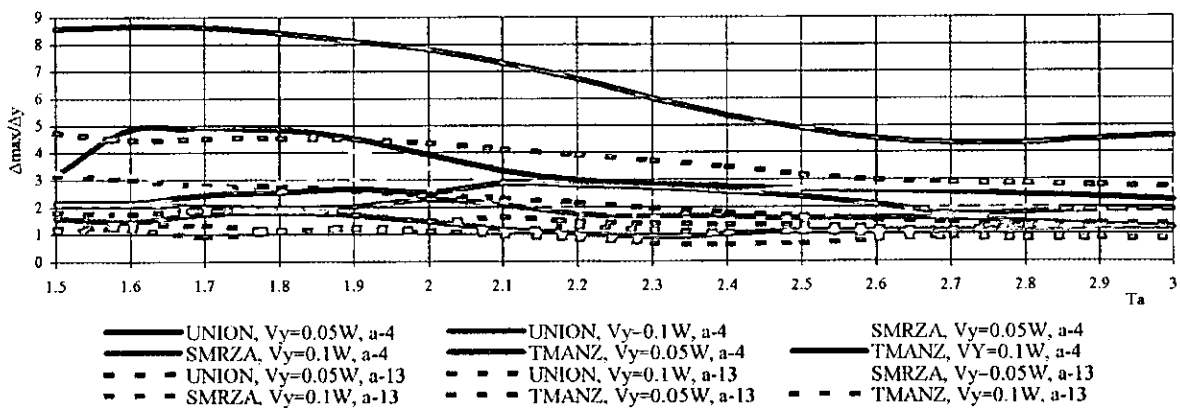


Figura 5.38

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en ambos sentidos

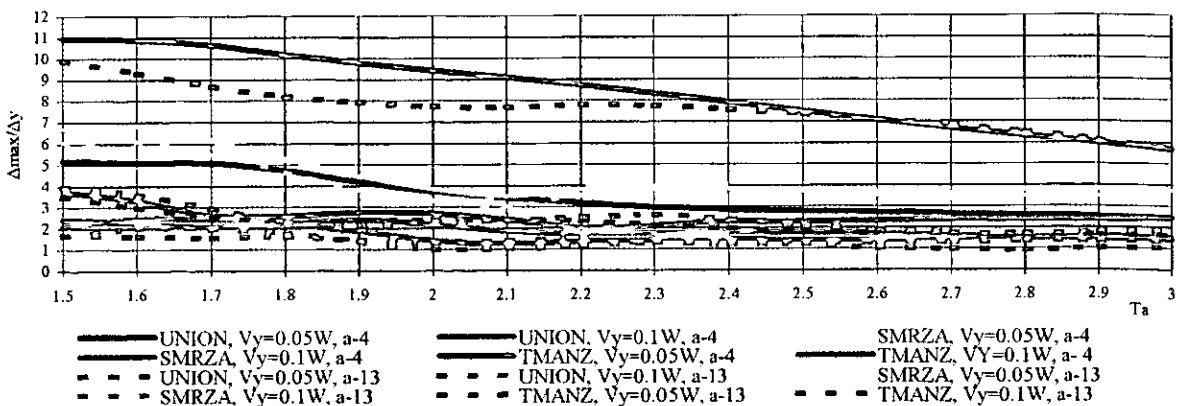


Figura 5.39

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

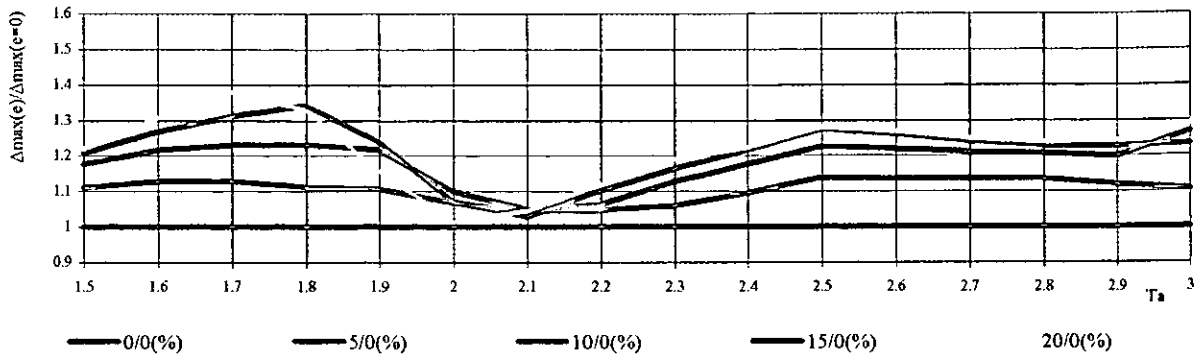


Figura 5.40

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

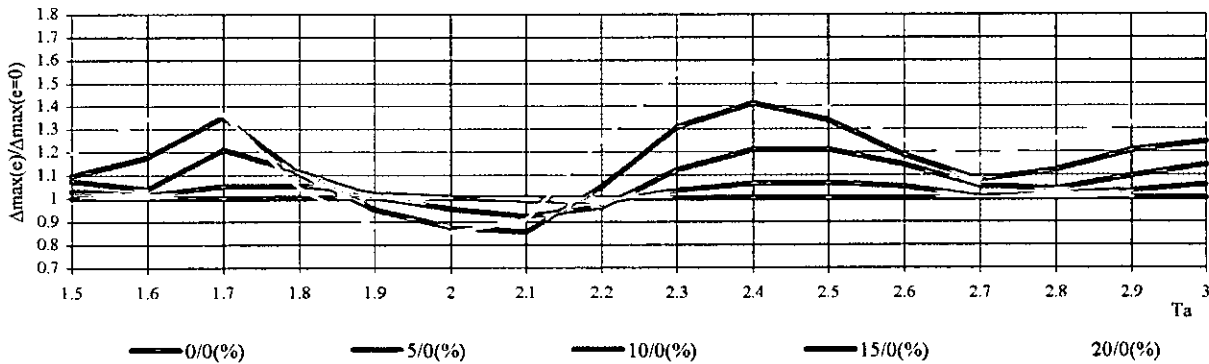


Figura 5.41

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

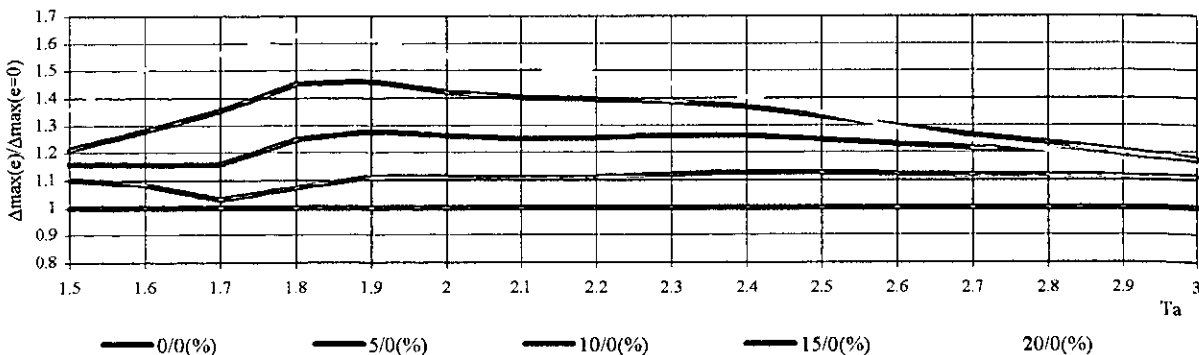


Figura 5.42

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

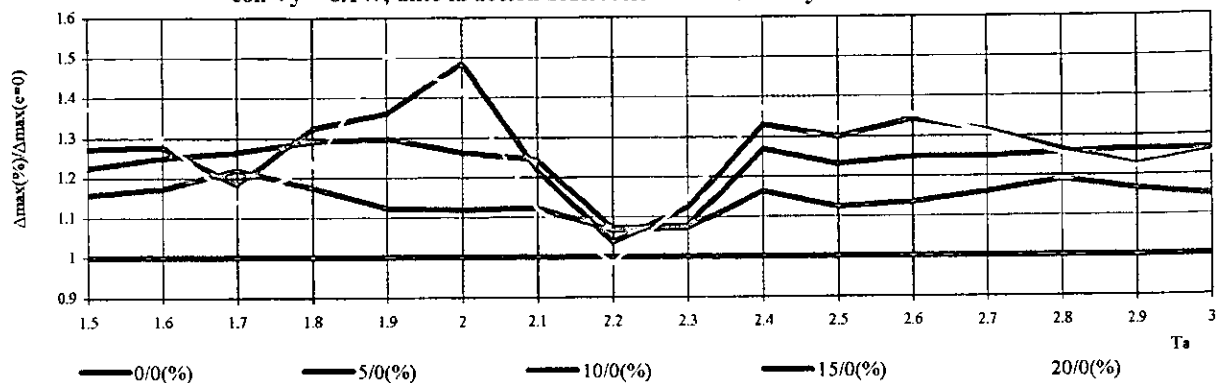


Figura 5.43

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

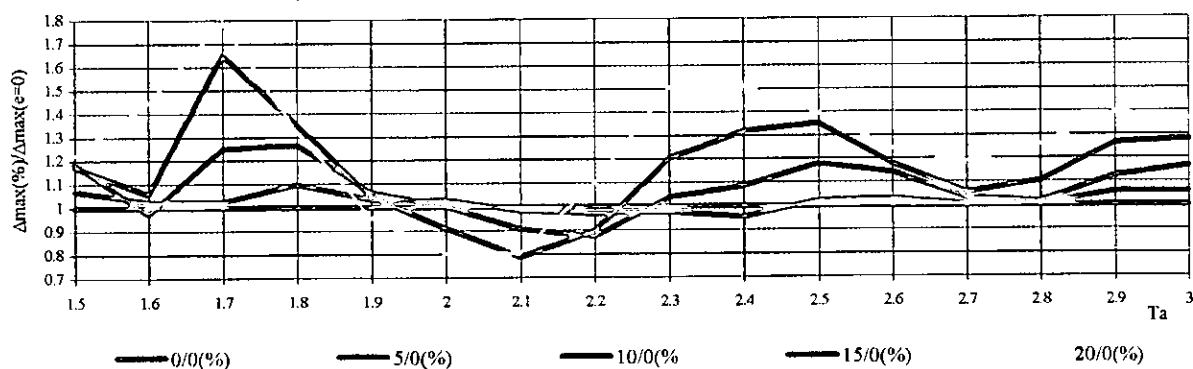


Figura 5.44

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

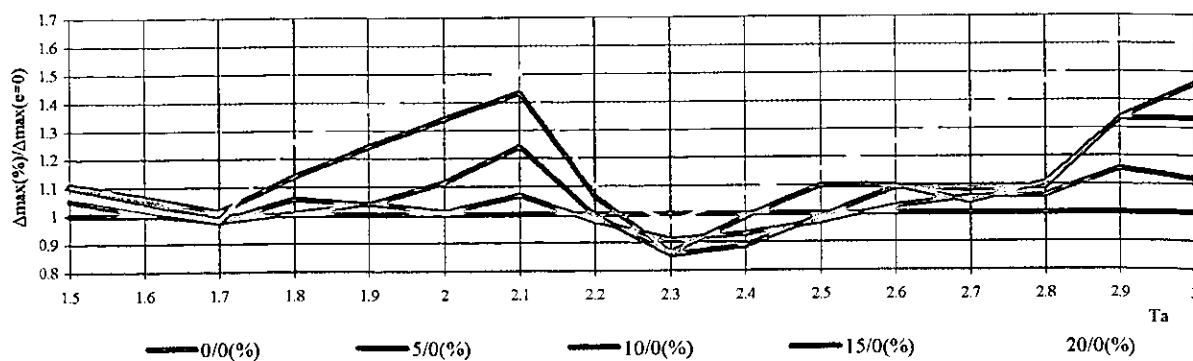


Figura 5.45

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

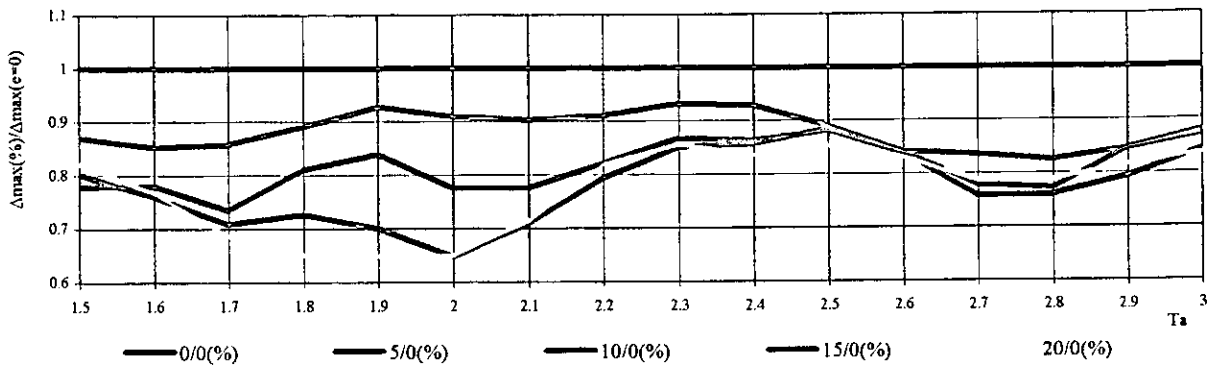


Figura 5.46

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

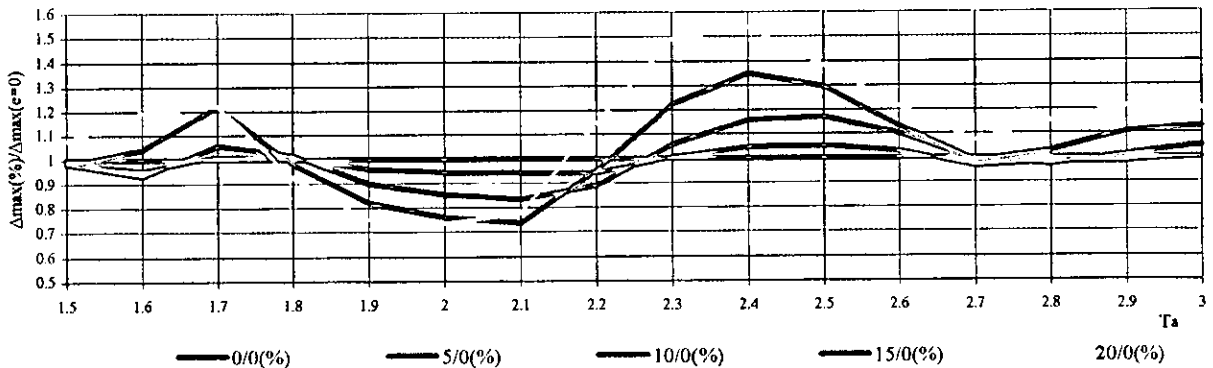


Figura 5.47

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

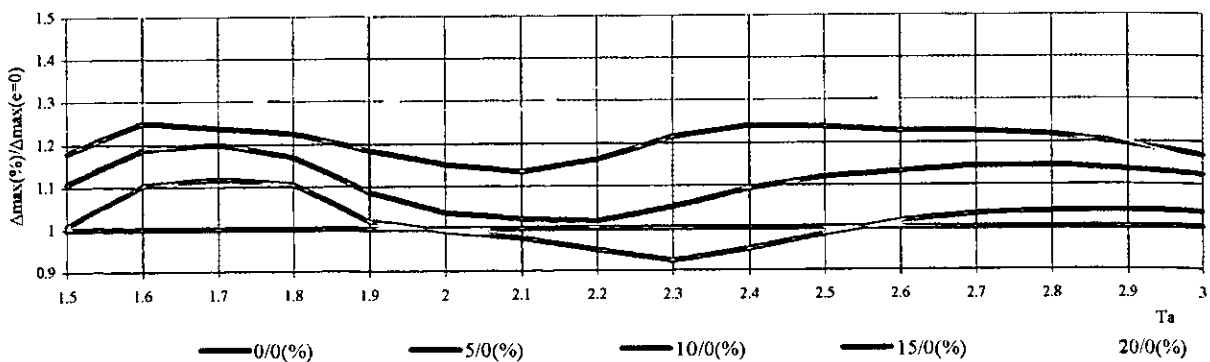


Figura 5.48

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} (con porcentajes de excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

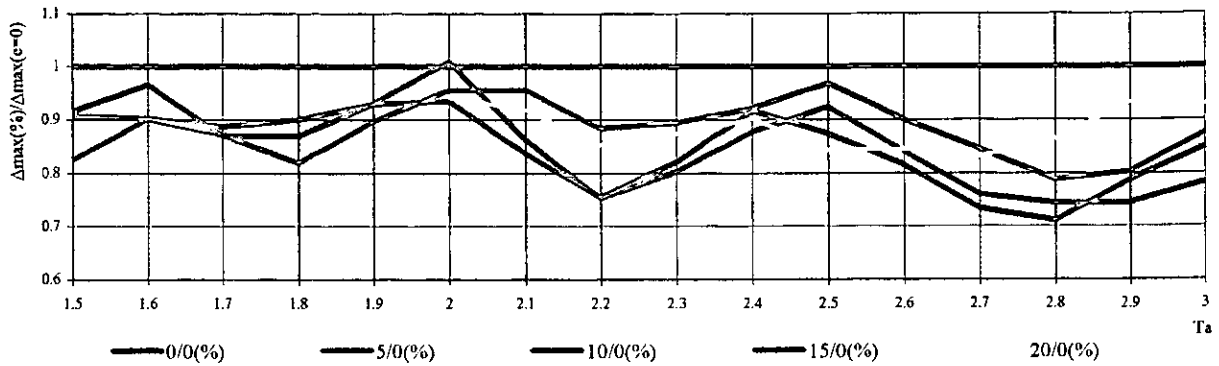


Figura 5.49

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

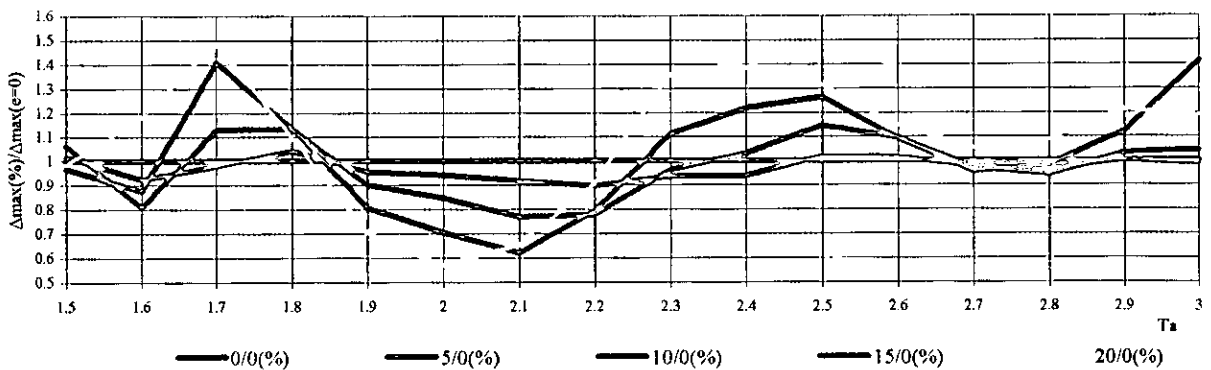


Figura 5.50

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

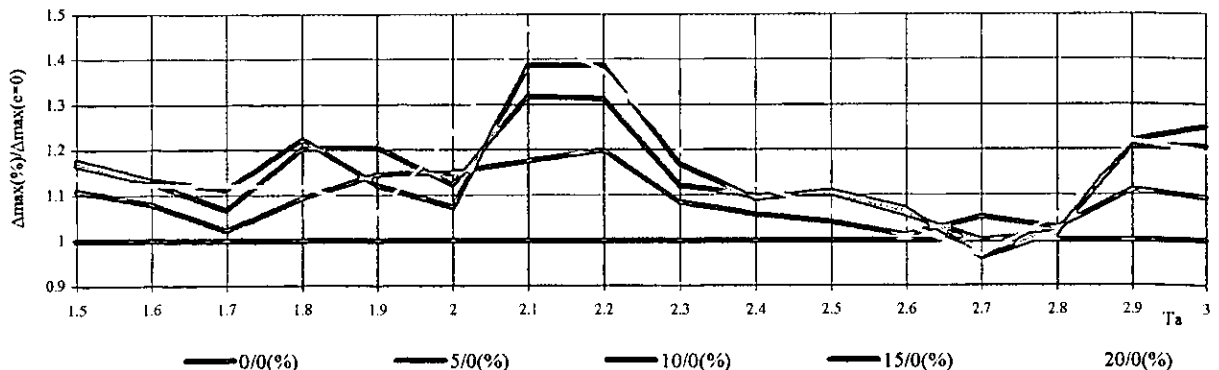


Figura 5.51

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} , con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

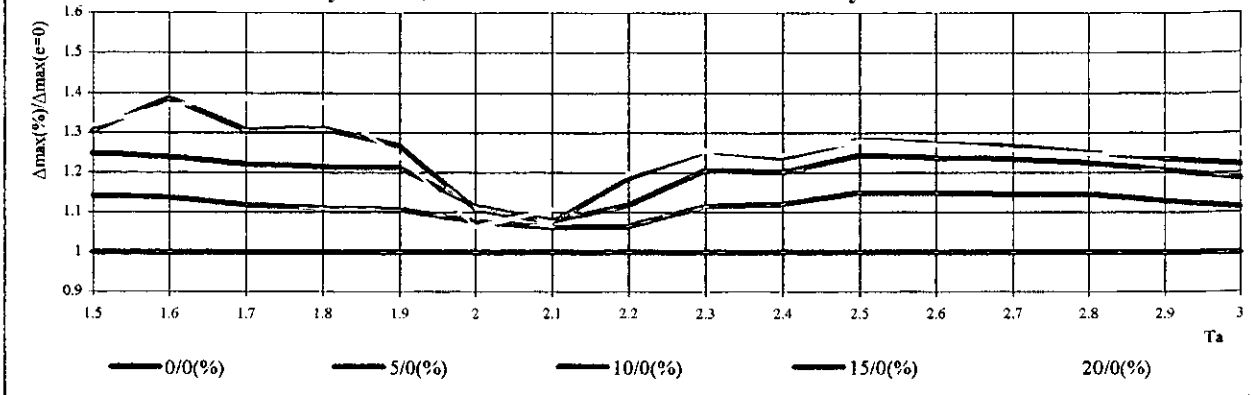


Figura 5.52

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

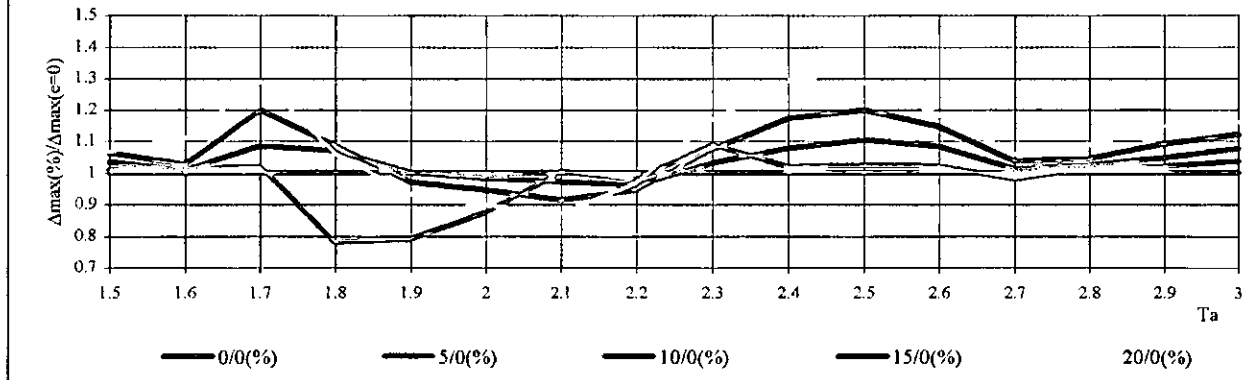


Figura 5.53

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

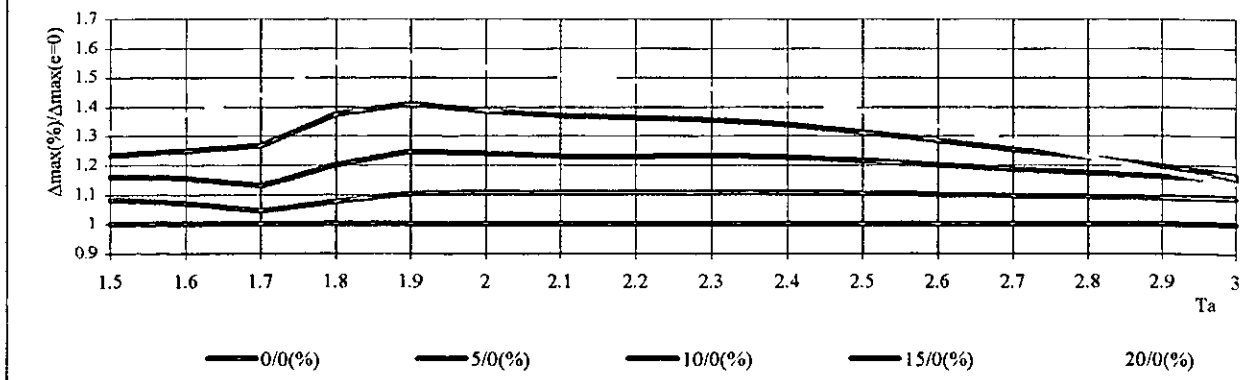


Figura 5.54

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

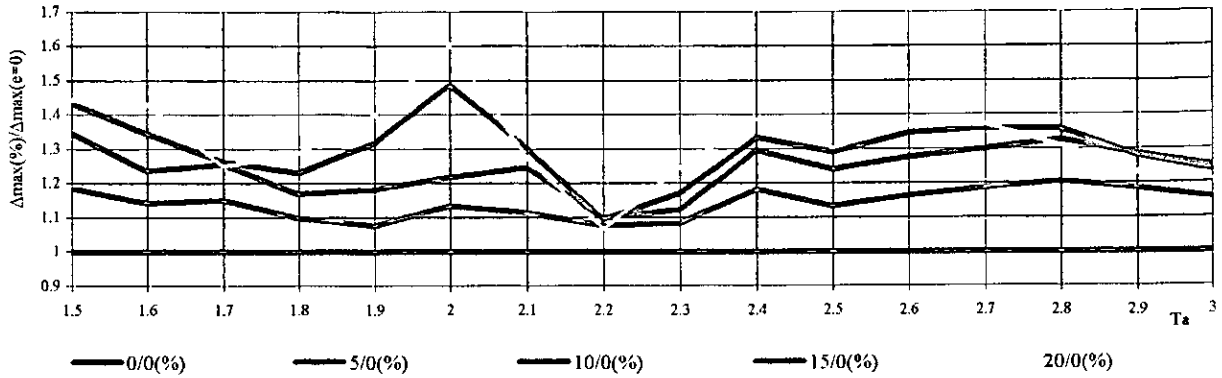


Figura 5.55

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

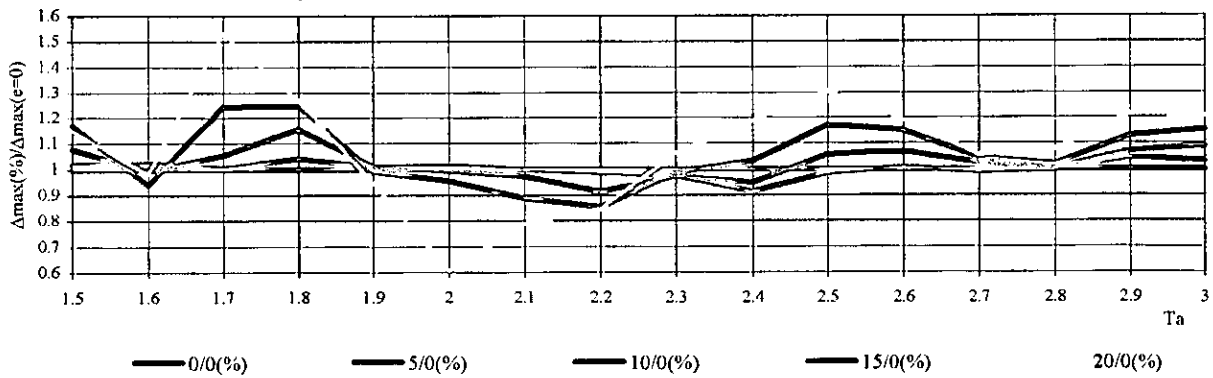


Figura 5.56

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

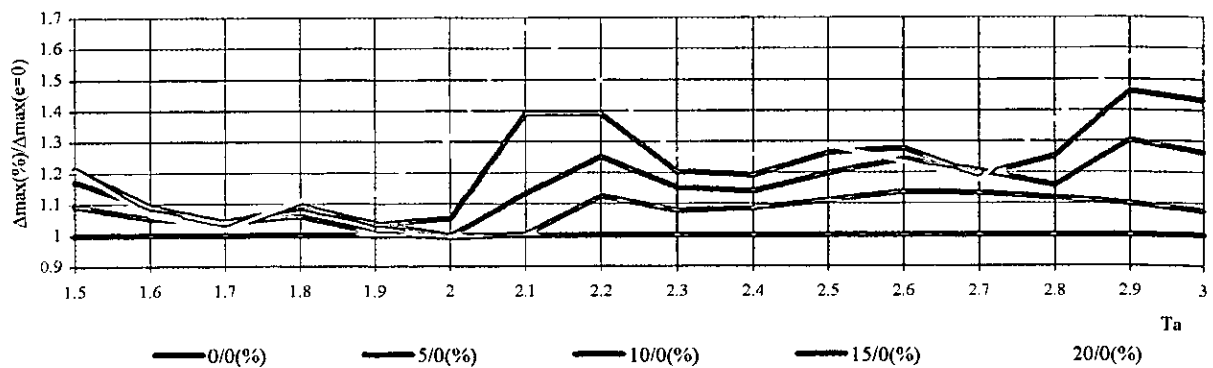


Figura 5.57

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

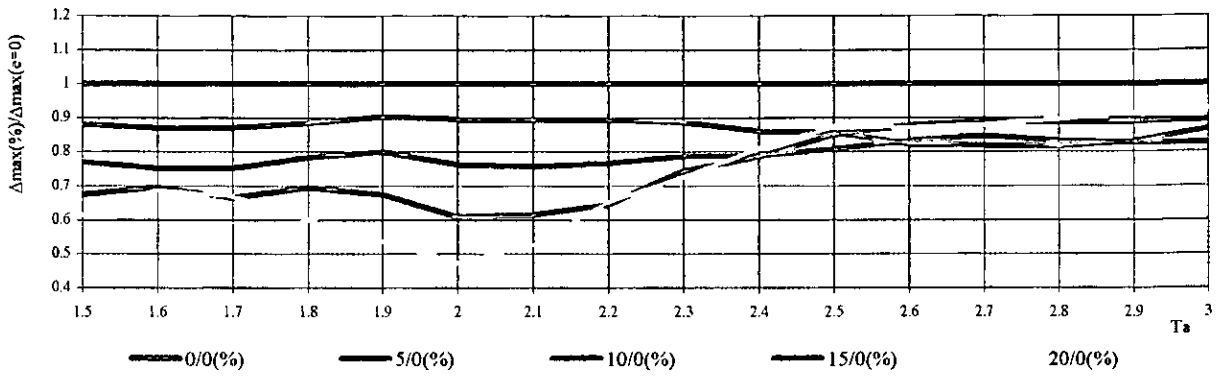


Figura 5.58

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

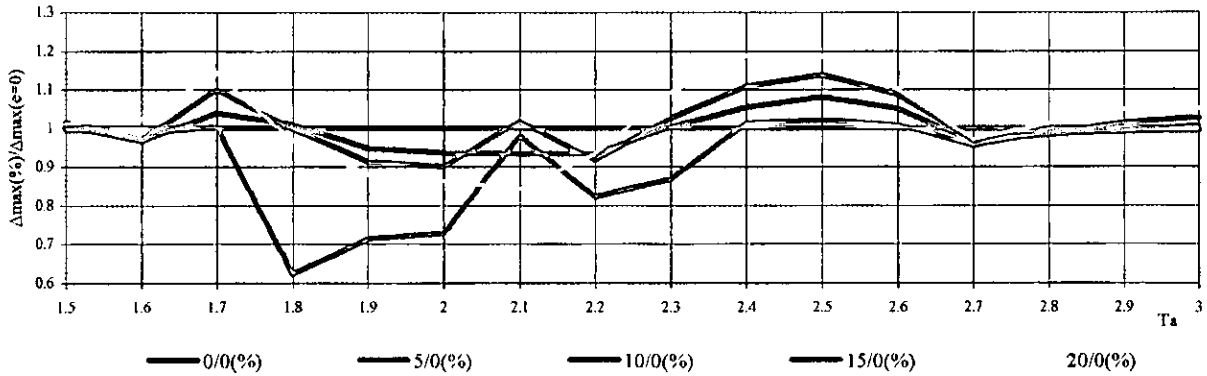


Figura 5.59

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

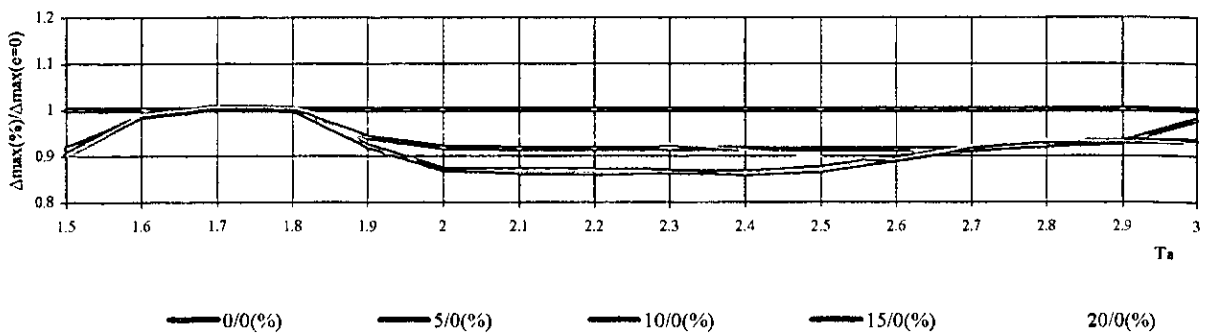


Figura 5.60

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

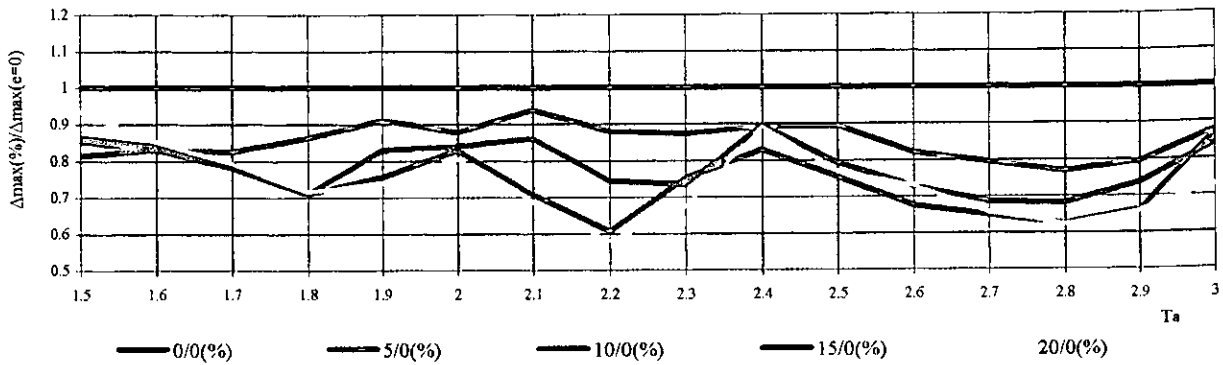


Figura 5.61

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

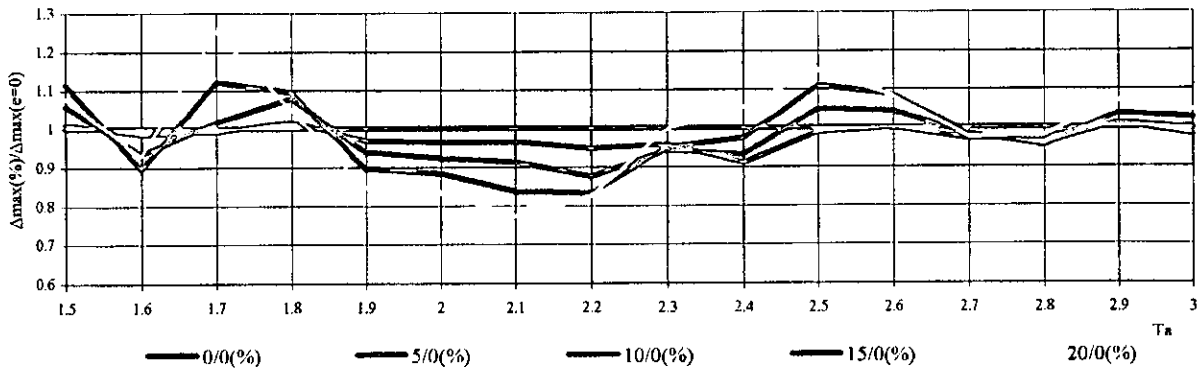


Figura 5.62

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

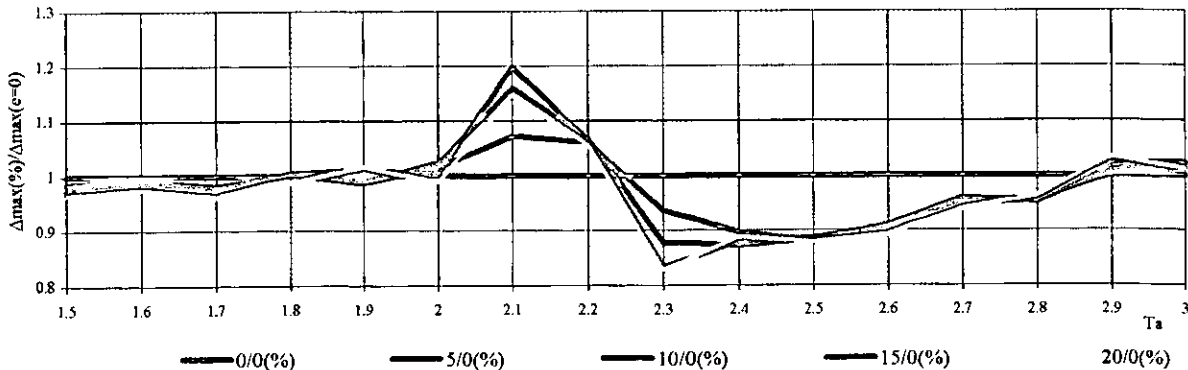


Figura 5.63

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de UNION, en el aislador 4

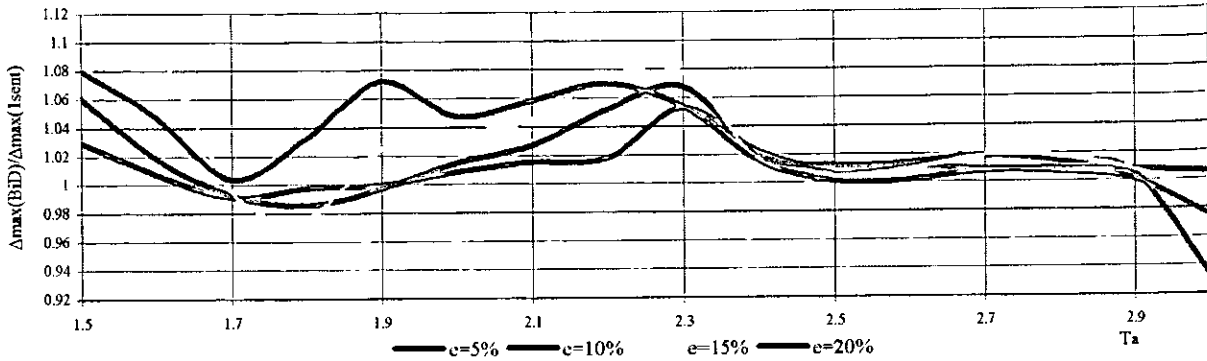


Figura 5.64

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 4

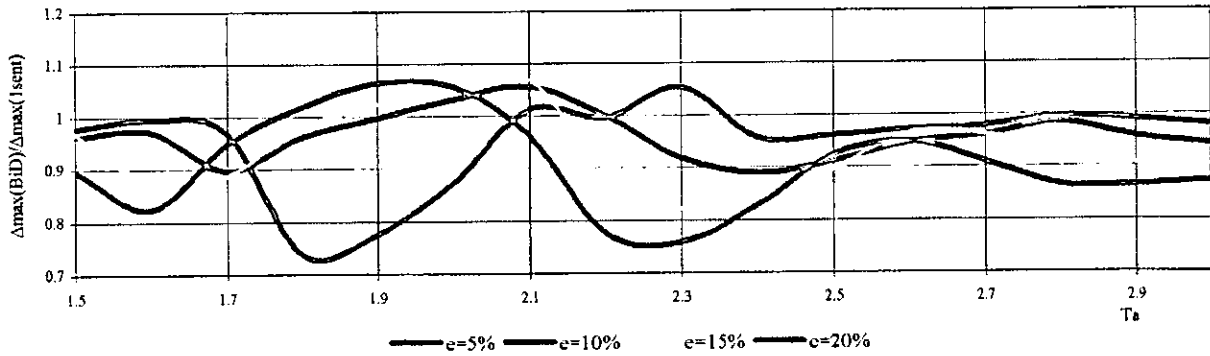


Figura 5.65

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 4

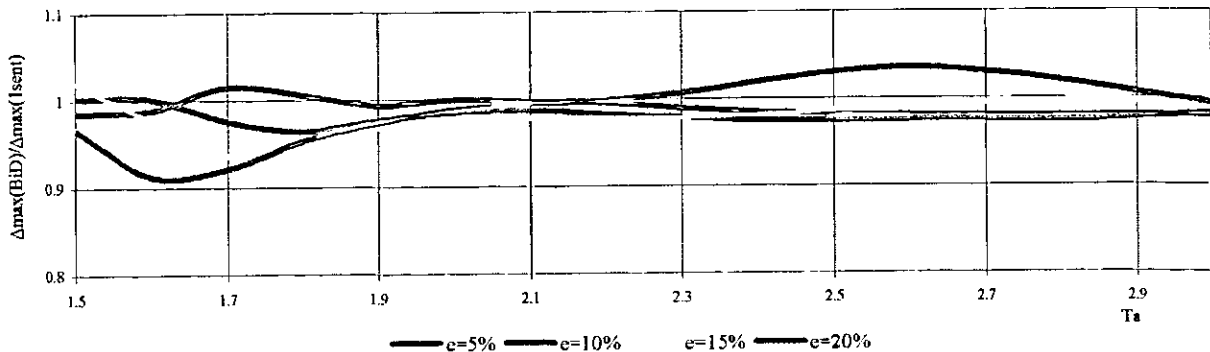


Figura 5.66

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de UNION, en el aislador 4

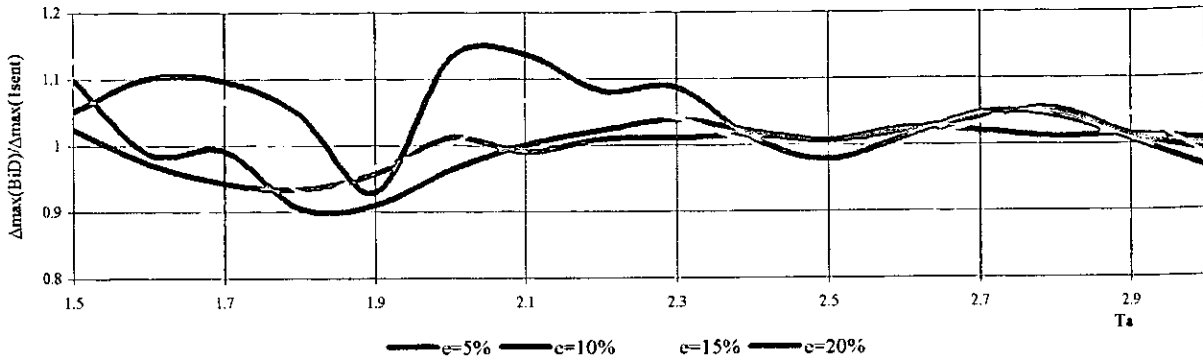


Figura 5.67

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 4

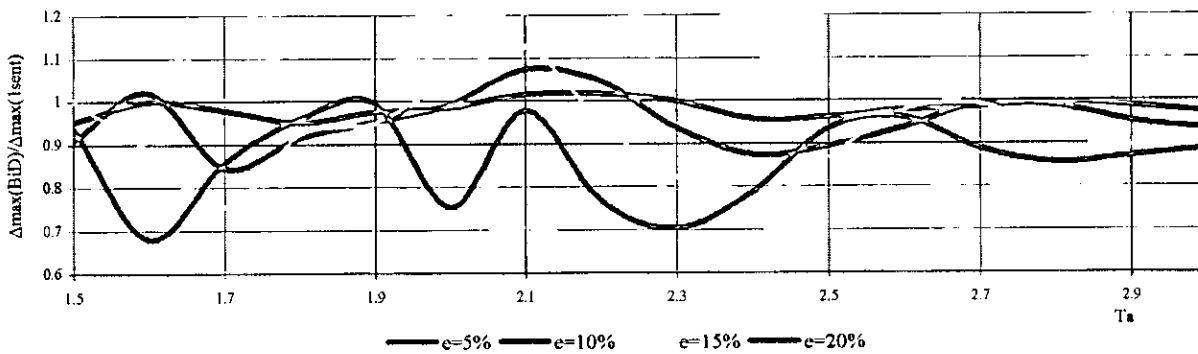


Figura 5.68

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 4

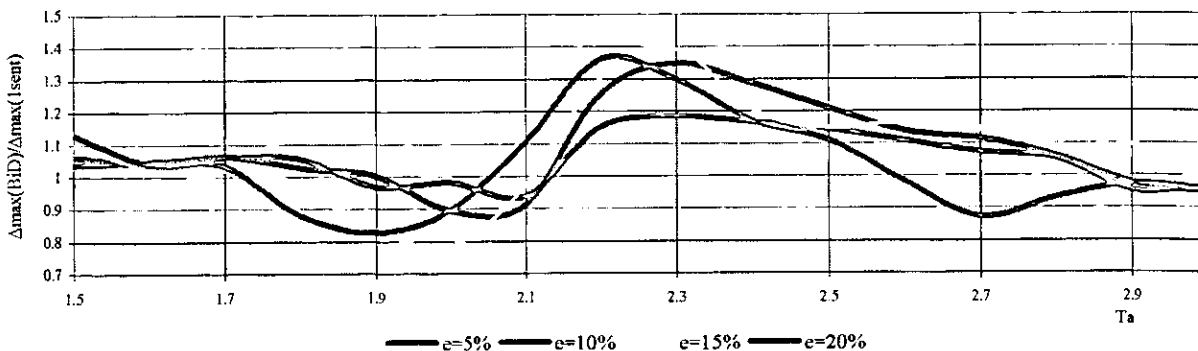


Figura 5.69

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de UNION, en el aislador 13

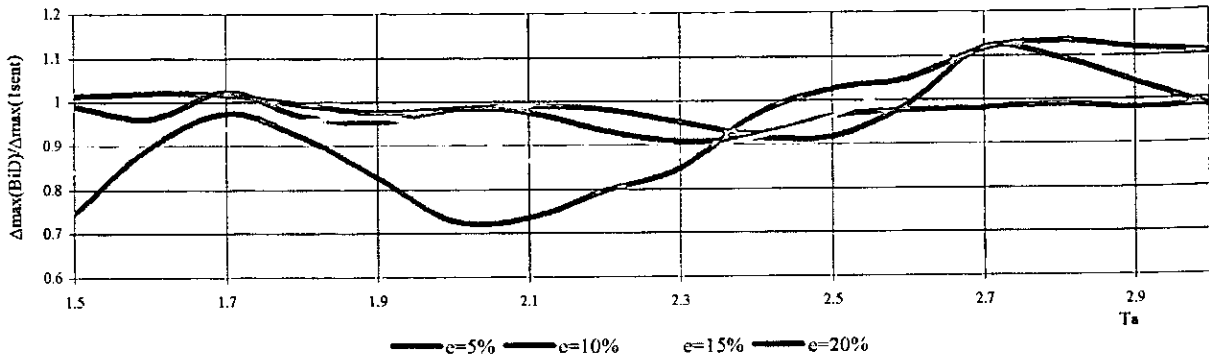


Figura 5.70

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 13

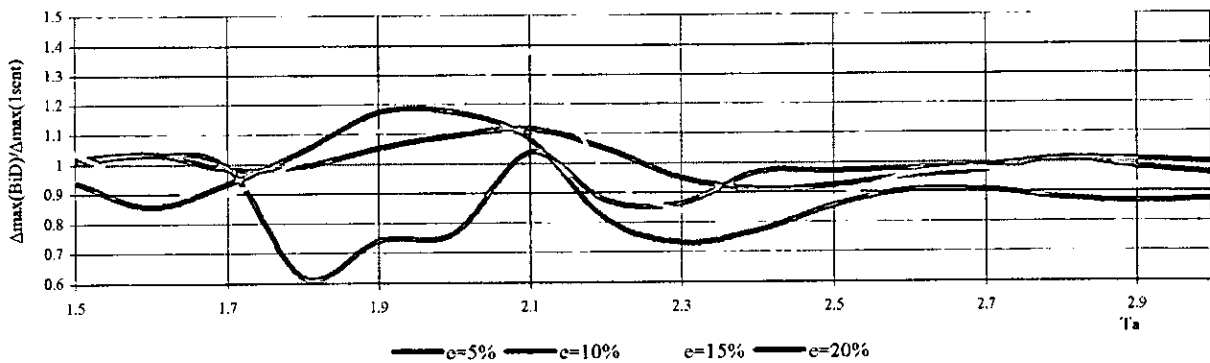


Figura 5.71

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 13

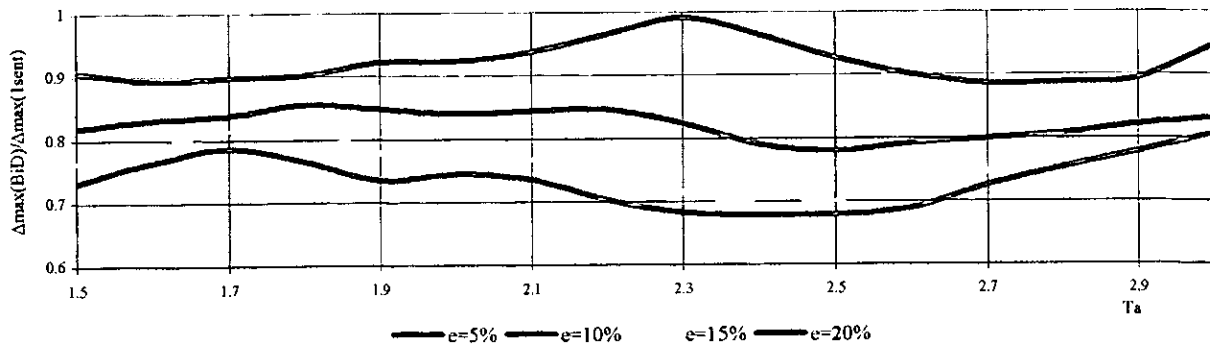


Figura 5.72

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de UNION, en el aislador 13

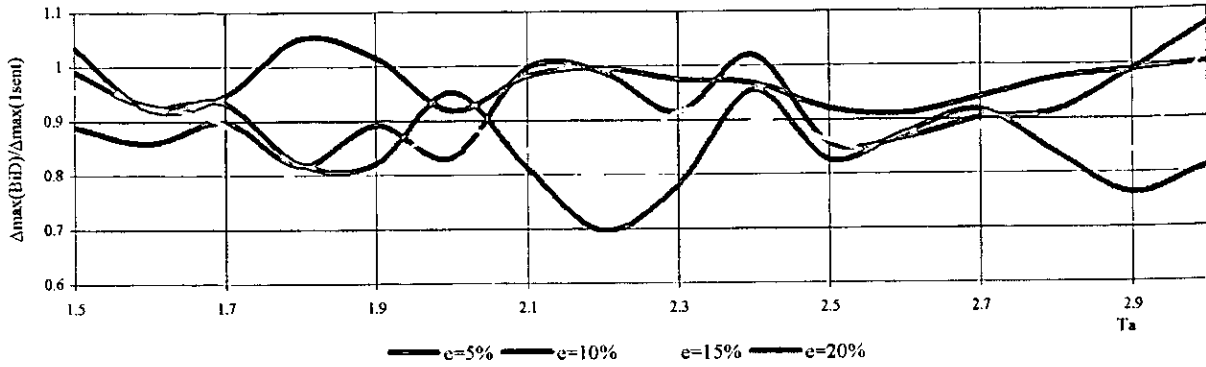


Figura 5.73

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 13

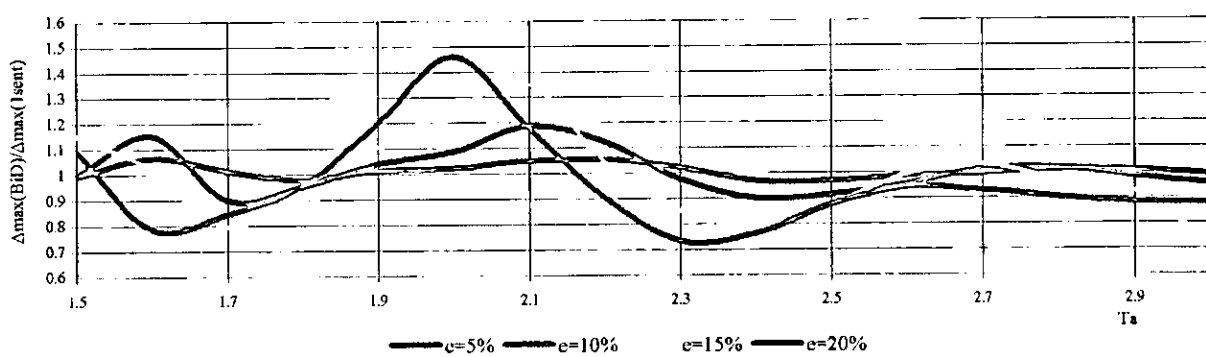
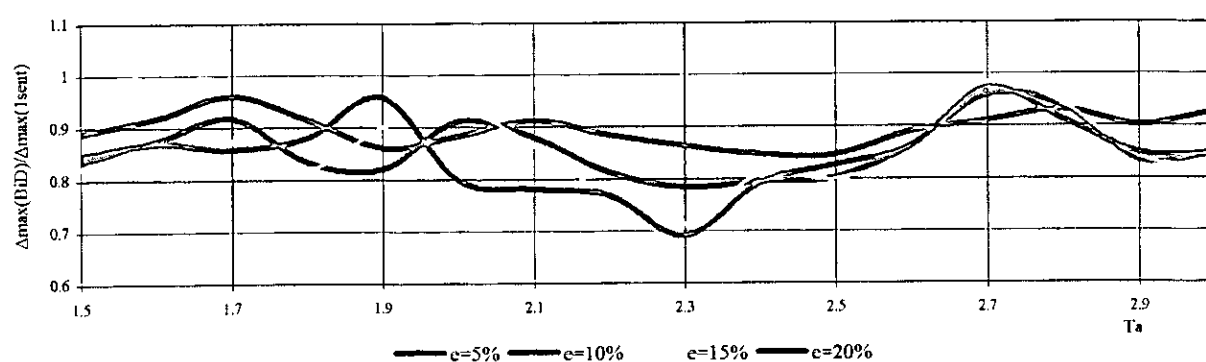


Figura 5.74

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con excentricidad bidireccional y porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 13



CAPÍTULO VI

INFLUENCIA DE LA EXCENTRICIDAD EN EL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN EDIFICIOS CON BASE AISLADA

En el presente capítulo se estudiará la respuesta del modelo en estudio con excentricidad del centro de rigidez con respecto al de masa en el sistema de aislamiento. Además, se realiza la comparación de los desplazamientos dinámicos máximos de los aisladores con respecto a aquellos generados cuando la excentricidad es nula, a fin de establecer la influencia de dicha excentricidad basal en la respuesta torsional con base en los desplazamientos dinámicos máximos.

6.1 DETERMINACIÓN DE LA EXCENTRICIDAD EN LA BASE.

Análogamente con el capítulo anterior se procede a ubicar el **CR** a una excentricidad e del **CM**, tal distancia se determina nuevamente con porcentajes de la dimensión L (21 m), tales excentricidades son: $0.05L$, $0.1L$, $0.15L$ y $0.2L$. Para poder establecer la posición del **CR** requerida en cada caso, se determinó modificar la rigidez efectiva de los 16 aisladores ubicados en la planta del modelo (hasta ahora dichas rigideces eran iguales para todos los aisladores). A continuación se describe el proceso realizado para la ubicación del **CR**.

6.1.1 En un sentido.

Se ubicó el **CR** sobre el eje x para excitación **N-S**, en el eje y para excitación **E-W** y nuevamente en el eje x para excitación bidireccional (figura 5.2). Las excentricidades fueron de 1.05 m, 2.1 m, 3.15 m y 4.2 m, a partir del **CM**. Para situar al **CR** exactamente en los puntos anteriores se procedió de la siguiente forma.

Se dividieron los 16 aisladores en dos grupos, donde unos presentaban mayor rigidez efectiva de aislador que otros, pero en conjunto suman la misma rigidez efectiva

con la que se ha trabajado hasta ahora; en la figura 6.1 se observa la distribución de los dos tipos de rigidez efectiva en aisladores, donde:

$$k_1 > k_2 \quad (6.1)$$

y para un periodo dado T_{ai}

$$k_{eff} = \sum_{i=1}^n k_{1i} + \sum_{j=1}^m k_{2j} \quad (6.2)$$

Se sabe que las coordenadas del CR de un sistema se obtienen con las ecuaciones siguientes:

$$\bar{X}_r = \frac{\sum k_{yi} X_i}{\sum k_{yi}} \quad (6.3)$$

$$\bar{Y}_r = \frac{\sum k_{xi} Y_i}{\sum k_{xi}} \quad (6.4)$$

Para la propuesta mostrada en la figura 6.1 se tiene la siguiente tabla de datos:

Tabla 6.1			
Datos para determinar las coordenadas del CR			
Aislador	Tipo de rigidez (k)	X_i (m)	Y_i (m)
1	2	0	0
2	2	7	0
3	1	14	0
4	1	21	0
5	2	0	7
6	2	7	7
7	1	14	7
8	1	21	7
9	2	0	14
10	2	7	14
11	1	14	14
12	1	21	14
13	2	0	21
14	2	7	21
15	1	14	21
16	1	21	21

Sustituyendo los valores de la tabla 6.1 en las ecuaciones (6.3) y (6.4) se obtiene:

$$\bar{X}_r = \frac{28k_2 + 140k_1}{8k_2 + 8k_1} \quad (6.5)$$

$$\bar{Y}_r = \frac{84k_1 + 84k_2}{8k_2 + 8k_1} \quad (6.6)$$

Dado que:

$$\sum k_2 = 8k_2 \quad (6.7)$$

$$\sum k_1 = 8k_1 \quad (6.8)$$

y de la ecuación (6.2):

$$\begin{cases} \bar{X}_r = \frac{28k_2 + 140k_1}{k_{\text{eff}}} \\ \bar{Y}_r = \frac{84k_1 + 84k_2}{k_{\text{eff}}} \end{cases} \quad (6.9)$$

Nombrando $a = k_2$, $b = k_1$ y $c = k_{\text{eff}}$.

$$\begin{cases} 28a + 140b - cx = 0 \\ 84a + 84b - cy = 0 \end{cases} \quad (6.10)$$

de la segunda ecuación.

$$a = \frac{-84b + cy}{84} = -b + \frac{cy}{84} \quad (6.11)$$

Sustituyendo el valor de a en la primera ecuación:

$$28\left(-b + \frac{cy}{84}\right) + 140b - cx = 0 \quad (6.12)$$

reduciendo.

$$112b + \frac{cy}{3} - cx = 0 \therefore 112b + c\left(\frac{y}{3} - x\right) = 0 \quad (6.13)$$

de donde

$$b = \frac{-c\left(\frac{y}{3} - x\right)}{112} = \frac{-c}{112}\left(\frac{y}{3} - x\right) \quad (6.14)$$

Sustituyendo el valor de b en la fórmula (6.11).

$$a = -\left(-\frac{cy}{336} + \frac{cx}{112}\right) + \frac{cy}{84} = \frac{cy}{336} - \frac{cx}{112} + \frac{cy}{84} \quad (6.15)$$

entonces

$$a = \frac{5cy}{336} - \frac{cx}{112} \quad (6.16)$$

y

$$b = -\frac{cy}{336} + \frac{cx}{112} \quad (6.17)$$

entonces:

$$k_1 = -\frac{k_{\text{eff}}(\bar{Y})}{336} + \frac{k_{\text{eff}}(\bar{X})}{112} \quad (6.18)$$

$$k_2 = \frac{5k_{\text{eff}}(\bar{Y})}{336} - \frac{k_{\text{eff}}(\bar{X})}{112} \quad (6.19)$$

Con las ecuaciones (6.18) y (6.19) se pueden determinar las rigideces efectivas de cada tipo de aislador (k_1 y k_2) con las que se obtienen las excentricidades del CR buscadas, sólo es necesario sustituir en dichas fórmulas el valor de las coordenadas del CR (X y Y) y la rigidez efectiva del sistema de aislamiento (k_{eff}) para cada caso de periodo de vibración en el intervalo de T_a en estudio. Con dichas rigideces de cada tipo de aislador se obtienen los desplazamientos de fluencia para cada uno de los aisladores y en cada uno de los casos en estudio, tal como se describió en el capítulo IV, introduciendo estos números en los archivos de datos del programa 3DBASIS y realizando posteriormente los análisis correspondientes para los casos en estudio, como se describe a partir del punto 6.2 de este capítulo. En la tabla 6.2 se observan las rigideces efectivas de los aisladores para obtener la excentricidad deseada en el sentido x .

Tabla 6.2			
Fórmulas de rigidez efectiva de aislador para los distintos casos de excentricidad unidireccional (sentido x)			
X_r	Y_r	K_1	K_2
5%L	0	0.07187 k_{eff}	0.05312 k_{eff}
10%L	0	0.08125 k_{eff}	0.04375 k_{eff}
15%L	0	0.09062 k_{eff}	0.03437 k_{eff}
20%L	0	0.10000 k_{eff}	0.02500 k_{eff}

Sólo resta comentar que todo el proceso anterior se emplea cuando la excitación se da por la componente N-S del movimiento del terreno (ubicando la excentricidad sobre el eje x) y por ambas componentes simultáneamente, cuando la excitación este dada por la componente E-W, el mecanismo es análogo, ubicando ahora los aisladores con mayor rigidez en la parte superior del modelo, con la excentricidad sobre el eje y .

6.1.2 En ambos sentidos.

Al igual que en el caso de excentricidad en un solo sentido se procedió a determinar los valores de rigidez efectiva de los aisladores de forma que se obtuviera una excentricidad bidireccional. La figura 6.2 muestra la disposición en planta de dos tipos de aisladores (por su rigidez efectiva de aislador), obteniendo que:

$$k_{\text{eff}} = 4k_2 + 12k_1 \quad (6.20)$$

De las ecuaciones (6.3) y (6.4) tenemos:

$$\bar{X}_r = \frac{28k_2 - 28k_1}{k_{\text{eff}}} = \frac{28}{k_{\text{eff}}}(k_2 - k_1) \quad (6.21)$$

$$\bar{Y}_r = \frac{28k_2 - 28k_1}{k_{\text{eff}}} = \frac{28}{k_{\text{eff}}}(k_2 - k_1) \quad (6.22)$$

Se sabe que para obtener una excentricidad en X del 5% de L, $X = 1.05$ m, entonces de (6.21):

$$\frac{1.05k_{\text{eff}}}{28} = k_2 - k_1 \quad (6.23)$$

sustituyendo (6.20) en (6.23):

$$\frac{1.05(4k_2 + 12k_1)}{28} = k_2 - k_1 \quad (6.24)$$

reduciendo

$$k_2 = 1.7059k_1 \quad (6.25)$$

y

$$k_1 = 0.5862k_2 \quad (6.26)$$

Sustituyendo (6.25) en (6.20) y (6.26) en (6.20), se tiene:

$$k_{\text{eff}} = 18.8235k_1 \quad (6.27)$$

$$k_{\text{eff}} = 11.0344k_2 \quad (6.28)$$

Por lo que:

$$k_1 = \frac{k_{\text{eff}}}{18.8235} \quad (6.29)$$

$$k_2 = \frac{k_{\text{eff}}}{11.0344} \quad (6.30)$$

Con lo cual se tienen las fórmulas que determinan las rigideces efectivas de los aisladores (k_1 y k_2) necesarias para ubicar el **CR** a una excentricidad del **CM** del 5% de L sobre ambos ejes de la planta del modelo. Se procedió en forma análoga para los restantes porcentajes de excentricidad en estudio; la tabla 6.3 resume las fórmulas a ocupar en cada caso:

Con las rigideces efectivas de aislador para cada caso de excentricidad del **CR** se obtienen los desplazamientos de fluencia correspondientes, con los que se crean los archivos de datos necesarios para el programa *3DBASIS* y se procede con su análisis.

Tabla 6.3 Fórmulas de rigidez efectiva de aislador para los distintos casos de excentricidad bidireccional			
X_r	Y_r	k_1	k_2
5%L	5%L	$k_{eff}/18.8235$	$k_{eff}/11.0344$
10%L	10%L	$k_{eff}/22.8571$	$k_{eff}/8.4211$
15%L	15%L	$k_{eff}/29.0909$	$k_{eff}/6.8085$
20%L	20%L	$k_{eff}/40.2000$	$k_{eff}/5.7021$

6.2 RESPUESTA DEL MODELO.

Se estudia la respuesta del modelo cuando éste presenta excentricidades del CR con respecto al CM en la base del sistema; al igual que en este capítulo previo, se ilustra el comportamiento de los desplazamientos dinámicos máximos de los aisladores relacionándolos con los ocurridos cuando la excentricidad es nula.

6.2.1 Con excentricidad del 5% en un sentido.

En el apartado 6.1 de este capítulo se explicó cómo determinar las excentricidades de los CR con respecto al CM para cada porcentaje de la dimensión L en estudio. A continuación se procede a comentar los resultados obtenidos en los aisladores número 4 y número 13 en cada uno de los 96 archivos de datos para ambos valores de cortante de fluencia seleccionados para el modelo, aplicando como excitación los registros escogidos.

Las figuras 6.3 y 6.4 muestran los desplazamientos máximos en los aisladores observados, ante excitación bidireccional, normalizados con los obtenidos ante excitación E-W y N-S, respectivamente, con ambas variantes del cortante de fluencia y dentro del intervalo de periodos de vibración determinado: $1.5 \text{ seg} < T_a < 3 \text{ seg}$.

En general, se observa que la excitación bidireccional amplifica la respuesta obtenida ante carga en un sólo sentido, existen excepciones como: TMANZ para los dos aisladores y $V_y = 0.05W$ y para el aislador número 4 con $V_y = 0.1W$, ante la carga de la componente E-W (figura 6.3) y UNION y TMANZ en el aislador 4 ante la carga N-S. Tanto UNION como TMANZ presentan deamplificaciones con la acción bidireccional del movimiento del terreno respecto a la acción N-S, acentuándose más el comportamiento en el aislador número 4 (figura 6.4). Ante ambas componentes de excitación por separado (E-W y N-S) la amplificación de la respuesta con la excitación bidireccional es más marcada en el aislador número 13, con algunas excepciones. Los aumentos en la respuesta dentro del

intervalo de periodos T_a varían de acuerdo al registro empleado como excitación, los mayores incrementos se obtienen con **SMRZA** entre los 1.6 y 1.7 segundos, **UNION** entre 1.9 y 2.1 segundos y **TMANZ** en los 2.2 segundos, siempre en el aislador número 13; destacando los 5.0 veces de intensificación de respuesta con el registro **SMRZA** y $V_y = 0.05W$.

La figura 6.5 muestra la relación entre el periodo aislado y el ángulo que describe el desplazamiento dinámico máximo registrado ante la acción bidireccional de los registros seleccionados, para los aisladores 4 y 13 y bajo las dos variantes de cortante de fluencia en estudio. Se observa que los ángulos de los desplazamientos del aislador 4 son constantes a lo largo del intervalo de periodos de vibración T_a , exceptuando **TMANZ** con $V_y = 0.1W$; el aislador 13 muestra valores semejantes en el intervalo T_a para **SMRZA** y **UNION**, para **TMANZ** se observan variaciones nuevamente.

En las figuras 6.6 a 6.8 se observan las relaciones entre el periodo de vibración en base aislada y el cociente dado por el desplazamiento dinámico máximo con respecto al desplazamiento de fluencia (o demanda de ductilidad) para los dos aisladores determinados, ante excitación **E-W**, **N-S** y bidireccional, respectivamente. Al presentarse la excentricidad en un solo sentido se genera acoplamiento torsional ante excitación unidireccional y bidireccional; los valores de la normalización entre desplazamientos son distintos para los dos aisladores en estudio, debido al acoplamiento torsional y a las distintas rigideces de ambos, siendo generalmente mayores para el aislador número 4 (tabla 6.2).

En la mayor parte de las respuestas los aisladores registran desplazamientos superiores a los de fluencia, siendo más marcados al inicio del intervalo T_a y con tendencia descendente. El mayor comportamiento inelástico se produce ante la acción de **TMANZ**, destacando el registrado al emplear ambas componentes horizontales del registro, donde el aislador número 4 llega al valor límite de desplazamiento de fluencia; límite de nueve ($\mu = 1/\Delta_y = 9$) dado por la definición de las características mecánicas deseables para un aislador bilineal con $k_2/k_1=0.1$, de acuerdo al reglamento **UBC**.

6.2.2 Con excentricidades del 10%, 15% y 20% en un sentido.

Se estudia ahora los mismos parámetros de respuesta al incrementar la excentricidad de **CR** con respecto al **CM**. Se analizan los mismos casos de costumbre (96 para cada cortante de fluencia) en cada excentricidad, presentándose en las figuras 6.9 a 6.20. En general al comparar los resultados con los descritos cuando la excentricidad es del 5% de L , se tiene:

El comportamiento de los aisladores al relacionar los desplazamientos máximos ante acción bidireccional con respecto a aquellos ante carga en un sentido, con el incremento del porcentaje de excentricidad, muestra trayectorias semejantes para los nuevos casos con aquellas contempladas cuando la excentricidad es del 5% de L ; la única diferencia notable es que las amplificaciones máximas que antes se presentaban más en forma de picos

tienden ahora a ensancharse y a generarse en periodos un poco mayores. Las figuras 6.9 y 6.10 presentan dichas relaciones entre desplazamientos cuando $e = 0.2L$; las variaciones con respecto a las figuras 6.3 y 6.4 ($e = 0.05L$) son pocas; por razones de espacio se omitieron las figuras correspondientes cuando $e = 0.1L$ y $e = 0.15L$, donde la transición entre $e = 0.05L$ y $e = 0.2L$ es mínima.

En la figura 6.11 se observan los ángulos de los desplazamientos dinámicos máximos ante acción bidireccional del movimiento del terreno para una excentricidad del 20% del valor de L ; en general los ángulos correspondientes al aislador 4 son constantes a lo largo del intervalo de periodos T_a pero, para el aislador 13 se presentan algunas variaciones en la dirección del ángulo, exceptuando para **SMRZA**.

Finalmente se relacionaron los desplazamientos dinámicos máximos en los aisladores con aquellos de fluencia. Las figuras 6.12 a 6.14 muestran estas relaciones ante carga **E-W**, **N-S** y bidireccional, respectivamente; para $e=0.1L$; las figuras 6.15 y 6.17 presentan los mismos casos pero para $e = 0.15L$ y en las figuras 6.18 a 6.20 para cuando $e = 0.2L$.

Ante la excitación **E-W** de la componente horizontal del movimiento del terreno se observan algunas variaciones de la respuesta con el incremento de la excentricidad (figuras 6.6, 6.12, 6.15 y 6.18). Cuando la excitación es **N-S** (figuras 6.7, 6.13, 6.16 y 6.19) se presenta igualmente alteraciones en las demandas de ductilidad alcanzadas. Los cambios más sobresalientes se dan ante carga bidireccional (figuras 6.8, 6.14, 6.17 y 6.20), donde la tendencia de ambos aisladores con el incremento de excentricidad del **CR** con respecto al **CM** es similar a la dada cuando $e = 0.05L$; sin embargo, al aumentar el valor de e se van presentando amplificaciones más notorias con **TMANZ** y $V_y = 0.05W$; iguales o con menores amplificaciones para **SMRZA** y **UNION** (ambos casos de V_y). Lo más destacable es que para $V_y=0.05W$ y **TMANZ**, la relación límite $\mu = 9$ se sobrepasa en un intervalo importante de periodos a partir de $e=0.1L$ para el aislador 4 (figura 6.14). También es importante anotar que para la mayor parte de los casos se observan desplazamientos máximos menores a los de fluencia cuando se emplea un cortante $V_y=0.1W$, en el aislador 13; con esta respuesta elástica y con registros como los empleados en este estudio, el diseño de los aisladores sería no óptimo con dicho cortante de fluencia, recomendándose un cortante cercano al 5% de W .

Como comentario adicional se menciona que los resultados obtenidos cuando la excentricidad es en un sentido en el sistema de aislamiento presentan tendencias similares a aquellos obtenidos cuando se cuenta con excentricidad unidireccional en la superestructura.

6.2.3 Con excentricidad del 5% en ambos sentidos.

Se realizaron los análisis correspondientes cuando el modelo presenta excentricidad bidireccional del **CR** con respecto al **CM** del 5% de la dimensión L ; ya en puntos previos

de este capítulo se explicó cómo determinar dicha excentricidad. Los aisladores número 4 y número 13 son, de nueva cuenta, aquellos donde se observan los parámetros de respuesta en cada una de los 96 casos establecidos para cada propuesta de cortante de fluencia ($V_y=0.05W$ y $V_y=0.1W$).

Se observa en las figuras 6.21 y 6.22 la normalización entre los máximos desplazamientos dinámicos cuando la carga es bidireccional con los de carga en un sólo sentido (E-W y N-S, respectivamente). En este caso se aprecia que la amplificación de la respuesta bidireccional normalizada con la N-S se desarrolla más notoriamente en los periodos extremos del intervalo T_a considerado, encontrándose una zona entre 1.8 y 2.3 segundos donde la amplificación es menor (figura 6.22). Ante la componente E-W (figura 6.21) las amplificaciones de respuesta tienden a ser más constantes a lo largo del intervalo T_a , aunque se presentan picos considerables.

En ambas figuras observamos que el aislador número 13 es el que presenta mayores amplificaciones de desplazamiento, en tanto que el aislador número 4 es más rígido, registrando incluso deamplificaciones importantes para UNION ante carga N-S (figura 6.22). Con la variación del cortante de fluencia V_y se observa para UNION y SMRZA que, generalmente con el V_y menor se presentan amplificaciones mayores y con $V_y = 0.1W$ las amplificaciones suelen ser mayores, en ambas figuras; pero para TMANZ el resultado es similar ante carga E-W y variando ante carga N-S. Para finalizar se anota que para carga E-W la mayor amplificación se da con SMRZA, con $V_y = 0.05W$ y en el aislador número 13; para carga N-S se da con TMANZ y $V_y=0.1W$ en el aislador número 13.

Al comparar estas gráficas con las homólogas cuando la excentricidad se presenta sólo en un sentido (figuras 6.3 y 6.4) se observa que la amplificación relativa de desplazamientos presenta valores máximos similares y dependiendo del registro algunos son mayores y otros menores a los generados cuando la excentricidad es en ambos sentidos y que los periodos de vibración T_a donde se registran las mayores amplificaciones o picos varían.

La figura 6.23 presenta el ángulo descrito por los desplazamientos máximos ante acción bidireccional, en los aisladores número 4 y número 13, con excentricidad del CR con respecto al CM del 5% de la dimensión L. La tendencia a lo largo del intervalo de periodos T_a es constante para el aislador número 13, el aislador número 4 registran ciertos cambios, especialmente ante la acción de TMANZ.

En las figuras 6.24 a 6.26 se graficaron las relaciones entre desplazamientos máximos ante excitación y de fluencia de los aisladores; con excitaciones E-W, N-S y bidireccional, respectivamente. Se contemplan desplazamientos inelásticos (mayores a los de fluencia), resaltando aquellos generados ante TMANZ con un cortante de fluencia $V_y = 0.05W$, sobre todo al emplear ambas componentes del movimiento horizontal en forma conjunta; alcanzando un desplazamiento inelástico de 7.2 veces el de fluencia a los 1.5 segundos de T_a . Se resalta que en ningún caso se sobrepasa el valor límite de 9.0 asociado a la definición de las características mecánicas en un aislador bilineal con $k_2/k_1 = 0.1$ por el UBC. Cabe señalar que se aprecian pequeñas reducciones en respuestas máximas entre excentricidad en un solo sentido y en los dos, cuando la excitación se da por una sola

componente del movimiento del terreno, pero si se aprecian reducciones más notorias de la respuesta cuando la excentricidad es bidireccional con respecto a excentricidad en un sentido cuando la excitación es bidireccional.

6.2.4 Con excentricidades del 10%, 15% y 20% en ambos sentidos.

Análogamente a secciones previas, se realizaron el mismo número de análisis, pero variando la excentricidad bidireccional del 5% de L a 10%, 15% y 20% de L, los cuales se presentan en las figuras 6.27 a 6.44. De los resultados obtenidos se tiene:

Las relaciones entre los desplazamientos máximos ante carga bidireccional y ante carga **E-W** presentan variaciones importantes con los incrementos de excentricidad, tal y como se observa en las figuras 6.27, 6.33 y 6.39 (excentricidades del 10%, 15% y 20% de L). Al pasar del 5% al 10% de excentricidad **SMRZA** tiende a amplificar algo más la respuesta, pero ésta se torna más constante a lo largo del intervalo T_a . Cuando $e = 0.15L$ se acentúa algo más la amplificación en el aislador número 4, pero se mantiene el comportamiento. El aislador 13, sin embargo, tiende a amplificar la respuesta notoriamente, sobre todo alrededor de $T_a = 1.6$ segundos y $T_a = 2.4$ segundos; cuando $e=0.2L$ dicha amplificación en el aislador 4 es más notable y constante.

