

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**COMPORTAMIENTO DE UN DISPOSITIVO DISIPADOR DE
ENERGÍA POR EXTRUSIÓN DE PLOMO EN EDIFICACIONES DE
CONCRETO ARMADO Y ACERO.**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por el Bachiller:
Jiménez Martínez, Álvaro

Para optar al título de
Ingeniero Civil.

Caracas, Octubre 2015

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**COMPORTAMIENTO DE UN DISPOSITIVO DISIPADOR DE
ENERGÍA POR EXTRUSIÓN DE PLOMO EN EDIFICACIONES DE
CONCRETO ARMADO Y ACERO.**

TUTOR ACADEMICO: Prof. Ricardo Bonilla

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por el Bachiller:
Jiménez Martínez, Álvaro

Para optar al título de
Ingeniero Civil.

Caracas, Octubre 2015

ACTA

El día 04 de Noviembre se reunió el jurado formado por los profesores

Bonilla Ricardo
Ronald Torres
OCHOA ENILTO

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado:

“COMPORTAMIENTO DE UN DISPOSITIVO DISIPADOR DE ENERGÍA POR EXTRUSIÓN DE PLOMO EN EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y ACERO”.

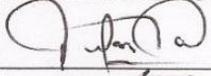
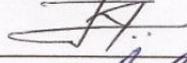
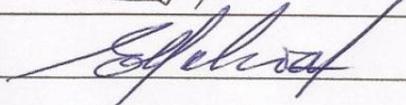
Presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de INGENIERO CIVIL.

Una vez oída la defensa oral que el bachiller hizo de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Número	Letras
Jimenez Alvaro	20	veinte

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO

Caracas, 04 de 11 de 2015

DEDICATORIA

A mi madre, Nina Martínez, por ser fuente de inspiración para mí y porque todo lo que hoy en día soy se lo debo a ella

A mi padre, Julián Jiménez, que con su nobleza y apoyo me ha impulsado a lograr éxitos en mi vida.

A mis hermanas, Tahnee González y Janet Jiménez, por darme su cariño y apoyo incondicional toda mi vida.

A mi hermano, Julián Jiménez (QEPD), y a mi abuela, Elina de Martínez (QEPD) porque siempre los tengo presentes y a los cuales recuerdo con mucho cariño

AGRADECIMIENTOS

A quienes brindaron su apoyo disponiendo de su tiempo y conocimiento, para orientarme en el presente trabajo especial de grado. Así como a quienes proporcionaron constante apoyo moral.

Tutor

Ricardo Bonilla

Profesionales

Ing. Héctor Martínez

Arq. Luisa Elena Mejías

Otros

Vaneska Galuppo

Fritz Pertersen

Anabel Freitas

Jiménez M. Álvaro H.

alvarojimenez90@hotmail.com

COMPORTAMIENTO DE UN DISPOSITIVO DISIPADOR DE ENERGIA POR EXTRUSIÓN DE PLOMO EN EDIFICIACIONES DE CONCRETO ARMADO Y ACERO.

Tutor Académico: Prof. Ricardo Bonilla

Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil.

Palabras Clave: Disipadores de energía, extrusión de plomo, ingeniería sismorresistente, concreto armado, acero.

RESUMEN

Al vivir en un país de alto riesgo sísmico como Venezuela, se deben buscar maneras para prevenir catástrofes debidas a terremotos. La ingeniería sismorresistente permite tener estructuras que soporten las cargas sísmicas sin colapsar mientras sufren daños estructurales controlados. Sin embargo, existen avances en la tecnología que permiten crear estructuras más seguras y que puedan mantenerse en funcionamiento durante y después de un sismo reduciendo significativa o completamente los daños. Esto se logra mediante el control estructural. Existen diversos métodos para el control de vibraciones; este trabajo de investigación se enfocará en el control pasivo mediante la utilización de disipadores de energía por extrusión de plomo para estructuras de concreto armado y acero que cumplan con los parámetros de sismorresistencia de la norma venezolana COVENIN 1756-2001. Entre los dispositivos existentes se eligió el disipador de extrusión de plomo y se evaluará su utilización en estructuras de acero y concreto armado en el programa de cálculo SAP2000.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	xiv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
I.2 Objetivos	5
I.2.1. Objetivo General.....	5
I.2.1. Objetivos Específicos.....	5
I.3 Aportes	6
I.4 Alcance y limitaciones	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
II.1 Sistemas de control a la respuesta dinámica	8
II.1.1 Sistemas de control activo, semiactivo e híbrido	10
II.1.2 Sistemas de control pasivo	11
II.1.3 Control de energía pasivo con disipadores de energía	12
II.1.3.1. Disipadores por plastificación de metales.....	13
II.1.3.2 Disipadores viscoelásticos	14
II.1.3.3 Disipadores de fluido viscoso	15
II.1.3.4 Disipadores por fricción.....	15
II.1.3.5 Disipadores histeréticos	16
II.2 Generalidades	17

II.2.1. Sismo	17
II.2.2. Acciones sísmica	17
II.2.3. Amenaza o peligro sísmico	18
II.2.4. Riesgo sísmico.....	18
II.2.5. Vulnerabilidad sísmica	18
II.2.6. Diseño sismorresistente	19
II.2.7. Derivas (desplazamiento relativo entre pisos)	19
II.2.8. Acelerograma.	20
II.3. Antecedentes legales.....	21
II.3.1 Norma ASCE 7-10 “Cargas de diseño mínimas para edificaciones y otras estructuras”	21
II.3.1.1 Procedimiento no lineal	22
II.3.1.1.1 Procedimiento no lineal de respuesta en el tiempo.....	23
II.3.1.1.2 Modelaje de los dispositivos disipadores de energía	23
II.3.1.1.3 Parámetros de respuesta	23
II.3.1.2 Procedimiento de espectro de respuesta	24
II.3.1.3 Inspección y revisión periódica	25
II.3.2 Información conceptual norma COVENIN 1756-2001-1	25
CAPÍTULO III	28
MÉTODO Y ACTIVIDADE	28
III.1 Determinación de los parámetros físicos de un dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo.....	28
III.2 Elección y dimensionado de las estructuras de concreto armado y acero.....	28

III.2.1 Evaluación de alternativas de colocación del dispositivo en estructuras de concreto armado y acero.....	29
III.2.2 Realizar en el programa “SAP 2000” un análisis paramétrico controlando desplazamientos, velocidades y fuerzas laterales en las estructuras de concreto armado y acero, incorporando disipadores de energía en lugares distintos de dichas estructuras.....	29
III.2.3 Elección y dimensionado de los dispositivos de extrusión de plomo a colocar en las estructuras de concreto armado y acero	29
III.2.4 Discutir los resultados y elaborar conclusiones	30
III.3 Planificar el ensayo físico de un dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo.....	30
III.3.1 Diseñar ensayo físico de un dispositivo disipador de energía para elaborarse en la “nave de ensayos especiales del IMME” (Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Central de Venezuela).....	30
CAPÍTULO IV	31
DISIPADOR DE ENERGÍA POR EXTRUSIÓN DE PLOMO	31
IV.1 Descripción.....	31
IV.2 Ubicación de los dispositivos	34
IV.3 Antecedentes.....	38
IV.3.1 Desarrollo y análisis de un disipador experimental de extrusión de una alta relación fuerza / volumen	38
IV.3.1.1 Métodos	39
IV.3.1.1.1 Modelos existentes	39
IV.3.1.1.2 Métodos experimentales	41
IV.3.1.2 Relaciones experimentales	42

IV.3.1.3 Conclusiones	43
IV.3.2 Diseño de un disipador especial de energía de extrusión de plomo. (LED)	43
IV.3.2.1 LED	44
IV.3.2.1.1 Frecuencia constante y alteración de amplitud	44
IV.3.2.1.2 Amplitud constante y frecuencia alterada	45
IV.3.2.2 Disipación de energía	46
IV.3.2.2.1. Frecuencia constante y amplitud alterada.....	47
IV.3.2.2.2. Amplitud constante y frecuencia alterada.....	47
IV.3.2.3 Determinación de las propiedades mecánicas	48
IV.3.2.3.1. Frecuencia constante y amplitud alterada.....	51
IV.3.2.3.2. Amplitud constante y frecuencia alterada.....	51
IV.3.2.4 Conclusiones	52
IV.3.1 Efectos de la velocidad en el comportamiento de disipadores de plomo (HF2V) utilizando diversas configuraciones de ejes.	53
IV.3.1.1 Descripción del dispositivo HF2V	53
IV.3.1.2 Efectos de la velocidad en la fuerza de resistencia	56
IV.3.1.3 Modelo de velocidad	57
CAPÍTULO V	60
DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS A ENSAYAR.....	60
V.1. Espectro de diseño.....	60
V.1.1. Zonificación sísmica.....	60
V.1.2. Formas espectrales de los terrenos de fundación	61

V.1.3. Clasificación de edificaciones según el uso, nivel de diseño, tipo y regularidad estructural	61
V.1.4. Espectro de diseño.....	62
V.2. Combinaciones de carga.....	65
IV.2.1. Valores de cargas:	67
V.3. Información necesaria para el análisis estructural de la edificación de estudio.	67
V.3.1. Descripción de la edificación.....	67
CAPÍTULO VI	72
MODELACIÓN DEL DISIPADOR DE ENERGÍA DE EXTRUSION DE PLOMO EN SAP2000.....	72
VI.1 Generalidades:	72
V.1.1 Elementos link.....	72
VI.2 Coeficiente de amortiguamiento.....	73
VI.3 Rigidez	74
VI.4 Exponente de velocidad	75
VI.2 Colocación de los dispositivos	76
VI.3 Proceso de modelaje.....	77
VI.3.1 Terremoto de Northridge de 1994.....	78
VI.3.1.1 New Hall.....	78
VI.3.1.2 Santa Mónica	79
VI.3.2 Terremoto de Sylmar:	79
VI.4 Proceso de iteración para dimensionar los dispositivos.....	80
CAPÍTULO VII	82

RESULTADOS Y ANÁLISIS	82
VII.1 Dimensionado y determinación de las características de los dispositivos disipadores de energía por extrusión de plomo ensayados.....	82
VII.3. Respuesta de la estructuras con disipadores de extrusión de plomo	91
VII.3.1 Modelo 1	91
VII.3.2 Modelo 2	93
VII.3.3 Modelo 3	94
VII.4. Comparación de los resultados obtenidos entre las estructuras con y sin disipadores de extrusión de plomo.....	96
VIII.4.1. Desplazamientos.....	96
VIII.4.2. Derivas	101
VIII.4.3. Velocidades	105
VIII.4.4. Fuerzas	110
VII.4.5 Energía absorbida por el sistema de disipación.....	114
CAPÍTULO VIII.....	117
DISEÑO CONCEPTUAL DEL ENSAYO FÍSICO DE UN DISIPADOR DE ENERGÍA DE EXTRUSIÓN DE PLOMO	117
VIII.1 Dispositivo	117
VIII.2 Evaluación experimental	121
VIII.2.1 Equipo y procedimiento de ensayo	123
VIII.2.2 Instrumentación	127
CAPÍTULO IX	128
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128

XI.1 Conclusiones.....	128
XV.2 Recomendaciones.....	131
Bibliografía.....	132
Apéndices	136
Apéndice 1. Espectros de diseño de los modelo 2 y 3. Parámetros para el espectro de diseño de los modelos 2 y 3.....	136
Apéndice 2. Ubicación de los disipadores de energía en los modelos 2 y 3	138
Apéndice 3. Energía de los modelos 1, 2 y 3 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo los sismos de Santa Mónica y Sylmar.....	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Sistemas de control estructural ante sismos.	9
Fig. 2. Organigrama de los Dispositivos disipadores de energía	13
Figura 3. Sección longitudinal de un tubo estrechado LED que muestra los cambios en la microestructura del plomo.....	31
Figura 4. Curva fuerza-desplazamiento del amortiguador de extrusión de plomo.....	32
Figura 5. a) Esquema del amortiguador de extrusión de plomo tipo "tubo contraído".b) Sección longitudinal de un dispositivo con eje abombado.	33
Figura 6. a) Vista interna del dispositivo con constricción Fuente: C. Golondrino, J.	34
Figura 7. Posibles aplicaciones para disipadores de extrusión de plomo; a) en un muelle de puente, b) una conexión de acero sísmica momento fotograma viga-columna, y un sistema de bastidor de balanceo de carga sísmica, y c) en una articulación de concreto armado. ...	36
Fig. 8. Configuraciones del dispositivo de extrusión de plomo en sistemas estructurales de acero.....	38
Figura 9. Vista en sección transversal de diferentes configuraciones de los amortiguadores de extrusión de plomo	39
Figura 10. Representación esquemática del primer dispositivo, el área que muestra cómo se usa en la ecuación (3-1).....	41
Figura 11. Demostración y dimensiones de LED 3D.	44
Figura 12. Relaciones de fuerza-desplazamiento ($f = 0,01667$ Hz).	45
Figura 13. Relaciones fuerza-desplazamiento ($u_0 \approx 2$ mm) Relaciones de fuerza-desplazamiento ($f = 0,01667$ Hz).....	46
Figura 14. Método de la Tasa de Energía (Chopra, 2001).	50
Figura 15. Propiedades mecánicas del LED.....	51

Fig. 16. Dispositivo HF2V	54
Fig. 17. Configuración de prueba y régimen de desplazamiento típico.....	55
Fig. 18. Curvas de histéresis para dispositivos con hundimiento.....	56
Fig. 19. Curvas de histéresis para dispositivos con protuberancias.....	56
Fig. 20. Curva de fuerza vs velocidad en los dispositivos con hundimientos y de protuberancia.	57
Fig. 21. Curva dependiente de la velocidad para dispositivos con hundimientos.....	58
Fig. 22. Curva dependiente de la velocidad para dispositivos con protuberancias.	58
Figura 23. Parámetros para el espectro de diseño del modelo 1	64
Figura 24. Espectro de diseño del modelo 1	64
Figura 25. Planta tipo del modelo 1.....	68
Figura 26. Planta tipo del modelo 2.....	69
Figura 27. Planta tipo del modelo 3.....	71
Figura 28. Pórtico A (dirección x) y Portico 1 (dirección Y) del modelo 1.....	77
Fig. 29. Acelerograma de New Hall en ambas direcciones horizontales.....	78
Fig. 30. Acelerograma de Santa Mónica en ambas direcciones horizontales.	79
Fig. 31. Acelerograma de Sylmar en ambas direcciones horizontales.	80
Figura 32. Propiedades no lineales del dispositivo de extrusión de plomo.	80
Figura 33. Dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo a utilizar.	82
Figura 34. Curva Histerética del dispositivo utilizado en el modelo 1	83
Figura 35. Esquema de Determinación de Rigidez Efectiva.....	83
Figura 36. Curva Histerética del dispositivo utilizado en el modelo 2.....	85

Figura 37. Curva Histerética del dispositivo utilizado en el modelo 3	86
Fig. 38. Desplazamientos comparativos del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X.....	96
Fig. 39. Desplazamientos comparativos del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y	97
Fig. 40. Desplazamientos comparativos del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X.....	98
Fig. 41. Desplazamientos comparativos del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y	98
Fig. 42. Desplazamientos comparativos del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X.....	99
Fig. 43. Desplazamientos comparativos del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y	100
Fig. 44. Derivas comparativas del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X	101
Fig. 45. Derivas comparativas del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y	101
Fig. 46. Derivas comparativas del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X	102
Fig. 47. Derivas comparativas del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X	103
Fig. 48. Derivas comparativas del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X	104
Fig. 49. Derivas comparativas del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y	104

Fig. 50. Velocidades comparativas del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X.....	105
Fig. 51. Velocidades comparativas del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y.....	106
Fig. 52. Velocidades comparativas del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X.....	107
Fig. 53. Velocidades comparativas del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y.....	107
Fig. 54. Velocidades comparativas del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X.....	108
Fig. 55. Velocidades comparativas del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y.....	109
Fig. 56. Fuerzas axiales comparativas del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo.	110
Fig. 57. Fuerzas de corte comparativas del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo.	110
Fig. 58. Fuerzas axiales comparativas del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo.	111
Fig. 59. Fuerzas de corte comparativas del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo.	112
Fig. 60. Fuerzas axiales comparativas del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo.	113
Fig. 61. Fuerzas de corte comparativas del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo.	113

Fig. 62. Energía del modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo de New Hall.....	115
Fig. 63. Energía del modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo de New Hall.....	115
Fig. 64. Energía del modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo de New Hall.....	116
Figura 65. Partes del dispositivo: 1.- Cilindro externo, 2.- Tapas del Cilindro Externo ,3.- Cilindro interno con protuberancia o bulbo en el centro, 4.- Plomo.	118
Figura 66. Dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo a utilizar.	119
Figura 67. Fotografía del cilindro interno con protuberancia elaborado en el taller mecánico del IMME.	119
Figura 68. Tapa fija al cilindro externo.....	120
Figura 69. Esquema del dispositivo en donde se observa la tapa tipo “junta Dresser”.	120
Figura 70. Evolución temporal del desplazamiento en el disipador.....	122
Figura 71. Fotografía tomada en las instalaciones del IMME. Montaje del ensayo realizado por Tovar, C en la tesis doctoral Titulada: Utilización de disipadores de energía en edificaciones de baja altura. A) Gato hidráulico. B) Gatos hidráulicos acoplados a un banco de acero.	123
Figura 72. Esquema del montaje del ensayo físico de un disipador de energía por extrusión de plomo.....	124
Figura 73. Detalle del dispositivo de extrusión de plomo a ensayar	125
Figura 74. Fotografía tomada en las instalaciones del IMME. Montaje del ensayo realizado por Tovar, C en la tesis doctoral Titulada: Utilización de disipadores de energía en edificaciones de baja altura. A) Marco metálico. B) Conexión del marco metálico al dispositivo.....	126
Figura 75. Esquema del dispositivo dentro del marco metálico.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores límites de las derivas	20
Tabla 2. Energía disipada ($f = 0,01667$ Hz)	47
Tabla 3. Energía disipada ($u_0 \approx 2$ mm).....	47
Tabla 4. Propiedades geométricas del H2FV	55
Tabla 5: Rigideces de los elementos que conectan a los disipadores en los diferentes modelos.	75
Tabla 7. Resumen del dispositivo usado en el modelo 1	84
Tabla 8. Resumen del dispositivo usado en el modelo 2	85
Tabla 9. Resumen del dispositivo usado en el modelo 3	86
Tabla 10. Desplazamientos y velocidades del modelo 1 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X.....	87
Tabla 11. Derivas del modelo 1 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X	87
Tabla 12. Desplazamientos y velocidades del modelo 1 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y.....	87
Tabla 13. Derivas del modelo 1 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y	87
Tabla 14. Fuerza axial y de corte en la columna donde estos valores son máximos del modelo 1 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos	88
Tabla 15. Desplazamientos y velocidades del modelo 2 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X.....	88
Tabla 16. Derivas del modelo 2 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X	88

Tabla 17. Desplazamientos y velocidades del modelo 2 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y	89
Tabla 18. Derivas del modelo 2 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y	89
Tabla 19. Fuerza axial y de corte en la columna donde estos valores son máximos del modelo 2 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos.....	89
Tabla 20. Desplazamientos y velocidades del modelo 3 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X.....	90
Tabla 21. Derivas del modelo 3 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X	90
Tabla 22. Desplazamientos y velocidades del modelo 3 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y.....	90
Tabla 23. Derivas del modelo 3 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y	90
Tabla 24. Fuerza axial y de corte en la columna donde estos valores son máximos del modelo 3 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos.....	91
Tabla 25. Desplazamientos y velocidades del modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X.....	91
Tabla 26. Derivas del modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X	92
Tabla 27. Desplazamientos y velocidades del modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y.....	92
Tabla 28. Derivas del modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X	92

Tabla 29. Fuerza axial y de corte en la columna donde estos valores son máximos del modelo 1 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos.....	92
Tabla 30. Desplazamientos y velocidades del modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X.....	93
Tabla 31. Derivas del modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X	93
Tabla 32. Desplazamientos y velocidades del modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y.....	93
Tabla 33. Derivas del modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y	94
Tabla 34. Fuerza axial y de corte en la columna donde estos valores son máximos del modelo 2 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos.....	94
Tabla 35. Desplazamientos y velocidades del modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X.....	94
Tabla 36. Derivas del modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X	95
Tabla 37. Desplazamientos y velocidades del modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y.....	95
Tabla 38. Derivas del modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y	95
Tabla 39. Fuerza axial y de corte en la columna donde estos valores son máximos del modelo 3 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos.....	95
Tabla 40. Porcentajes de reducción de desplazamientos en el eje X y Y para el modelo 1.	97
Tabla 41. Porcentajes de reducción de desplazamientos en el eje X y Y para el modelo 2.	99

Tabla 42. Porcentajes de reducción de desplazamientos en el eje X y Y para el modelo 3.	100
Tabla 42. Porcentajes de reducción de derivas en el eje X y Y para el modelo 1.	102
Tabla 43. Porcentajes de reducción de derivas en el eje X y Y para el modelo 2.	103
Tabla 44. Porcentajes de reducción de derivas en el eje X y Y para el modelo 3.	105
Tabla 45. Porcentajes de reducción de Velocidades en el eje X y Y para el modelo 1.	106
Tabla 46. Porcentajes de reducción de Velocidades en el eje X y Y para el modelo 2.	108
Tabla 47. Porcentajes de reducción de Velocidades en el eje X y Y para el modelo 3.	109
Tabla 48. Porcentajes de reducción de fuerzas axiales y de corte para el modelo 1.	111
Tabla 49. Porcentajes de reducción de fuerzas axiales y de corte para el modelo 2.	112
Tabla 50. Porcentajes de reducción de fuerzas axiales y de corte para el modelo 3.	114
Tabla 51. Dimensiones del dispositivo a ensayar.	118

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los movimientos sísmicos han causado daños catastróficos a lo largo del tiempo, esto se traduce en la pérdida de vidas y daños a las estructuras existentes, por esto, la ingeniería civil busca métodos para reducir en lo posible los daños ocasionados por estos desastres naturales. El avance de la tecnología a través de los años permite diseñar estructuras y herramientas cada vez mejores en cuanto a desempeño ante los terremotos; el control estructural es uno de los últimos avances tecnológicos, se basa en colocar ciertos dispositivos en las estructuras para mitigar o absorber las vibraciones sísmicas (SIGWEB).