Ante **UNION** la variación de los desplazamientos máximos con los incrementos de excentricidad es sobresaliente, pasando primero a mayores amplificaciones en ambos aisladores cuando $e = 0.1L$ y, posteriormente, a amplificaciones más notorias para el aislador 13 cuando $e = 0.15L$ y $e = 0.2L$, pero con relaciones cercanas a la unidad para el aislador número 4. Para **TMANZ** el comportamiento tiende a incrementarse al pasar de $e=0.05L$ a $e = 0.1L$, pero para excentricidades mayores el comportamiento se inclina hacia la unidad.

En cuanto a las relaciones entre la acción bidireccional y la carga **N-S**, de las figuras 6.28, 6.34 y 6.40 (10%, 15% y 20% de L) se tiene que para $e=0.1L$ el aislador 4 registra mayores amplificaciones que el 13, tendencia que se revierte para valores de excentricidad más altos; en general se observa que a partir de $e=0.15L$ el comportamiento se mantiene constante con deamplificaciones en el aislador número 4 y amplificaciones en el número 13.

Las figuras 6.29, 6.35 y 6.41 presentan el ángulo descrito por los desplazamientos máximos ante acción bidireccional, en los aisladores número 4 y número 13, con excentricidades del **CR** con respecto al **CM** del 10%, 15% y 20% de la dimensión L. Se observa que en general la tendencia a lo largo del intervalo de periodos T_a en estas figuras es similar a la correspondiente a una excentricidad del 5% de L (figura 6.23), los ángulos descritos tienen ligeras variaciones con el incremento de excentricidad, salvo para **TMANZ** y la **UNION** en el aislador 4.

En las siguientes figuras se exhiben los cocientes entre los desplazamientos máximos generados por acción sísmica y los de fluencia de los aisladores, ante excitación sísmica componentes E-W, N-S y bidireccional; las figuras 6.30, 6.31 y 6.32 presentan dichas normalizaciones cuando la excentricidad es de $e = 0.1L$, para $e = 0.15L$ las figuras correspondientes son 6.36, 6.37 y 6.38 y, para $e = 0.2L$ las figuras son las 6.42, 6.43 y 6.44. Se observa que las tendencias son las mismas o similares a las mostradas cuando $e = 0.05L$ (figuras 6.24, 6.25 y 6.26), sólo que el resultado de los cocientes va tendiendo a ser menor con el incremento de la excentricidad e , debido a que para determinar los aumentos de excentricidad fue necesario ir incrementando la rigidez efectiva del sistema de aislamiento para los aisladores con rigidez k_2 y disminuirla en los aisladores con rigidez k_1 (figura 6.2, tabla 6.3), disminuyendo por lo tanto el desplazamiento de fluencia de los aisladores k_2 (donde se ubican los aisladores 4 y 13 en estudio), por lo que al observar el cociente de desplazamiento dinámico vs desplazamiento de fluencia hay que tener en cuenta esta consideración.

6.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON AQUELLOS OBTENIDOS DEL MODELO SIN EXCENTRICIDADES.

Se compara a los desplazamientos dinámicos máximos resultado de cada caso de excentricidad en el sistema de aislamiento, 5%, 10%, 15% y 20% de la dimensión L (en una y en ambas direcciones); con los obtenidos cuando el modelo no presenta excentricidades (capítulo IV).

6.3.1 Comparación entre el modelo sin excentricidad y con excentricidad en un sentido.

Se normalizan los desplazamientos máximos cuando la excentricidad se genera en un sentido en el sistema de aislamiento con respecto a aquellos cuando el modelo no presenta excentricidad, empleando ambas componentes horizontales del movimiento del terreno. En las figuras 6.45 a 6.47 se muestra la relación para el aislador número 4, con $V_y = 0.05W$ y con UNION, SMRZA y TMANZ, respectivamente, como excitaciones; cuando $V_y = 0.1W$ las relaciones se observan en las figuras 5.48 a 6.50. Las figuras 5.51 a 5.56 muestran los mismos casos anteriores pero observados en el aislador número 13. Se desprenden los siguientes comentarios:

Ante la acción de UNION y $V_y = 0.05W$ (figura 6.45), el comportamiento tiende a deamplificar la respuesta del modelo sin excentricidad, en todo el intervalo de T_a ; en general, el decremento de desplazamientos máximos es correspondiente al aumento del

porcentaje de excentricidad e . Ante **TMANZ** (figura 6.47) el comportamiento de los aisladores tiende nuevamente a deamplificación de la respuesta con el incremento de excentricidad del **CR** con respecto al **CM** del orden del 5% y 10% de L_y a mostrar amplificaciones a mayores incrementos de excentricidad; con tendencias más o menos constantes a lo largo de T_a , obteniéndose los máximos incrementos de respuesta cuando $e=0.2L$ alrededor de $T_a= 2.5$ segundos. Para **SMRZA** (figura 6.46), se presentan nuevamente ambos comportamientos: una ligera amplificación entre 1.5 y 1.8 segundos de T_a y más notoria a partir de $T_a=2.2$ segundos; las deamplificaciones se observan entre los 1.8 y 2.2 segundos. En tabla 6.4 se observan los factores de amplificación para estos casos.

Cuando $V_y = 0.1W$ ante **UNION**, figura 6.48, el comportamiento muestra sobre todo deamplificaciones de la respuesta, destacando el pico generado cuando $T_a = 2.3$ segundos. Para **TMANZ**, figura 6.50, la tendencia es claramente hacia amplificaciones, sobre todo las cercanas a $T_a= 2.1$ segundos; al final del intervalo de periodos en estudio los incrementos en la respuesta tienden a ser similares, indistintamente de la excentricidad del **CR** con respecto al **CM**, se observa asimismo que las mayores amplificaciones se generan con excentricidades del 5% de L y disminuyen ligeramente con el incremento de e . En la figura 6.49 se muestran los resultados para **SMRZA**, nuevamente se observa la obvia tendencia amplificatoria a lo largo del intervalo T_a . En la tabla 6.5 se observan los factores de amplificación correspondientes.

Tabla 6.4
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 4

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.84	2.9	0.95	1.5	0.97	2.0	1.05	2.5	0.97	1.50	1.01	1.7
10	0.76	2.1	0.93	3.0	0.93	2.5	1.18	2.5	0.95	1.50	1.03	1.7
15	0.64	2.1	0.97	3.0	0.90	2.1	1.31	2.4	0.97	1.50	1.12	2.1
20	0.62	2.0	0.97	2.6	0.90	2.0	1.50	2.4	1.50	1.50	1.22	2.5

Tabla 6.5
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 4

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.84	2.2	1.23	1.5	1.40	2.0	2.40	2.3	1.23	1.5	2.70	2.1
10	0.75	2.2	1.20	1.5	1.44	2.0	2.60	2.3	1.39	1.5	3.10	2.1
15	0.74	2.2	1.18	1.5	1.50	1.9	2.70	2.3	1.45	1.5	3.38	2.1
20	0.69	2.2	1.11	1.5	1.70	1.9	2.74	2.3	1.62	1.5	3.60	2.1

Para el aislador número 13 y con $V_y = 0.05W$ se tiene en la figura 6.51 (excitación dada por **UNION**) amplificaciones de la respuesta, siendo más marcadas alrededor de $T_a=$

2.5 segundos, donde se obtiene un valor de 1.60 veces el de $e=0$ con $e=0.2L$. Para **TMANZ** (figura 6.53) se observa una tendencia hacia la amplificación de la respuesta, sin presentarse picos o variaciones abruptas, sino valores muy similares para los distintos porcentajes de e . Ante **SMRZA** (figura 6.52) nuevamente se observa el cambio entre amplificaciones y deamplificaciones a lo largo del intervalo de periodos, en forma similar a la observada para el mismo caso en el aislador número 4 (figura 6.46). La tabla 6.6 muestra los factores de amplificación para estos casos.

Cuando $V_y = 0.1W$ se tiene que para **UNION** (figura 6.54) la tendencia es hacia la amplificación de los desplazamientos, las trayectorias de las respuestas presentan picos, siendo el más notorio al inicio del intervalo de T_a para los distintos porcentajes de excentricidad. Con **SMRZA** (figura 6.55) se presenta un comportamiento muy similares al observado en el aislador número 4 (figuras 6.49), tanto en tendencias como en valores máximos. Para **TMANZ** (figura 6.56) se presenta en principio una tendencia similar al mismo caso para el aislador número 4 (figura 6.50), las variaciones de los desplazamientos ante los distintos incrementos de excentricidad son mínimas, el comportamiento es muy similar. La tabla 6.7 presenta los factores de amplificación respectivos.

Tabla 6.6
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 13

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.08	2.1	1.27	2.6	0.98	2.2	1.05	2.5	1.04	1.5	1.06	2.1
10	1.10	2.1	1.32	2.5	0.95	2.2	1.48	2.5	1.04	1.5	1.15	2.1
15	1.12	2.1	1.48	2.5	0.90	2.1	1.38	2.4	1.17	1.5	1.30	2.1
20	1.17	2.0	1.61	2.5	0.90	2.1	1.65	2.4	1.29	1.5	1.55	2.1

Tabla 6.7
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 13

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.78	2.6	2.50	1.5	2.20	3.0	3.54	2.3	2.50	3.0	5.70	2.1
10	1.60	2.8	2.52	1.5	2.20	3.0	3.40	2.3	2.60	1.5	5.60	2.1
15	1.44	2.9	2.52	1.5	2.20	3.0	3.38	2.3	2.30	1.5	5.30	2.1
20	1.76	2.6	2.52	1.5	2.10	3.0	3.20	2.3	2.00	1.5	5.00	2.1

Al comparar los resultados de ambos aisladores se encuentra que las tendencias son muy similares para **SMRZA**, resaltando sólo pequeñas variaciones en los valores de amplificación; ante **UNION** las tendencias del comportamiento a lo largo del intervalo de periodos T_a muestran tendencias semejantes cuando $V_y=0.1W$ y variables cuando $V_y=0.05W$, las variaciones radican en que para el aislador 4 se presentan

deamplificaciones, mientras que para el aislador 13 la constante son las amplificaciones. Para **TMANZ** los comportamientos son similares.

Cabe mencionar la notoriedad de la variación que se observa en el patrón de amplificación o deamplificación para cada acelerograma, lo que sugiere que las características propias de éstos pudieran ser los responsables de ello, lo que no puede concluirse hasta que no se encamine un estudio donde se analice con profundidad esta situación, utilizando un mayor número de acelerogramas representativos cada uno de los tipos considerados (típico de terreno firme, epicentral y/o con efectos de sitio).

6.3.2 Comparación entre el modelo sin excentricidad y con excentricidad en ambos sentidos.

Se normalizaron ahora los desplazamientos máximos cuando la excentricidad se presenta en ambos sentidos de los niveles del sistema de aislamiento con aquellos obtenidos en el capítulo IV.

En las figuras 6.57 a 6.68 se presentan los desplazamientos dinámicos máximos al variar el porcentaje de excentricidad e en el sistema de aislamiento, con respecto a los desplazamientos del modelo de referencia (sin excentricidad). En las figuras 6.57 a 6.59 se observa dicha relación entre desplazamientos para el aislador número 4, con un cortante de fluencia $V_y = 0.05W$ y ante la acción de **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ**, respectivamente; la misma relación se presenta en las figuras 6.60 a 6.62, pero para los desplazamientos obtenidos al considerar un cortante de fluencia $V_y = 0.1W$. Para el aislador número 13 el cociente de respuestas se muestra en las figuras 6.63 a 6.65; con $V_y = 0.05W$ y 6.66 a 6.68 con $V_y = 0.1W$. De dichas gráficas se desprenden los siguientes comentarios.

La respuesta del aislador número 4 con el registro **UNION** y con $V_y = 0.05W$ (figura 6.57) es variada a lo largo del intervalo T_a , tanto en amplificaciones y deamplificaciones como en cambios, sin tendencias constantes, al incrementar el porcentaje de excentricidad del **CR** con respecto al **CM**, ya que con el mayor valor de e se observa un comportamiento medio al registrado con porcentajes de e menores. Ante **TMANZ** (figura 6.59) la tendencia general es hacia la amplificación suave con el incremento de porcentajes de excentricidad, exceptuando cuando $e = 0.1L$ donde a partir de los 2.1 segundos se observa una inclinación hacia menores amplificaciones. Para **SMRZA** (figura 6.58) se presentan amplificaciones y deamplificaciones como lo observado en el punto 6.3.1 de este capítulo, alcanzando la mayor amplificación cuando $T_a = 2.4$ segundos con $e = 0.2L$. Es notorio asimismo que la respuesta se amplifica más cuando $e = 0.1L$ que cuando $e = 0.2L$. En la tabla 6.8 se encuentran los factores de correspondencia par este caso.

Cuando se emplea un cortante de fluencia $V_y = 0.1W$, los comportamientos ante las distintas fuentes de excitación son: para **UNION** y **SMRZA** (figura 6.60 y 6.61) se presentan deamplificaciones y amplificaciones con tendencias similares a las registradas

cuando $V_y = 0.1W$ (figura 6.57 y 6.58), encontrando el mayor desplazamiento en $T_a=2.4$ segundos y $e=0.2L$ para **SMRZA**. Para **TMANZ** (figura 6.62) las amplificaciones se observan sobre todo cuando $T_a= 2.1$ segundos y al final del intervalo de periodos; presentando pequeñas deamplificaciones al inicio del intervalo. Nuevamente se observan mayores amplificaciones para $e=0.1L$ que para $e=0.2L$. Los factores de amplificación y deamplificación para este caso se muestran en la tabla 6.9.

Tabla 6.8
Factores de amplificación con e en ambos sentidos , $V_y=0.05W$ en el aislador 4

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.88	2.8	0.98	1.9	0.95	2.1	1.10	2.4	1.00	2.5	1.06	1.7
10	1.02	2.1	1.35	2.5	0.71	2.1	0.97	3.0	0.69	2.7	1.25	1.8
15	0.78	2.0	1.03	3.0	0.8	1.9	1.6	2.4	1.10	1.5	1.33	1.5
20	0.86	2.1	1.24	2.4	0.97	1.8	2.2	1.4	1.26	1.5	1.70	2.4

Tabla 6.9
Factores de amplificación con e en ambos sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 4

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.78	2.8	0.99	2.1	0.90	2.2	1.12	1.8	0.99	2.8	1.25	2.1
10	1.12	1.8	1.49	2.0	0.78	2.1	1.20	1.7	0.62	1.5	1.92	2.1
15	1.72	2.6	1.14	1.5	0.73	2.0	1.63	2.3	0.94	1.6	1.80	2.1
20	1.71	2.2	1.41	1.5	0.98	1.9	2.11	2.4	0.93	1.5	2.43	2.9

Para el comportamiento del aislador número 13 con cortante de fluencia $V_y = 0.05W$ se tiene: al excitar al modelo con los registros **UNION** y **SMRZA** (figuras 6.63 y 6.64) se generan amplificaciones y deamplificaciones de la respuesta, cuando $e= 0.02L$ se observan las mayores amplificaciones alrededor de los 2.4 segundos de periodo. Para **TAMNZ** se observan un comportamiento similar al presentado en el aislador número 4 (figura 6.59), pero ahora las amplificaciones y deamplificaciones son ligeramente mayores. En la tabla 6.10 se encuentran los factores de amplificación correspondientes.

Cuando el cortante de fluencia es $V_y=0.1W$ los comportamientos ante **UNION** y **SMRZA** (figuras 6.66 y 6.67) son similares a los observados en el mismo aislador cuando $V_y = 0.05W$, pero ante **TMANZ** (figura 6.68) el comportamiento se asemeja al del mismo caso en el aislador número 4 (figura 6.62) sólo que ahora los valores de los incrementos de la respuesta son ligeramente mayores. Los factores de amplificación correspondientes se observan en la tabla 6.11.

Tabla 6.10

Factores de amplificación con e en ambos sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 13

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.04	2.1	1.17	2.6	0.97	2.1	1.12	2.5	0.99	1.7	1.08	2.4
10	0.78	2.1	1.01	1.8	0.64	2.1	0.81	1.7	0.63	2.7	0.96	1.9
15	1.08	2.0	1.52	2.5	0.81	2.0	1.63	2.3	1.09	1.5	1.42	2.3
20	1.33	2.0	1.66	2.4	1.00	1.8	2.33	2.4	1.28	1.5	1.80	1.9

Tabla 6.11

Factores de amplificación con e en ambos sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 13

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.08	2.2	1.21	1.7	0.96	2.2	1.18	1.8	0.90	2.4	1.12	1.5
10	0.62	1.8	0.96	2.0	0.63	2.1	0.92	1.7	0.57	1.5	1.29	2.1
15	1.11	3.0	1.60	1.9	0.79	2.0	1.83	1.7	0.99	1.7	1.80	3.0
20	1.26	2.6	1.62	1.9	1.09	1.9	2.21	2.4	0.93	1.5	2.69	2.9

Comparando los resultados obtenidos por ambos aisladores se encuentra que ante la presencia de excentricidades en un sentido en el sistema de aislamiento y ante la excitación de UNION y TMANZ el aislador número 13 tiende más a la amplificación de los valores de los desplazamientos dinámicos que el aislador número 4; ante SMRZA las respuestas son más semejantes registrando amplificaciones y deamplificaciones a lo largo del intervalo de periodos T_a . Sin embargo, ante excentricidad en ambos sentidos se generaliza la presencia tanto de amplificaciones como de deamplificaciones ante los tres tipos de excitación y en ambos aisladores.

Con la variación del cortante de fluencia se presentan valores mayores de amplificación cuando $V_y = 0.1W$ y menores para $V_y = 0.05W$; variando también el porcentaje de excentricidad e con el que se alcanzan dichos comportamientos máximos.

6.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE EXCENTRICIDAD BIDIRECCIONAL Y EXCENTRICIDAD EN UN SENTIDO.

Se establece la normalización de los resultados obtenidos cuando el porcentaje de excentricidad del CR con respecto al CM se presenta bidireccionalmente con respecto a los observados cuando dichos porcentajes se generan sólo en un sentido de la planta tipo del

modelo en estudio, con el fin de conocer ante que tipo de excentricidad se producen los máximos desplazamientos dinámicos. Para ello se graficaron los desplazamientos máximos de ambos casos y ante los distintos porcentajes de excentricidad e y de fuente de excitación.

En las figuras 6.69 a 6.71 se observan las normalizaciones correspondientes para el aislador número 4, con un porcentaje de excentricidad $V_y = 0.05W$ y ante la acción bidireccional del movimiento del terreno de los registros **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ**, respectivamente. Las figuras 6.72 a 6.74 muestran los mismo casos pero con $V_y = 0.1W$. Para el aislador número 13 se presentan las figuras 6.75 a 6.77 para $V_y = 0.05W$ y 6.78 a 6.80 para $V_y = 0.1W$. De todas estas figuras se mencionan los siguientes comentarios.

Para el aislador número 4, con ambas variantes de V_y y ante **UNION** (figuras 6.69 y 6.72) los mayores desplazamientos se generan generalmente cuando la excentricidad se presenta bidireccionalmente para la mayor parte de porcentajes de e , salvo cuando $e=0.05L$ donde las respuestas mayores son sobre todo las dadas por la excentricidad unidireccional. Ante **SMRZA** (figuras 6.70 y 6.73) los desplazamientos rondan alrededor de uno, es decir valores similares de respuesta, cuando $V_y=0.05W$ y son notablemente mayores cuando $V_y=0.1W$, tendiendo a acercarse a uno cuando aumenta la excentricidad. Ante **TMANZ** las respuestas entre ambas variantes de excentricidad (un sentido *vs* ambos sentidos) son parecidas con ligera tendencia hacia mayores desplazamientos para excentricidades bidireccionales cuando $V_y = 0.05W$; cuando $V_y = 0.1W$ el comportamiento observado muestra que los mayores desplazamientos dinámicos de los aisladores se generan al contar con excentricidades en un solo sentido, con tendencia a disminuir este comportamiento con el incremento de excentricidad.

Para el aislador número 13 la mayor amplificación de respuestas con presencia de excentricidades se observa, sobre todo (figuras 6.75 a 6.80), cuando dicha excentricidad se ubica unidireccionalmente; se presentan excepciones cuando $V_y=0.05W$, principalmente para los mayores porcentajes de excentricidad.

6.5 INFLUENCIA DEL CAMBIO DE RIGIDEZ TORSIONAL.

En el presente capítulo se modificaron las rigideces de los aisladores con el fin de establecer las distintas excentricidades de los **CR** con respecto a los **CM**, cuidando que este cambio de rigidez no afectara a la rigidez lateral del sistema de aislamiento en conjunto; sin embargo, es recomendable establecer una comparación entre las rigideces torsionales del sistema simétrico (sin excentricidad) y los sistemas propuestos en este capítulo, a fin de evaluar la influencia del cambio de rigidez torsional en los desplazamientos dinámicos máximos obtenidos.

Del capítulo II se tiene que la rigidez torsional de piso, definida en su **CM**, está dada por:

$$K_{\theta} = \sum k_{ix} y_i^2 + \sum k_{iy} x_i^2 \quad (6.31)$$

donde y_i , x_i son las distancias en los sentidos x y y (respectivamente) entre el **CM** y el i -ésimo elemento con resistencia lateral en el sentido x o y (respectivamente).

Para el sistema simétrico (fig 4.1) se tiene:

$$K_{\theta} = 2 \sum \{8k_i (10.5)^2 + 8k_i (3.5)^2\} = 1960k_i \quad (6.32)$$

sabemos que $k_{eff} = 16k_i$, por lo que entonces:

$$K_{\theta} = 122.5k_{eff} \quad (6.32)$$

Para el modelo propuesto para que se presentase excentricidad bidireccional en el sistema de aislamiento, se tiene de la figura 6.2:

$$K_{\theta} = 2 \sum \left\{ \left[6k_1 (10.5)^2 + 6k_1 (3.5)^2 \right] + \left[2k_2 (10.5)^2 + 2k_2 (3.5)^2 \right] \right\} \quad (6.33)$$

$$K_{\theta} = 1470k_2 + 490k_1$$

De la tabla 6.3 obtenemos los valores de las rigideces k_1 y k_2 , con respecto a la rigidez efectiva del sistema de aislamiento, k_{eff} , para las distintas excentricidades del **CR** con respecto al **CM**: Sustituyendo éstos en la ecuación 6.33 se obtienen las rigideces torsionales del sistema de aislamiento para cada caso, como se observan en la tabla siguiente.

Tabla 6.12				
Rigideces torsionales para el modelo con excentricidades bidireccionales				
Excentricidad (% de L)	k_1 (x k_{eff})	K_2 (x k_{eff})	K (x k_{eff})	K (excentr./simetr.)
0	-	-	125.50	1.0
5	0.0531	0.0906	159.25	1.3
10	0.0438	0.1187	195.99	1.6
15	0.0344	0.1469	232.75	1.9
20	0.0249	0.1754	269.99	2.2

Para el modelo empleado para determinar excentricidades unidireccionales de los **CR** con respecto a los **CM** se tiene de la figura 6.1:

$$K_{\theta} = 2 \{4k_2 (10.5^2 + 3.5^2)\} + 2 \{4k_1 (10.5^2 + 3.5^2)\} = 980k_2 + 980k_1 \quad (6.34)$$

$$K_{\theta} = 980k_2 + 980k_1$$

De la tabla 6.2 se obtienen los valores de k_1 y k_2 para los distintos porcentajes de excentricidad, los cuales se sustituyen en la ecuación 6.34, determinando las rigideces torsionales correspondientes, que se presentan en forma de tabla a continuación:

Tabla 6.13
Rigideces torsionales para el modelo con excentricidades unidireccionales

Excentricidad (% de L)	k_1 (x k_{eff})	k_2 (x k_{eff})	K (x k_{eff})	K (excentr./simetr.)
0	-	-	125.50	1.0
5	0.0714	0.0531	122.50	1.0
10	0.0813	0.0438	122.50	1.0
15	0.0906	0.0344	122.50	1.0
20	0.1000	0.0250	122.50	1.0

Como se observa de las tablas 6.12 y 6.13 sólo se presentó cambio en la rigidez torsional para el modelo propuesto con excentricidades bidireccionales. En la figura 6.81 se muestra esquemáticamente este cambio de rigidez. Este cambio de rigidez torsional ocasiona un incremento en la rigidez torsional del modelo en estudio al incrementar las excentricidades cuando éstas son bidireccionales, por lo que la disminución observada en las demandas de ductilidad registradas con el incremento de excentricidades en ambos sentidos pudiera deberse, entre otras cosas, a este incremento en la rigidez torsional inicial de los modelos.

6.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE EXCENTRICIDAD EN LA SUPERESTRUCTURA CON EXCENTRICIDAD EN EL SISTEMA DE AISLAMIENTO.

Se presenta a continuación la relación entre los desplazamientos dinámicos máximos registrados cuando la excentricidad (en sus distintos porcentajes) se presenta en la superestructura, con aquellos cuando dichas excentricidades se estudiaron en el sistema de aislamiento (capítulo V), en todos los casos cuando la excitación está dada por ambas componentes horizontales de los registros seleccionados. En las figuras 6.82 a 6.83 se muestran dichas relaciones para el aislador 4 y ante la carga sísmica de los registros UNION, SMRZA y TMANZ, respectivamente. Para el aislador 13 se muestran los casos análogos en las figuras 6.85 a 6.87.

De este conjunto de figuras se observa que el cociente entre desplazamientos máximos (superestructura entre sistema de aislamiento) es, en algunos casos, cercano a la unidad, sobre todo con cortantes de fluencia de $V_y=0.1W$, con esto se entiende que bajo esta condición de cortante de fluencia los aisladores se comportan más elásticamente (como se ha mencionado anteriormente), por lo que el sistema no fluye o lo hace en forma muy reducida, comportándose de forma algo similar ante las distintas presencias de excentricidades (superestructura o sistema de aislamiento), independientemente del porcentaje de excentricidad dado. Con el cortante de fluencia menor ($V_y=0.05W$) se observa mayor variación entre los desplazamientos máximos dados ante las excentricidades

en la superestructura y en el sistema de aislamiento. Para el aislador 4 la tendencia es de relaciones cercanas a la unidad o incrementos en los desplazamientos con excentricidad en la superestructura; para el aislador 13 se tiene, sobre todo, tendencias cercanas a la unidad o menores a ésta.

Es notorio asimismo que a mayor incremento de excentricidades los desplazamientos máximos tienden a generarse cuando la excentricidad está presente en el sistema de aislamiento; sin embargo, se ha observado ya que para excentricidades mayores a $e=0.1L$, los aisladores pueden alcanzar demandas de ductilidad no recomendables para su adecuado comportamiento mecánico. Para este límite de excentricidad se encontró que, en general, los mayores desplazamientos dinámicos de los aisladores se registran con excentricidades en la superestructura, coincidiendo con lo observado en estudios previos (Nagarajaiah *et al.*, 1993).

6.7 COMENTARIOS FINALES DEL CAPÍTULO.

De los resultados obtenidos en este capítulo se concluye lo siguiente:

- Nuevamente con **SMRZA** los ángulos que describen los desplazamientos dinámicos generan trayectorias constantes a lo largo del intervalo de periodos T_a , con **UNION** se observó cierta variación en las trayectorias de desplazamientos registradas para el aislador número 13 ante excentricidad en un sentido y con el aislador 4 ante excentricidad bidireccional; la mayor variación de trayectorias es con **TMANZ**, sobre todo en el aislador 13 cuando e es unidireccional y en el aislador 4 cuando e es bidireccional.
- Igual que en casos anteriores la excitación bidireccional genera respuesta que amplifican, en general, las dadas al excitar al modelo con registros unidireccionales, con algunos intervalos de periodo donde se presenta el caso contrario. Generalmente los mayores picos de amplificación se muestran en alguno de los extremos del intervalo de periodos en estudio.
- Las variaciones más notorias de amplificación de la respuesta (excitación sísmica bidireccional *vs* un sentido) se obtienen con **TMANZ**.
- Nuevamente se observa que cuando $V_y=0.05W$ se tienen un comportamiento inelástico más adecuado en los aisladores que con $V_y=0.1W$, ya con éste último existen desplazamientos dinámicos máximos donde los aisladores no llegan a fluir.
- Al emplear como fuente sísmica sólo una de las componentes horizontales (**E-W, N-S**), contando el modelo con excentricidad en el sistema de aislamiento e incrementando los porcentajes de ésta, se encontró que las demandas de ductilidad van aumentando ligeramente, siendo la respuesta más inelástica cuanto mayor es la excentricidad; el mayor comportamiento inelástico es al inicio del intervalo T_a . Con excentricidades

unidireccionales y bidireccionales este comportamiento rebasa ligeramente el límite de nueve (para el buen funcionamiento de aisladores bilineales) asociado a la curva primaria del UBC para $k_1/k_2=0.10$, sobre todo al emplear el registro TMANZ. Cuando la excentricidad es bidireccional la demanda de ductilidad tiende a disminuir con el incremento de la excentricidad, debido a que para determinar los aumentos de e se aumentó la rigidez efectiva del sistema de aislamiento para los aisladores con rigidez k_2 y disminuyó en los aisladores con rigidez k_1 (figura 6.2), reduciendo así el desplazamiento de fluencia de los aisladores k_2 (aisladores 4 y 13 en estudio).

- En general, se observan tendencias distintas ante V_y distintos cuando la fuente de excitación es TMANZ. Al comparar los resultados obtenidos con ambos aisladores se encuentra semejanza en el comportamiento, sólo que el aislador número 4 tiende más a amplificar y el número 13 a amplificaciones menores o deamplificaciones, debido a la ubicación de los aisladores en la planta del modelo y a las distintas intensidades de las componentes horizontales de los registros para el intervalo de periodos en estudio.
- En general, no existe un patrón que defina ante qué tipo de excentricidad (unidireccional o bidireccional) se presentan las mayores respuestas.
- En general, se observó que para el registro TMANZ al variar el cortante de fluencia cambia la respuesta del sistema; mientras que ante la acción de los registros sin efectos de sitio la respuesta tiende a variaciones menores.
- En general, puede concluirse que cuando existen excentricidades en el sistema de aislamiento, los desplazamientos dinámicos máximos en los aisladores tienden a amplificarse y deamplificarse más con respecto al sistema simétrico a medida que aumenta el cortante de fluencia del aislador (V_y/W). Los periodos asociados a las respuestas pico varían con el valor de V_y/W . Cabe destacar que en el presente estudio el cortante de fluencia de los aisladores (V_{yais}) para cuando existe excentricidad en el sistema de aislamiento no es igual para excentricidad unidireccional y bidireccional, por lo que esta variable pudo influir en las respuestas obtenidas, por lo que sería conveniente en un futuro estudiar el caso en que los aisladores tuvieron las mismas características, es decir, la misma fuerza y desplazamiento de fluencia.

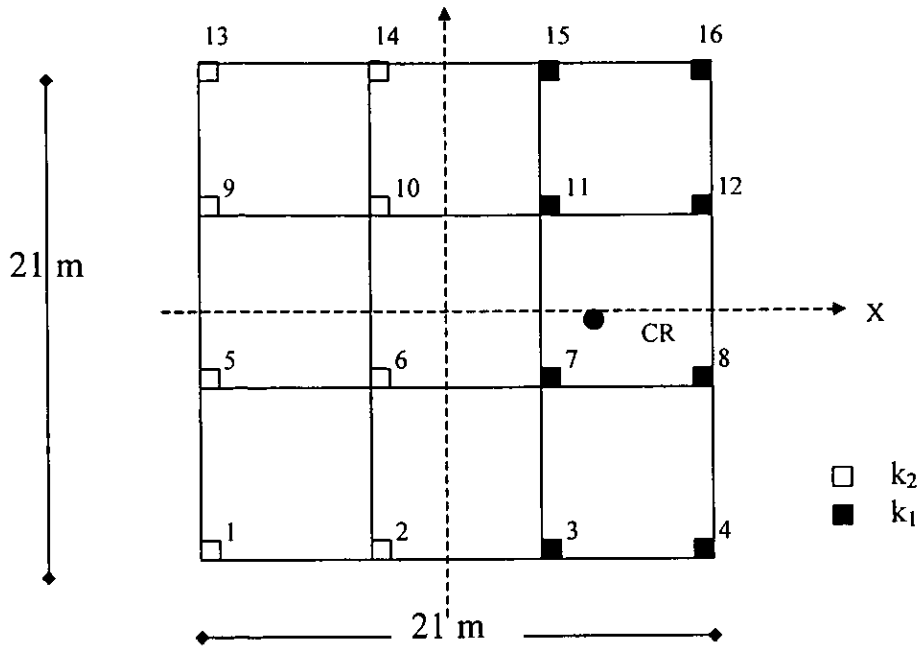


Figura 6.1 Disposición de los dos tipos de rigidez efectiva de aislador para determinar el **CR** cuando la excentricidad se da en el sentido x .

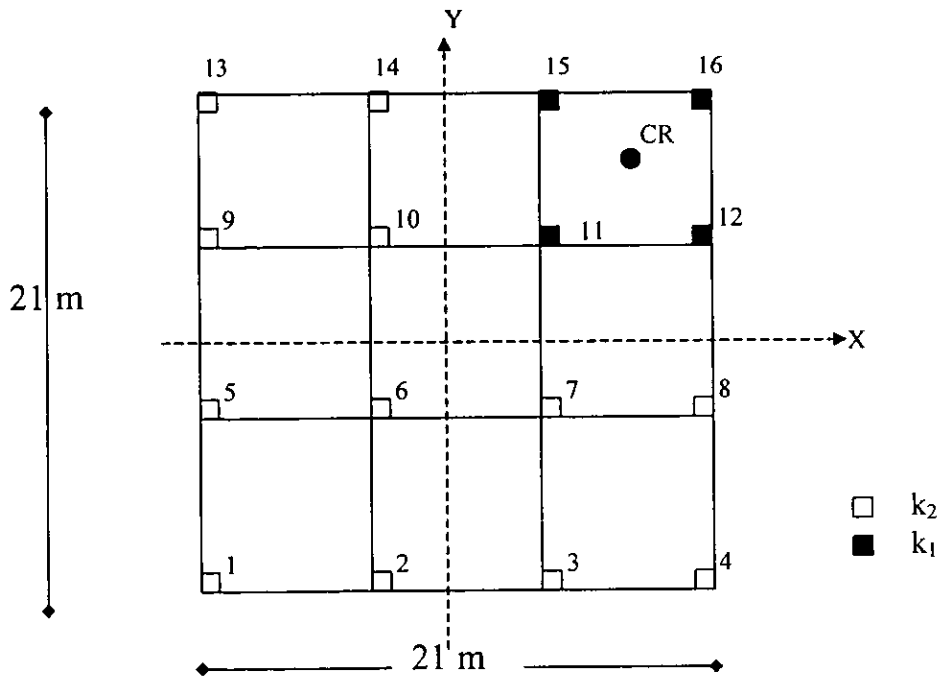


Figura 6.2 Disposición de los dos tipos de rigidez efectiva de aislador para determinar el **CR** cuando la excentricidad se da en ambos sentidos.

Figura 6.3

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en un sentido

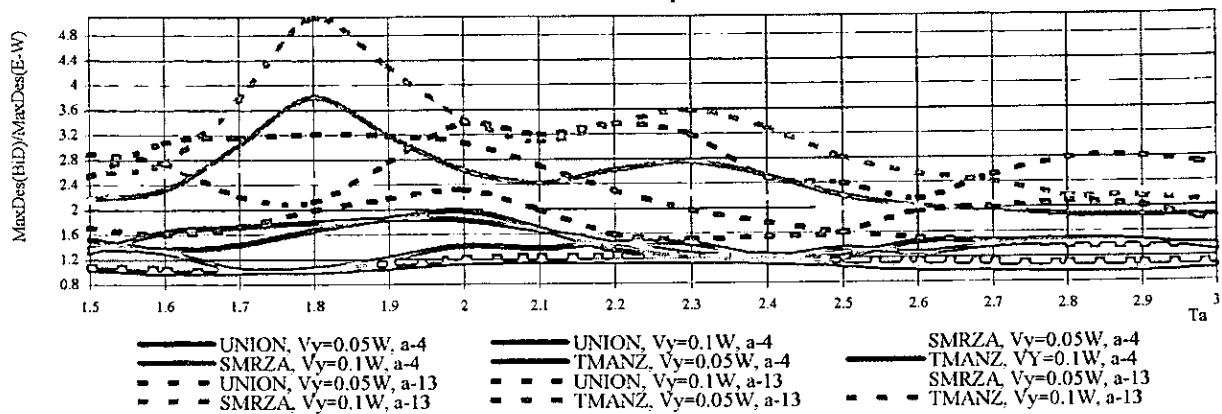


Figura 6.4

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en un sentido

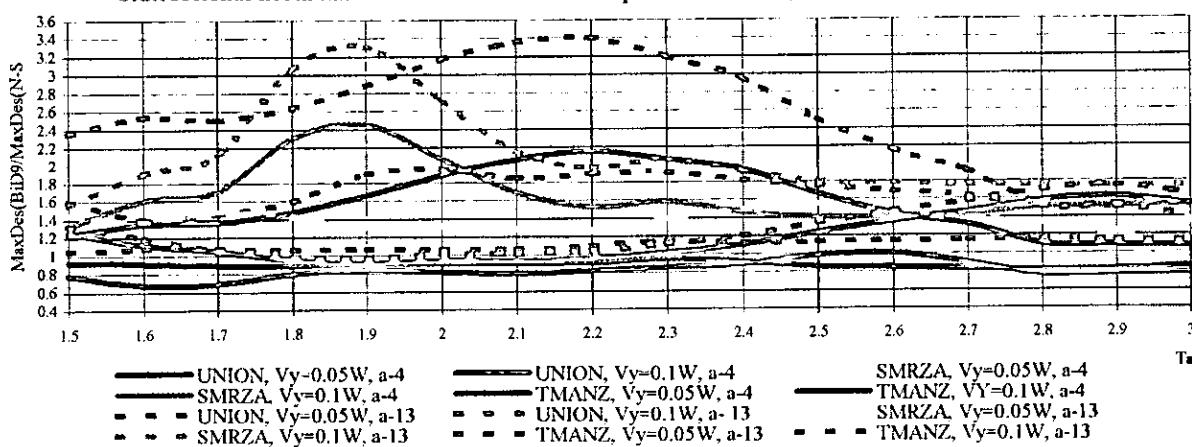


Figura 6.5

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en un sentido

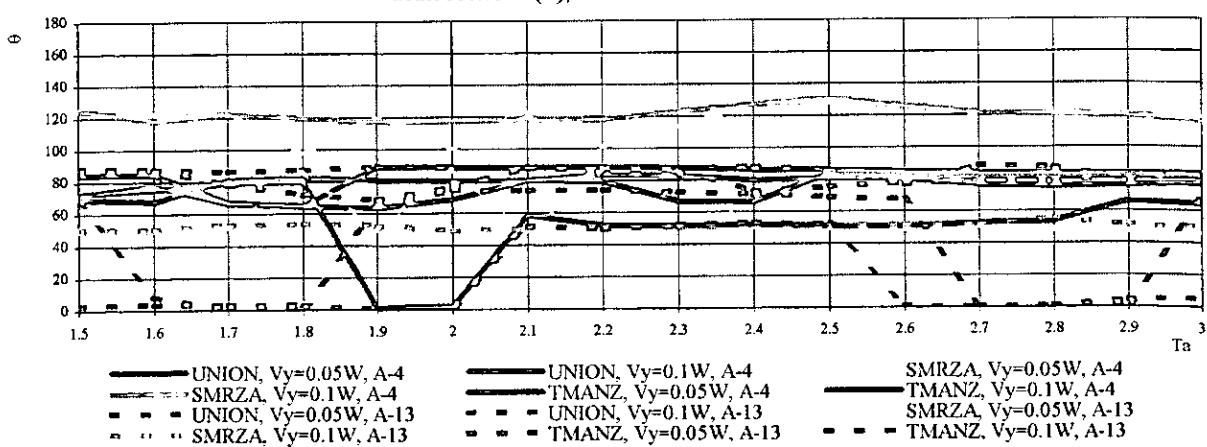


Figura 6.6

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en un sentido

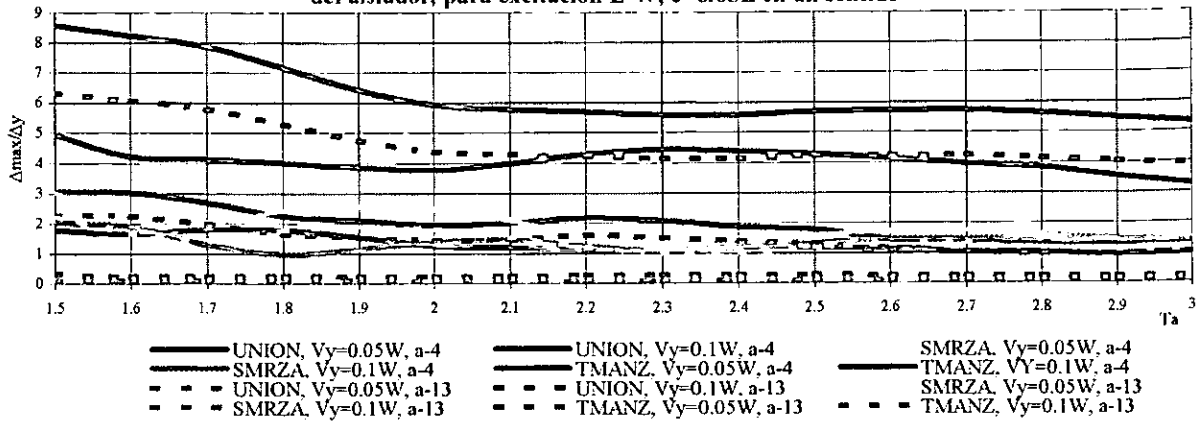


Figura 6.7

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en un sentido

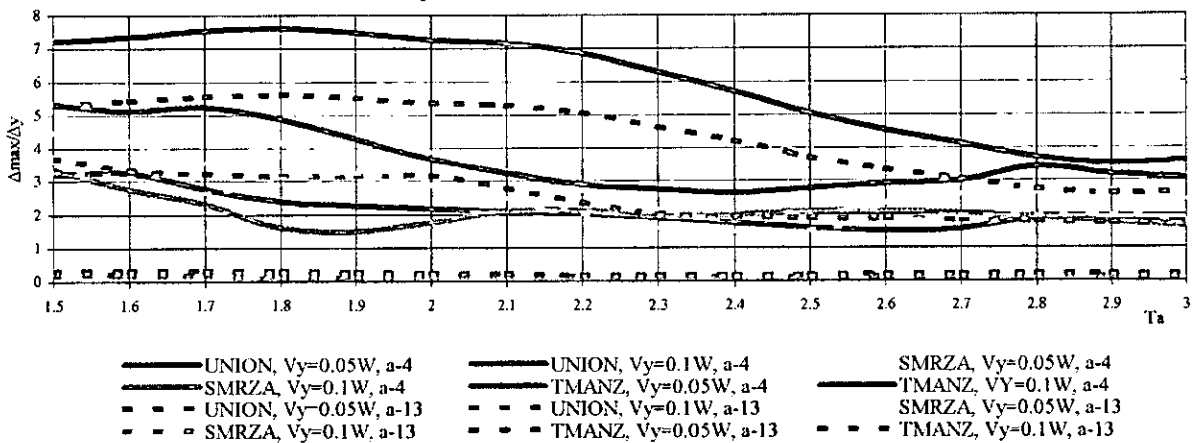


Figura 6.8

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en un sentido

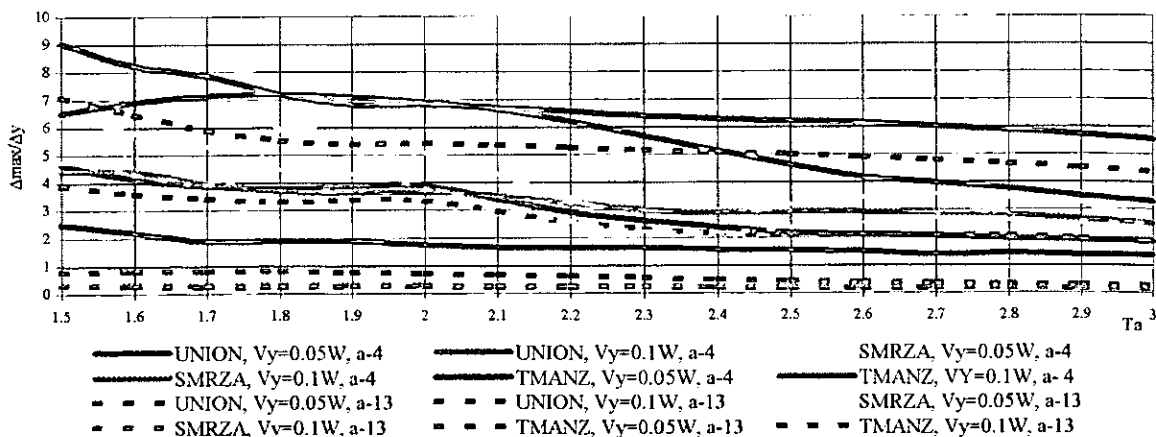


Figura 6.9

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en un sentido

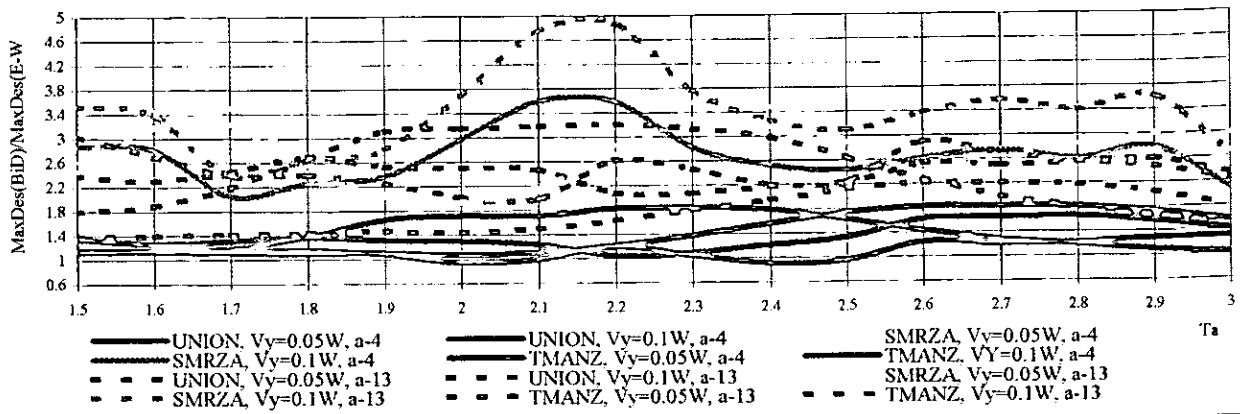


Figura 6.10

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en un sentido

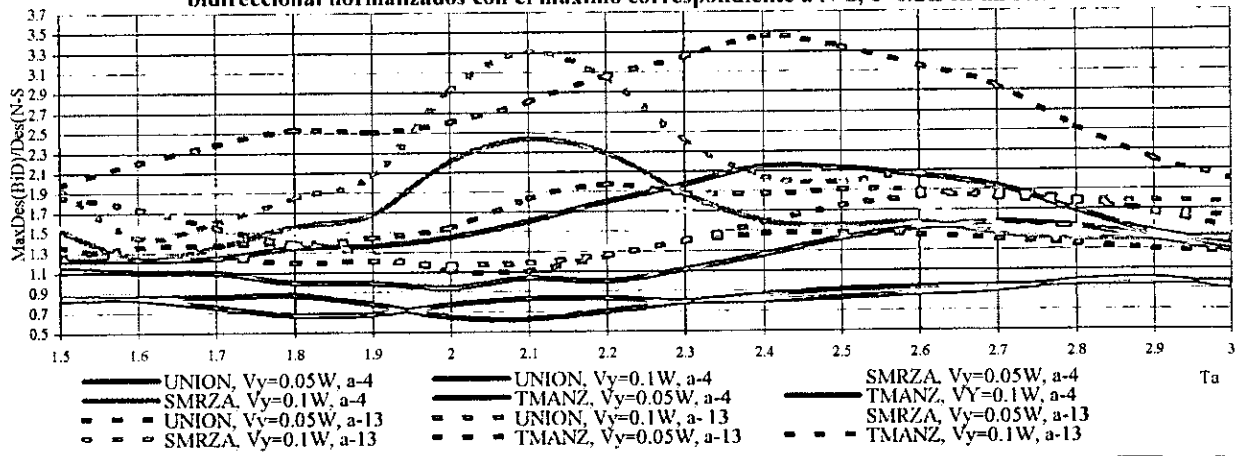


Figura 6.11

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en un sentido

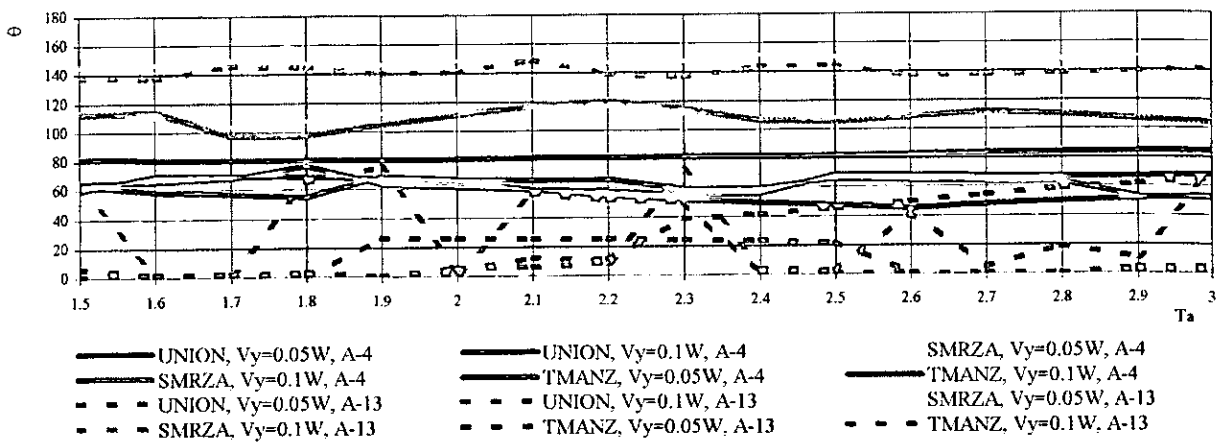


Figura 6.12

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en un sentido

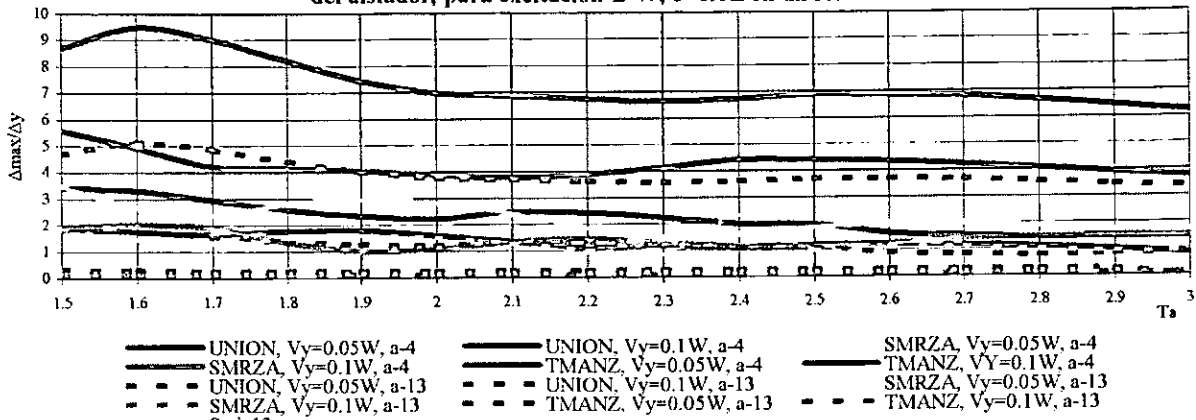


Figura 6.13

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en un sentido

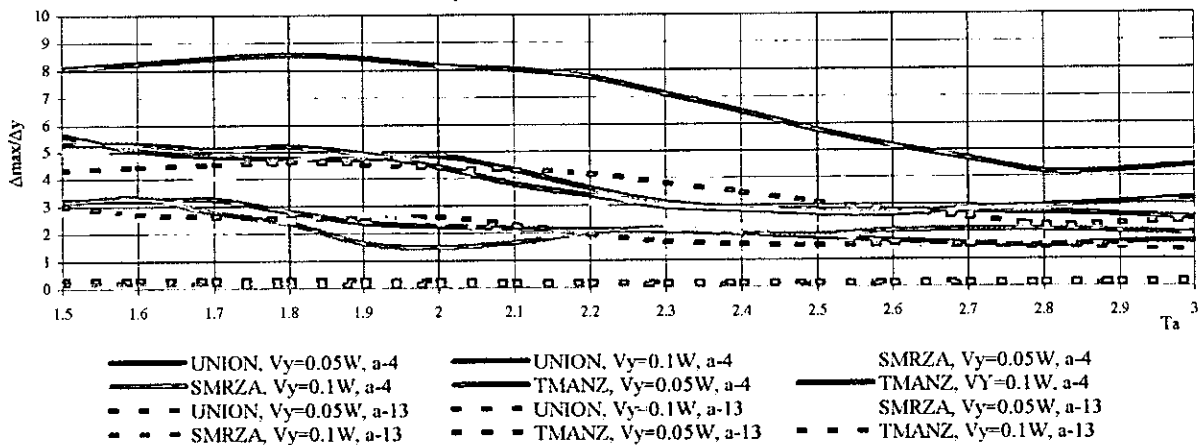


Figura 6.14

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en un sentido

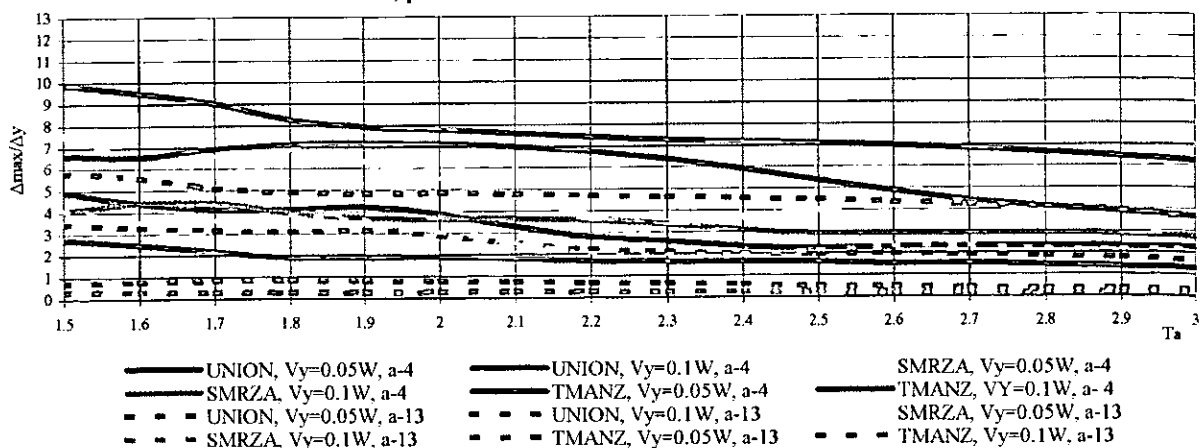


Figura 6.15

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en un sentido

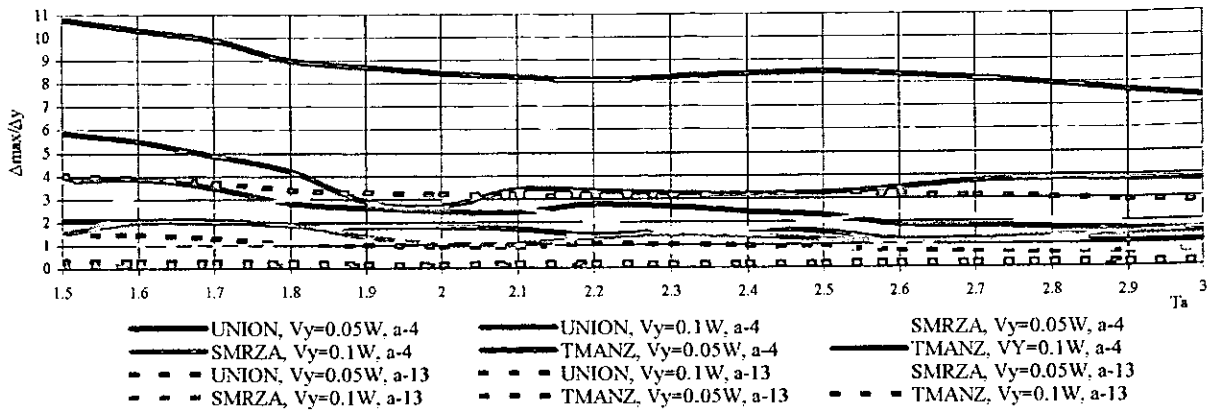


Figura 6.16

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en un sentido

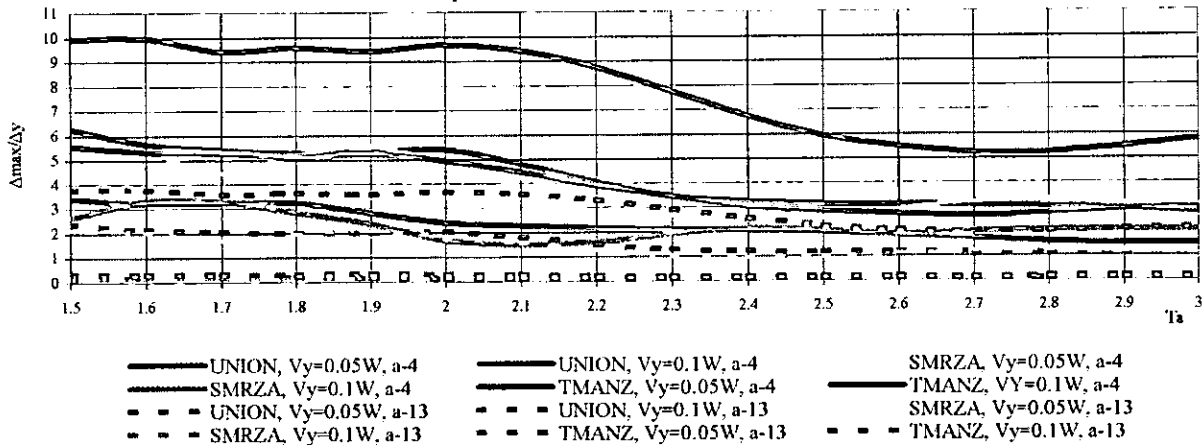


Figura 6.17

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en un sentido

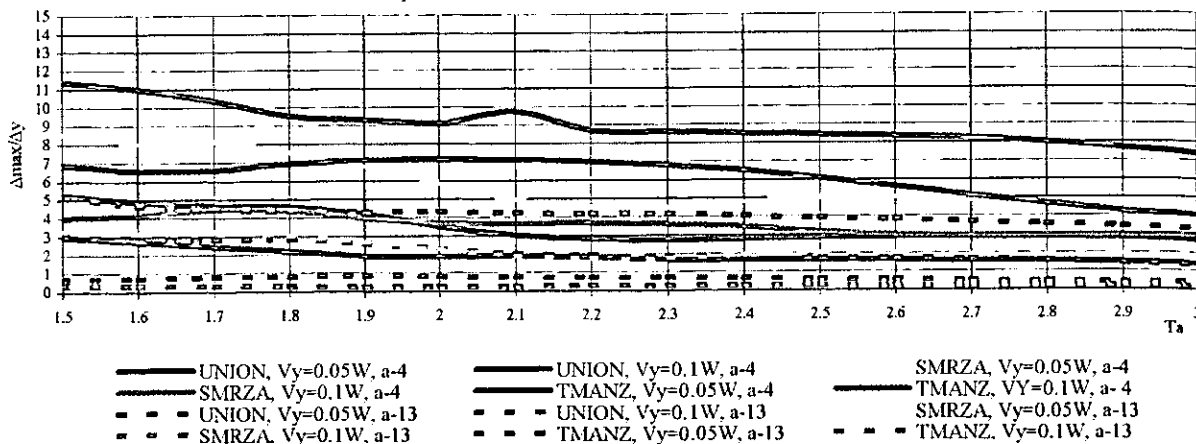


Figura 6.18

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en un sentido

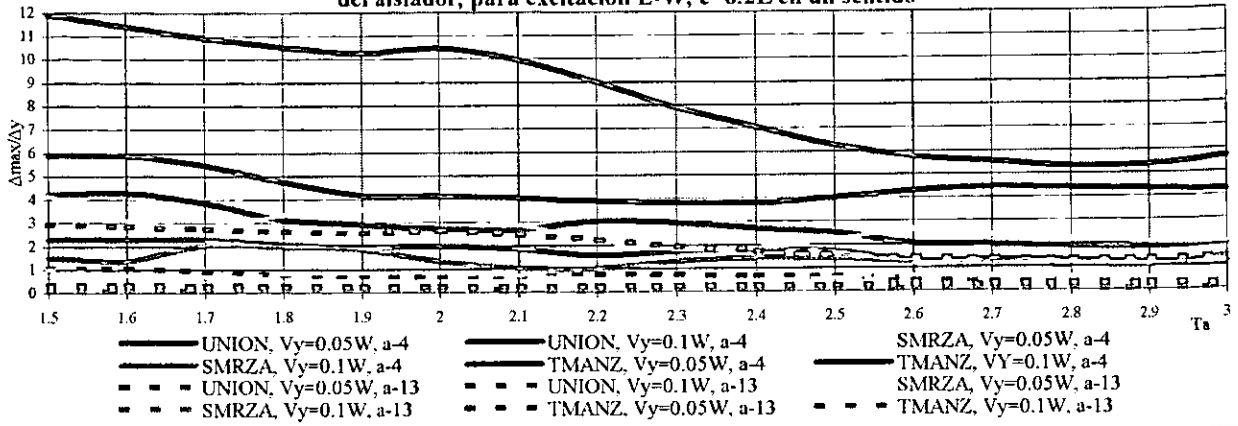


Figura 6.19

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en un sentido

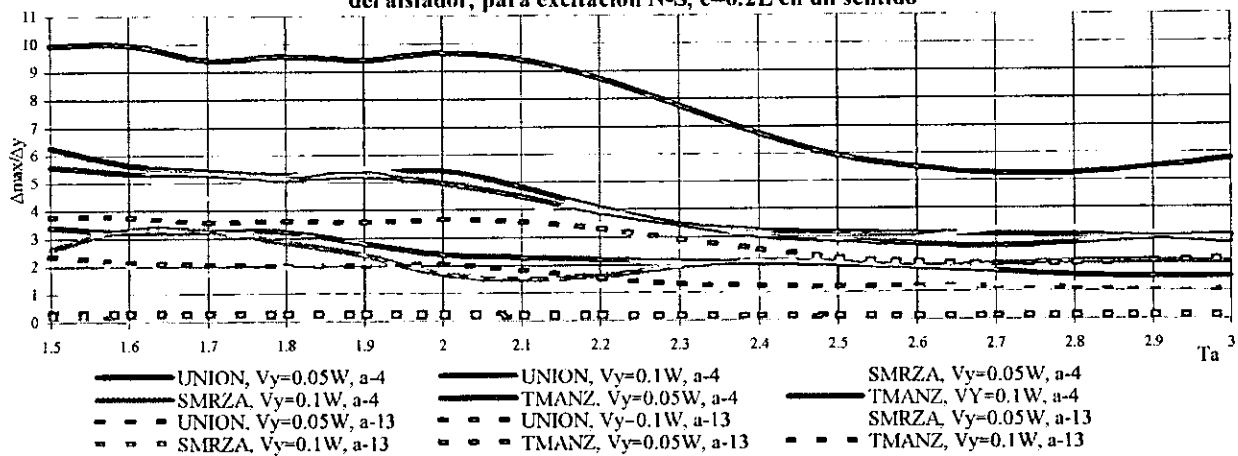


Figura 6.20

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en un sentido

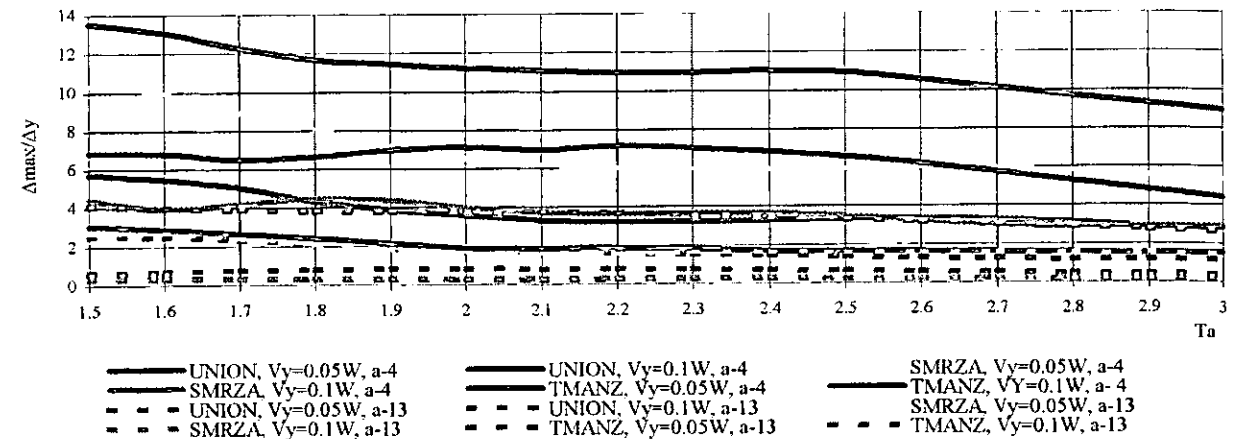


Figura 6.21

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos

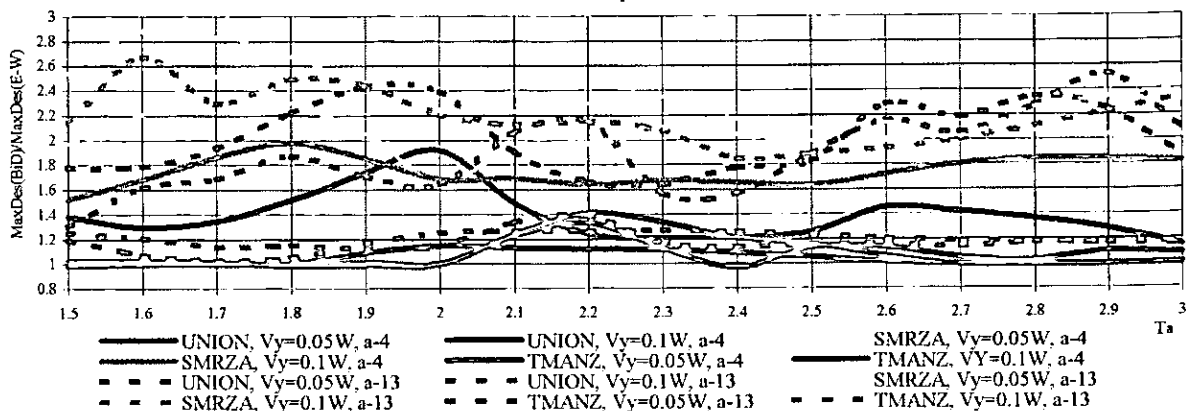


Figura 6.22

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos

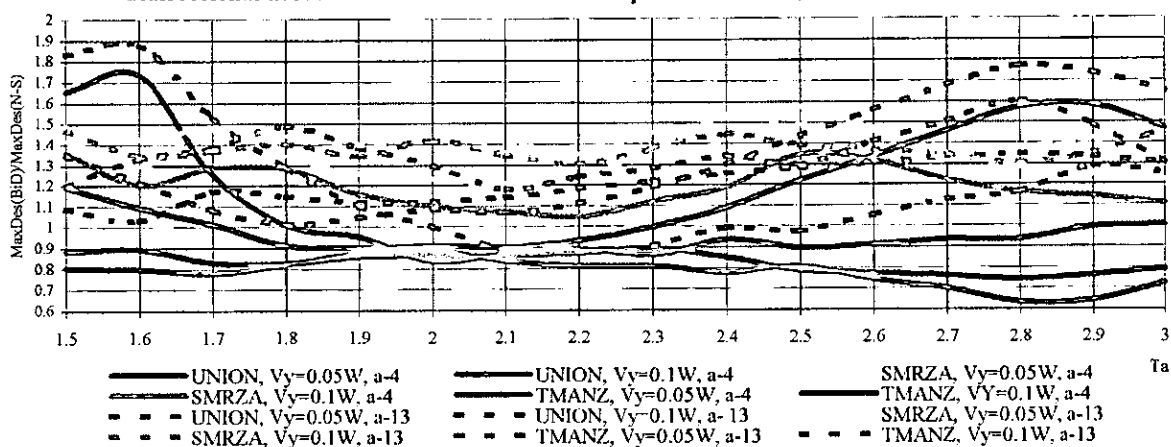


Figura 6.23

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en ambos sentidos

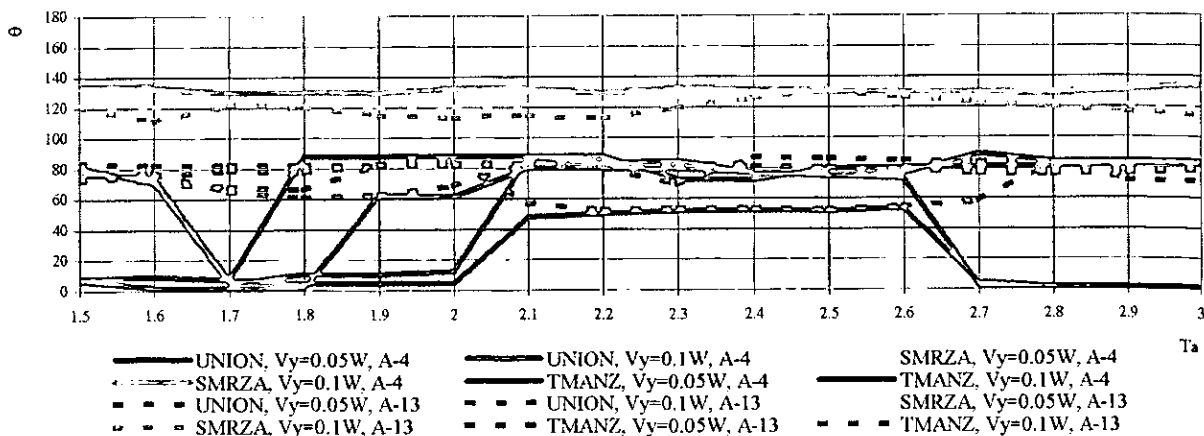


Figura 6.24

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos

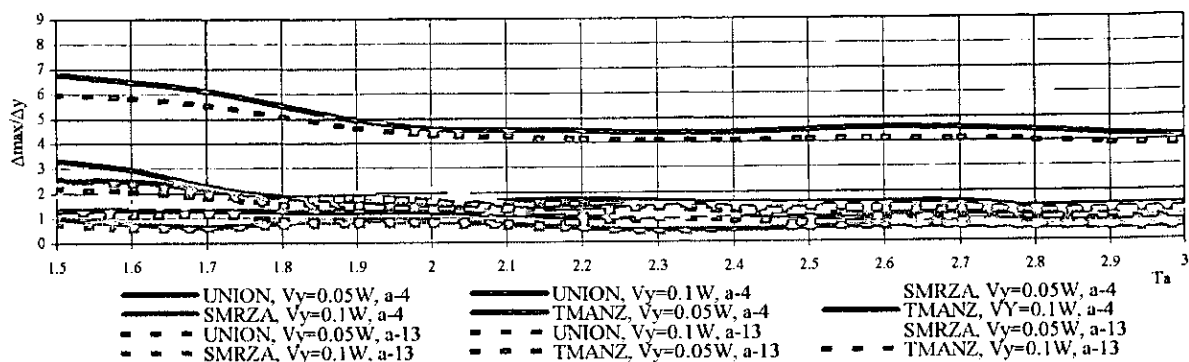


Figura 6.25

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos

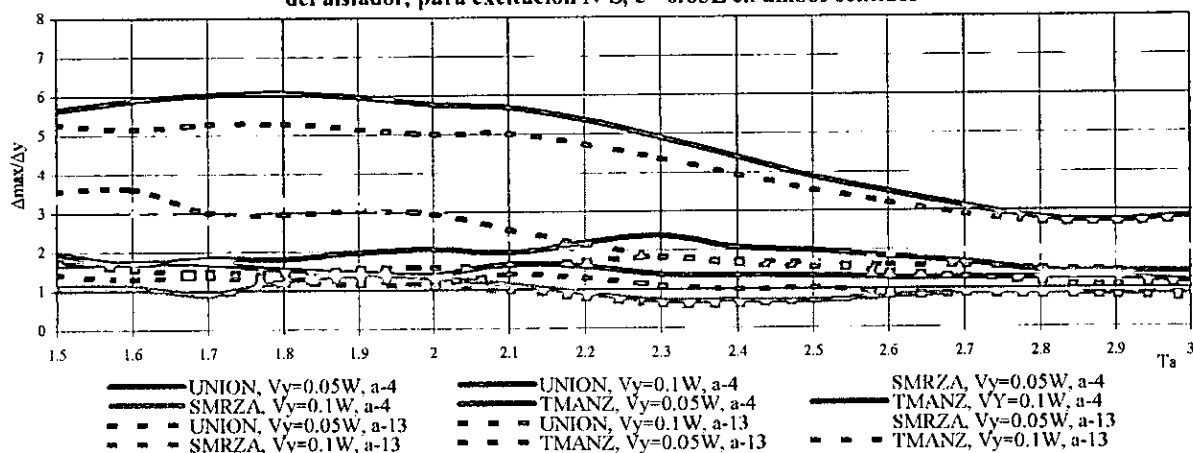


Figura 6.26

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en ambos sentidos

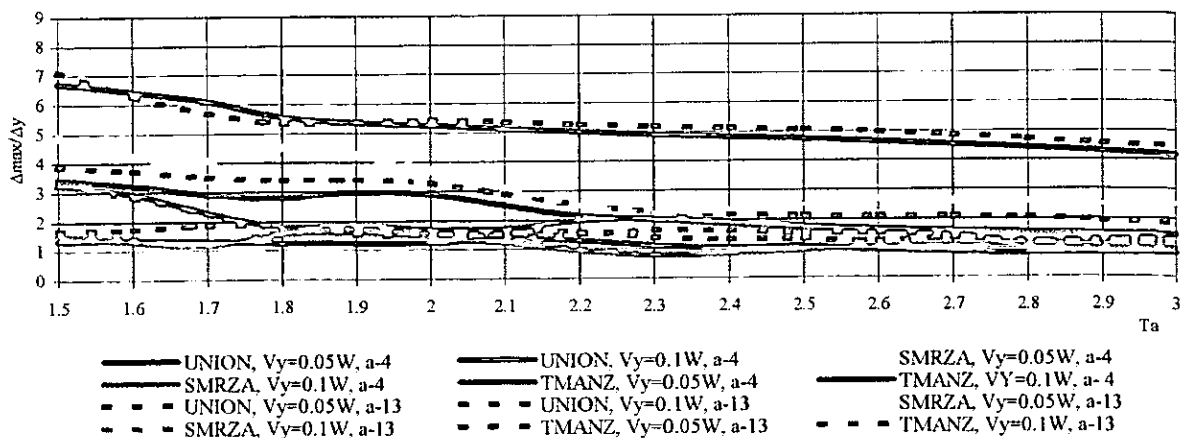


Figura 6.27

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.1L$ en ambos sentidos

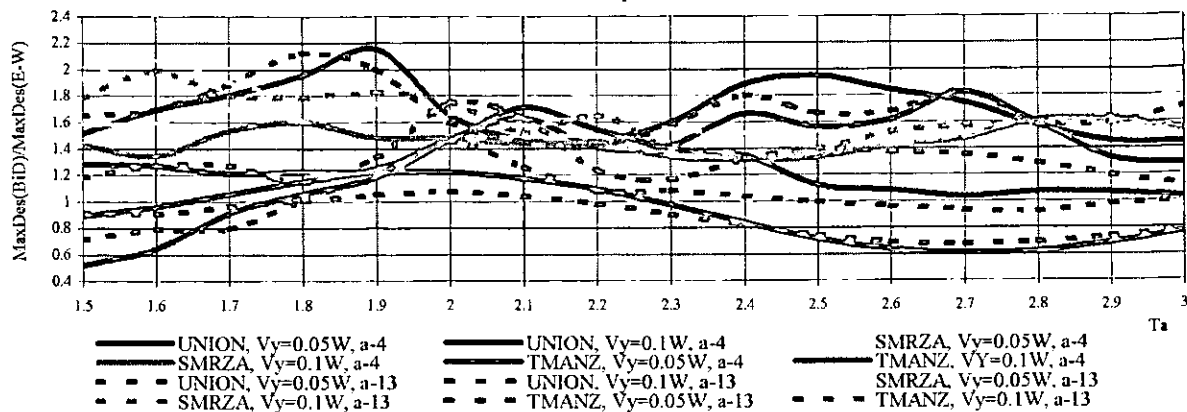


Figura 6.28

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.1L$ en ambos sentidos

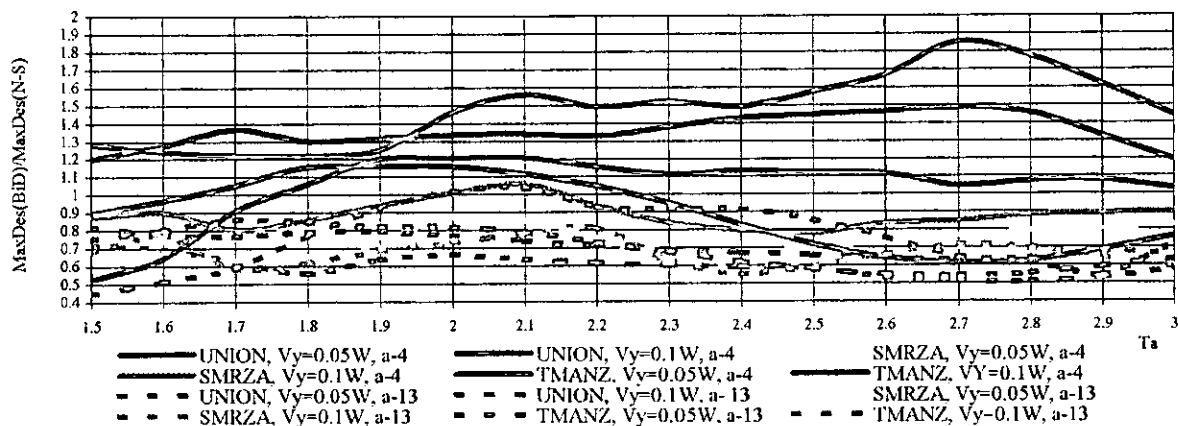


Figura 6.29

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.1L$ en ambos sentidos

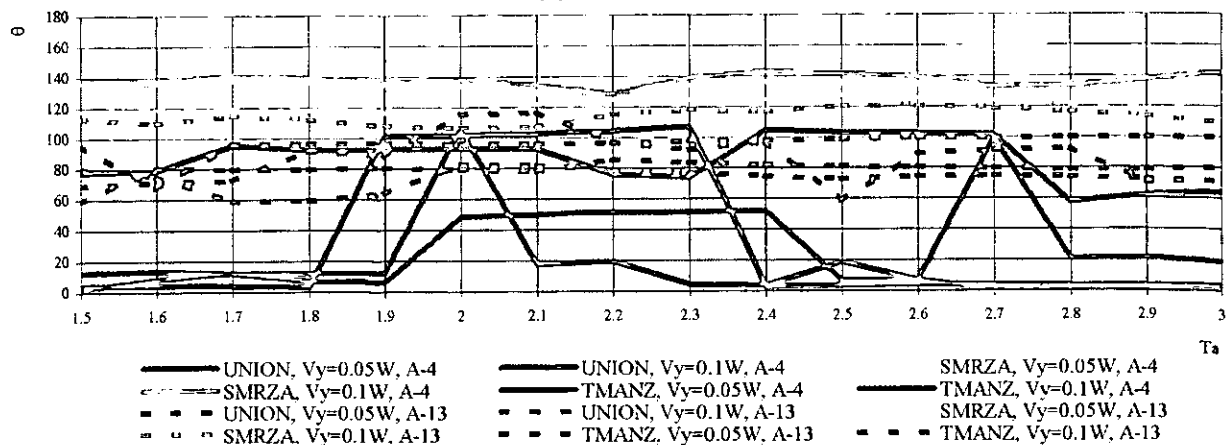


Figura 6.30

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en ambos sentidos

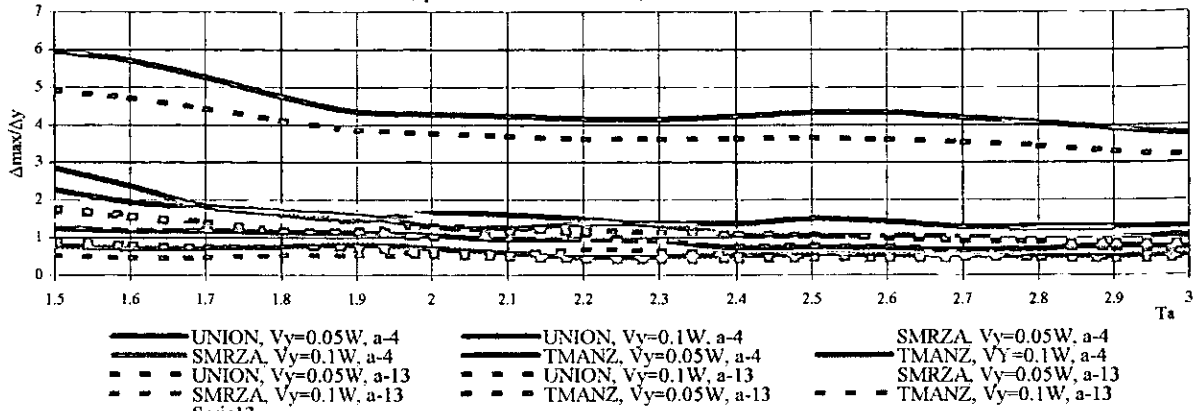


Figura 6.31

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en ambos sentidos

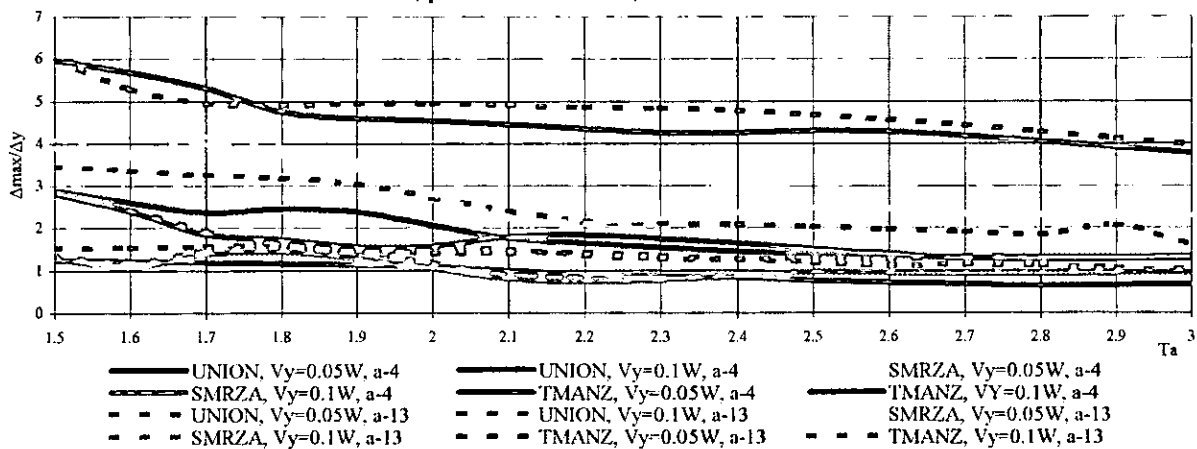


Figura 6.32

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.01L$ en ambos sentidos

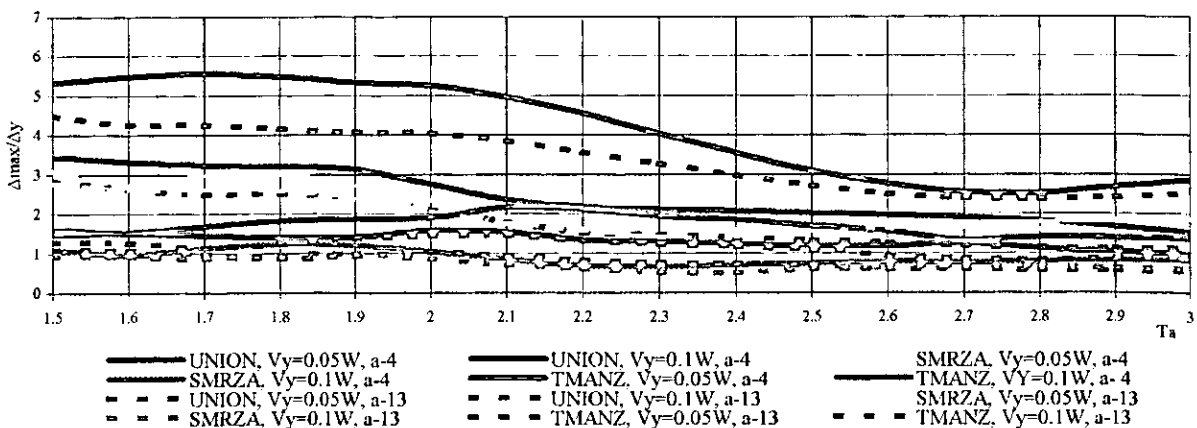


Figura 6.33

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.15L$ en ambos sentidos

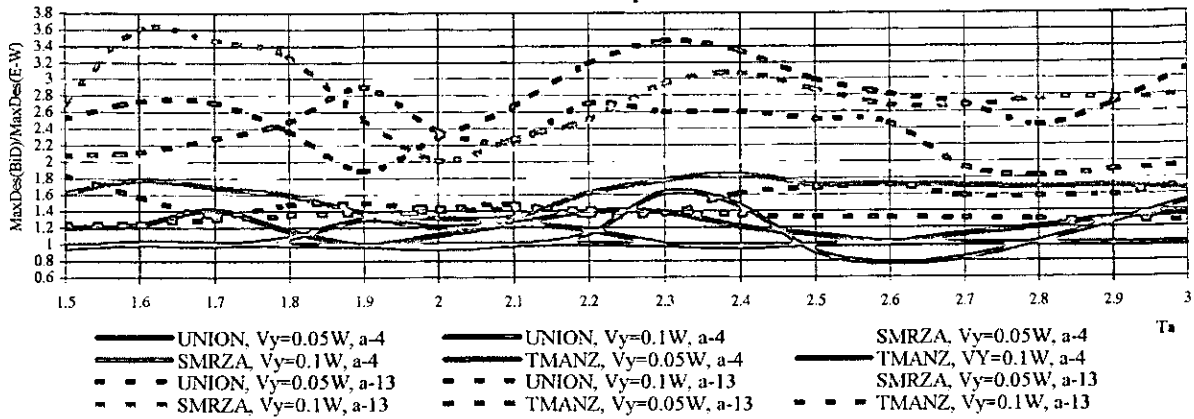


Figura 6.34

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.15L$ en ambos sentidos

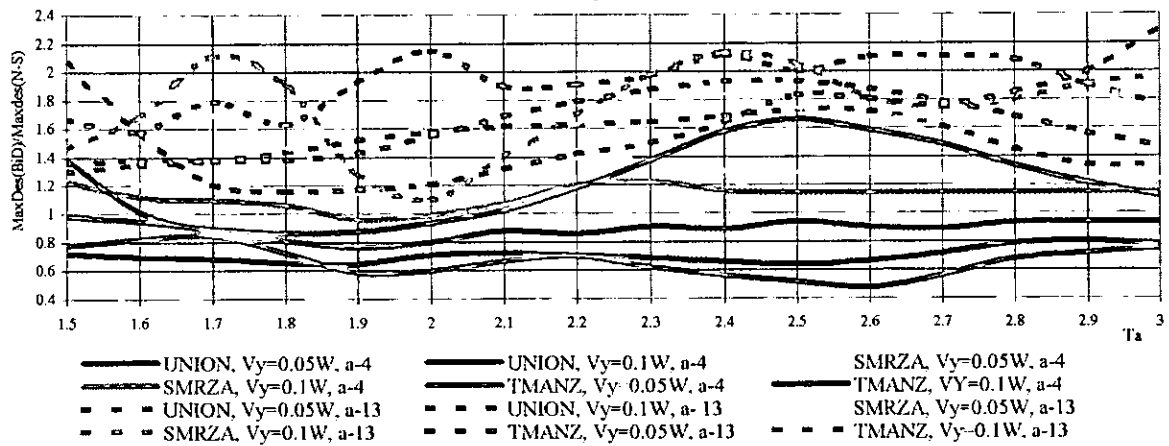


Figura 6.35

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.15L$ en ambos sentidos

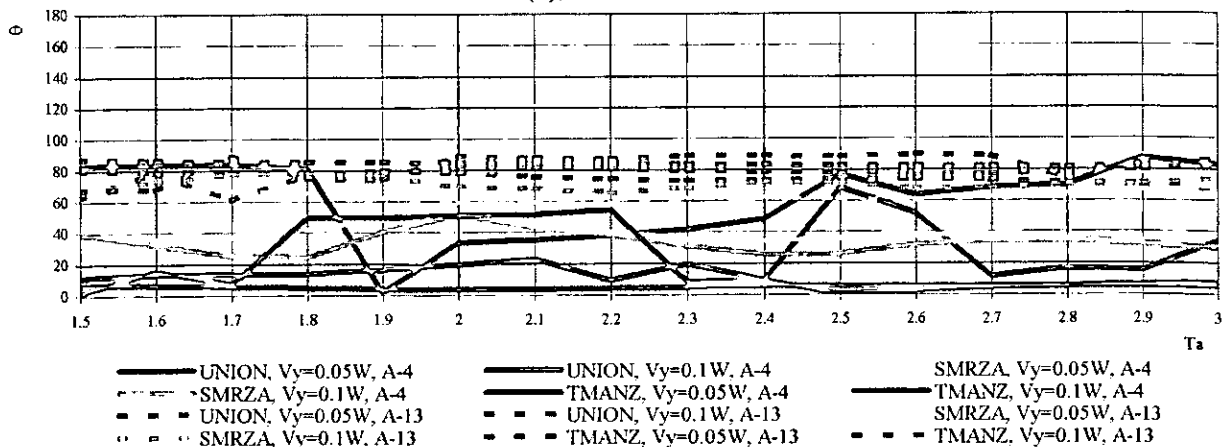


Figura 6.36

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en ambos sentidos

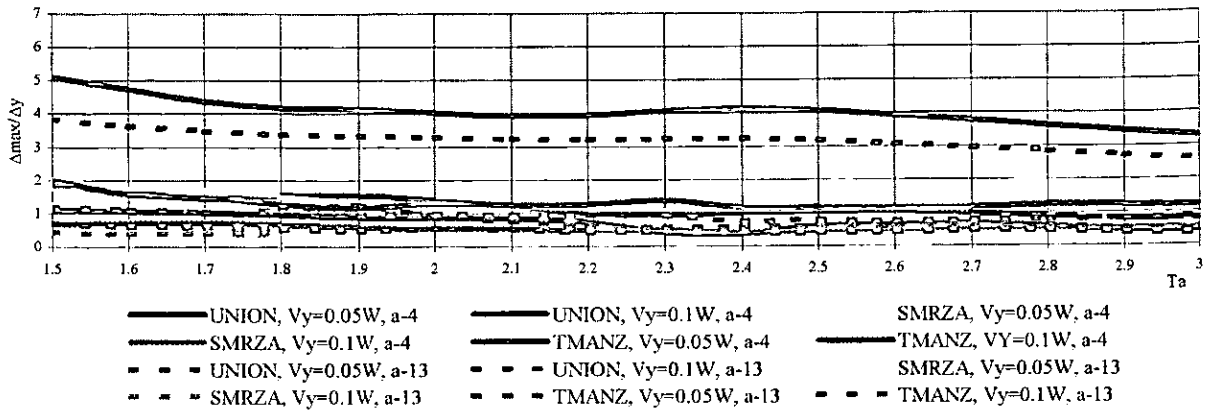


Figura 6.37

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en ambos sentidos

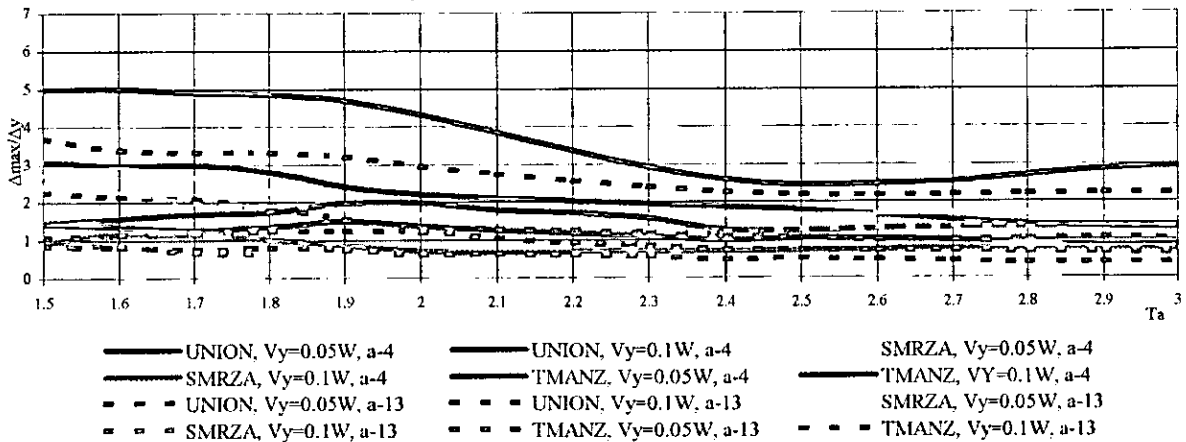


Figura 6.38

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en ambos sentidos

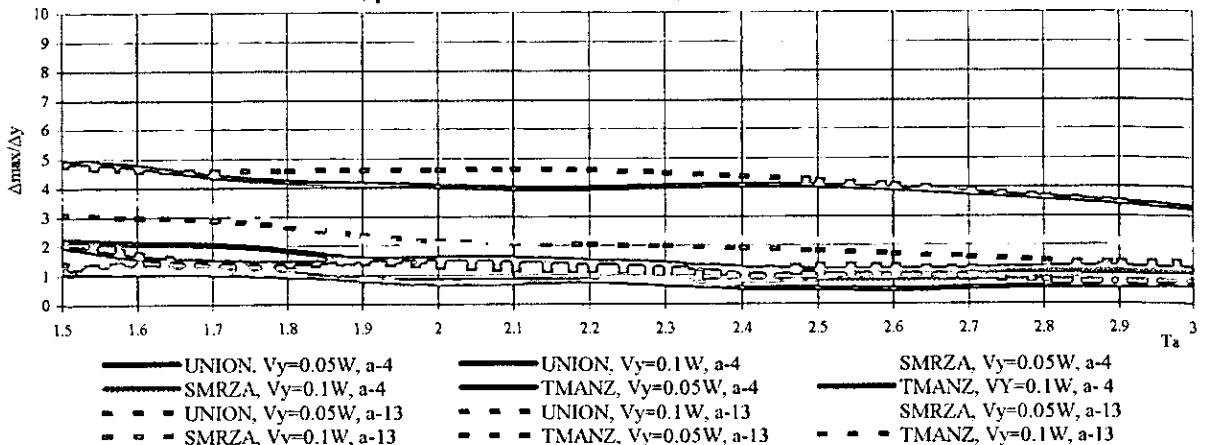


Figura 6.39

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos

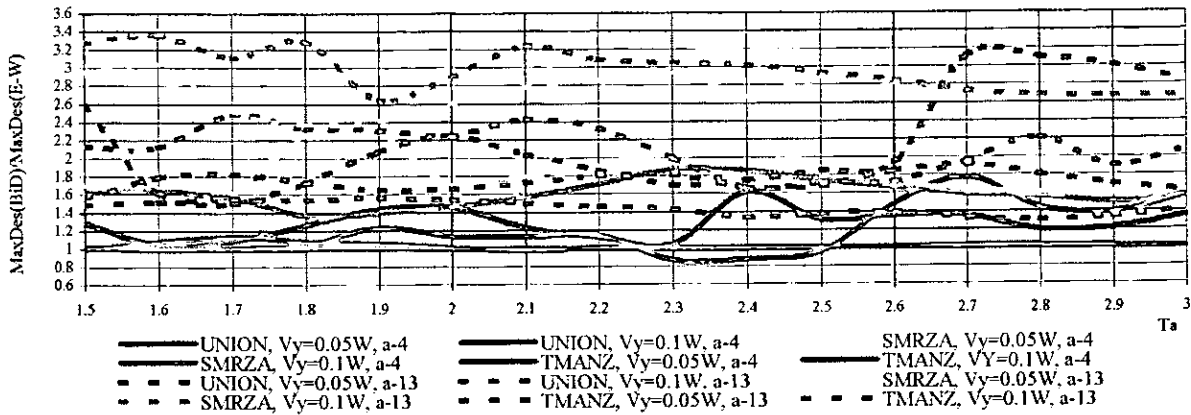


Figura 6.40

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos

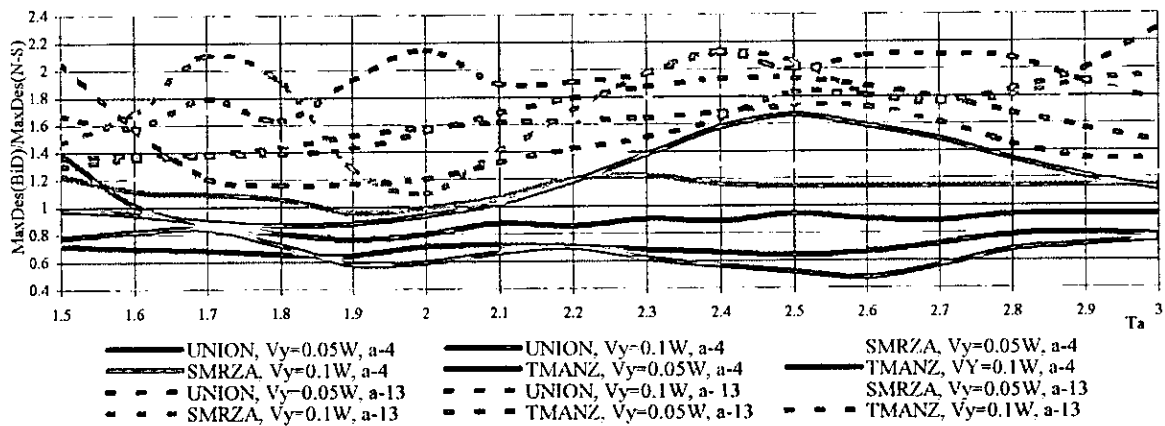


Figura6.41

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en ambos sentidos

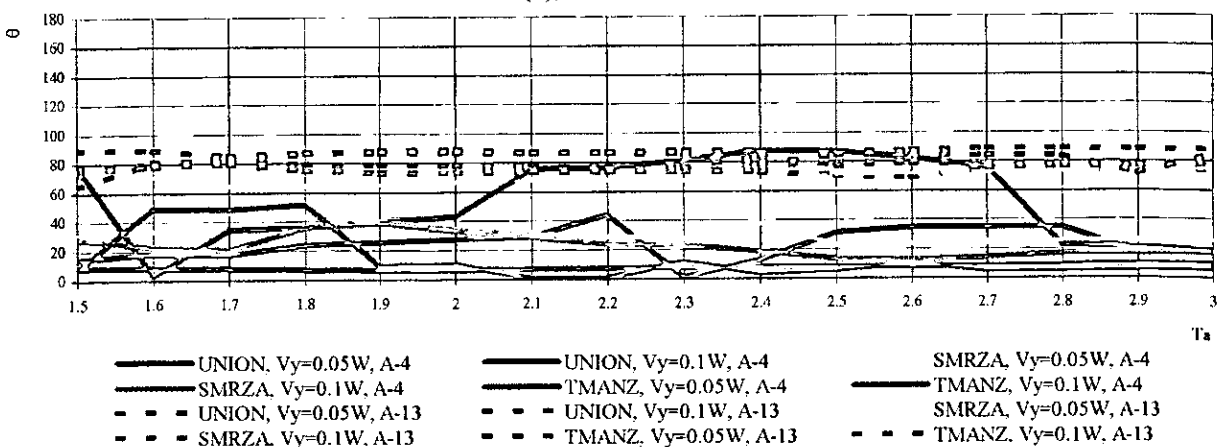


Figura 6.42

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos

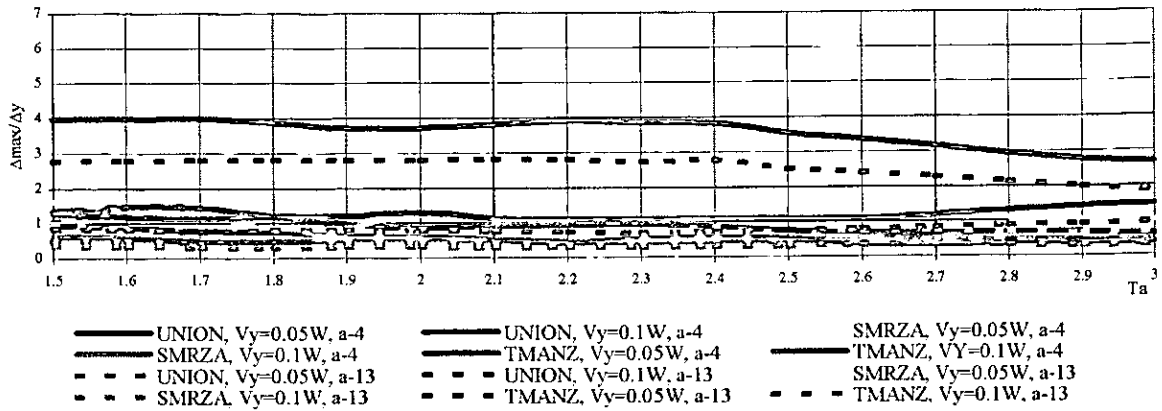


Figura 6.43

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos

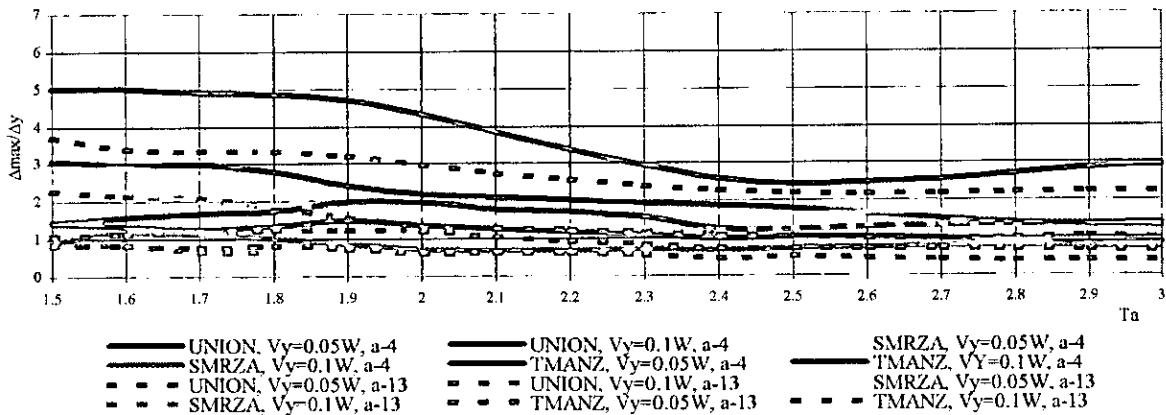


Figura 6.44

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en ambos sentidos

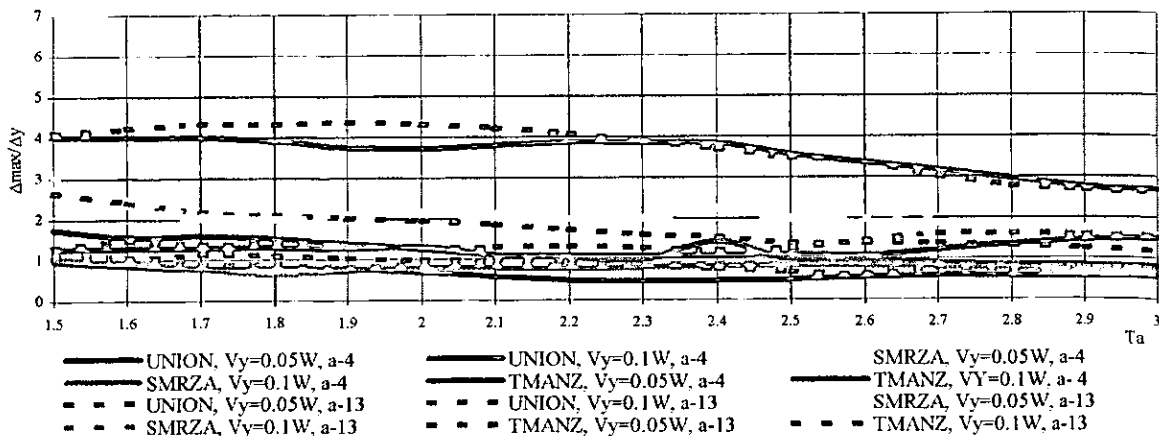


Figura 6.45

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

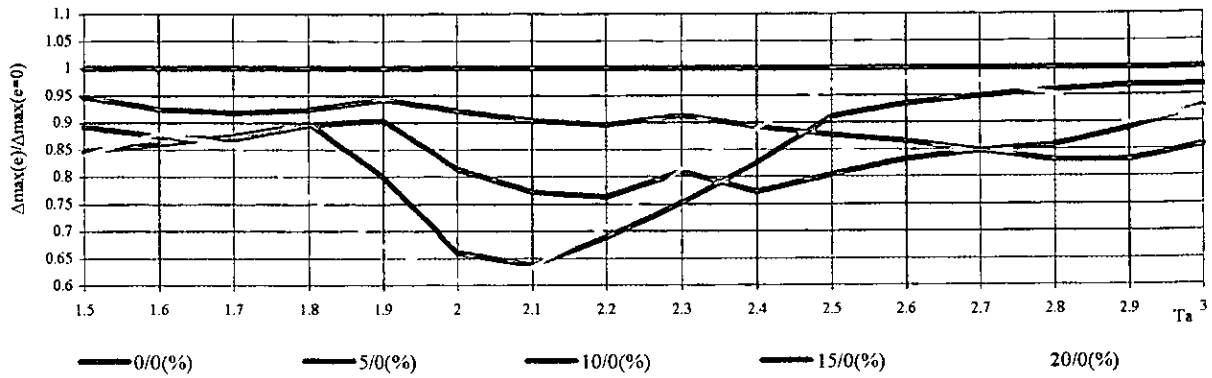


Figura 6.46

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

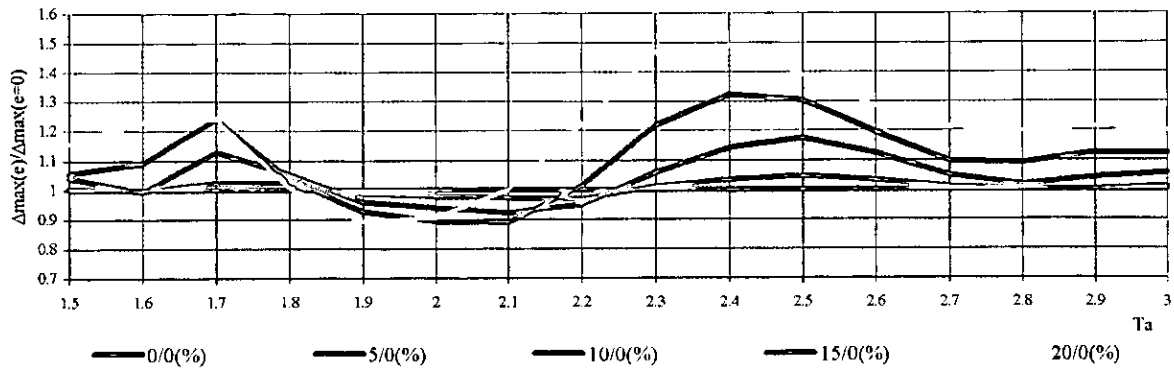


Figura 6.47

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

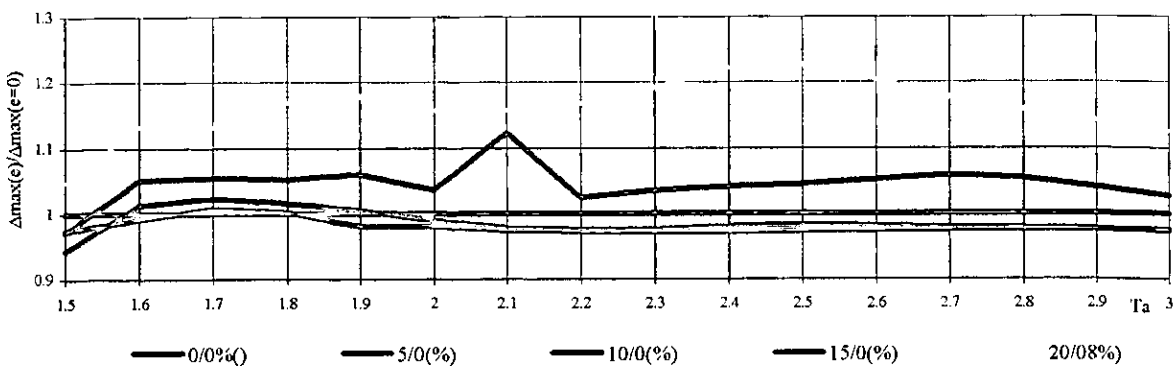


Figura 6.48

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

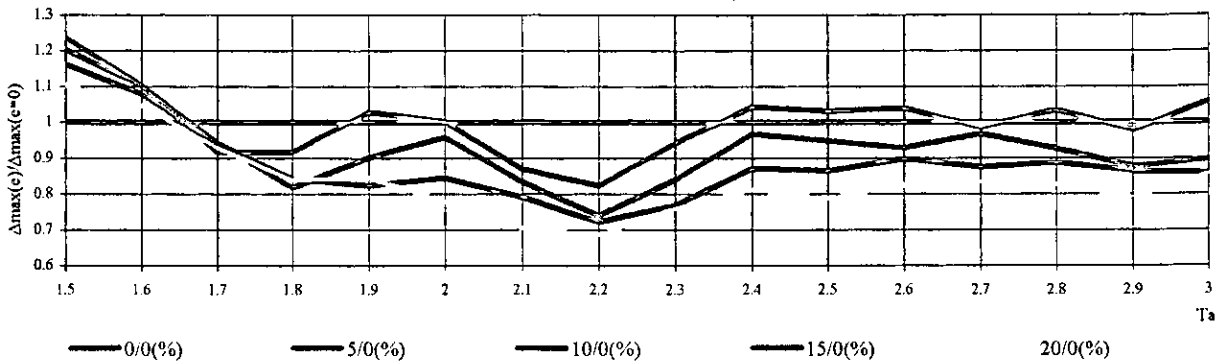


Figura 6.49

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

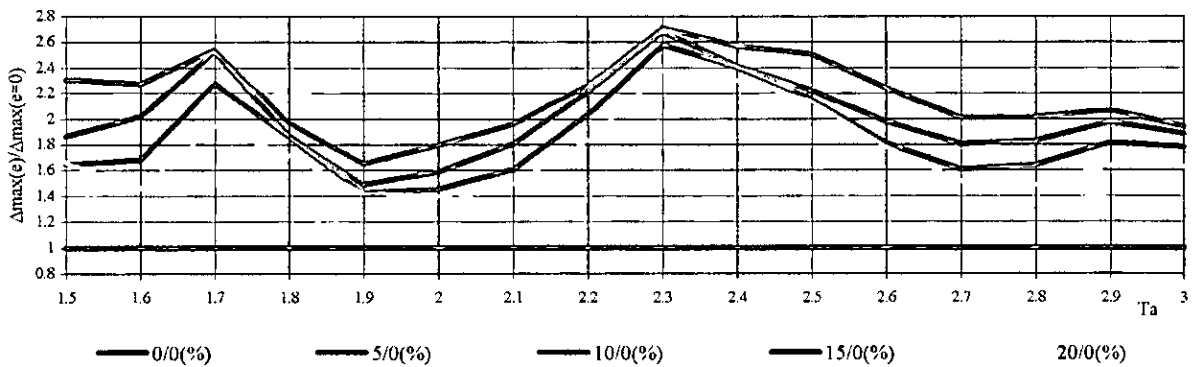


Figura 6.50

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

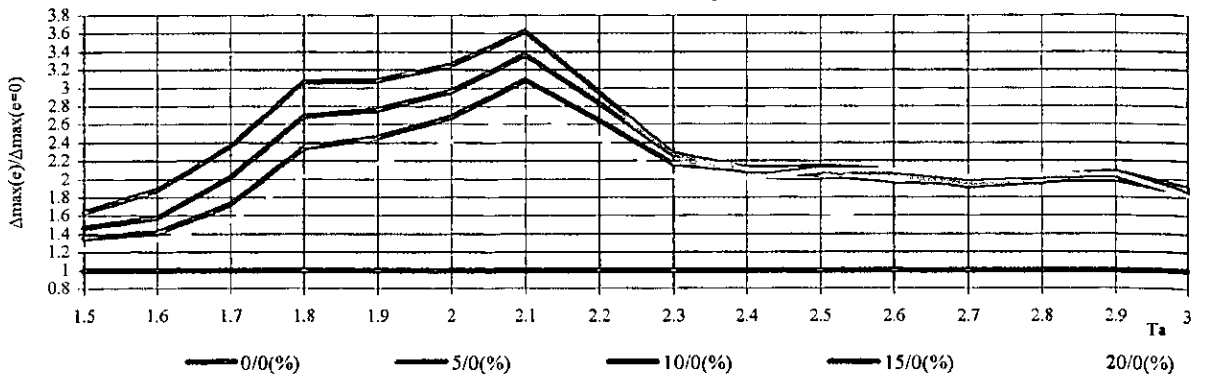


Figura 6.51

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

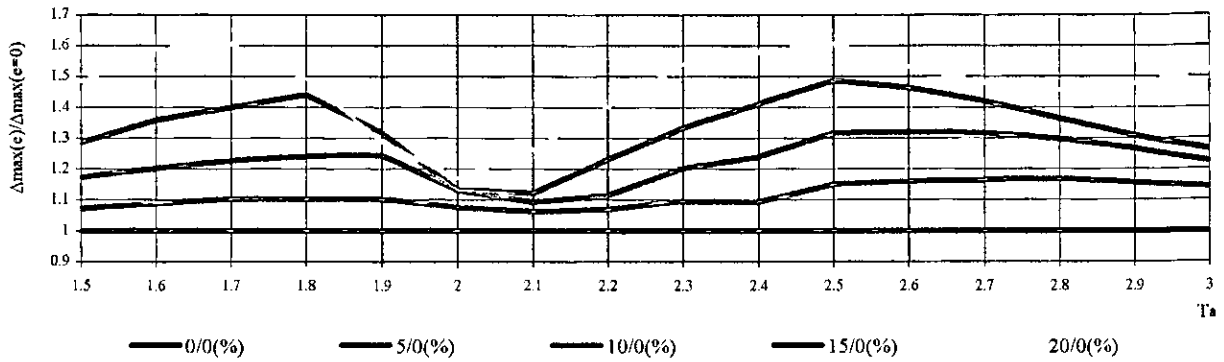


Figura 6.52

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

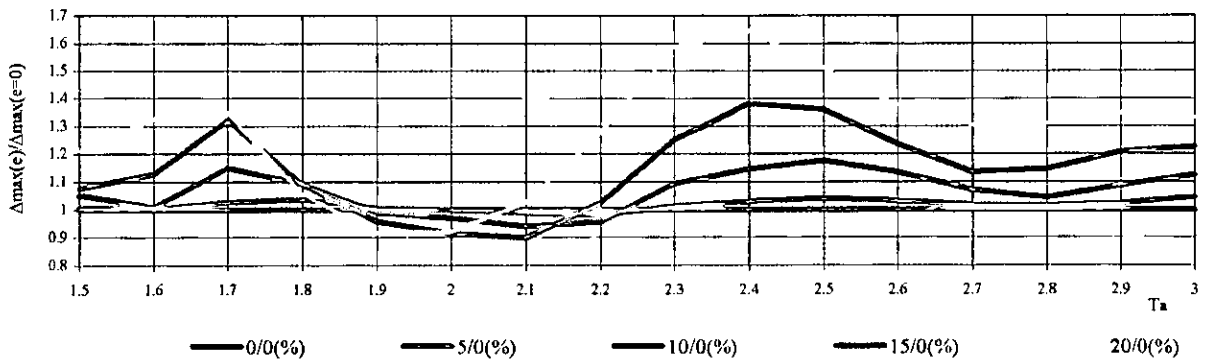


Figura 6.53

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

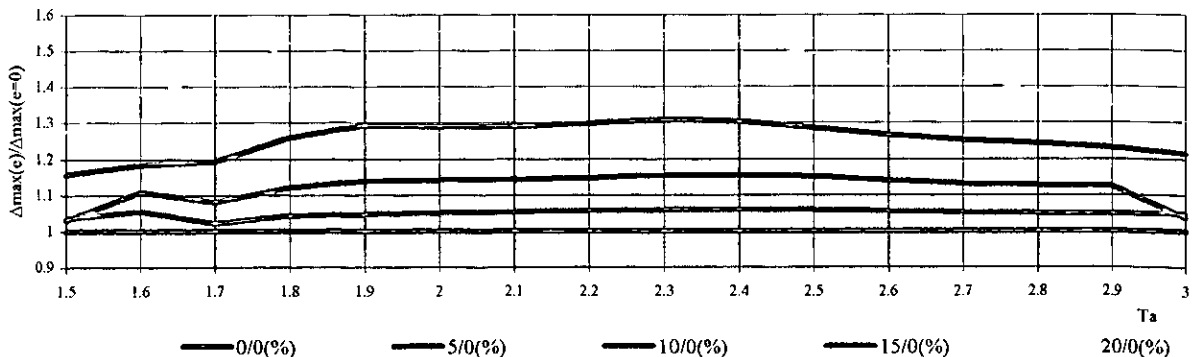


Figura 6.54

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$ Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

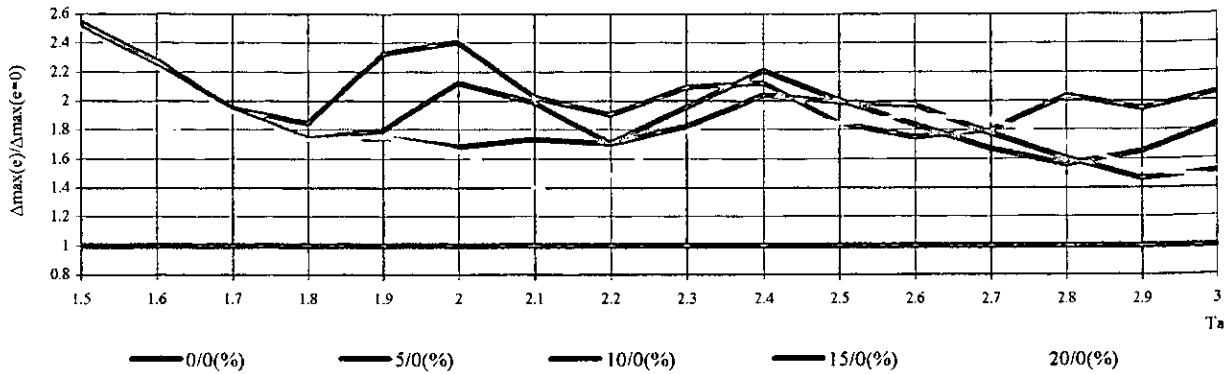


Figura 6.55

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $v_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

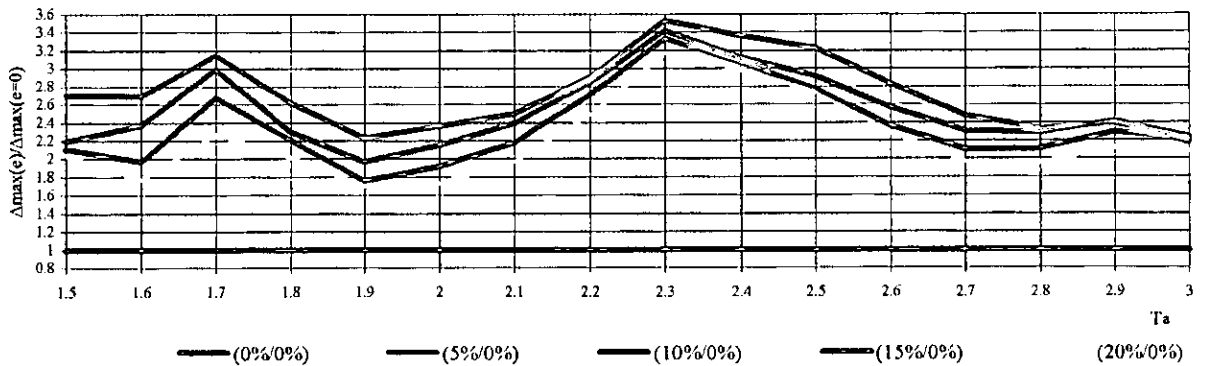


Figura 6.56

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en un sentido en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

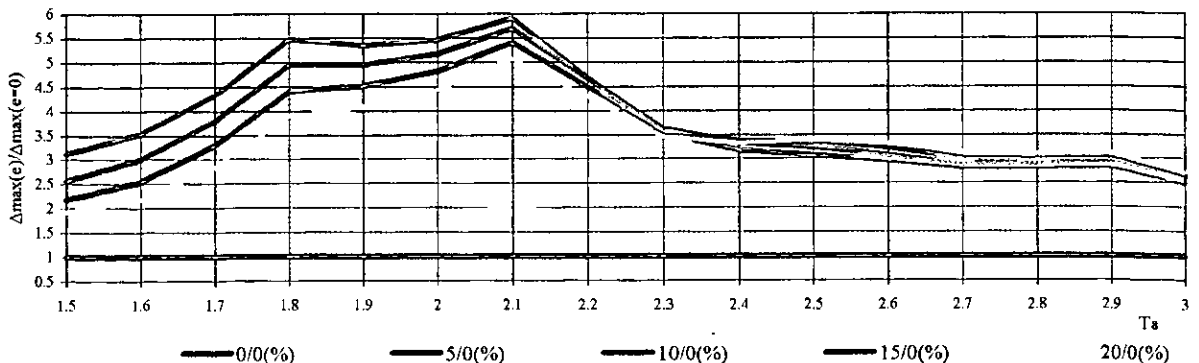


Figura 6.57

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

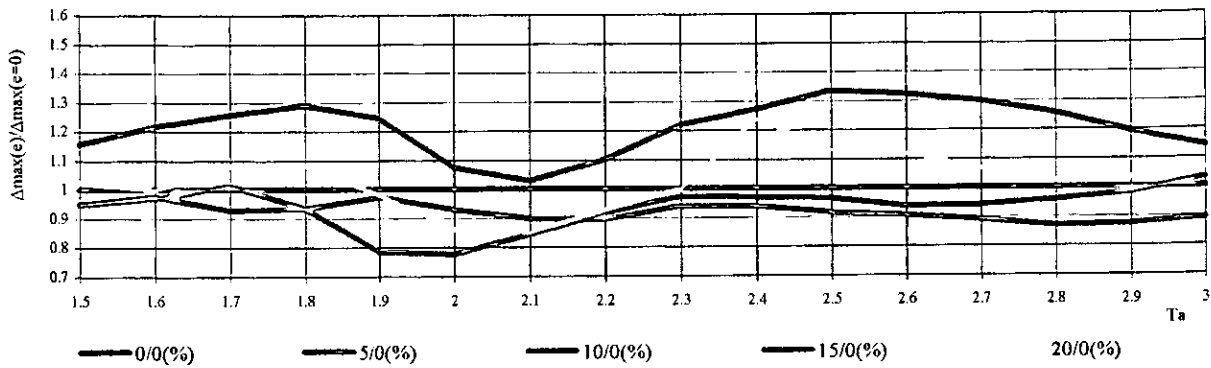


Figura 6.58

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

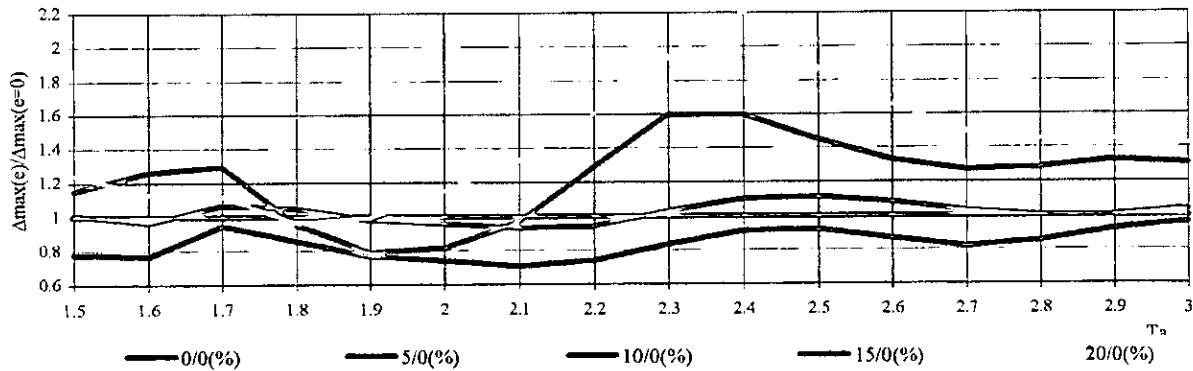


Figura 6.59

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

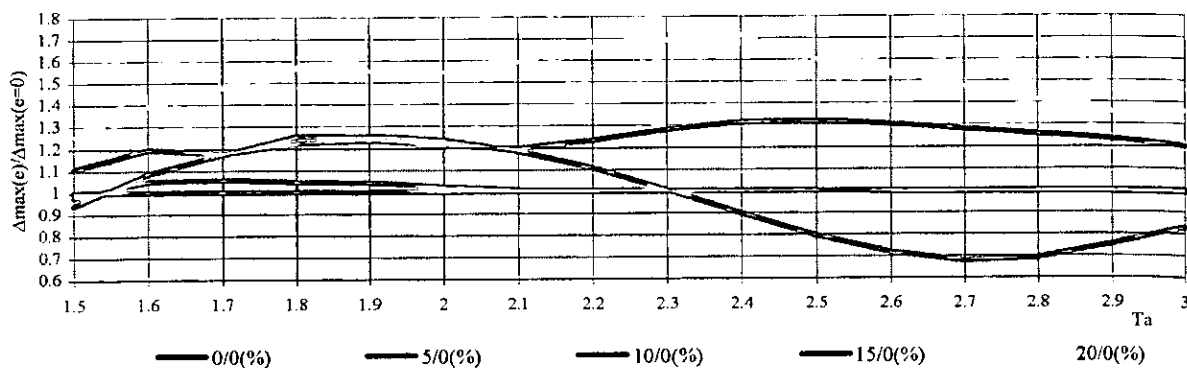


Figura 6.60

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

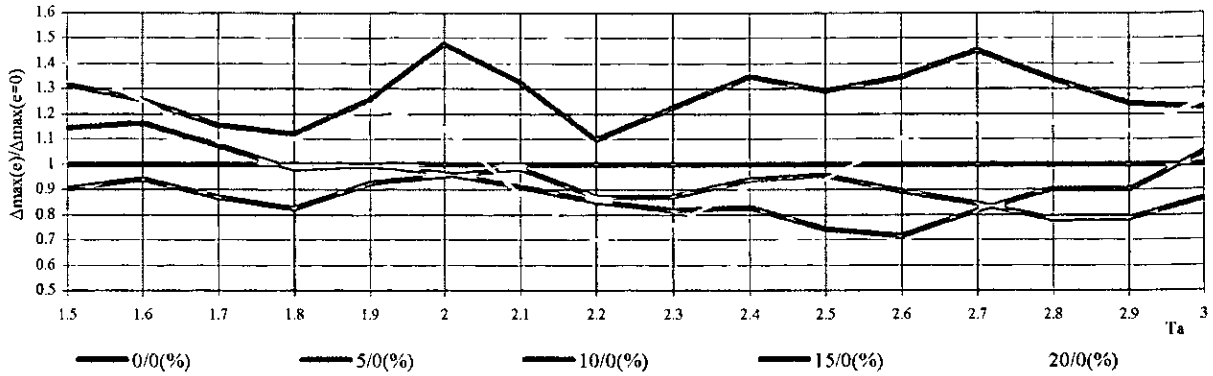


Figura 6.61

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

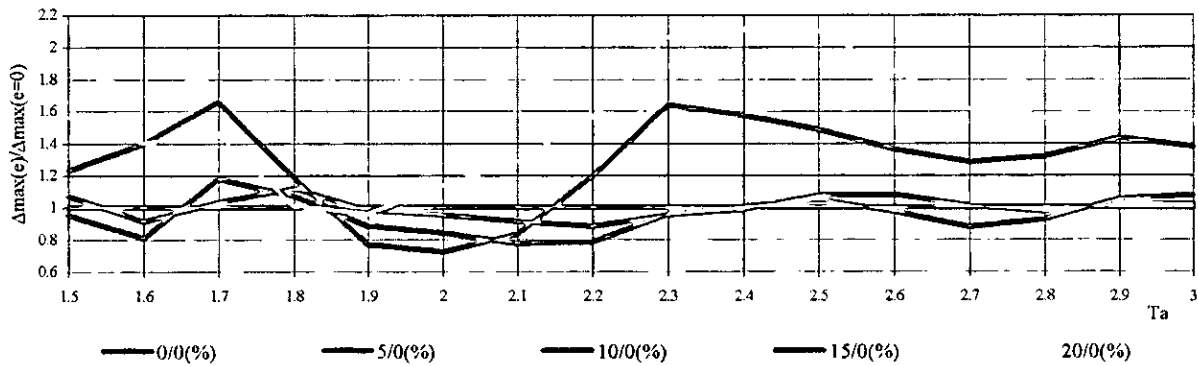


Figura 6.62

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

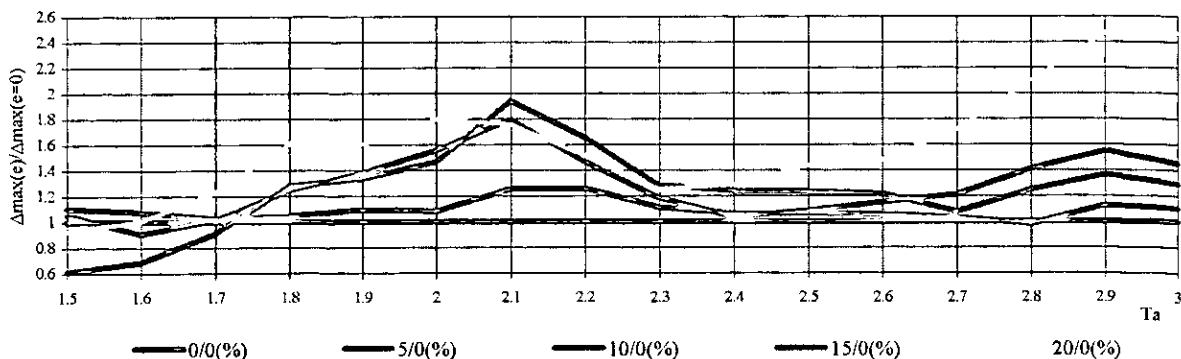


Figura 6.63

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

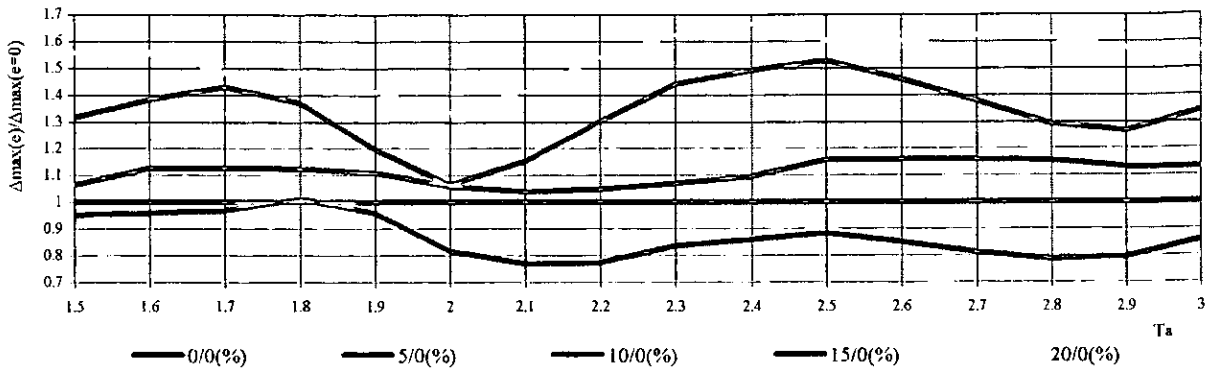


Figura 6.64

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

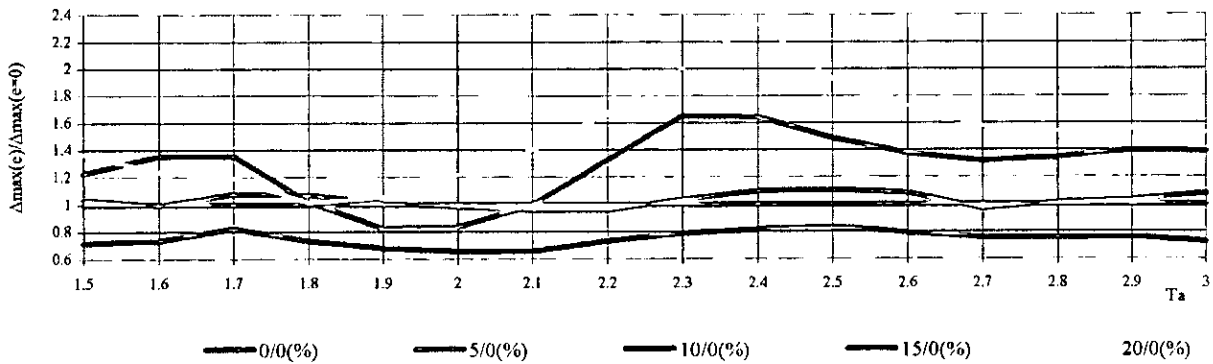


Figura 6.65

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

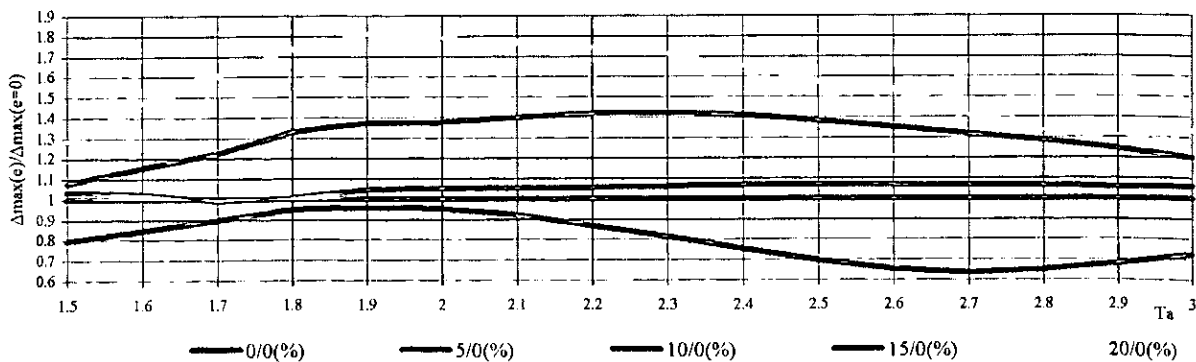


Figura 6.66

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

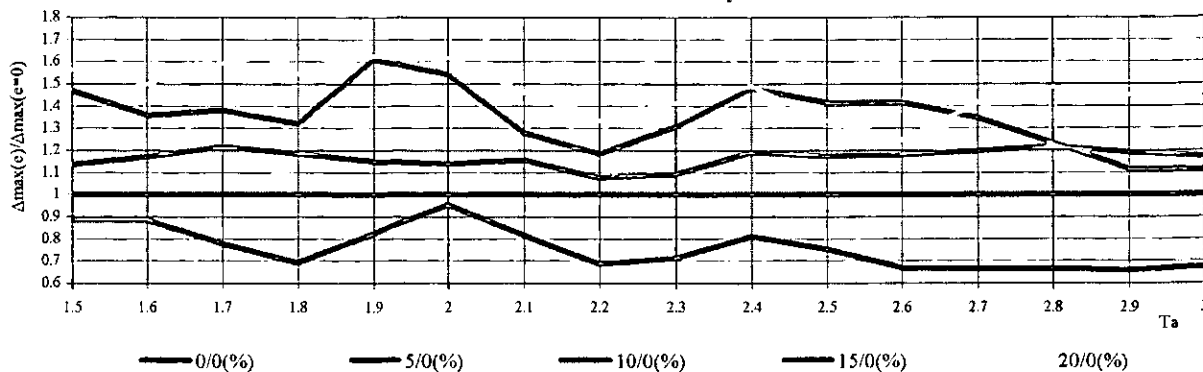


Figura 6.67

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $v_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

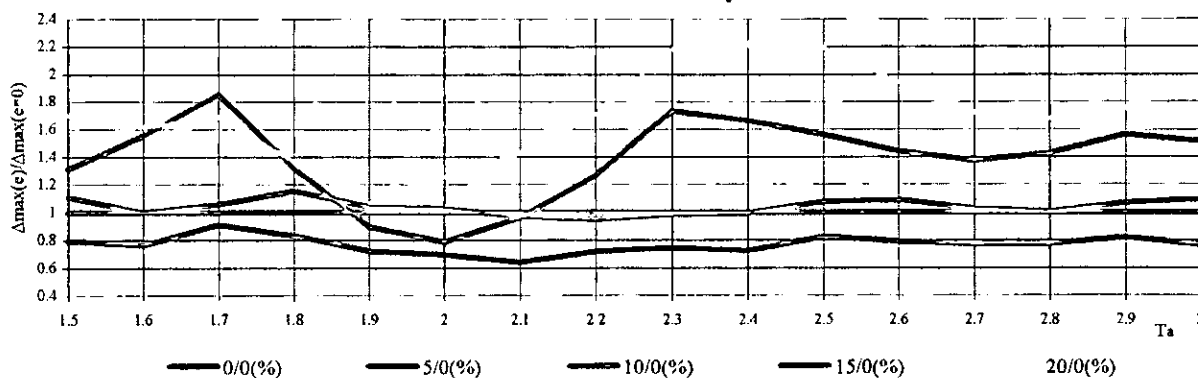


Figura 6.68

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre el Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en ambos sentidos en la base y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

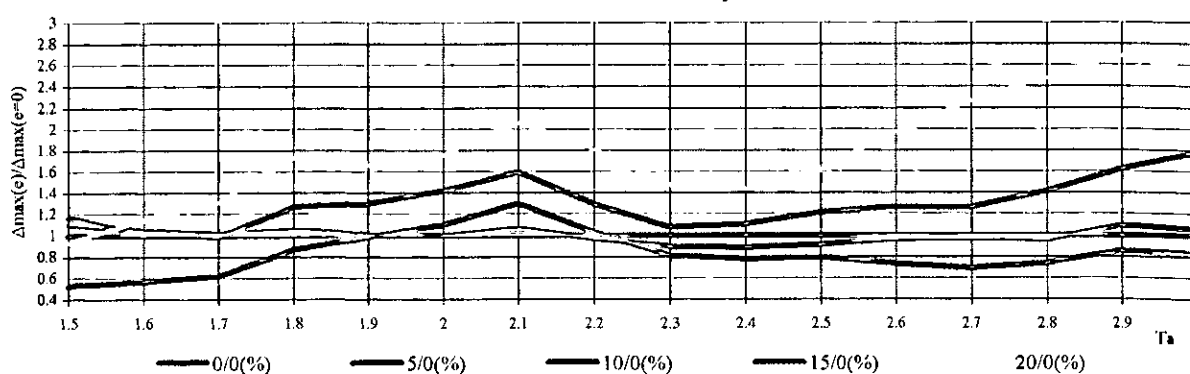


Figura 6.69

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de UNION, en el aislador 4

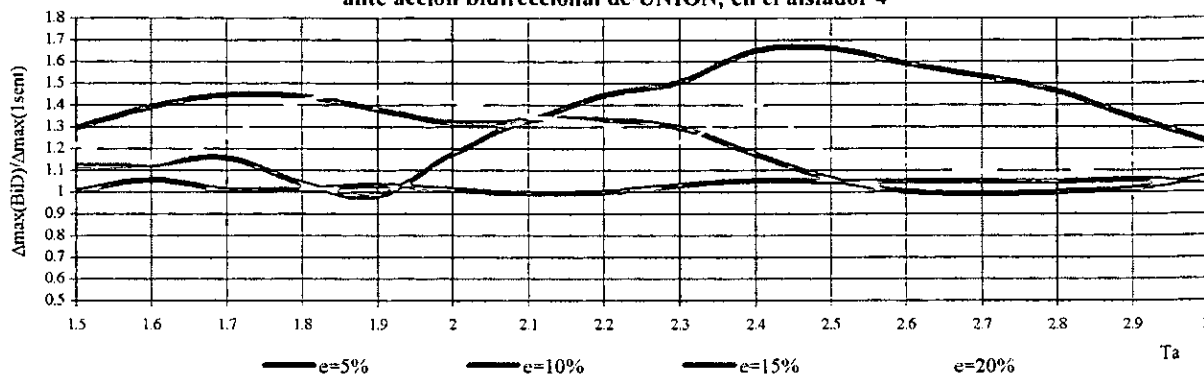


Figura 6.70

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 4

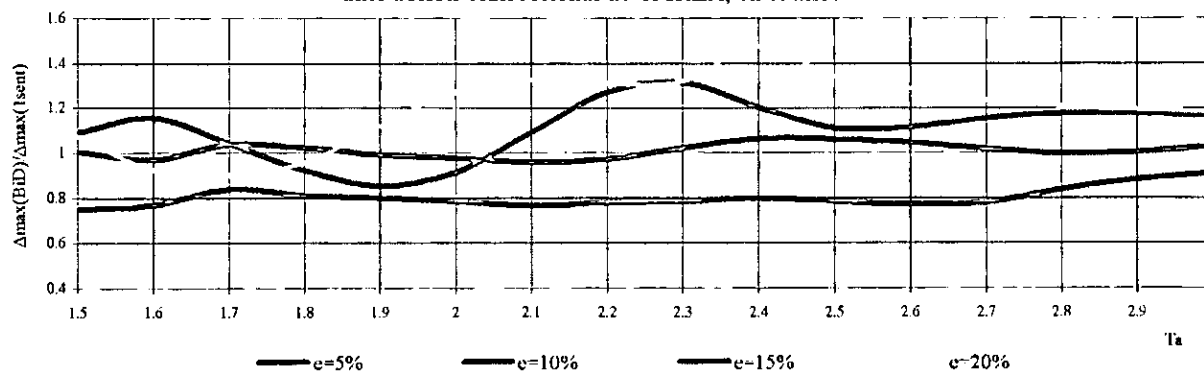


Figura 6.71

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 4

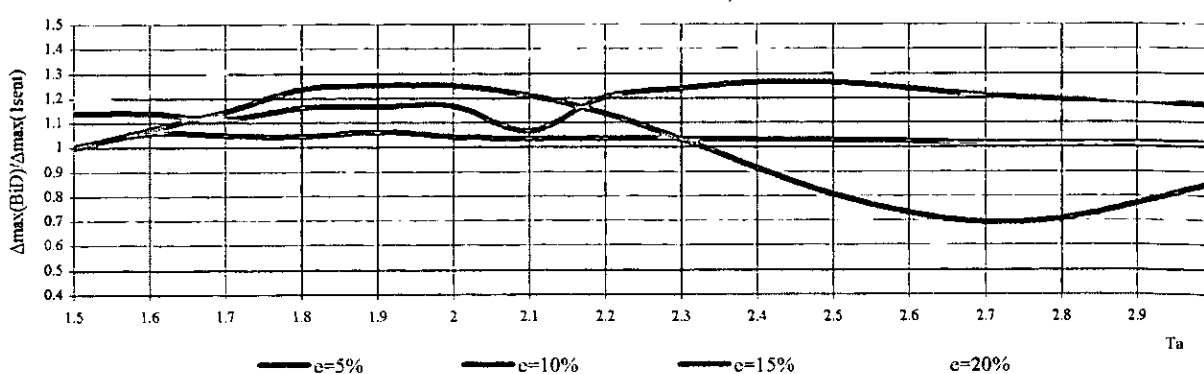


Figura 6.72

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de UNION, en el aislador 4

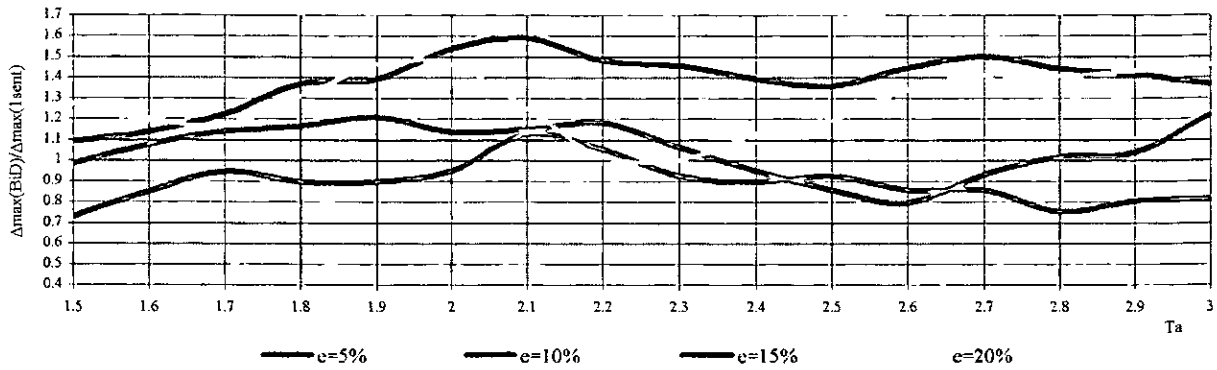


Figura 6.73

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 4

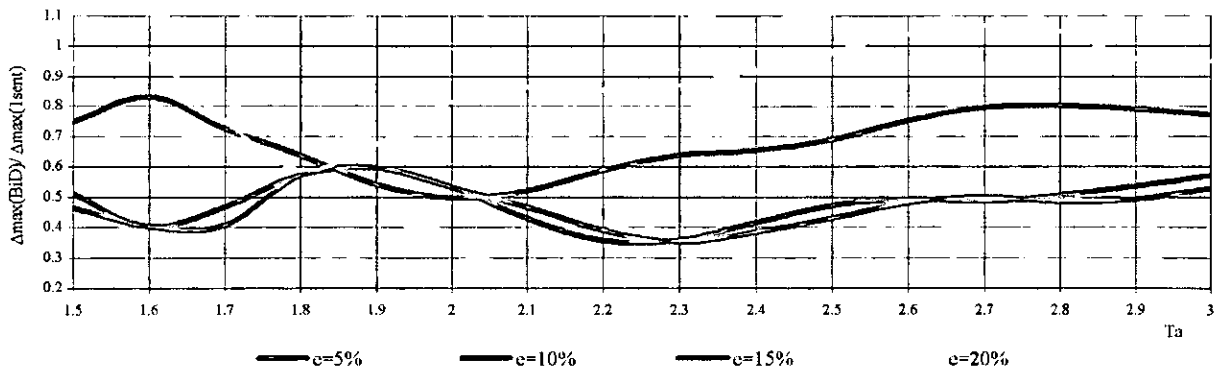


Figura 6.74

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 4

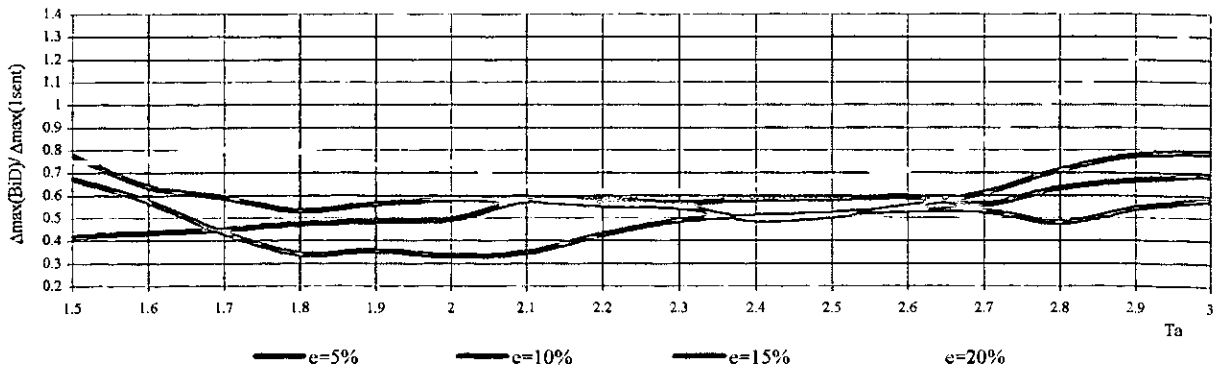


Figura 6.75

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de UNION, en el aislador 13

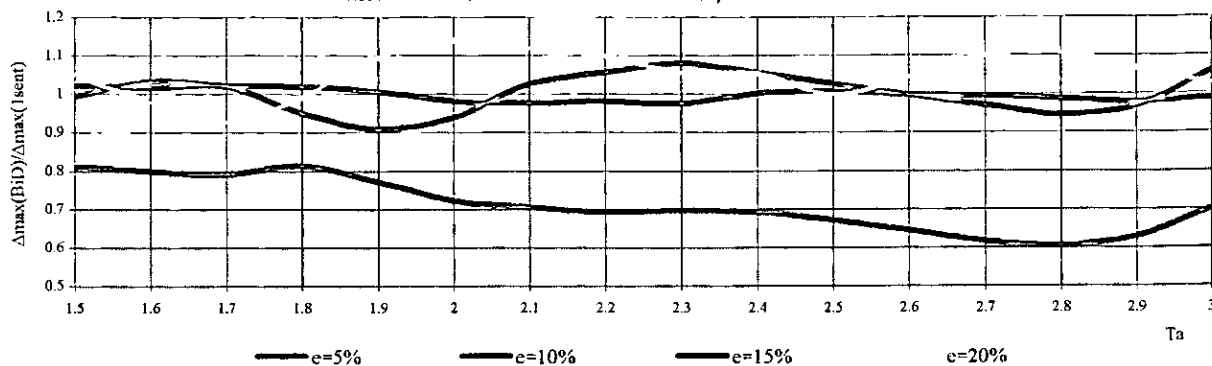


Figura 6.76

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 13

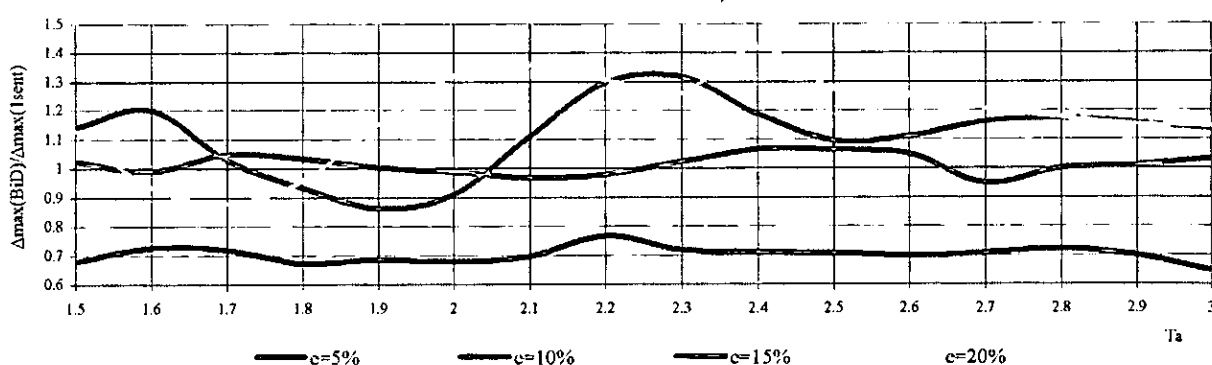


Figura 6.77

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 13

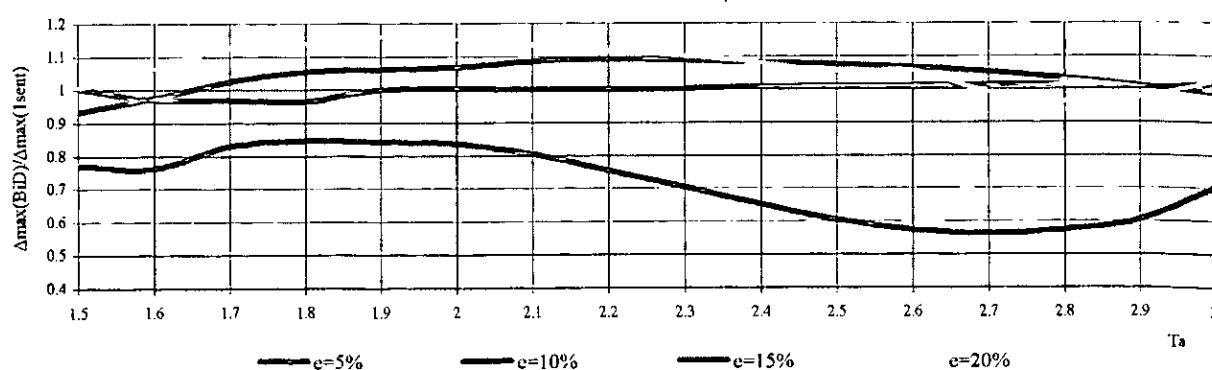


Figura 6.78

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de UNION, en el aislador 13

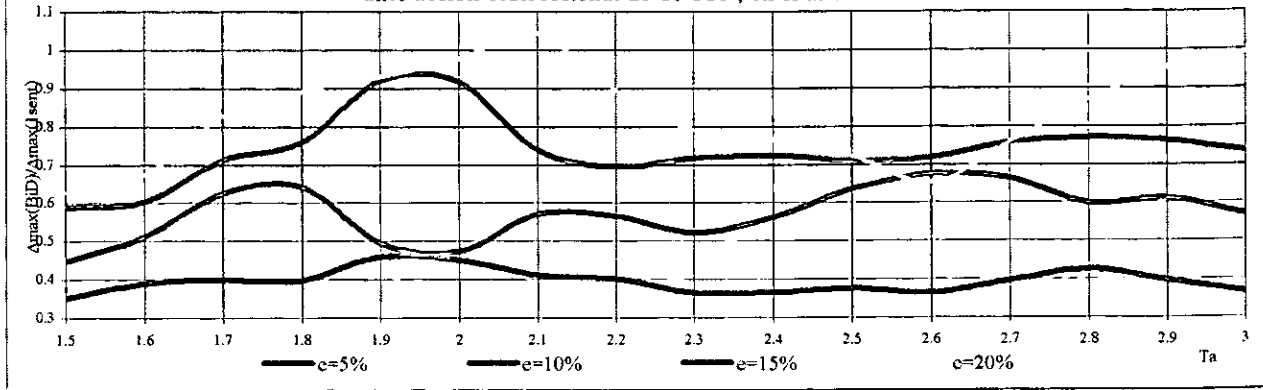


Figura 6.79

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 13

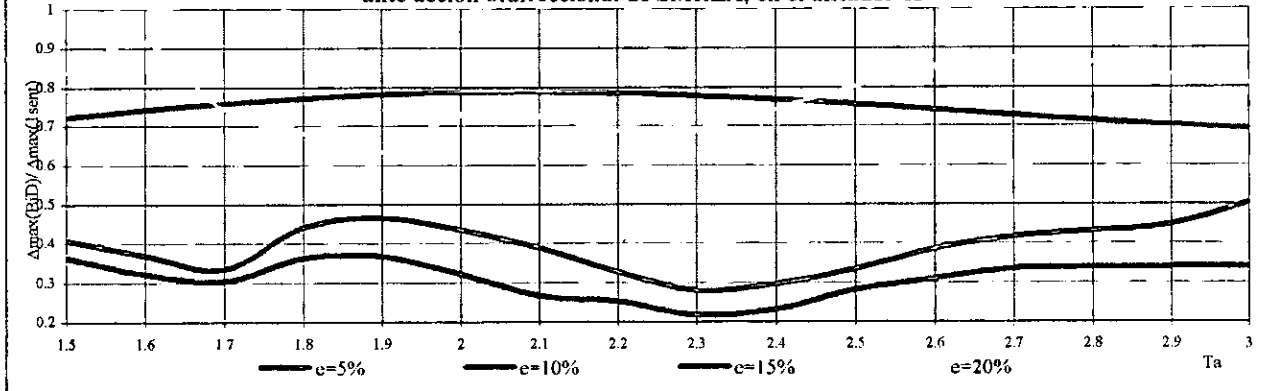
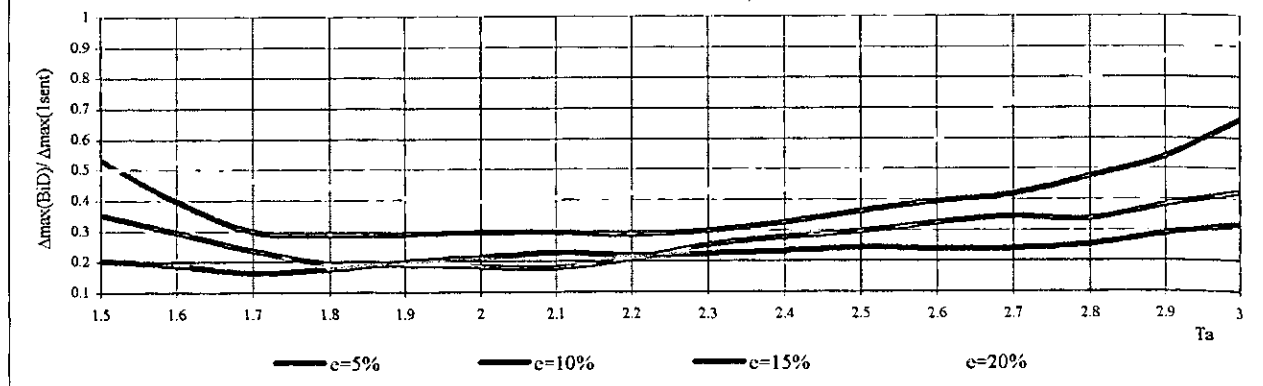