El control estructural se divide en tres áreas, el control activo, el control pasivo y el control híbrido, existiendo dentro de estas áreas una gama muy variada de mecanismos y dispositivos. Entre los tipos de control estructural, llama mucho la atención el uso de control pasivo, específicamente los dispositivos de disipación de energía, ya que son mecanismos pequeños, de gran eficiencia y que no tienen requerimientos energéticos para su funcionamiento. Este tipo de dispositivos se ha utilizado con éxito en varios países como Estados Unidos, México, Japón, Chile, Nueva Zelanda, entre otros. (Villarreal, 2009).

Los dispositivos de disipación de energía pueden ser de tres tipos: Los que son dependientes de los desplazamientos, los que actúan ante los cambios de velocidades y los híbridos, que combinan ambas formas de trabajo. Dentro de cada grupo hay un gran número de dispositivos entre los cuales se pueden mencionar los histeréticos, elastoméricos, viscosos, visco-elásticos, de fricción, entre otros, estos juegan un papel similar a los aisladores sísmicos en cuanto a absorber y disipar porciones significativas de energía dentro de la edificación por acción de la sacudida de un terremoto, pueden reducir significativamente el desplazamiento y la respuesta de aceleración y disminuir las fuerzas

de agitación o de vibración a lo largo de la altura de la edificación se distribuyen a través de la estructura para absorber tanto la energía cinética o la corriente de energía transmitida desde el suelo en el sistema primario (Villarreal, 2009).

El dispositivo a utilizar en esta investigación es el “Lead Extrusión Damper” o disipador de extrusión de plomo. La disipación de la energía ocurre con la deformación plástica del plomo existente en él. Este dispositivo se escogió debido a sus grandes capacidades de disipar energía y a su facilidad de fabricación (Rodgers 2007).

Venezuela es un país con un elevado riesgo sísmico y ya que este tipo de dispositivos se han implementado con éxito en otros países, con este estudio se pretende dar una introducción de estos disipadores a Venezuela, en forma de una propuesta de utilización de uno de ellos en estructuras de concreto armado y acero. Para esto, fue necesario tomar tres estructuras en particular y diseñar sus dimensiones en el programa de cálculo estructural SAP2000, utilizando la norma de edificaciones sismorresistentes de Venezuela

Una vez teniendo los parámetros necesarios del dispositivo y conociendo los parámetros de diseño que exigen las normas, se procedió en el programa de cálculo estructural SAP2000 a colocar en las estructuras el disipador seleccionado, con el fin de comparar ciertos valores obtenidos y generar conclusiones y recomendaciones enfocados en el uso de esta tecnología.

I.1 Planteamiento del Problema

Los eventos sísmicos representan uno de los mayores riesgos potenciales en Venezuela en cuanto a pérdidas humanas y económicas. En la actualidad, aproximadamente un 80% de nuestra población vive en zonas de alta amenaza sísmica, variable que aumenta el nivel de riesgo, a medida que se eleva el índice demográfico y las inversiones en infraestructura. (FUNVISIS, 2002)

En los países con alto riesgo sísmico para evitar la pérdida de vidas durante la ocurrencia de terremotos, se construyen estructuras sismorresistentes pero además de la protección estructural, es necesario reducir los daños que se producen al interior de las construcciones y que se traducen muchas veces en pérdidas económicas mayores que el costo de la estructura misma (FUNVISIS, 2002).

En este sentido los avances tecnológicos en cuanto a protección contra sismos se han enfocado en el uso de una variedad de dispositivos de control estructural de vibraciones, que actúan reduciendo desplazamientos, velocidades y fuerzas internas, previniendo en gran medida los daños estructurales. Entre estos se destacan los sistemas activos de protección y los disipadores pasivos de energía. Los disipadores pasivos de energía, absorben la energía sísmica reduciendo hasta en un 40% el efecto de la magnitud de un sismo, estos se clasifican en varios tipos de acuerdo a su mecanismo de acción, entre los cuales tenemos: histeréticos, elastoméricos, viscosos, visco-elásticos y de fricción (Villarreal, 2009). En esta investigación se hará énfasis en un dispositivo histerético disipador de energía por extrusión de plomo, para estudiar su comportamiento y efectos en estructuras de concreto armado y acero.

En Venezuela, la construcción de edificios habitacionales ha estado tradicionalmente dominada por la construcción en concreto armado y estructurados en acero, lo cual nos obliga a conocer su comportamiento frente a los sismos con el fin de aumentar su resistencia a los mismos, disminuyendo los desplazamientos, velocidades y aceleraciones.

Para poder implementar el uso de disipadores de energía por extrusión de plomo en edificios de acero y concreto en Venezuela, es necesario estudiar previamente su eficacia ante sismos de gran intensidad como los que han ocurrido o pueden ocurrir en nuestro país. Esta investigación se enfoca específicamente en el comportamiento de los dispositivos disipadores de energía por extrusión de plomo en estructuras de concreto armado y acero, y la factibilidad de incorporarlos en los procesos constructivos nacionales. La elaboración de estos dispositivos incluye materiales que pueden encontrarse en Venezuela, tales como plomo y acero, por lo que estos dispositivos podrían fabricarse en nuestro país. En Venezuela no contamos con normas detalladas y son escasas las experiencias en el uso de estos dispositivos, por lo que la investigación en esta área es un campo abierto que bien puede apoyarse en normas internacionales, hasta tanto sea promulgada la normativa pertinente, lo cual genera las siguientes interrogantes: ¿Será factible implementar dispositivos disipadores de energía por extrusión de plomo en edificaciones de acero y de concreto armado?, ¿qué reducciones en los valores de desplazamientos, velocidades y fuerzas internas se obtienen?

I.2 Objetivos

I.2.1. Objetivo General

Proponer un dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo aplicable en estructuras de acero y de concreto armado.

I.2.1. Objetivos Específicos

1. Exponer la capacidad y comportamiento de un dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo.
2. Describir el comportamiento de las estructuras integradas con el dispositivo disipador de energía frente a distintas condiciones sísmicas a través de un programa de cálculo estructural.
3. Plantear el ensayo práctico de un dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo en las instalaciones del instituto de materiales y modelos estructurales. (FI-UCV)

I.3 Aportes

El propósito principal que tienen los disipadores de energía, es que las estructuras tengan un mejor comportamiento frente a eventuales sismos, con la finalidad de reducir la pérdida de vidas humanas y de materiales e infraestructura. Estos disipadores se incluyen en las estructuras para lograr un nivel de amortiguamiento significativamente mayor al que pueden generar las propias estructuras. Frente a un sismo, el comportamiento de la estructura puede mejorar si gran parte de la energía de entrada puede ser absorbida y disipada no por la estructura misma sino por ciertos dispositivos instalados y diseñados para reducir los desplazamientos y las fuerzas internas de la estructura.

Estos desarrollos serán de gran utilidad tanto para estructuras nuevas como existentes. Para las estructuras nuevas, su incorporación puede incrementar los costos pero puede ser compensado por un mejor desempeño de la estructura ante eventos sísmicos y menor inversión en su rehabilitación en caso de ser afectada por un terremoto.

Esta investigación constituye un aporte a la línea de investigación de nuevas tecnologías antisísmicas en nuestro país, como son los dispositivos de disipación de energía. Este desarrollo es muy importante para Venezuela si consideramos que la mayor parte de la población habita en zonas de alto riesgo sísmico y tomando en cuenta que la implementación de estos mecanismos puede reducir significativamente los daños y elevar los niveles de desempeño de nuestras edificaciones para eventos sísmicos intensos.

Para la universidad, este trabajo es una contribución a los estudios que se han realizado sobre disipación de energía en estructuras, es un campo muy amplio y con mucho potencial, el cual está actualmente en uso en países como Japón, Estados Unidos, Turquía, Nueva Zelanda entre otros.

I.4 Alcance y limitaciones

El alcance del presente trabajo incluye edificaciones de concreto armado y acero con un máximo de 9 pisos ubicadas en Venezuela en las cuales se modelaran solamente dispositivos disipadores de energía por extrusión de plomo.

El siguiente trabajo especial de grado presenta ciertas limitantes que serán planteadas a continuación.

De acuerdo con las normas de diseño de estructuras con disipadores de energía, se debe seleccionar entre diversos métodos de análisis. Estos métodos de análisis pueden ser muy complejos, sobre todo si se incorpora la no linealidad de los elementos que componen el sistema. En este trabajo el diseño de la estructura será realizado mediante análisis lineal, y para modelar los dispositivos de disipación de energía, se limitará a un análisis en el tiempo con acelerogramas, considerando únicamente la no linealidad de los disipadores y sin incorporar articulaciones plásticas de los elementos estructurales que la componen.

En la actualidad los disipadores de energía por extrusión de plomo en varias partes del mundo aún son considerados prototipos y no han sido comercializados porque la información acerca de ellos es bastante reducida.

Por último, al no existir la suficiente información en las normas venezolanas con respecto a la utilización de control estructural pasivo, es necesario utilizar normativas internacionales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Es importante manejar la fundamentación conceptual en base a los distintos estudios existentes, ya que la comprensión de éstos nos permite tener una visión más clara sobre el objeto de estudio y la posibilidad de lograr los objetivos propuestos para su uso en el país:

Considerando que no se cuenta con estudios previos desarrollados en el país y las normas venezolanas se limitan a referenciar a la normativa internacional, utilizaremos para el desarrollo de este marco teórico la bibliografía y las normas internacionales disponibles.

II.1 Sistemas de control a la respuesta dinámica

Según el Dr Genner Villarreal, cuando se diseñan edificios y demás obras civiles, una de las principales acciones a considerar son aquellas debidas a los efectos gravitacionales.

La magnitud de estas cargas puede determinarse basada en el peso propio y en los requerimientos de ocupación. Lo mismo aplica cuando se trabaja con fuerzas laterales, la tendencia natural es manejarlas con los mismos métodos utilizados para las cargas gravitacionales. Por ejemplo, los sismos son frecuentemente idealizados como cargas estáticas de determinada magnitud que deben ser resistidas por la estructura. Esto ha sentado las bases de varios códigos de diseño desde principios del siglo pasado y los resultados han sido bastante satisfactorios. Para las características de las cargas horizontales, pueden incorporarse otras mejoras. En función de estas nuevas mejoras, se han propuesto varias innovaciones para la protección estructural tal como la incorporación de elementos externos a la estructura para mitigar su respuesta dinámica (Villarreal, 2009).

La parte de la mecánica estructural que maneja estos conceptos es denominada control estructural. El control estructural ante cargas sísmicas constituye una alternativa al diseño sismo resistente, y tiene por objetivo el control de los desplazamientos de una estructura, haciendo uso de alguno de los siguientes recursos:

- Modificación de las propiedades dinámicas del edificio.
- Disipación de energía introducida al sistema a partir de dispositivos mecánicos.
- Control con dispositivos que ejerzan fuerzas que contrarresten la acción sísmica.

Los sistemas de control estructural se dividen en cuatro grupos los cuales son activos, semiactivos, híbridos y pasivos los cuales se muestran en la Figura 1.

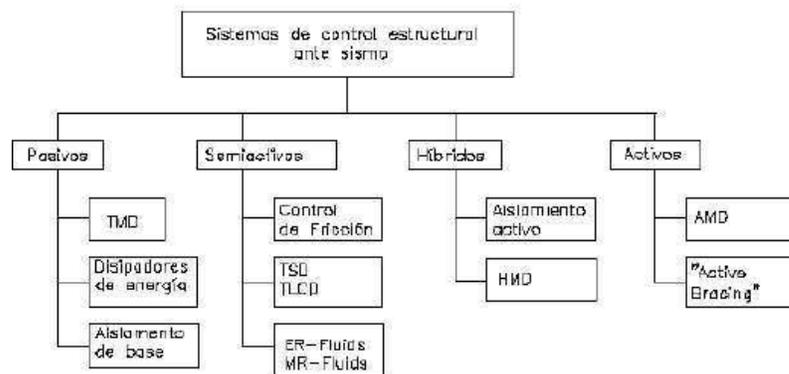


Fig. 1. Sistemas de control estructural ante sismos. Fuente: Dr Villarreal Genner, M.Sc Oviedo Ricardo, “Edificaciones con disipadores de energía”

En la presente investigación se desarrollarán en profundidad los sistemas de control pasivos específicamente en una de sus clasificaciones referente a disipadores de energía. A modo de información se presenta a continuación un breve desarrollo sobre los sistemas de control activos, semiactivos e híbridos:

II.1.1 Sistemas de control activo, semiactivo e híbrido

Los sistemas activos, semiactivos e híbridos están formados por actuadores que habitualmente son alimentados por fuentes de energía externa para ejercer fuerzas y/o sistemas controladores que se basan en las medidas de los sensores y calculan la fuerza a aplicar por los actuadores para contrarrestar directamente los efectos sísmicos. Entre sus ventajas tenemos que tienen mayor efectividad en control de la respuesta estructural y poseen una efectividad menos sensible a las condiciones locales del suelo y a las características del suelo. Sin embargo, la gran demanda de energía que comporta su actuación ante un sismo severo, sus elevados costos de mantenimiento y la complejidad de los algoritmos de control los convierte en sistemas poco robustos, también poseen elevados costos de mantenimiento

Los sistemas híbridos y semiactivos nacen ante la necesidad de respuesta en una banda amplia de frecuencias y de menor consumo energético. Los sistemas híbridos son muy similares a los sistemas activos, pero en ellos intervienen elementos pasivos que permiten reducir el consumo energético del sistema ante un sismo por lo cual presentan ciertas ventajas tales como: en caso de falla del componente activo, aunque de forma menos efectiva, el sistema pasivo sigue ejerciendo funciones de control, los requerimientos energéticos son inferiores a los activos.

Los sistemas semiactivos tienen un esquema de funcionamiento muy similar a los sistemas activos, diferenciándose de éstos en que el control estructural se obtiene a partir de dispositivos de carácter reactivo, cuyas características mecánicas (rigidez o amortiguamiento) son controlables, lo cual permite modificar las propiedades dinámicas de la estructura con costos energéticos muy reducidos, adicionalmente emplean dispositivos de control pasivo, sin consumo energético, cuyas características resistentes pueden ser modificadas y controladas a tiempo real mediante actuadores de bajo consumo a través de

sistemas de control parecidos a los empleados en los sistemas activos e híbridos (Villarreal, 2009).

II.1.2 Sistemas de control pasivo

Los sistemas de control pasivo se basan en elementos que responden de forma inercial a la acción sísmica y a diferencia del resto de sistemas no precisan de aporte energético para funcionar.

Los sistemas pasivos se clasifican en sistemas de aislamiento de base, de disipación de energía y en osciladores resonantes. Los aisladores de base, situados sobre la cimentación y soportando al edificio, desacoplan parcialmente al edificio del suelo, disminuyendo la energía de entrada y por consiguiente su respuesta estructural, son más recomendables en estructuras rígidas sobre terrenos rígidos, su principal inconveniente, que se presenta en estructuras con una elevada relación altura-ancho son los elevados momentos de volteo que pueden suponer la pérdida de equilibrio. Además, al incrementarse la altura las ventajas obtenidas al variar el período de vibración disminuyen. Los sistemas inerciales acoplados introducen masas adicionales, normalmente situadas en la parte alta de los edificios, cuya excitación absorbe parte de la energía cinética introducida por el sismo. La mayor desventaja que poseen es que requiere de una gran masa e importante disponibilidad de espacio para su instalación. Los disipadores de energía no alteran la energía de entrada, que depende básicamente del período fundamental y de la masa del edificio, manifestando su eficiencia maximizando la energía disipada y disminuyendo la respuesta estructural. Las propiedades más valiosas de los sistemas pasivos son su robustez, no dependen de fuentes de energía, son mecánicamente simples y su costo es competitivo.

Los dispositivos pasivos son elementos de carácter reactivo, cuya respuesta no es controlable y depende únicamente de las condiciones de trabajo en que se encuentran. Estos

intervienen alterando las propiedades dinámicas del edificio y provocando una reducción de su respuesta estructural, teniendo ventajas económicas (Villarreal, 2009).

Existen actualmente cientos de edificios construidos en el mundo con estos sistemas, en la presente investigación se desarrollará con mayor detalle el control pasivo con disipadores de energía, como se muestran a continuación:

II.1.3 Control de energía pasivo con disipadores de energía

La disipación de energía se logra mediante la introducción de dispositivos especiales en una estructura, con el fin de reducir las deformaciones y esfuerzos sobre ella.

Estos dispositivos reducen la demanda de deformación y esfuerzos producidos por el sismo mediante el aumento del amortiguamiento estructural. Como resultado, los esfuerzos inducidos por el sismo en la estructura pueden ser hasta un 50% menores que los correspondientes a la estructura sin disipadores, reduciendo sustancialmente las incursiones inelásticas (daño) de la estructura.

La estructura sin disipadores de energía sobrevive el sismo severo disipando energía en sus elementos principales, los que sufren daño. En la estructura con disipadores, la energía es absorbida por estos dispositivos reduciendo significativamente las deformaciones y el daño estructural.

Entre sus ventajas tenemos: La seguridad estructural es entre un 50 y un 100% mayor que en un edificio convencional, se protege todo el contenido en las estructuras, se evita la paralización post-sismo ya que por lo general la estructura sufre menos daños que una estructura sin disipadores, se puede utilizar tanto en edificios como en equipos industriales para el control de vibraciones.

Los disipadores de energía modifican la propiedad dinámica de amortiguamiento del sistema estructural de modo que las vibraciones inducidas por la excitación son absorbidas por estos dispositivos. Su utilización es especialmente adecuada en edificios flexibles fundados sobre cualquier tipo de suelo (Villarreal, 2009).

Para tener un reflejo de las categorías existentes dentro de los dispositivos de disipación de energía vea la siguiente figura:

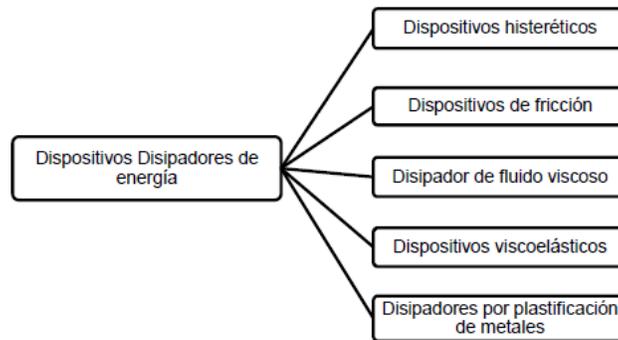


Fig. 2. Organigrama de los Dispositivos disipadores de energía. Fuente: Elaboración Propia

II.1.3.1. Disipadores por plastificación de metales

La plastificación de metales en disipadores se puede producir a partir de esfuerzos estructurales o bien a partir del proceso de extrusión. Cualquier esfuerzo, sea de torsión, flexión, cortante o axial puede conducir a procesos de plastificación en metales. El acero ha sido sin duda el metal más empleado en disipadores. Entre sus virtudes están las posibilidades constructivas que ofrecen, su bajo costo y su elevada ductilidad.