Figura 6.80

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentajes de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 13



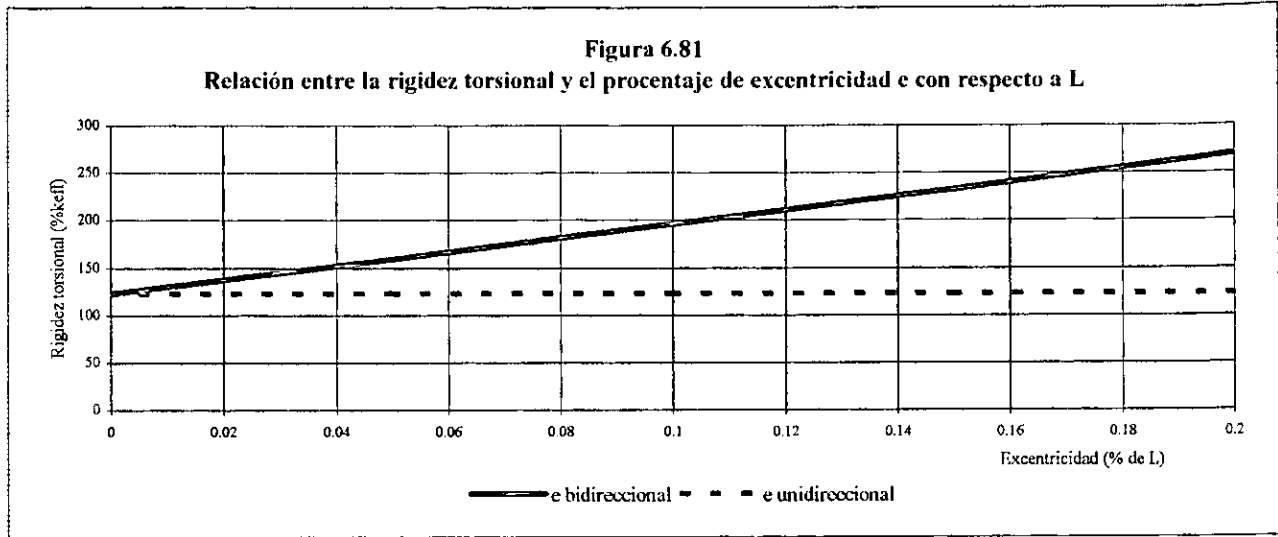


Figura 6.82

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre desplazamientos cuando la excentricidad es en la superestructura y cuando es en el sistema de aislamiento, en el aislador 4. Ante la excitación sísmica bidireccional de UNION

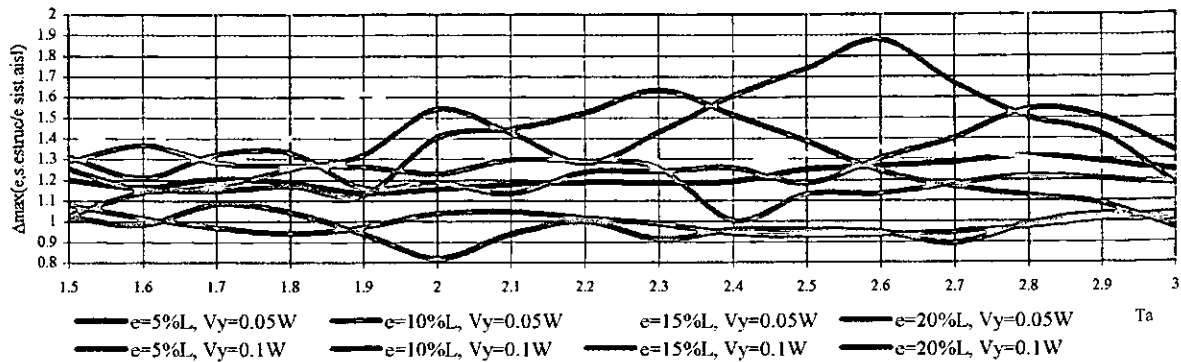


Figura 6.83

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre desplazamientos cuando la excentricidad es en la superestructura y cuando es en el sistema de aislamiento, en el aislador 4. Ante la excitación sísmica bidireccional de SMRZA

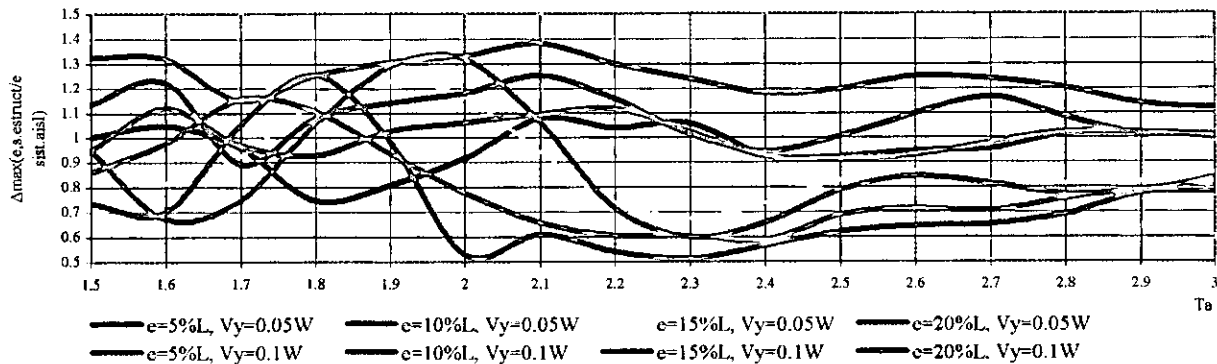


Figura 6.84

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre desplazamientos cuando la excentricidad es en la superestructura y cuando es en el sistema de aislamiento, en el aislador 4. Ante la excitación sísmica bidireccional de TMANZ

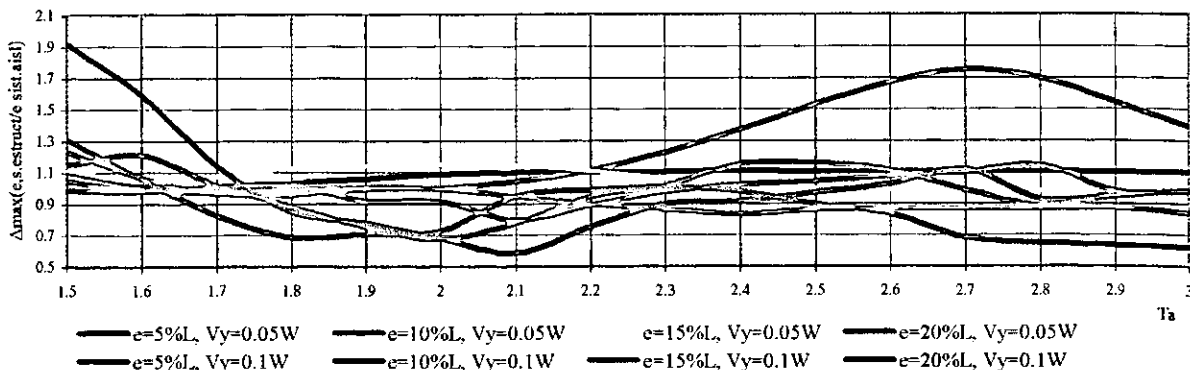


Figura 6.85

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre desplazamientos cuando la excentricidad es en la superestructura y cuando es en el sistema de aislamiento, en el aislador 13. Ante la excitación sísmica bidireccional de UNION

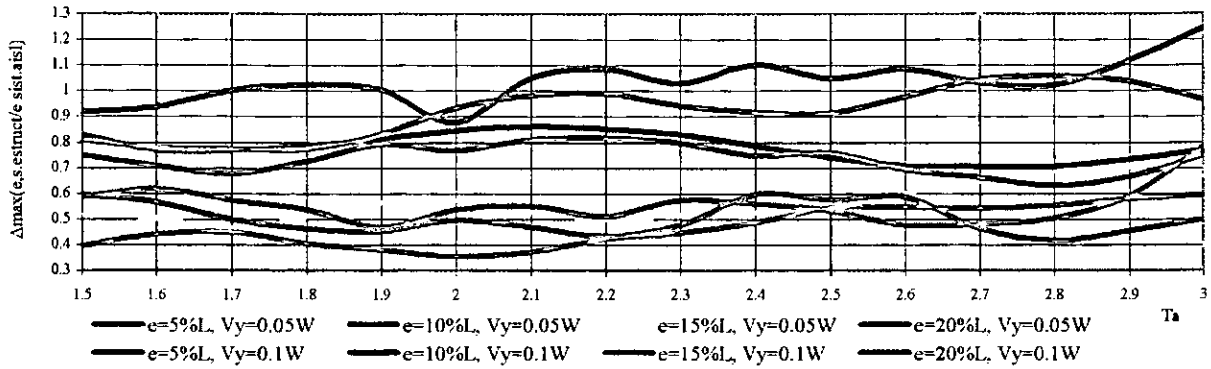


Figura 6.86

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre desplazamientos cuando la excentricidad es en la superestructura y cuando es en el sistema de aislamiento, en el aislador 13. Ante la excitación sísmica bidireccional de SMRZA

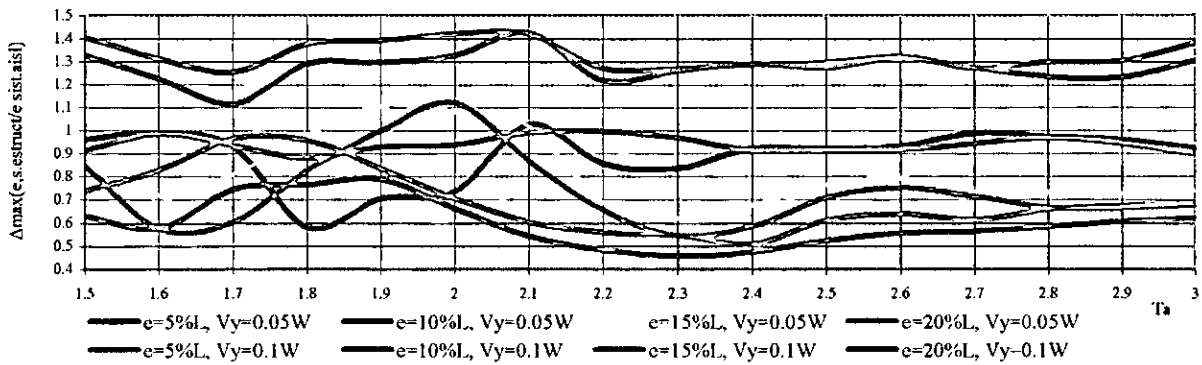
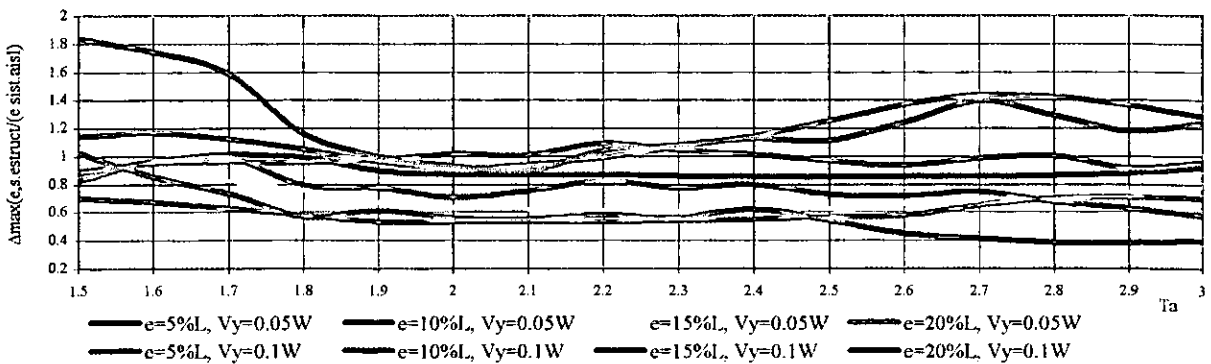


Figura 6.87

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre desplazamientos cuando la excentricidad es en la superestructura y cuando es en el sistema de aislamiento, en el aislador 13. Ante la excitación sísmica bidireccional de TMANZ



CAPÍTULO VII

INFLUENCIA DE LA EXCENTRICIDAD EN LA SUPERESTRUCTURA Y EN EL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS CON BASE AISLADA

En capítulos previos se estudió por separado la influencia de la excentricidad del **CR** con respecto al **CM** en la superestructura, primero, y en el sistema de aislamiento, después; en estructuras que cuentan con sistema de aislamiento basal. En el presente capítulo se estudiará nuevamente la influencia de la excentricidad pero considerando que se presenta simultáneamente tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento. La metodología para ubicar los centros de rigideces y los mecanismos de análisis son los mismos ya comentados en capítulos anteriores.

7.1 RESPUESTA DEL MODELO.

Se examinan los desplazamientos dinámicos máximos generados en el modelo en estudio por los acelerogramas seleccionados y con la presencia de excentricidades en el sistema de aislamiento y en la superestructura. Se presentan a continuación las distintas variantes para este estudio.

7.1.1 En un sentido.

Se observa el comportamiento al ubicar el **CR** sobre el eje y para excitación **E-W**, en el eje x para excitación **N-S** y nuevamente en el eje x para excitación bidireccional. Se estudiaron tres casos con las posibles posiciones de los **CR** en el sistema de aislamiento y en la superestructura (figuras 7.1 a 7.3), que son las que se presentan en las siguientes secciones.

7.1.1.1 Excentricidades en sentidos y direcciones iguales.

Se ubican los **CR** a idénticas excentricidades con respecto a los **CM** tanto en la superestructura como en el sistema basal, tal como se observa en la figura 7.1. Con estas condiciones de excentricidad se procede a los análisis dinámicos para los distintos porcentajes de e .

a) Excentricidad del 5%.

El valor de e es igual al 5% de la dimensión L , se excita al modelo con los acelerogramas seleccionados, primero con la componente **E-W** del movimiento del terreno, después con la componente **N-S** y, finalmente, con ambas componentes horizontales.

De los 96 archivos de resultados para cada variante del cortante de fluencia se tienen las siguientes observaciones. En las figuras 7.6 y 7.7 se presenta la normalización entre los desplazamientos dinámicos máximos cuando la excitación de **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ** es bidireccional, entre aquellos generados debido a las excitaciones **E-W** y **N-S**, respectivamente; a lo largo del intervalo de periodos T_a seleccionado y con ambas variantes de cortante de fluencia V_y . Se observa que la excitación bidireccional amplifica la respuesta obtenida ante carga en un sólo sentido, con excepción de **UNION** para el aislador número 4 y $V_y = 0.1W$, ante la carga de la componente **N-S** (figura 7.7). Ante ambas componentes de excitación por separado (**E-W** y **N-S**) la amplificación de la respuesta con la excitación bidireccional es generalmente más marcada en el aislador número 13, exceptuando **UNION** con $V_y = 0.05W$ y **TMANZ** con $V_y = 0.05W$. Los aumentos en la respuesta dentro del intervalo de periodos T_a varían con los distintos registros empleados como excitación, los mayores incrementos se obtienen con **SMRZA** entre los 1.8 y 1.9 segundos y con **TMANZ** en los 2.2 segundos (figura 7.7), siempre en el aislador número 13; destacando los 4.6 veces de intensificación de respuesta con el registro **SMRZA** y $V_y = 0.1W$ con respecto a la dirección **E-W** (figura 7.6).

La figura 7.8 muestra la relación entre el periodo aislado y el ángulo que describe el desplazamiento dinámico máximo registrado ante la acción bidireccional de los acelerogramas seleccionados, para los aisladores 4 y 13 y bajo las dos variantes de cortante de fluencia en estudio. Se observa que los ángulos obtenidos por algunas de las excitaciones son prácticamente constantes a lo largo del intervalo T_a , pero otros presentan variaciones, como el caso de **UNION** en el aislador 4 y para $V_y = 0.1W$ donde se presentan las mayores fluctuaciones.

En las figuras 7.9 a 7.11 se observan las relaciones entre el periodo de vibración en base aislada y el cociente dado por el desplazamiento dinámico máximo con respecto al desplazamiento de fluencia (o demanda de ductilidad) para los dos aisladores determinados, ante excitación **E-W**, **N-S** y bidireccional, respectivamente.

En casi todas las respuestas los aisladores registran desplazamientos superiores a los de fluencia, siendo éstos mayores al inicio del intervalo T_a y con tendencia descendente. El mayor comportamiento inelástico se observa ante la acción del registro **TMANZ**, destacando el registrado al emplear ambas componentes horizontales del registro, donde el aislador número 4 alcanza 10 veces el desplazamiento de fluencia (figura 7.11) cuando $V_y=0.05W$; siendo este último caso el único donde el cociente de desplazamientos excede el límite de 9 ($\mu = 1/\Delta_y = 9$) dado por la definición de las características mecánicas deseables para un aislador bilineal con $k_2/k_1=0.1$, de acuerdo al reglamento **UBC**. Hay que anotar asimismo que en las figuras se observa que las líneas continuas (las que definen la normalización entre desplazamientos para el aislador número 4) presentan mayores cocientes que las líneas discontinuas (que corresponden al aislador número 13); esto se deba quizá a que se definieron distintos desplazamientos de fluencia para cada uno de estos dos aisladores, con el fin de establecer la excentricidad requerida, como se mencionó anteriormente.

b) Excentricidades del 10%, 15% y 20%.

Se estudia ahora los mismos parámetros de respuesta al incrementar la excentricidad de **CR** con respecto al **CM**, analizando los mismos casos de costumbre (96 para cada cortante de fluencia) en cada excentricidad. En general al comparar los resultados con los descritos cuando la excentricidad es $e=0.05L$, se tiene:

El comportamiento de los aisladores al relacionar los desplazamientos máximos ante acción bidireccional con respecto a aquellos ante carga en un sentido, con el incremento del porcentaje de excentricidad, muestra trayectorias semejantes para los nuevos casos con aquellas contempladas cuando la excentricidad es del 5% de L ; sólo que los valores de las amplificaciones máximas tienden a ser menores con el incremento de la excentricidad, además de que dichas amplificaciones máximas se presentan en periodos algo mayores al aumentar e . Las figuras 7.12 y 7.13 presentan dichas relaciones entre desplazamientos cuando $e = 0.2L$; las variaciones con respecto a las figuras 7.6 y 7.7 ($e = 0.05L$) son las ya comentadas; por razones de espacio se omitieron las figuras correspondientes cuando $e = 0.1L$ y $e = 0.15L$, donde la transición entre $e = 0.05L$ y $e = 0.2L$ es mínima.

En la figura 7.14 se observan los ángulos de los desplazamientos dinámicos máximos ante acción bidireccional del movimiento del terreno para una excentricidad del 20% del valor de L ; en general los ángulos presentan pequeñas variaciones a lo largo del intervalo T_a , salvo excepciones como las de **TMANZ**, **UNION** para $V_y=0.1W$.

Finalmente se relacionaron los desplazamientos dinámicos máximos en los aisladores con aquellos de fluencia. Las figuras 7.15 a 7.17 muestran estas relaciones ante carga **E-W**, **N-S** y bidireccional, respectivamente; para $e=0.1L$; las figuras 7.18 y 7.20 presentan los mismos casos pero para $e = 0.15L$ y en las figuras 7.21 a 7.23 para cuando $e = 0.2L$.

Ante la excitación **E-W** del movimiento del terreno se observa, en general, poca variación de la respuesta con el aumento de e (figuras 7.9, 7.15, 7.18 y 7.21),

modificándose ligeramente las amplificaciones y sus trayectorias; resaltando sólo el incremento alcanzado por el aislador número 4 cuando se excita al modelo con **TMANZ** y el cortante de fluencia es del 5% del peso W , que para $e=0.2L$ llega a ser de 13.5 cuando $T_a=1.5$ s (figura 7.21). Cuando la excitación es **N-S** (figuras 7.10, 7.16, 7.19 y 7.22) se presenta igualmente alteraciones mínimas en las respuestas, siendo nuevamente en el aislador 4 con **TMANZ** y $V_y=0.05W$ donde se produce el incremento más notable. Los cambios más sobresalientes se dan ante excitación bidireccional (figuras 7.11, 7.17, 7.20 y 7.23), donde la tendencia de ambos aisladores con el incremento de excentricidad del **CR** con respecto al **CM** es similar a la dada cuando $e = 0.05L$; sin embargo, al aumentar el valor de e se van presentando amplificaciones más notorias con **TMANZ**; donde la respuesta generada con $V_y = 0.05W$ en el aislador 4 alcanza 17.6 veces el desplazamiento de fluencia, rebasando de sobremanera el límite recomendable de nueve (UBC).

7.1.1.2 Excentricidades en sentidos iguales y distintas direcciones.

Se ubican los **CR** en el mismo sentido tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento, pero en direcciones opuestas con respecto a los **CM**, tal como se observa en la figura 7.2. Se procede con los análisis dinámicos correspondientes para los distintos porcentajes de e .

a) Excentricidad del 5%.

Se excita al modelo, presentando $e=0.05L$, con los acelerogramas seleccionados, primero con la componente **E-W**, después con la componente **N-S** y, finalmente, con ambas componentes bidireccionales. De cada una de las variantes del cortante de fluencia se obtienen 96 archivos de resultados, que a continuación se comentan.

En las figuras 7.24 y 7.25 muestran la normalización entre los desplazamientos dinámicos máximos cuando la excitación de los registros es bidireccional entre aquellos generados debido a las excitaciones **E-W** y **N-S**, para **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ**, respectivamente; a lo largo del intervalo de periodos T_a seleccionado y con ambas variantes de cortante de fluencia V_y . Es notorio que la excitación bidireccional amplifica la respuesta dada por la excitación unidireccional, con una pequeña excepción en **UNION** para el aislador número 4, $V_y = 0.1W$ y excitación **N-S** (figura 7.25). Ante ambas componentes de excitación por separado (**E-W** y **N-S**) la amplificación de la respuesta con la excitación bidireccional es generalmente más marcada en el aislador número 13. Los aumentos en la respuesta dentro del intervalo de periodos T_a varían de acuerdo al registro empleado como excitación, observándose los mayores incrementos con **SMRZA** en el aislador número 13, entre los 1.8 y 1.9 segundos y con **TMANZ** en los 2.2 segundos (figura 7.25); destacando los 5.4 veces de incremento de respuesta con el registro **SMRZA E-W** y $V_y = 0.1W$ (figura 7.24).

La figura 7.26 muestra la relación entre el periodo aislado y el ángulo que describe el desplazamiento dinámico máximo registrado ante la acción bidireccional de los acelerogramas seleccionados, para los aisladores 4 y 13 y bajo las dos variantes de cortante de fluencia en estudio. Para el aislador número 13 los ángulos descritos son constantes a lo largo del intervalo T_a y cercanos a noventa grados; sin embargo, para el aislador número 4 tienden a ser mayores, entre los 90 y 180 grados, con ciertas variaciones en las trayectorias para UNION.

En las figuras 7.27 a 7.29 se muestra las relaciones entre el periodo de vibración en base aislada y la normalización del desplazamiento dinámico máximo con respecto al desplazamiento de fluencia (o demanda de ductilidad) para los dos aisladores determinados, ante excitación E-W, N-S y bidireccional, respectivamente.

Exceptuando UNION, TMANZ y SMRZA, con $V_y = 0.1W$ en el aislador número 13, el resto de las respuestas de los aisladores en los tres casos de excitación (E-W, N-S y bidireccional del movimiento del terreno) observan desplazamientos superiores a los de fluencia, sobre todo al inicio del intervalo de periodos T_a y con marcada tendencia descendiente. El mayor comportamiento inelástico se observa nuevamente ante la acción del registro TMANZ, destacando la amplificación alcanzada al emplear ambas componentes horizontales del registro, donde el aislador número 4 adquiere un desplazamiento 8.4 veces mayor al de fluencia (figura 7.29); no excediendo el límite de 9 ($\mu = 1/\Delta = 9$) dado por la definición de las características mecánicas deseables para un aislador bilineal con $k_2/k_1=0.1$, de acuerdo al reglamento UBC.

b) Excentricidades del 10%, 15% y 20%.

Se estudia ahora los mismos parámetros de respuesta al incrementar la excentricidad de CR con respecto al CM, analizando los mismos casos de costumbre (96 para cada cortante de fluencia) en cada excentricidad. En general al comparar los resultados con los descritos cuando la excentricidad es $e=0.05L$, se tiene:

Al observar las relaciones entre desplazamientos máximos ante excitación bidireccional con respecto a aquellos con excitación unidireccional, con el incremento del porcentaje de excentricidad, se encuentran trayectorias semejantes para los nuevos casos con aquellas contempladas cuando la excentricidad es $e = 0.05L$, las amplificaciones máximas presentan tendencias muy similares o ligeramente menores (E-W) o mayores (N-S) con el incremento de la excentricidad, pero dichas amplificaciones máximas se presentan en periodos algo mayores al aumentar e . Las figuras 7.30 y 7.31 presentan dichas relaciones entre desplazamientos cuando $e = 0.2L$; donde se observan las variaciones con respecto a las figuras 7.24 y 7.25 ($e = 0.05L$) ya mencionadas; por razones de espacio se omitieron las figuras correspondientes cuando $e=0.1L$ y $e=0.15L$, donde la transición entre $e=0.05L$ y $e=0.2L$ es mínima.

En la figura 7.32 se observan los ángulos de los desplazamientos dinámicos máximos ante acción bidireccional del movimiento del terreno para una excentricidad del 20% del valor de L ; en general se observa un comportamiento similar al registrado cuando

$e=0.05L$, sólo que ahora las trayectorias de los ángulos de los desplazamientos en el aislador número 4 son más constantes y cercanas a los 180 grados.

Finalmente se presentan las relaciones entre los desplazamientos dinámicos máximos con respecto a los de fluencia. Las figuras 7.33 a 7.35 muestran estas relaciones ante carga E-W, N-S y bidireccional, respectivamente; para $e=0.1L$; las figuras 7.36 y 7.38 presentan los mismos casos pero para $e = 0.15L$ y en las figuras 7.39 a 7.41 para cuando $e = 0.2L$.

Ante la excitación E-W del movimiento del terreno se observan ligeros incrementos en las respuestas con el incremento de e para el aislador número 4, sobre todo al emplear el registro TMANZ con $V_y=0.05W$; y disminuciones para las respuestas del aislador número 13 (figuras 7.27, 7.33, 7.36 y 7.39), con mínimas variaciones en las trayectorias. Cuando la excitación es N-S (figuras 7.28, 7.34, 7.37 y 7.40) se observa el mismo caso de excitación E-W. Los cambios más notorios se registran cuando las excitaciones son bidireccionales (figuras 7.29, 7.35, 7.38 y 7.41), con clara tendencia a mantener trayectorias similares a las mostradas cuando $e = 0.05L$; al aumentar el valor de e se van presentando amplificaciones más notorias con TMANZ; donde la respuesta generada con $V_y = 0.05W$ en el aislador número 4 alcanza 15.5 veces el desplazamiento de fluencia cuando $T_a=1.5$ segundos. En la condición de excentricidades en estudio se observan valores mayores a 9 (límite recomendable obtenido de las características mecánicas de aisladores con comportamiento bilineal, UBC) en el aislador número 4, al excitar al modelo con el registro TMANZ, con ambas variantes del cortante de fluencia, y con el registro SMRZA con $V_y=0.05W$

7.1.1.3 Excentricidades en distintos sentidos y direcciones.

Se ubica a los CR de la superestructura y del sistema de aislamiento en distintas excentricidades con respecto a los CM, tal como se observa en la figura 7.3. Con estas condiciones de excentricidad se procede a los análisis dinámicos para los distintos porcentajes de e .

a) Excentricidad del 5%.

Se ubica el CR a una excentricidad $e=0.05L$ con respecto al CM y se excita al modelo con los registros de costumbre. Las figuras 7.42 y 7.43 muestran los cocientes de los desplazamientos dinámicos máximos ante excitación bidireccional entre los registros ante excitación unidireccional E-W, primero y N-S, después; para los tres acelerógrafos (UNION, SMRZA y TMANZ) y ambos casos de cortante de fluencia a lo largo del intervalo de periodos T_a . Se observa que, en general, la respuesta dada por la excitación bidireccional amplifica a la obtenida con la excitación en un sentido, con pequeñas excepciones para TMANZ en el aislador número 4 y $V_y=0.1W$ ante excitación N-S (figura 7.42). La amplificación de la respuesta con la excitación bidireccional es similar en ambos

aisladores para **UNION** con $V_y=0.05W$, **TMANZ** con $V_y=0.05W$ y **SMRZA** con $V_y=0.1W$, en menor medida para **SMRZA** con $V_y=0.05W$ y con notorio incremento de amplificaciones del aislador número 13 con respecto al aislador número 4 para **UNION** con $V_y=0.1W$ y **TMANZ** con $V_y=0.1W$. Los incrementos de la respuesta a lo largo del intervalo T_a varían con las distintas excitaciones, los mayores se obtienen con **SMRZA** con $V_y=0.1W$ en el aislador 13 entre los 1.8 y 1.9 segundos con **TMANZ** con $V_y=0.1W$ en el aislador 13 entre los 2.2 y 2.3 segundos (figura 7.43).

En la figura 7.44 se observa la relación entre el periodo aislado y el ángulo que describe el desplazamiento dinámico máximo registrado ante la acción bidireccional de los acelerogramas seleccionados, para los aisladores 4 y 13 y bajo las dos variantes de cortante de fluencia en estudio. Para las trayectorias de los ángulos en el aislador número 13 se observa un comportamiento constante y cercano a los 90 grados, a excepción de **UNION** con $V_y=0.05W$, donde se presenta un cambio de dirección. Para el aislador número 4 se observan trayectorias también más o menos constantes exceptuando los cambios notorios y repetidos de **UNION** con $V_y=0.1W$.

En las figuras 7.45 a 7.47 se muestra la normalización de desplazamientos dinámicos máximos entre el de fluencia (o demanda de ductilidad) a lo largo del intervalo de T_a para los dos aisladores determinados, ante la acción de las componentes **E-W**, **N-S** y bidireccional del movimiento horizontal del terreno.

Se observa que en general los desplazamientos dinámicos son mayores a los de fluencia; salvo en **TMANZ**, **SMRZA** y **UNION** (con $V_y=0.1W$, aislador 13); sobre todo al inicio del intervalo T_a y descendiendo paulatinamente. El mayor comportamiento inelástico se registra en el aislador número 4 al excitar al modelo con el registro **TMANZ**, destacando en la figura 7.47 cuando la excitación es bidireccional, alcanzado un desplazamiento de hasta 9.3 veces el desplazamiento de fluencia; en este caso se sobrepasa el límite de 9 obtenido de las características mecánicas deseables para un aislador bilineal con $k_2/k_1=0.1$, de acuerdo al reglamento **UBC**. Nuevamente se observa que en las figuras donde se excita al modelo con una sola componente del movimiento del terreno (figuras 7.45 y 7.46) se distinguen trayectorias de respuestas distintas para los dos aisladores (como se observó en apartados previos), pero aquí además de los distintos valores de desplazamiento de fluencia en los dos aisladores en estudio que creaban este distinto comportamiento, se tiene que debido a la ubicación de los **CR** a excentricidades de los **CM** perpendiculares a las fuentes de excitación (**E-W**, figura 7.45 y **N-S**, figura 7.46) se crea acoplamiento torsional singular entre la superestructura y el sistema de aislamiento.

b) Excentricidades del 10%, 15% y 20%.

Se analizan los mismos parámetros del inciso anterior pero incrementando los porcentajes de excentricidad de **CR** con respecto al **CM**. Al comparar los resultados obtenidos con los descritos cuando $e=0.05L$, se tiene:

Al relacionar los desplazamientos máximos de los aisladores contra los obtenidos por acción unidireccional con el incremento de porcentajes de excentricidad se muestran

trayectorias similares en los nuevos casos de excentricidad a aquellas generadas cuando $e=0.05L$, pero los incrementos por las excitaciones bidireccionales tienden a ser menores y los picos máximos se van presentando en periodos mayores de T_a . En las figuras 7.48 y 7.49 se observan las cuando $e = 0.2L$; las variaciones con respecto a $e=0.05L$ son las ya comentadas; se omiten las figuras correspondientes cuando $e = 0.1L$ y $e = 0.15L$ por cuestiones de espacio y debido a que las trayectorias de las respuestas son, a grandes rasgos, las intermedias entre $e = 0.05L$ y $e = 0.2L$.

En la figura 7.50 se observan los ángulos de los desplazamientos dinámicos máximos ante acción bidireccional del movimiento del terreno para una excentricidad del 20% del valor de L . Las trayectorias de los ángulos a lo largo del intervalo T_a son, en general, constantes, sobre todo para el aislador número 13 y con ligeras variaciones para el aislador número 4.

Las figuras 7.51 a 7.53 muestran las relaciones entre los desplazamientos dinámicos máximos en los aisladores con aquellos de fluencia para $e=0.1L$ y excitaciones E-W, N-S y bidireccional, respectivamente, las figuras 7.54 a 7.56 muestran estas relaciones para $e=0.15L$ y en las figuras 7.21 a 7.22 para $e = 0.2L$.

Al excitar al modelo con la componente E-W del movimiento del terreno se observa que al incrementar la excentricidad (figura 7.45, 7.51, 7.54 y 7.57), las trayectorias son muy similares, con pequeños incrementos en la relación entre desplazamientos para el aislador número 4 (sobre todo para TMANZ con $V_y=0.05W$) y ligeras disminuciones para el aislador número 13. Cuando la excitación se da con la componente N-S (figuras 7.46, 7.52, 7.55 y 7.58) se observan variaciones mínimas, sobresaliendo el incremento de amplificaciones de respuesta para TMANZ con $V_y=0.05W$ en el aislador número 4. Nuevamente las variaciones más notorias se generan cuando la excitación es bidireccional (figuras 7.47, 7.53, 7.56 y 7.59), donde al incrementar el porcentaje de excentricidad las amplificaciones de TMANZ con $V_y=0.05W$ alcanzan 14.4 veces el desplazamiento de fluencia del aislador 4 cuando $e=0.02L$ y $T_a=1.5$ segundos.

7.1.2 Excentricidad bidireccional.

Se analiza el comportamiento de los aisladores ante excitación del modelo al ubicar a los CR con respecto a los CM a una excentricidad e en ambos ejes perpendiculares de las plantas tipo y del sistema de aislamiento. Se estudiaron dos casos con distintas posiciones de los CR en el sistema de aislamiento y en la superestructura (figuras 7.4 y 7.5), que son las siguientes:

7.1.2.1 Excentricidades en sentidos y direcciones iguales.

Se ubica a los CR de la superestructura y del sistema de aislamiento en distintas excentricidades con respecto a los CM, tal como se observa en la figura 7.4. Con estas

condiciones de excentricidad se procede a los análisis dinámicos para los distintos porcentajes de e .

a) Excentricidad del 5%.

Se ubica el **CR** a una excentricidad $e=0.05L$ con respecto al **CM** en ambos ejes y se excita al modelo con los registros acelerográficos empleados. Las figuras 7.60 y 7.61 muestran los cocientes de los desplazamientos dinámicos máximos ante excitación bidireccional entre los registros ante excitación unidireccional **E-W**, primero y **N-S**, después; para **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ**, y ambos casos de cortante de fluencia a lo largo del intervalo de periodos T_a . Se observa que, aunque en la mayoría de los casos la respuesta dada por la excitación bidireccional amplifica a la obtenida con la excitación en un sentido, existen ciertos periodos para **UNION** y **TMANZ** en que esto no se cumple. Las amplificaciones de la respuesta con la excitación bidireccional son similares en ambos aisladores. Los incrementos de la respuesta a lo largo del intervalo T_a varían con las distintas excitaciones, los mayores se obtienen con **SMRZA** con $V_y=0.05W$ en el aislador 4 a los 1.7 segundos (figura 7.60) y con **TMANZ** en el aislador 13 con $V_y=0.1W$ a los 1.6 segundos de T_a y con $V_y=0.05W$ a los 2.8 segundos de T_a (figura 7.61).

En la figura 7.62 se observa la relación entre el periodo aislado y el ángulo que describe el desplazamiento dinámico máximo registrado ante la acción bidireccional de los acelerogramas seleccionados, para los aisladores 4 y 13 y bajo las dos variantes de cortante de fluencia en estudio. Encontrándose que para **SMRZA** y **UNION** las trayectorias de los ángulos a lo largo del intervalo de periodos T_a es constante, y presentando variaciones notorias en trayectoria para **TMANZ**.

En las figuras 7.63 a 7.65 se observa el cociente de desplazamientos dinámicos máximos entre los de fluencia (o demanda de ductilidad) a lo largo del intervalo T_a para los dos aisladores en estudio, ante la excitación de las componentes **E-W**, **N-S** y bidireccional del movimiento horizontal del terreno.

Se observa que salvo pequeños intervalos en las tres figuras los desplazamientos dinámicos son generalmente mayores a los de fluencia, sobre todo al inicio del intervalo T_a y descendiendo en forma paulatina. El comportamiento inelástico mayor se observa al excitar al modelo con el registro **TMANZ**, destacando en la figura 7.65 cuando la excitación es bidireccional, donde el aislador 4 alcanza un desplazamiento de hasta 7.6 veces el desplazamiento de fluencia; sin sobrepasar el límite de 9 obtenido de las características mecánicas deseables para un aislador bilineal con $k_2/k_1=0.1$, de acuerdo al reglamento **UBC**. Se anota que en las figuras 7.63 y 7.64 se presenta nuevamente acoplamiento torsional y que ante excentricidad bidireccional ya no es el aislador número 4 el que alcanza mayores desplazamientos dinámicos, sino que el aislador número 13 muestra mayores demandas, sobre todo al excitar al modelo con las componentes **E-W** de los registros empleados.

b) Excentricidades del 10%, 15% y 20%.

Se analizan los mismos parámetros del inciso anterior pero incrementando los porcentajes de excentricidad de **CR** con respecto al **CM**. Al comparar los resultados obtenidos con los descritos cuando $e=0.05L$, se tiene:

Al relacionar los desplazamientos máximos de los aisladores contra los obtenidos por acción unidireccional con el incremento de porcentajes de excentricidad se muestran trayectorias similares en los nuevos casos de excentricidad a aquellas generadas cuando $e=0.05L$, pero los incrementos por las excitaciones bidireccionales tienden a ser mayores para algunas fuentes de excitación y menores para otras, variando aquellas con las que se alcanzan las mayores amplificaciones. En las figuras 7.66 y 7.67 se observan los desplazamientos cuando $e = 0.2L$; las variaciones con respecto a $e=0.05L$ son más notorias que las que hasta ahora se registraban en otros casos en estudio; se omiten las figuras correspondientes cuando $e = 0.1L$ y $e = 0.15L$ por cuestiones de espacio.

En la figura 7.68 se observan los ángulos de los desplazamientos dinámicos máximos ante acción bidireccional del movimiento del terreno para una excentricidad del 20% del valor de L ; nuevamente la mayoría de las trayectorias de los ángulos de los desplazamientos son constantes, presentando variaciones para **TMANZ** en ambos aisladores y para **UNION** en el aislador número 4.

Las figuras 7.69 a 7.71 muestran las relaciones entre los desplazamientos dinámicos máximos en los aisladores con aquellos de fluencia para $e=0.1L$ y excitaciones E-W, N-S y bidireccional, respectivamente, las figuras 7.72 a 7.74 muestran estas relaciones para $e=0.15L$ y en las figuras 7.75 a 7.77 para $e = 0.2L$.

Al excitar al modelo con la componente E-W del movimiento del terreno se observa que al incrementar la excentricidad (figura 7.63, 7.69, 7.72 y 7.75), las trayectorias son muy similares, con disminuciones en la relación entre desplazamientos para ambos aisladores. Cuando la excitación se da con la componente N-S (figuras 7.64, 7.70, 7.73 y 7.76) se observan nuevamente decrementos en el cociente de desplazamientos con el incremento de excentricidad. Variaciones algo más notorias se generan cuando la excitación es bidireccional (figuras 7.65, 7.71, 7.74 y 7.77), donde al incrementar el porcentaje de excentricidad las amplificaciones de desplazamientos disminuyen, es decir, son menos las amplificaciones a medida que aumenta la excentricidad, comportamiento contrario al observado para los otros casos estudiados (figuras 7.1 a 7.3).

7.1.2.2 Excentricidades en sentidos iguales y con direcciones contrarias.

Se ubican los **CR** en direcciones distintas y contrarias con respecto a los **CM**, tanto en la superestructura como en el sistema basal, tal como se observa en la figura 7.5. Con estas condiciones de excentricidad se procede a los análisis dinámicos para los distintos porcentajes de e .

a) Excentricidad del 5%.

El valor de e es igual al 5% de la dimensión L , en ambos ejes de las plantas; se excita al modelo con los acelerogramas seleccionados, primero con la componente E-W del movimiento del terreno, después con la componente N-S y, finalmente, con ambas componentes horizontales.

De los 96 archivos de resultados obtenidos para cada caso del cortante de fluencia se tienen las siguientes observaciones. En las figuras 7.78 y 7.79 se presenta la normalización entre los desplazamientos dinámicos máximos cuando la excitación de UNION, SMRZA y TMANZ es bidireccional, entre aquellos generados debido a las excitaciones E-W y N-S, respectivamente; a lo largo del intervalo de periodos T_a seleccionado y con ambas variantes de cortante de fluencia V_y . Se observa que la excitación bidireccional amplifica, en general, la respuesta obtenida ante excitación E-W, pero para la carga N-S existen intervalos para TMANZ (aislador número 13 y $V_y = 0.1W$) y UNION (aislador número 4) donde dicha amplificación no se cumple. Ante ambas componentes de excitación por separado (E-W y N-S) la amplificación de la respuesta con la excitación bidireccional es generalmente más marcada en el aislador número 4. Los aumentos en la respuesta dentro del intervalo de periodos T_a varían con los distintos registros empleados como excitación, los mayores incrementos se obtienen con SMRZA a los 1.7 segundos (figura 7.78) y con TMANZ a los 1.6 segundos (figura 7.79), siempre en el aislador número 4; destacando los 3.08 veces de intensificación de respuesta con el registro SMRZA y $V_y = 0.05W$.

La figura 7.80 muestra la relación entre el periodo aislado y el ángulo que describe el desplazamiento dinámico máximo registrado ante la acción bidireccional de los acelerogramas seleccionados, para los aisladores 4 y 13 y bajo las dos variantes de cortante de fluencia en estudio. Se observa que los ángulos obtenidos por algunas de las excitaciones son constantes a lo largo del intervalo T_a (SMRZA en ambos aisladores y UNION y TMANZ en el aislador 13), pero otros presentan variaciones importantes, como el caso de UNION y TMANZ en el aislador 4 para $V_y = 0.05W$.

En las figuras 7.81 a 7.83 se observan las relaciones entre el periodo de vibración en base aislada y el cociente dado por el desplazamiento dinámico máximo con respecto al desplazamiento de fluencia (o demanda de ductilidad) para los dos aisladores determinados, ante excitación E-W, N-S y bidireccional, respectivamente.

En casi todas las respuestas los aisladores registran desplazamientos superiores a los de fluencia, siendo más marcados al inicio del intervalo T_a y con tendencia descendente. El mayor comportamiento inelástico se observa ante la acción del registro TMANZ, sobre todo al utilizar como excitación a ambas componentes horizontales del registro, donde el aislador número 13 alcanza 7.8 veces el desplazamiento de fluencia (figura 7.83). Nuevamente se presenta el acoplamiento torsional.

b) Excentricidades del 10%, 15% y 20%.

Se estudia ahora los mismos parámetros de respuesta al incrementar la excentricidad de CR con respecto al CM, analizando los mismos casos de costumbre (96 para cada

cortante de fluencia) en cada excentricidad. En general al comparar los resultados con los descritos cuando la excentricidad es $e=0.05L$, se tiene:

El comportamiento de los aisladores al relacionar los desplazamientos máximos ante acción bidireccional con respecto a aquellos ante carga en un sentido, con el incremento del porcentaje de excentricidad, muestra trayectorias con variantes para los nuevos casos con aquellas contempladas cuando la excentricidad es del 5% de L ; con valores de las amplificaciones máximas distintas con distintas fuentes de excitación, además de que dichas amplificaciones máximas se presentan en periodos distintos con el aumento de e . Las figuras 7.84 y 7.85 presentan dichas relaciones entre desplazamientos cuando $e = 0.2L$; las variaciones con respecto a las figuras correspondientes a $e = 0.05L$ son notorias e importantes, como ya se comentó. Es evidente que ante excitación **N-S**, las amplificaciones por la excitación bidireccional en el aislador número 4 son semejantes para todas las fuentes de excitación, lo mismo sucede en el aislador número 13. Pero con menor similitud, además de que las amplificaciones son mayores. Por razones de espacio se omitieron las figuras correspondientes cuando $e = 0.1L$ y $e = 0.15L$.

En la figura 7.86 se observan los ángulos de los desplazamientos dinámicos máximos ante acción bidireccional del movimiento del terreno para una excentricidad del 20% del valor de L ; en general los ángulos presentan comportamientos muy constantes a lo largo del intervalo T_a , salvo el caso de **UNION**, donde se presentan variaciones.

Finalmente se relacionaron los desplazamientos dinámicos máximos en los aisladores con aquellos de fluencia. Las figuras 7.87 a 7.89 muestran estas relaciones ante carga **E-W**, **N-S** y bidireccional, respectivamente; para $e=0.1L$; las figuras 7.90 a 7.92 presentan los mismos casos pero para $e = 0.15L$ y en las figuras 7.93 a 7.95 para cuando $e = 0.2L$.

Ante la excitación **E-W** del movimiento del terreno se observa poca variación de trayectoria de la respuesta con el incremento de e (figuras 7.81 7.87, 7.90 y 7.93), ligeras disminuciones de amplificación. Cuando la excitación es **N-S** (figuras 7.82, 7.88, 7.91 y 7.94) se presenta el mismo caso anterior. Los cambios algo más obvios se dan ante excitación bidireccional (figuras 7.83 7.89, 7.92 y 7.95), donde la tendencia de las trayectorias de ambos aisladores con el incremento de excentricidad del **CR** con respecto al **CM** es similar a la dada cuando $e = 0.05L$; pero, al aumentar el valor de e se van presentando decrementos del cociente de desplazamientos.

7.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON AQUELLOS OBTENIDOS DEL MODELO SIN EXCENTRICIDADES.

Se compara ahora a los desplazamientos dinámicos máximos obtenidos en cada caso de excentricidad en el sistema de aislamiento y la superestructura, 5%, 10%, 15% y 20% de

la dimensión **L** (unidireccional y bidireccionalmente); con los generados cuando el modelo no presenta excentricidades (capítulo IV).

7.2.1 Comparación entre el modelo sin excentricidad y con excentricidad en un sentido.

Se normalizan los desplazamientos máximos cuando la excentricidad se genera en un sentido en el sistema de aislamiento y la superestructura con respecto a aquellos cuando el modelo no presenta excentricidad, empleando ambas componentes horizontales del movimiento del terreno. Estas comparaciones se realizan en los tres mismos casos de excentricidad en un sentido observados en las secciones anteriores.

7.2.1.1 Excentricidades en sentidos y direcciones iguales.

En las figuras 7.96 a 7.98 se muestra la relación para el aislador número 4, con $V_y = 0.05W$ y con **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ**, respectivamente, como excitaciones; cuando $V_y = 0.1W$ las relaciones se observan en las figuras 7.99 a 7.101. Las figuras 7.102 a 7.107 muestran los mismos casos anteriores pero observados en el aislador número 13. Se desprenden los siguientes comentarios:

Ante la acción de **UNION** y $V_y = 0.05W$ (figura 7.96), el comportamiento tiende a amplificar la respuesta del modelo sin excentricidad al inicio del intervalo de T_a y posterior a $T_a=2.2$ segundos con pequeñas deamplificaciones entre 2 y 2.2 segundos; en general, el incremento de desplazamientos máximos es correspondiente al aumento del porcentaje de excentricidad **e**; ante **TMANZ** (figura 7.98) el comportamiento de los aisladores tiende nuevamente a la amplificación de la respuesta con el incremento de excentricidad del **CR** con respecto al **CM**, con pocas variaciones a lo largo de T_a , obteniéndose los máximos incrementos de respuesta cuando $e=0.2L$ alrededor de $T_a= 1.9$ segundos; para **SMRZA** (figura 7.97) se presentan una amplificación nula entre los 1.9 y 2.1 de T_a y amplificaciones al inicio el intervalo de periodos estudiado y posterior a los 2.1 segundos, alcanzando los valores mayores a los 2.4 segundos y tendiendo a partir de ahí a valores menores. En tabla 7.1 se observan los factores de amplificación y deamplificación para estos casos.

Cuando $V_y = 0.1W$ ante **UNION**, figura 7.99, el comportamiento muestra amplificaciones y deamplificaciones de la respuesta, destacando algunos picos y que con el incremento de la excentricidad se tiende a mayores deamplificaciones. Para **TMANZ**, figura 7.101, la tendencia es claramente hacia amplificaciones, sobre todo las cercanas a $T_a= 2.1$ segundos; al inicio del intervalo de periodos en estudio los incrementos en la respuesta tienden a tener menores variaciones indistintamente de la excentricidad del **CR** con respecto al **CM**. En la figura 7.100 se observa los resultados para **SMRZA**, nuevamente se observa claras amplificaciones lo largo del intervalo T_a , alcanzando un desplazamiento con $e=0.05L$ de 2.6 veces el registrado cuando $e=0$. En la tabla 7.2 se observan los factores de amplificación correspondientes.

Tabla 7.1
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 4

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.95	2.1	1.08	1.5	1.00	2.0	1.02	2.4	1.02	1.7	1.19	2.0
10	0.88	2.1	1.16	1.5	1.00	2.0	1.65	2.4	0.92	1.5	1.22	1.9
15	0.88	2.1	1.20	1.5	1.00	2.0	1.15	2.4	1.18	3.0	1.40	1.9
20	1.00	2.0	1.52	1.5	1.00	2.0	1.27	2.4	1.18	3.0	1.63	1.9

Tabla 7.2
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 4

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.87	1.8	1.20	1.5	1.61	1.9	2.61	2.3	1.08	1.5	3.50	2.1
10	0.80	2.9	1.13	1.5	1.31	1.9	2.60	2.3	1.20	1.5	2.98	2.1
15	0.79	2.2	1.07	1.5	1.15	1.9	2.34	2.3	1.24	1.5	2.28	2.1
20	0.74	2.2	1.04	1.6	1.00	1.9	1.98	2.3	1.50	1.5	1.84	2.1

Para el aislador número 13 y con $V_y = 0.05W$ se tiene en la figura 7.102 (excitación dada por UNION) deamplificaciones de la respuesta al inicio del intervalo de periodos T_a y amplificaciones posterior a los 2.2 segundos, siendo más marcadas alrededor de $T_a = 2.5$ segundos, donde se obtiene un valor de 1.3 veces el de $e=0$ con $e=0.2L$. Para TMANZ (figura 7.104) se observa una tendencia hacia las amplificaciones con deamplificaciones mínimas de la respuesta, cercanas a la unidad, sin presentarse picos o variaciones abruptas, sino valores muy similares para los distintos porcentajes de e. Ante SMRZA (figura.7.103) nuevamente se observa amplificaciones al inicio del intervalo de periodos y posteriores a $T_a=2.1$ segundos, y valores cercanos a la unidad entre 1.9 y 2.1 segundos de periodo T_a . La tabla 7.3 muestra los factores de amplificación para estos casos.

Cuando $V_y = 0.1W$ se tiene que para UNION (figura 7.105) la tendencia es hacia la amplificación de los desplazamientos, las trayectorias de las respuestas presentan pequeños picos, pero la mayor amplificación se da al inicio del intervalo de T_a . Con SMRZA (figura 7.106) se presentan amplificaciones con una deamplificación para $e=0.15L$ en $T_a=1.5$ segundos. Para TMANZ (figura 7.107) se presenta amplificaciones que tienden a ser similares para los distintos porcentajes de excentricidad al final del intervalo T_a . La tabla 7.4 presenta los factores de amplificación respectivos.

Al comparar los resultados de ambos aisladores se encuentra que las tendencias presentan variaciones para UNION y $V_y=0.05W$ y más similares para $V_y=0.1W$, para SMRZA son muy similares, sólo que para el aislador número 13 se alcanzan mayores valores del cociente entre desplazamientos, ante TMANZ se presentan también similitudes, con mayores valores para el aislador número 13.

Tabla 7.3

Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 13

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.70	1.5	1.20	3.0	1.01	2.0	1.02	2.3	0.97	1.5	0.99	1.7
10	0.50	1.5	1.80	3.0	0.99	2.0	1.05	2.4	0.75	1.5	1.01	1.7
15	0.52	1.5	1.15	2.6	0.99	2.0	1.12	2.4	0.98	2.2	1.18	1.5
20	0.90	1.5	1.29	2.5	0.99	2.0	1.25	2.4	1.04	1.5	1.22	2.4

Tabla 7.4

Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 13

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.77	2.9	2.55	1.5	2.10	1.9	3.40	2.3	2.70	1.5	5.80	2.1
10	1.50	2.2	2.58	1.5	1.70	1.9	3.20	2.3	2.00	1.5	5.00	2.1
15	1.38	2.2	2.50	1.5	0.60	1.9	2.80	2.3	1.60	1.5	3.90	2.1
20	1.29	2.2	2.18	1.5	1.08	1.9	2.40	2.3	1.32	1.5	3.00	2.1

7.2.1.2 Excentricidades en sentidos iguales y con direcciones contrarias.

En las figuras 7.108 a 7.110 se muestra la relación para el aislador número 4, con $V_y = 0.05W$ y con **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ**, respectivamente, como excitaciones; cuando $V_y = 0.1W$ las relaciones se observan en las figuras 7.111 a 7.113. Las figuras 7.114 a 7.119 muestran los mismos casos anteriores pero observados en el aislador número 13. Se desprenden los siguientes comentarios:

Ante la acción de **UNION** y $V_y = 0.05W$ (figura 7.108), el comportamiento tiende a deamplificar la respuesta del modelo sin excentricidad, sobre todo alrededor de $T_a = 2.0$ segundos, donde se alcanzan los valores mínimos; ante **TMANZ** (figura 7.110) el comportamiento de los aisladores tiende a ser similar para los distintos porcentajes de excentricidad, sólo que para $e=0.05L$ y $e=0.1L$ se presentan deamplificaciones y para $e=0.15L$ y $e=0.2L$ son amplificaciones; para **SMRZA** (figura 7.109) se presentan una deamplificaciones entre 1.9 y 2.1 de T_a y amplificaciones al inicio el intervalo de periodos estudiado y posterior a los 2.1 segundos, alcanzando los valores mayores a los 2.4 segundos y tendiendo a partir de ahí a valores menores. En tabla 7.5 se observan los factores de amplificación y deamplificación para estos casos.

Cuando $V_y = 0.1W$ ante **UNION**, figura 7.111, el comportamiento muestra amplificaciones y deamplificaciones de la respuesta, para **TMANZ**, figura 7.113, la tendencia es claramente hacia amplificaciones con tendencias casi idénticas para los

distintos porcentajes de excentricidad, en la figura 7.112 se observa los resultados para **SMRZA**, nuevamente se observa claras amplificaciones y tendencias muy similares. En la tabla 7.6 se observan los factores de amplificación correspondientes.

Tabla 7.5
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 4

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.78	2.2	0.88	3.0	0.94	2.1	1.10	2.5	0.90	2.3	1.00	1.7
10	0.52	2.0	0.97	3.0	0.85	1.9	1.29	2.4	0.90	2.3	1.01	1.7
15	0.55	1.9	0.85	3.0	0.81	2.1	1.42	2.3	1.04	2.3	1.11	1.9
20	0.60	2.0	0.80	3.0	1.00	1.8	1.71	2.3	1.11	3.0	1.46	1.8

Tabla 7.6
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 4

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.85	2.2	1.30	1.5	1.74	1.9	2.89	2.3	1.90	2.6	3.69	2.1
10	0.76	2.2	1.30	1.5	1.67	1.9	2.80	2.3	1.80	2.6	3.54	2.1
15	0.71	2.2	1.31	1.5	1.70	3.0	2.64	1.7	1.75	2.6	3.40	2.1
20	0.77	2.2	1.29	1.5	1.60	3.0	1.54	1.7	1.75	2.6	3.30	2.1

Para el aislador número 13 y con $V_y = 0.05W$ se tiene en la figura 7.114 (excitación dada por **UNION**) amplificaciones de la respuesta en todo el intervalo de periodos T_a , siendo más marcadas posteriormente a $T_a = 2.2$ segundos; para **TMANZ** (figura 7.116) se observa una tendencia hacia la amplificaciones de la respuesta, sin presentarse picos o variaciones abruptas sino tendencias con curvas suaves; ante **SMRZA** (figura 7.115) se observa en general amplificaciones y una pequeña zona de deamplificaciones entre 1.8 y 2.1 segundos. La tabla 7.7 muestra los factores de amplificación y deamplificación para estos casos.

Cuando $V_y = 0.1W$ se tiene que para **UNION** (figura 7.117) la tendencia es hacia la amplificación de los desplazamientos, las trayectorias de las respuestas presentan pequeños picos pero en general son similares para los distintos porcentajes de excentricidad. Con **SMRZA** (figura 7.118) y **TMANZ** (figura 7.119) se presentan amplificaciones casi con trayectorias idénticas para los distintos porcentajes de excentricidad. La tabla 7.8 presenta los factores de amplificación y deamplificación respectivos.

Tabla 7.7
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 13

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.10	2.0	1.28	2.6	0.98	2.1	1.12	2.5	1.10	1.7	1.19	1.9
10	1.10	2.0	1.48	1.8	0.89	2.1	1.40	2.4	1.22	3.0	1.45	1.9
15	1.10	2.0	1.70	2.9	0.85	1.9	1.68	2.3	1.34	3.0	1.70	1.9
20	1.27	2.0	2.05	2.5	1.10	1.9	2.04	2.4	1.42	3.0	1.24	1.8

Tabla 7.8
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 13

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.80	2.2	2.55	1.5	2.20	3.0	3.74	2.5	2.35	3.0	5.80	1.8
10	1.62	2.2	2.55	1.5	2.19	3.0	3.59	2.5	2.35	3.0	5.60	1.8
15	1.53	2.2	2.55	1.5	2.15	3.0	3.50	2.5	2.35	3.0	5.40	1.8
20	1.58	2.2	2.50	1.5	2.10	3.0	3.28	2.5	2.35	3.0	5.39	1.8

7.2.1.3 Excentricidades en sentidos y direcciones distintas.

En las figuras 7.120 a 7.122 se muestra la relación para el aislador número 4, con $V_y = 0.05W$ y con UNION, SMRZA y TMANZ, respectivamente, como excitaciones; cuando $V_y = 0.1W$ las relaciones se observan en las figuras 7.123 a 7.125. Las figuras 7.126 a 7.131 muestran los mismos casos anteriores pero observados en el aislador número 13. Se desprenden los siguientes comentarios:

Ante la acción de UNION y $V_y = 0.05W$ (figura 7.120), el comportamiento tiende a deamplificar la respuesta del modelo sin excentricidad en todo el intervalo de T_a , en general con el incremento de la excentricidad se presentan menores valores de la relación entre desplazamientos; ante TMANZ (figura 7.122) el comportamiento de los aisladores tiende a la amplificación de la respuesta con el incremento de excentricidad del CR con respecto al CM, con pocas variaciones a lo largo de T_a , obteniéndose los máximos incrementos de respuesta cuando $e=0.2L$ alrededor de $T_a = 2.29$ segundos; para SMRZA (figura 7.121) se presentan una amplificación nula entre los 1.9 y 2.1 de T_a y amplificaciones al inicio el intervalo de periodos estudiado y posterior a los 2.1 segundos, alcanzando los valores mayores a los 2.4 segundos y tendiendo a partir de ahí a valores menores. En tabla 7.9 se observan los factores de amplificación y deamplificación para estos casos.

Cuando $V_y = 0.1W$ ante UNION, figura 7.123, el comportamiento muestra amplificaciones y deamplificaciones de la respuesta, destacando algunos picos y que con el incremento de la excentricidad se tiende a deamplificaciones más marcadas. Para TMANZ,

figura 7.125, la tendencia es claramente hacia amplificaciones, sobre todo las cercanas a $T_a=2.1$ segundos; al inicio y al final del intervalo de periodos en estudio los incrementos en la respuesta tienden tener menores variaciones indistintamente de la excentricidad del CR con respecto al CM. En la figura 7.124 se observa los resultados para SMRZA, nuevamente se cuenta con claras amplificaciones lo largo del intervalo T_a , alcanzando un desplazamiento con $e=0.05L$ de 2.6 veces el registrado cuando $e=0$. En la tabla 7.10 se observan los factores de amplificación y deamplificación correspondientes.

Tabla 7.9
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 4

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.83	2.9	0.96	1.6	1.00	1.9	1.02	2.4	0.95	1.7	1.00	1.5
10	0.77	2.2	0.96	1.6	1.00	1.9	1.09	2.5	0.88	1.5	1.02	1.6
15	0.68	2.0	0.90	1.6	1.00	1.9	1.18	2.4	1.04	3.0	1.11	2.4
20	0.64	2.0	0.89	1.6	1.00	1.9	1.30	2.4	1.05	3.0	1.25	2.3

Tabla 7.10
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 4

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.90	1.7	1.17	1.5	1.56	1.9	2.60	2.3	1.60	1.5	3.54	2.1
10	0.79	1.8	1.10	2.4	1.32	1.9	2.40	1.7	1.30	2.8	3.12	2.1
15	0.75	1.8	1.05	2.4	1.22	2.0	2.25	1.7	1.10	2.8	2.74	2.1
20	0.74	1.8	1.04	2.4	1.20	2.1	2.05	1.7	0.98	2.8	2.40	2.1

Para el aislador número 13 y con $V_y = 0.05W$ se tiene en la figura 7.126 (excitación dada por UNION) amplificaciones de la respuesta en todo el intervalo de periodos T_a , siendo más notorias posteriormente a $T_a=2.2$ segundos, para TMANZ (figura 7.128) se observa una tendencia hacia amplificaciones de la respuesta, sin presentarse picos o variaciones abruptas, sino valores en curvas suaves, ante SMRZA (figura 7.127) nuevamente se observa amplificaciones al inicio del intervalo de periodos y posteriores a $T_a=2.1$ segundos, y pequeñas deamplificaciones entre 1.9 y 2.1 segundos de periodo T_a . La tabla 7.11 muestra los factores de amplificación y deamplificación para estos casos.

Cuando $V_y = 0.1W$ se tiene que para UNION (figura 7.129) la tendencia es hacia la amplificación de los desplazamientos, las trayectorias de las respuestas presentan pequeños picos, pero la mayor amplificación se da al inicio del intervalo de T_a . Con TMANZ (figura 7.131) se presentan amplificaciones que al final del intervalo de periodos en estudio son idénticas para los distintos porcentajes de excentricidad. Para SMRZA (figura 7.130) se presenta amplificaciones que tienden a ser similares para los distintos porcentajes de

excentricidad y que disminuyen con el incremento de la excentricidad. La tabla 7.12 presenta los factores de amplificación y deamplificación respectivos.

Tabla 7.11
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 13

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.08	2.1	1.18	2.7	0.98	2.0	1.02	3.0	1.04	2.5	1.14	1.8
10	1.12	2.1	1.30	2.7	0.98	2.0	1.07	2.5	0.98	1.5	1.34	1.8
15	1.12	2.0	1.44	1.8	0.98	2.0	1.18	2.4	1.29	3.0	1.52	1.8
20	1.17	2.0	1.66	2.7	0.98	2.0	1.33	2.4	1.41	3.0	1.82	2.2

Tabla 7.12
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 13

e (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.72	2.6	2.55	1.5	2.09	3.0	3.20	2.3	2.90	3.0	6.00	2.4
10	1.50	2.8	2.50	1.5	2.00	3.0	2.80	2.3	2.50	1.5	5.80	2.4
15	1.48	3.0	2.40	1.5	1.56	1.9	2.56	1.7	2.10	1.5	5.10	2.4
20	1.54	3.0	2.32	1.5	1.40	1.9	2.20	1.7	1.90	1.5	4.70	2.4

Al comparar los resultados de ambos aisladores se encuentra que las tendencias presentan grandes variaciones para UNION en ambos casos del cortante de fluencia, pero sobre todo cuando $V_y=0.05W$, donde se pasa de amplificaciones a deamplificaciones, para SMRZA son similares, sólo que para el aislador número 13 se alcanzan mayores valores del cociente entre desplazamientos, ante TMANZ se presentan también similitudes, con mayores valores para el aislador número 13.

7.2.2 Comparación entre el modelo sin excentricidad y con excentricidad bidireccional.

Se normalizan los desplazamientos máximos cuando la excentricidad se genera en ambos sentidos en el sistema de aislamiento y la superestructura con respecto a aquellos cuando el modelo no presenta excentricidad, empleando ambas componentes horizontales del movimiento del terreno. Estas comparaciones se realizan en los dos mismos casos de excentricidad en ambos sentidos observados en secciones anteriores.

7.2.2.1 Excentricidades en sentidos y direcciones iguales.

En las figuras 7.132 a 7.134 se muestra la relación para el aislador número 4, con $V_y = 0.05W$ y con **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ**, respectivamente, como excitaciones; cuando $V_y = 0.1W$ las relaciones se observan en las figuras 7.135 a 7.137. Las figuras 7.138 a 7.143 muestran los mismos casos anteriores pero observados en el aislador número 13. Se desprenden los siguientes comentarios:

Ante la acción de **UNION** y $V_y = 0.05W$ (figura 7.132), el comportamiento tiende a amplificar la respuesta del modelo sin excentricidad en casi todo el intervalo T_a , con una pequeña deamplificación entre 2.0 y 2.1 segundos para $e=0.05L$ y $e=0.1L$, el incremento en los desplazamientos máximos se presenta a la par del aumento del porcentaje de excentricidad e ; ante **TMANZ** (figura 7.134) el comportamiento de los aisladores tiende nuevamente a la amplificación de la respuesta con el incremento de excentricidad del **CR** con respecto al **CM**, con pocas variaciones a lo largo de T_a , obteniéndose los máximos incrementos de respuesta cuando $e=0.2L$ alrededor de $T_a= 1.7$ segundos; para **SMRZA** (figura 7.133) se presentan una amplificación nula entre los 1.9 y 2.0 de T_a y amplificaciones al inicio el intervalo de periodos estudiado y posterior a los 2.1 segundos, alcanzando los valores mayores a los 2.4 segundos y tendiendo a partir de ahí a valores menores. En tabla 7.13 se observan los factores de amplificación y deamplificación para estos casos.

Cuando $V_y = 0.1W$ ante **UNION**, figura 7.135, el comportamiento muestra amplificaciones y deamplificaciones de la respuesta, destacando algunos picos. Para **TMANZ**, figura 7.137, la tendencia es generalmente amplificatoria, salvo el inicio del intervalo T_a y en $T_a=2.1$ segundos para $e=0.05L$, las mayores amplificaciones se presentan al final del intervalo de periodos. En la figura 7.136 se observa los resultados para **SMRZA**, donde se observa amplificaciones lo largo del intervalo T_a para todos los porcentajes de excentricidad, excepto para $e=0.05L$ que muestra comportamiento opuesto. En la tabla 7.14 se observan los factores de amplificación correspondientes.

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.98	2.1	1.10	1.6	1.00	2.0	1.06	2.4	1.08	1.7	1.12	2.4
10	0.96	2.0	1.20	1.6	1.00	2.0	1.19	2.4	1.20	1.5	1.35	2.3
15	1.10	2.0	1.37	1.6	1.00	2.0	1.35	2.4	1.28	3.0	1.61	1.9
20	1.20	2.0	1.60	1.6	1.00	2.0	2.08	2.4	1.37	3.0	2.10	1.7

Tabla 7.14
Factores de amplificación cuando e es bidireccional y $V_y=0.1W$ en el aislador 4

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.78	3.0	1.40	1.5	0.86	1.9	1.04	1.8	0.93	1.5	1.14	2.2
10	0.93	3.0	1.17	1.5	1.00	2.1	1.14	1.7	0.93	1.5	1.33	2.1
15	0.92	2.9	1.40	1.5	1.00	2.1	1.32	1.7	0.93	1.5	1.65	3.0
20	0.86	2.9	1.56	1.9	1.02	2.1	1.48	1.5	0.93	1.5	2.20	2.9

Para el aislador número 13 y con $V_y = 0.05W$ se tiene en la figura 7.138 (excitación dada por UNION) deamplificaciones de la respuesta al inicio del intervalo de periodos T_a y amplificaciones posterior a los 2.2 segundos, siendo más marcadas alrededor de $T_a= 2.4$ segundos, donde se obtiene un valor de 1.4 veces el de $e=0$ con $e=0.2L$. Para TMANZ (figura 7.140) se observa una tendencia hacia la amplificaciones de la respuesta sin presentarse picos o variaciones abruptas, sino valores con tendencias suaves en las curvas. Ante SMRZA (figura 7.139) nuevamente se observa amplificaciones al inicio del intervalo de periodos y posteriores a $T_a=2.1$ segundos, y pequeñas deamplificaciones cercanas a la unidad entre 1.9 y 2.1 segundos de periodo T_a . La tabla 7.15 muestra los factores de amplificación y deamplificación para estos casos.

Cuando $V_y = 0.1W$ se tiene que para UNION (figura 7.141) la tendencia es mayormente amplificatoria, las trayectorias de las respuestas presentan picos y cambios de dirección, la mayor amplificación se da alrededor de los 2.4 segundos de periodo. Con SMRZA (figura 7.143) se presentan amplificaciones y deamplificaciones, resaltando el valor alcanzado en $T_a=3.0$ segundos para $e=0.2L$. Para TMANZ (figura 7.142) se presenta amplificaciones que aumentan con el incremento de excentricidad, para $e=0.05L$ se generan algunas deamplificaciones. La tabla 7.16 presenta los factores de amplificación y deamplificación respectivos.

Tabla 7.15
Factores de amplificación cuando e es bidireccional y $V_y=0.05W$ en el aislador 13

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.93	1.5	1.30	3.0	0.91	2.2	1.02	2.4	0.98	2.1	1.10	1.7
10	0.90	1.5	1.19	3.0	0.96	2.0	1.11	2.4	1.08	2.1	1.20	1.7
15	0.90	2.0	1.21	2.5	0.96	2.0	1.27	2.4	1.20	1.5	1.49	2.4
20	0.97	1.9	1.40	2.4	0.96	2.0	1.78	2.4	1.35	1.5	1.92	2.4

Tabla 7.16
Factores de amplificación cuando e es bidireccional y $V_y=0.1W$ en el aislador 13

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.80	3.0	1.10	2.7	0.84	1.9	1.02	1.5	0.92	2.8	1.12	2.1
10	0.95	2.2	1.10	2.7	0.99	2.4	1.08	1.7	0.88	2.7	1.36	2.1
15	0.95	2.2	1.24	2.4	1.00	2.4	1.21	1.7	0.95	2.3	1.45	2.1
20	1.00	1.5	1.41	2.4	0.98	2.4	1.39	2.5	0.95	1.5	2.15	3.0

Al comparar los resultados de ambos aisladores se encuentra que las tendencias presentan variaciones para **UNION** y $V_y=0.05W$ y más similares para $V_y=0.1W$, para **SMRZA** son muy similares, sólo que para el aislador número 4 se alcanzan valores ligeramente mayores del cociente entre desplazamientos, ante **TMANZ** se presentan también similitudes.

7.2.2.2 Excentricidades en sentidos iguales y con direcciones contrarias.

En las figuras 7.144 a 7.146 se muestra la relación para el aislador número 4, con $V_y = 0.05W$ y con **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ**, respectivamente, como excitaciones; cuando $V_y = 0.1W$ las relaciones se observan en las figuras 7.147 a 7.149. Las figuras 7.150 a 7.155 muestran los mismos casos anteriores pero observados en el aislador número 13. Se desprenden los siguientes comentarios:

Ante la acción de **UNION** y $V_y = 0.05W$ (figura 7.144), el comportamiento tiende a deamplificar la respuesta del modelo sin excentricidad, excepto para $e=0.2L$ donde se generan amplificaciones notorias alrededor de los 2.3 y 2.4 segundos de periodo; ante **TMANZ** (figura 7.146) el comportamiento de los aisladores tiende a ser amplificador, sobre todo al inicio del intervalo de periodo T_a ; para **SMRZA** (figura 7.109) se presentan una deamplificaciones entre 1.8 y 2.2 de T_a y amplificaciones al inicio el intervalo de periodos estudiado y posterior a los 2.2 segundos, alcanzando los valores mayores a los 2.3 segundos y tendiendo a partir de ahí a valores menores. En la tabla 7.17 se observan los factores de amplificación y deamplificación para estos casos.

Cuando $V_y = 0.1W$ ante **UNION**, figura 7.147, el comportamiento muestra amplificaciones y deamplificaciones de la respuesta, para **TMANZ**, figura 7.149, la tendencia es claramente hacia amplificaciones con presencia de picos, sobresaliendo la gran amplificación generada con $e=0.2L$, en la figura 7.148 se observa los resultados para **SMRZA**, nuevamente se observa claras amplificaciones y tendencias muy similares, además de deamplificaciones entre 1.8 y 2.2 segundos de periodo. En la tabla 7.18 se observan los factores de amplificación y deamplificación correspondientes.

Tabla 7.17
Factores de amplificación cuando e es bidireccional y $V_y=0.05W$ en el aislador 4

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.78	2.8	0.90	1.5	0.84	2.1	1.20	2.4	0.99	2.1	1.18	1.6
10	0.74	2.0	0.90	3.0	0.71	1.9	1.60	2.3	1.20	3.0	1.42	2.9
15	0.72	2.0	1.10	1.6	1.02	1.8	2.18	2.3	1.25	3.0	1.72	1.9
20	0.77	2.0	1.64	2.4	1.50	1.5	2.63	2.3	1.28	3.0	2.28	1.7

Tabla 7.18
Factores de amplificación cuando e es bidireccional y $V_y=0.1W$ en el aislador 4

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	0.75	2.8	1.00	2.0	0.78	2.1	1.24	1.7	1.00	2.7	1.40	2.1
10	0.74	2.6	1.10	1.6	1.65	1.9	1.60	2.3	0.99	1.7	1.57	2.1
15	0.70	2.2	1.20	1.8	1.02	1.8	1.25	2.3	1.00	1.5	2.4	2.9
20	0.99	1.7	1.52	2.4	1.52	1.5	2.90	2.3	1.40	1.5	2.68	2.1

Para el aislador número 13 y con $V_y = 0.05W$ se tiene en la figura 7.150 (excitación dada por UNION) amplificaciones de la respuesta en casi todo el intervalo de periodos T_a , siendo más marcadas alrededor de $T_a = 2.2$ segundos; para TMANZ (figura 7.152) se observa una tendencia hacia la amplificaciones de la respuesta, sin presentarse picos o variaciones abruptas sino tendencias con curvas suaves; ante SMRZA (figura 7.151) se observa en general amplificaciones y una pequeña zona de deamplificaciones entre 1.8 y 2.1 segundos. La tabla 7.19 muestra los factores de amplificación y deamplificación para estos casos.

Tabla 7.19
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.05W$ en el aislador 13

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.08	2.1	1.25	1.8	0.89	2.4	1.28	2.4	1.08	1.7	1.22	2.3
10	1.04	2.0	1.45	1.7	0.82	1.9	1.67	2.3	1.22	1.5	1.53	1.8
15	0.99	1.8	1.60	2.5	1.13	1.8	2.20	2.3	1.23	3.0	1.97	1.8
20	1.40	1.5	1.64	2.4	1.60	1.5	2.72	2.4	1.32	2.7	2.20	1.7

Cuando $V_y = 0.1W$ se tiene que para UNION (figura 7.153) la tendencia es hacia la amplificación de los desplazamientos, las trayectorias de las respuestas presentan pequeños picos pero en general son similares para los distintos porcentajes de excentricidad. Con

SMRZA (figura 7.154) y **TMANZ** (figura 7.155) se presentan amplificaciones casi con tendencias de trayectorias similares para los distintos porcentajes de excentricidad. La tabla 7.20 presenta los factores de amplificación y deamplificación respectivos.

Tabla 7.20
Factores de amplificación cuando e es en un sentido y $V_y=0.1W$ en el aislador 13

E (%L)	Sismo											
	UNION				SMRZA				TMANZ			
	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}	Mín	T_{min}	Máx	T_{max}
5	1.11	2.2	1.32	1.9	0.85	2.1	1.39	1.7	0.82	2.3	1.30	3.0
10	1.07	2.2	1.52	1.9	0.81	2.0	1.80	1.7	1.02	2.3	1.78	3.0
15	1.29	1.8	1.73	1.6	1.24	1.8	2.40	2.3	1.17	1.5	2.43	2.9
20	1.28	1.7	1.80	1.9	1.39	2.0	2.90	2.3	1.30	1.5	3.38	2.1

7.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE EXCENTRICIDAD BIDIRECCIONAL Y EXCENTRICIDAD EN UN SENTIDO.

Se establece la normalización de los resultados obtenidos cuando el porcentaje de excentricidad del **CR** con respecto al **CM** se presenta bidireccionalmente con respecto a los observados cuando dichos porcentajes se generan sólo en un sentido, en la superestructura y en el sistema de aislamiento del modelo en estudio; para conocer ante que tipo de excentricidad se producen los máximos desplazamientos dinámicos. Para ello se graficaron los desplazamientos máximos de ambos casos y ante los distintos porcentajes de excentricidad e y de fuente de excitación.

7.3.1 Comparación entre excentricidades unidireccional (mismo sentido y dirección) y bidireccional (mismo sentido y dirección).

Se comparan los desplazamientos dinámicos máximos obtenidos cuando la excentricidad de los **CR** con respecto a los **CM** es unidireccional, en el mismo sentido y dirección, en el sistema de aislamiento y en la superestructura (figura 7.1); con aquellos registrados cuando dichas excentricidades son bidireccionales, en el mismo sentido y dirección (figura 7.4).

En las figuras 7.156 a 7.158 se observan las normalizaciones correspondientes para el aislador número 4, con un porcentaje de excentricidad $V_y = 0.05W$ y ante la acción bidireccional del movimiento del terreno de los registros **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ**,

respectivamente. Las figuras 7.159 a 7.161 muestran los mismo casos pero con $V_y = 0.1W$. Para el aislador número 13 se presentan las figuras 7.162 a 7.164 para $V_y = 0.05W$ y 7.165 a 7.167 para $V_y = 0.1W$. De estas figuras se mencionan los siguientes comentarios.

Para el aislador número 4 y ante **UNION** (figuras 7.156 y 7.159) los mayores desplazamientos se generan cuando la excentricidad se presenta bidireccionalmente en general para los porcentajes de e (notándose más al incrementar el porcentaje de excentricidad); sin embargo, se presentan intervalos en los que rigen los desplazamientos obtenidos con excentricidades unidireccionales, sobre todo para $e=0.05L$ donde las respuestas son parecidas para ambos casos de excentricidad para $V_y = 0.05W$ y con variantes para $V_y=0.1W$. Ante **SMRZA** (figuras 7.157 y 7.160) se tiene que para $V_y=0.1W$ ante mayores porcentajes de e los desplazamientos máximos ocurridos ante excentricidad bidireccional tienden a ser menores a los registrados cuando la excentricidad se da en un solo sentido; para $V_y=0.05W$ los valores son similares para ambos casos de excentricidad y ante los distintos porcentajes de la misma, pero se presenta un intervalo a partir de $T_a = 2.1$ segundos y hasta $T_a=2.7$ segundos donde al incrementar el valor de e los desplazamientos por excentricidad bidireccional se disparan con respecto a los de la unidireccional, mostrando un pico en $T_a=2.4$ segundos. Ante **TMANZ** (figuras 7.158 y 7.161) las respuestas de la excentricidad bidireccional son mayores a las de la unidireccional para $V_y=0.05W$; cuando $V_y = 0.1W$ el comportamiento es el opuesto, generando mayores desplazamientos ante excentricidad en un solo sentido, tendencia que tiende a revertirse con el incremento de e .

Para el aislador número 13 ante **UNION** (figuras 7.162 y 7.165) los mayores desplazamientos cuando $V_y=0.05W$ se registran en general cuando la excentricidad se presenta bidireccionalmente para los distintos porcentajes de e ; sin embargo, se observan intervalos en los que rigen los desplazamientos obtenidos con excentricidades unidireccionales, sobre todo alrededor de $T_a=2.0$ segundos; cuando $V_y= 0.1W$ se presenta el comportamiento opuesto, generándose mayores desplazamientos cuando la excentricidad del **CR** con respecto al **CM** es unidireccional. Ante **SMRZA** (figuras 7.163 y 7.166) se observan comportamientos similares a los señalados en el aislador número 4, sólo que los valores del cociente son algo menores. Ante **TMANZ** las (figuras 7.164 y 7.167) sucede lo mismo que ante **SMRZA** (similares cocientes a los del aislador número 4), salvo que cuando $V_y=0.05W$ se observa mayores diferencias entre los distintos porcentajes de excentricidad.

7.3.2 Comparación entre excentricidades unidireccional (mismo sentido y distinta dirección) y bidireccional (distintos sentido y dirección).

Se comparan los desplazamientos dinámicos máximos obtenidos cuando la excentricidad de los **CR** con respecto a los **CM** es unidireccional, en el mismo sentido y distinta dirección, en el sistema de aislamiento y en la superestructura (figura 7.2); con

aquellos registrados cuando dichas excentricidades son bidireccionales, con distinto sentido y dirección (figura 7.5).

En las figuras 7.168 a 7.170 se muestran los cocientes correspondientes para el aislador número 4, con un porcentaje de excentricidad $V_y = 0.05W$ y ante la acción bidireccional del movimiento del terreno de los registros **UNION**, **SMRZA** y **TMANZ**, respectivamente. Las figuras 7.171 a 7.173 se tienen los mismo casos pero con $V_y = 0.1W$. Para el aislador número 13 se presentan las figuras 7.174 a 7.176 para $V_y = 0.05W$ y 7.177 a 7.179 para $V_y = 0.1W$. De estas figuras se tiene:

En general, para el aislador número 4 y ante **UNION** (figuras 7.168 y 7.171) para $V_y=0.05W$ los mayores desplazamientos se generan cuando la excentricidad se presenta bidireccionalmente, para los porcentajes de e (notándose más al incrementar el porcentaje de excentricidad y alrededor de $T_a=2.2$ segundos); sin embargo, se presentan intervalos en los que rigen los desplazamientos obtenidos con excentricidades unidireccionales, sobre todo para $e=0.05L$ y $e=0.1L$ donde las respuestas son parecidas para ambos casos de excentricidad al inicio del intervalo de T_a y posterior a $T_a=2.6$ segundos; para $V_y=0.1W$ el comportamiento es similar al de $V_y=0.05W$, pero cuando los desplazamientos que rigen son los de excentricidad en una dirección, son más notorios. Ante **SMRZA** (figuras 7.169 y 7.172) se tiene que para $V_y=0.1W$ los desplazamientos máximos ocurridos ante excentricidad bidireccional tienden a ser menores a los registrados cuando la excentricidad se da en un solo sentido, invirtiéndose sólo cuando $e=0.2L$; para $V_y=0.05W$ los mayores valores son marcadamente los obtenidos cuando la excentricidad es bidireccional, pero se presentan periodos donde los desplazamientos por excentricidad unidireccional son los que rigen. Ante **TMANZ** (figuras 7.170 y 7.173) las respuestas de la excentricidad bidireccional son mayores a las de la unidireccional para $V_y=0.05W$; cuando $V_y = 0.1W$ el comportamiento es el opuesto, generando mayores desplazamientos ante excentricidad en un solo sentido, tendencia que tiende a revertirse con el incremento de e , sobre todo a partir de $T_a=2.0$ segundos.

Para el aislador número 13 ante **UNION** (figuras 7.174 y 7.177) los mayores desplazamientos cuando $V_y=0.05W$ se generan cuando la excentricidad se presenta bidireccionalmente en general para los distintos porcentajes de e ; sin embargo, se observan intervalos en los que rigen los desplazamientos obtenidos con excentricidades unidireccionales; cuando $V_y=0.1W$ se presenta el comportamiento opuesto, generándose mayores desplazamientos cuando la excentricidad del **CR** con respecto al **CM** es unidireccional; cabe mencionar que las trayectorias a lo largo del intervalo de periodos T_a para ambas variantes del cortante de fluencia muestran picos y cambios constantemente. Ante **SMRZA** (figuras 7.175 y 7.178) se observan comportamientos similares a los señalados en el aislador número 4, sólo que los valores del cociente son algo menores. Ante **TMANZ** (figuras 7.176 y 7.179) se observa que cuando $V_y=0.05W$ al inicio del intervalo de T_a rigen los desplazamientos cuando las excentricidades son bidireccionales, pero al avanzar el intervalo de periodos el cociente se revierte y los mayores valores se obtienen cuando la excentricidad es unidireccional; cuando $V_y=0.1W$ los mayores desplazamientos son cuando la excentricidad es unidireccional, sobre todo al inicio del intervalo de periodos.

7.4 COMENTARIOS FINALES AL CAPÍTULO.

Se presentan a continuación las conclusiones observadas en este capítulo:

- En general, ante la acción de **SMRZA** los ángulos que describen los desplazamientos dinámicos presentan trayectorias constantes a lo largo del intervalo de periodos T_a . Con **UNION** se observó cierta variación en las trayectorias de desplazamientos. Para **TMANZ** los ángulos presentan variaciones (que en algunos casos son las más abruptas) más notorias cuando la excentricidad es bidireccional, cuando es unidireccional existen casos en que el comportamiento es generalmente constante a lo largo del intervalo T_a .
- De nueva cuenta en la mayoría de los casos la excitación bidireccional produce respuestas amplificadas de las respuestas con registros unidireccionales; existiendo excepciones en algunos intervalos y registros, más marcadas en cuanto más distintas son las excentricidades del sistema de aislamiento con las de la superestructura. Generalmente cuando la excentricidad es unidireccional las mayores amplificaciones se dan en el aislador 13, cuando la excentricidad es bidireccional se dan con el aislador 4. Al aumentar el porcentaje de excentricidad no se observan modificaciones importantes de las amplificaciones cuando la excentricidad es unidireccional, exceptuando cuando las excentricidades del sistema de aislamiento y de la superestructura están en distinto sentido y dirección (figura 7.3); cuando la excentricidad es bidireccional se observan también importantes cambios con el incremento de e . Asimismo es notorio que con excentricidad bidireccional las amplificaciones son más semejantes para los mismos porcentajes de e y distintas ubicaciones de las excentricidades, esto también se observa con excentricidad unidireccional excepto cuando las excentricidades se encuentran en sentido y dirección distintos. No se distingue ningún patrón que establezca donde se generan los mayores picos de amplificación.
- Las variaciones más notorias de amplificación de la respuesta (excitación sísmica bidireccional vs un sentido) se obtienen con **TMANZ**, $V_y=0.1W$ y con **SMRZA**, $V_y=0.1W$; encontrándose extremos de amplificación de 5.4 como máximo y 2.0 como mínimo, componente **E-W** para $e=0.05L$ unidireccional, en el mismo sentido pero distinta dirección; 4.8 como máximo y 2.0 como mínimo, componente **E-W** para $e=0.2L$ bidireccional, en distinto sentido y dirección.
- Con excentricidad unidireccional y $V_y=0.05W$ se genera mejor comportamiento de los aisladores que cuando $V_y=0.1W$, donde se presentan desplazamientos que no alcanzan la demanda de ductilidad, es decir, no fluyen; cuando la excentricidad es bidireccional además del comportamiento lineal cuando $V_y=0.1W$, se presentan también algunas respuestas lineales con $V_y=0.05W$ para **UNION** y **SMRZA**. El aislador que registra el mayor comportamiento no lineal cuando la excentricidad es unidireccional es el 4, cuando la excentricidad es bidireccional el comportamiento no lineal mayor se da en el aislador 13 cuando la excitación es unidireccional y varía entre el aislador 13 y el aislador 4 cuando la excitación es bidireccional.

- Al incrementar los porcentajes de excentricidad, cuando ésta es unidireccional, se encontró que las demandas de ductilidad van aumentando ligeramente, siendo la respuesta más inelástica cuanto mayor es la excentricidad; se observa también cocientes prácticamente iguales, cuando la excitación es unidireccional, entre excentricidades en el mismo sentido y dirección y excentricidades en el mismo sentido y distinta dirección. Cuando la excentricidad es bidireccional el cociente de desplazamiento dinámico vs desplazamiento de fluencia tiende a ser menor con el incremento de la excentricidad, ya que para establecer los incrementos de e se aumentó la rigidez efectiva del sistema de aislamiento para los aisladores con rigidez k_2 y disminuyó en los aisladores con rigidez k_1 (figura 6.2), reduciendo así el desplazamiento de fluencia de los aisladores k_2 (aisladores 4 y 13 en estudio). En todos los casos el mayor comportamiento inelástico es al inicio del intervalo T_a . Con excentricidades unidireccionales los cocientes rebasan el límite de nueve (para el buen funcionamiento de aisladores bidireccionales) asociado a la curva primaria del UBC para $k_1/k_2=0.10$, con TAMNZ prácticamente a partir de $e=0.1L$ para excitación unidireccional (excepto cuando las excentricidades presentan sentido y direcciones distintas, donde nunca se rebasa este límite) y de $e=0.05L$ para excitación bidireccional; el valor máximo alcanzado es de 18 veces el de fluencia cuando $e=0.2L$ y la excitación es bidireccional, con excentricidades en el mismo sentido y dirección. Con excentricidades bidireccionales dicho límite no es superado por lo ya mencionado anteriormente.
- Se observan variaciones de las respuestas cuando se normalizan los desplazamientos de aisladores del modelo con excentricidades unidireccionales con respecto al modelo sin excentricidad, con el aumento del cortante de fluencia se presentan mayores amplificaciones en ambos aisladores para UNION y SMRZA, para TMANZ se genera un cambio de comportamiento. Ante las distintas propuestas de excentricidad unidireccional las tendencias de amplificación y/o deamplificación de los desplazamientos son similares, con sólo algunas modificaciones para TMANZ y UNION. Entre los dos aisladores en estudio se observaron semejanzas en el incremento de desplazamientos ante excentricidad cuando el registro empleado era SMRZA o TMANZ y diferencias cuando se excitaba al modelo con UNION. Los valores extremos de amplificación y deamplificación de respuesta obtenidos fueron: para excentricidades en el mismo sentido y dirección, para el aislador 4, 3.50 (amplificación) con TMANZ, $V_y=0.1W$ y $T_a=2.1$ s y de 0.74 (deamplificación) con UNION, $V_y=0.1W$ y $T_a=2.2$ s; para el aislador 13, 5.80 (amplificación) con TMANZ, $V_y=0.1W$ y $T_a=2.1$ s y de 0.50 (deamplificación) con UNION, $V_y=0.05W$ y $T_a=1.5$ s. Para excentricidades en el mismo sentido y distinta dirección, para el aislador 4, 3.69 (amplificación) con TMANZ, $V_y=0.1W$ y $T_a=2.1$ s y de 0.52 (deamplificación) con UNION, $V_y=0.05W$ y $T_a=2.0$ s; para el aislador 13, 5.80 (amplificación) con TMANZ, $V_y=0.1W$ y $T_a=1.8$ s y de 0.85 (deamplificación) con SMRZA, $V_y=0.05W$ y $T_a=1.9$ s. Para excentricidades en distinto sentido y dirección, para el aislador 4, 3.54 (amplificación) con TMANZ, $V_y=0.05W$ y $T_a=2.1$ s y de 0.64 (deamplificación) con UNION, $V_y=0.05W$ y $T_a=2.0$ s; para el aislador 13, 6.0 (amplificación) con TMANZ, $V_y=0.1W$ y $T_a=2.4$ s y de 0.98 (deamplificación) con TMANZ, $V_y=0.05W$ y $T_a=1.5$ s.
- Cuando el modelo presenta excentricidad bidireccional y relacionando las respuestas con las del modelo sin excentricidad, se encontraron nuevamente distintos

comportamientos (amplificaciones, deamplificaciones) ante las dos propuestas de excentricidades. Con el incremento en el cortante de fluencia no se observan aumentos considerables de respuesta como cuando las excentricidades eran unidireccionales, más bien se observan valores similares en los picos; lo que se conserva son las trayectorias para **UNION** y **SMRZA**, variando nuevamente para **TMANZ**. En este caso si se observan ciertas variaciones en el comportamiento de las amplificaciones de respuesta entre las dos propuestas de excentricidad bidireccional. Los valores extremos de amplificación y deamplificación de respuesta obtenidos fueron: para excentricidades en el mismo sentido y dirección, para el aislador 4, 2.20 (amplificación) con **TMANZ**, $V_y=0.1W$ y $T_a=2.9$ s y de 0.78 (deamplificación) con **UNION**, $V_y=0.1W$ y $T_a=3.0$ s; para el aislador 13, 2.15 (amplificación) con **TMANZ**, $V_y=0.1W$ y $T_a=3.0$ s y de 0.80 (deamplificación) con **UNION**, $V_y=0.1W$ y $T_a=3.0$ s. Para excentricidades en distinto sentido y dirección, para el aislador 4, 2.90 (amplificación) con **SMRZA**, $V_y=0.1W$ y $T_a=2.3$ s y de 0.71 (deamplificación) con **SMRZA**, $V_y=0.05W$ y $T_a=1.9$ s; para el aislador 13, 2.90 (amplificación) con **SMRZA**, $V_y=0.1W$ y $T_a=2.3$ s y de 0.82 (deamplificación) con **SMRZA**, $V_y=0.05W$ y $T_a=1.9$ s.

- Generalmente las mayores respuestas se obtienen cuando las excentricidades son bidireccionales y $V_y=0.05W$. Cuando $V_y=0.1W$ gran parte de las respuestas son mayores cuando la excentricidad es unidireccional.
- En general, se observó que para el registro **TMANZ** al variar el cortante de fluencia cambia la tendencia de las respuestas máximas del sistema, mientras que ante la acción de los otros registros la respuesta tiende a variaciones menores.

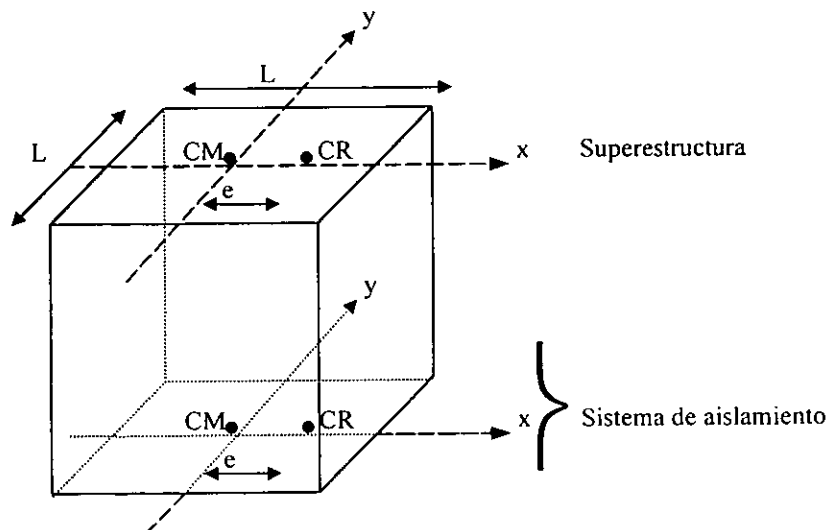


Figura 7.1 Excentricidades en un sentido de los **CR** con respecto a los **CM**, tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento, en el mismo sentido y dirección.

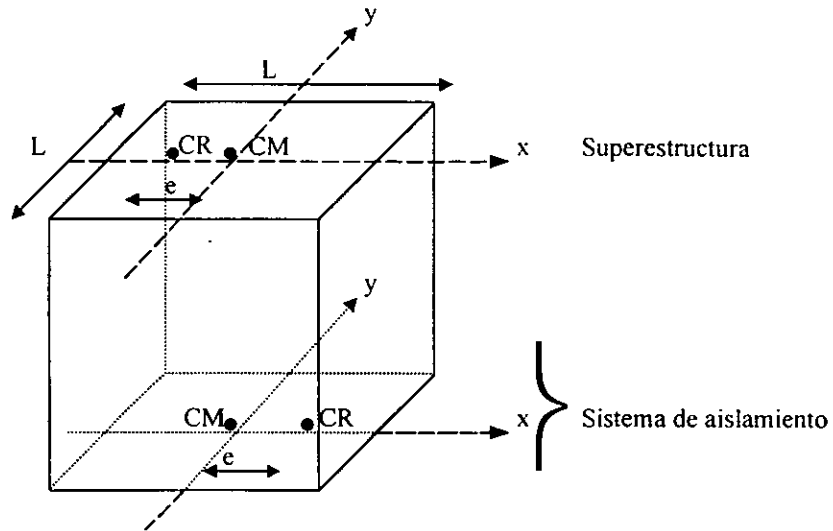


Figura 7.2 Excentricidades en un sentido de los **CR** con respecto a los **CM**, tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento, en el mismo sentido pero con diferente dirección.

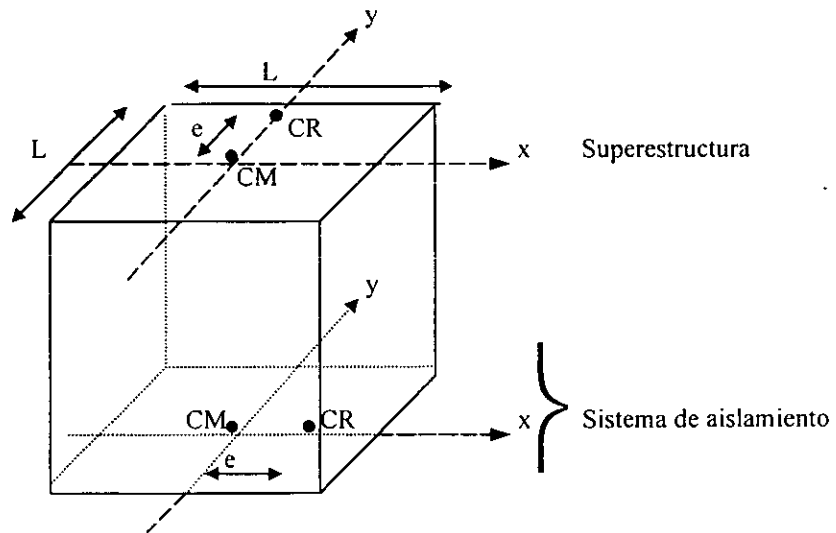


Figura 7.3 Excentricidades en un sentido de los **CR** con respecto a los **CM**, tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento, en distintos sentidos y direcciones.

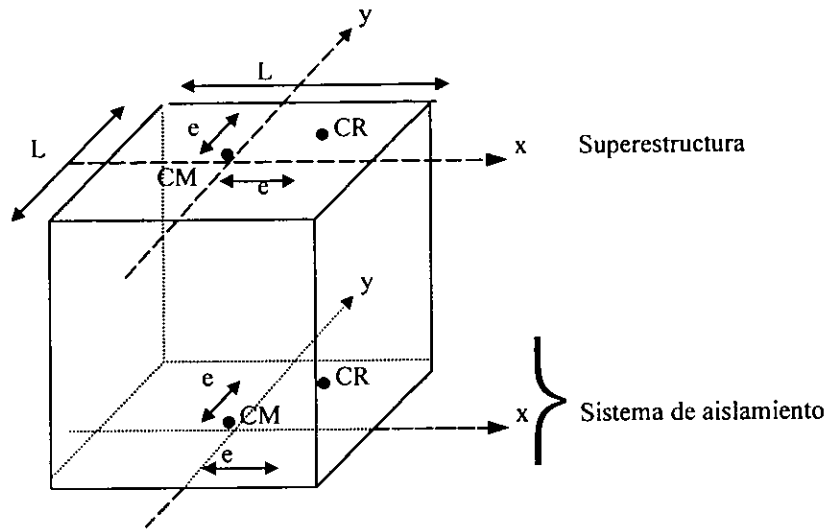


Figura 7.4 Excentricidades en ambos sentidos de los **CR** con respecto a los **CM**, tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento, con iguales sentidos y direcciones.

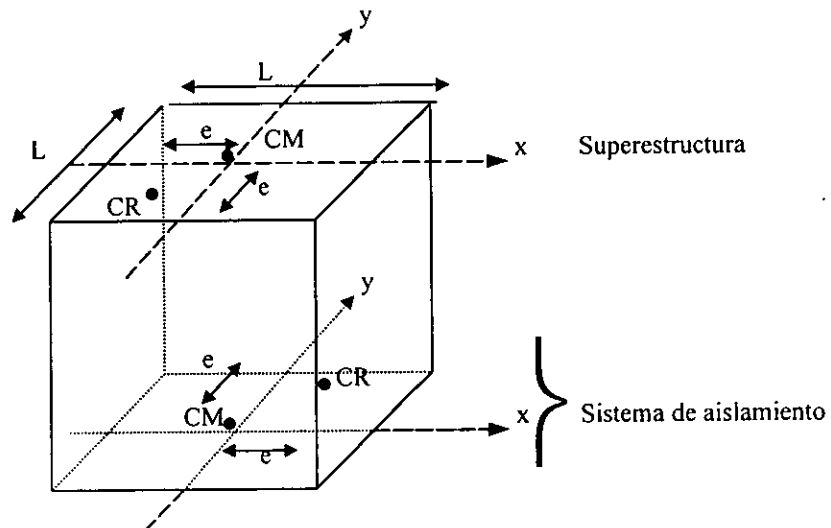


Figura 7.5 Excentricidades en ambos sentidos de los **CR** con respecto a los **CM**, tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento, con igual sentidos y direcciones contrarias.

Figura 7.6

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en un sentido

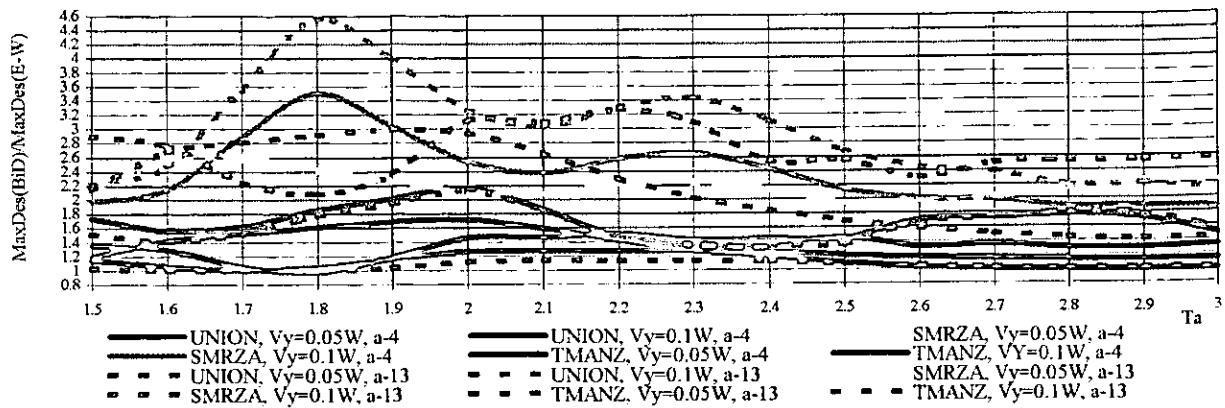


Figura 7.7

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en un sentido

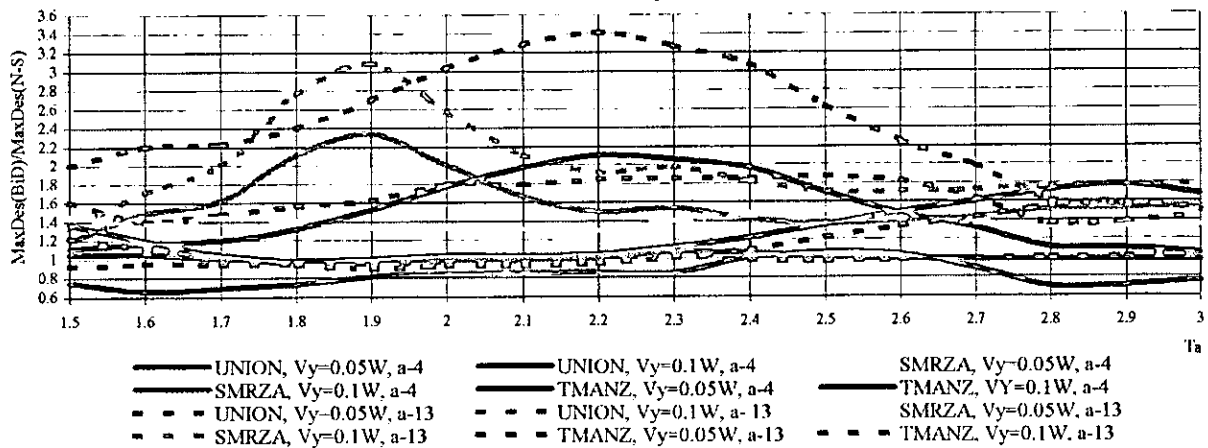


Figura 7.8

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en un sentido

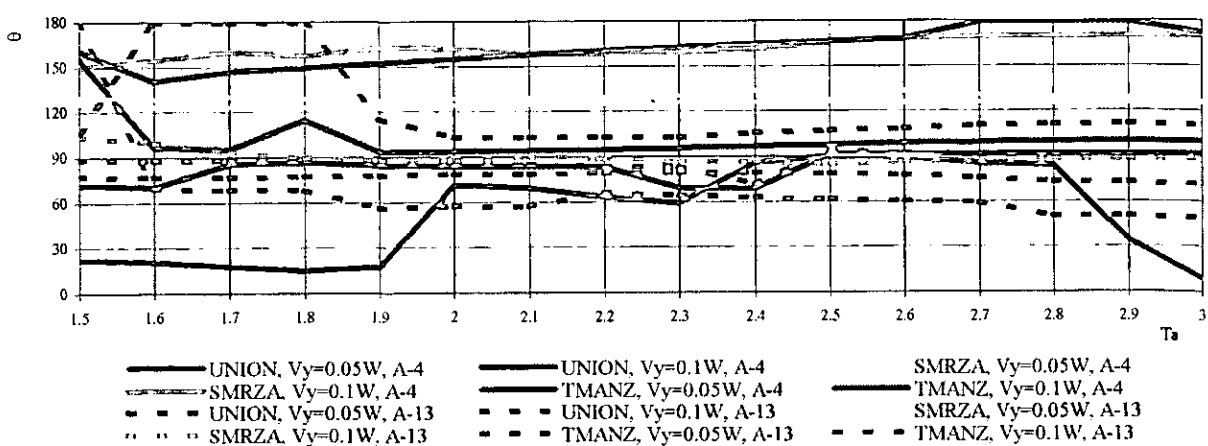


Figura 7.9

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en un sentido

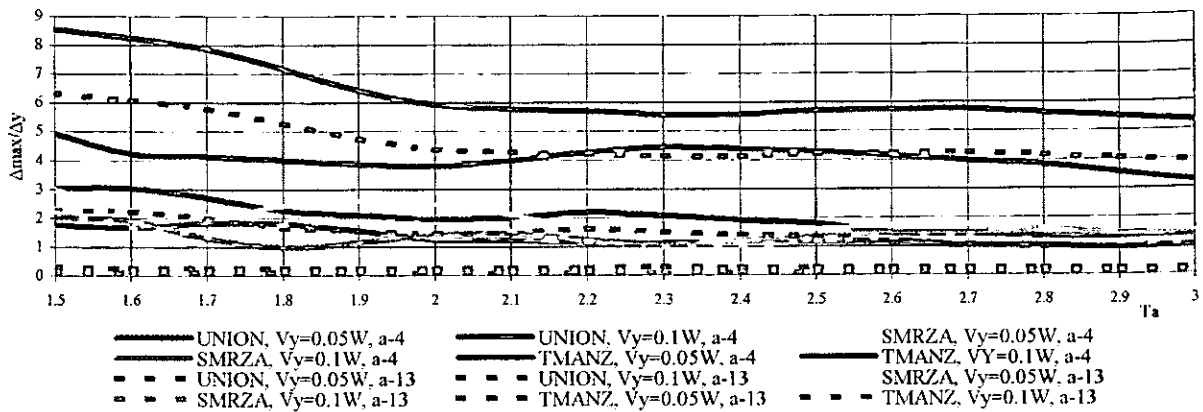


Figura 7.10

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en un sentido

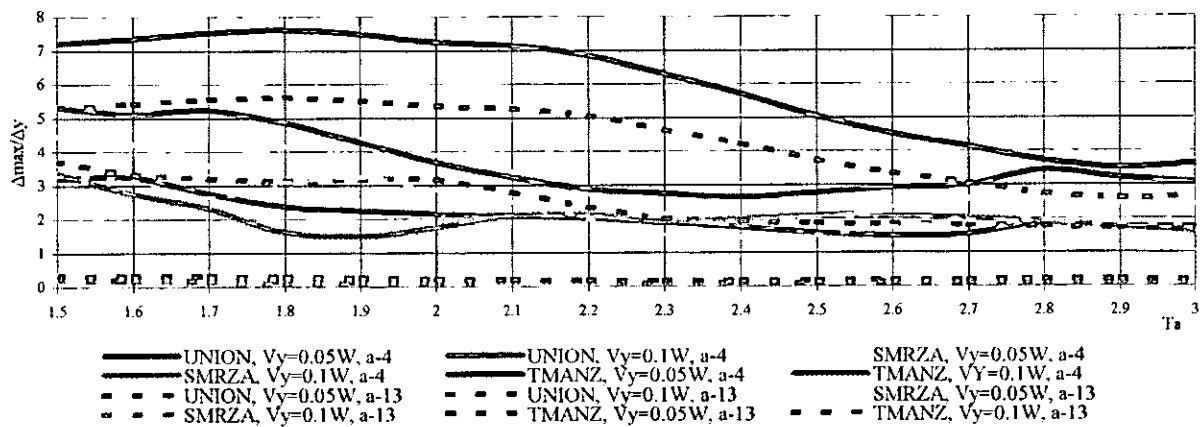


Figura 7.11

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en un sentido

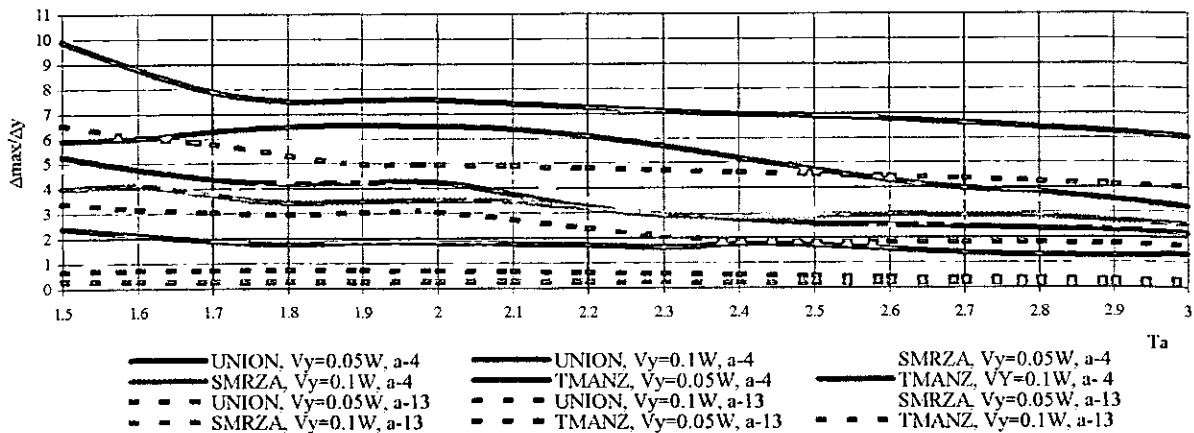


Figura 7.12

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en un sentido

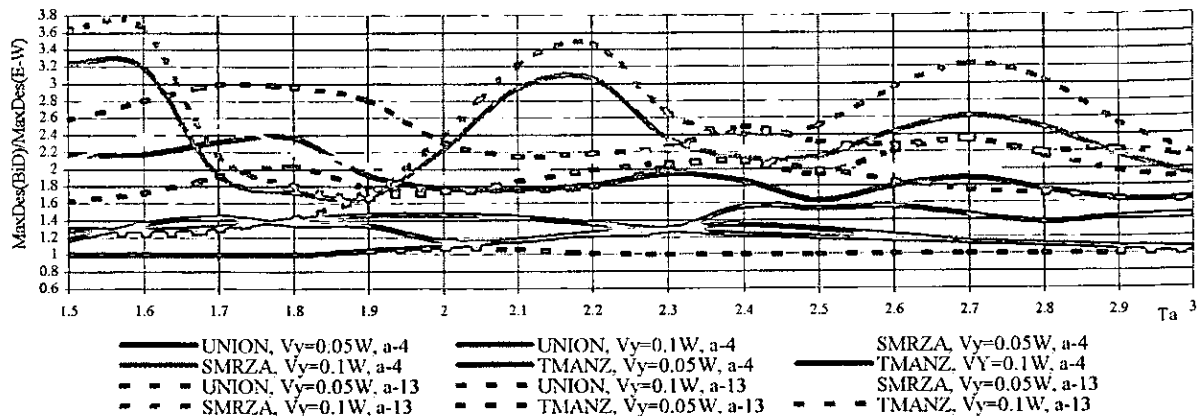


Figura 7.13

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos generales normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en un sentido

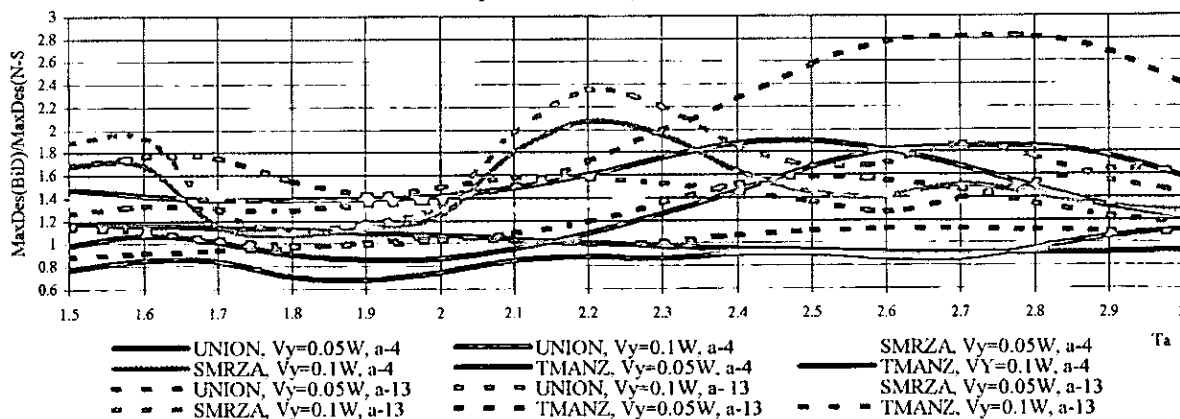


Figura 7.14

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en un sentido

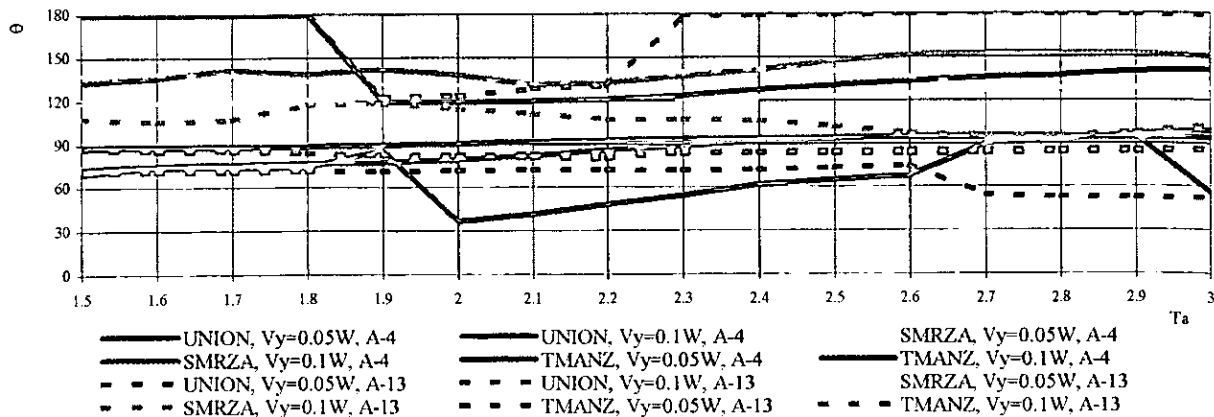


Figura 7.15

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en un sentido

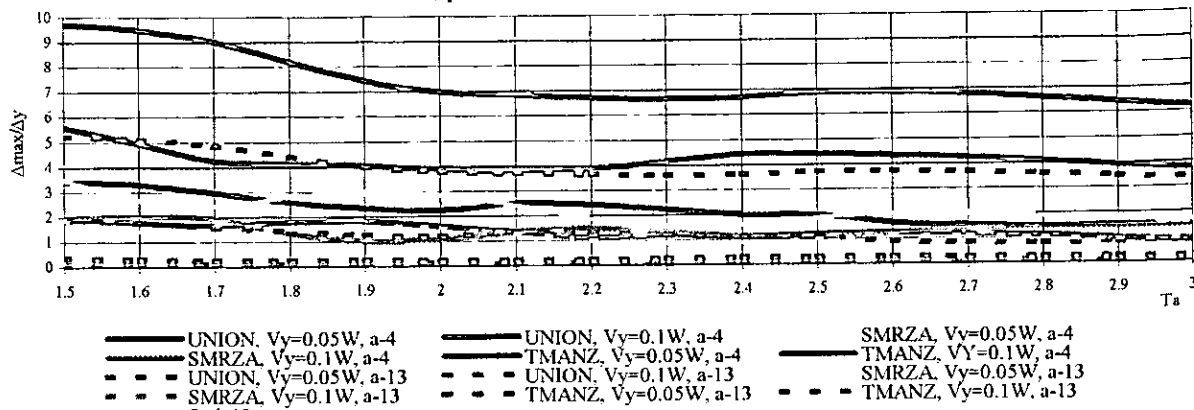


Figura 7.16

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en un sentido

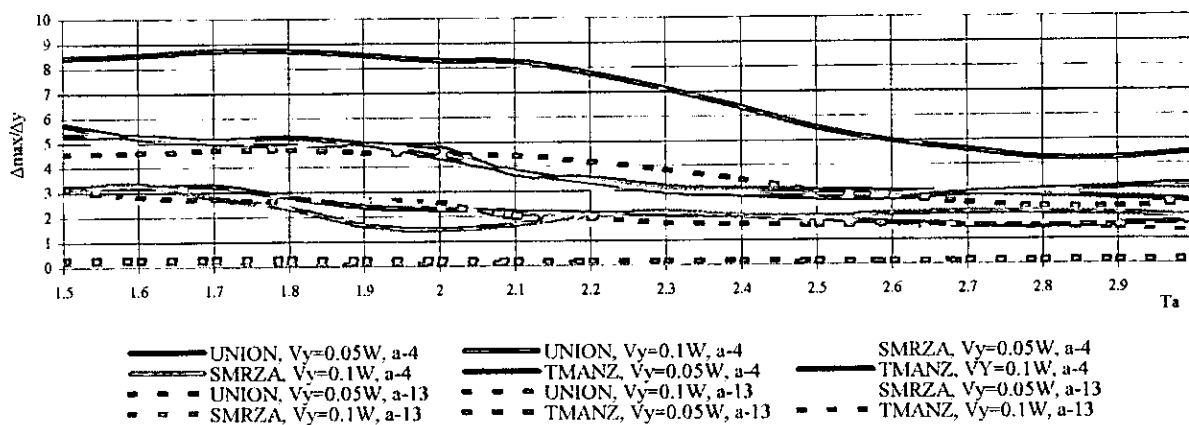


Figura 7.17

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en un sentido

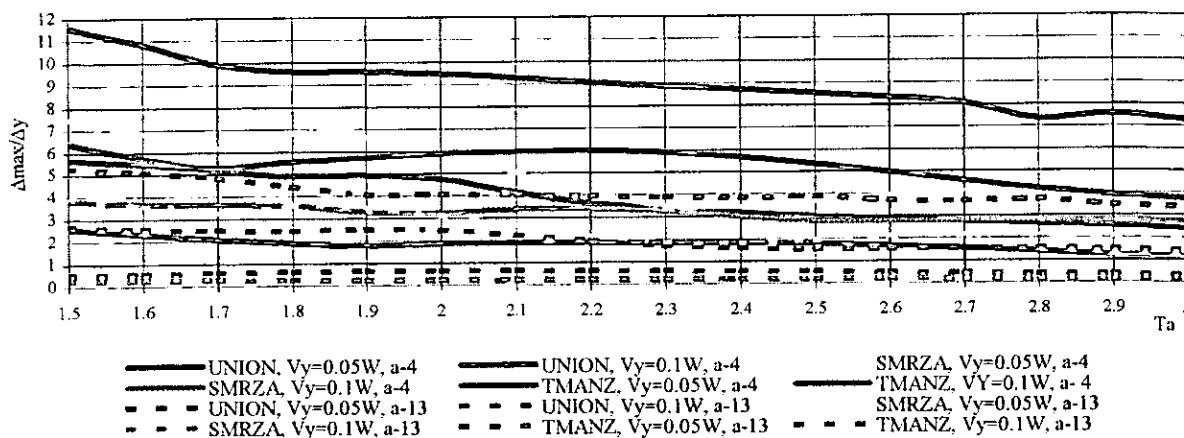


Figura 7.18

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en un sentido

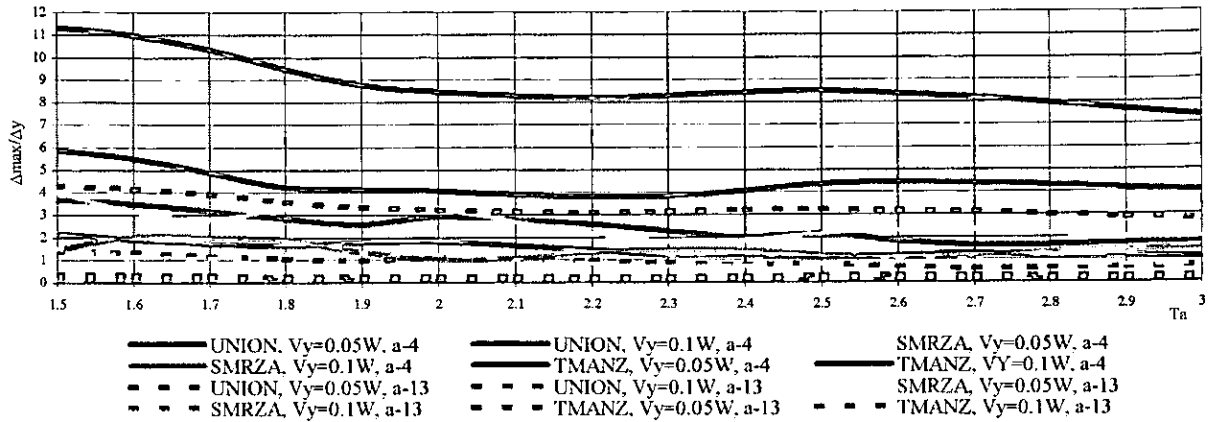


Figura 7.19

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en un sentido

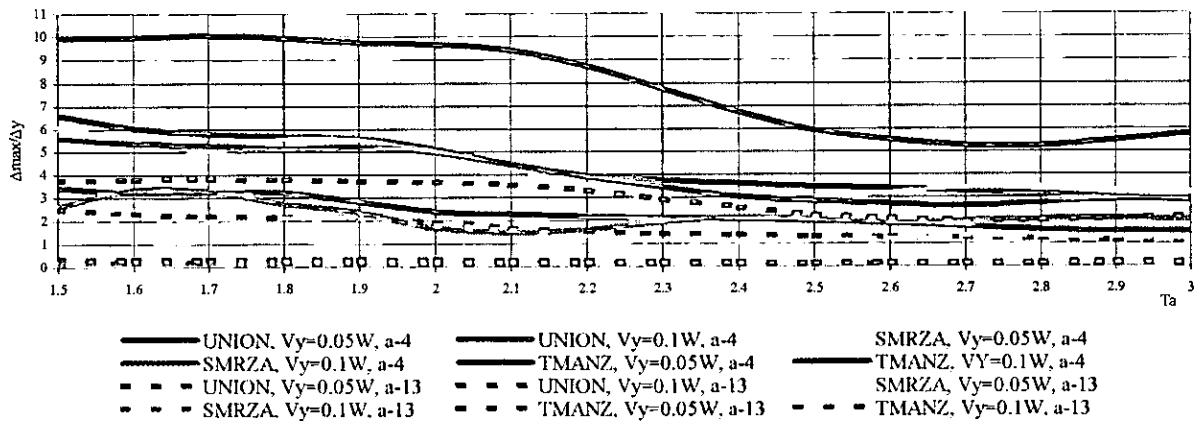


Figura 7.20

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en un sentido

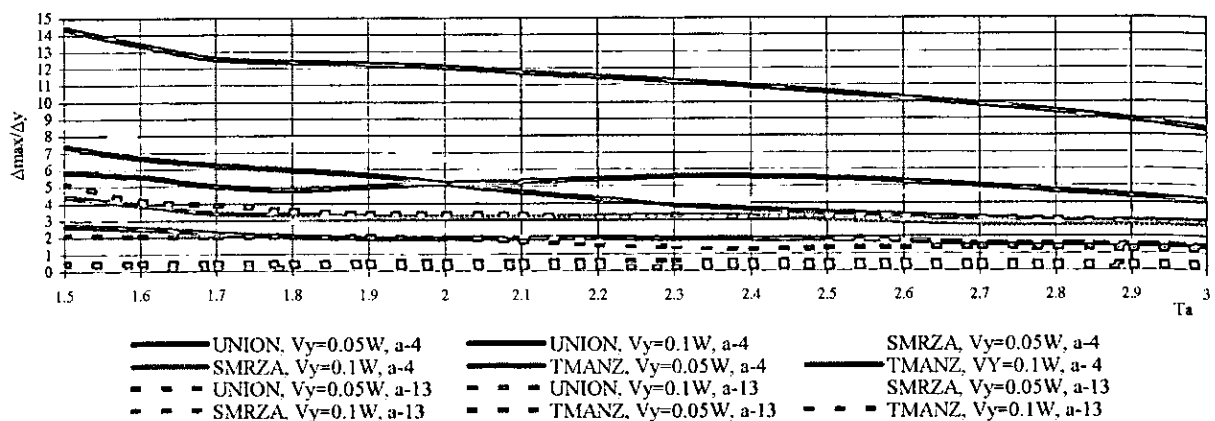


Figura 7.21

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en un sentido

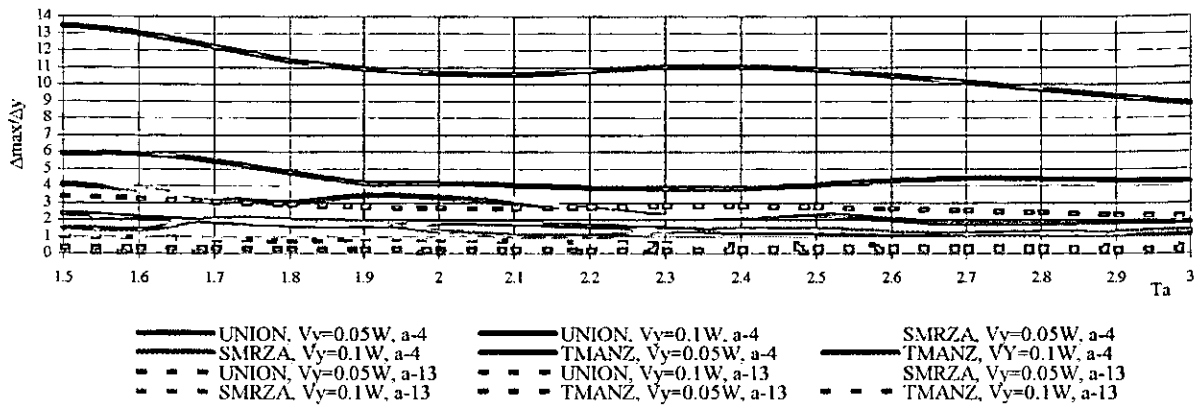


Figura 7.22

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en un sentido

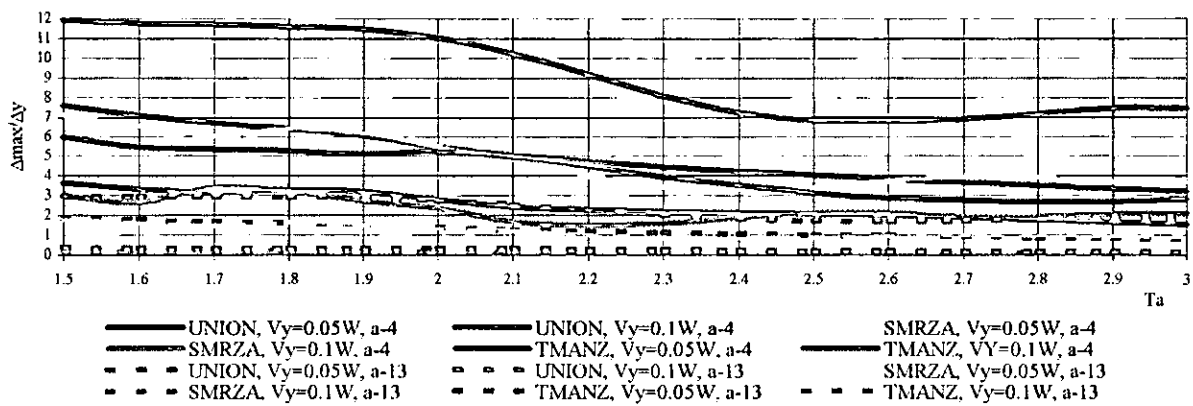


Figura 7.23

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en un sentido

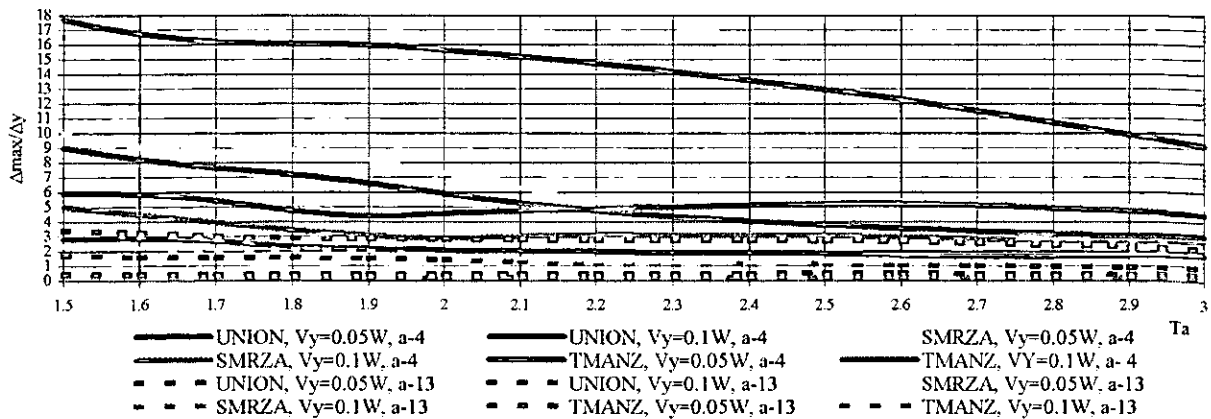


Figura 7.24

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en un sentido

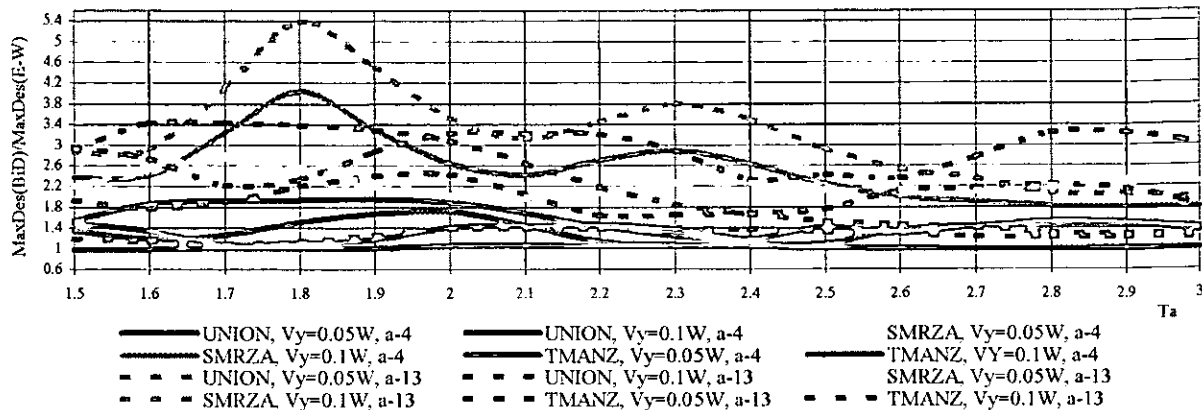


Figura 7.25

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en un sentido

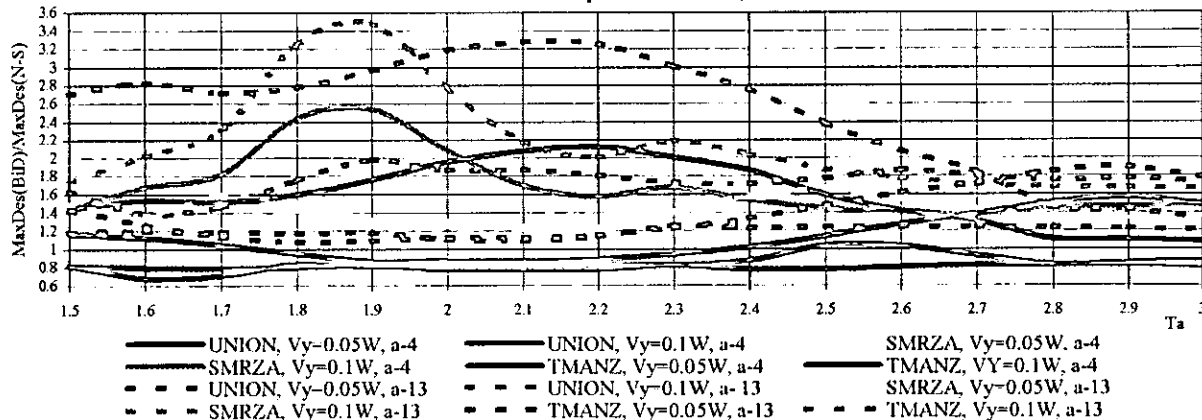


Figura 7.26

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en un sentido

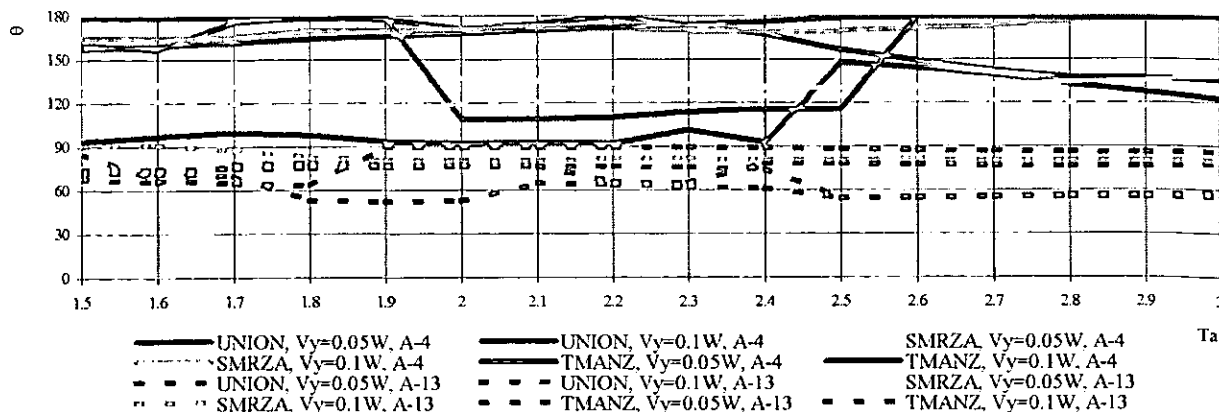


Figura 7.27

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en un sentido

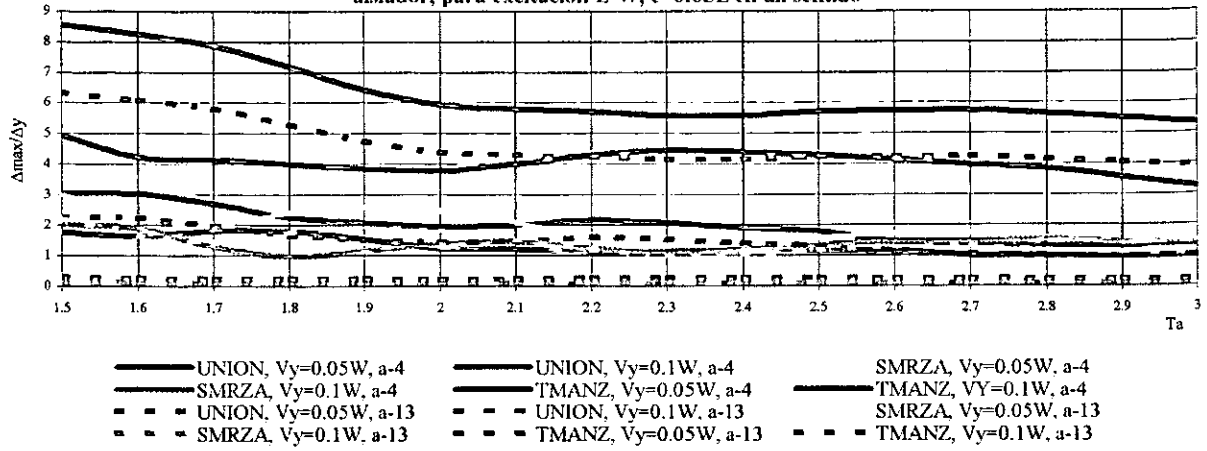


Figura 7.28

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en un sentido

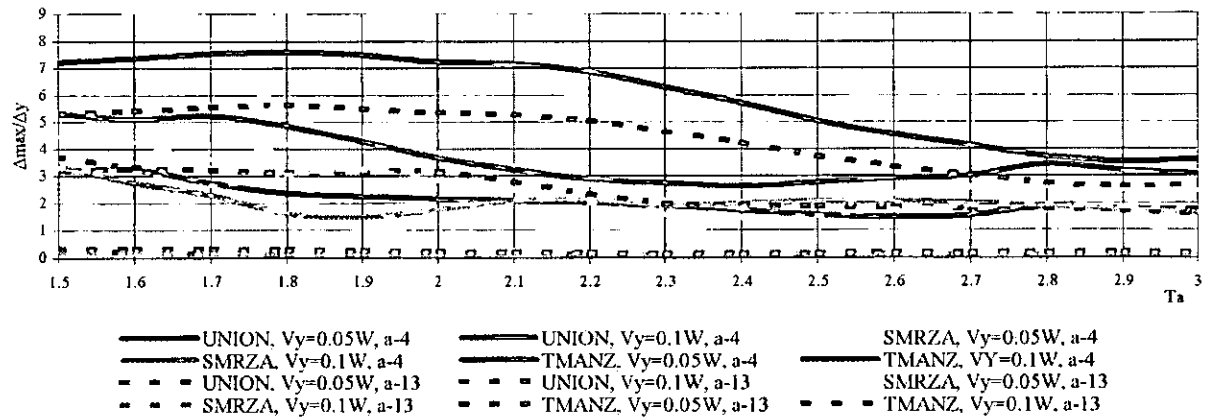


Figura 7.29

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en un sentido

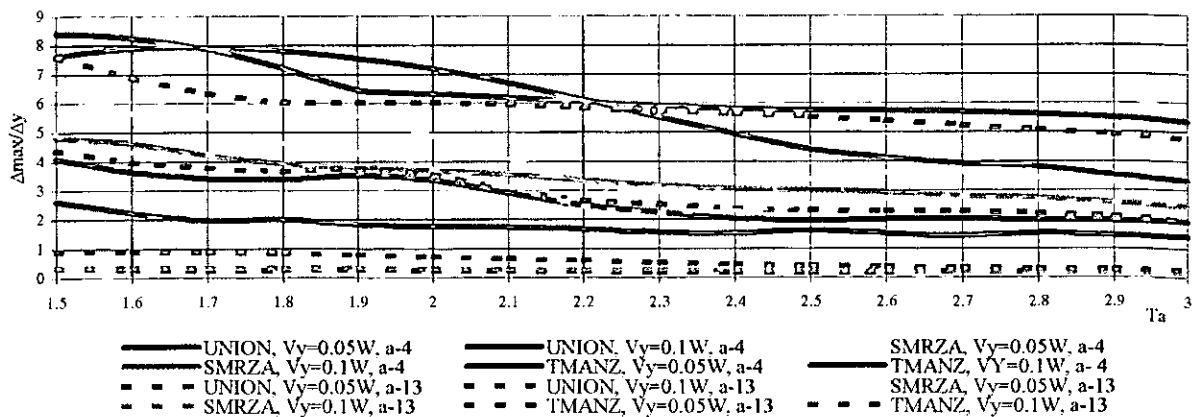


Figura 7.30

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en un sentido

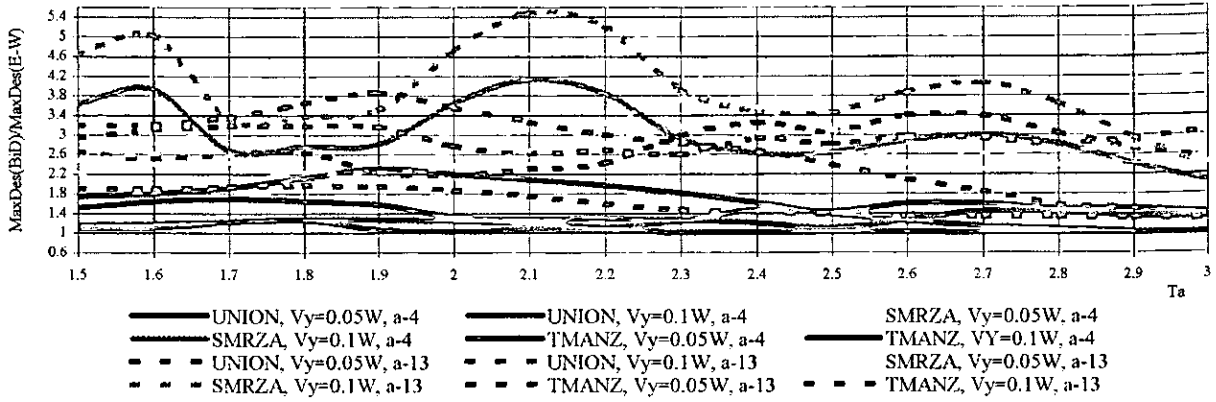


Figura 7.31

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos generales normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en un sentido