Existen resultados experimentales que indican que el acero ensayado bajo condiciones cuasi estáticas puede llegar a manifestar valores del límite de fluencia y de tensión máxima de rotura inferiores en un 17% y 3% respectivamente a los obtenidos con velocidades de deformación del 10%/s. Pese a estos resultados se han venido realizando

estos ensayos. Probablemente, dada la alta variabilidad de la acción sísmica, y observado el buen comportamiento de los modelos adoptados basándose en la caracterización estática, la observación de una caracterización dinámica aumenta la complejidad del problema de forma desproporcionada.

Se concluye que para reducir la respuesta estructural, es preferible disipar energía a partir de rangos bajos de fuerza y desplazamiento. Es por eso que se han ensayado disipadores con aceros de bajo límite elástico y con gran capacidad de alargamiento en relación a los aceros de construcción convencionales y de determinadas aleaciones de aluminio. Estos disipadores se han basado en la plastificación por esfuerzo cortante, dando como resultado dispositivos de elevada rigidez, esfuerzos de plastificación de valores reducidos y gran uniformidad en la distribución de la deformación plástica (Villarreal, 2009).

II.1.3.2 Disipadores viscoelásticos

Los disipadores viscoelásticos han sido empleados con éxito, durante los últimos treinta años, para reducir la respuesta de edificios altos ante la acción del viento. Más recientemente se ha estudiado su utilización con fines sismorresistentes. Su acción disipativa se basa en el aumento del amortiguamiento estructural.

Presentan algunas ventajas tales como: No precisan de una fuerza umbral para disipar energía, no cambian significativamente los periodos de vibración, con lo cual resulta posible linearizar el comportamiento estructural y realizar una modelación más sencilla. Los materiales viscoelásticos, en general, son sensibles a los cambios de temperatura, frecuencia y deformación, resultando necesario minimizar la influencia de estas variables en sus rangos de servicio en estructuras sismorresistentes para que su comportamiento resulte predecible. Para conseguir un aumento del amortiguamiento estructural a valores

que reduzcan significativamente la respuesta estructural ante un sismo severo es necesaria una gran cantidad de dispositivo (Villarreal, 2009).

II.1.3.3 Disipadores de fluido viscoso

Los disipadores de fluido viscoso tienen la propiedad de reducir simultáneamente los esfuerzos y las deflexiones de la estructura. Esto es debido a que los disipadores de fluido varían su fuerza solamente con la velocidad, la cual provee una respuesta que es inherentemente fuera de fase con los esfuerzos debido a la flexibilidad de la estructura. Otros disipadores pueden normalmente ser clasificados como histeréticos, donde una fuerza de amortiguamiento es generada bajo una deflexión o los viscoelásticos que son disipadores con un complejo resorte combinado con un amortiguamiento.

Los disipadores de fluido viscoso son esencialmente, mecanismos llenos de fluido, los cuales deben ser capaz de mantenerse en servicio durante grandes períodos de tiempo sin mantenimiento. Los requerimientos de los materiales son que deben ser resistentes a la corrosión, resistencia al despostillamiento, libre de esfuerzos de ruptura y alta resistencia al impacto. Esto es especialmente cierto para el cilindro del disipador, el cual debe resistir esfuerzos triaxiales (Villarreal, 2009).

II.1.3.4 Disipadores por fricción

Los sistemas de fricción disipan energía, basándose en el rozamiento existente entre dos superficies en contacto bajo presión y en el deslizamiento entre ellas. La fuerza de fricción en cada conexión es igual al producto de la fuerza normal por el coeficiente de rozamiento.

Los sistemas de fricción disipan energía, basándose en el roce que ocurre entre dos superficies en contacto bajo presión y en su deslizamiento relativo. Los desplazamientos relativos que tienen lugar en una estructura durante un sismo desarrollan a su vez

desplazamientos relativos en las placas del disipador, lo que se traduce en disipación de energía en forma de calor principalmente, y generando curvas de histéresis rectangulares. La fuerza de fricción en cada conexión es igual al producto de la fuerza normal por el coeficiente de roce dinámico

El mayor inconveniente que presentan estos dispositivos disipadores es que el coeficiente de fricción, durante el desplazamiento, depende de la velocidad, de la presión normal y de las condiciones de las superficies en contacto. Consecuentemente, resulta difícil garantizar un coeficiente de fricción independiente del tiempo y de las condiciones de los disipadores. Sin embargo, se ha observado que la variación del coeficiente de fricción durante el desplazamiento no afecta significativamente a la respuesta estructural si la estructura permanece en rango lineal, mientras que esta influencia puede ser significativa si esta entra en rango no lineal. (Villarreal, 2009).

II.1.3.5 Disipadores histeréticos

Éstos utilizan el desplazamiento relativo de pisos que se genera durante las acciones sísmicas. Este tipo de dispositivos ofrece gran capacidad de amortiguamiento con volúmenes pequeños en relación a la totalidad de edificio, lográndose esto básicamente porque sus formas geométricas inducen la fluencia en gran parte o en la totalidad del metal, variando su efecto de amortiguamiento con la amplitud de la respuesta o vibración. Entre sus ventajas se encuentran:

- Son de instalación económica.
- No se deterioran en largos períodos de tiempo.
- Al ser metálicos se basan en la capacidad del acero, cobre, plomo u otros metales, de sostener muchos ciclos del comportamiento de rendimiento histerético (Villarreal, 2009).

II.2 Generalidades

II.2.1. Sismo

Los sismos son perturbaciones súbitas en el interior de la tierra que dan origen a vibraciones o movimientos del suelo; la causa principal y responsable de la mayoría de los sismos es la ruptura y fracturamiento de las rocas en las capas más exteriores de la tierra, dando lugar a las grandes cadenas montañosas. (OPS, 2004).

Los terremotos constituyen una importante amenaza de carácter recurrente, que afecta los centros urbanos, por lo cual al realizar el análisis detallado de los factores que se involucran en una obra civil, las acciones de estos debe ser tomado en cuenta. La norma COVENIN 1756-2001-1 “Edificaciones Sismorresistente” establece lo siguiente:

- Las estructuras no deben sufrir daños bajo la acción de sismo menores
- Deben resistir sismos moderados con algunos daños, económicamente reparables en elementos no estructurales
- Deben resistir sismos intensos sin colapsar, aunque presenten daños estructurales importantes.

II.2.2. Acciones sísmica

En cuanto a las construcciones de gran altura, la gravedad, la fuerza del viento y la carga sísmica son las principales acciones que deben ser resistidas por la estructura. Cualquier aumento de la rigidez y la fuerza conduce a la mayor carga sísmica debido a los fuertes movimientos de tierra asociados con períodos más cortos y mayor gravedad. (OPS, 2004).

II.2.3. Amenaza o peligro sísmico

Probabilidad que se presente un sismo potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado. Representa un factor de riesgo externo al elemento expuesto, un peligro latente natural asociado al fenómeno sísmico, capaz de producir efectos adversos a las personas, bienes y/o medio ambiente. (OPS, 2004).

II.2.4. Riesgo sísmico

Es el grado de pérdida, destrucción o daño esperado debido a la ocurrencia de un determinado sismo. Esta relación es la probabilidad que se presenten o manifiesten ciertas consecuencias, lo cual está íntimamente vinculado al grado de exposición, su predisposición a ser afectado por el evento sísmico y el valor intrínseco del elemento. (OPS, 2004).

II.2.5. Vulnerabilidad sísmica

Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia de un evento sísmico desastroso. Es la predisposición intrínseca de un elemento o grupo de elementos expuestos a ser afectados o ser susceptible a sufrir daños, ante la ocurrencia de un evento sísmico determinado. Una medida de los daños probables inducidos sobre edificaciones por los diferentes niveles de movimientos de suelos debidos a sismos, convencionalmente expresada en una escala que va desde 0(sin daño), hasta 1 (pérdida total).

La vulnerabilidad sísmica es una propiedad intrínseca de la estructura, una característica de su propio comportamiento ante la acción de un sismo descrito a través de una ley causa –efecto, donde la causa es el sismo y el efecto es el daño. (Safina, 2009)

II.2.6. Diseño sismorresistente

Los terremotos pueden dañar las estructuras o incluso provocar su colapso. El enfoque tradicional de diseño sísmico se ha basado en el logro de una adecuada combinación entre resistencia y ductilidad de la estructura con el fin de resistir a cargas impuestas. Por lo tanto, el nivel de la seguridad de la estructura no se puede lograr debido a la incapacidad de diseñar el método para considerar las incertidumbres relacionadas con la acción del terremoto (Safina, 2009). Hasta el momento, aparte del diseño clásico dúctil de estructuras, hay varios otros enfoques de la protección sísmica de edificios en todo el mundo.

II.2.7. Derivas (desplazamiento relativo entre pisos)

En principio, los grandes desplazamientos laterales ponen en peligro la seguridad de la construcción en su totalidad, debido al daño que pueden representar para los elementos no estructurales en general. Sin embargo, cuando son aún mayores traen consigo el riesgo de colapso parcial o total de la edificación. El daño en elementos no estructurales adosados a la estructura es particularmente grave por ejemplo, el caso de hospitales, por esto es necesario tener presente que dicho daño está asociado al valor de la deriva. La deriva es la deformación relativa inelástica que sufre un piso en particular por la acción de una fuerza horizontal, se calcula restando del desplazamiento del extremo superior con el desplazamiento del extremo inferior del piso. (Covenin 1756-2001).

La norma Covenin (1756-2001) establece: Se denomina deriva, a la diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles consecutivos:

$$\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1} \quad (2-1)$$

$$\frac{\delta_i}{(h_i - h_{i-1})} \quad (2-2)$$

Donde:

$(h_i - h_{i-1})$ = Separación entre pisos o niveles consecutivos

Los valores límite, vienen dados por:

Tabla 1: Valores límites de las derivas

TIPO Y DISPOSICION DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	EDIFICACIONES		
	GRUPO A	GRUPO B1	GRUPO B2
Susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura	0.012	0.015	0.018
No susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura	0.016	0.020	0.024

Fuente: norma Covenin (1756-2001)

II.2.8. Acelerograma.

Es una serie temporal y cronológica de valores de aceleración registrados durante un sismo. Los valores de la aceleración se obtienen mediante unos instrumentos llamados acelerógrafos, que registran la aceleración del suelo según tres direcciones perpendiculares; dos horizontales y una vertical. Debido a que la variación de la aceleración es muy irregular en el tiempo, es necesario que la toma de datos se realice en intervalos muy pequeños de tiempo, utilizándose generalmente valores de 0.01 o 0.02 Seg. Los acelerogramas se caracterizan por ser altamente irregulares y oscilatorios, con pequeñas amplitudes iniciales que crecen rápidamente hasta alcanzar los valores máximos y decrecer igualmente rápido hasta que se detiene el movimiento. Una de las características principales de un acelerograma es la aceleración máxima registrada, pero no la única, puesto que la respuesta de una estructura puede ser más desfavorable al someterla a un acelerograma con aceleraciones máximas menores que otro. (World press, 2012).

II.3. Antecedentes legales

Es importante mencionar la base legal en relación al tema, son requisitos que tomaremos de la norma venezolana COVENIN 1756-2001-1; en su artículo 8.7 señala: “Se autoriza el empleo de sistemas de control pasivo debidamente justificados, analítica y experimentalmente para reducir la respuesta sísmica, tales como los sistemas de aislamiento sísmico y amortiguamiento”. En el comentario de la misma normativa se indica: “Hasta tanto no se promulguen normas nacionales, los sistemas propuestos pueden evaluarse con la metodología establecida por (ICBO, 1997) ó (FEMA, 1997a) “.

“La definición de las acciones sísmicas de aislamiento amerita estudios especiales. Particularmente, es necesario definir un sismo de menor probabilidad a las usuales (un terremoto “máximo” posible, o semejante) para las verificaciones de estabilidad y previsiones contra el colapso.”

Debido a que en nuestra norma nacional nos refieren a normas internacionales, se cita a continuación la siguiente norma internacional:

II.3.1 Norma ASCE 7-10 “Cargas de diseño mínimas para edificaciones y otras estructuras”

La norma americana ASCE en su capítulo 18 se enfoca en el diseño del sistema de disipación, el cual se define como la combinación de todos los elementos estructurales, los cuales incluyen cada dispositivo de disipación de energía, todos los elementos estructurales o arriostramientos requeridos para transferir fuerzas disipativas de los dispositivos a la base de la estructura y los elementos estructurales requeridos para transferir las fuerzas de los dispositivos disipadores al sistema sismorresistente.

Se proponen tres posibles procedimientos de diseño de estructuras con disipadores de energía:

1.-Procedimiento no lineal el cual se permite para el diseño de cualquier estructura con disipadores de energía

2.- Procedimiento de espectro de respuesta para el cual se deben cumplir dos condiciones, la primera es que el sistema de disipación tenga al menos dos disipadores en cada piso de la superestructura en la dirección de interés y que estén configurados para resistir torsión y la segunda condición es que la disipación efectiva de la estructura en la dirección de interés no sea mayor al 35% de la crítica.

3.- Procedimiento de la fuerza lateral equivalente para el cual se deben cumplir cinco condiciones, la primera es que el sistema de disipación tenga al menos dos disipadores en cada piso de la superestructura en la dirección de interés y que estén configurados para resistir torsión, la segunda condición es que la disipación efectiva de la estructura en la dirección de interés no sea mayor al 35% de la crítica, la tercera condición es que la estructura no tenga irregularidades horizontales o verticales, la cuarta es que los diafragmas de piso sean rígidos y la quinta condición es que la estructura sobre la base no exceda los 30m.

II.3.1.1 Procedimiento no lineal

Las propiedades de rigidez y amortiguamiento de los dispositivos disipadores de energía utilizados en los modelos deben ser verificados por pruebas de control de calidad. Las características no-lineales de la relación fuerza-deformación de los disipadores deberán ser modeladas teniendo en cuenta explícitamente la dependencia del disipador del contenido de frecuencia, la amplitud y la duración de la carga sísmica.

II.3.1.1.1 Procedimiento no lineal de respuesta en el tiempo

Un análisis de la respuesta no lineal-histórica deberá utilizar un modelo matemático de la estructura y la esta sección. El modelo se cuenta directamente para el comportamiento histerético no lineal de elementos de la estructura y los dispositivos de amortiguación para determinar su respuesta.

El Amortiguamiento inherente de la estructura no se tomará mayor al 5 por ciento del crítico a menos que las pruebas de datos consistentes con los niveles de deformación del sistema resistente a fuerzas permitan valores mayores.

Si la fuerza calculada en un elemento del sistema resistente a fuerzas sísmicas no supera 1,5 veces su resistencia nominal, se permite que el elemento pueda ser modelado como lineal.

II.3.1.1.2 Modelaje de los dispositivos disipadores de energía

Los modelos matemáticos de disipadores dependientes del desplazamiento deberán representar el comportamiento histerético de los disipadores de manera consistente con datos experimentales, y deberán tomar en cuenta todo cambio significativo de resistencia, rigidez, y forma del lazo histerético. Los modelos matemáticos de disipadores dependientes de la velocidad deberán incluir un coeficiente de velocidad que sea consistente con datos experimentales. Los elementos de los disipadores, que conectan partes del disipador con la estructura, deberán ser incluidos en el modelo

II.3.1.1.3 Parámetros de respuesta

Para cada excitación sísmica considerada en el análisis de respuesta en el tiempo deberán determinarse los siguientes parámetros de respuesta: valores máximos de las fuerzas y desplazamientos en cada disipador, y valores máximos de las velocidades en cada disipador dependiente de la velocidad.

Si se consideran al menos 7 excitaciones sísmicas para el análisis de la respuesta en el tiempo, los valores de diseño correspondientes a las fuerzas, desplazamientos y velocidades en los disipadores podrán considerarse iguales al promedio de los valores correspondientes a cada excitación sísmica

Si se consideran menos de 7 excitaciones sísmicas para el análisis de la respuesta en el tiempo, los valores de diseño correspondientes a las fuerzas, desplazamientos y velocidades en los disipadores deberán ser iguales al máximo valor obtenido en los análisis. Deberán considerarse como mínimo tres excitaciones sísmicas.

II.3.1.2 Procedimiento de espectro de respuesta

Un modelo matemático del sistema resistente a fuerzas sísmicas y sistema de disipación se debe construir de tal manera que represente la distribución espacial de masas, rigideces y amortiguamiento a lo largo de la estructura. El modelo y el análisis deben cumplir con los requerimientos del sistema sismorresistente y los requerimientos de esta sección. La rigidez y el amortiguamiento se deben basar o verificar mediante pruebas a los disipadores como lo explica esta norma en su sección de pruebas.

La rigidez elástica de los elementos del sistema de disipación aparte de los dispositivos disipadores debe estar modelada explícitamente.

El diseño de los dispositivos debe estar sujeto a ciertos criterios como las fuerzas máximas sísmicas, la degradación a ciclos altos y bajos, exposición a condiciones ambientales, entre otros.

Los puntos de conexión de los dispositivos disipadores deben proveer suficiente articulación para soportar desplazamientos longitudinales, laterales y verticales simultáneos del sistema de disipación.

II.3.1.3 Inspección y revisión periódica

Se debe proveer un medio de acceso y remoción de todos los dispositivos disipadores. El profesional de diseño responsable del diseño de la estructura debe establecer un plan de inspección y pruebas para cada tipo de dispositivo para asegurar el debido comportamiento de estos durante su vida útil de diseño. El grado de inspección y prueba debe reflejar la historia de servicio establecida del dispositivo y la posibilidad de cambio de sus propiedades durante la vida de servicio de los mismos.

El artículo 18.9 se enfoca en pruebas y criterios de aceptación para el diseño de los dispositivos. Las pruebas realizadas a los dispositivos deben hacerse en prototipos especificados en esta norma.

Se deben realizar pruebas de control de calidad en al menos 2 prototipos del mismo tipo y tamaño de dispositivo.

Cada dispositivo debe estar sujeto a los efectos de las cargas gravitacionales y representaciones de ambientes térmicos a los que serán expuestos. Se deben pruebas cíclicas de viento si el dispositivo está expuesto a ese tipo de cargas, también se deben realizar pruebas de ciclos sinusoidales a ciertas frecuencias al menos a 3 temperaturas diferentes para probar su operatividad bajo diversas condiciones de temperatura.

II.3.2 Información conceptual norma COVENIN 1756-2001-1

La norma venezolana COVENIN 1756-2001-1, en su apartado de definiciones toma en cuenta los siguientes términos:

Aceleración de diseño: valor de la aceleración del terreno para el diseño sismorresistentes de obras de ingeniería.

Análisis dinámico: en sistemas elásticos es un análisis de superposición modal para obtener la respuesta estructural a las acciones dinámicas. En sistemas inelásticos es un

análisis en el cual se calcula la historia en el tiempo de la respuesta estructural a las acciones dinámicas.

Deriva: diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles o pisos consecutivos.

Diafragma: parte de la estructura, generalmente horizontal, con suficiente rigidez en su plano, diseñada para transmitir las fuerzas a los elementos verticales del sistema resistente a sismos.

Ductilidad: es la capacidad que poseen los componentes de un sistema estructural de hacer incursiones alternantes en el dominio inelástico, sin pérdida apreciable de su capacidad resistente.

Espectro de diseño: espectro que incorpora el factor de reducción de respuesta correspondiente al sistema resistente a sismos adoptado.

Espectro de respuesta: representa la respuesta máxima de osciladores de un grado de libertad y de un mismo coeficiente de amortiguamiento, sometidos a una historia de aceleraciones dada, expresada en función del periodo.

Fuerzas sísmicas: fuerzas externas, capaces de reproducir los valores extremos de los desplazamientos y las sollicitaciones internas causadas por la excitación sísmica actuando en el nivel base.

Factor de reducción de respuesta: factor de que divide las ordenadas del espectro de respuestas elásticas para obtener el espectro de diseño.