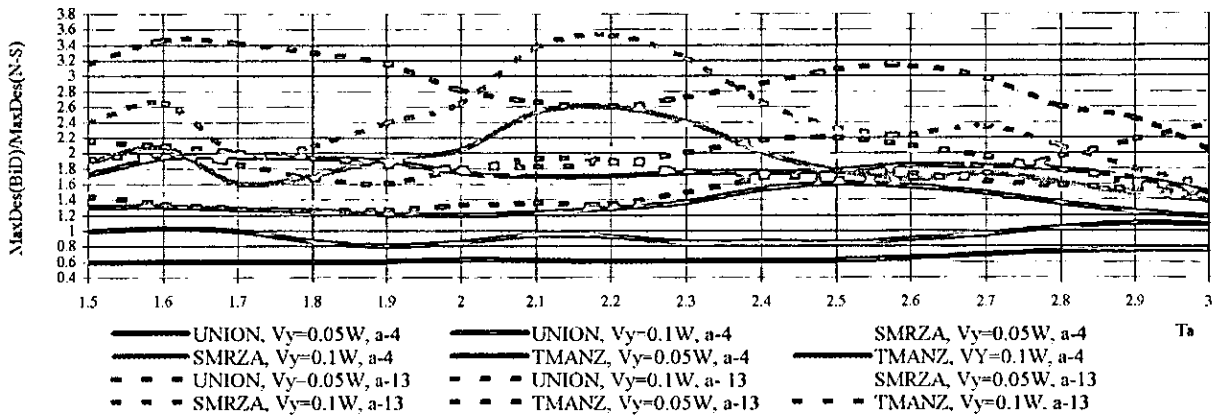


Figura 7.32

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en un sentido

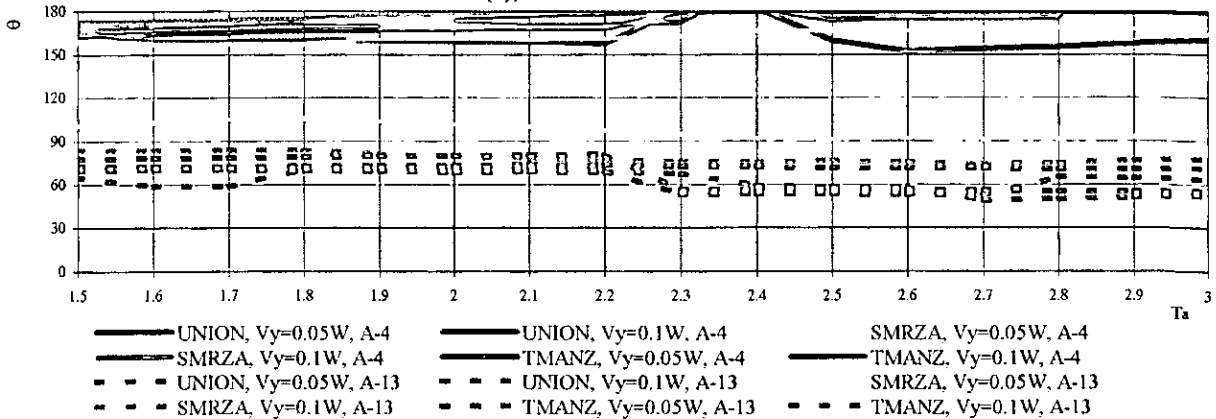


Figura 7.33

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en un sentido

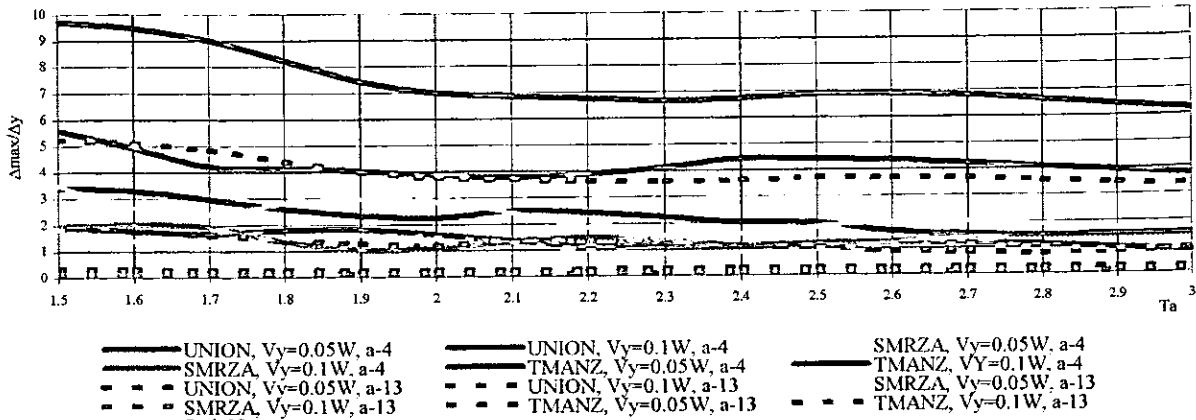


Figura 7.34

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en un sentido

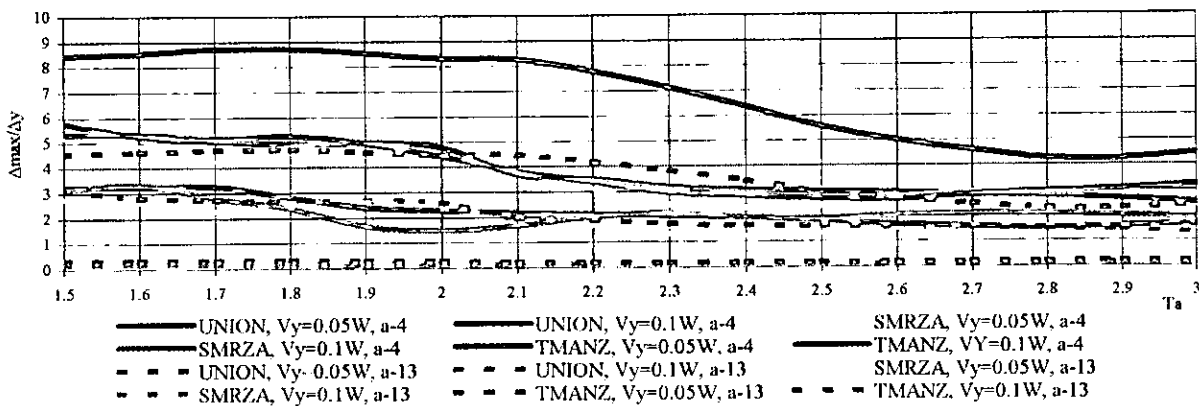


Figura 7.35

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en un sentido

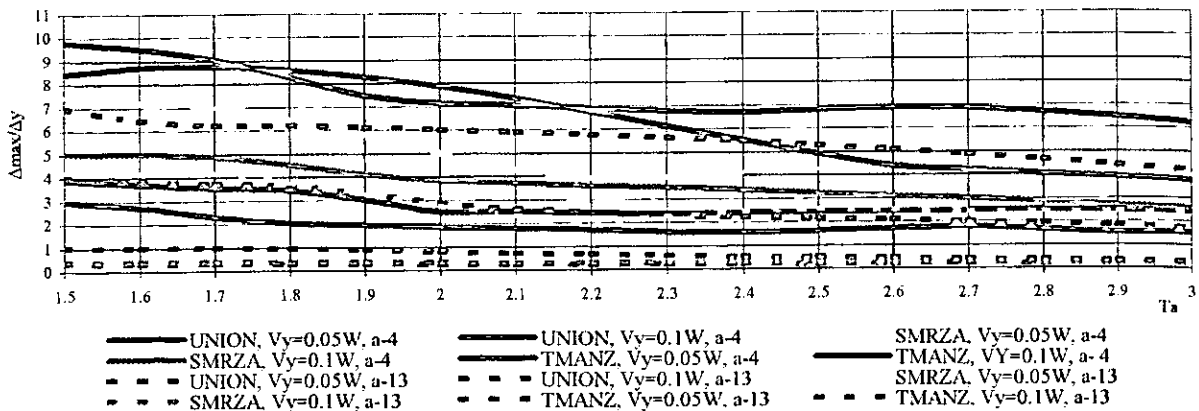


Figura 7.36

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en un sentido

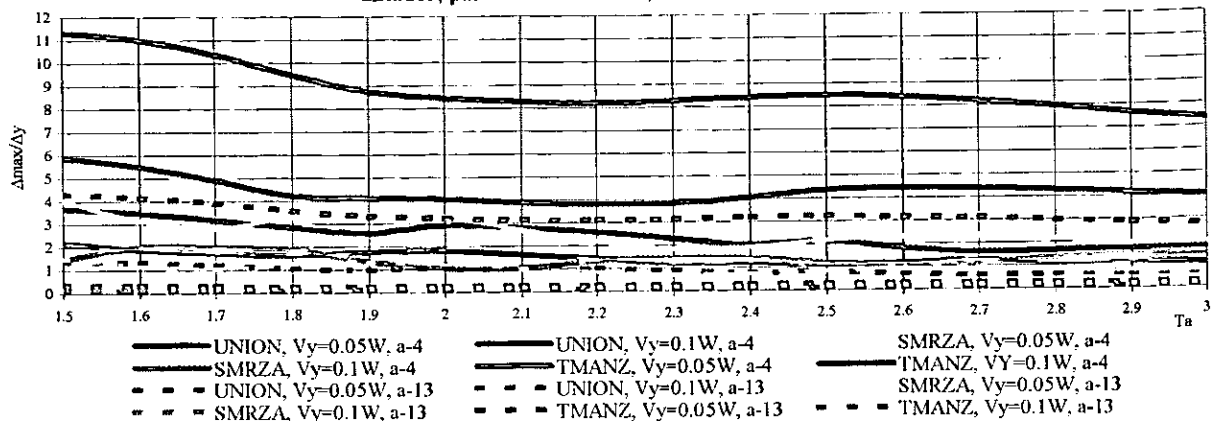


Figura 7.37

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en un sentido

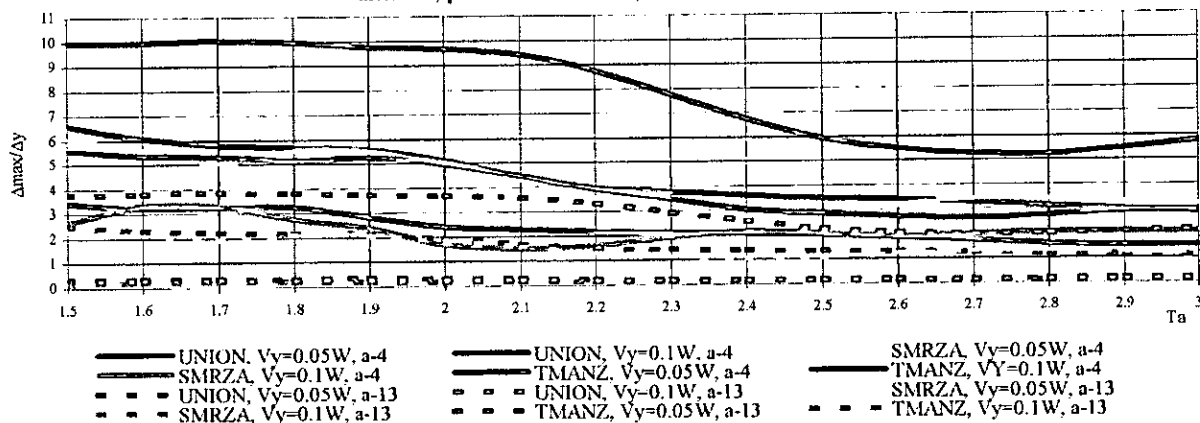


Figura 7.38

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en un sentido

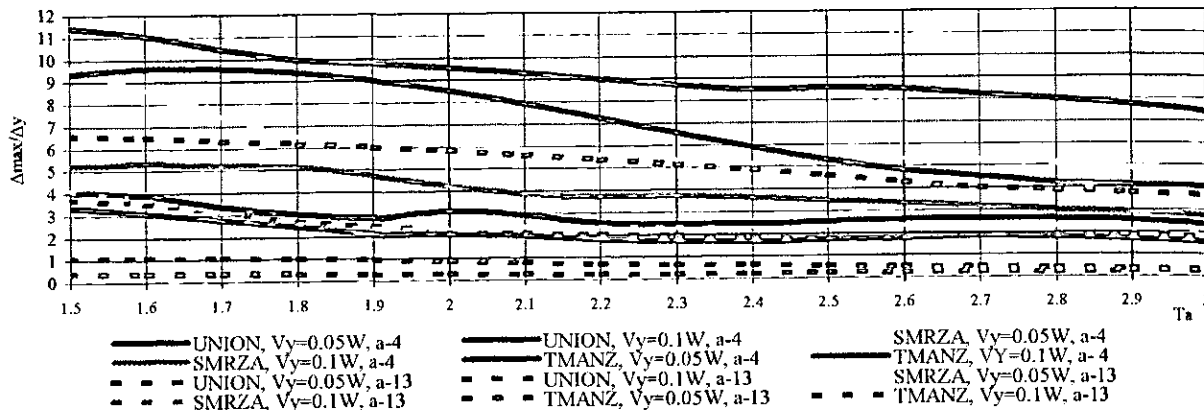


Figura 7.39

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $c=0.2L$ en un sentido

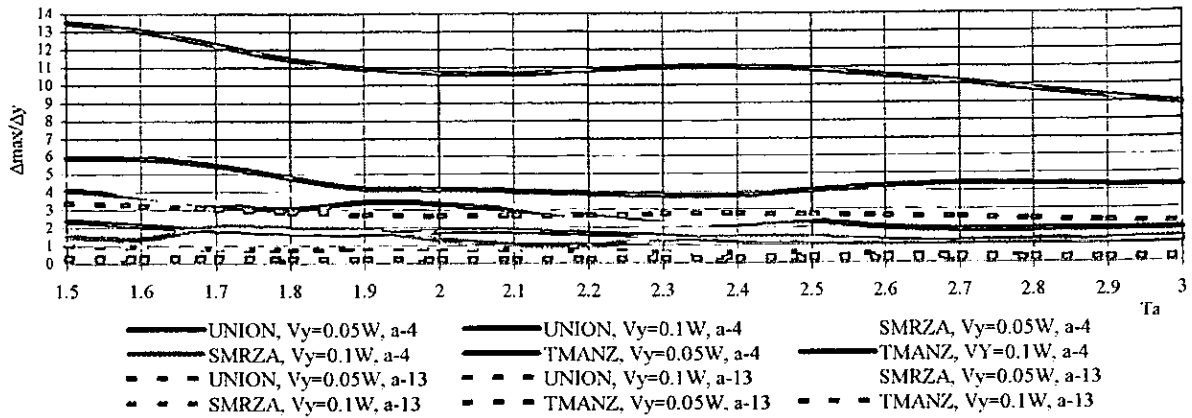


Figura 7.40

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $c=0.2L$ en un sentido

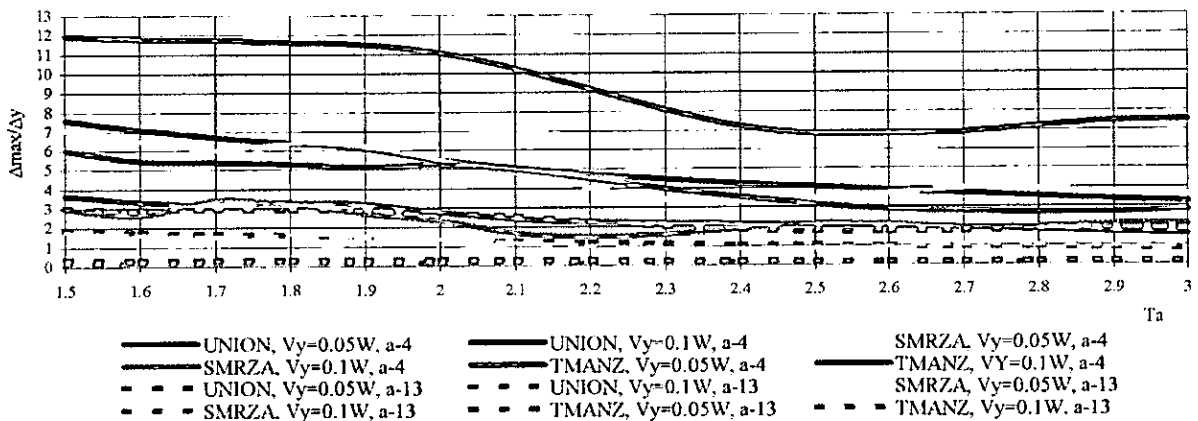


Figura 7.41

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $c=0.2L$ en un sentido

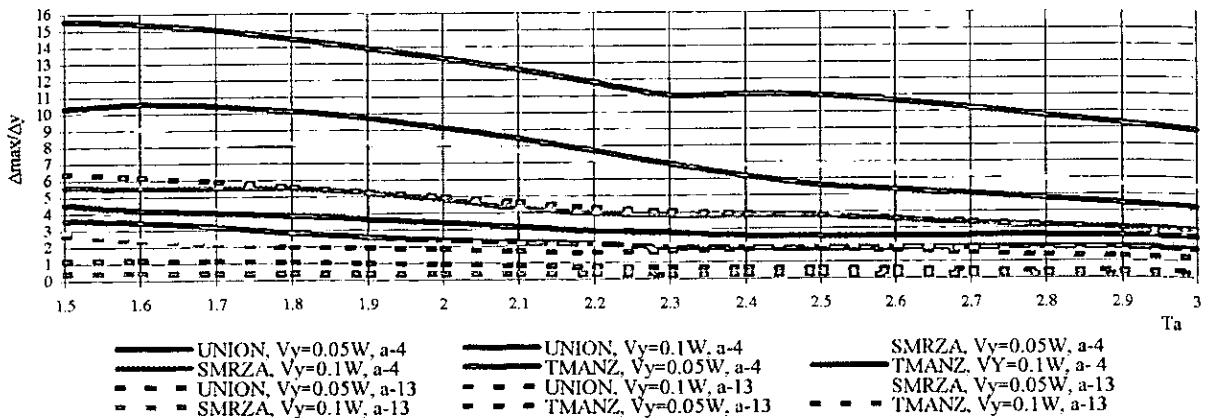


Figura 7.42

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en un sentido

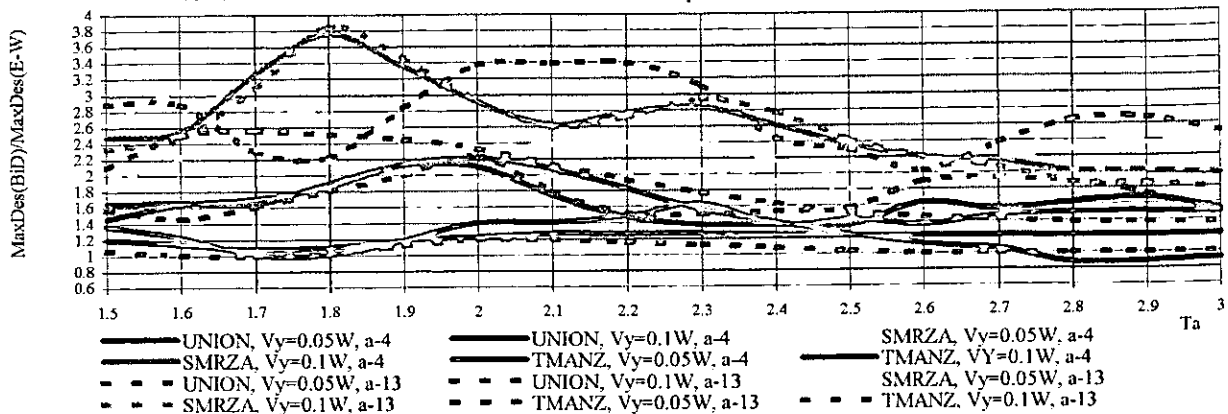


Figura 7.43

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en un sentido

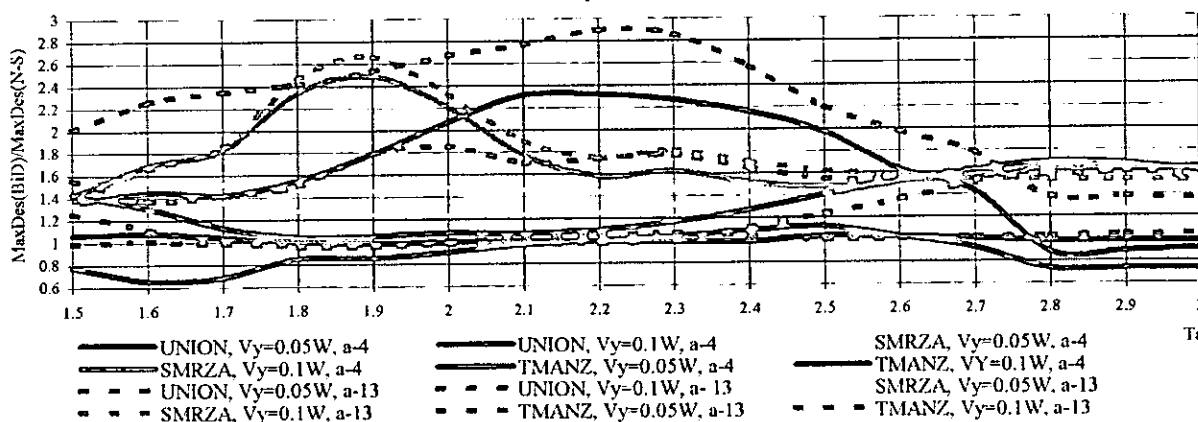


Figura 7.44

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en un sentido

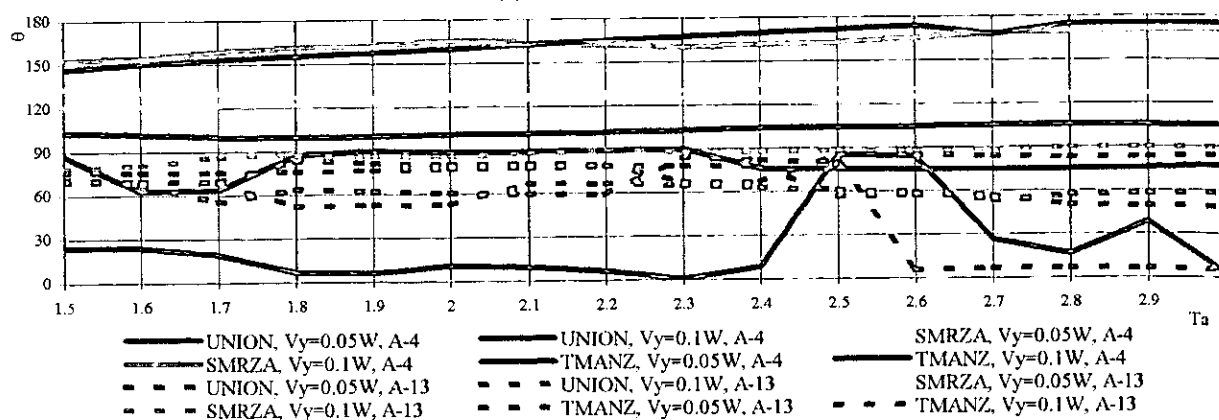


Figura 7.45

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en un sentido

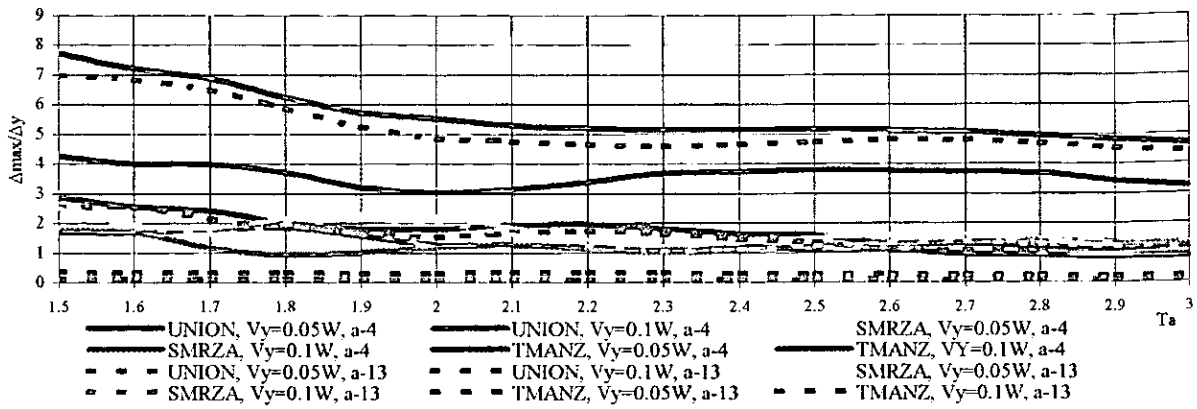


Figura 7.46

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en un sentido

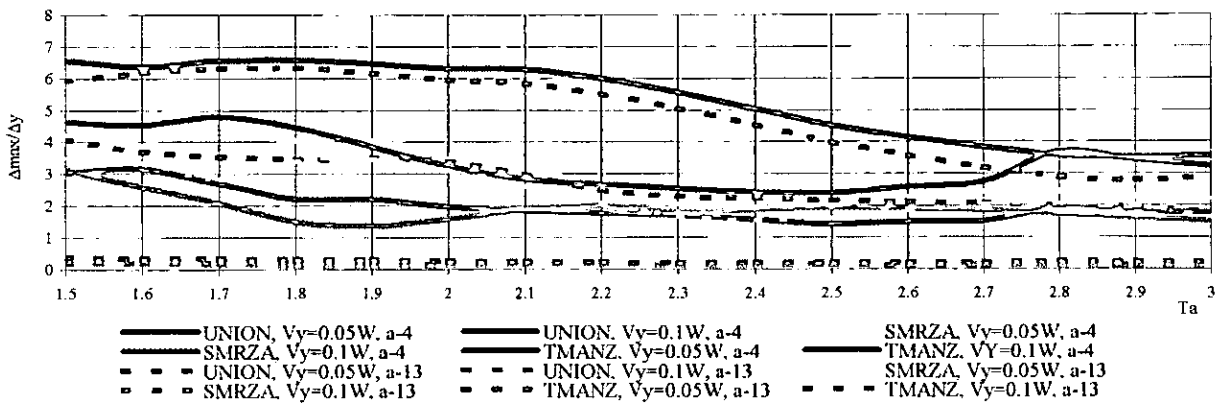


Figura 7.47

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en un sentido

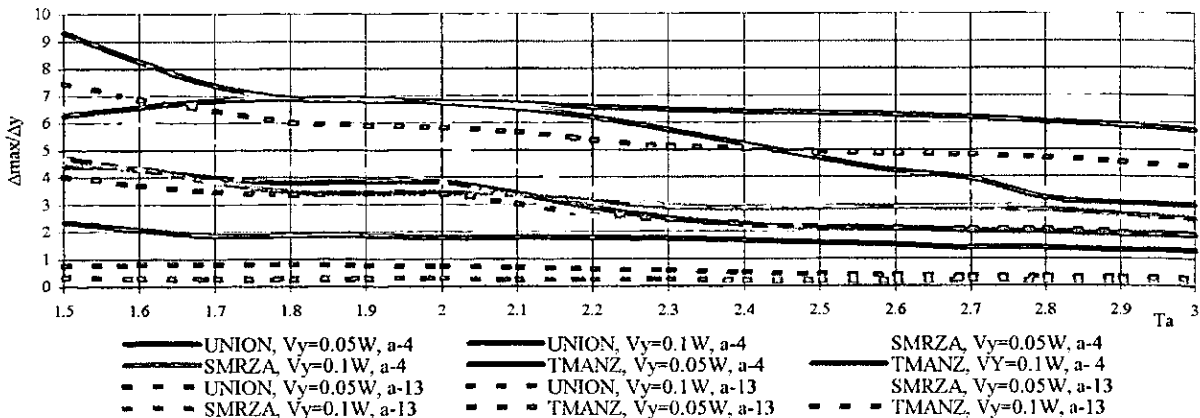


Figura 7.48

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en un sentido

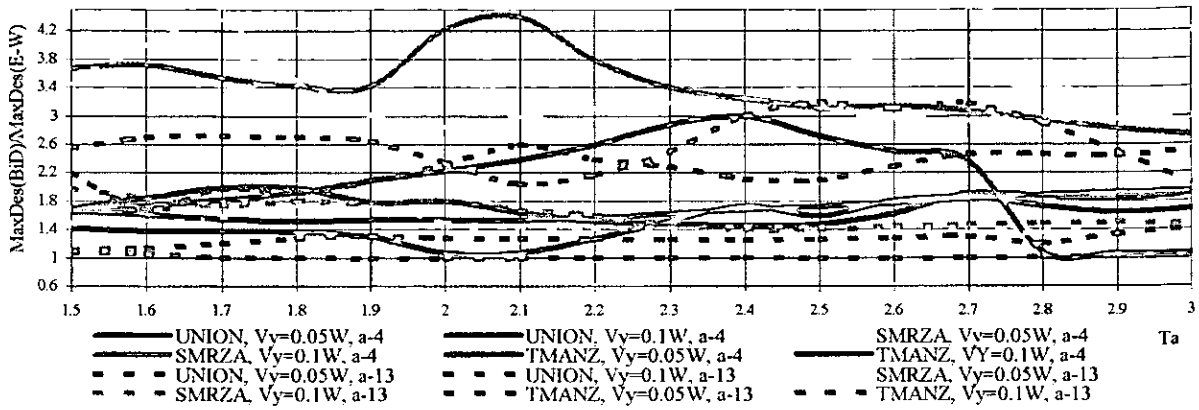


Figura 7.49

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos generales normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en un sentido

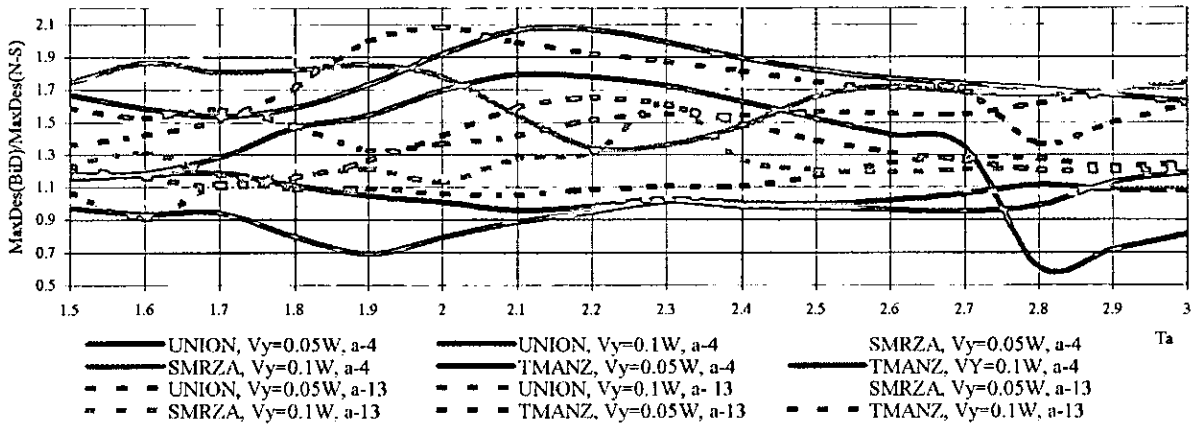


Figura 7.50

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en un sentido

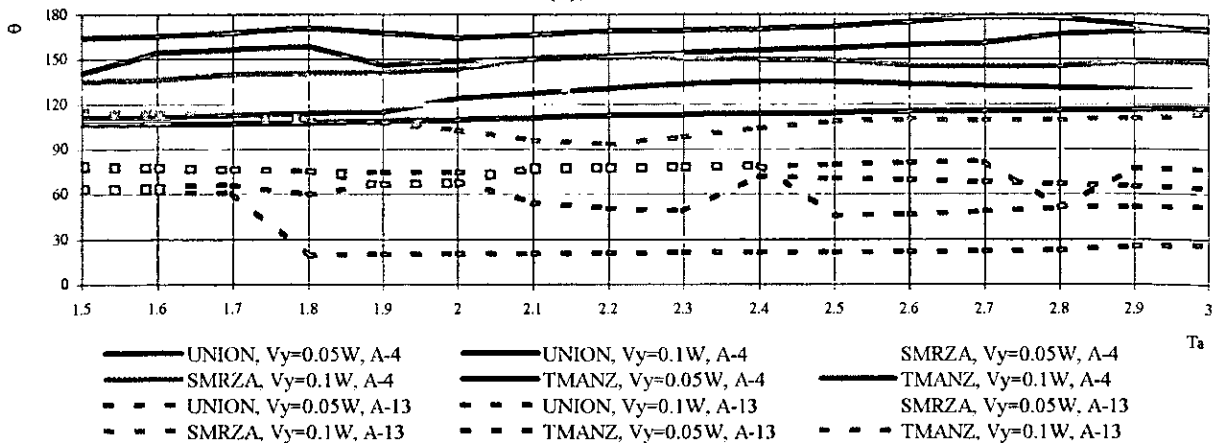


Figura 7.51

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en un sentido

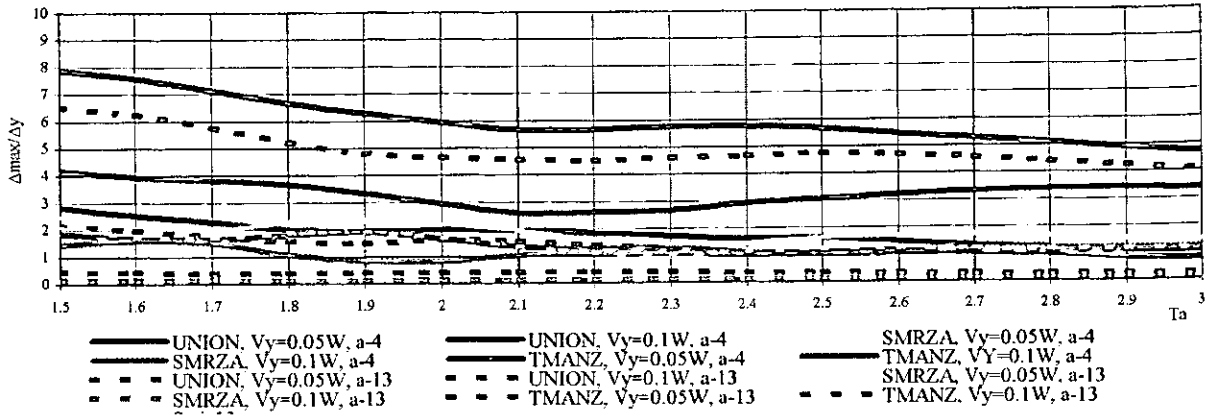


Figura 7.52

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en un sentido

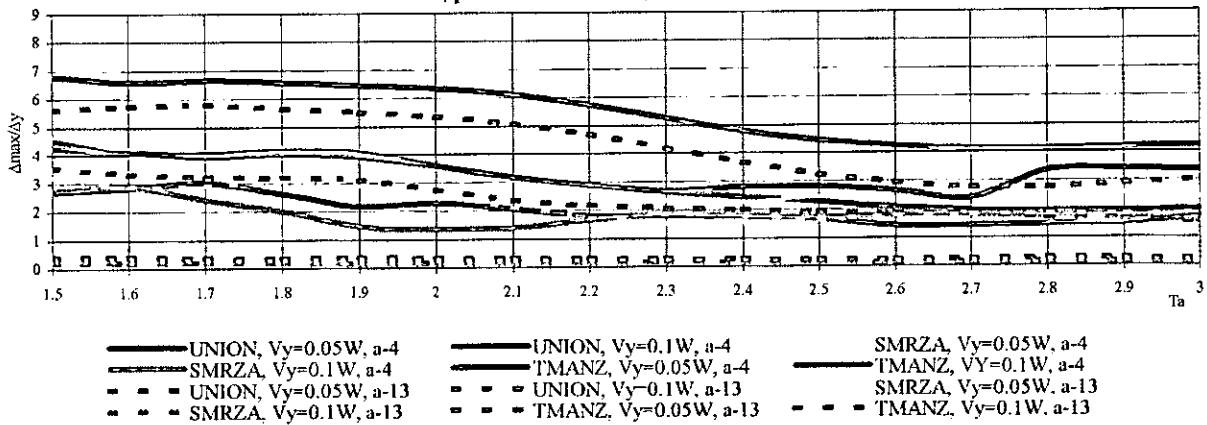


Figura 7.53

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en un sentido

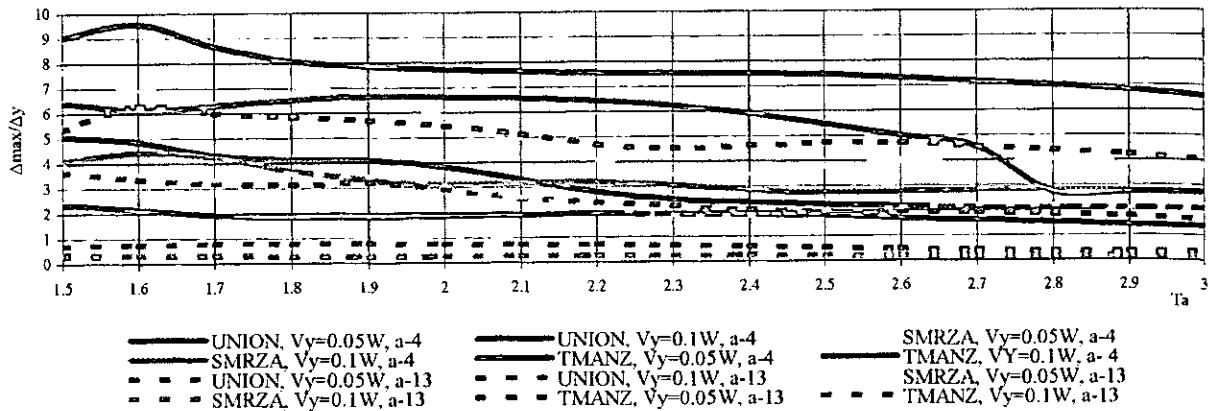


Figura 7.54

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en un sentido

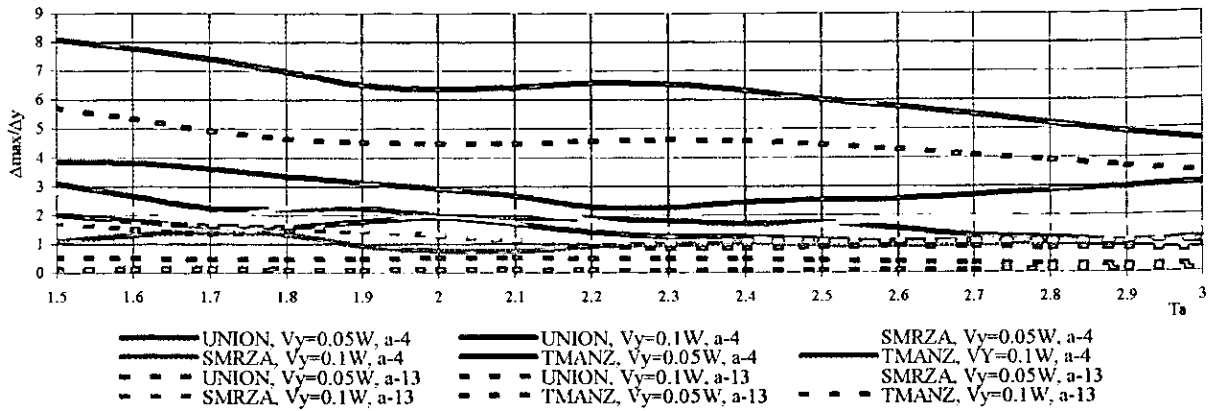


Figura 7.55

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en un sentido

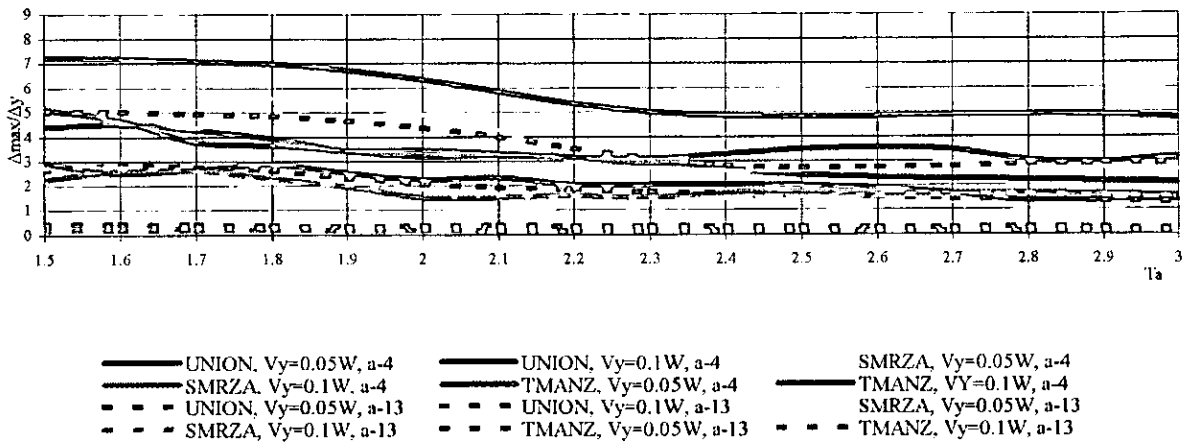


Figura 7.56

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en un sentido

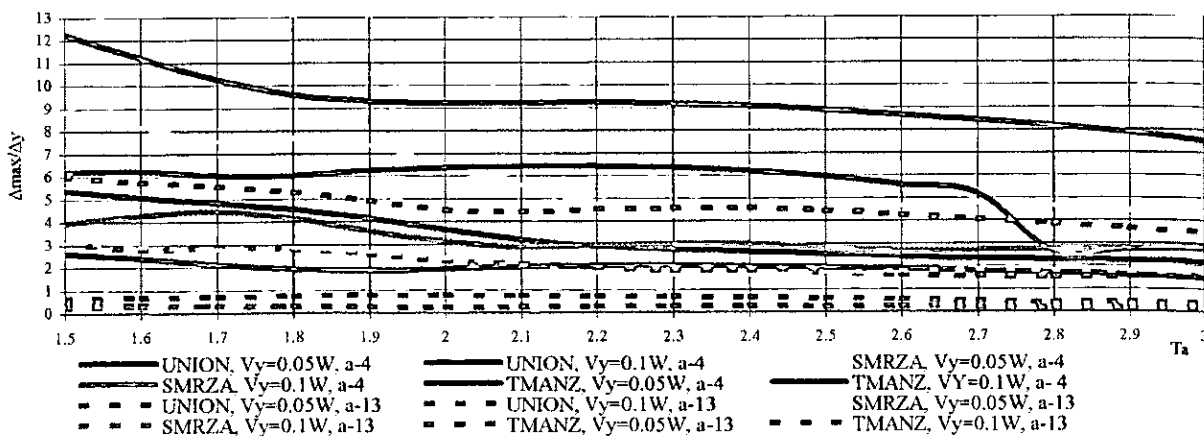


Figura 7.57
Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en un sentido

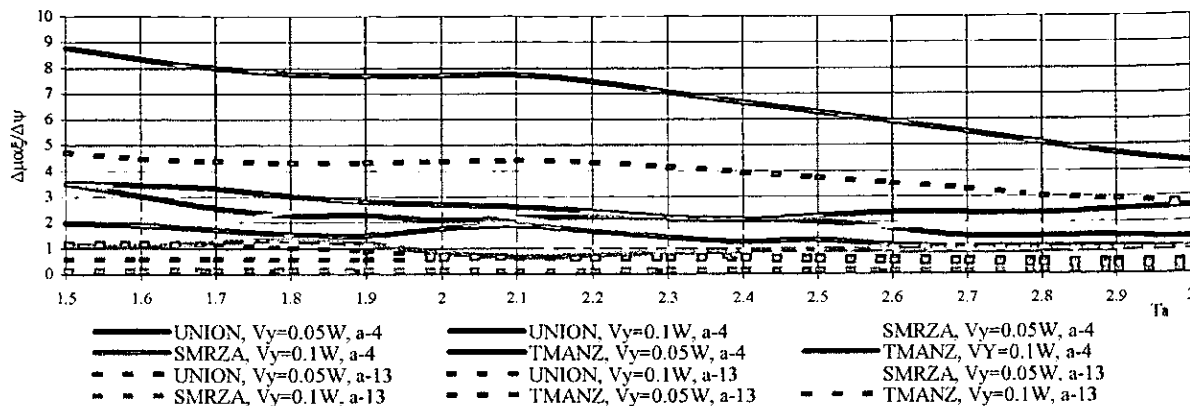


Figura 7.58
Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en un sentido

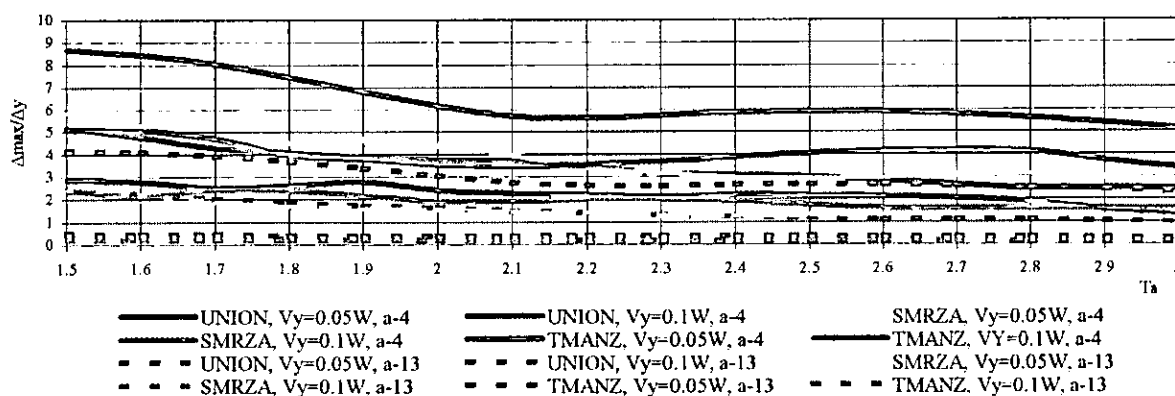


Figura 7.59
Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en un sentido

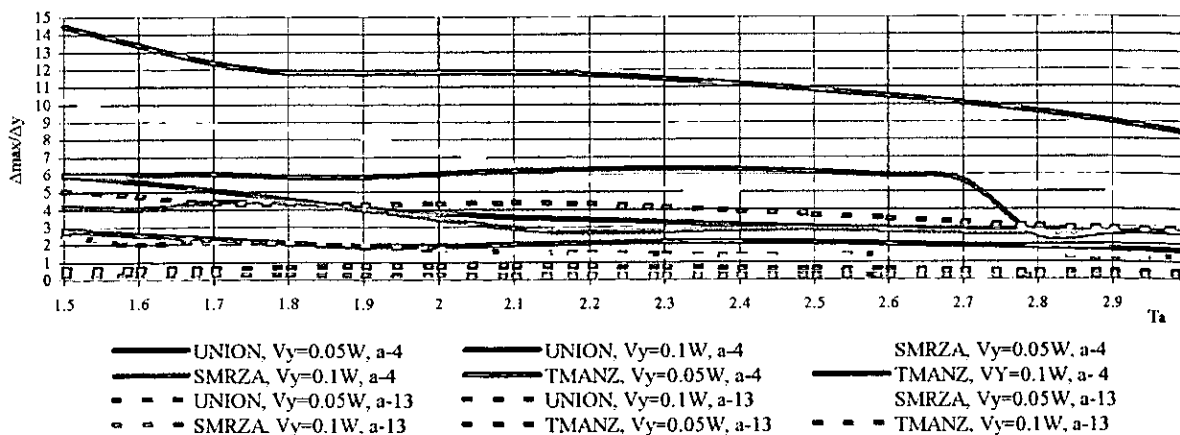


Figura 7.60

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos

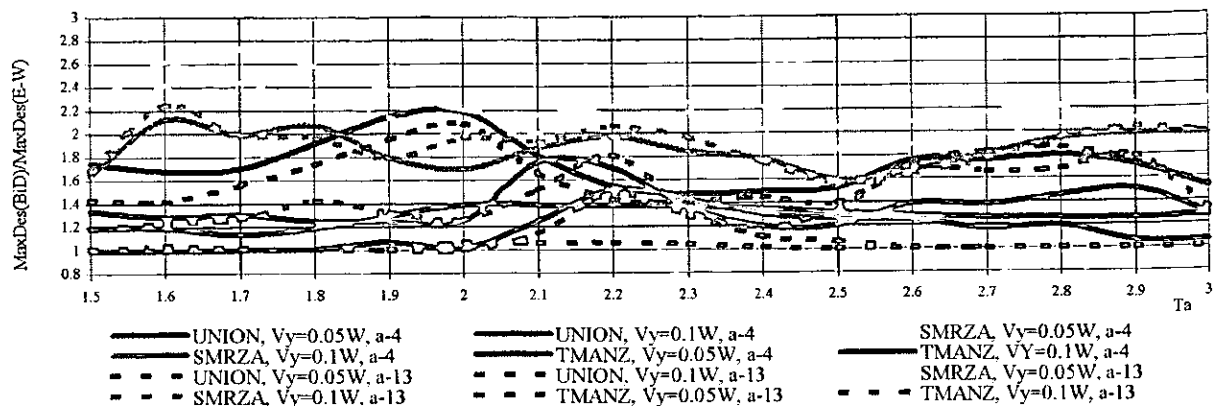


Figura 7.61

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos

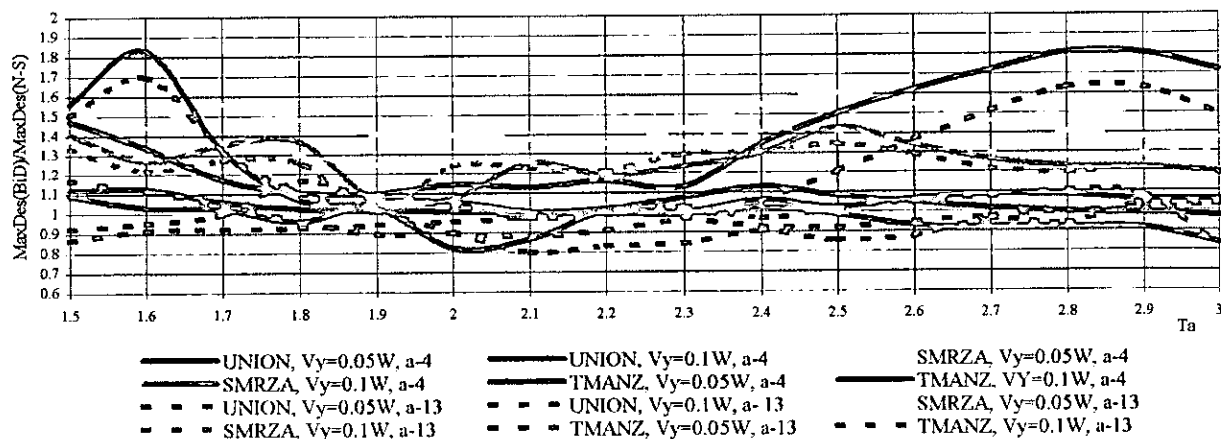


Figura 7.62

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en ambos sentidos

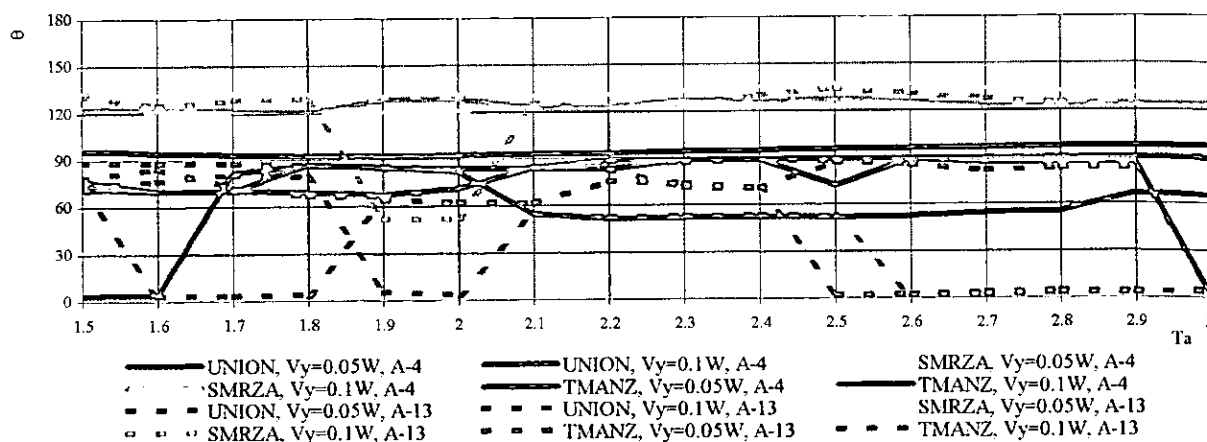


Figura 7.63

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos

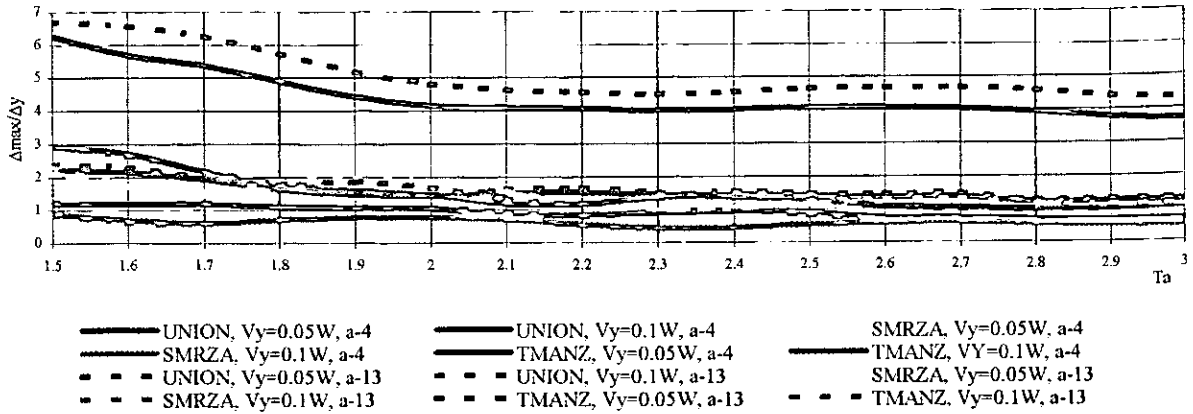


Figura 7.64

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos

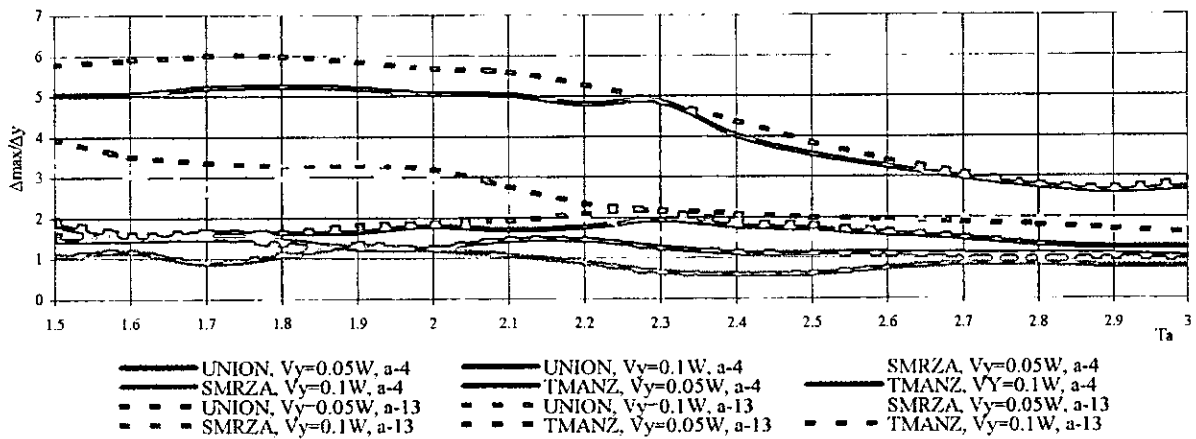


Figura 7.65

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en ambos sentidos

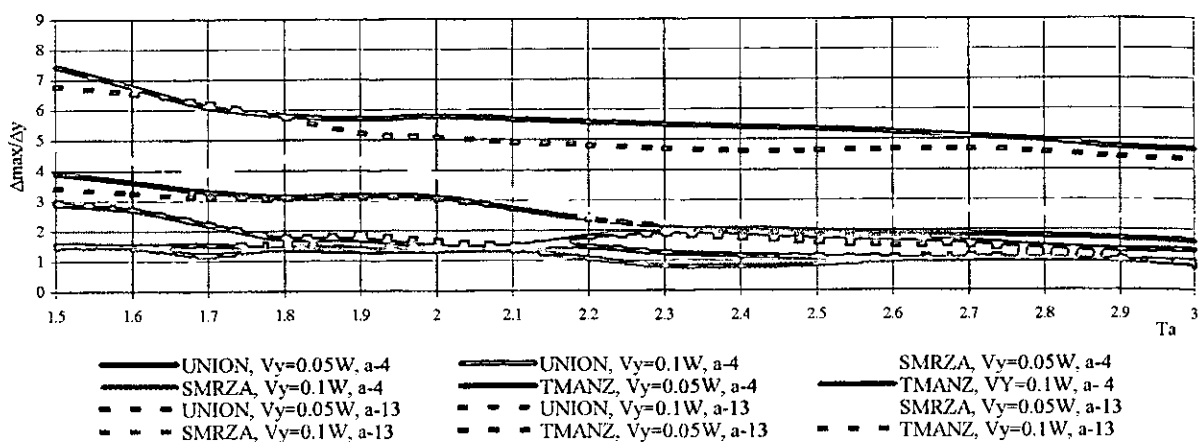


Figura 7.66

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos

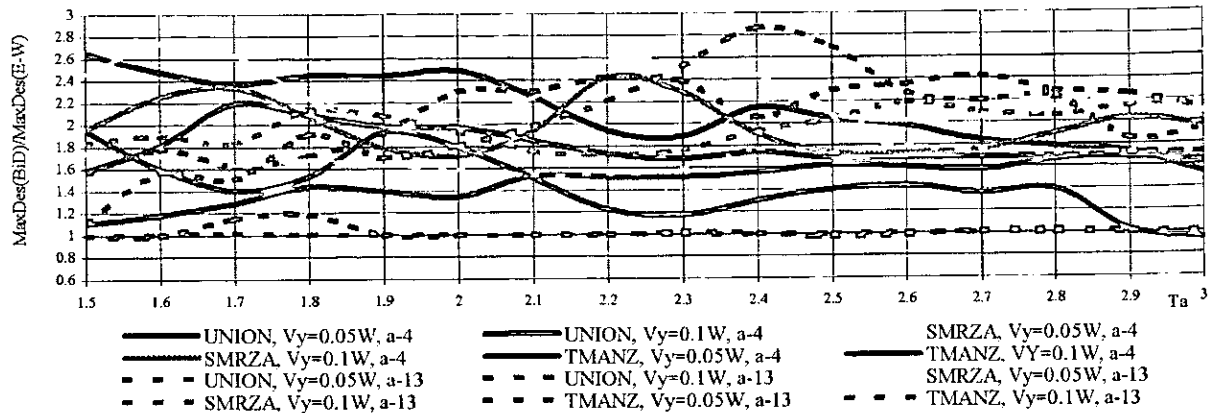


Figura 7.67

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos

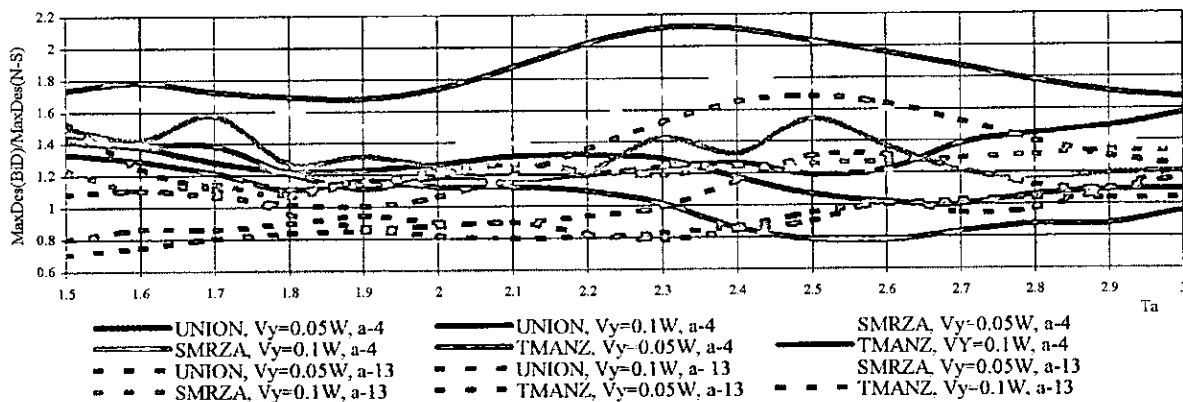


Figura 7.68

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en ambos sentidos

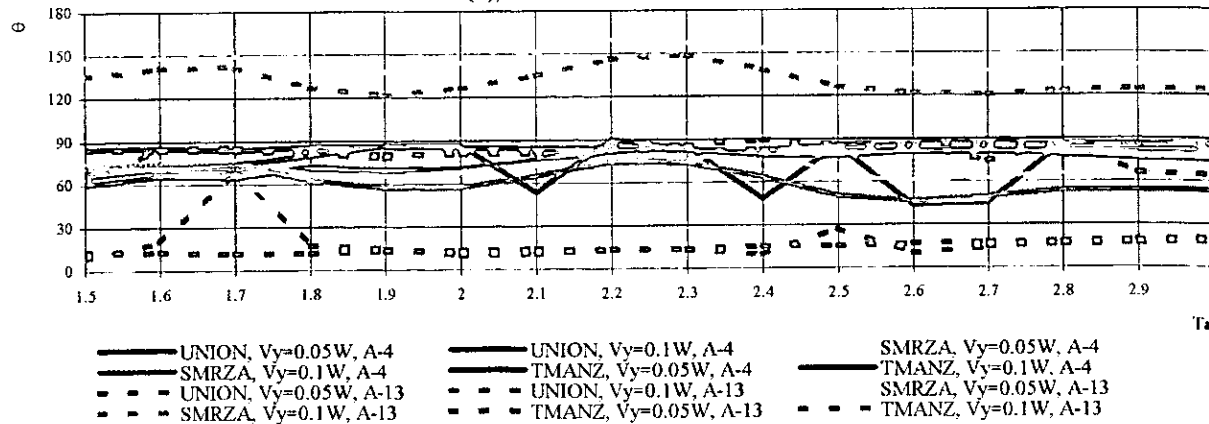


Figura 7.69

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en ambos sentidos

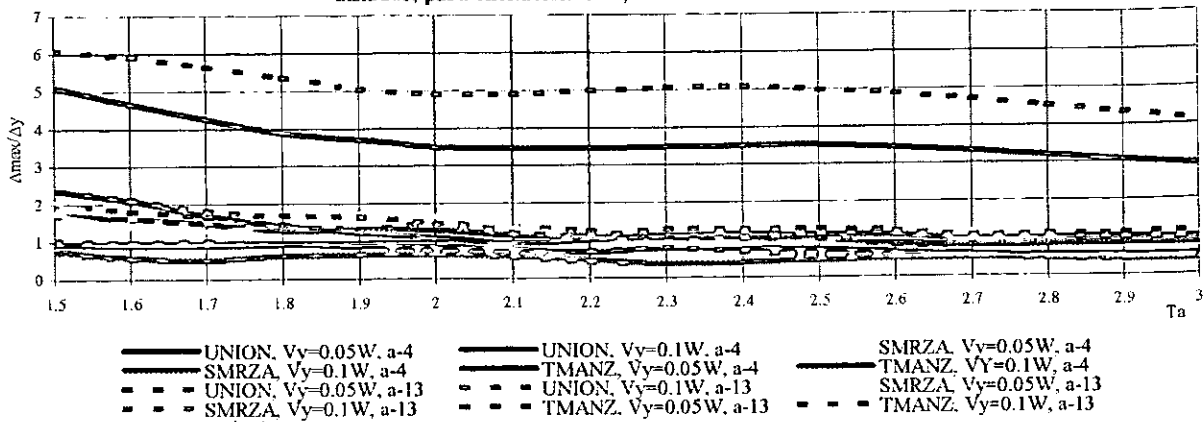


Figura 7.70

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en ambos sentidos

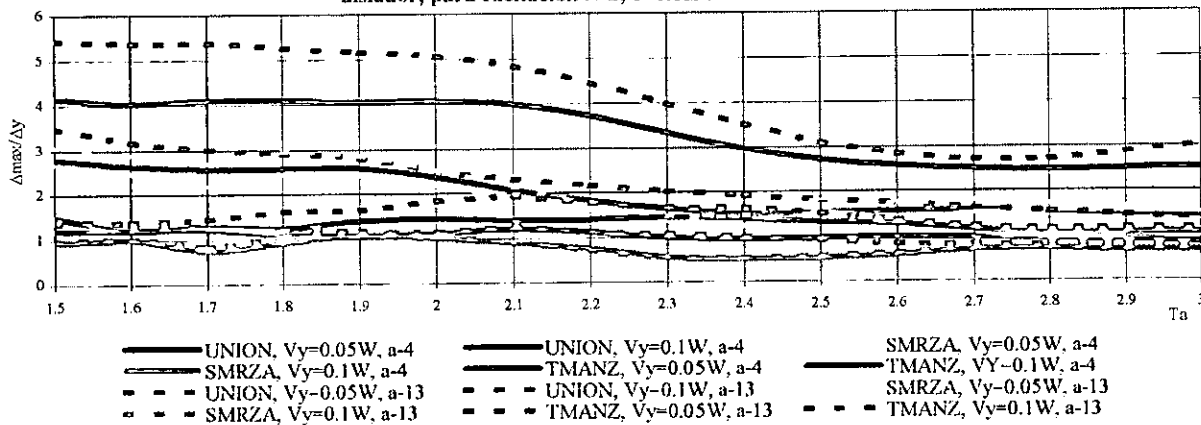


Figura 7.71

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en ambos sentidos

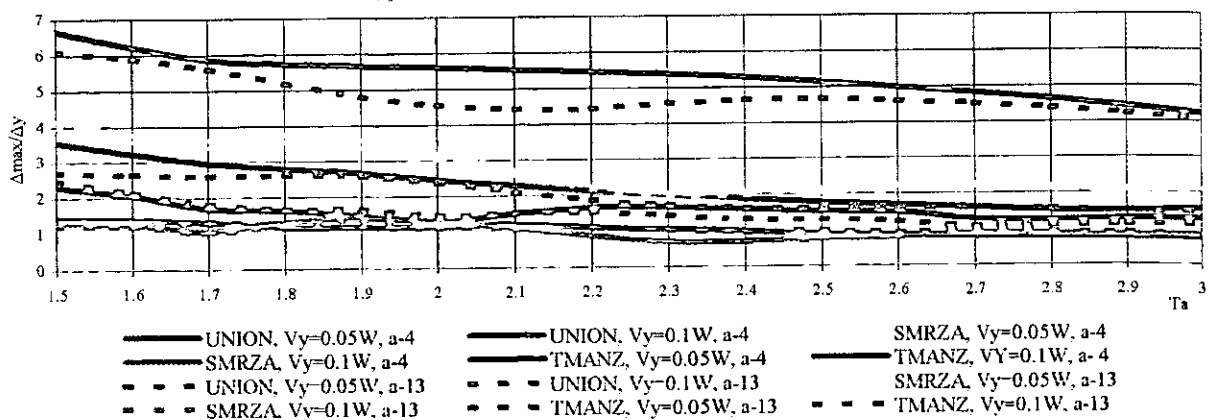


Figura 7.72

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.15L$ en ambos sentidos

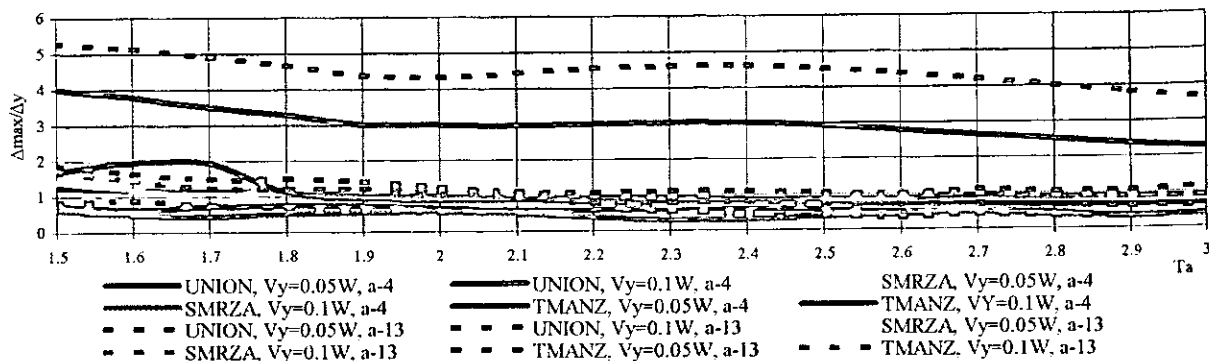


Figura 7.73

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en ambos sentidos

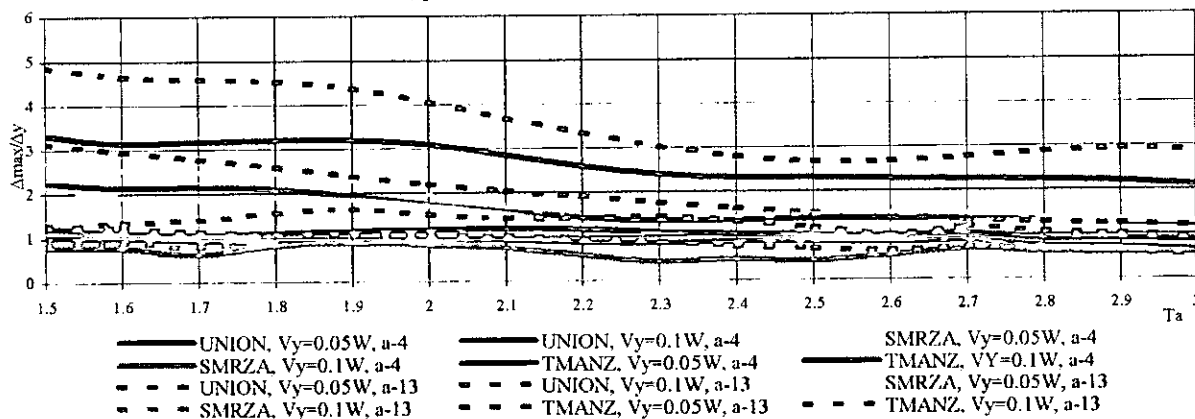


Figura 7.74

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en ambos sentidos

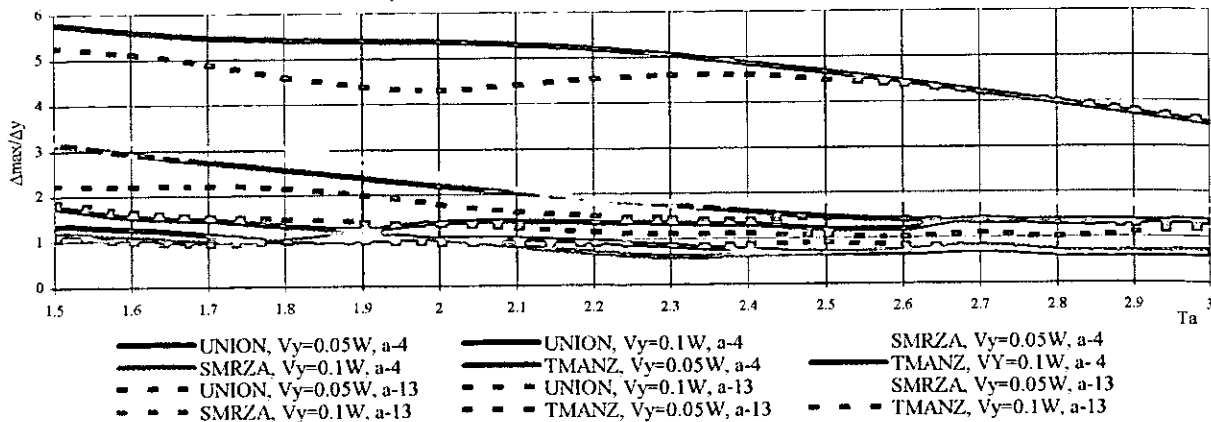


Figura 7.75

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos

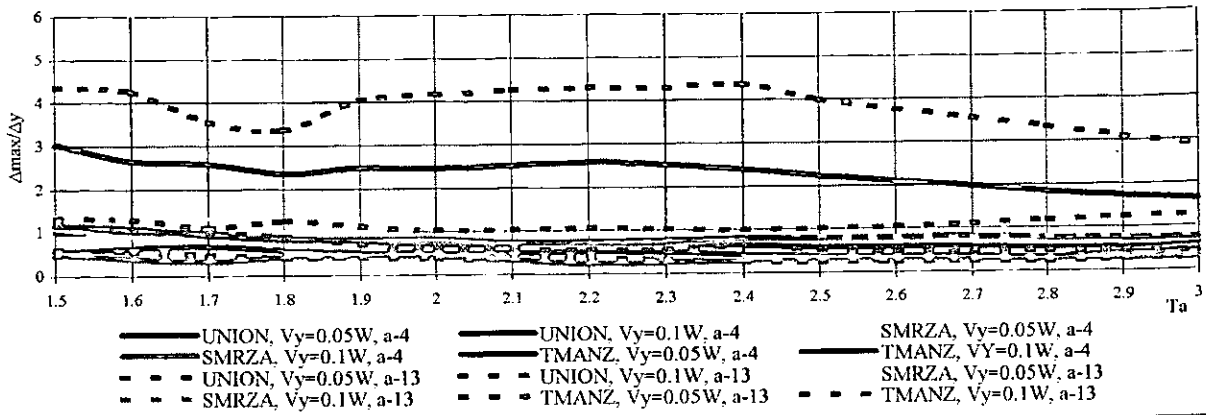


Figura 7.76

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos

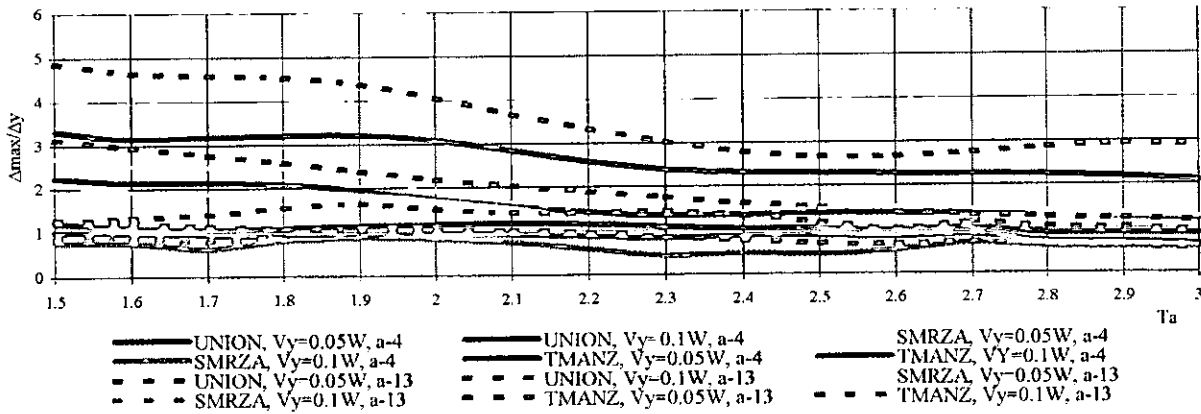


Figura 7.77

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en ambos sentidos

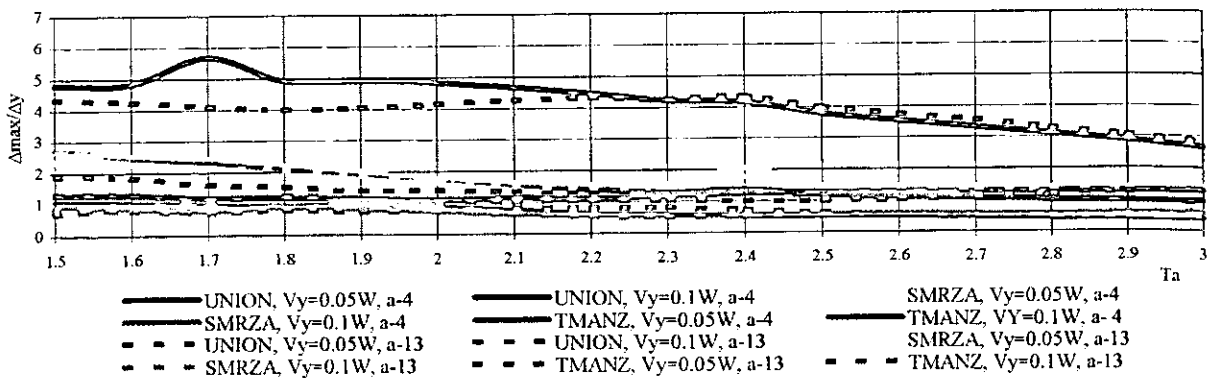


Figura 7.78

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos

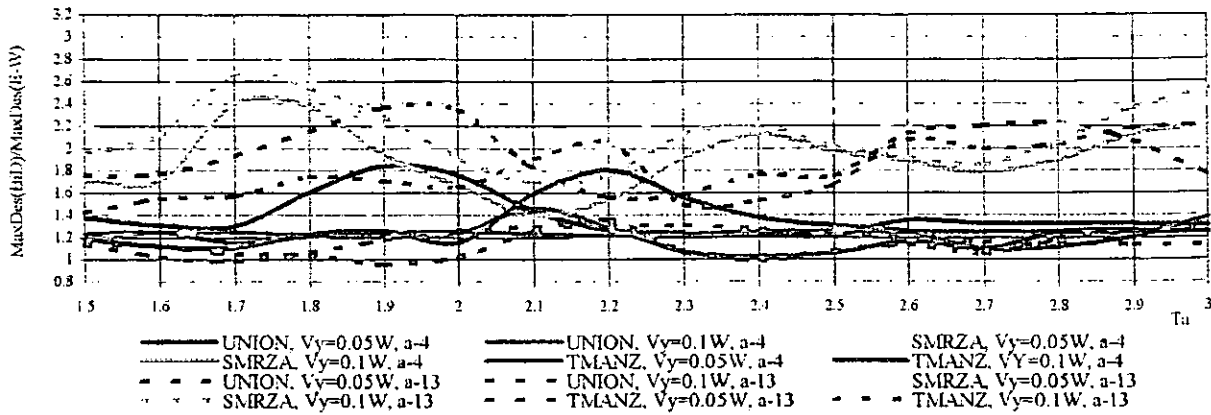


Figura 7.79

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos

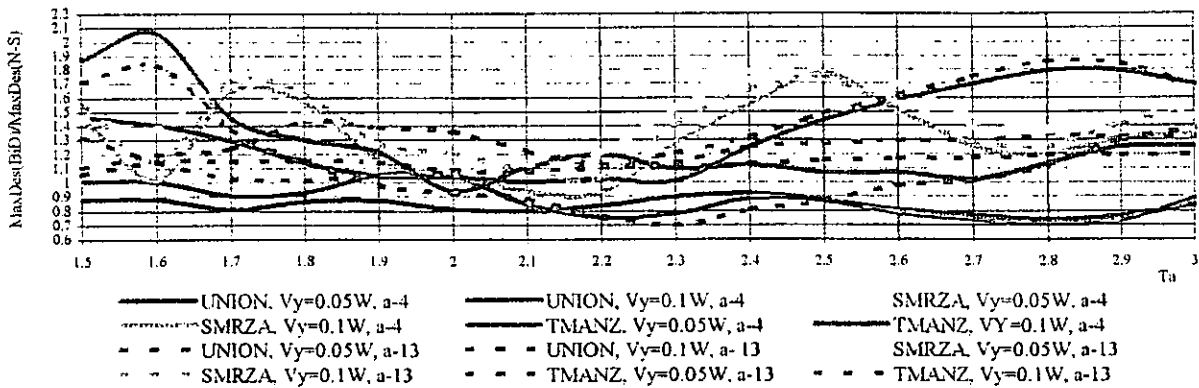


Figura 7.80

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.05L$ en ambos sentidos

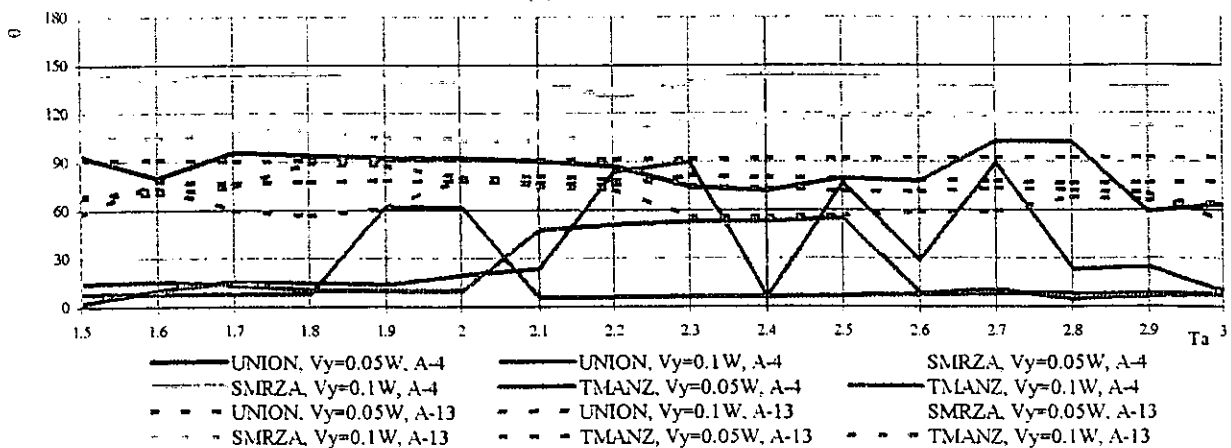


Figura 7.81

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.05L$ en ambos sentidos

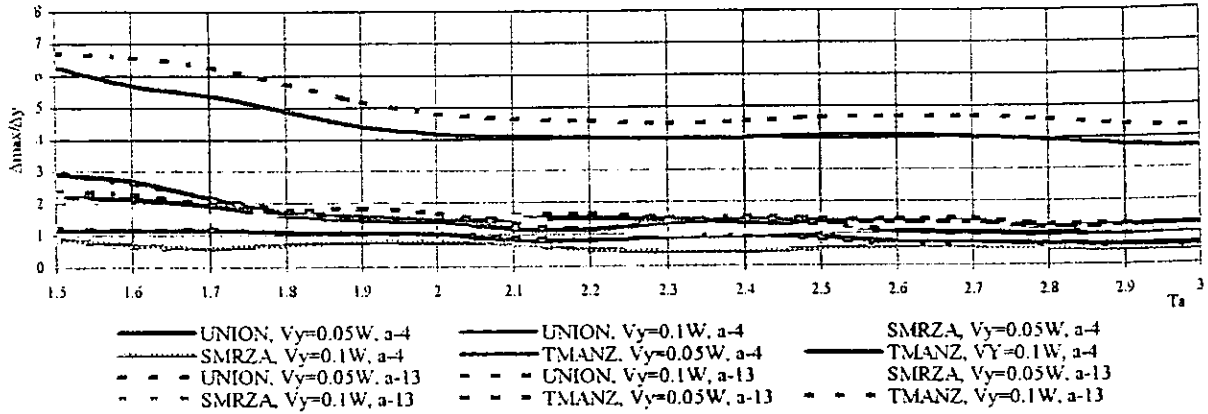


Figura 7.82

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.05L$ en ambos sentidos

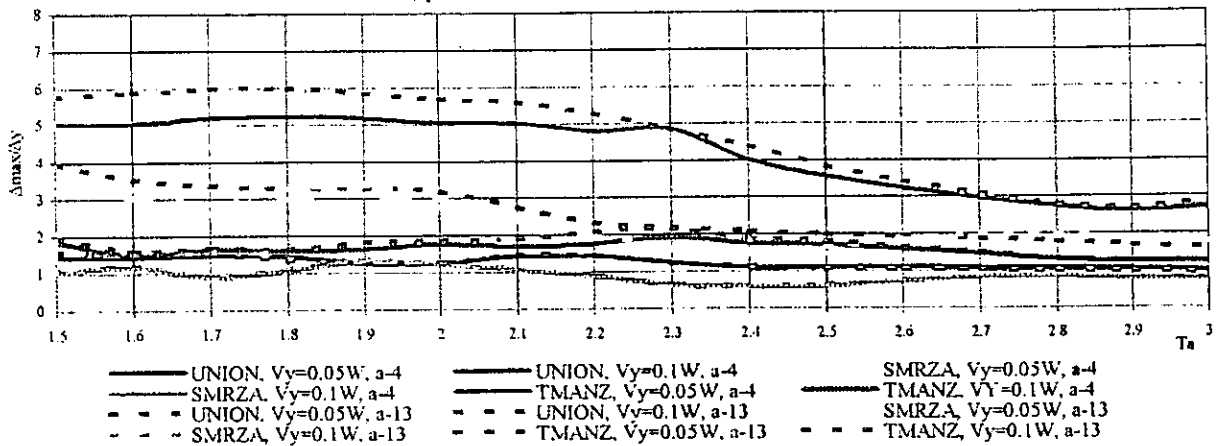


Figura 7.83

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.05L$ en ambos sentidos

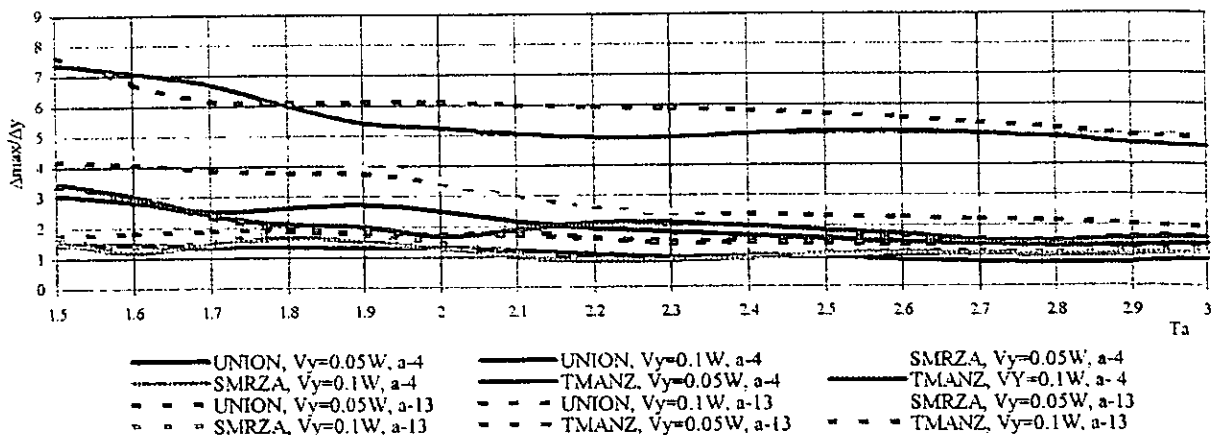


Figura 7.84

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos ante excitación bidireccional normalizados con el máximo correspondiente a E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos

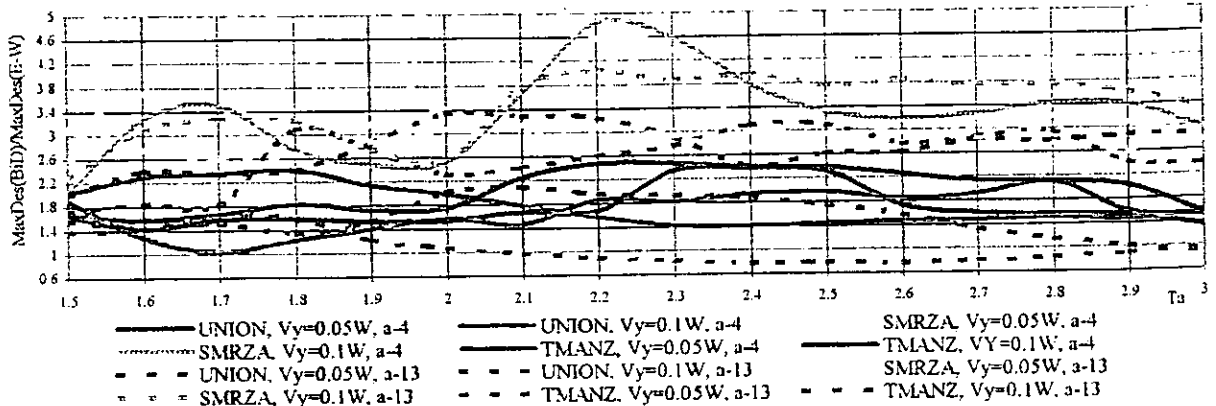


Figura 7.85

Relación entre el periodo aislado (T_a) y los máximos desplazamientos generales normalizados con el máximo correspondiente a N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos

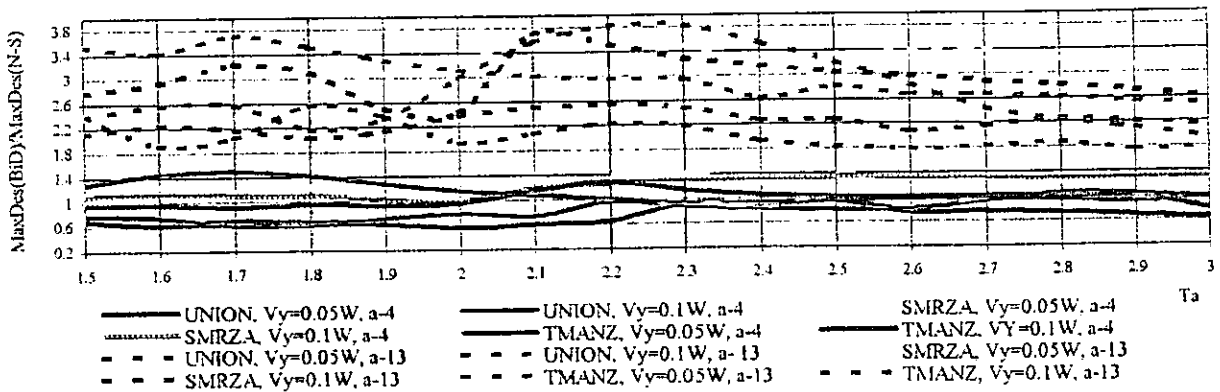


Figura 7.86

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el ángulo del desplazamiento máximo ante acción bidireccional (θ), $e=0.2L$ en ambos sentidos