Pórticos Diagonalizados: sistemas tipo celosía vertical o equivalentes, dispuestos para resistir las acciones sísmicas y en los cuales los miembros están sometidos principalmente a fuerzas axiales

Sistema resistente a sismo: Parte del sistema estructural que se considera suministra a la edificación la resistencia, rigidez y ductilidad necesaria para soportar las acciones sísmicas

Zona Sísmica: Zona geográfica en la cual se admite que la máxima intensidad esperada de las acciones sísmicas, en un periodo de tiempo prefijado, es similar en todos sus puntos

CAPÍTULO III

MÉTODO Y ACTIVIDADES

Para lograr los objetivos planteados el diseño experimental del presente trabajo de grado comprende dos partes: una primera de tipo no experimental correlacional en la cual se utilizará como instrumento de recolección de datos tipo secundario, la revisión bibliográfica de los últimos diez años, esto dirigido a la búsqueda de trabajos que incluyan aplicaciones de los dispositivos disipadores de energía por extrusión de plomo y modelos matemáticos, con la finalidad de escoger parámetros físicos que definan las variables que alimentarán el programa de cálculo estructural SAP 2000, que se empleará en la segunda etapa del proyecto. Se realizará la siguiente actividad:

III.1 Determinación de los parámetros físicos de un dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo.

Se realizó una revisión de las bibliografías y modelos matemáticos existentes para poder determinar los parámetros físicos de un dispositivo disipador de energía y poder correlacionarlo y adaptarlo a las normas sismoresistentes venezolanas.

La segunda parte del trabajo es de tipo experimental primario empleando metodología de simulación por computadora. En esta etapa se modelaron 3 estructuras sismorresistentes de acero y concreto armado con el uso de dispositivos disipadores de energía, con la finalidad de describir el comportamiento del disipador en estas estructuras.

Se realizaron las siguientes actividades:

III.2 Elección y dimensionado de las estructuras de concreto armado y acero.

Se escogieron tres estructuras sismorresistentes, dos de concreto armado y una de acero, para ser modeladas en el programa SAP2000 V16, dichas estructuras soportaron las

combinaciones de cargas que establece la norma venezolana COVENIN 1756-2001 “Estructuras Sismorresistentes”

III.2.1 Evaluación de alternativas de colocación del dispositivo en estructuras de concreto armado y acero.

Luego de tener los parámetros físicos de un dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo y las estructuras pertinentes en donde se probaron dichos dispositivos se evaluaron las alternativas de colocación de estos dispositivos en las estructuras pertinentes

III.2.2 Realizar en el programa “SAP 2000” un análisis paramétrico controlando desplazamientos, velocidades y fuerzas laterales en las estructuras de concreto armado y acero, incorporando disipadores de energía en lugares distintos de dichas estructuras.

Posteriormente se realizó el modelado de dichas estructuras ya calculadas en el programa SAP 2000 V16 con los dispositivos disipadores de energía y se colocarán en diferentes partes de dichas estructuras y se efectuará el análisis lineal-no lineal de ella como lo estipulen las normas.

III.2.3 Elección y dimensionado de los dispositivos de extrusión de plomo a colocar en las estructuras de concreto armado y acero

En base a los resultados obtenidos luego del análisis paramétrico en las estructuras, se procedió a revisar la magnitud de la mayor fuerza de los dispositivos reportadas por el programa en cada una de las estructuras y, utilizando la ecuación 4-1 se iteró hasta que la fuerza reportada por el programa coincidiera con la fuerza estimada por la ecuación 4-1 y así dimensionar los dispositivos a utilizar.

III.2.4 Discutir los resultados y elaborar conclusiones

Por último se procedió a contrastar la respuesta dinámica de la estructura con el uso de dispositivos de disipación de energía y sin el uso de los mismos, para poder ver las ventajas que presenta el uso de control estructural pasivo con disipadores de energía por extrusión de plomo.

III.3 Planificar el ensayo físico de un dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo.

Una vez determinados los parámetros físicos del dispositivo se presentarán sus dimensiones y materiales adecuados para la elaboración de un dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo.

III.3.1 Diseñar ensayo físico de un dispositivo disipador de energía para elaborarse en la “nave de ensayos especiales del IMME” (Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Central de Venezuela).

CAPÍTULO IV

DISIPADOR DE ENERGÍA POR EXTRUSIÓN DE PLOMO

IV.1 Descripción

El disipador de extrusión de plomo utiliza las propiedades histeréticas de disipación de energía del plomo. El proceso de extrusión consiste en forzar un material a través de un orificio alterando por tanto su forma y es similar a la acción que se lleva a cabo para extraer pasta dental del tubo dentífrico. Se tiene el material en estado plástico, contenido en una cámara de compresión; se ejerce presión sobre éste obligándolo a salir a través de un dado o boquilla (orificio) con la forma del perfil que se requiere obtener, por consiguiente la presión aplicada cuando se aplica una fuerza de empuje sobre el plomo para que fluya a través del orificio produce una microestructura de gránulos prolongados conteniendo muchos defectos en la red cristalina. Una porción de la energía requerida para extrudir el plomo aparece de inmediato en forma de calor pero otra porción es depositada en el plomo deformado y es la fuerza motora para tres procesos interrelacionados (recuperación, recristalización y ganancia de tamaño) los cuales tienden a restaurar el plomo a su condición original (Fig. 3).

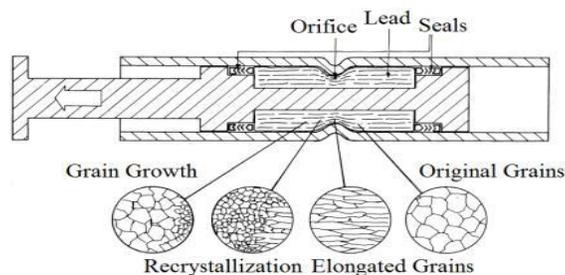


Figura 3. Sección longitudinal de un tubo estrechado LED que muestra los cambios en la microestructura del plomo. Fuente: C.Soydan, A.Gullu, O.E.Hepbostancı, E.Yuksel y E.Irtem, "Desing if a Special Lead Extrusion Damper" (2012).

El disipador consiste en un tubo de pared gruesa que tiene dentro dos pistones conectados por una barra de acoplamiento. El espacio entre los pistones está lleno de plomo, que está separado de la pared del cilindro por una capa fina de lubricante mantenido en su lugar por las juntas hidráulicas alrededor de los pistones. Un pistón es efectivamente parte de una varilla de conexión que se extiende más allá del extremo final del cilindro y se fija a la estructura, mientras que el extremo opuesto del cilindro se fija a otra parte de la estructura. Cuando las dos partes de la estructura oscilan una con respecto a la otra (como durante un terremoto) el plomo se extrude hacia atrás y adelante a través del orificio. Dado que la extrusión es un proceso de deformación plástica, el trabajo debe ser hecho moviendo los pistones con relación al cilindro. Así, la aplicación de protección contra terremoto de un dispositivo de este tipo sería limitar la acumulación de oscilaciones destructivas en la estructura. (Castro, 2001)

En la Fig. 4 se muestra la típica curva de histéresis fuerza desplazamiento de los disipadores, donde se observa su forma casi rectangular, es decir, su comportamiento histerético es extremadamente regular y estable. Para conseguir la histéresis estos amortiguadores utilizan la deformación plástica del plomo.

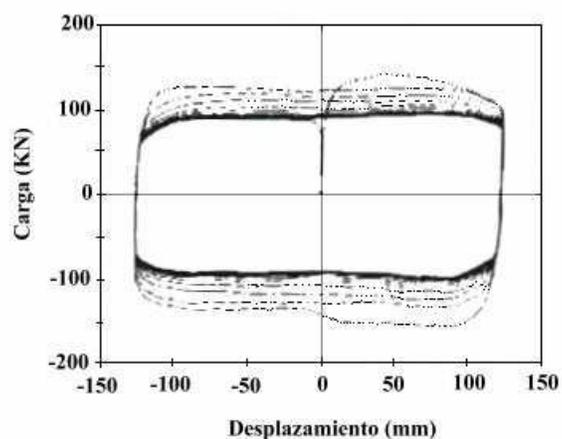


Figura 4. Curva fuerza-desplazamiento del amortiguador de extrusión de plomo. Fuente: Castro Adolfo, Soto José, “Dispositivos para el control de vibraciones”.

Los disipadores se sugirieron por primera vez por Robinson como un dispositivo pasivo de disipación de energía para estructuras aisladas en la base en Nueva Zelanda. Dos dispositivos introducidos por Robinson se muestran en la Fig. 3 (Robinson and Greenbank, 1975, 1976). El primer dispositivo consiste de un tubo de paredes gruesas y un eje co-axial con un pistón (Fig. 5.a). El segundo dispositivo es similar al primero excepto que el dispositivo de orificio de extrusión está formado por una protuberancia en el eje central en lugar de por una constricción en el tubo. El eje está soportado por cojinetes que también sirven para mantener el plomo en su lugar. Cuando el eje se mueve, el plomo debe extrudir a través del orificio formado por la protuberancia y el tubo (Fig 5.b).

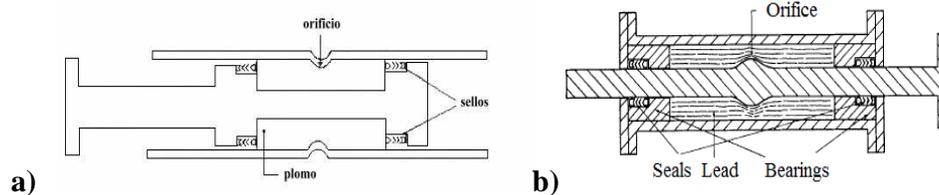


Figura 5. a) Esquema del amortiguador de extrusión de plomo tipo "tubo contraído". b) Sección longitudinal de un dispositivo con eje abombado. Fuente: C.Soydan, A.Gullu, O.E.Hepbostancı, E.Yuksel y E.Irtem, „Desing if a Special Lead Extrusion Damper” (2012)

En estudios previos se demostró que no hay necesidad de utilizar sellos hidráulicos para que el lubricante se mantenga en su lugar ya que la lubricación del dispositivo no era necesaria. En estos estudios también se demostró que para minimizar la formación de huecos el plomo está pretensado, y esto ayuda a reducir la porosidad de fundición y lagunas de aire antes de que se forman en el disipador, y por lo tanto el tamaño del vacío.

Históricamente estos dispositivos eran de gran tamaño pero hoy en día se han logrado diseñar en tamaños reducidos y eliminando el orificio por donde el plomo era extruido. Se siguen manteniendo las dos versiones del dispositivo diseñadas por Robinson las cuales son: el tipo "tubo contraído" y el tipo "vástago pandeado o bulbo (hinchado)".

El tipo "tubo contraído" consiste esencialmente de dos pistones sobre un vástago, los cuales fuerzan al plomo por medio de una constricción. En el amortiguador de extrusión de "vástago pandeado", el bulbo es empujado por medio de un cilindro relleno de plomo, siendo este más fácil para fabricar en la práctica. En ambos casos el proceso de extrusión se realiza debido a la cizalladura y la deformación que se produce por medio del bulbo o de la constricción directamente al plomo. Ambos dispositivos se pueden apreciar en la figura 6.

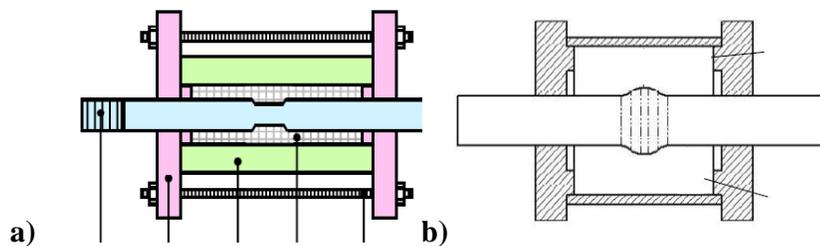


Figura 6. a) Vista interna del dispositivo con constricción Fuente: C. Golondrino, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton. Velocity Effects on the Behaviour of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configurations (2011), b) Vista interna del dispositivo con bulbo. Fuente: Geoffrey W Rodgers, J Geoffrey Chase, John B Mander, Nicholas C Leach y Caleb S Denmead. “Experimental development, tradeoff analysis and design implementation of high force-to-volume damping technology” (2007).

IV.2 Ubicación de los dispositivos

Se han realizado varias investigaciones para desarrollar los dispositivos disipadores de energía por extrusión de plomo para que al momento de un terremoto puedan disipar la energía de una manera controlada, con un comportamiento repetitivo. Históricamente, estos dispositivos han sido volumétricamente muy grandes y, en contraste con los grandes amortiguadores el dispositivo debe ser lo suficientemente compacto como para permitir la colocación en lugares de volumen reducido, sin dejar de ofrecer los mismos altos niveles de fuerza de los dispositivos anteriores. Idealmente, los amortiguadores también deben ser de bajo costo y, por tanto, comercialmente viable en el uso regular. Las fuerzas de alto rendimiento dadas por amortiguadores de plomo dan la capacidad de

modificar y reducir la respuesta sísmica a través de disipación de energía de histéresis dentro del dispositivo por sí solo, por lo tanto tener el potencial de reducir considerablemente los daños en los elementos estructurales.

Las investigaciones han llevado a modificar los diseños y principios básicos de estos amortiguadores más grandes anteriores para crear dispositivos más pequeños. La obtención de los niveles de fuerzas equivalentes en dispositivos menores expande sus aplicaciones. La lubricación del dispositivo fue identificada como un factor clave en las publicaciones anteriores, pero luego se demostró que no era necesaria. Una posible aplicación de amortiguadores compactos de alta fuerza a volumen de extrusión está en pilares de puentes, como se muestra esquemáticamente en la figura 7a. En esta aplicación la carga tomada por el amortiguador de extrusión reduce la demanda lateral en las columnas. En este método se utilizan amortiguadores de alta fuerza de extrusión para proporcionar amortiguación. Estos pilares suelen tener bajo amortiguamiento estructural y por lo tanto el uso de sistemas de amortiguación suplementarios como estos amortiguadores de extrusión aumenta su capacidad de disipar energía.

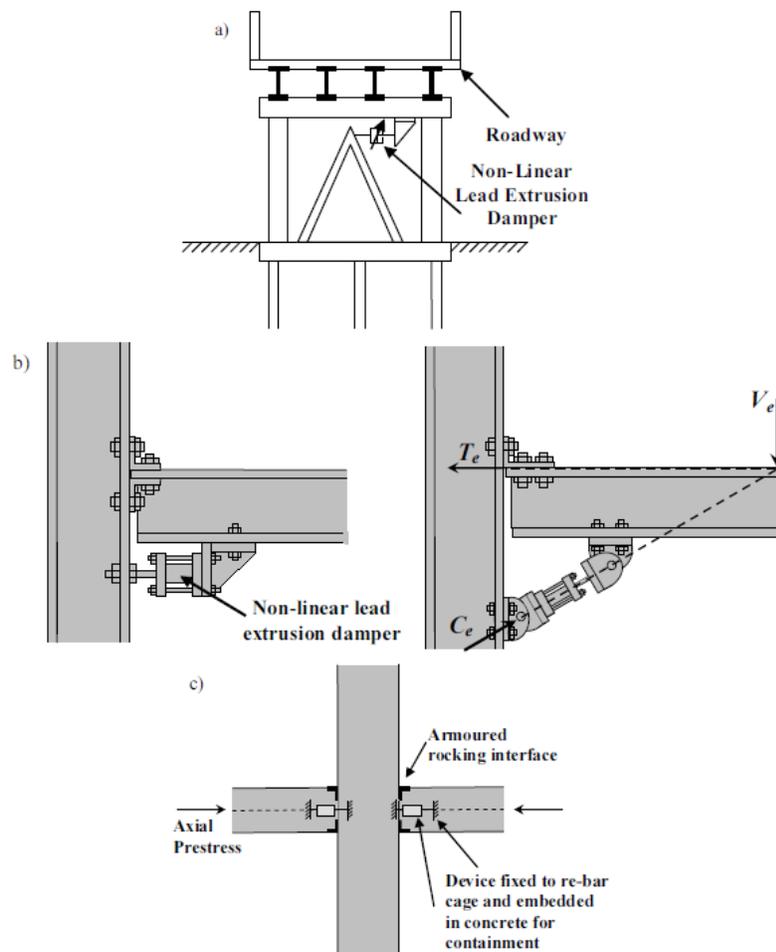


Figura 7. Posibles aplicaciones para disipadores de extrusión de plomo; a) en un muelle de puente, b) una conexión de acero sísmica momento fotograma viga-columna, y un sistema de bastidor de balanceo de carga sísmica, y c) en una articulación de concreto armado. Fuente: Geoffrey W Rodgers, J Geoffrey Chase, John B Mander, Nicholas C Leach y Caleb S Denmead. “Experimental development, tradeoff analysis and design implementation of high force-to-volume damping technology” (2007).

Otra posible aplicación dada por el tamaño reducido es fijarlo directamente en una conexión viga-columna de acero. El amortiguador de extrusión proporciona una fuerza de resistencia contra la junta de rotación y en consecuencia, proporciona absorción de energía de histéresis, previniendo la complacencia de los elementos del marco principal de acero estructural. La colocación del amortiguador por debajo del reborde inferior de las vigas

resulta en desplazamientos más grandes en el amortiguador para una deriva de diseño dado, y por consiguiente mayor disipación de energía. La Figura 7b muestra tanto una conexión viga-columna de acero en un pórtico de momento sísmico, y un sistema de bastidor de balanceo de carga sísmica, donde la componente vertical de la fuerza de amortiguación proporciona una reacción a la fuerza cortante, VE.

En la figura 7c se muestra una representación esquemática de cómo un amortiguador de extrusión de alta fuerza-volumen puede ser incorporado directamente para reforzar una conexión de columna-viga de concreto. El esquema de la figura 1c muestra el amortiguador de extrusión directamente en el extremo de la viga y conectado a la columna. En esta aplicación en la junta la oscilación causada por la rotación conjunta desplazará el eje del amortiguador, proporcionando absorción de energía de histéresis. La principal ventaja de un sistema como éste es la capacidad de proporcionar absorción de energía de histéresis de una manera libre de daños y repetible. (Geoffrey W Rodgers, J Geoffrey Chase, John B Mander, Nicholas C Leach y Caleb S Denmead, 2007)

También es posible colocar el dispositivo dentro de arriostramientos, el cual desarrolla fuerzas de resistencia contra el alargamiento del arriostramiento (según Chanchi. 2011). En esta configuración, el sistema estructural disipa energía por extrusión en el dispositivo, en lugar de ceder cualquier componente del pórtico, haciendo del sistema estructural una solución de poco daño. La figura 8 muestra las dos posibles configuraciones mencionadas de los dispositivos de extrusión de plomo en sistemas estructurales de acero.

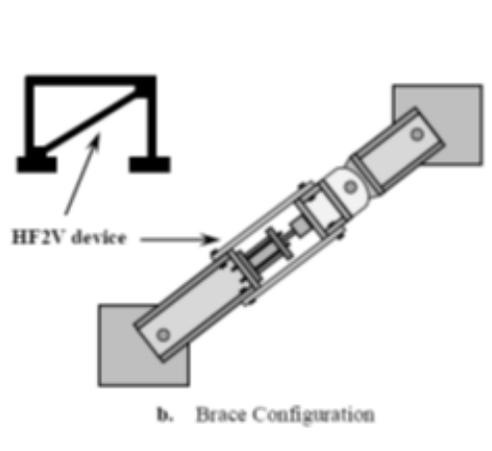


Fig. 8. Configuraciones del dispositivo de extrusión de plomo en sistemas estructurales de acero.
 Fuente: C. Golondrino, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton. Velocity Effects on the Behaviour of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configurations (2011)

IV.3 Antecedentes

Para el desarrollo de esta investigación se hizo una revisión de los trabajos realizados con disipadores de energía por extrusión de plomo en los últimos 10 años. A continuación se muestran los trabajos más relevantes:

IV.3.1 Desarrollo y análisis de un disipador experimental de extrusión de una alta relación fuerza / volumen

Autores: Geoffrey W Rodgers, J Geoffrey Chase, John B Mander², Nicholas C Leach¹ y Caleb S Denmead¹

Esta investigación desarrolla los dispositivos disipadores de energía por extrusión de plomo para disipar la energía sin dejar de ser lo suficientemente compactos para permitir implementaciones con limitaciones de volumen reducidos. También debe tener el potencial de ser barato, y por lo tanto comercialmente viable para su uso regular. Esta investigación modifica los diseños y principios básicos de estos amortiguadores más grandes para crear dispositivos significativamente más pequeños. La obtención de los niveles de fuerza equivalentes en los dispositivos más pequeños se expande significativamente para posibles

aplicaciones. El objetivo principal es conseguir la máxima fuerza del dispositivo con el menor volumen posible que permita las aplicaciones en las conexiones estructurales.