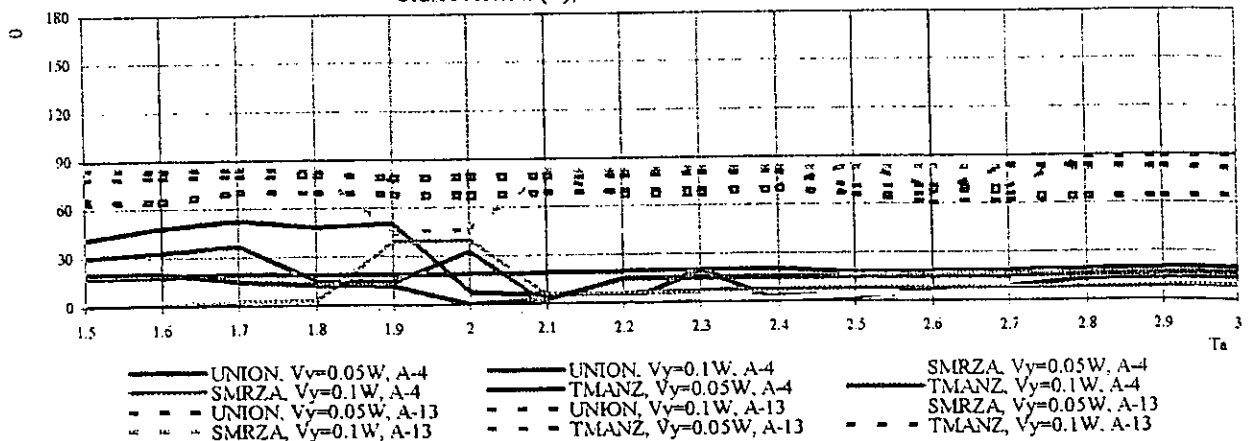


Figura 7.87

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.1L$ en ambos sentidos

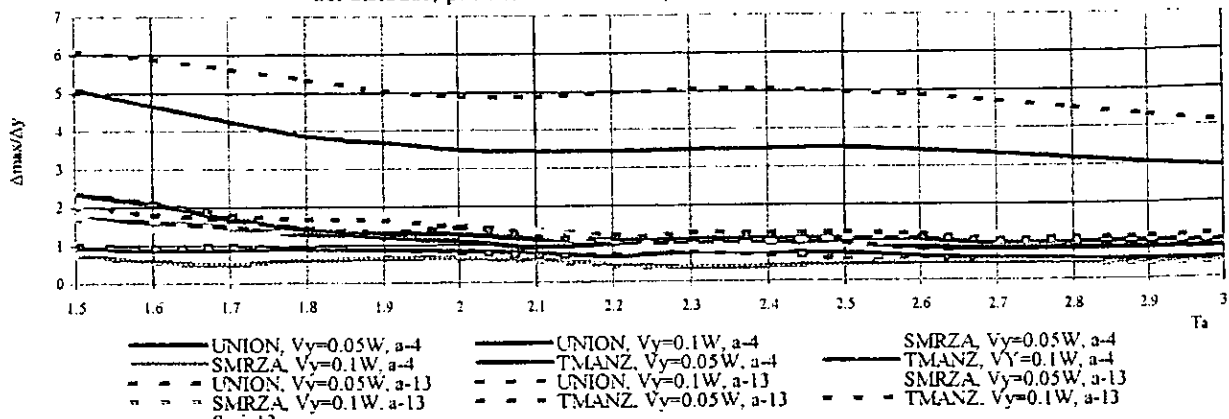


Figura 7.88

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.1L$ en ambos sentidos

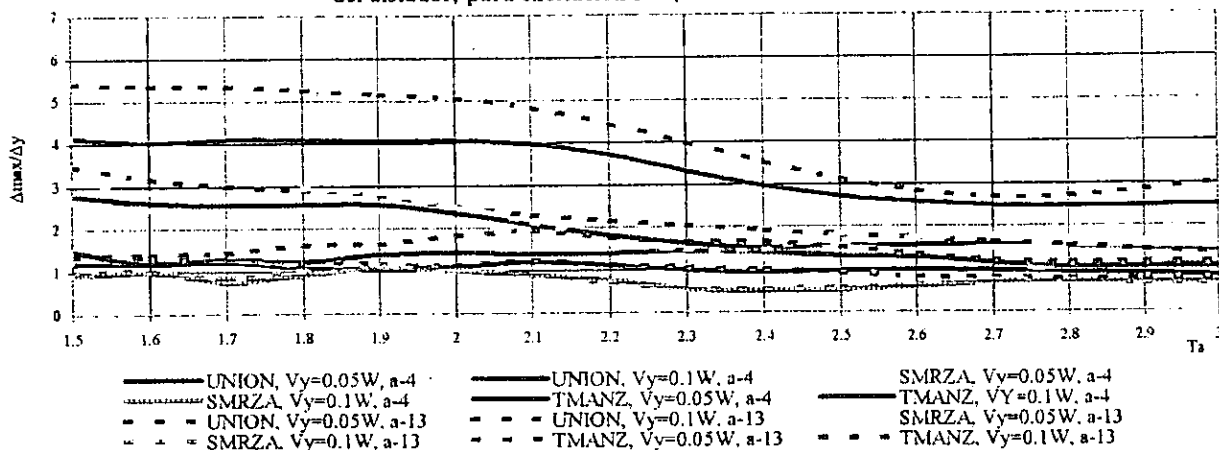


Figura 7.89

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.1L$ en ambos sentidos

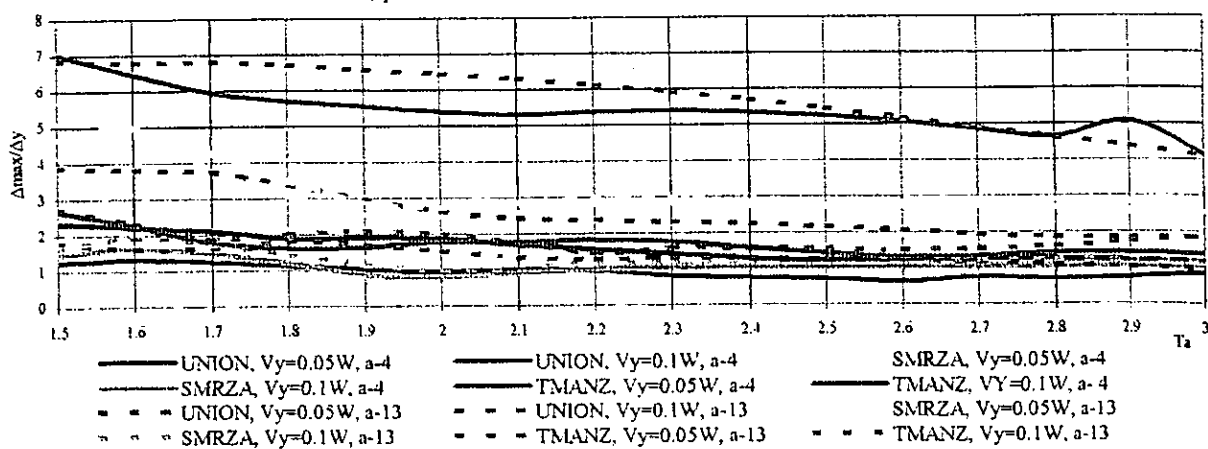


Figura 7.90

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en ambos sentidos

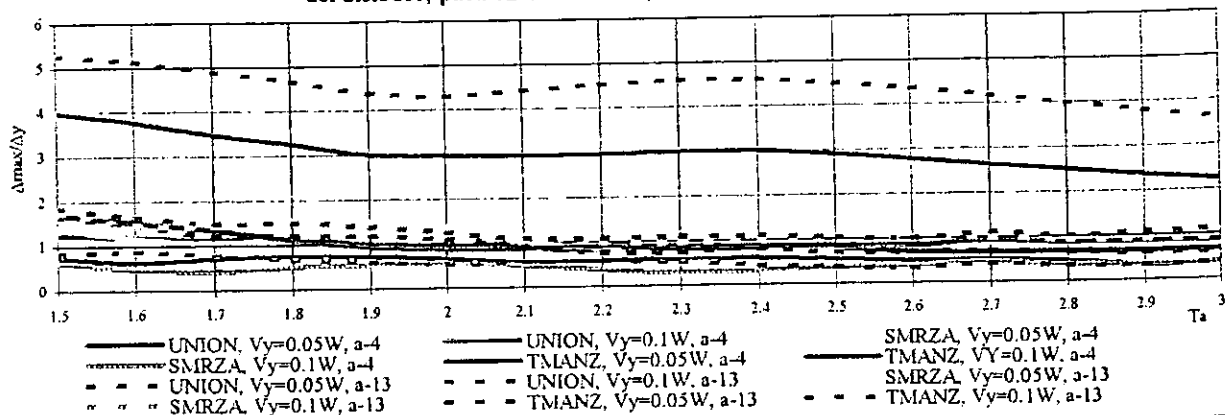


Figura 7.91

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.15L$ en ambos sentidos

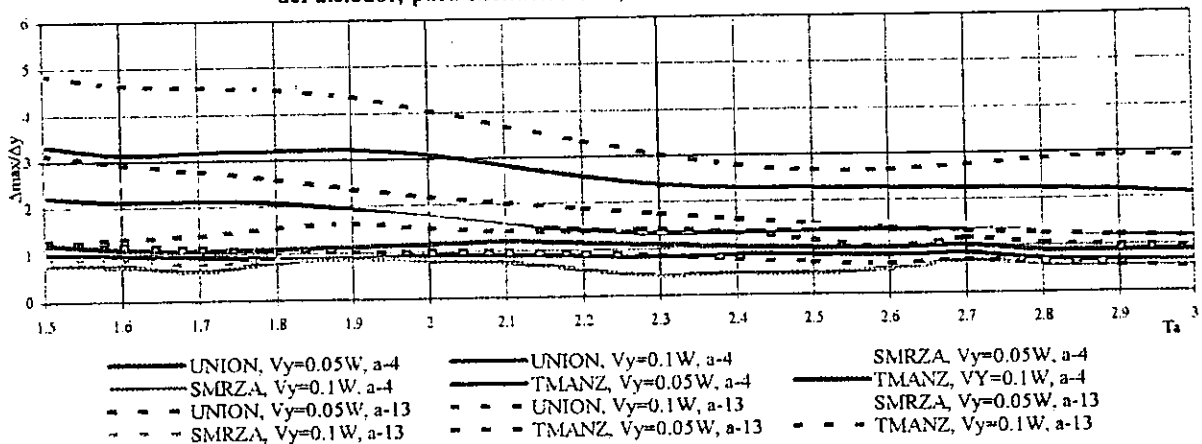


Figura 7.92

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.15L$ en ambos sentidos

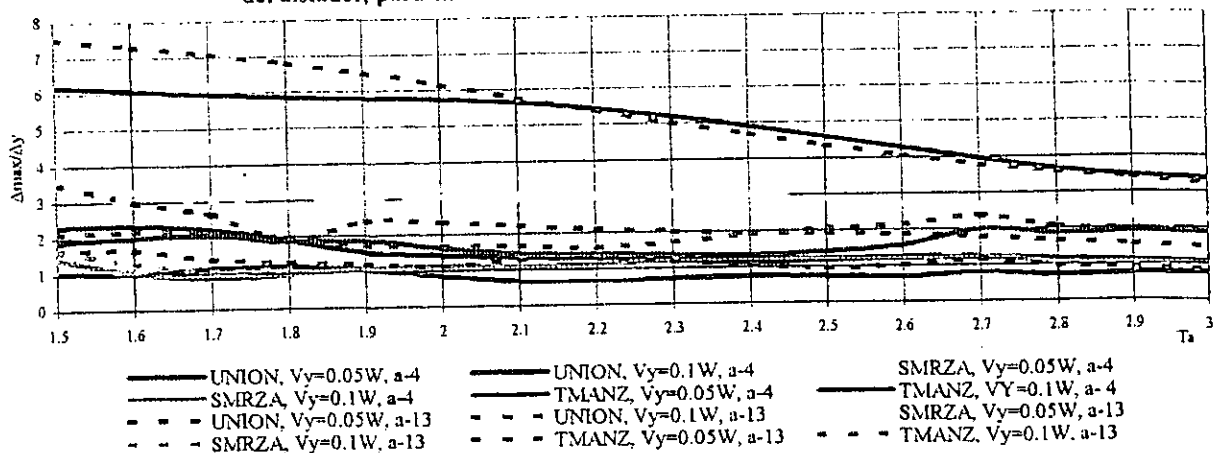


Figura 7.93

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación E-W, $e=0.2L$ en ambos sentidos

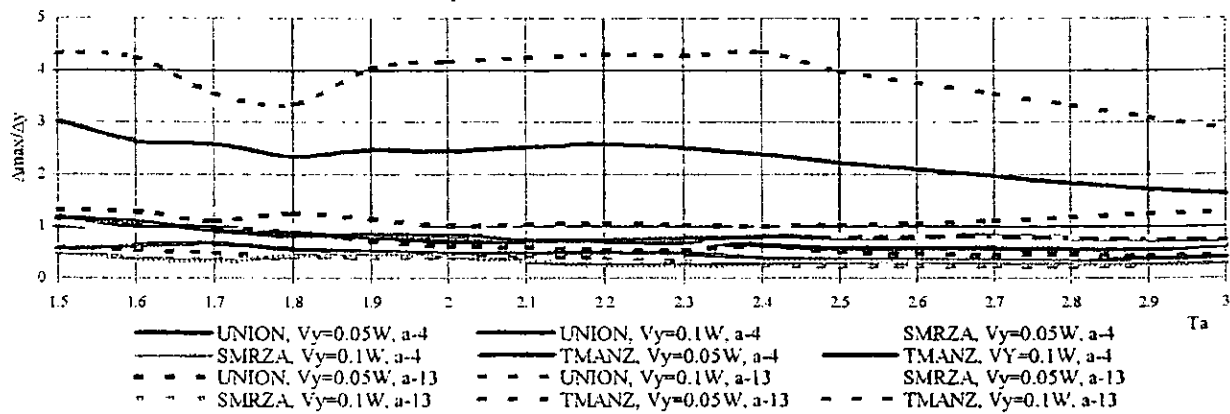


Figura 7.94

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación N-S, $e=0.2L$ en ambos sentidos

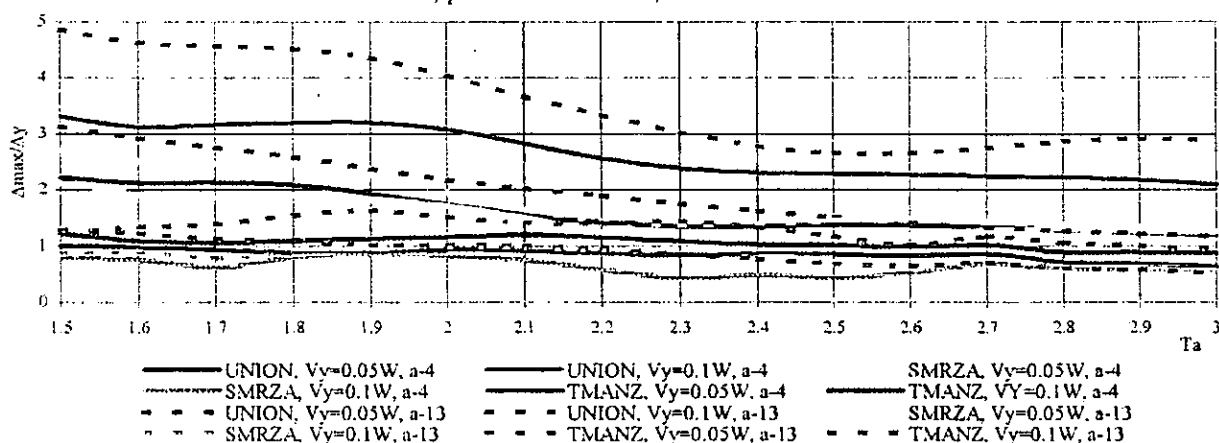


Figura 7.95

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente de desplazamiento máximo y el de fluencia del aislador, para excitación bidireccional, $e=0.2L$ en ambos sentidos

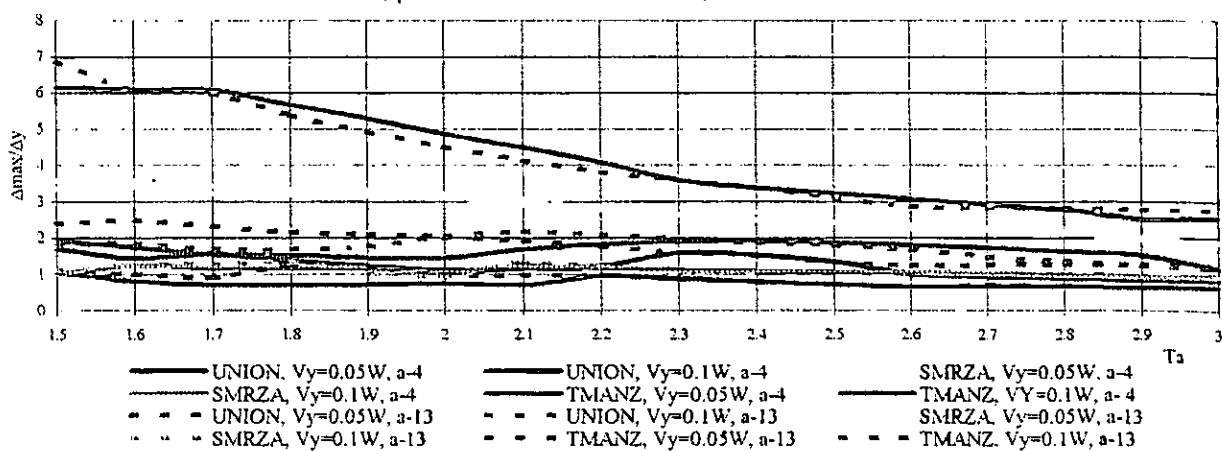


Figura 7.96

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$ Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

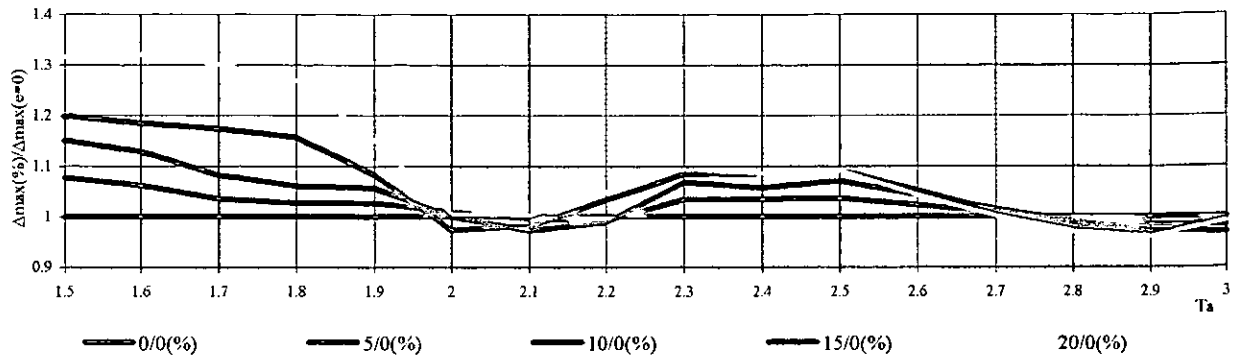


Figura 7.97

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

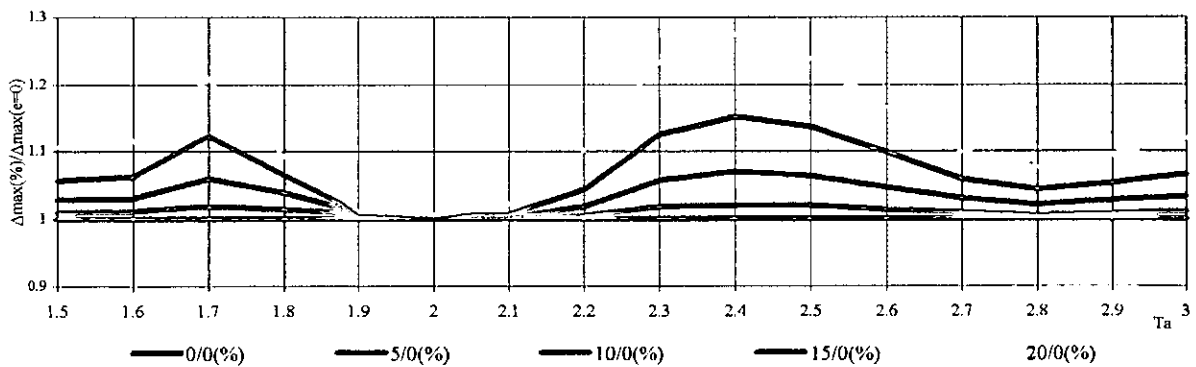


Figura 7.98

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$ Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

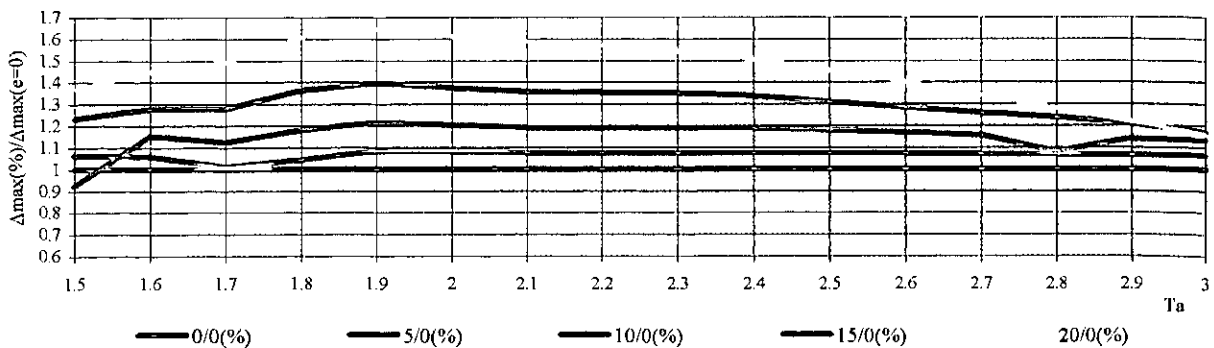


Figura 7.99
 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$,
 Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

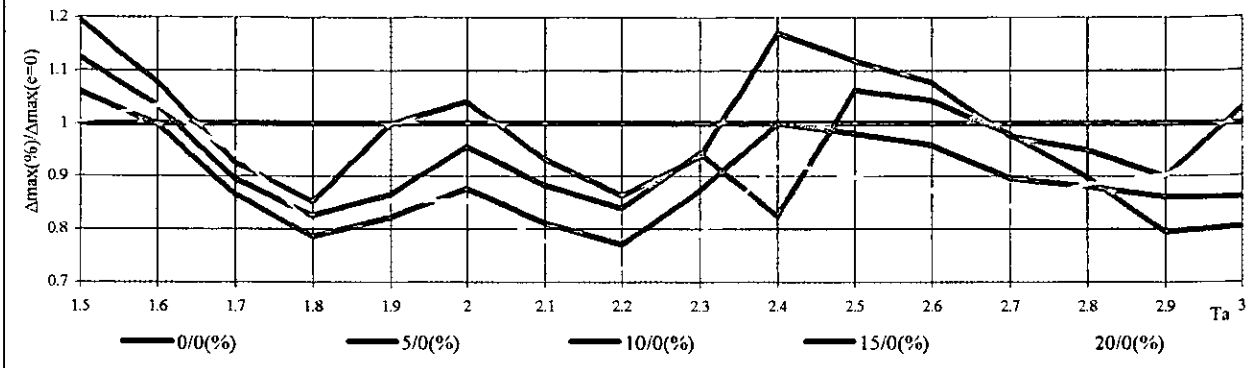


Figura 7.100
 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$,
 Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

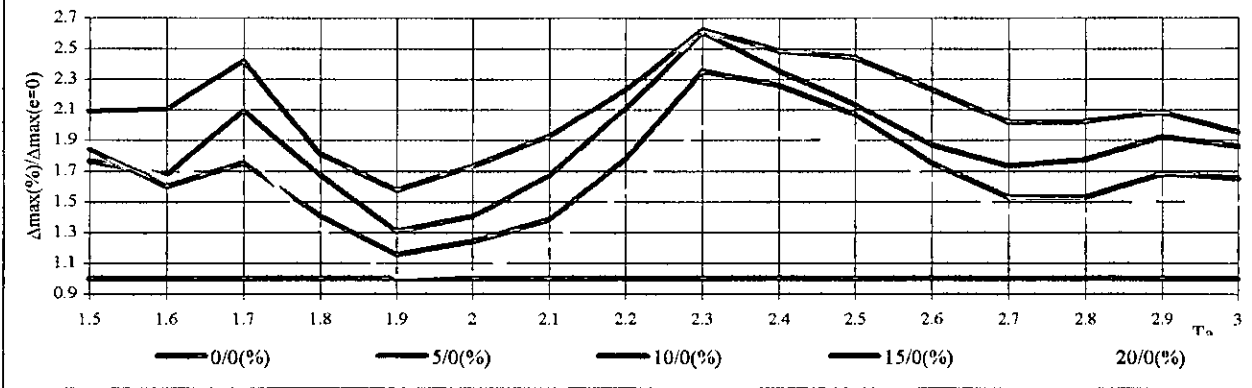


Figura 7.101
 Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$,
 Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

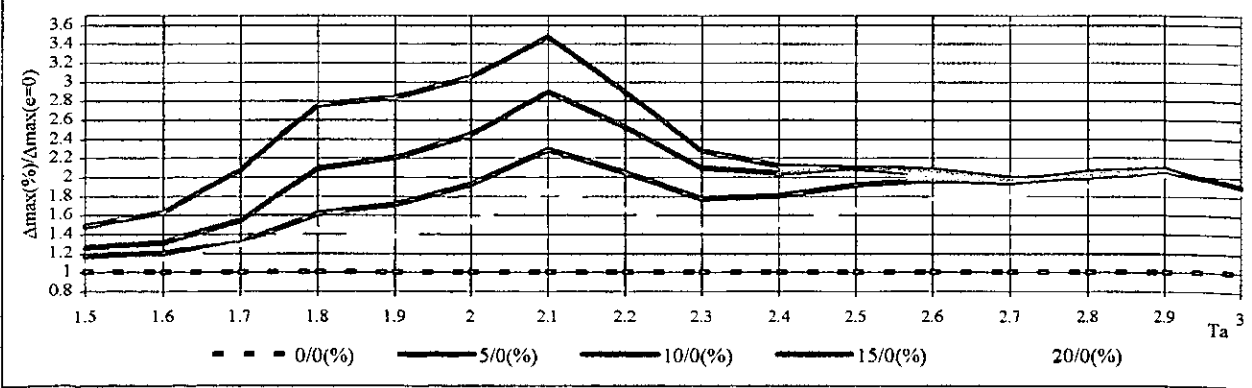


Figura 7.102

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

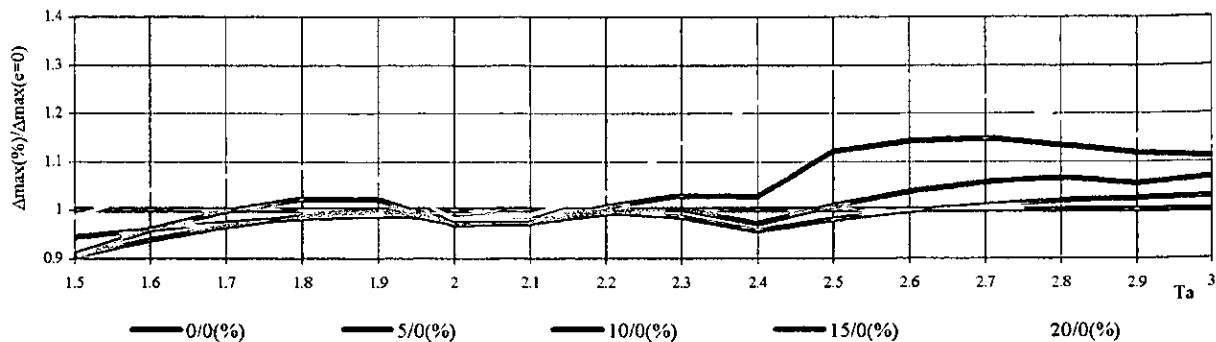


Figura 7.103

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

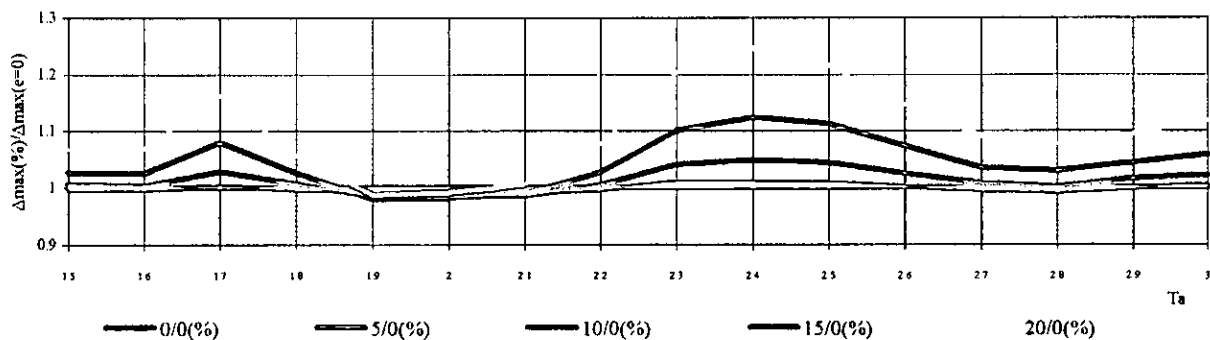


Figura 7.104

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

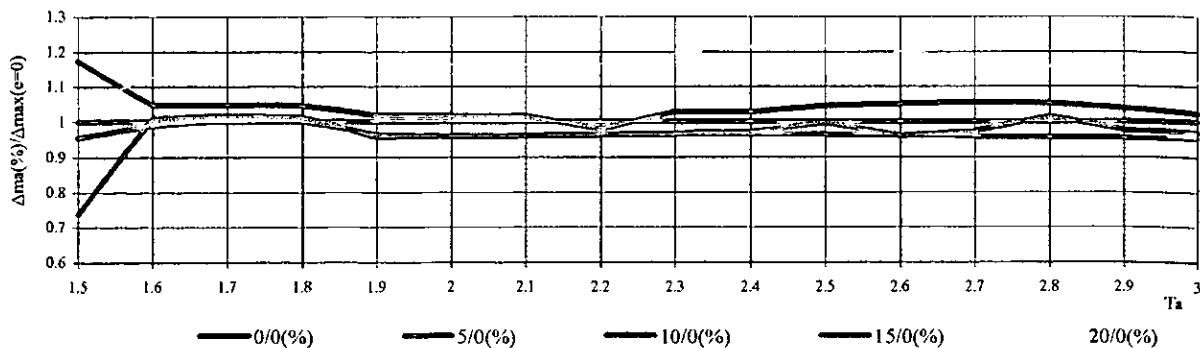


Figura 7.105

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

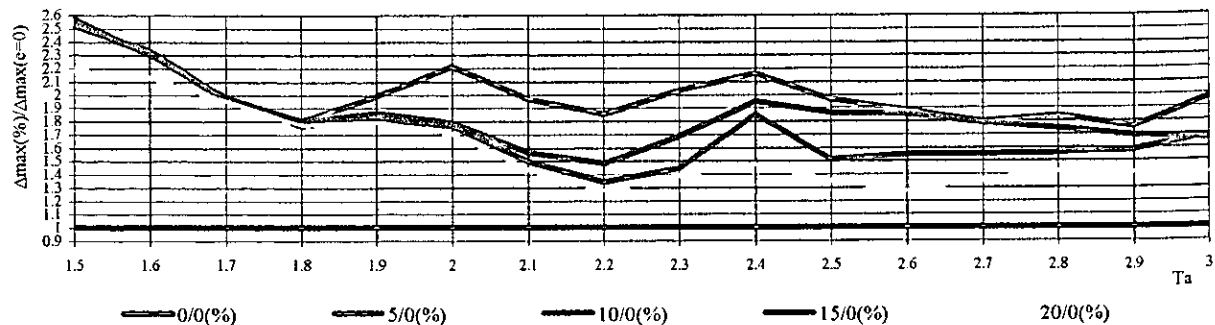


Figura 7.106

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} (con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $v_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

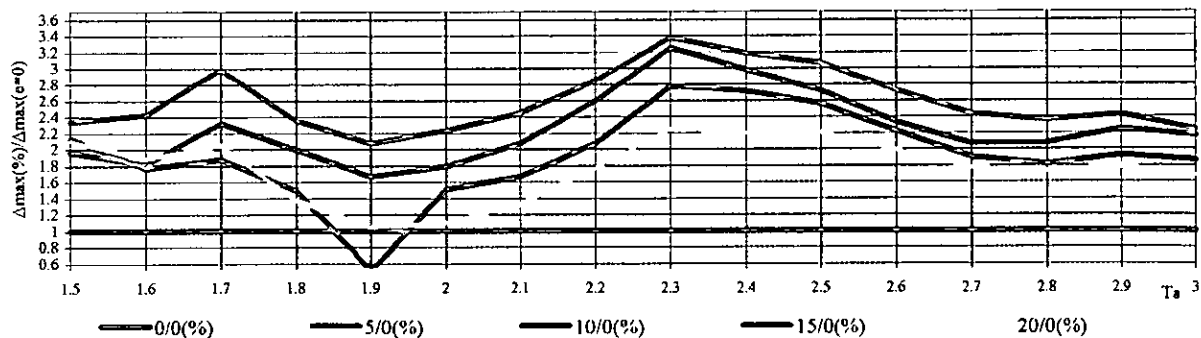


Figura 7.107

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

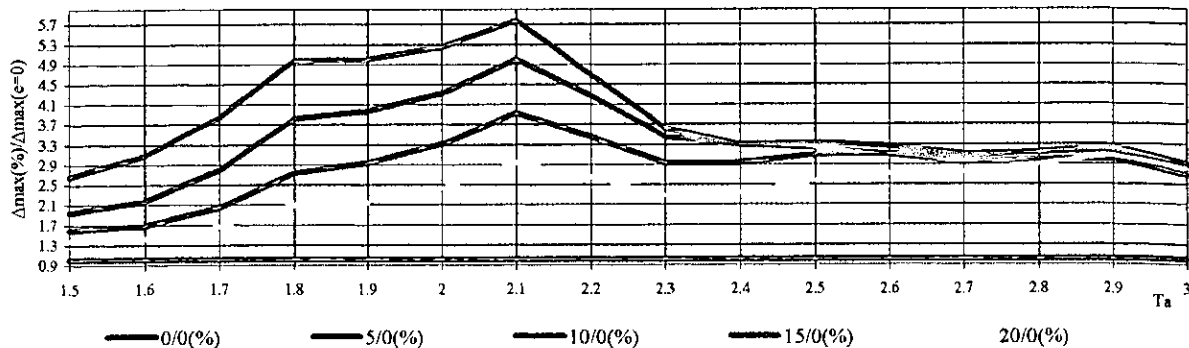


Figura 7.108

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

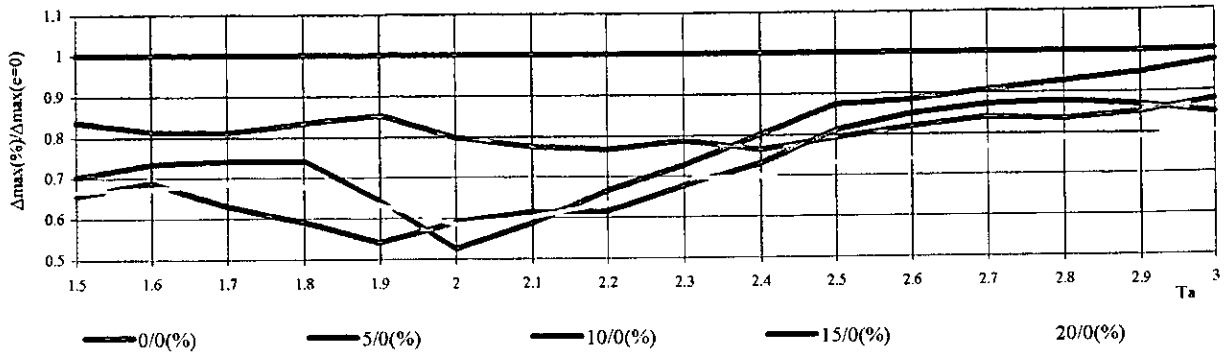


Figura 7.109

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} (con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

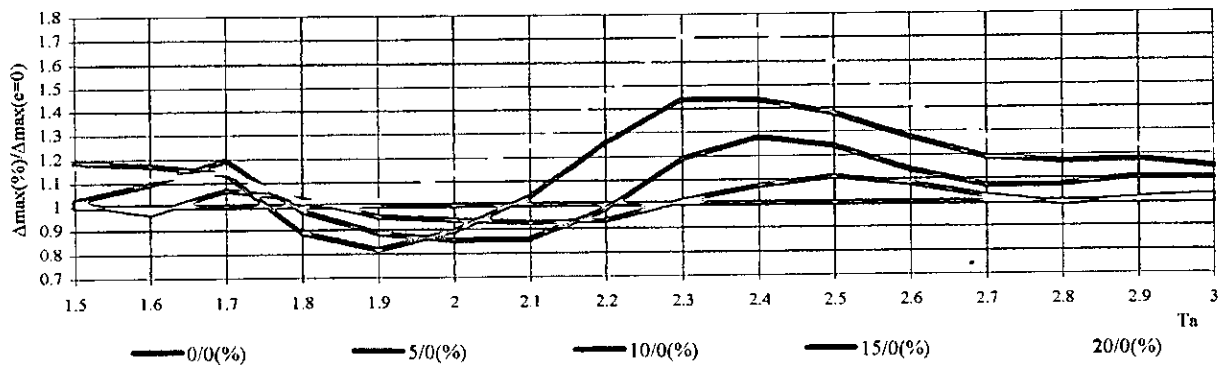


Figura 7.110

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

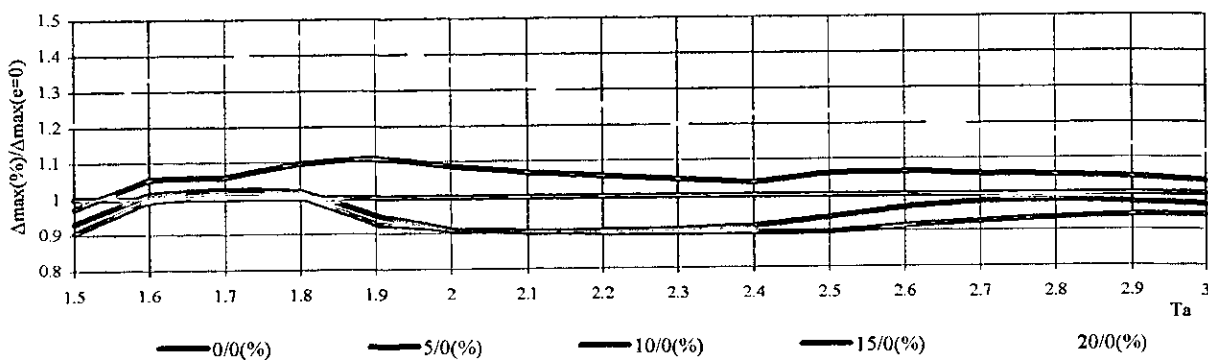


Figura 7.111

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

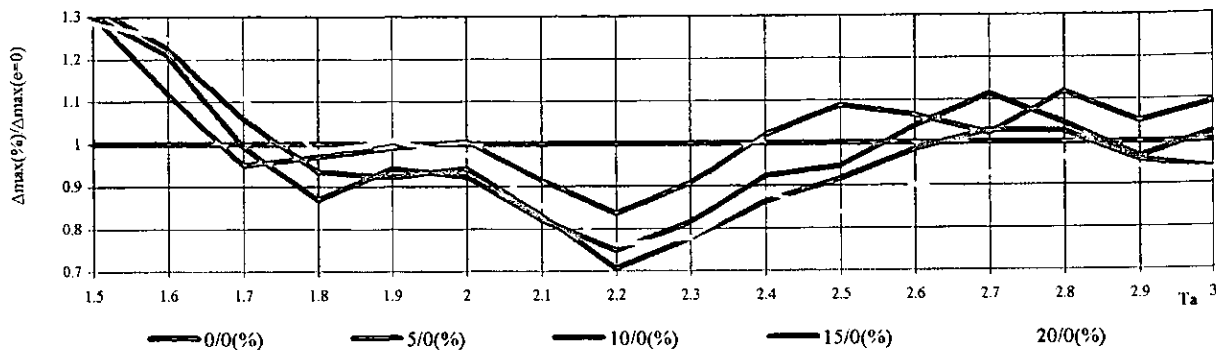


Figura 7.112

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

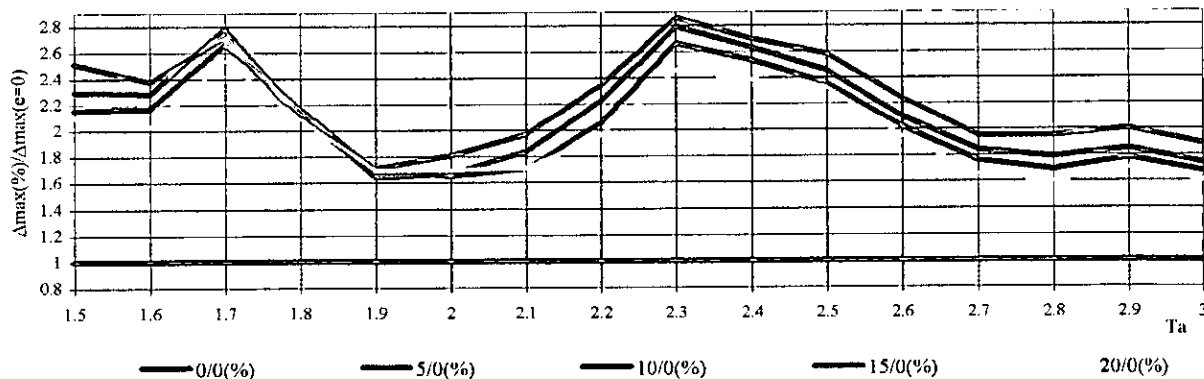


Figura 7.113

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

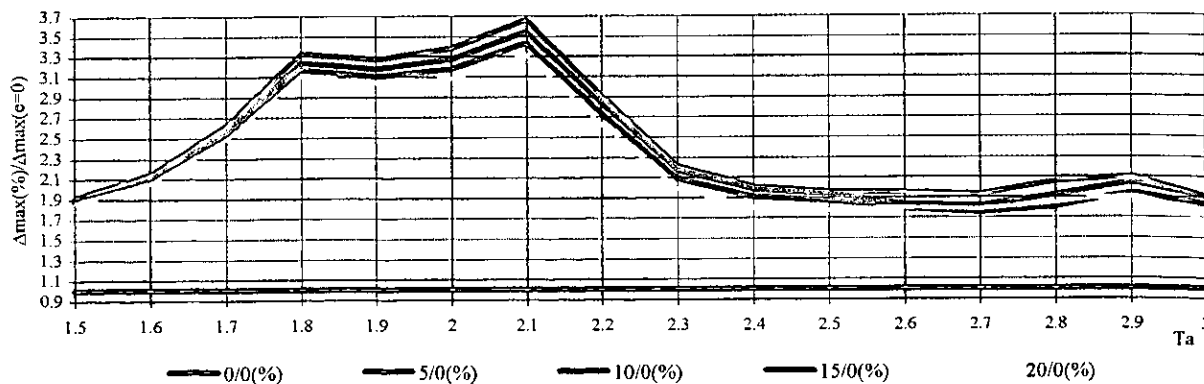


Figura 7.114

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

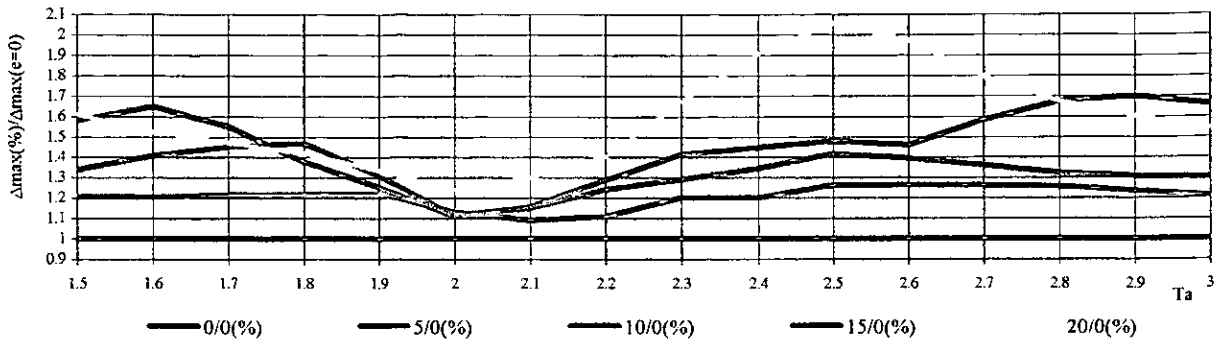


Figura 7.115

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

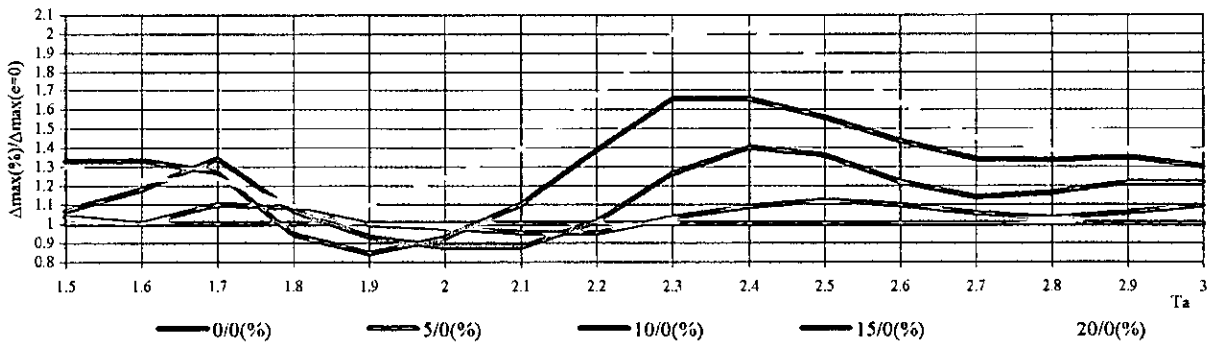


Figura 7.116

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

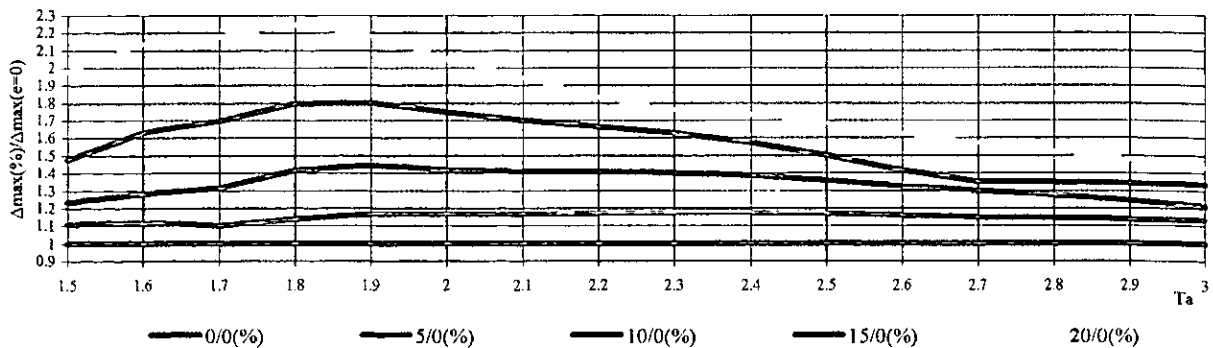


Figura 7.117

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

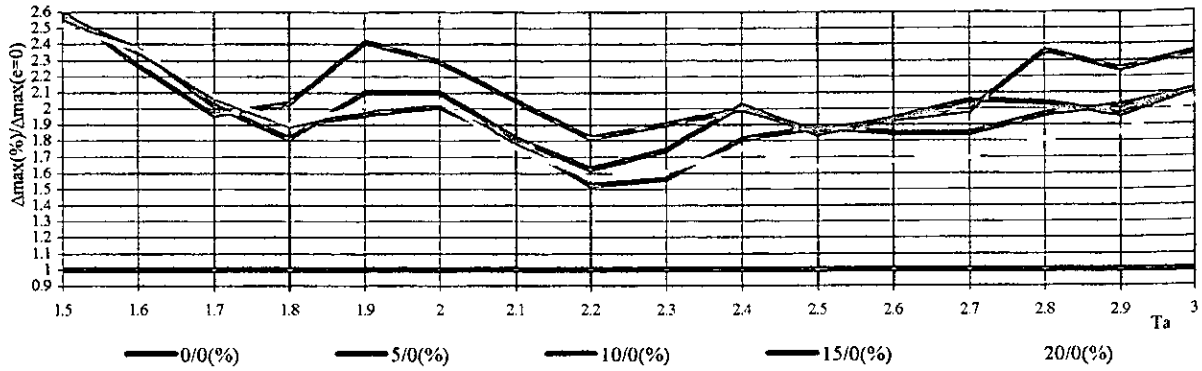


Figura 7.118

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $v_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

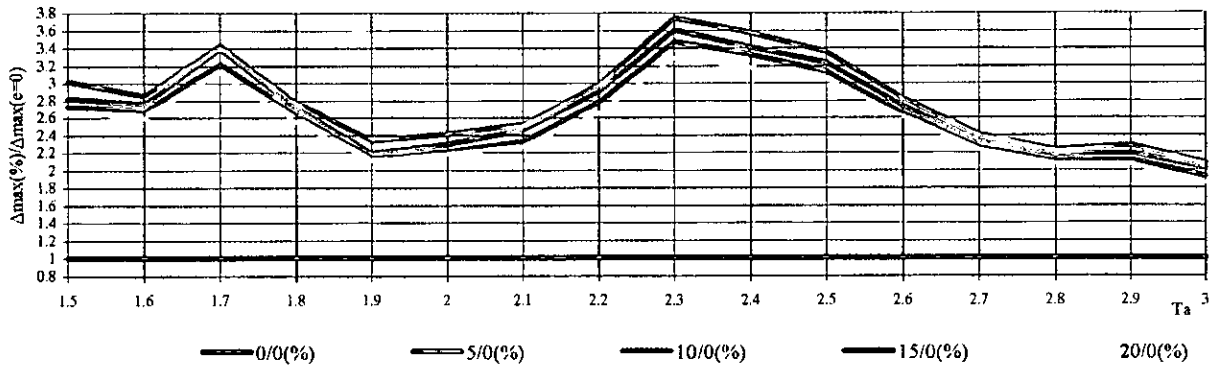


Figura 7.119

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

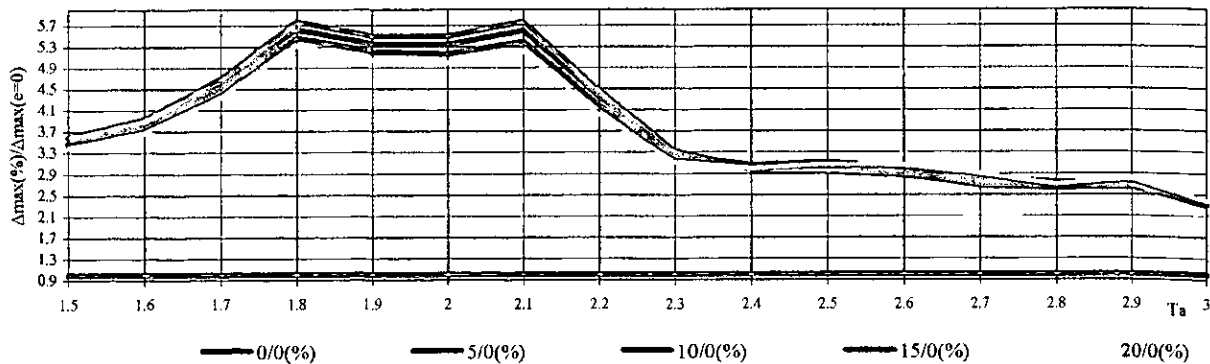


Figura 7.120

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

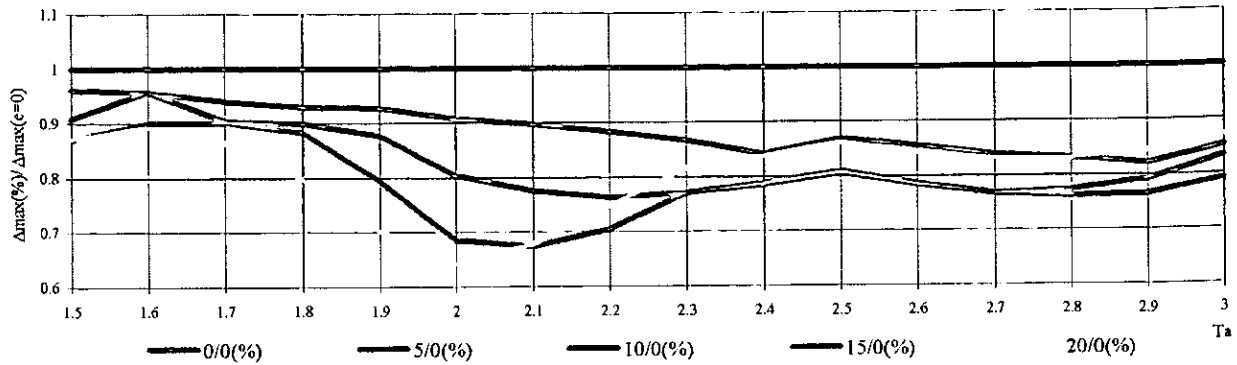


Figura 7.121

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

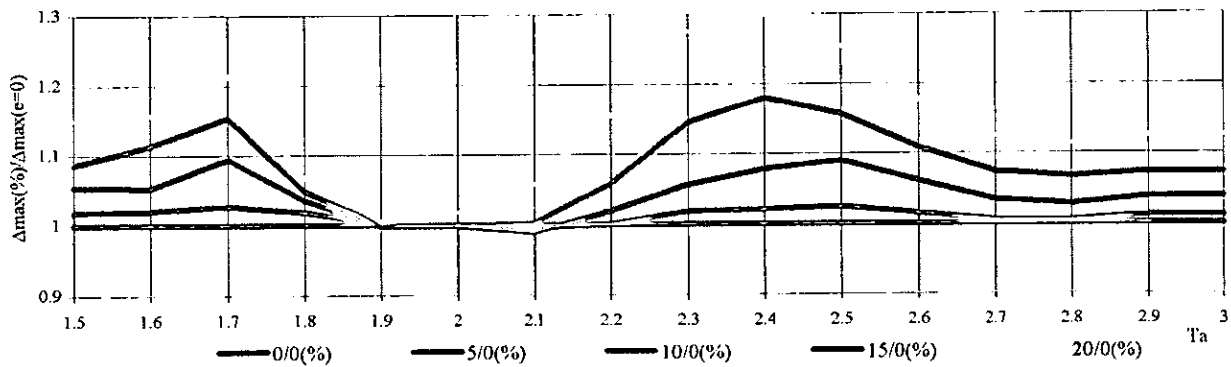


Figura 7.122

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$, Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

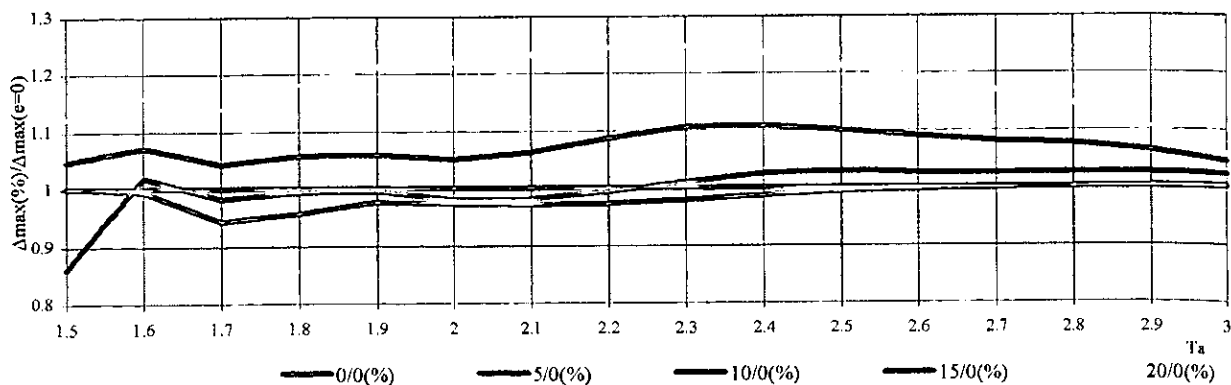


Figura 7.123

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

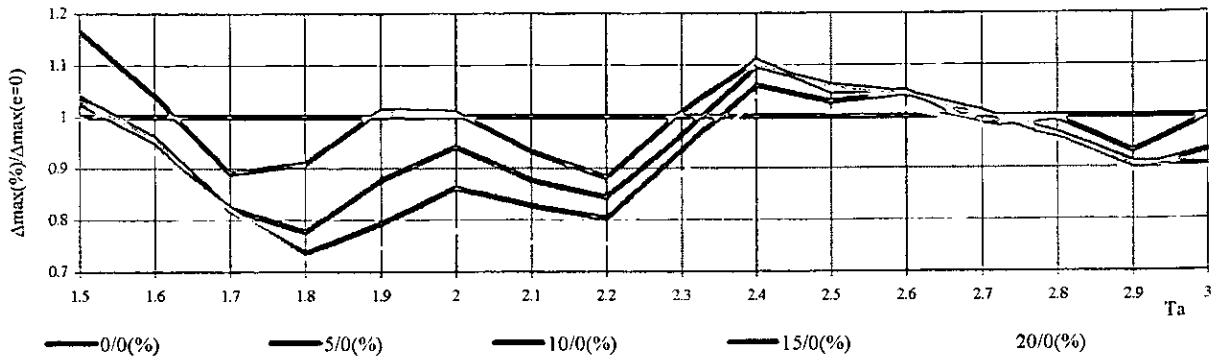


Figura 7.124

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

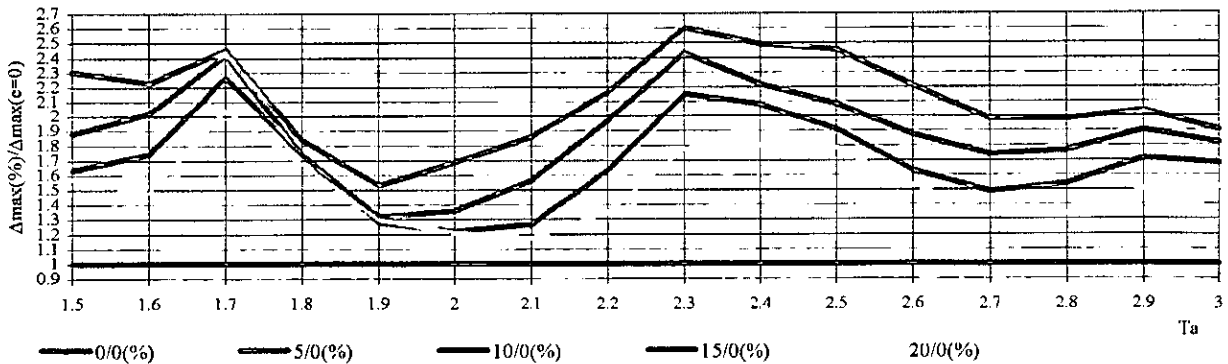


Figura 7.125

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

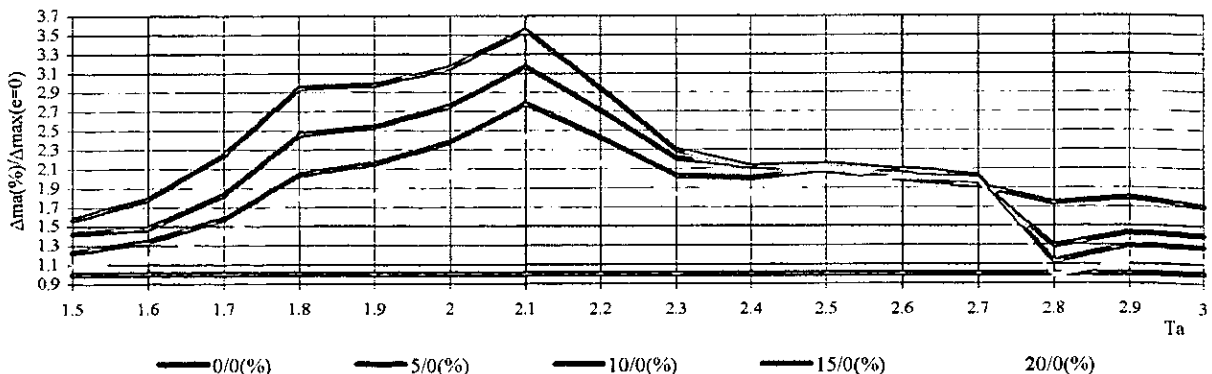


Figura 7.126

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

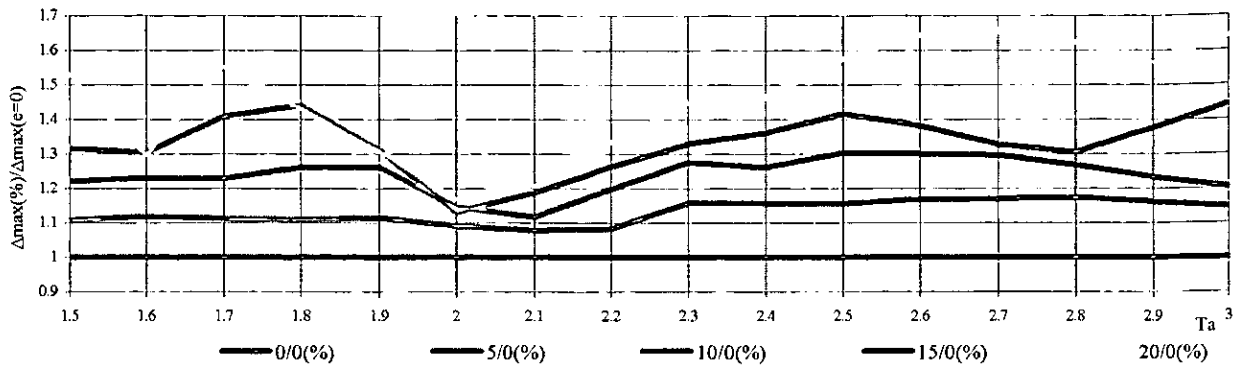


Figura 7.127

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y el Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

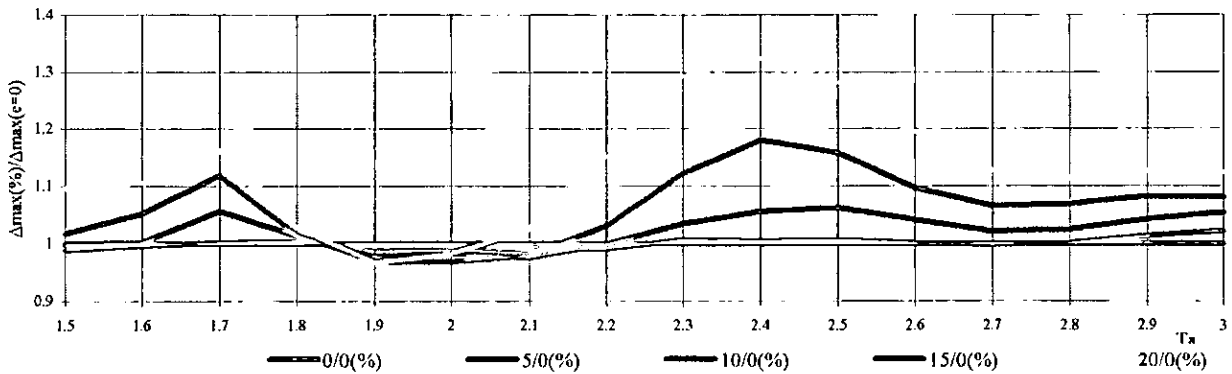


Figura 7.128

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

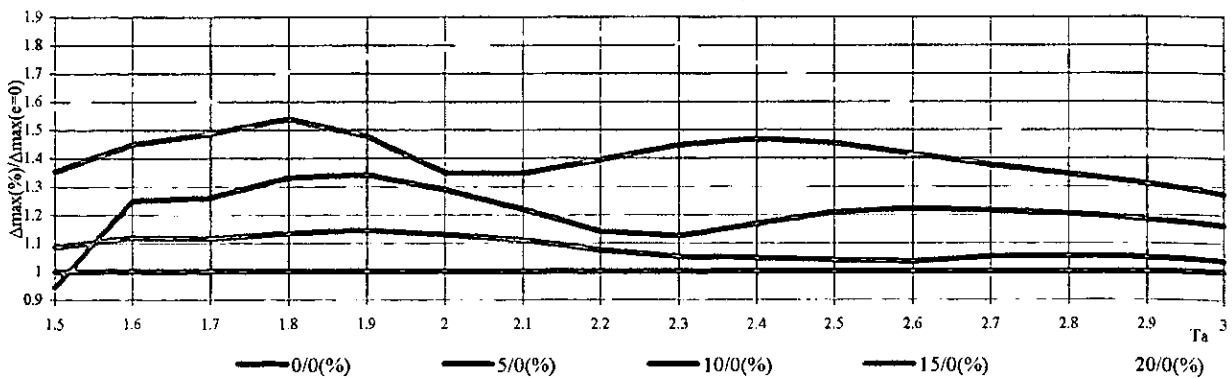


Figura 7.129

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

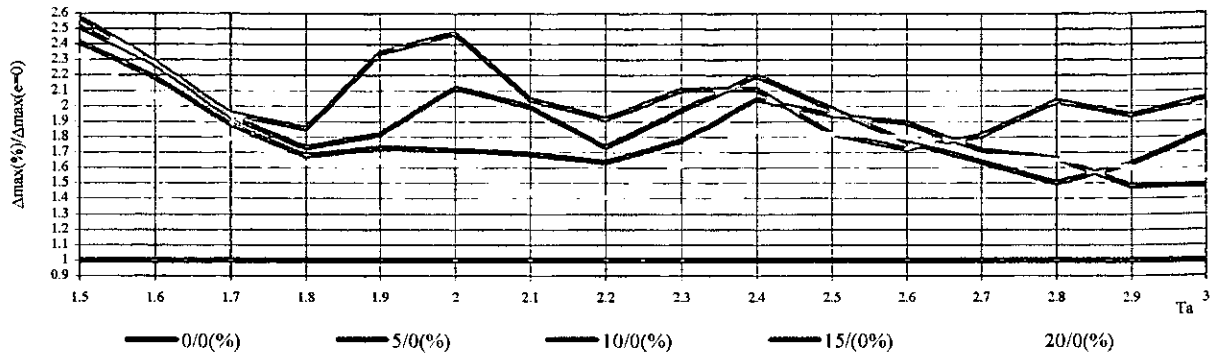


Figura 7.130

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $v_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

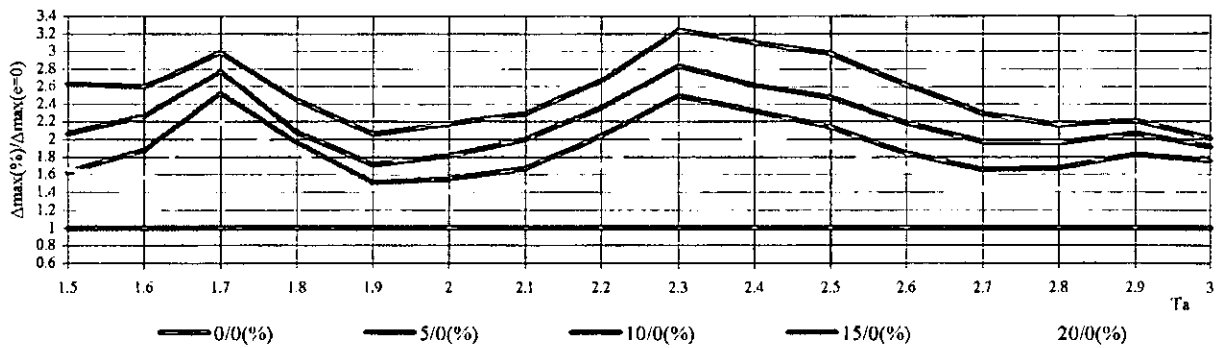


Figura 7.131

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

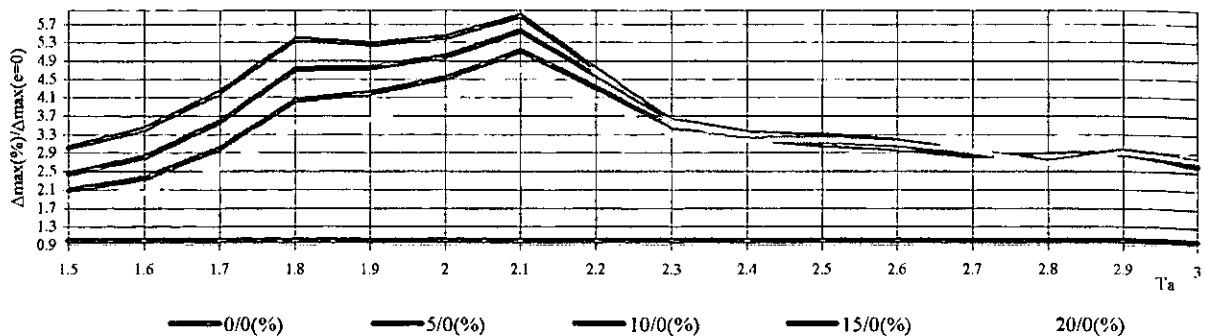


Figura 7.132

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

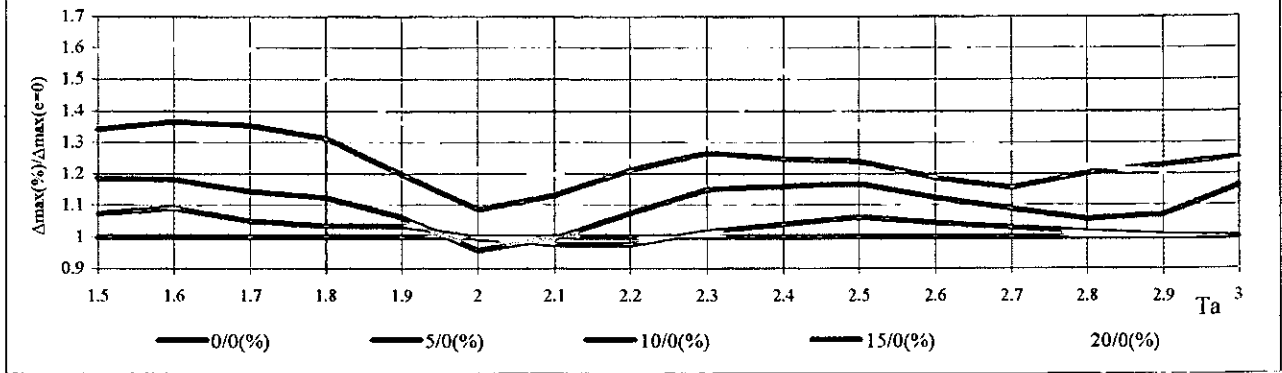


Figura 7.133

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

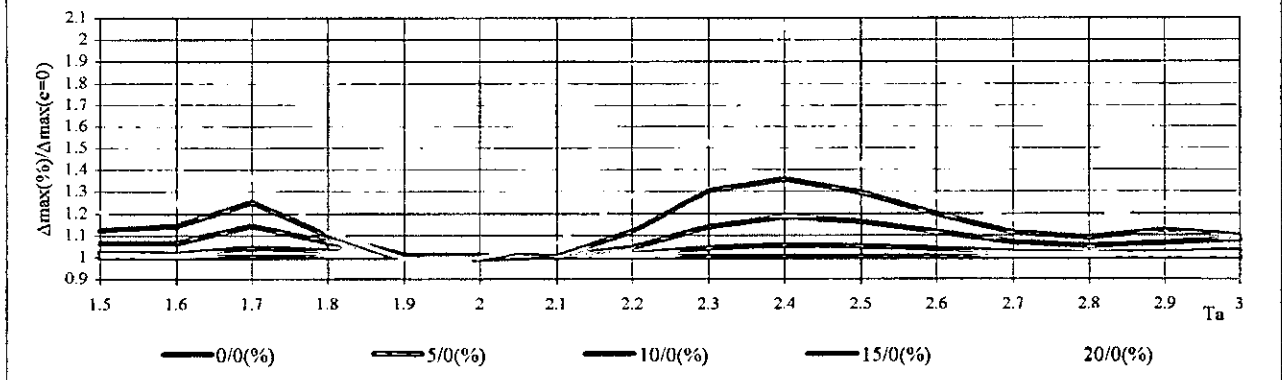


Figura 7.134

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$
Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

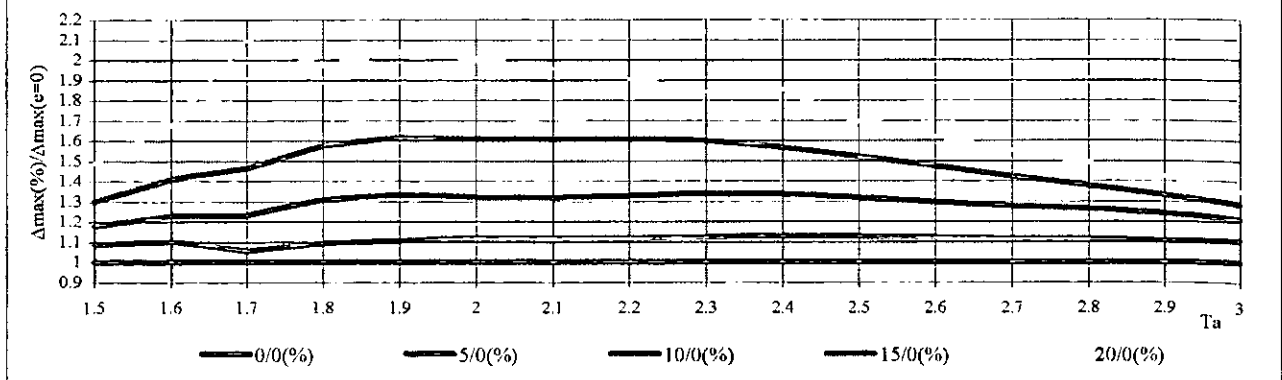


Figura 7.135

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

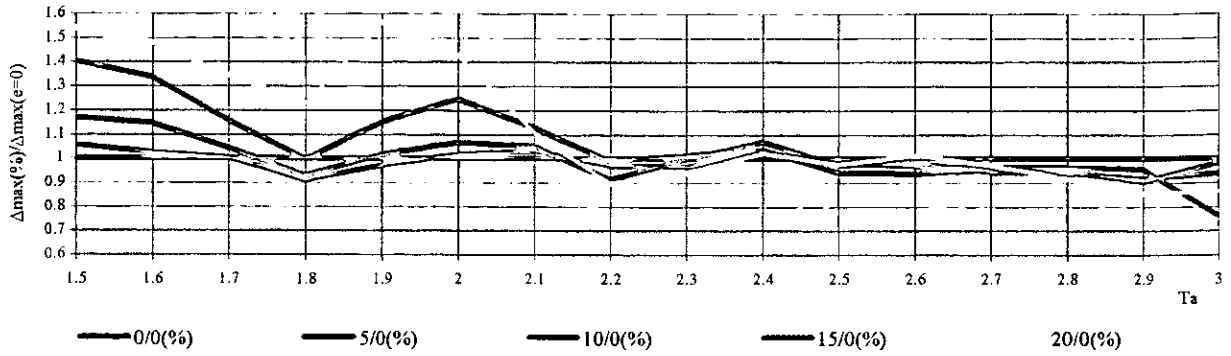


Figura 7.136

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} (con porcentajes de excentricidad en la superestructura) y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

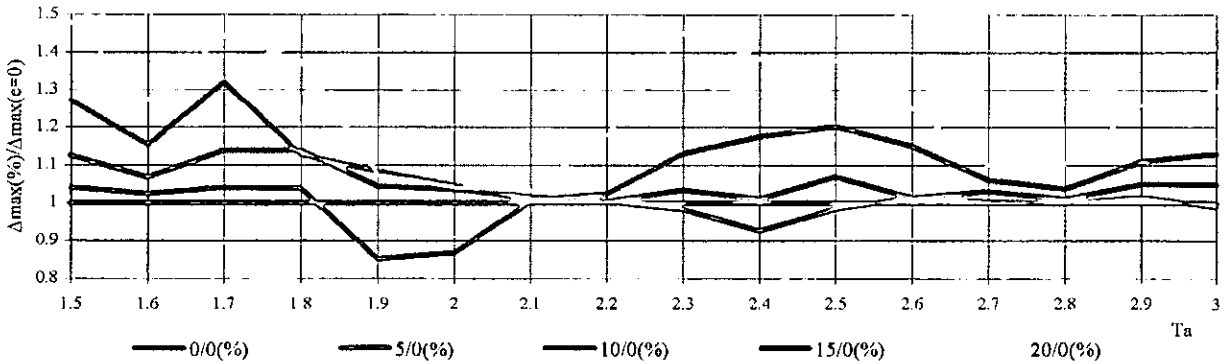


Figura 7.137

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

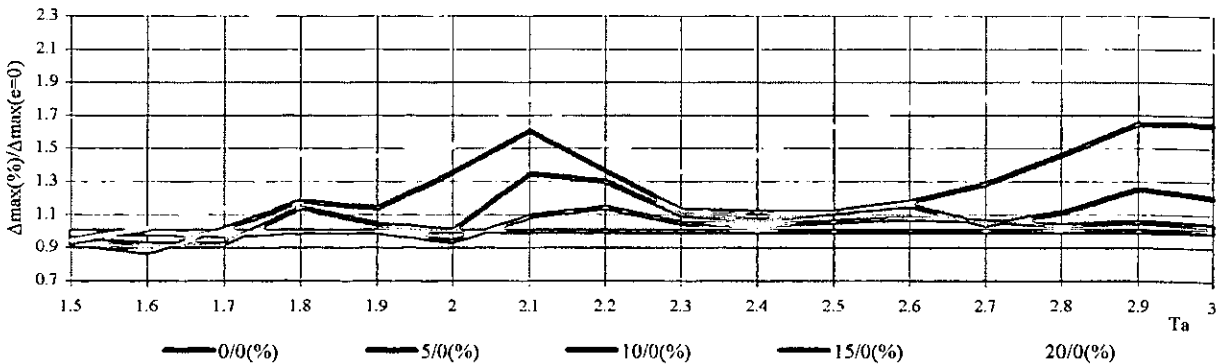


Figura 7.138

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

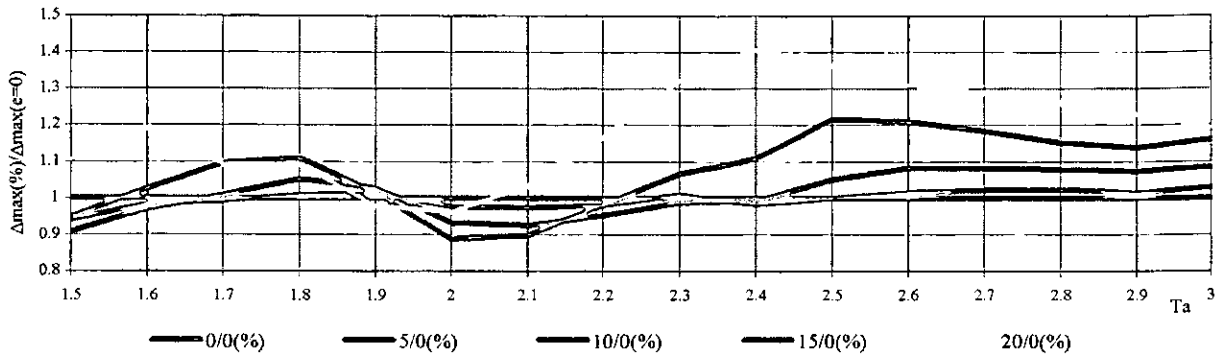


Figura 7.139

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de SMRza y en el aislador 13