IV.3.1.1 Métodos

El amortiguador está diseñado para encajar en espacios confinados dentro y alrededor de las conexiones. El eje se ha limitado a 30 mm de diámetro, en línea con tamaños máximos de ajuste comúnmente utilizados en aplicaciones estructurales. La Figura 9 muestra el diseño del dispositivo prototipo final y dimensiones con una protuberancia de 40 mm sobre un eje de 30 mm.

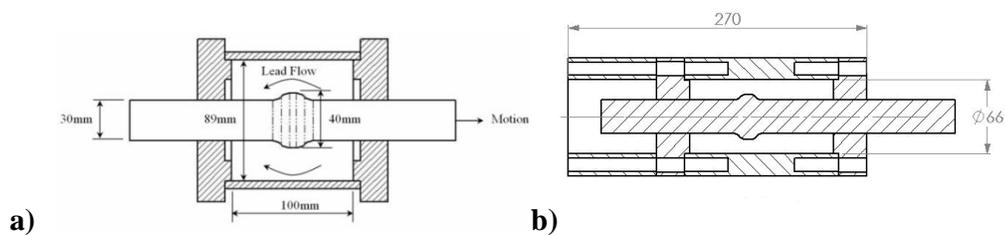


Figura 9. Vista en sección transversal de diferentes configuraciones de los amortiguadores de extrusión de plomo. Fuente: Geoffrey W Rodgers, J Geoffrey Chase, John B Mander, Nicholas C Leach y Caleb S Denmead. “Experimental development, tradeoff analysis and design implementation of high force-to-volume damping technology” (2007).

IV.3.1.1.1 Modelos existentes

Limitados intentos se han hecho para ajustar un modelo a las características experimentales de amortiguadores similares. Pearson et al (Pearson y Parkins, 1960) relacionan la fuerza, y áreas del cilindro y orificios asociados durante un proceso de extrusión similar. Para determinar la fuerza de extrusión entre la protuberancia y el cilindro del amortiguador se aplicó un modelo en un intento de caracterizar el amortiguador, y se define:

$$F = \left\langle \left[Y \ln \left(\frac{A}{a} \right) + Y \right] \exp(M) - Y \right\rangle (A - a) \quad (4-1)$$

Donde

F = fuerza de extrusión;

Y = límite elástico del material de trabajo;

A = área anular alrededor del eje como se muestra en la Figura 10, que corresponde al área de sección transversal de la barra de extrusión en Pearsons et al;

a = área anular de orificio de muestra de nuevo en la Figura 10, que corresponde al área de la sección transversal de barra extruida en Pearsons et al .; (Aa) representa el área de la cara proyectada de la protuberancia sobre la que se aplica una tensión directa al eje;

M = una constante específica para el proceso de extrusión, define como:

$$M = \frac{4\mu L}{D} \quad (4-2)$$

Donde

μ = el coeficiente de fricción entre el material de trabajo y el eje de acero;

L = la longitud del eje en contacto con las tapas de material y de extremo del dispositivo de trabajo de deslizamiento, en relación con la longitud de la palanquilla en Pearson et al.

D = Diámetro efectivo correspondiente al área de plomo anular A, Pearson et al.

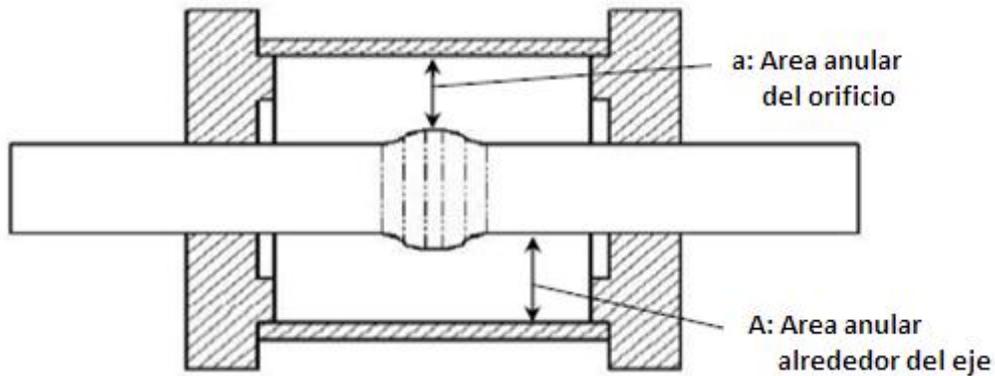


Figura 10. Representación esquemática del primer dispositivo, el área que muestra cómo se usa en la ecuación (4-1). Fuente: Geoffrey W Rodgers, J Geoffrey Chase, John B Mander, Nicholas C Leach y Caleb S Denmead. “Experimental development, tradeoff analysis and design implementation of high force-to-volume damping technology” (2007).

IV.3.1.1.2 Métodos experimentales

Se llevaron a cabo ensayos de compresión cuasi-estático en un diseño inicial. Las variaciones de velocidad se utilizan para identificar el coeficiente de velocidad que regula el aumento de las fuerzas, visto como energía se disipa más rápidamente a través de extrusión. Esta relación fuerza-velocidad se define (Pekcan, Mander, y Chen, 1999):

$$F = C_{\alpha} \dot{x}^{\alpha} \quad (4-3)$$

Donde

F = fuerza de amortiguación de extrusión;

x = velocidad del eje;

α = Coeficiente de velocidad (constante);

C = Coeficiente de amortiguamiento determinada por pruebas de prototipos físicos.

Los dispositivos probados comprenden:

- 1a) del dispositivo de la figura 9a con 40mm y 50mm bultos sin pretensado
- 1b) del dispositivo de la figura 9a con 40mm, 50mm y 58mm protuberancias y pretensado
- 2) Dispositivo de la figura 9b con 40mm y 50mm protuberancias y pretensado

Dispositivos 1a y 1b se utilizan para examinar el efecto de pretensado a la cabeza. Dispositivos 1b y 2 proporcionan una variedad de resultados en términos de variables diámetro del cilindro y tamaño del bulbo, con pretensado.

IV.3.1.2 Relaciones experimentales

Como una alternativa a la teoría de extrusión presentada, se consideró un modelo basado en el esfuerzo recto hacia adelante. Utilizando los criterios de rotura de Mohr-Coulomb para un material cuasi frágil:

$$D_D = \tau_D A_{shaft} + \sigma_o A_{bulge} \quad (4-4)$$

Donde τ_D = esfuerzo cortante debido a la carga entre el eje y la cabeza, σ_o = tensión directa impuesta a la zona de la cara de abultamiento, A_{shaft} = superficie del eje, y A_{bulge} = área anular alrededor del bulbo. Los datos experimentales arrojaron $\tau_D = 4.0$ MPa y $\sigma_o = 140$ MPa.

Estos resultados se pueden encontrar al examinar el círculo de Mohr de esfuerzo para el plomo en la condición no confinado. En primer lugar, el esfuerzo cortante máximo es $\tau_d = \sigma_y / 2$ donde σ_y = límite elástico no confinado del plomo de 6-11 MPa. En segundo lugar el valor de σ_o es muy superior a la resistencia a la compresión no confinada debido al grosor de pared delgada del cilindro y la tensión máxima de confinamiento puede ser definida como un valor correspondiente a la tensión de fluencia de la pared del cilindro. La teoría básica de presión de pared delgada da un valor de la tensión de confinamiento

aplicada al plomo, σ_c , igual a 36MPa a una tensión inducida de 250 MPa en el cilindro de acero. Este resultado implica una relación de fuerza plomo confinado definido como:

$$\sigma_{PBC} = \sigma_y + 3.6\sigma_c \quad (4-5)$$

El esfuerzo cortante calculado, conduce a una fuerza de un eje abombado de 37,7 kN, que está cerca de las estimaciones experimentales de la fuerza de fricción de los experimentos de un-pretensado con abultamiento 40mm. Sin embargo, otros resultados son claramente necesarios para verificar este nuevo modelo.

IV.3.1.3 Conclusiones

Luego de los ensayos, los autores presentaron las siguientes conclusiones:

Se desarrollaron disipadores compactos con fuerzas entre 300-400 kN. El pretensado del plomo es crítico, ya que elimina la porosidad de colada y proporciona una tensión residual de compresión beneficiosa. El resultado es que el ciclo de histéresis es más óptimo "cuadrado" y las fuerzas resistivas generan una mayor energía disipada. Por último, el análisis de compensación detallada se utiliza para desarrollar curvas de diseño simple para dispositivos similares. En general, los amortiguadores de alta fuerza / volumen compacto presentados son un primer paso importante hacia una amplia variedad de nuevas aplicaciones y la mejora de la resistencia estructural.

IV.3.2 Diseño de un disipador especial de energía de extrusión de plomo. (LED)

Autores: C.Soydan, A.Gullu, O.E.Hepbostancı, E.Yuksel y E.Irtem.

Estos autores iniciaron un estudio experimental para el diseño de amortiguadores de extrusión de plomo más eficientes (LED). En este estudio se obtuvieron relaciones carga-desplazamiento de varios LED que se colocaron en un escenario de pruebas especialmente diseñado. Se utilizaron en el estudio ciclos recurrentes de desplazamiento sinusoidal a los

cuales se les altero el umbral de frecuencia y de amplitud. Se investigó el efecto de las variaciones de frecuencia y amplitud en la disipación de energía, amortiguación y características de rigidez del LED. Además, el número de ciclos utilizados en el patrón de carga es uno de los parámetros imprescindible para definir la característica de amortiguación nominal del LED.

IV.3.2.1 LED

Este LED consta de tres partes, que son el eje, el tubo y la tapa. En el centro del eje hay una esfera con forma de protuberancia o bulbo. El espacio entre los elementos está lleno de plomo. El diámetro del eje y la protuberancia son 32 mm y 44 mm, respectivamente. El diámetro interno del tubo es de 60 mm y el espesor del tubo es de 12 mm. La brecha entre el bulbo y el tubo es de 8 mm. La capacidad de desplazamiento del LED es de ± 33 mm (Fig. 11)

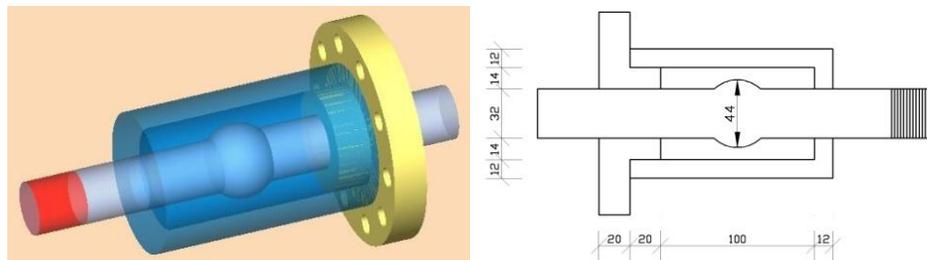


Figura 11. Demostración y dimensiones de LED 3D. Fuente: C.Soydan, A.Gullu, O.E.Hepbostanci, E.Yuksel y E.Irtem. "Desing of a Special Lead Extrusion Damper" (2012).

IV.3.2.1.1 Frecuencia constante y alteración de amplitud

Para este experimento el período se identifica como 60 segundos y cada serie consta de 30 ciclos. Se Realizaron cuatro pruebas con una frecuencia constante de 0,01667 Hz y los desplazamientos promedio del LED son de 2,75 mm, 3,58 mm, 4,00 mm y 4,47 mm, respectivamente (Fig. 12). Los resultados los reportaron en curvas que se presentan a continuación:

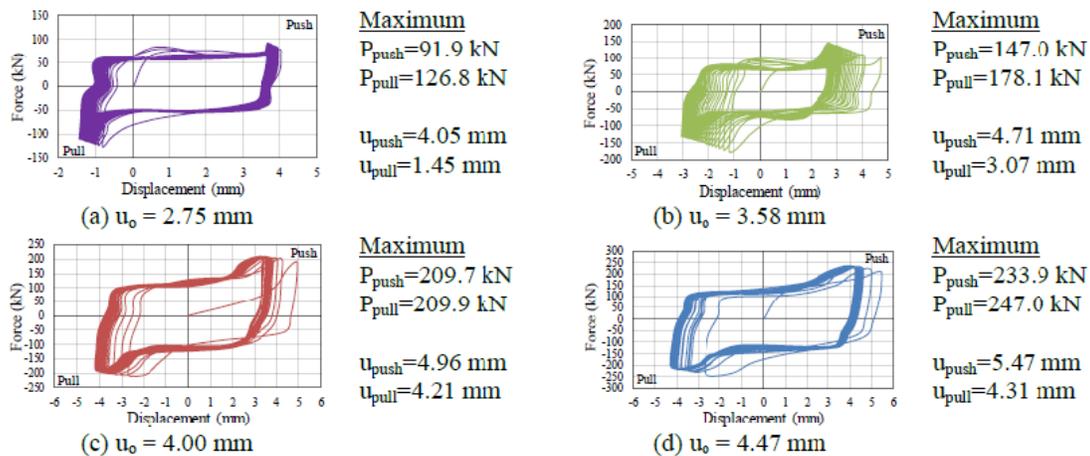


Figura 12. Relaciones de fuerza-desplazamiento ($f = 0,01667$ Hz). Fuente: C.Soydan, A.Gullu, O.E.Hepbostanci, E.Yuksel y E.Irtem, "Desing if a Special Lead Extrusion Damper" (2012)

IV.3.2.1.2 Amplitud constante y frecuencia alterada

Se llevaron a cabo nueve pruebas con amplitud de desplazamiento constante de 2 mm para el LED y frecuencias de 1,0 Hz 0,2 Hz con pasos de 0,1 Hz. El propósito de las pruebas de frecuencia es determinar el efecto de la frecuencia de excitación en el comportamiento del LED. Cada conjunto de pruebas consiste en 5 ciclos. La diferencia entre las relaciones fue el resultado de la formación del primer ciclo. Las relaciones de fuerza-desplazamiento son casi las mismas para todos los niveles de frecuencia después de primer ciclo.

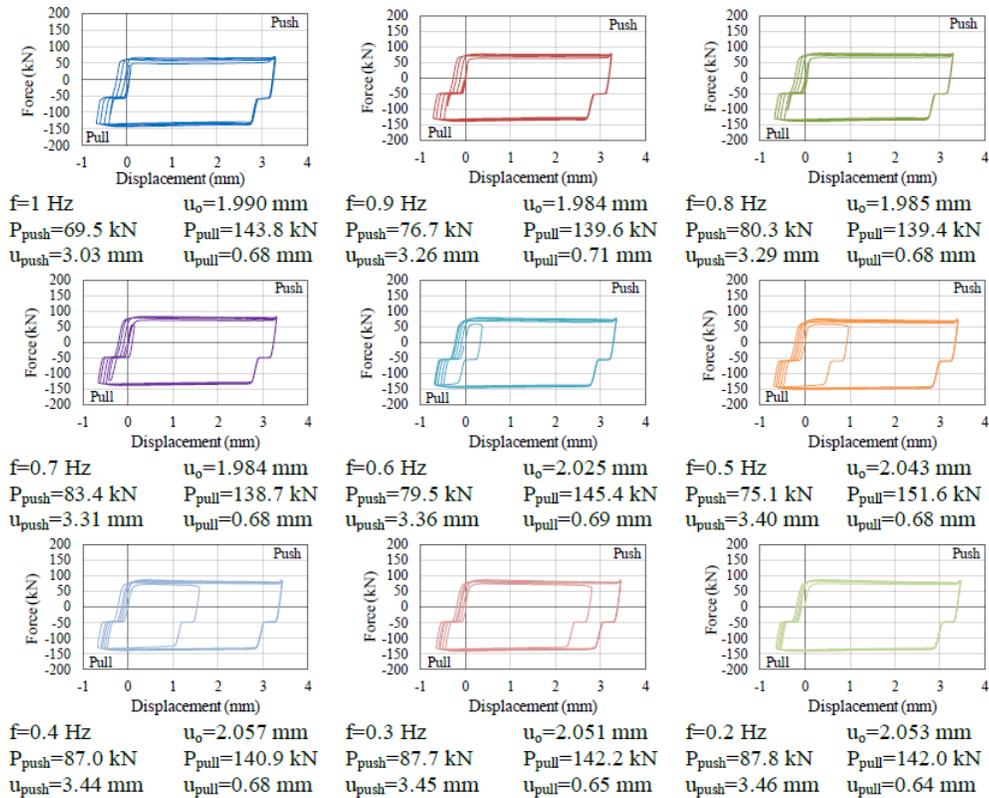


Figura 13. Relaciones fuerza-desplazamiento ($u_o \approx 2$ mm) Relaciones de fuerza-desplazamiento ($f = 0,01667$ Hz). Fuente: C.Soydan, A.Gullu, O.E.Hepbostanci, E.Yuksel y E.Irtem, „Desing if a Special Lead Extrusion Damper” (2012)

IV.3.2.2 Disipación de energía

Después de obtener los ciclos de histéresis a partir de los estudios hechos con frecuencia constante y amplitud alterada y de aquellos de amplitud constante frecuencia alterada, la energía disipada ha sido determinada por el cálculo del área encerrada por el bucle de histéresis para cada ciclo.

IV.3.2.2.1. Frecuencia constante y amplitud alterada

La energía disipada que ha sido determinada a partir de las alteraciones de amplitud del desplazamiento se muestra en la Tabla 2.1. A medida que la amplitud de desplazamiento aumenta la energía disipada se incrementa a frecuencia constante.

Tabla 2. Energía disipada ($f = 0,01667$ Hz)

u_o (mm)	Cycle	Min. (kNmm)	Max. (kNmm)	Total (kNmm)	Average (kNmm)
2.75	30	499	554	15439	515
3.58	30	324	882	21454	715
4.00	30	1076	1748	50222	1674
4.47	30	1918	2367	65924	2198

Fuente: C.Soydan, A.Gullu, O.E.Hepbostanci, E.Yuksel y E.Irtem."Desing if a Special Lead Extrusion Damper" (2012).

IV.3.2.2.2. Amplitud constante y frecuencia alterada

El primer ciclo no ha sido considerado en la determinación de la energía disipada debido a que la diferencia entre las relaciones de fuerza-desplazamiento fue resultado de la formación del primer ciclo. La energía disipada aumentó mínimo 1% y 8% máximo con respecto a la energía disipada en el segundo ciclo para diferentes niveles de frecuencia (Tabla 4.2, Fig. 4.1.b). La energía disipada permaneció constante en la medida que la frecuencia disminuyó.

Tabla 3. Energía disipada ($u_o \approx 2$ mm)

f (Hz)	Cycle	Min. (kNmm)	Max. (kNmm)	Total (kNmm)	Average (kNmm)
1.0	4	619	659	2602	651
0.9	4	645	684	2695	674
0.8	4	661	701	2760	690
0.7	4	677	718	2822	706
0.6	4	718	734	2915	729
0.5	4	732	745	2963	741
0.4	4	744	751	2992	748
0.3	4	750	757	3016	754
0.2	4	765	769	3069	767

Fuente: C.Soydan, A.Gullu, O.E.Hepbostanci, E.Yuksel y E.Irtem."Desing if a Special Lead Extrusion Damper" (2012).

IV.3.2.3 Determinación de las propiedades mecánicas

El método analítico utilizado por Constantinou y Symans (1992) y Seleemah y Constantinou (1997) fue el que se adoptó para la determinación de las propiedades mecánicas del LED. Las cuales son: La rigidez de almacenamiento, la rigidez de pérdida y coeficiente de amortiguamiento.