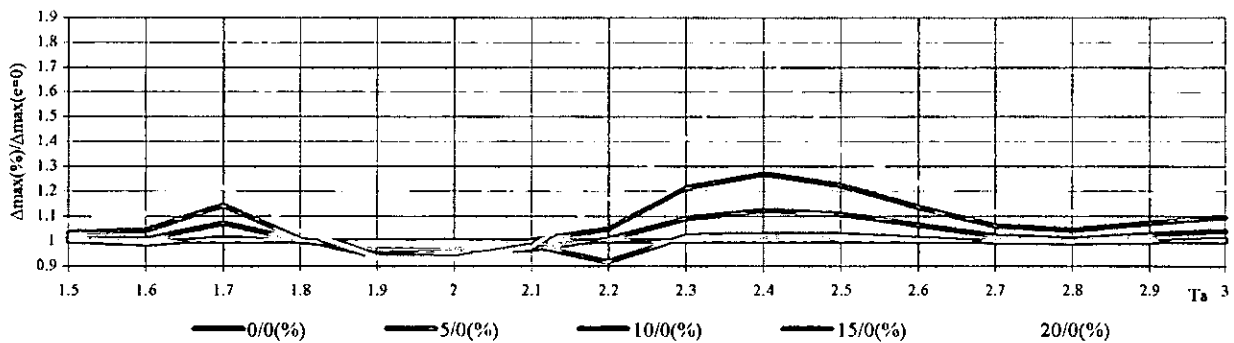


Figura 7.140

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} (con porcentajes de excentricidad en la superestructura) y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

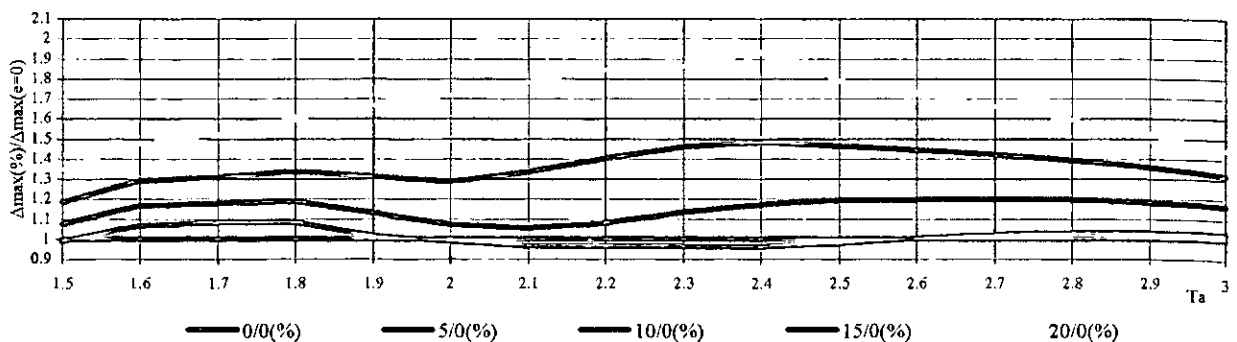


Figura 7.141

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} (con porcentajes de excentricidad en la superestructura) y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$ Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

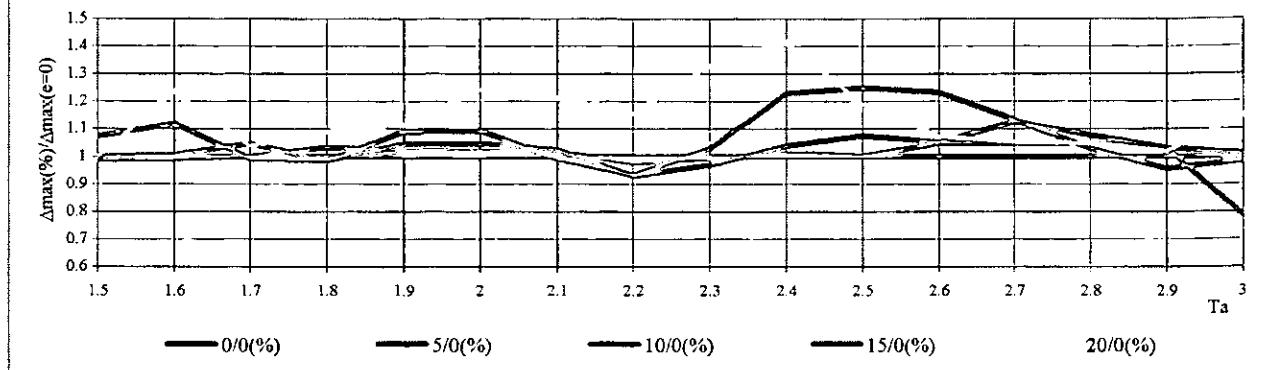


Figura 7.142

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $v_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

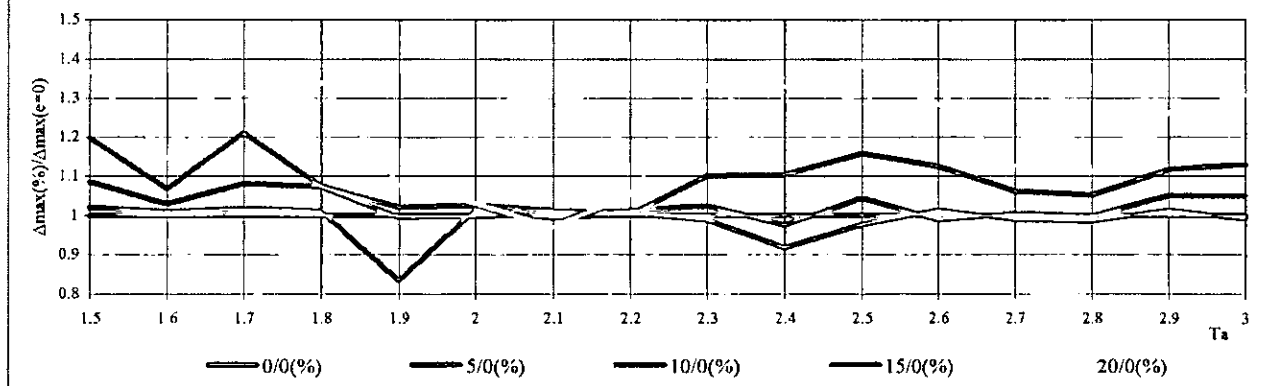


Figura 7.143

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

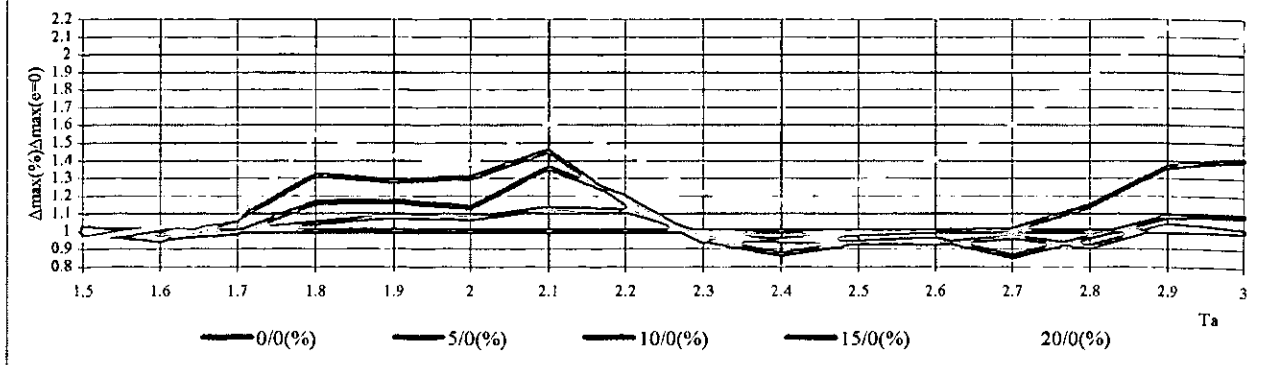


Figura 7.144

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

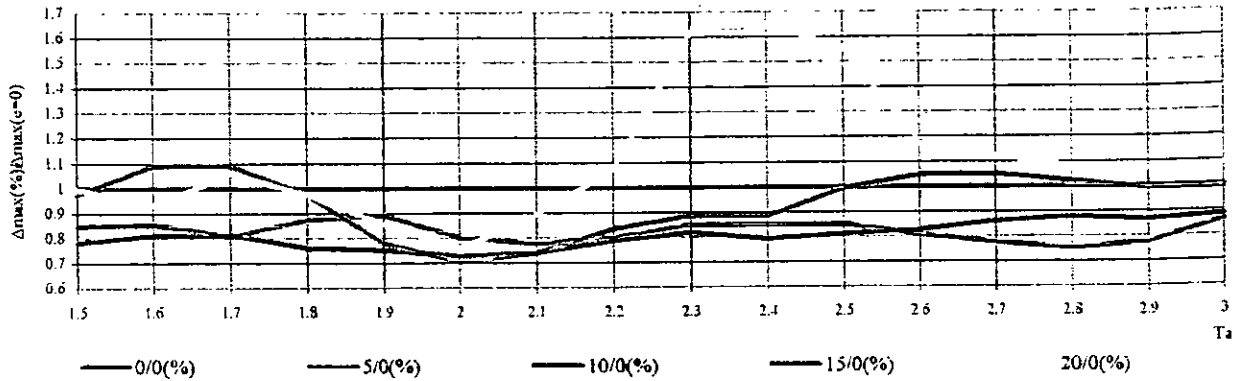


Figura 7.145

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

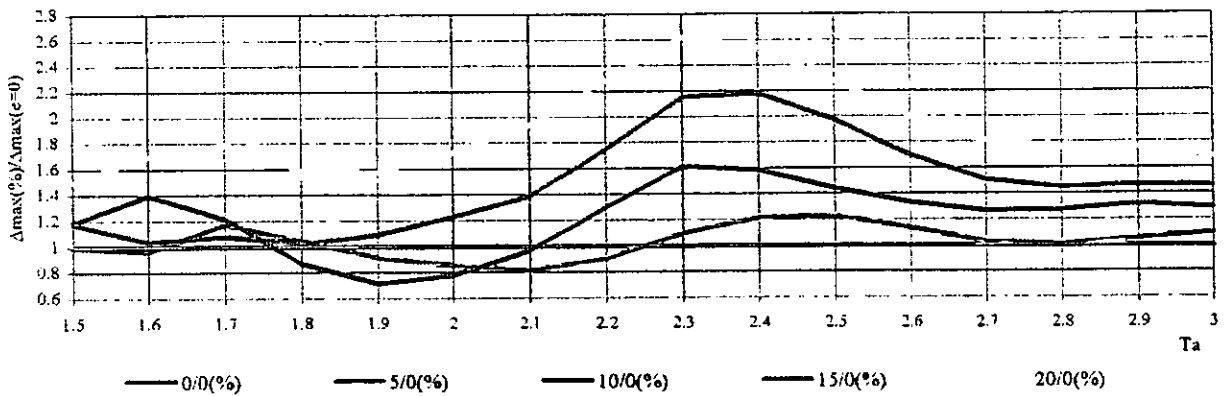


Figura 7.146

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

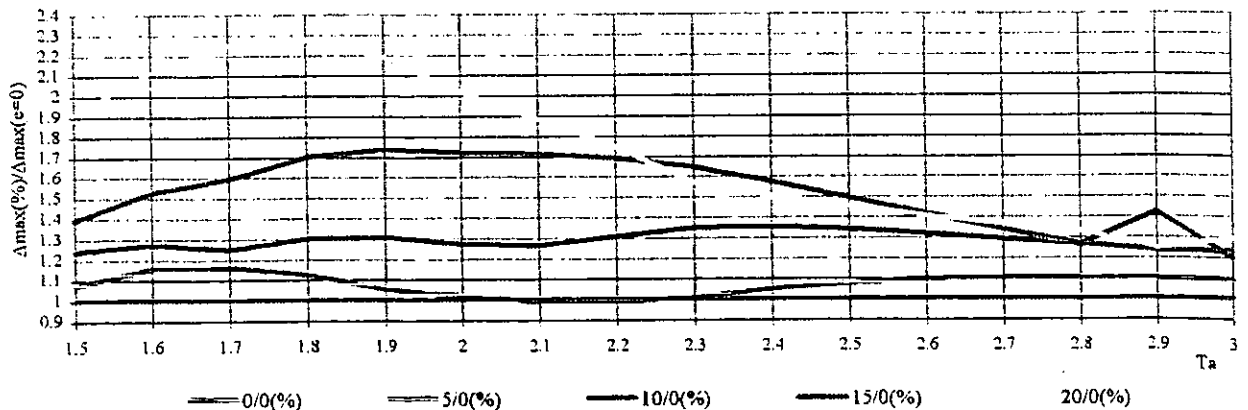


Figura 7.147

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 4

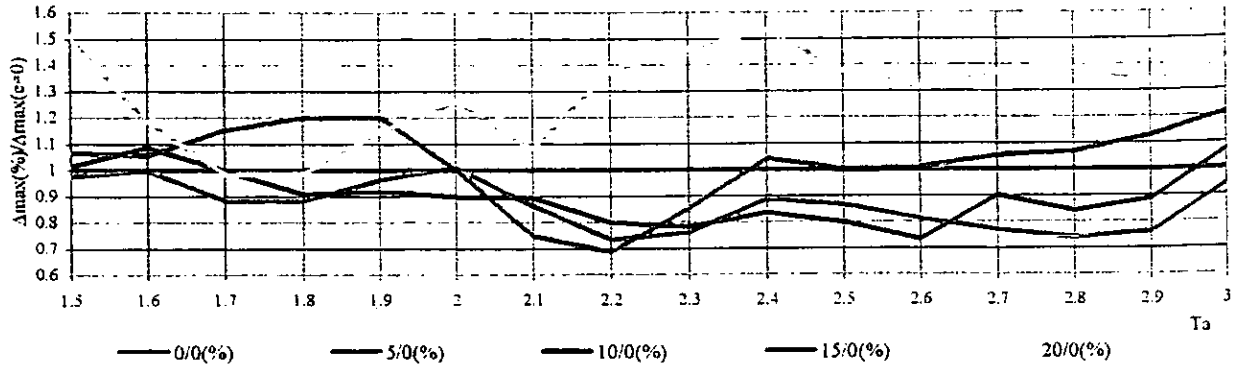


Figura 7.148

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 4

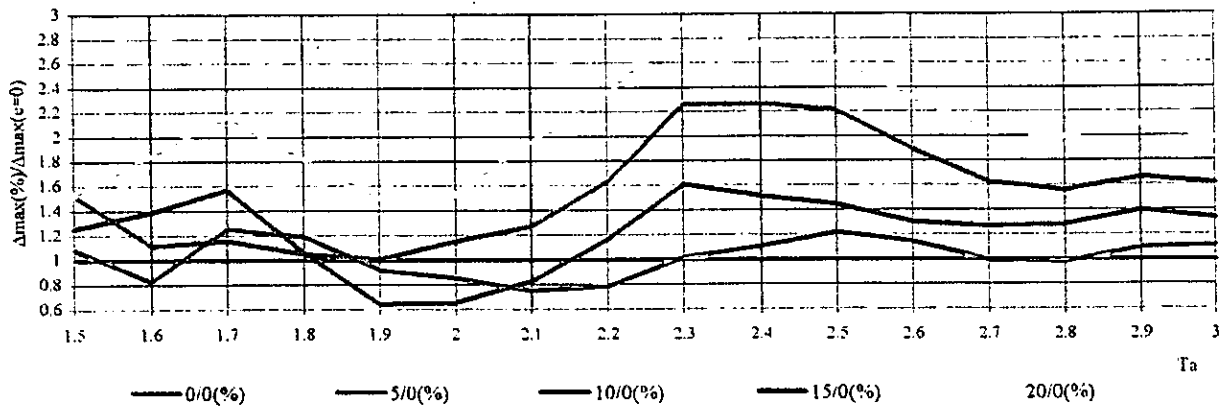


Figura 7.149

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$, Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 4

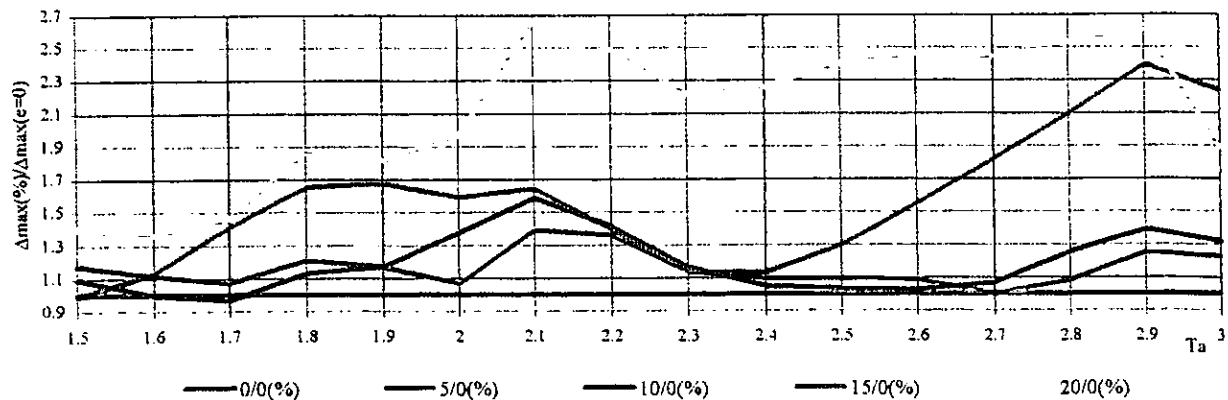


Figura 7.150

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

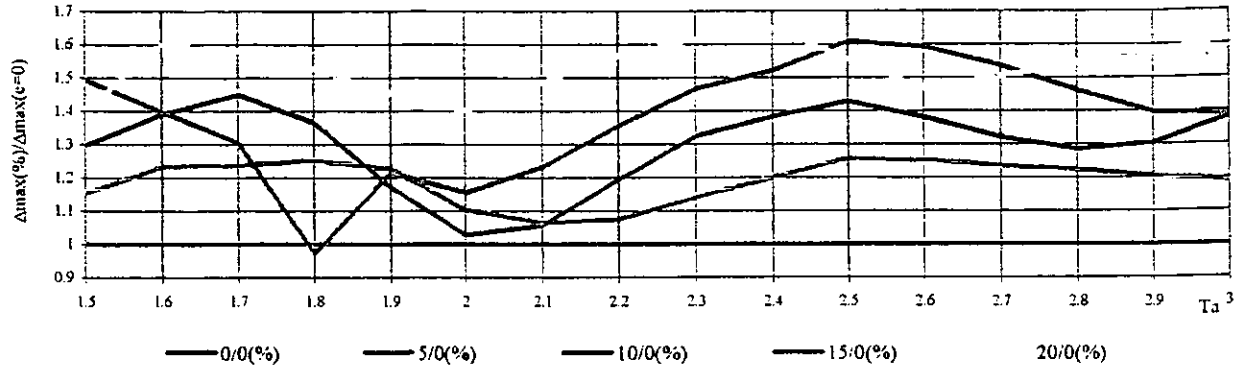


Figura 7.151

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

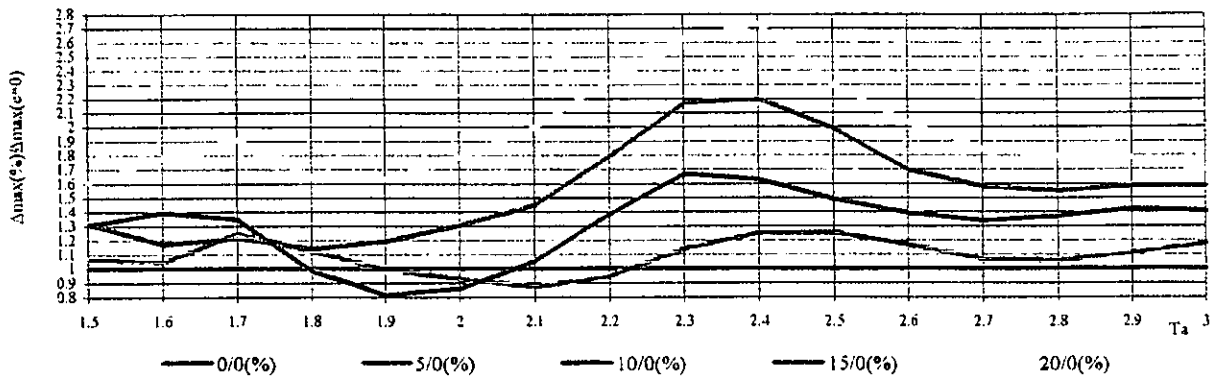


Figura 7.152

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.05W$,
Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

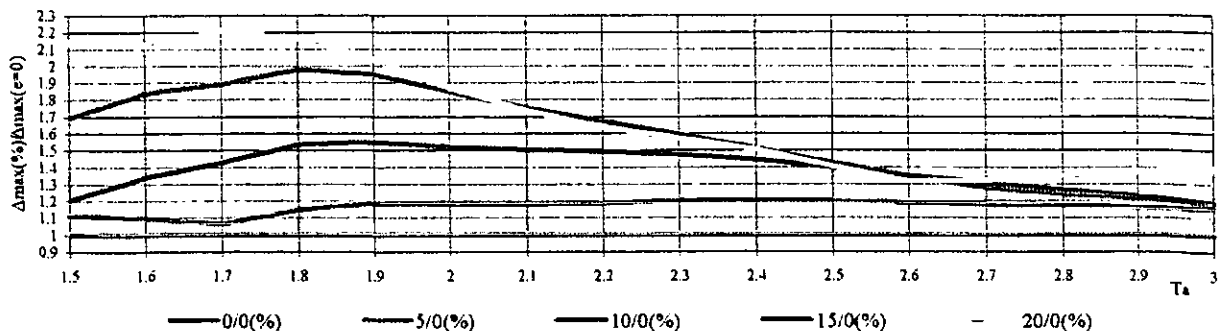


Figura 7.153

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$,
Ante la acción bidireccional de UNION y en el aislador 13

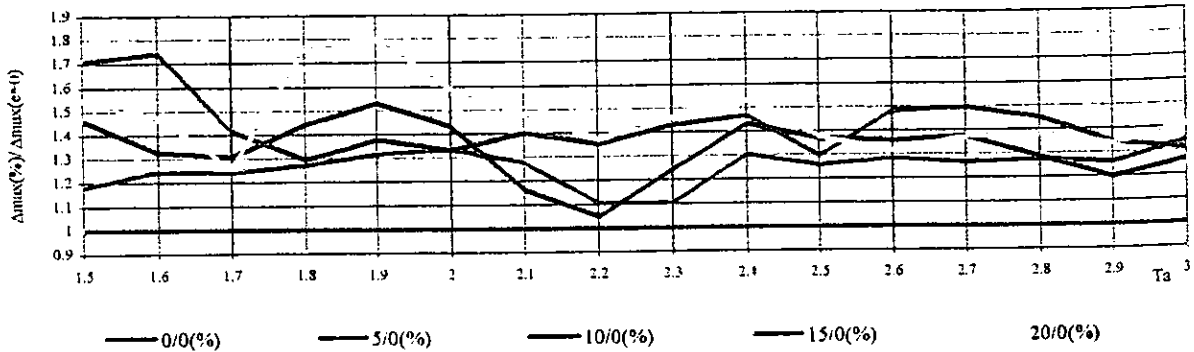


Figura 7.154

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $v_y = 0.1W$,
Ante la acción bidireccional de SMRZA y en el aislador 13

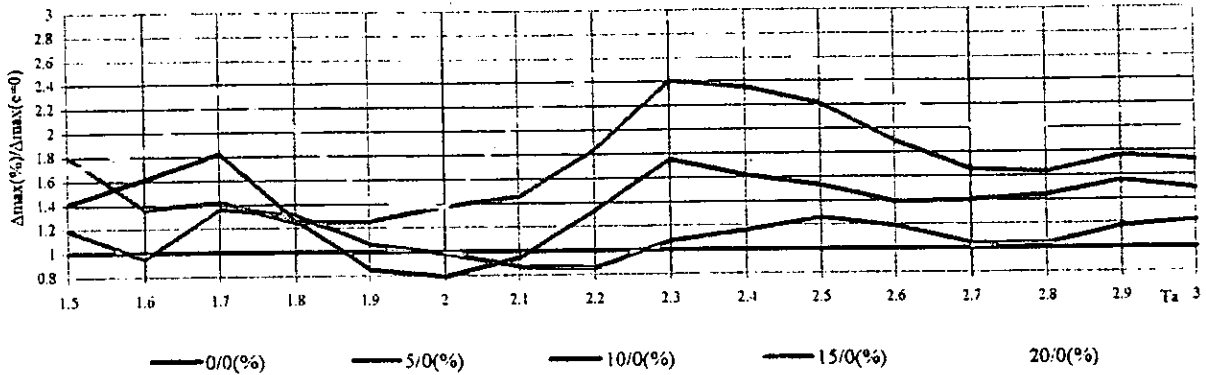


Figura 7.155

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre Δ_{max} con porcentajes de excentricidad en la superestructura y Δ_{max} sin excentricidad, con $V_y = 0.1W$,
Ante la acción bidireccional de TMANZ y en el aislador 13

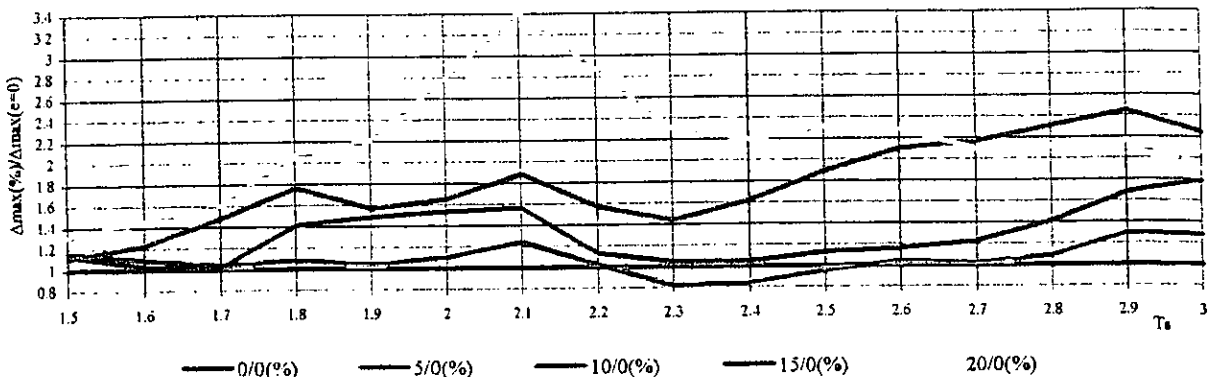


Figura 7.156

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de UNION, en el aislador 4

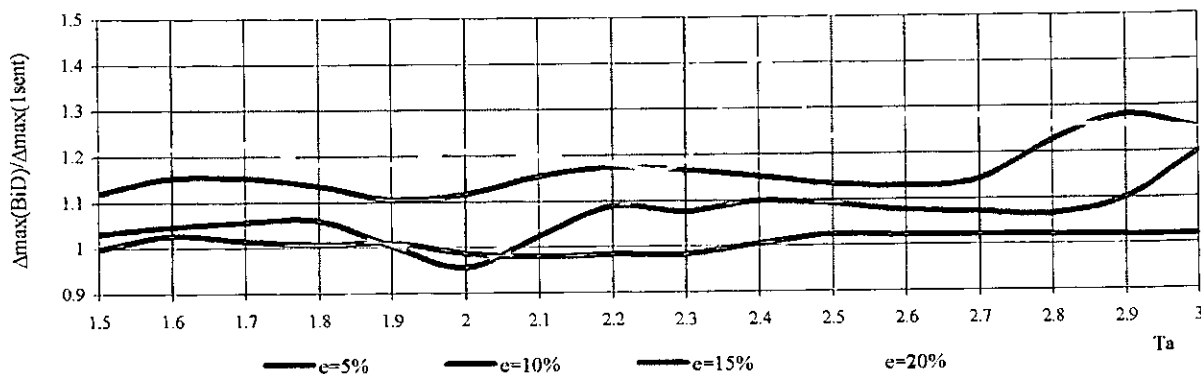


Figura 7.157

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 4

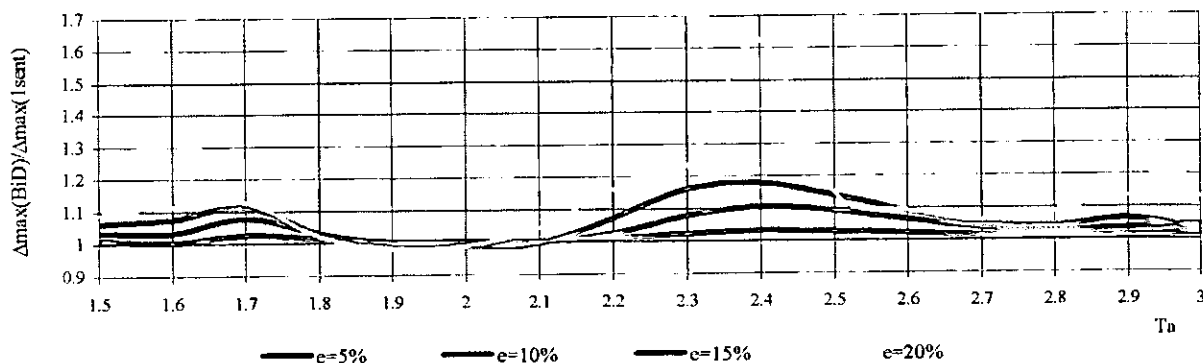


Figura 7.158

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 4

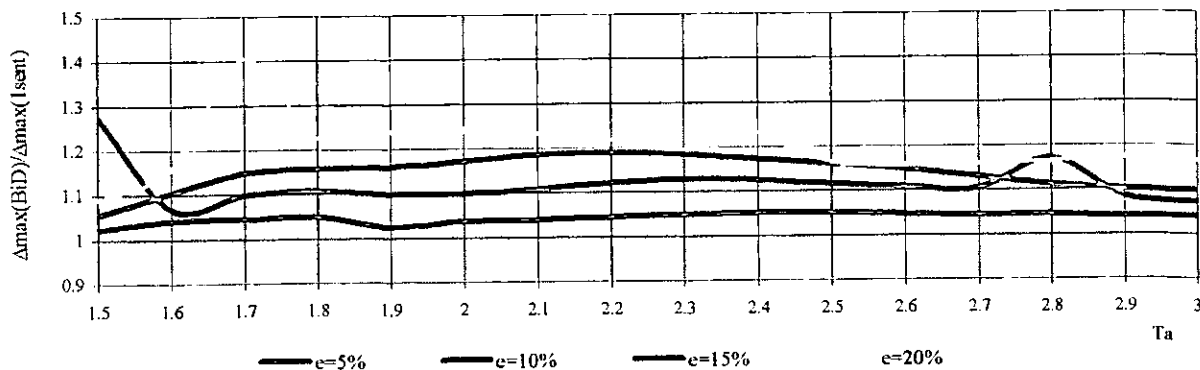


Figura 7.159

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de UNION, en el aislador 4

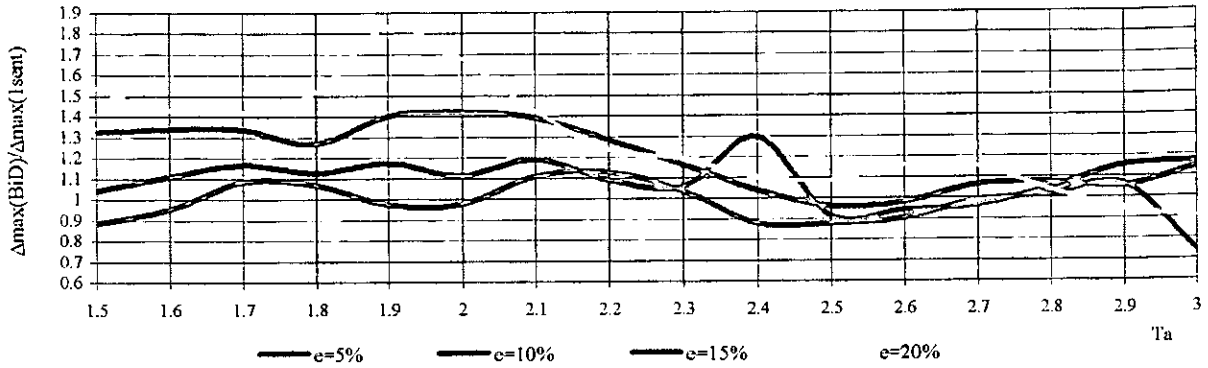


Figura 7.160

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 4

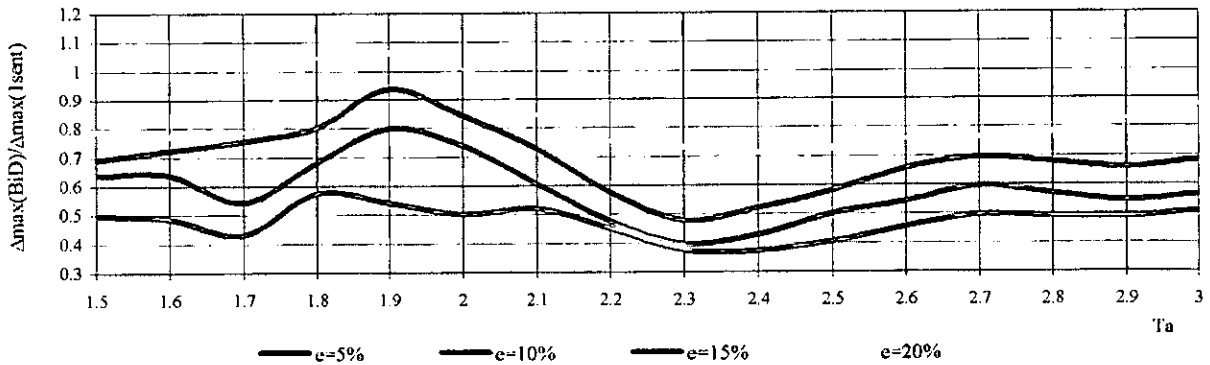


Figura 7.161

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 4

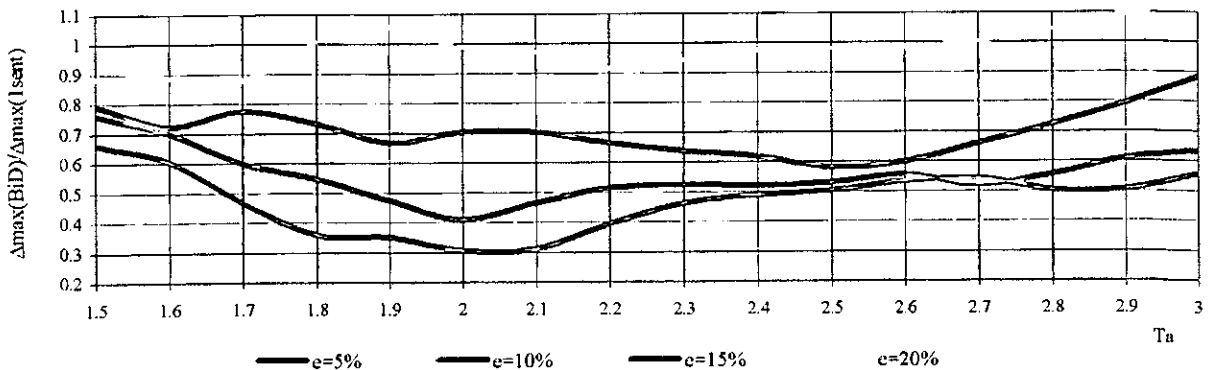


Figura 7.162

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de UNION, en el aislador 13

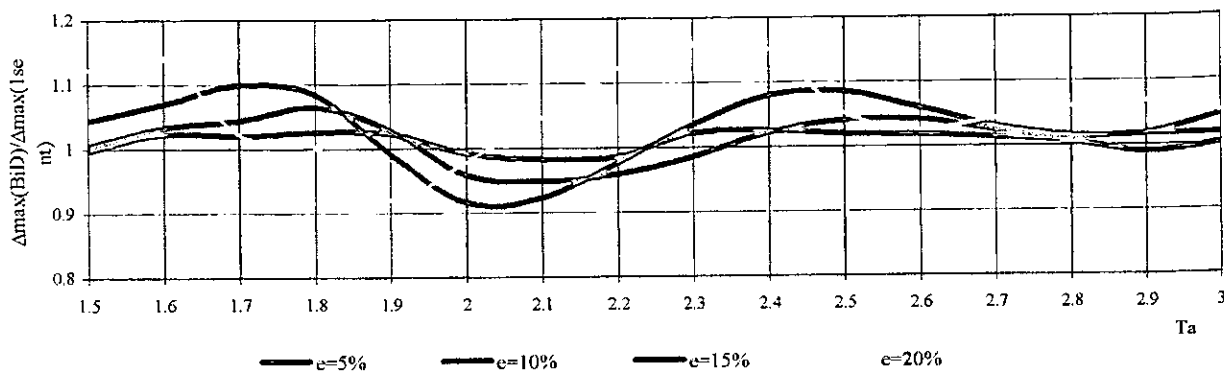


Figura 7.163

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 13

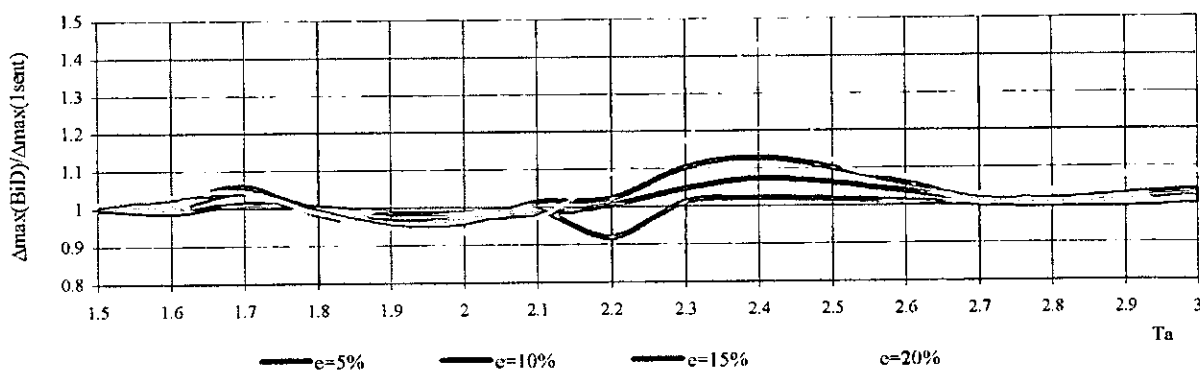


Figura 7.164

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 13

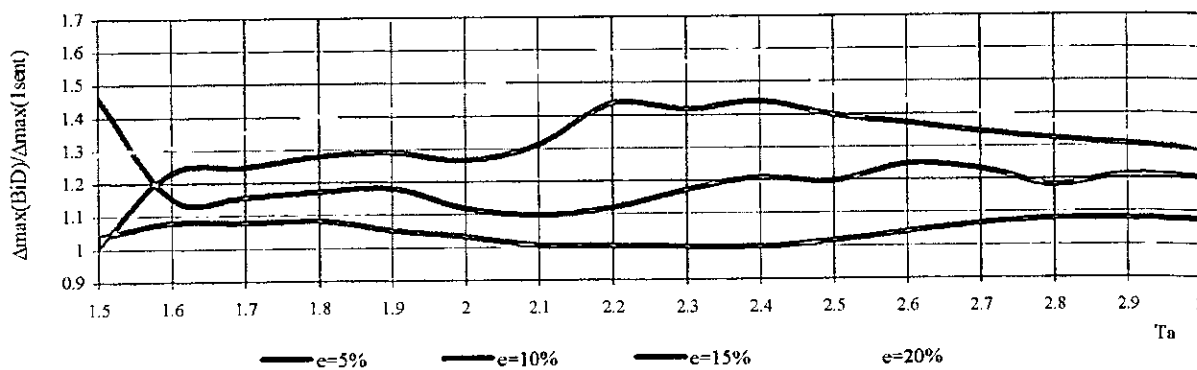


Figura 7.165

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de UNION, en el aislador 13

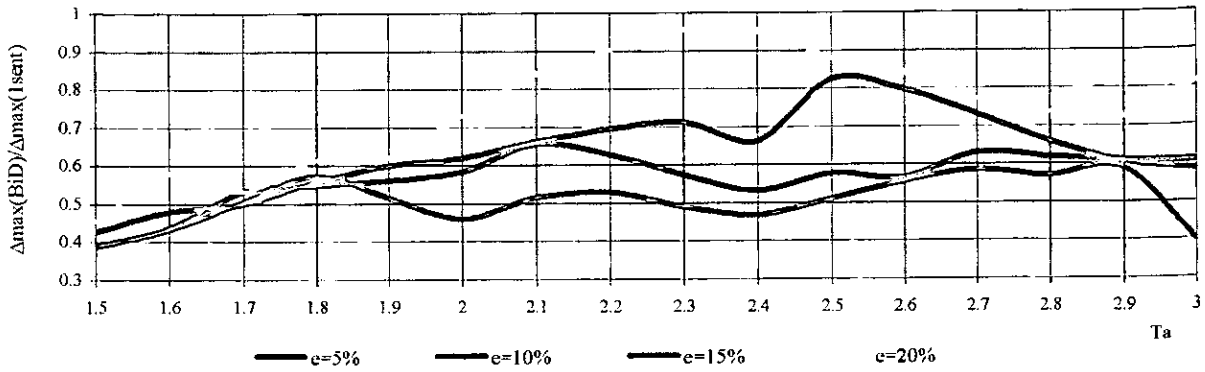


Figura 7.166

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 13

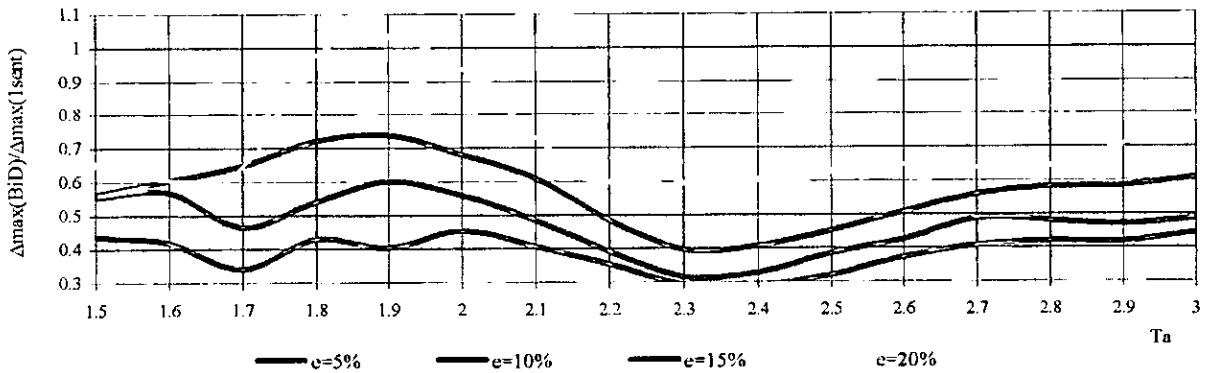


Figura 7.167

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 13

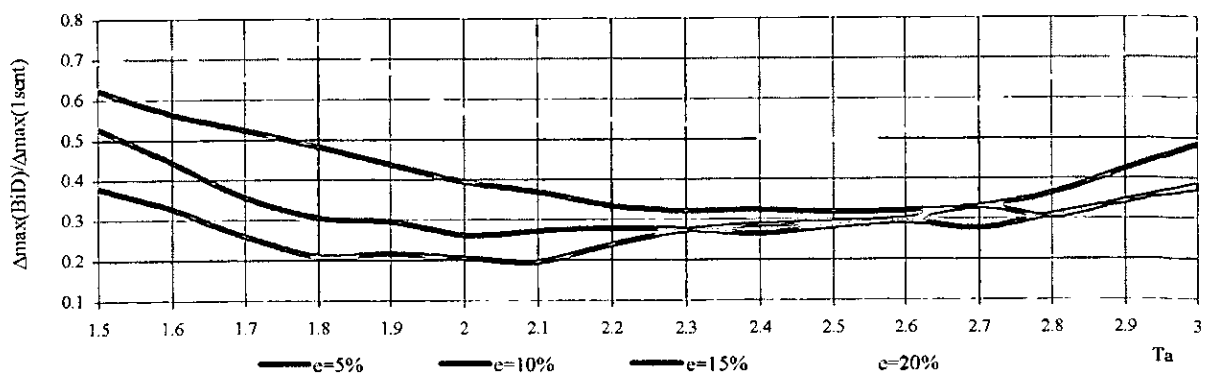


Figura 7.168

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de UNION, en el aislador 4

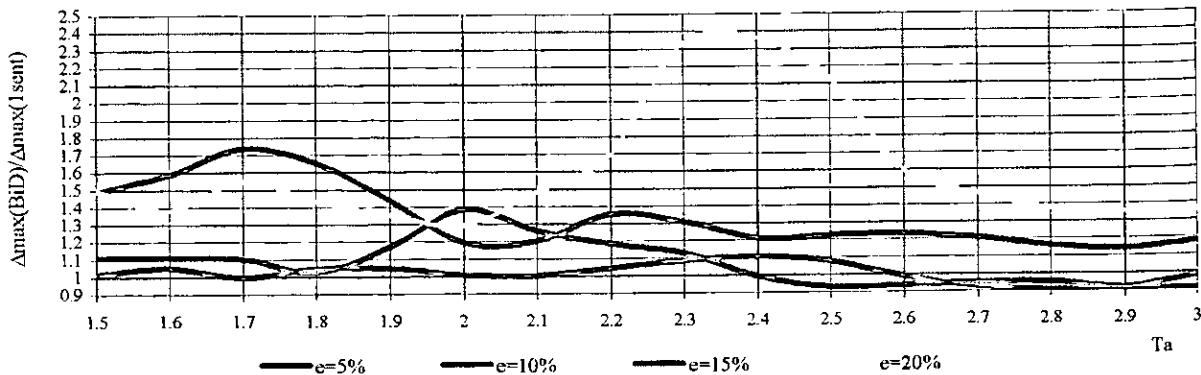


Figura 7.169

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 4

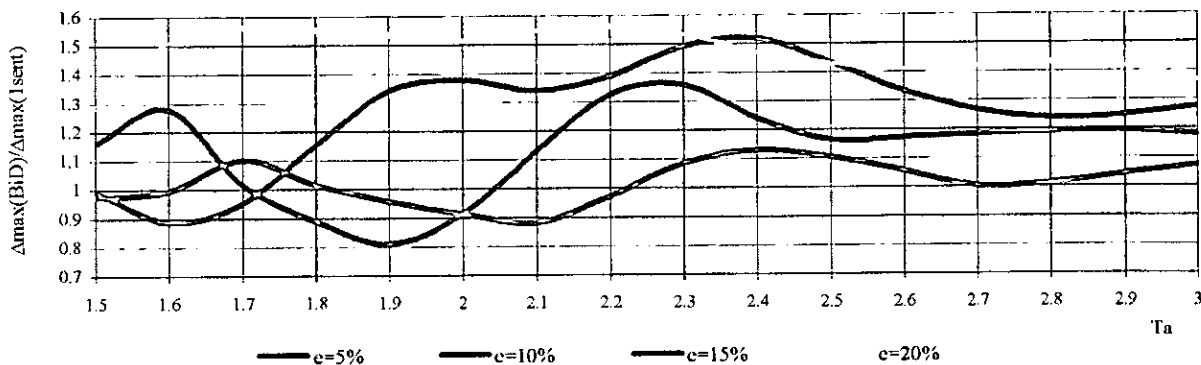


Figura 7.170

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 4

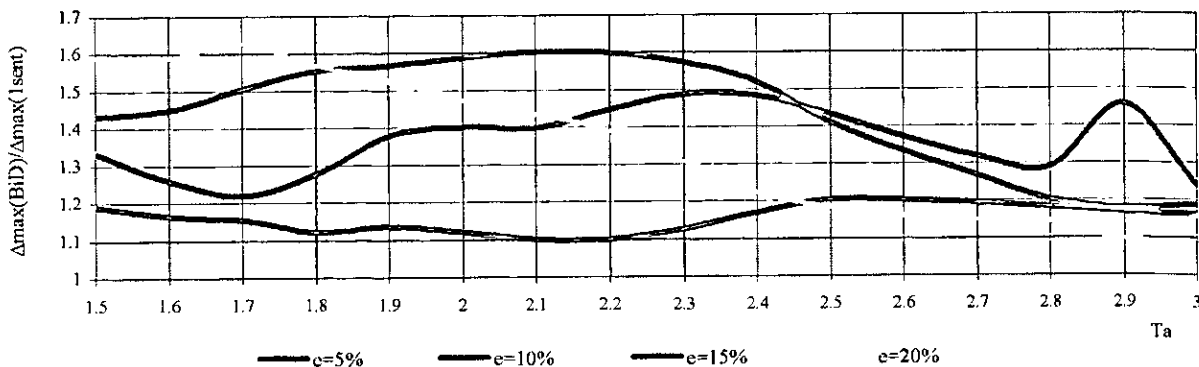


Figura 7.171

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de UNION, en el aislador 4

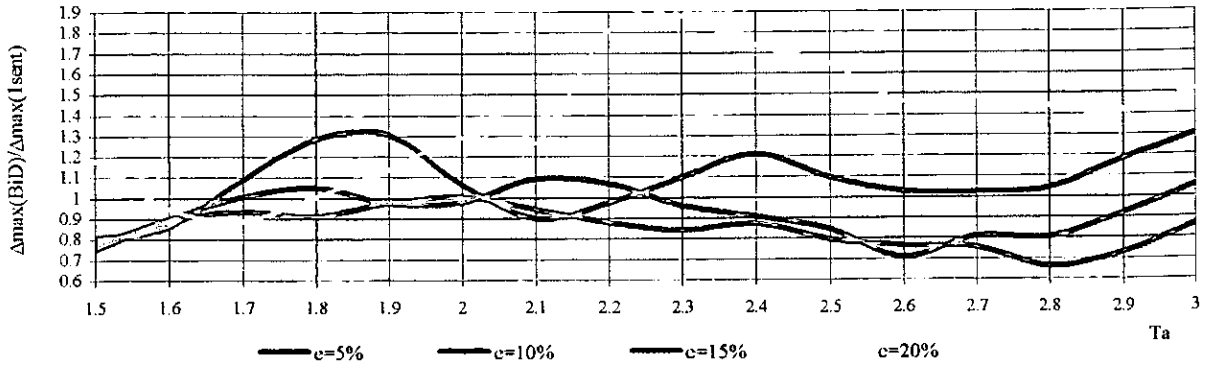


Figura 7.172

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 4

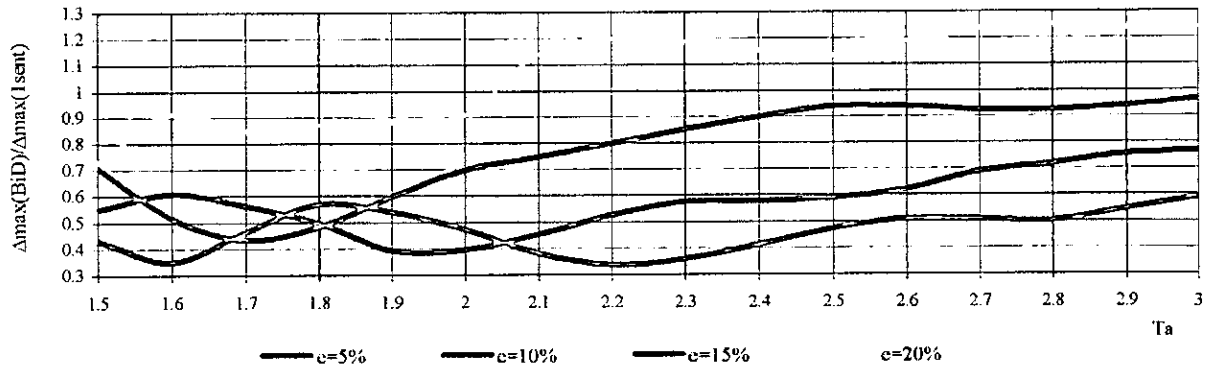


Figura 7.173

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 4

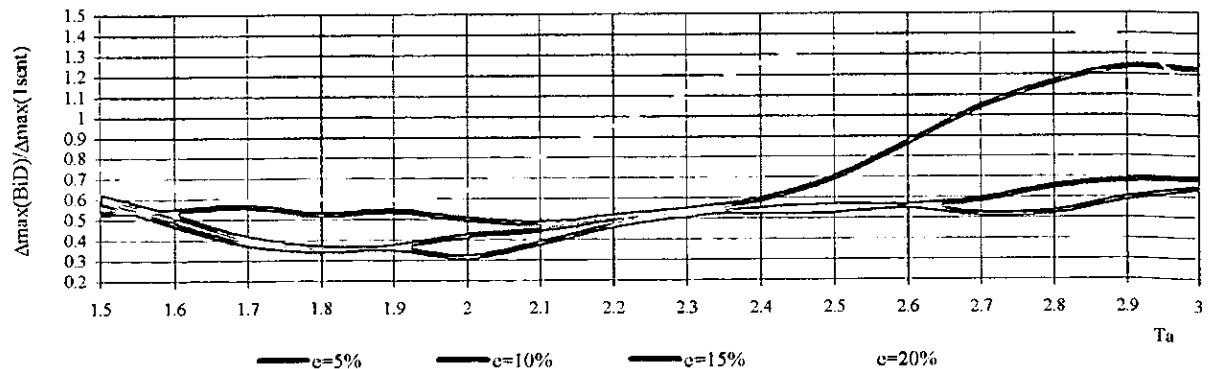


Figura 7.174

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de UNION, en el aislador 13

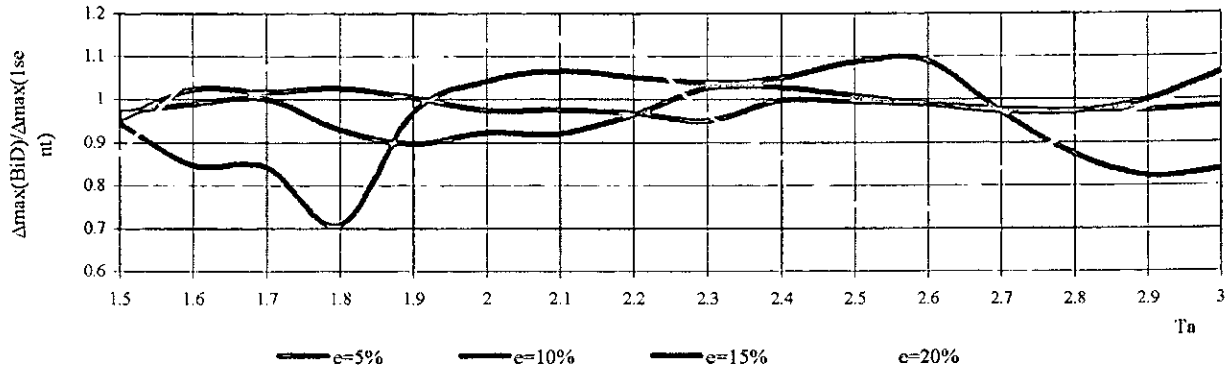


Figura 7.175

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 13

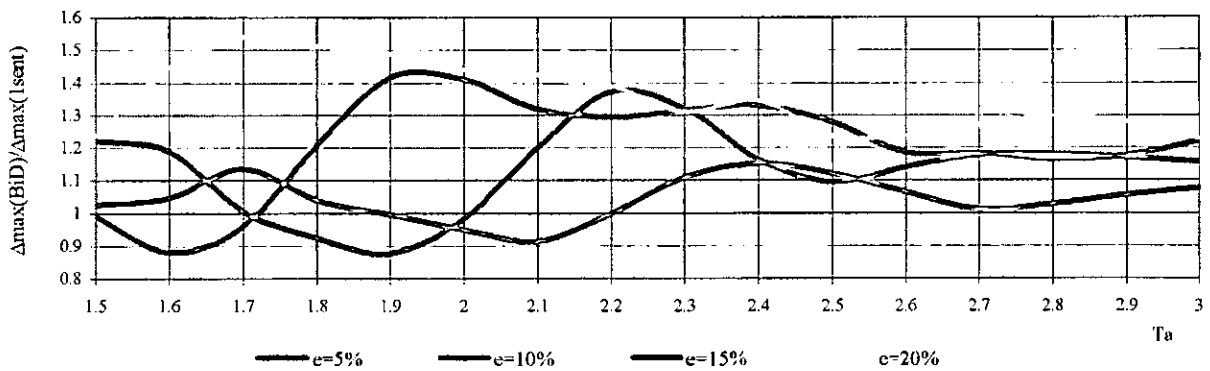


Figura 7.176

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.05W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 13

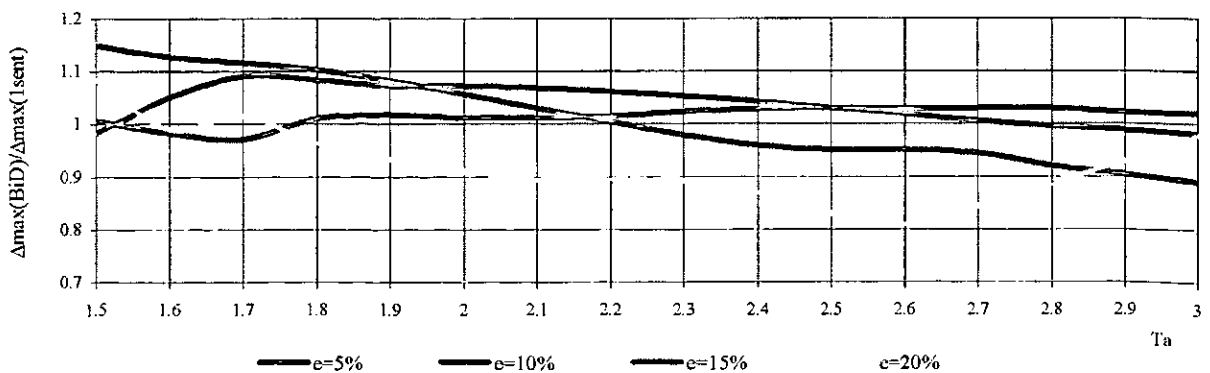


Figura 7.177

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de UNION, en el aislador 13

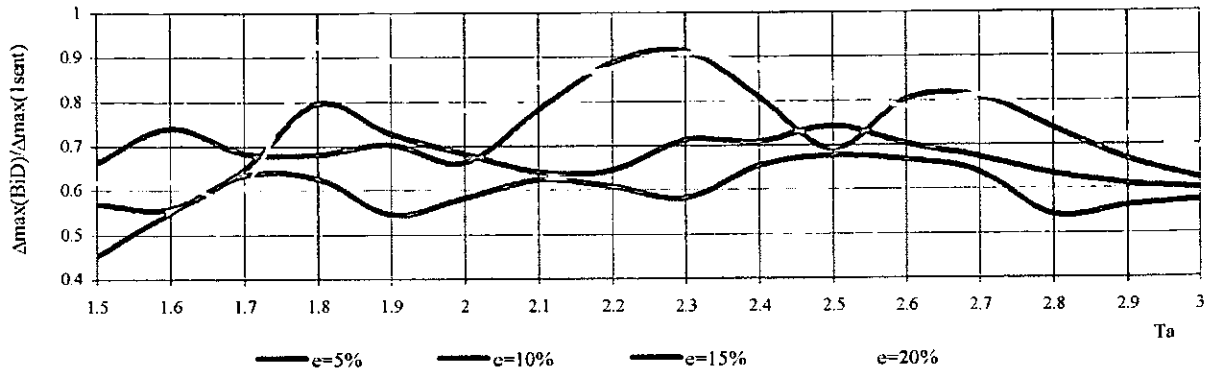


Figura 7.178

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de SMRZA, en el aislador 13

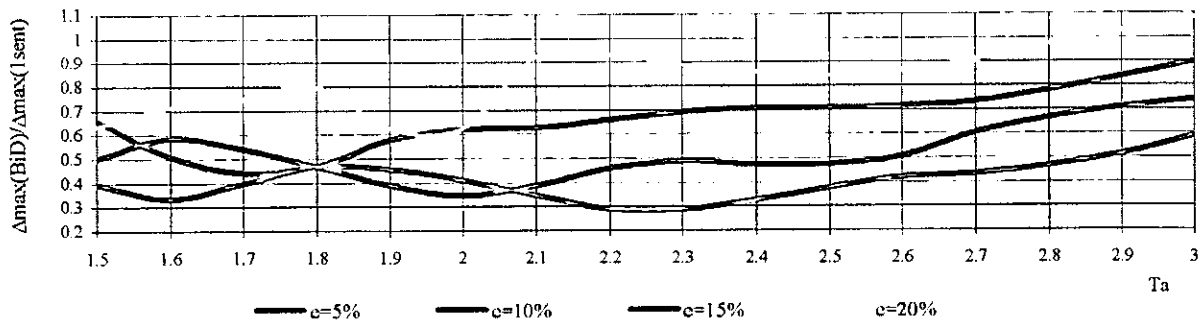
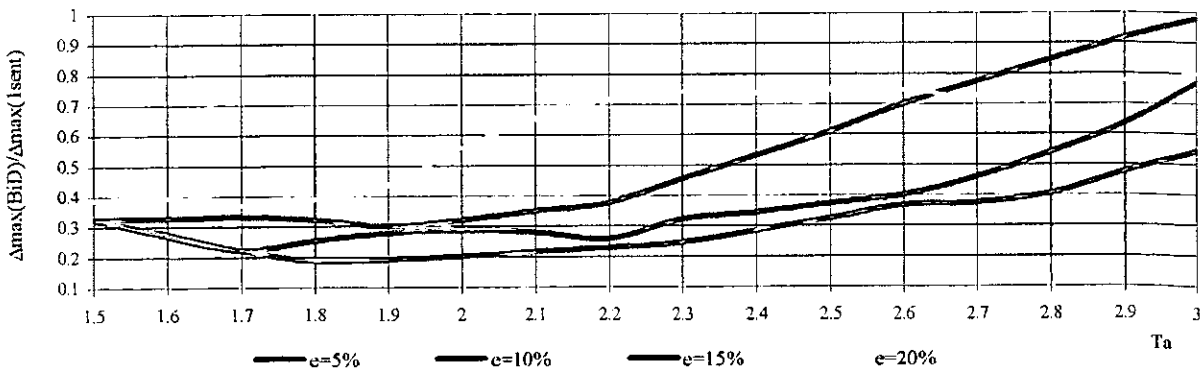


Figura 7.179

Relación entre el periodo aislado (T_a) y el cociente entre los Δ_{max} con porcentajes de excentricidad bidireccional y con porcentaje de excentricidad en un sentido, con $V_y=0.1W$, ante acción bidireccional de TMANZ, en el aislador 13



CONCLUSIONES

Se estudió la respuesta torsional de estructuras con aislamiento sísmico cuando la fuente de excentricidad se encuentra en la superestructura, en el sistema de aislamiento y en ambos casos a la vez. Se realizaron análisis dinámicos paso a paso no lineales de modelos estructurales tridimensionales con planta regular aislados sísmicamente en su base y que, además, presentan distintos porcentajes (0%, 5%, 10%, 15% y 20% de la dimensión de planta) y ángulos (0 y 45 grados) de excentricidad de los centros de rigidez (**CR**) con respecto a los centros de masa (**CM**). Con estos modelos se realizaron estudios paramétricos donde se evaluó la respuesta dinámica ante excitación sísmica en un sentido y bidireccional para periodos efectivos de las estructuras aisladas entre 1.5 y 3.0 segundos ($1.5s \leq T_a \leq 3s$), considerando que los sistemas de aislamiento se diseñaron para cortantes de fluencia del 5% y 10% de su peso ($V/W=0.05$ y $V/W=0.10$). Se excitó a los modelos con tres pares de acelerogramas de la costa del Pacífico mexicano registrados en condiciones de terreno firme en sismos recientes importantes. De los resultados observados en el estudio se desprenden los siguientes comentarios.

- En ausencia de excentricidades en la superestructura y/o en el sistema de aislamiento (sistema simétrico) de edificios regulares, las componentes horizontales de los movimientos del terreno no generan respuesta torsional en el sistema de aislamiento, aunque faltaría evaluar la influencia de la componente rotacional de los movimientos del terreno, aspecto fuera del alcance del presente estudio.
- En cuanto al ángulo que describen los desplazamientos dinámicos máximos a lo largo del intervalo de periodos de vibración estructural con base aislada, T_a , se observan trayectorias casi constantes cuando se emplea como fuente de excitación sísmica al registro **SMRZA**, trayectorias semejantes y con variaciones cuando existe excentricidad en la superestructura al emplear como excitación sísmica el registro **UNION** y, con gran variación de trayectorias al emplear el registro de la termoelectrica de Manzanillo; se presupone que la gran variación observada con **TMANZ** se debe a su característica de registro acelerográfico con condiciones de suelo firme y efectos de sitio, pero para poder afirmar esta suposición es necesario realizar análisis similares a los de este estudio con varios registros que presenten la misma característica.
- Cuando existen excentricidades, ya sea en el sistema de aislamiento, en la superestructura o en ambos casos a la vez; el ángulo en el que se presentan los desplazamientos dinámicos máximos (θ) es diferente; sin embargo, las tendencias parecen mantenerse a lo largo del intervalo de periodos considerado para los distintos casos en estudio, salvo algunos casos excepcionales, como se indicó en el párrafo anterior. Por lo tanto, se concluye que θ depende tanto del nivel de excentricidad como de las características de los movimientos del terreno empleados, por lo que resulta una

práctica aconsejable el utilizar aisladores cilíndricos (sección transversal circular), cuyas propiedades son iguales en cualquier dirección, pues aún para excentricidades moderadas se observan diferencias significativas en los ángulos que se presentan en las respuestas máximas.

- En general la amplificación o deamplificación de los desplazamientos dinámicos máximos de los aisladores por concepto de excentricidad en la superestructura, en el sistema de aislamiento o en ambos, no son constantes para el intervalo de periodos considerados, y sus características dependen fuertemente de las características propias de los movimientos del terreno, observándose diferencias significativas en las curvas obtenidas para los registros considerados en el presente estudio.
- Al excitar al modelo con acelerogramas típicos del Pacífico mexicano (suelo firme) se encontró en todos los casos y combinaciones de excentricidad que cuando el cortante de fluencia empleado es del 5% del peso W de la estructura se alcanza un comportamiento más deseable y adecuado de los aisladores que cuando dicho cortante es del 10% de W , ya que con el cortante de fluencia mayor existen casos en los que en ciertos intervalos de periodos los aisladores desarrollan desplazamientos dinámicos máximos muy pequeños, en algunas ocasiones menores incluso que los de fluencia. Sin embargo, hay casos donde se supera el límite de $\mu=9$, sobre todo para TMANZ.
- Dentro del límite de $\mu=9$ (para el buen funcionamiento de aisladores bidireccionales) asociado a la curva primaria del UBC para $k_1/k_2=0.10$, se encontró que este nunca se superó con el modelo simétrico. Con excentricidad en la superestructura se supera el límite a partir de $e=0.1L$ para excentricidad bidireccional y $e=0.15L$ para excentricidad unidireccional. Con excentricidad en el sistema de aislamiento no se supera el límite con excentricidades unidireccionales, pero sí para excentricidades bidireccionales a partir de $e=0.05L$ (excitación en un sentido) y $e=0.1L$ (excitación en ambos sentidos). Finalmente cuando las excentricidades son en el sistema de aislamiento y en la superestructura al mismo tiempo se conservan las tendencias descritas con excentricidad sólo en la superestructura. Por lo que se recomendaría evitar excentricidades mayores a $e=0.1L$.
- Los desplazamientos dinámicos máximos generalmente son mayores al utilizar como fuente de excitación ambas componentes horizontales del movimiento del terreno que al emplearlas por separado. Generalmente el mayor comportamiento inelástico se presenta al inicio del intervalo de periodos en estudio, T_a . Los mayores desplazamientos dinámicos se generan ante la excitación del registro de TMANZ. Por lo tanto, los reglamentos de aislamiento sísmico deberán considerar factores de amplificación de los desplazamientos de diseño de aisladores por el efecto de la acción bidireccional de los movimientos del terreno en sus métodos de diseño simplificados, y deberá cuantificarse con cuidado cuánto debe tomarse por este concepto, ya que hasta la fecha ningún reglamento sobre aisladores considera este aspecto.
- Contrario a lo que se pudiera pensar *a priori*, las respuestas máximas no se obtienen generalmente cuando la excentricidad se presenta en ambos sentidos; ya que la relación

es mucho más compleja que esto y depende tanto de la ubicación del aislador, como de las características del movimiento del terreno, el acoplamiento dinámico de la estructura aislada con los movimientos del terreno, el cortante de fluencia del sistema de aislamiento y el nivel de la excentricidad relativa que se presente en la superestructura, entre los parámetros más identificables.

- En general, en el presente trabajo se observó que los desplazamientos dinámicos máximos en los aisladores en estudio se amplifican o deamplifican más con respecto a los del sistema simétrico cuando se presenta la excentricidad en un sentido en la superestructura que cuando se presenta ésta en el sistema de aislamiento, para cualquier valor de e . Sin embargo, se observa lo contrario cuando la excentricidad es bidireccional, es decir, las mayores amplificaciones o deamplificaciones con respecto al sistema simétrico se presentan para excentricidades en el sistema de aislamiento. Se reconoce que esto puede deberse al modelado de la excentricidad en el sistema de aislamiento, por lo que deberán realizarse estudios adicionales que permitan confirmar o no esta observación.
- Cuando se presentan excentricidades en la superestructura o en el sistema de aislamiento, para un aislador de referencia, pueden existir amplificaciones o deamplificaciones de su respuesta con respecto al sistema simétrico dependiendo de las características de los movimientos del terreno, por lo que se observaron tendencias no semejantes con los distintos registros empleados. Aún más, cuando existe excentricidad tanto en la superestructura como en el sistema de aislamiento, esto también depende de la obtención relativa de los centros de rigideces de la superestructura y del sistema de aislamiento y de las rigideces a torsión empleadas.
- Una pregunta que el lector pudiera hacerse es ¿a partir de todos los casos de excentricidades estudiados, cuál es el más crítico para el diseño del sistema de aislamiento con respecto a un sistema sin excentricidades (totalmente simétrico)? Desafortunadamente los estudios realizados enseñan que el problema es bastante complejo y parece no existir respuesta única, ya que las respuestas más desfavorables dependen del acoplamiento torsional que se obtenga para un periodo particular en función de las características de los movimientos del terreno, del cortante de fluencia del sistema de aislamiento (V_y/W), del valor de la excentricidad (e) y si ésta se presenta en uno o en ambos sentidos; y en el caso de tener excentricidad tanto en la superestructura y en el sistema de aislamiento, si éstas se presentan colineales o en direcciones opuestas. Por lo tanto, se requiere continuar estudios que permitan definir estrategias efectivas para reducir los problemas de torsión en estructuras con aisladores de base.

REFERENCIAS

1. Alcocer, S M (1986), "Centro de torsión de edificios obtenidos matricialmente", *Tesis Profesional de Ingeniería Civil*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
2. Almazán, J L y J De La Llera (2000), "Lateral torsional coupling in structures isolated with the frictional pendulum system", *Memorias, Twelfth World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, Nueva Zelanda, Artículo 1536, CD-ROM.
3. Bazán, E y R Meli (1999), **Diseño sísmico de edificios**, primera reimpresión, Editorial Limusa, México.
4. Buckle, I G y R L Mayes (1990), "Seismic isolation: history, application, and performance -A world view", *Earthquake Spectra*, Vol 6, No 2, pp 161-201.
5. Damy-Ríos, J E y S M Alcocer (1987), "Obtención del centro de torsión de edificios", *Memorias, VI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Querétaro, México, pp C-60 a C-67.
6. De La Llera, J y A K Chopra (1994), "Accidental and natural torsion in earthquake response and design of buildings", *Reporte No. UBC/EERC-94/07*, College of Engineering, University of Berkeley, EE.UU.
7. De La Llera, J y A K Chopra (1995), "Estimation of accidental torsion effects for seismic design in buildings", *Journal of Structural Engineering*, Vol 121, No 1, pp 102-114.
8. García D, O (1992), "Comportamiento sísmico de modelos de edificios en torsión", *Tesis Profesional de Maestría en Ingeniería (Estructuras)*, DEPFI, Universidad Nacional Autónoma de México.
9. García D, O; A G Ayala y U Mena (1997), "Comportamiento sísmico de puentes con apoyos elastoméricos", *Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Veracruz, Ver., México, pp 997-1006.
10. Garza, F (1995), "Ventajas de la aplicación de un sistema pendular de aislamiento de base en la estructura de concreto de un edificio de mediana altura", *Trabajo presentado en la convención de otoño del ACI*, pp 1-14.
11. Gómez-Soberón, C; A Tena-Colunga y A Muñoz-Loustaunau (1996), "Analytical study of the seismic isolation of two irregular buildings at the Mexican Pacific Coast", *Memorias, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, Acapulco, México, Artículo No 496.

12. Gómez Soberón, L A A (1996), "Procedimientos y recomendaciones para el diseño de estructuras aisladas sísmicamente en México", *Tesis Profesional de Ingeniería Civil*, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Pue.
13. Gómez Soberón L A A y A. Tena Colunga (1999), "Aislamiento sísmico de escuelas existentes utilizando criterios de diseño sismo-resistente estáticos", *Memorias, XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Morelia, Michoacán, Vol. I, pp. 471-480, noviembre.
14. González, M (1964), "Experiencias realizadas para llevar a la práctica el sistema de eliminar los esfuerzos peligrosos de los temblores", *Memorias, Quinto Congreso Mexicano de la Industria de la Construcción*, Tijuana, México.
15. González, R y F J Noguez (1994), "Respuesta teórica de un edificio con aisladores de base", *Revista de Ingeniería Sísmica*, No 46, pp 23-52.
16. Hejal, R y A K Chopra (1989a), "Earthquake response of torsionally coupled, frame buildings", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol 115, No 4, pp 934-851.
17. Hejal, R y A K Chopra (1989b), "Lateral-torsional coupling in earthquake response of frame buildings", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol 115, No 4, pp 852-867.
18. Heredia-Zavoni, E y Barranco, F (1996), "Torsion in symmetric structures due to ground-motion spatial variation", *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, Vol 122, No 9, pp 834-842.
19. Heredia Zavoni, E (1998), Notas del curso: "Dinámica Estructural I", DEPTI, UNAM
20. Jangid, R S y T K Datta (1994a), "Nonlinear response of torsionally coupled base isolated structure", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol 16, No 4, pp 1-22.
21. Jangid, R S y T K Datta (1994b), "Seismic response of torsionally coupled structures with elastoplastic base isolation", *ASCE Engineering Structures*, Vol 6, No 4, pp 256-262.
22. Kan, C L y AK Chopra (1981), "Torsional coupling and earthquake response of simple elastic and inelastic systems", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol 107, No 8, pp 1569-1587.
23. Kelly, J (1993), "State of the art and state of the practice in base isolation", *Memorias ATC 17-1 Seminar on Base Isolation and Passive Energy Dissipation*, San Francisco, California, Vol I, pp 29-37.
24. Kelly, J (1995), "Final report on the international workshop on the use of rubber-based bearings for the earthquake protection of buildings" *Reporte No. UCB/EERC-95/05*, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California.
25. Kelly, J (1999), Comunicación personal.

26. Maison y C Ventura (1992), "Seismic analysis of base-isolated San Bernardino County building", *Earthquake Spectra*, Vol 8, No 4, pp 605-633.
27. Muñoz, A (1995), "Estudio analítico de la respuesta de edificios aislados sísmicamente ante acelerogramas de la costa de Guerrero", *Tesis Profesional de Ingeniería Civil*, Universidad La Salle, México.
28. 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*.
29. Nagarajaiah, S; A M Reinhorn y M C Constantinou (1993a), "Torsion in base isolated structures with elastomeric isolation systems", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol 119, No 10, pp 2932-2951.
30. Nagarajaiah, S; A M Reinhorn y M C Constantinou (1993b), "Torsional coupling in sliding base-isolated structures", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol 119, No 1, pp 130-149.
31. Newmark, N M y E Rosenblueth (1976), **Fundamentos de Ingeniería Sísmica**, primera edición, Editorial Diana, México.
32. Rojas, R y J M Jara (1996) "Analytical Study of Base Isolated Buildings in Mexico", *Memorias, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, Acapulco, México.
33. Salazar, M (1998), "Espectros tripartitas de capacidad para el diseño de estructuras aisladas sísmicamente", *Tesis Profesional de Ingeniería Civil*, Universidad La Salle, México.
34. Skinner, R I; W H Robinson y G H McVerry (1993), **An introduction to seismic isolation**, primera edición, John Wiley and Sons, Inglaterra.
35. Sosa A y S E Ruiz (1992), "Análisis estructural y costos de edificios con aisladores sísmicos", *Revista de Ingeniería Sísmica*, No 44, pp 11-28.
36. Tena, A; C Gómez; J M Jara; R González; A Muñoz y J L Álvarez (1995), "Estudio analítico de la respuesta sísmica de edificios con aisladores de base", *Reporte FJBS/CIS-95/09*, junio, Centro de Investigación Sísmica, A. C., Fundación Javier Barros Sierra.
37. Tena-Colunga (1996), "Some retrofit options for the seismic upgrading of old low-rise school buildings in Mexico", *Earthquake Spectra*, Vol. 12, No 4, pp 883-902.
38. Tena-Colunga, A; C Gómez-Soberón y A Muñoz-Loustaunau (1997), "Seismic isolation of buildings subjected to typical subduction earthquake motions for the Mexican Pacific Coast", *Earthquake Spectra*, Vol 13, No 3, pp 505-532.
39. Tena, A y L A A Gómez (1997), "Método estático para el diseño sísmico de aisladores de base para estructuras de la costa mexicana del Pacífico", *Memorias, Séptimas Jornadas de Ingeniería de Chile*, La Serena, Chile, pp 575-585.

40. Tena, A; L A A Gómez y M Salazar (1997), "Criterios de diseño y reglamentación de estructuras con aisladores de base para la costa del Pacífico", *Reporte FJBS/CIS-97/17*, Centro de Investigación Sísmica A. C., Fundación Javier Barros Sierra, octubre.
41. Tena, A (1998-2000), comunicación personal.
42. 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*, No. 57, septiembre-diciembre, pp 1-34.
43. Tena, A (1998), Notas del curso: "Diseño de Estructuras de Mampostería", DEPFI, UNAM.
44. Tena-Colunga, A (2000), "A new method for the seismic design of structures with bilinear isolators using inelastic spectra", *Memorias, 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, Nueva Zelanda, Artículo No. 59, febrero.
45. UBC (1993), "Uniform Building Code for seismically isolated buildings: Rev. October 1993", Dynamic Isolation Systems Inc., Berkley, California.
46. Villegas Jiménez O y A Tena Colunga (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.
47. Villegas Jiménez, O (1999), "Criterios de diseño dinámico para estructuras aisladas sísmicamente en las zonas costeras del Pacífico mexicano", **Tesis de Maestría**, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, febrero.
48. Villegas-Jiménez, O y A Tena-Colunga (2000), "Dynamic design procedure for the design of base isolated structures located on the Mexican Pacific Coast", *Memorias, 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, Nueva Zelanda, Artículo No. 929, febrero.
49. Zayas, V, T Piepenbrock y T Al-Hussaini (1993), "Summary on testing of friction pendulum seismic isolation system", *Memorias ATC 17-1 Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control*, San Francisco, California.