Ecuaciones generales:

El movimiento del amortiguador está dado por

$$u = u_o \sin(\omega t) \quad (4-6)$$

Donde u_o es la amplitud del desplazamiento, ω es la frecuencia de movimiento y t es el tiempo. Para condiciones de estado estacionario la fuerza necesaria para mantener este movimiento es

$$P = P_o \sin(\omega t + \delta) \quad (4-7)$$

Donde P_o es la amplitud de la fuerza y δ es el ángulo de fase. El área dentro de las relaciones fuerza-desplazamiento registrada son medidas para determinar la energía disipada en un solo ciclo de movimiento

$$W_d = \int P du \quad (4-8)$$

Una elipse equivalente que tiene la misma disipación de energía se puede definir como

$$W_d = \pi P_o u_o \sin(\delta) \quad (4-9)$$

Reescribiendo la ecuación 4-7,

$$P = P_o \sin(\omega t) \cos(\delta) + P_o \cos(\omega t) \sin(\delta) \quad (4-10)$$

E introduciendo las cantidades

$$K_1 = (P_o/u_o)\cos(\delta)$$

$$K_2 = (P_o/u_o)\sin(\delta) \quad (4-11) \text{ y } (4-12)$$

Donde K1 es la rigidez de almacenamiento y K2 es la rigidez de pérdida, se obtiene

$$P = K_1 u_o \sin(\omega t) + K_2 u_o \cos(\omega t) \quad (4-13)$$

Ecuación 4-13 también se puede escribir de la forma

$$P = K_1 u + (K_2/\omega)\dot{u} \quad (4-14)$$

Donde está claro que el primer término representa la fuerza de recuperación debido a la rigidez del amortiguador que está en fase con el desplazamiento. El segundo término representa la fuerza debida a la rigidez del amortiguador que se encuentra en fase con la velocidad. Por lo tanto, el coeficiente C de amortiguamiento del disipador está dado por:

$$C = K_2/\omega \quad (4-15)$$

Nota: Cabe destacar que en este trabajo a lo que llaman coeficiente de amortiguamiento nosotros lo llamamos como amortiguamiento efectivo.

Las ecuaciones 4-9, 4-11 y 4-12 pueden combinarse para dar

$$\delta = \sin^{-1} \left(\frac{K_2 u_o}{P_o} \right) \quad (4-16)$$

$$K_2 = \frac{W_d}{\pi u_o^2} \quad (4-17)$$

Finalmente el coeficiente de amortiguamiento (amortiguamiento efectivo) se traduce como:

$$C = \frac{W_d}{\omega \pi u_0^2} \quad (4-18)$$

En las pruebas de vibraciones libres o pruebas efectuadas con la carga estática y dinámica, es posible determinar la amortiguación con las relaciones de energía. Un bucle de fuerza-deformación que se obtiene de un ciclo de excitación con amplitud de desplazamiento u_0 se muestra en la Fig. 14.

La energía disipada es dada por el área ED encerrada por el bucle de histéresis y E_{SO} es la energía máxima de deformación. El coeficiente de amortiguamiento equivalente que se expresa con la ecuación 4-19, se puede obtener igualando la energía máxima disipada por la estructura real con la energía disipada por amortiguamiento viscoso (Chopra, 2014). La energía disipada y la energía máxima de deformación se han determinado para cada ciclo con el fin de examinar los resultados experimentales por medio de coeficiente de amortiguamiento equivalente.

$$\xi_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{SO}} \quad (4-19)$$

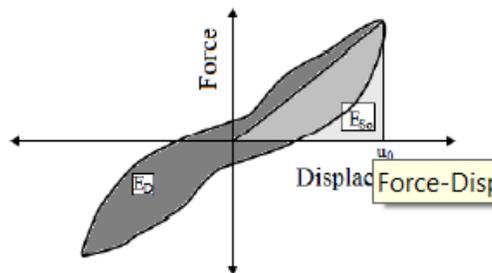


Figura 14. Método de la Tasa de Energía (Chopra, 2001). Fuente: C.Soydan, A.Gullu, O.E.Hepbostanci, E.Yuksel y E.Irtem, "Desing if a Special Lead Extrusion Damper" (2012).

IV.3.2.3.1. Frecuencia constante y amplitud alterada

Las propiedades mecánicas y el coeficiente de amortiguamiento equivalente del LED permanecen casi constantes para la frecuencia de 0,01667 Hz después de los primeros ciclos (Fig. 15).

La rigidez de almacenamiento varió entre 32 kN / mm y 46 kN / mm en general. La rigidez pérdida varía entre 8 kN / mm y 37 kN / mm en general. El coeficiente de amortiguamiento varía entre 75 kNs / mm y 350 kNs / mm en general. El coeficiente de amortiguamiento equivalente varía entre 0,08 y 0,37 en general.

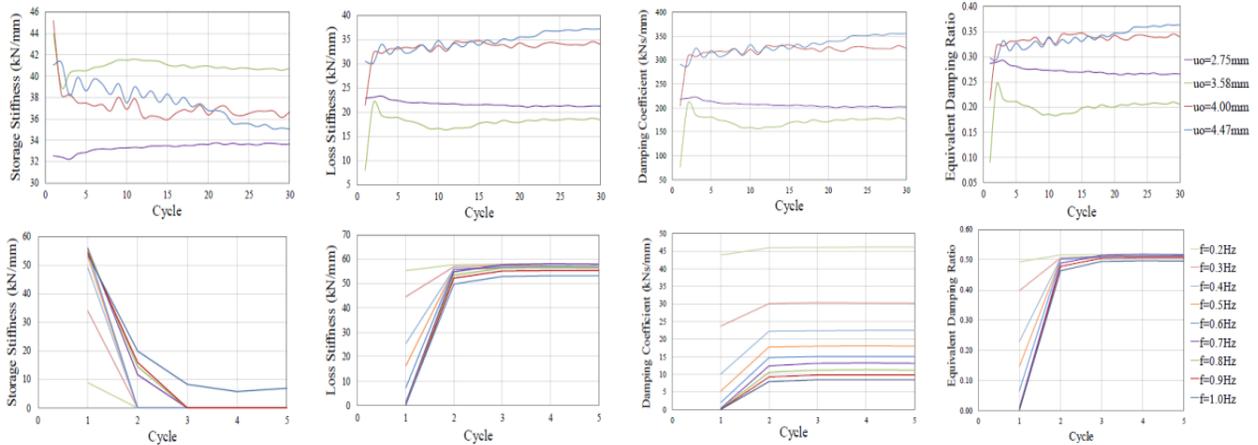


Figura 15. Propiedades mecánicas del LED. Fuente: C.Soydan, A.Gullu, O.E.Hepbostancı, E.Yuksel y E.Irtem, "Desing if a Special Lead Extrusion Damper" (2012).

IV.3.2.3.2. Amplitud constante y frecuencia alterada

Las propiedades mecánicas y el coeficiente de amortiguamiento equivalente se determinaron para las frecuencias de 1.0 Hz-0,2 Hz con pasos de 0,1 Hz (Fig. 5.2).

La rigidez de almacenamiento es de aproximadamente 50 kN / mm entre 0,4 Hz y 1 Hz en el primer ciclo. Para 0,3 Hz y 0,2 Hz es 34 kN / mm y 9 kN / mm, respectivamente, en el primer ciclo. En la medida que la frecuencia disminuye la rigidez de almacenamiento se reduce a aproximadamente 7 kN / mm en el final del quinto ciclo de 1 Hz. Para las otras frecuencias la rigidez de almacenamiento se desvanece.

La rigidez pérdida tiene diferentes valores entre 0,2 Hz y 1 Hz para el primer ciclo. En la medida en que la frecuencia disminuye la rigidez de pérdida aumenta. Después del segundo ciclo la rigidez de pérdida sigue siendo casi la misma y el valor medio se determina como 56 kN / mm.

El coeficiente de amortiguamiento es casi cero entre 1,0 Hz-0,7 Hz para el primer ciclo. Después del primer ciclo el coeficiente de amortiguación se vuelve constante y aumenta a medida que disminuye la frecuencia. Los coeficientes de amortiguación son 8,5 kNs / mm y 46 kNs / mm para 1 Hz y 0,2 Hz respectivamente.

El coeficiente de amortiguamiento equivalente es casi cero entre 1,0 Hz-0,7 Hz para el primer ciclo. Para el 0,6, 0,5, 0,4, 0,3 y 0,2 Hz el coeficiente de amortiguamiento equivalente es 0,07, 0,15, 0,23, 0,40 y 0,49 respectivamente. Después del primer ciclo el coeficiente de amortiguamiento equivalente se hace constante en aproximadamente 0,50 para cada nivel frecuencia nivel (Fig. 15)

IV.3.2.4 Conclusiones

Luego de los ensayos, los autores presentaron las siguientes conclusiones:

Las principales características del LED han sido determinadas por la realización de la frecuencia alterada amplitud constante y la frecuencia de amplitud constante realizando pruebas.

Las características de rigidez de almacenamiento, rigidez de pérdida y coeficientes de amortiguación están determinadas basándose en las ecuaciones descritas en el apartado

IV.3.2.3. Existe una tendencia al incremento de la rigidez de pérdida y coeficientes de amortiguamiento entre el primer y segundo ciclo. Estas características no se ven afectadas con el aumento del número de ciclos.

En las pruebas estáticas en que se utilizó una frecuencia de carga de 0,01667 Hz, la energía disipada aumenta con el incremento de la intensidad de los desplazamientos. El coeficiente de amortiguamiento equivalente varía entre 20-35% dependiendo de la intensidad del desplazamiento LED.

En las pruebas dinámicas realizadas por 2,00 mm de desplazamiento, la energía disipada es menos afectada con el nivel de frecuencia. El coeficiente de amortiguamiento equivalente alcanza aproximadamente el 50% para diversos niveles de frecuencia.

Se puede concluir que el coeficiente de amortiguamiento equivalente obtenido a partir del LED es sensible a intensidad de desplazamiento y libre de la frecuencia de carga en el intervalo de 0,2 Hz y 1,0 Hz.

IV.3.1 Efectos de la velocidad en el comportamiento de disipadores de plomo (HF2V) utilizando diversas configuraciones de ejes.

Autores: J. Chanchí, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton, varios países. (2011)

IV.3.1.1 Descripción del dispositivo HF2V

Los dispositivos High Force to Volume (HF2V) comprenden un cilindro, dos tapas en los extremos y un eje que posee un hundimiento (figura 16 b) o una protuberancia (figura 16 c). El plomo se funde en el espacio entre el cilindro y el eje, y es confinado por medio de las fuerzas de pre-tensión de aproximadamente 100-150KN aplicada sobre las tapas en los extremos, el mecanismo de disipación de energía se basa en la extrusión del plomo a través del espacio entre el hundimiento o abultamiento del eje y el cilindro, cuando el eje se mueve relativamente al cilindro. La figura 16 muestra los componentes, montaje y la forma del ciclo de histéresis de un dispositivo HF2V con eje de hundimiento o abultado.

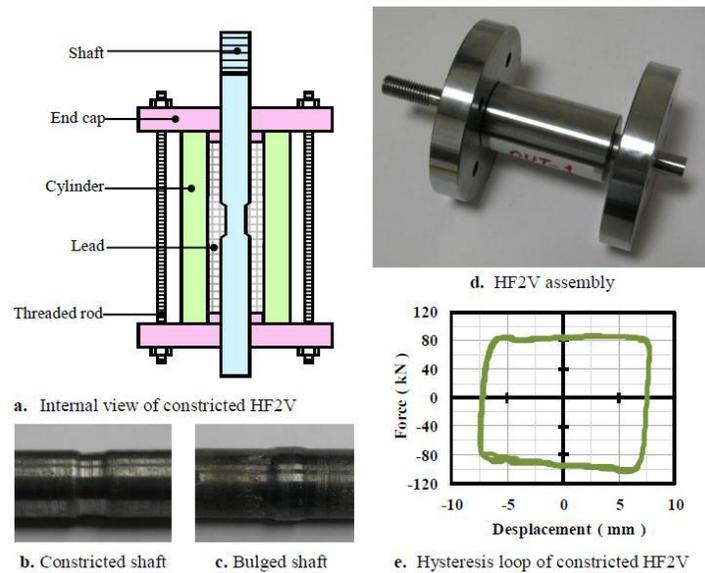


Fig. 16. Dispositivo HF2V

Fuente: C. Golondrino, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton. Velocity Effects on the Behaviour of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configurations (2011)

Los dispositivos HF2V se caracterizan por tamaños pequeños, de bajo mantenimiento, de comportamientos repetitivos, y un mínimo de daños (según Rodgers, 2007). Ellos pueden ser considerados como una alternativa para proporcionar amortiguación suplementaria a los sistemas aporticados de acero sometidos a cargas sísmicas.

Se consideraron dos tipos de dispositivos HF2V, uno de configuración de eje con hundimiento y otro de eje con protuberancia. Las propiedades geométricas de los dispositivos se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Propiedades geométricas del H2FV

Configuration	Shaft diameter (mm)	Bulge diameter (mm)	Stroke (mm)	Pre-stress (kN)
Constricted	16.0	15.0	10.0	150
Bulged	16.0	17.0	10.0	150

Fuente: C. Golondrino, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton. Velocity Effects on the Behaviour of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configurations (2011).

Ver la figura. 17 que presenta la configuración de prueba y el régimen de desplazamiento típico que se aplica en cada nivel de velocidad.

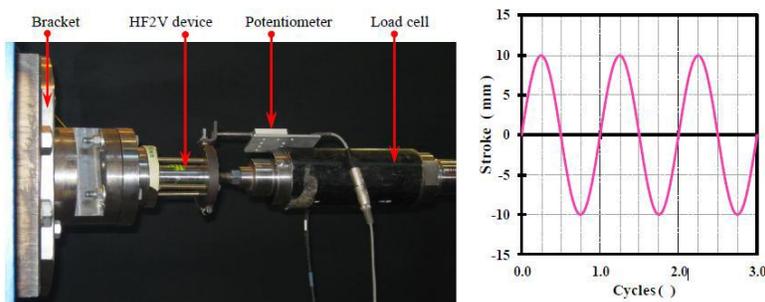


Fig. 17. Configuración de prueba y régimen de desplazamiento típico.

Fuente: C. Golondrino, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton. Velocity Effects on the Behaviour of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configurations (2011)

La forma de los ciclos de histéresis de los dispositivos de hundimientos y protuberancias se descubrió que eran cuadrados. Las figuras 18 y 19 muestran las formas de los bucles de histéresis de ambos tipos de dispositivos HF2V probados en niveles de velocidades altos y bajos.

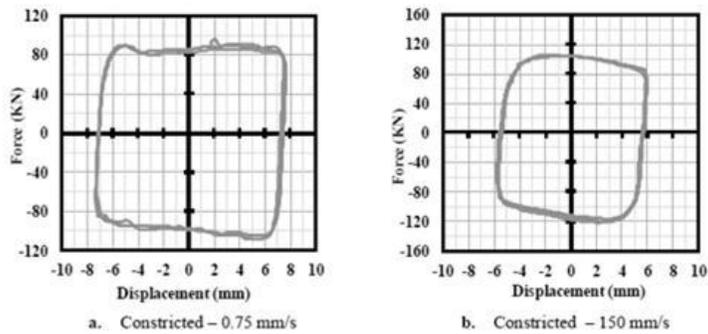


Fig. 18. Curvas de histéresis para dispositivos con hundimiento. Fuente: C. Golondrino, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton. Velocity Effects on the Behaviour of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configurations (2011)

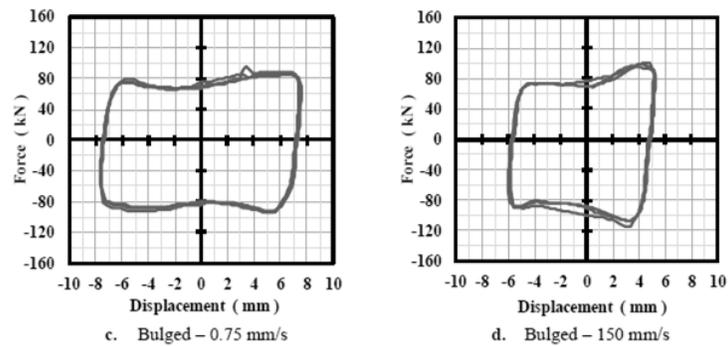


Fig. 19. Curvas de histéresis para dispositivos con protuberancias. Fuente: C. Golondrino, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton. Velocity Effects on the Behaviour of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configurations (2011)

IV.3.1.2 Efectos de la velocidad en la fuerza de resistencia

Se descubrió que a través de los rangos de velocidades en la prueba, los dispositivos con hundimientos desarrollan fuerzas resistivas ligeramente superiores a las desarrolladas por los dispositivos abombados o abultados; Esta dependencia de la velocidad fue más acentuada para el dispositivo con hundimiento en lugar de los dispositivos abombados, encontrándose con diferencias promedio entre 4-11% de las fuerzas de resistencia máxima. La figura 20 muestra la variación de las fuerzas resistivas para dispositivos probados en el rango 0,15 a 190 mm/s.

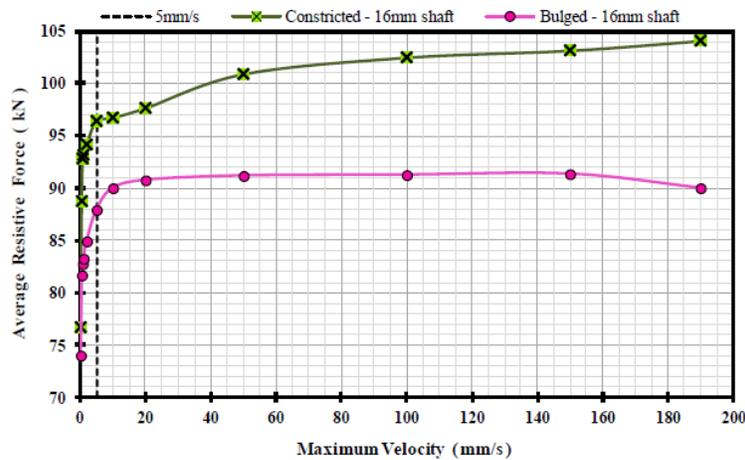


Fig. 20. Curva de fuerza vs velocidad en los dispositivos con hundimientos y de protuberancia. Fuente: C. Golondrino, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton. Velocity Effects on the Behaviour of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configurations (2011)

IV.3.1.3 Modelo de velocidad

La dependencia de la velocidad de los dispositivos HF2V fue modelada utilizando el enfoque sugerido por Pekcan (1995) y Rodgers (2007). En este enfoque la fuerza de resistencia (F) se predice en términos de una constante (C) asociada a las propiedades geométricas del dispositivo, y un exponente de velocidad (α) que representa la dependencia de la velocidad del dispositivo (4-3)

$$F = C \times V^\alpha \quad (4-3)$$

Las figuras 21 y 22 muestran a los modelos dependientes de la velocidad para configuraciones de eje con hundimiento y abombado.

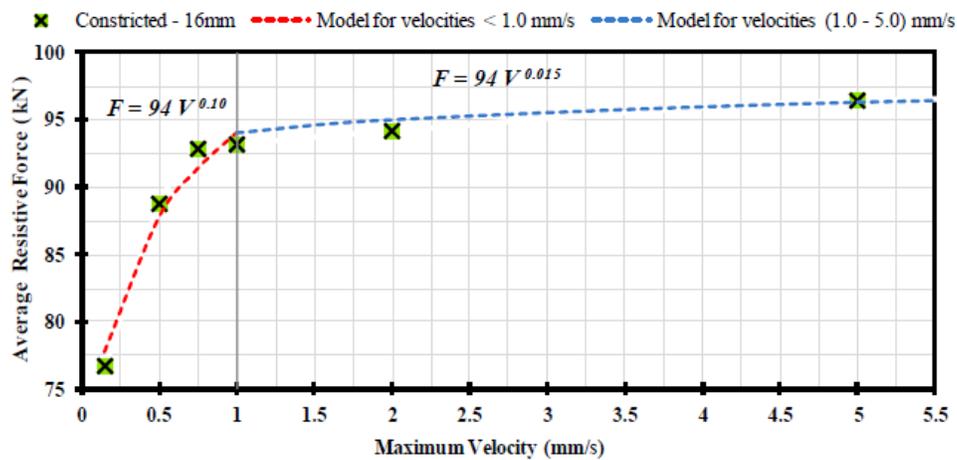
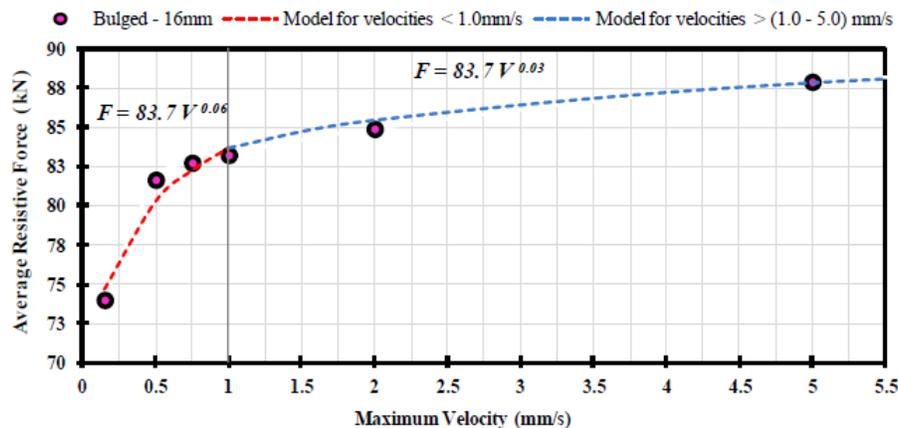


Fig. 21. Curva dependiente de la velocidad para dispositivos con hundimientos. Fuente: C. Golondrino, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton. Velocity Effects on the Behaviour of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configurations (2011)



b. HF2V device with 16 mm bulged shaft

Fig. 22. Curva dependiente de la velocidad para dispositivos con protuberancias. Fuente: C. Golondrino, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton. Velocity Effects on the Behaviour of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configurations (2011)

Los dispositivos HF2V exhibieron un comportamiento de histéresis estable y repetitiva. Sólo hay cambios de menor importancia en la forma del ciclo de histéresis para la configuración de eje con hundimiento, los cuales se observaron en los altos niveles de velocidad. Para ejes abultados o abombados, la forma del ciclo de histéresis cambió de casi

cuadrado en velocidades bajas a cuadrado en altas velocidades con incrementos de las fuerzas.

Las fuerzas resistivas desarrolladas por dispositivos HF2V son dependientes de la velocidad para valores por debajo de 5,0 mm/s. Las fuerzas resistivas desarrolladas por configuraciones de eje con hundimiento y con abultamientos de propiedades geométricas similares generalmente difieren en menos de 11 % para los dispositivos ensayados con velocidades en el intervalo de 0,15 a 190 mm/s.

La dependencia de la velocidad de los dispositivos de HF2V puede ser modelado utilizando un modelo bilineal exponencial con exponentes de velocidad que varían en el intervalo de 0,015 a 0,10.

CAPÍTULO V

DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS A ENSAYAR

En el siguiente capítulo, se realizó el dimensionado estructural de 3 modelos prácticos, ubicados en distintas zonas del país los cuales son:

- Modelo 1: Edificación de concreto armado de 2 pisos ubicada en el municipio Sucre del estado Miranda.
- Modelo 2: Edificación de 9 pisos de concreto armado ubicada en el municipio Diego Bautista Urbaneja (lecherías) del estado Anzoátegui
- Modelo 3: Edificación de acero de 4 pisos ubicada en el municipio Carrizal del estado Miranda.

Estos modelos estructurales deben cumplir con los parámetros de diseño que estipula la norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes” y que será debidamente ampliado a continuación

V.1. Espectro de diseño.

Para crear el espectro de diseño se deben conocer diversos factores, los cuales se obtienen principalmente de la norma venezolana COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes”

V.1.1. Zonificación sísmica

Según el capítulo 4 de la norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes”, para hacer la zonificación sísmica, el país ha sido dividido en 8 zonas donde cada zona representa un valor de riesgo sísmico. Estos valores van del 0 al 7, siendo 0 un riesgo sísmico mínimo y el 7 siendo el valor más elevado de riesgo.

Los modelos estructurales de estudio están ubicados en:

- Modelo 1: municipio Sucre del estado Miranda.
- Modelo 2 el municipio Diego Bautista Urbaneja (lecherías) del estado Anzoátegui
- Modelo 3: carrizal del estado Miranda.

Por lo que según la tabla 4.2 "*Zonificación Sísmica de Venezuela*", el modelo 1 y 3 corresponden a una zona 5 de riesgo sísmico, y el modelo 2 a una zona 6 de riesgo sísmico.

Según la tabla 4.1 de la norma 1756-2001 una zona 5 representa un valor de riesgo sísmico elevado y un coeficiente de aceleración horizontal $A_0=0.30$, y la zona 6 representa un valor de riesgo sísmico elevado y un coeficiente de aceleración horizontal $A_0=0.35$

V.1.2. Formas espectrales de los terrenos de fundación

En el capítulo 5 de la norma 1756-2001 "Edificaciones Sismorresistentes" se consideran 4 formas espectrales tipificadas S1, S2, S3 y S4 y un factor de corrección para el coeficiente de aceleración horizontal (ϕ).

Para los modelos 1 ,2 y 3 se ha decidido utilizar una forma espectral S2 debido a las condiciones del suelo en donde se encuentran, y utilizando la tabla 5.1 de la norma 1756-2001 obtenemos un factor $\phi=0.9$,

V.1.3. Clasificación de edificaciones según el uso, nivel de diseño, tipo y regularidad estructural

Según su uso los modelos estructurales 1 y 2 se clasifican como estructuras tipo B2 y según la tabla 6.1 de la norma 1756-2001 tiene un factor de importancia $\alpha=1.00$ y según la tabla 6.2 de la norma 1756-2001 requiere de un nivel de diseño ND3, y se clasifica como una estructura tipo I ya que son estructuras aporticadas.

Luego el modelo 3 según su uso se clasifica como una estructura del tipo B1 y según la tabla 6.1 de la norma 1756-2001 tiene un factor de importancia $\alpha=1.15$ y según la tabla 6.2 de la norma 1756-2001 requiere de un nivel de diseño ND3, y se clasifica como una estructura tipo I ya que es una estructura aporticada.

Con estos datos podemos ir a la tabla 6.4 de la norma 1756-2001 para estructuras de concreto armado y hallar el factor de reducción de respuesta para los modelos 1 y 2, el cual será igual a 6 (R=6).

Con estos datos podemos ir a la tabla 6.4 de la norma 1756-2001 para estructuras de acero y hallar el factor de reducción de respuesta para los modelos 3, el cual será igual a 6 (R=6).

V.1.4. Espectro de diseño

El capítulo 7 de la norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones sismorresistentes” en el artículo 7.2 “Espectros de Diseño” explica que las ordenadas A_d de los espectros de diseño quedan definidas en función de su período T , de la siguiente forma:

$$T < T^+ \quad A_d = \frac{\alpha\varphi A_0 \left[1 + \frac{T}{T^+}(\beta - 1)\right]}{1 + \left(\frac{T}{T^+}\right)^c (R - 1)} \quad (5-1)$$

$$T^+ \leq T \leq T^* \quad A_d = \frac{\alpha\varphi A_0}{R} \quad (5-2)$$

$$T > T^* \quad A_d = \frac{\alpha\varphi\beta A_0}{R} \left(\frac{T^*}{T}\right)^P \quad (5-3)$$

A_d : Ordenada del espectro de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de gravedad

α : Factor de importancia

Ao: Coeficiente de aceleración horizontal

ϕ : Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal

β : Factor de magnificación promedio

To: $0.25T^*$ Periodo a partir del cual los espectros normalizados tienen un valor constante (seg)

T*: Máximo período en el intervalo donde los espectros normalizados tienen un valor constante

$T+ \geq T_o$: Período característico de variación de respuesta dúctil (seg)

$$C: \sqrt[4]{R/\beta}$$

R: Factor de reducción de respuesta

p: Exponente que define la rama descendiente del espectro

De acuerdo con la tabla 7.1 de la norma 1756-2001 “Valores de T*, β y p”, para la forma espectral S2, dichos valores son: $T^*=0.7$ seg; $\beta=2.6$; $p=1.0$.

Con los parámetros seleccionados anteriormente y basándonos en las ecuaciones 1, 2 y 3 se construye el espectro de diseño con la ayuda del programa “SCE Spectrum free 2.0” tal como se muestra en la siguiente figura donde se muestran los datos del espectro del modelo 1:

VALORES PARA EL ESPECTRO NORMATIVO DE DISEÑO 1756-2001

Resumen de Datos

Zona sísmica : 5

Forma Espectral (Tipo de Suelo) : S2

Clasificación según el uso : B2

Nivel de Diseño a utilizar : 3

Tipo de Estructura : 1

Tipo de Material : Concreto Armado

Valores Normativos

Alfa : 1 T+ : 0,4

Fi : 0,9 T* : 0,7

Ao : 0,3 To : 0,175

Beta : 2,6 R : 6

Desea modificar R?
 Si
 No

Salidas

Generar Espectro en archivo...
 Generar Reporte en Excel

Aceptar



Figura 23. Parámetros para el espectro de diseño del modelo 1. Fuente: Elaboración propia

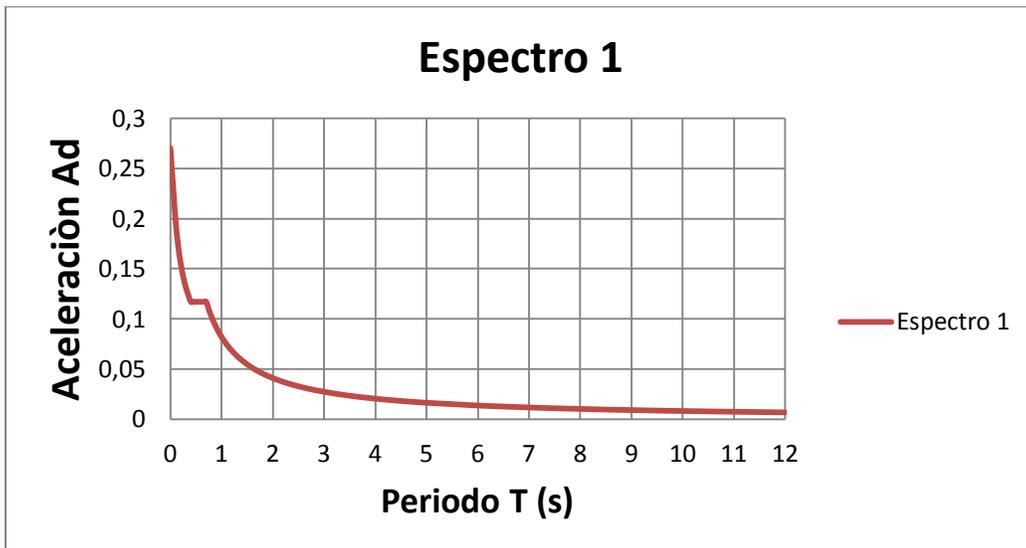


Figura 24. Espectro de diseño del modelo 1. Fuente: Elaboración propia

V.2. Combinaciones de carga

Para hallar las solicitaciones de los elementos y así poder conocer la demanda de la estructura, se aplicaron las combinaciones de carga que exige la norma COVENIN 1753:2006 “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural”, en su capítulo 9, según el cual “las estructuras, sus miembros y uniones se diseñaran para tener en todas las secciones una resistencia de diseño mayor o igual a las solicitaciones calculadas para las combinaciones que se estipulan en esta norma”.

El artículo 9.3 indica que las solicitaciones U se determinan con base a hipótesis de solicitaciones que produzcan los efectos más desfavorables, este puede ocurrir cuando 1 o más solicitaciones actúan simultáneamente. En la tabla 9.3 se presentan las combinaciones de solicitaciones para el estado límite de agotamiento resistente, de la cual tomaremos las ecuaciones:

$$U = 1,4CP \quad (5-4)$$

$$U = 1,2CP + 1,6CV + 0,5CVt \quad (5-5)$$

$$U = 1,2CP + \gamma CV \pm S \quad (5-6)$$

$$U = 0,9CP \pm S \quad (5-7)$$

El factor de combinación de solicitaciones debida a la acción variable en la combinación (5-6) será 1.

En las combinaciones (5-6) y (5-7), las solicitaciones sísmicas, S , se obtendrán según la norma COVENIN 1756-2001, según su artículo 8.6 permite calcular la acción sísmica, S , de manera simplificada como la suma de las solicitaciones debidas a las componentes sísmicas horizontales actuando simultáneamente e incluidos los efectos torsionales y las solicitaciones alternantes de la componente sísmica vertical, quedando el valor de S como se ve a continuación:

$$S = S_H \pm (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (5-8)$$

El artículo 8.6 de la norma venezolana 1756 ofrece tres criterios para combinar las sollicitaciones debidas al sismo en las direcciones horizontales ortogonales. El criterio a utilizar para el caso de estudio será el de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las sollicitaciones correspondientes a cada dirección de análisis (SX, SY). Entonces el valor de la componente horizontal del sismo (SH) quedaría como:

$$S_H = \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} \quad (5-9)$$

Tomando en cuenta lo antes expuesto, las combinaciones de carga utilizadas para hallar la demanda a la que serán sometidas las estructuras, pueden ser expresadas de la siguiente manera:

$$U = 1,4CP \quad (5-10)$$

$$U = 1,2CP + 1,6CV + 0,5CVt \quad (5-11)$$

$$U = 1,2CP + CV + \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} + (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (5-12)$$

$$U = 1,2CP + CV + \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} - (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (5-13)$$

$$U = 1,2CP + CV - \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} + (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (5-14)$$

$$U = 1,2CP + CV - \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} - (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (5-15)$$

$$U = 0,9CP + \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} + (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (5-16)$$

$$U = 0,9CP + \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} - (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (5-17)$$

$$U = 0,9CP - \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} + (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (5-18)$$

$$U = 0,9CP - \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} - (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (5-19)$$

IV.2.1. Valores de cargas:

CV (Carga viva)

CP (Carga permanente)

SCP (Sobrecarga permanente)

SX (Carga de sismo en X)

SY (Carga de sismo en Y)

CVT (Carga viva en techo)

V.3. Información necesaria para el análisis estructural de la edificación de estudio.

V.3.1. Descripción de la edificación.

Modelo 1

La estructura analizada, es un edificio de tres pisos de concreto armado, con 4 pórticos en la dirección “X” (A, B, C, D) y 5 pórticos en la dirección “Y” (1, 2, 3, 4,5).

Posee una losa nervada de 25 cm y tanto las vigas de carga como las vigas sísmicas poseen una dimensión de 40x60 cm y las columnas poseen una dimensión de 40x40 cm a excepción de las columnas: B-2, B-3, B-4, C-2, C-3, C-4 que tienen una dimensión de 50x50 cm, la altura entre piso es de 2,8 m mientras que las distancias entre sus ejes varían y se pueden apreciar en la siguiente imagen:

Modelo 2

La estructura analizada, es un edificio de nueve pisos de concreto armado, con 3 pórticos en la dirección “X” (A, B, C) y 6 pórticos en la dirección “Y” (1, 2, 3, 4, 5, 6).

Posee una losa nervada de 25 cm y tanto las vigas de carga como las vigas sísmicas poseen una dimensión de 35x60 cm y las columnas poseen una dimensión de 50x70 cm a excepción de las columnas: B-2, B-3, B-4, B-5 que tienen una dimensión de 50x90 cm, la altura entre piso es de 2,7 m mientras que las distancias entre sus ejes varían y se pueden apreciar en la siguiente imagen:

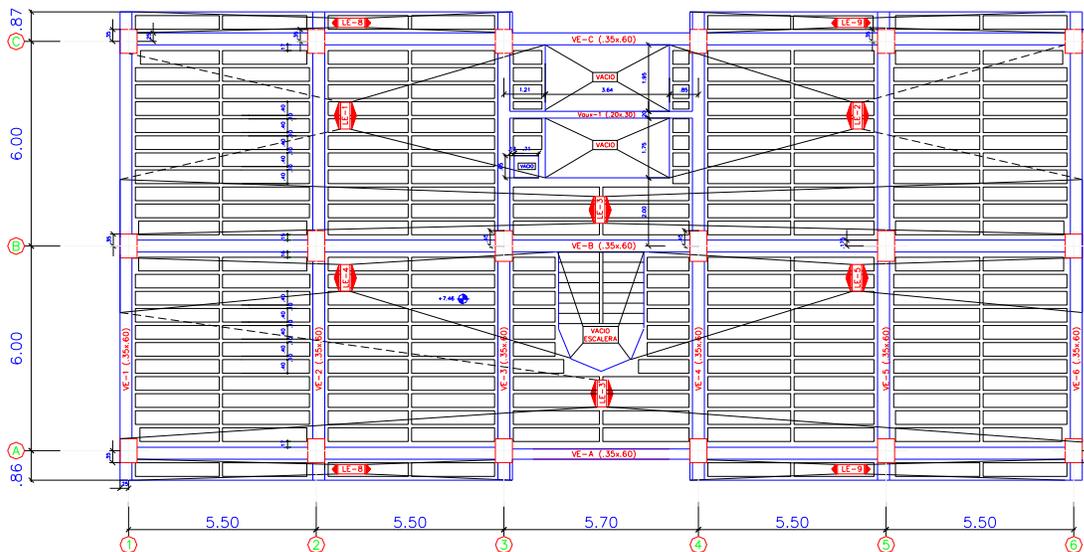


Figura 26. Planta tipo del modelo 2. Fuente: elaboración propia

Las cargas utilizadas en este modelo fueron:

Cargas consideradas

Peso propio losa nervada $e=25$ cm	320 kg/m ²
Acabado superior	100 kg/m ²

Acabado inferior	30 kg/m ²
Tabiquería	200 kg/m ²
Carga viva	400 kg/m ²
Carga viva de techo	150 kg/m ²

Modelo 3

La estructura analizada, es un edificio de cuatro pisos de acero, con 6 pórticos en la dirección “X” (A, B, C, D, E, F) y 6 pórticos en la dirección “Y” (1, 2, 3, 4, 5, 6).

Posee una losacero de 10 cm apoyada en correas IPE 300, para las vigas de carga se seleccionaron perfiles IPE 400 y para las vigas sísmicas perfiles IPE 330. Para todas las columnas se utilizaron perfiles HEA 400. La altura entre piso es de 4,50 m, la distancia entre ejes en la dirección X es de 6.00 m y la distancia entre ejes en la dirección “Y” es de 7.20 m.

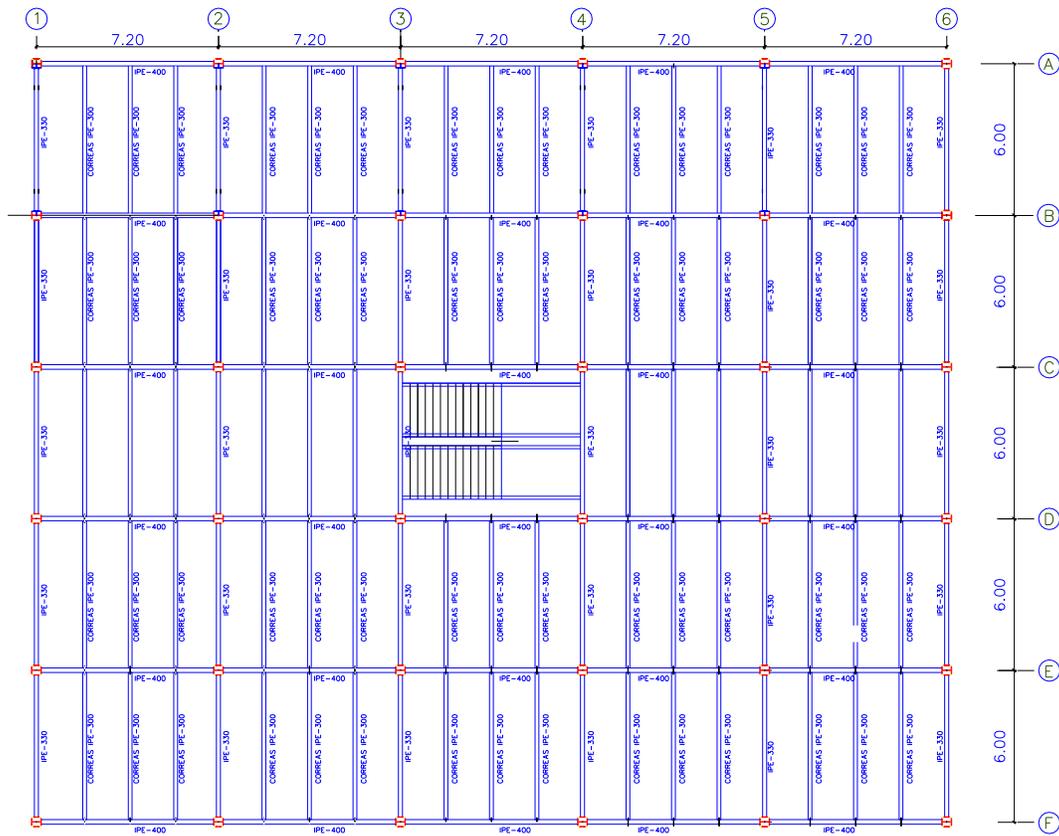


Figura 27. Planta tipo del modelo 3. Fuente: elaboración propia

Las cargas utilizadas en este modelo fueron:

Cargas consideradas:

Peso propio losacero e=10 cm	180 kg/m ²
Acabado superior	120 kg/m ²
Tabiquería	100 kg/m ²
Carga viva	300 kg/m ²

CAPITULO VI

MODELACIÓN DEL DISIPADOR DE ENERGÍA DE EXTRUSION DE PLOMO EN SAP2000

VI.1 Generalidades:

El programa SAP2000 es uno de los programas líder en la ingeniería estructural. Se pueden analizar cualquier tipo de estructuras con este programa, e incluso diseñar elemento por elemento de manera precisa con los reglamentos más conocidos en el mundo

Mediante SAP2000 es posible modelar complejas geometrías, definir diversos estados de carga, generar pesos propios automáticamente, asignar secciones, materiales, así como realizar cálculos estructurales de hormigón y acero basados, en diferentes normativas vigentes.

Además las últimas versiones de SAP2000 traen incorporado los elementos link, con los cuales es posible modelar los dispositivos de control Pasivo de estructuras, tanto del tipo de aislamiento basal (friccional, péndulo, núcleo de plomo, etc.) y disipadores de energía (Friccional, Plastificación Viscoelásticos, Viscosos, Histeréticos).

V.1.1 Elementos link

Se decidió la utilización de SAP2000 versión 16.0.0, para la modelación de los dispositivos por las ventajas y funciones de análisis que posee, en él se puede modelar y analizar estructura tridimensional sin problemas, además de contar con las opciones de aplicar variados tipos de análisis (estático, modal, tiempo historia, etc.).

La principal razón de utilizar el SAP2000 como herramienta de análisis de la respuesta dinámica de estructuras, es que tiene la posibilidad de incluir en el modelo los Dispositivos de disipación de Energía de extrusión de plomo de muy buena forma, siendo la entrada de datos de los parámetros de los dispositivos muy amigable.

Para poder definir e incluir Dispositivos de Protección Pasiva en el sistema a estudiar, se debe realizar por medio de los elementos Link que posee SAP2000. Estos son:

- Linear
- MultiLinear Elastic
- MultiLinear Plastic
- Damper
- Gap
- Hook
- Plastic (Wen)
- Rubber Islotar
- Friction Islotar

El dispositivo será modelado con la función Damper, se modela como un elemento no lineal, los parámetros a utilizar para su modelaje son:

- Coeficiente de amortiguamiento
- Rigidez
- Exponente de la velocidad

VI.2 Coeficiente de amortiguamiento

Debido a que el coeficiente de amortiguamiento en este tipo de dispositivos se calcula mediante ensayos físicos y la información acerca de ellos es muy reducida, se realizó un proceso de iteración que considera: las dimensiones y capacidades del disipador, el pandeo del brazo mecánico y las reducciones en los parámetros de control de la respuesta estructural (desplazamientos, derivas, velocidades y fuerzas). Los coeficientes adoptados deben reducir significativamente los parámetros de respuesta estructural sin generar pandeo en un brazo mecánico de dimensiones razonables y con un dispositivo con dimensiones que se adapten las fuerzas reportadas por el programa Sap2000. Para el modelo 1 y para el

modelo 3 se obtuvo un coeficiente de amortiguamiento de 120 Kn seg/mm o 16506 Kgf seg/cm, para el modelo 2 por tratarse de un edificio más alto se obtuvo un coeficiente de amortiguamiento de 480 Kn seg/mm o 66027 Kgf seg/cm. Estos coeficientes entran dentro de los rangos de valores utilizados en la literatura para coeficientes de amortiguamiento para disipadores de energía.

VI.3 Rigidez

La rigidez axial del sistema viene gobernada por la rigidez del elemento que contiene el disipador, llamado brazo metálico. La rigidez de este brazo es mucho mayor que la del dispositivo de amortiguamiento. Por esa razón, los brazos pueden ser asumidos como elementos infinitamente rígidos. El valor de la rigidez se determina con la siguiente ecuación:

$$K = EA/L \quad (6-1)$$

Dónde:

E: Coeficiente de Elasticidad del Acero.

A: Área de la sección del brazo metálico.

L: Longitud del brazo metálico.

En el proceso de diseño del brazo metálico se deben validar las siguientes expresiones:

$$\phi T_n = \phi * F_y * A > T_u \quad (6-2)$$

Dónde:

T_n: Tensión nominal.

Φ: Factor de reducción (0.9).

A: Área bruta de la sección del brazo metálico.

Tu: Tensión última obtenida a partir de las fuerzas en el disipador

$$Pn = \phi * Fcr * A > Pu \quad (6-3)$$

Dónde:

Pn: Compresión nominal.

Pu: Compresión última obtenida a partir de las fuerzas en el disipador.

Una vez validadas estas ecuaciones se procedió a calcular las rigideces y a elegir el perfil adecuado para cada uno de los brazos mecánicos utilizados para cada modelo, debido a que las distancias en la dirección X y en la dirección Y de los pórticos varían, se realizó un cálculo de rigidez para cada dirección, el cual se ve reflejado en la siguiente tabla:

Tabla 5: Rigideces de los elementos que conectan a los disipadores en los diferentes modelos.

	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
	Rigidez (kg/cm)	Perfil	Rigidez (kg/cm)	Perfil	Rigidez (kg/cm)	Perfil
Dir "X"	212.709	HEA140	554226	HEA240	164.850	HEA140
Dir "Y"	224.251	HEA140	490249	HEA240	183.166	HEA140

VI.4 Exponente de velocidad

El exponente de velocidad describe el comportamiento histerético de los disipadores; en otras palabras propone la disposición de los lazos histeréticos. Este exponente define la reacción del dispositivo ante los impactos de velocidad.

Para el caso de edificaciones se recomienda el uso de valores menos a 1, típico de un disipador no lineal. Cuando el amortiguador cumple esta condición, logra minimizar golpes de velocidades con una fuerza baja en el amortiguador.

(Cousins y Porritt 1.993) determinó que para los diseños de eje abombado o bulbo, el valor de $a = 0,13$ era constante en toda la gama de las velocidades de prueba de 1×10^{-10} m / s hasta aproximadamente 5 m / seg. Por esta razón se utilizó para esta tesis un valor de α de 0,13.

VI.2 Colocación de los dispositivos

Para cada uno de los modelos se utilizarán 8 dispositivos en cada piso de las estructuras, ubicados en las esquinas de manera simétrica tal y como se muestran en la figura 28

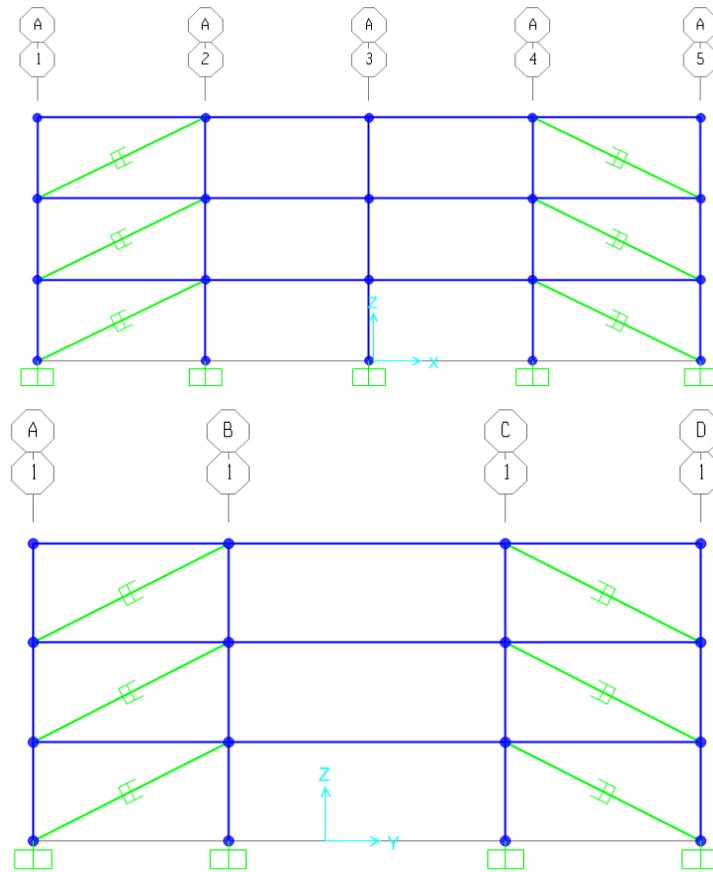


Figura 28. Pórtico A (dirección x) y Portico 1 (dirección Y) del modelo 1. Fuente: Elaboración propia

VI.3 Proceso de modelaje

Siguiendo las normativas internacionales se realizará un análisis tiempo historia no lineal de la estructura con disipadores y se deben utilizar como mínimo tres registros sísmicos para ver el comportamiento de los elementos estructurales bajo aceleraciones sísmicas en el tiempo. El análisis será un análisis tiempo historia no lineal modal, con intervalos de tiempo de 0,02 segundos. En el caso de estudio se realizarán pruebas con 3 acelerogramas, los cuales serán, el sismo de Northridge la zona en New Hall, el sismo de Northridge en la zona de Santa Mónica y el sismo de Sylmar. Al utilizar menos de 7 registros sísmicos, se deben utilizar los resultados que presenten los mayores valores. La

norma ASCE 7-10 exige que los parámetros de respuesta que se deben tomar de un análisis de tiempo historia no lineal sean desplazamientos, velocidades y fuerzas.

VI.3.1 Terremoto de Northridge de 1994

El terremoto de Northridge fue un sismo ocurrido en el año 1994 en el Valle de San Fernando California tuvo una magnitud de 6,7 en la escala de Richter. Este terremoto afecto varias zonas de la ciudad

VI.3.1.1 New Hall

En la figura 28 se muestran las aceleraciones para el registro sísmico de New Hall en ambas direcciones horizontales. Este acelerograma presenta aceleraciones pico de 571.62 cm/seg² para la dirección X y 537.345 cm/seg² para Y.

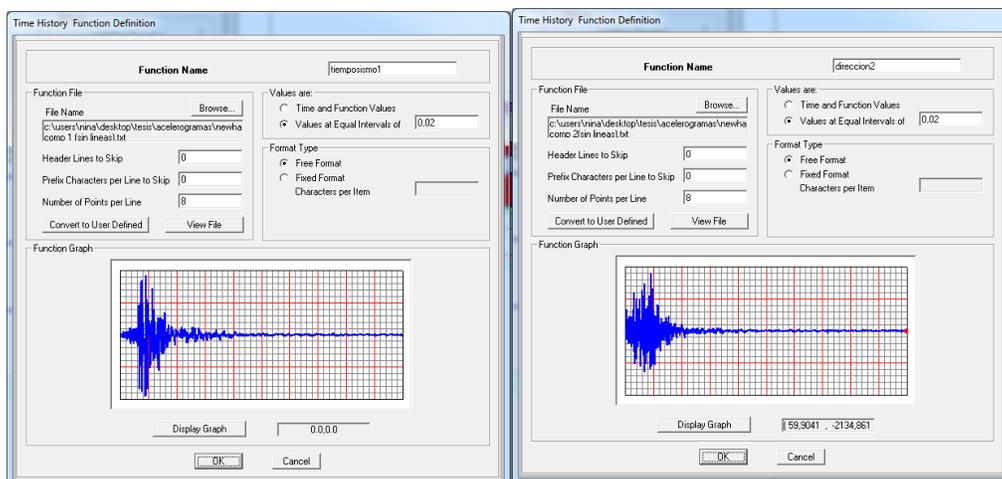


Fig. 29. Acelerograma de New Hall en ambas direcciones horizontales. Fuente: Elaboración propia

VI.3.1.2 Santa Mónica

En la figura 29 se muestran las aceleraciones para el registro sísmico de Santa Mónica en ambas direcciones horizontales. Este acelerograma presenta aceleraciones pico de 865.965 cm/seg² para la dirección X y 227.667cm/seg² para Y

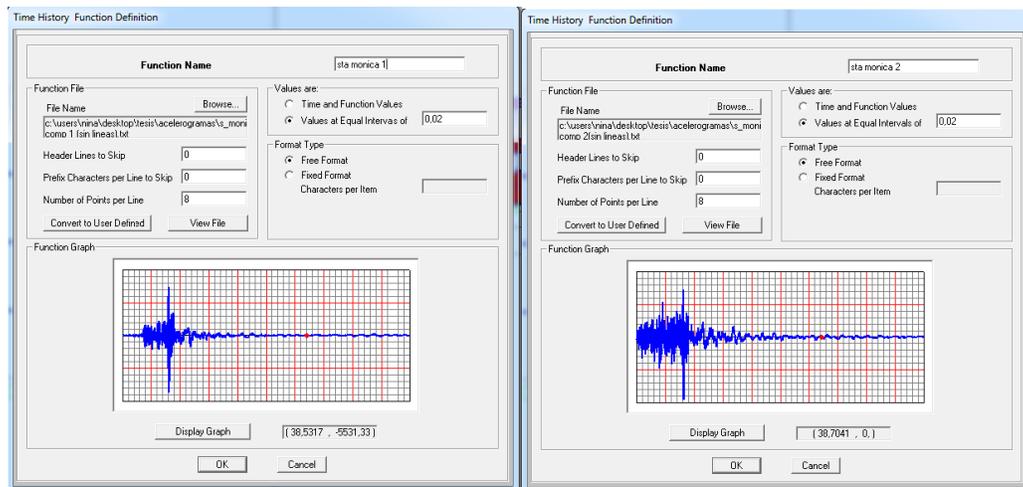


Fig. 30. Acelerograma de Santa Mónica en ambas direcciones horizontales. Fuente: Elaboración propia

VI.3.2 Terremoto de Sylmar:

El terremoto de Sylmar fue un sismo ocurrido en el año 1971 en el Valle de San Fernando California. La zona más afectada fue el distrito de Sylmar, de allí su nombre. Tuvo una magnitud de 6,6 en la escala de Richter.

En la figura 74 se muestran las aceleraciones para el registro sísmico de Sylmar en ambas direcciones horizontales. Este acelerograma presenta aceleraciones pico de 587,40 cm/seg² para la dirección X y 757,27 cm/seg² para Y.

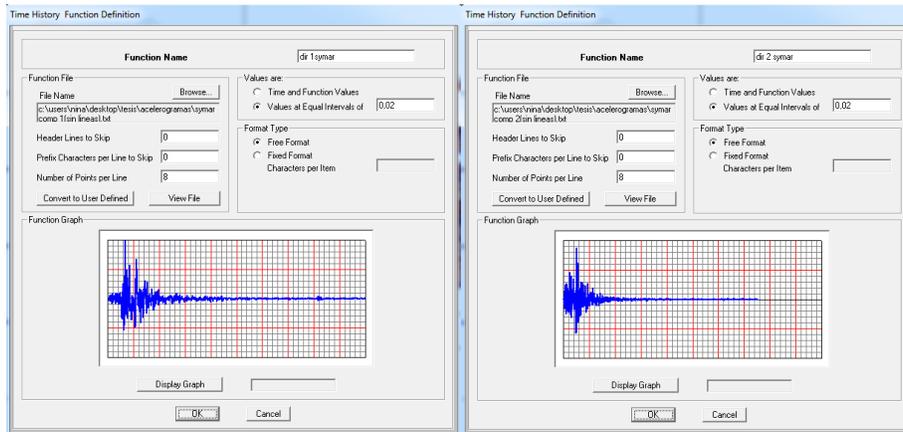


Fig. 31. Acelerograma de Sylmar en ambas direcciones horizontales. Fuente: Elaboración propia

VI.4 Proceso de iteración para dimensionar los dispositivos

Luego de tener los valores de rigidez, coeficiente de amortiguamiento y exponente de la velocidad se procedió a introducir estos valores en el programa Sap 2000 como se muestra en la figura 31

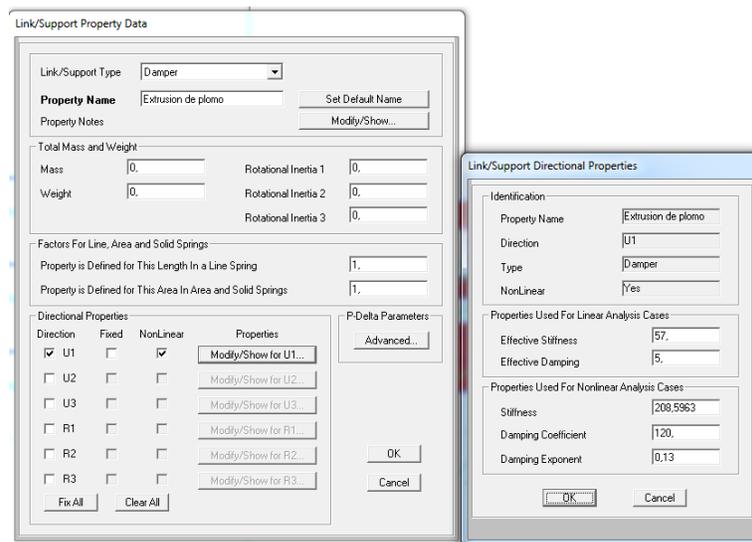


Figura 32. Propiedades no lineales del dispositivo de extrusión de plomo. Fuente: Elaboración propia

Luego de hacer el modelado, el programa sap 2000 reporta los resultados de velocidad, fuerza y desplazamiento en cada uno de los disipadores. Posteriormente se busca el dispositivo que tenga la mayor fuerza, y esta se utiliza en la ecuación siguiente para dimensionar los dispositivos correspondientes a esa fuerza en cada modelo:

$$F = \left\{ \left[Y \operatorname{Ln} \left(\frac{A}{a} \right) + Y \right] e^M - Y \right\} (A - a) \quad (4-1)$$

Una vez dimensionado nuestro dispositivo se modelarán en toda la estructura. Cabe destacar que se tomará en cuenta el efecto del pretensado del plomo para modelar los dispositivos, sabiendo el límite elástico no confinado de plomo es de 6-11MPa y que el valor de σ_c igual a 36MPa a una tensión inducida de 250 MPa en el cilindro de acero se procedió a usar la ecuación 3-5 para obtener un valor del límite elástico del plomo pretensado igual a 139,6 MPa o 1424 kg/cm² (Y), y que se usó un coeficiente de fricción de 0,15.

CAPÍTULO VII

RESULTADOS Y ANÁLISIS

VII.1 Dimensionado y determinación de las características de los dispositivos disipadores de energía por extrusión de plomo ensayados.

Luego de hacer el modelamiento se procedió a dimensionar los dispositivos en cada modelo, tomando en cuenta las fuerzas máximas reportadas por el programa sap 2000 y garantizando que cumpla con los desplazamientos obtenidos en la estructura.

VII.1.1 Modelo 1

La fuerza máxima reportada por el programa fue de 27007 kgf. Conociendo el valor de la fuerza y usando la ecuación 4-1 se realizó un proceso iterativo obteniendo los siguientes resultados descritos en la siguiente tabla:

Tabla 6. Dimensiones del dispositivo del modelo 1

L (cm)	d (cm)	db (cm)	ds (cm)
14	11	5	3

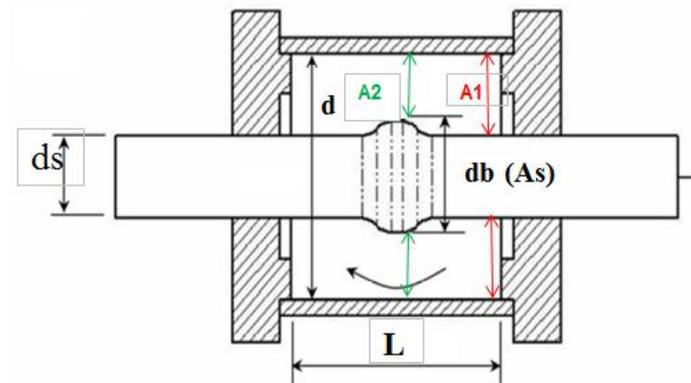


Figura 33. Dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo a utilizar. Fuente: Elaboración propia

Luego de dimensionar el dispositivo se grafica su curva de histéresis aproximada:

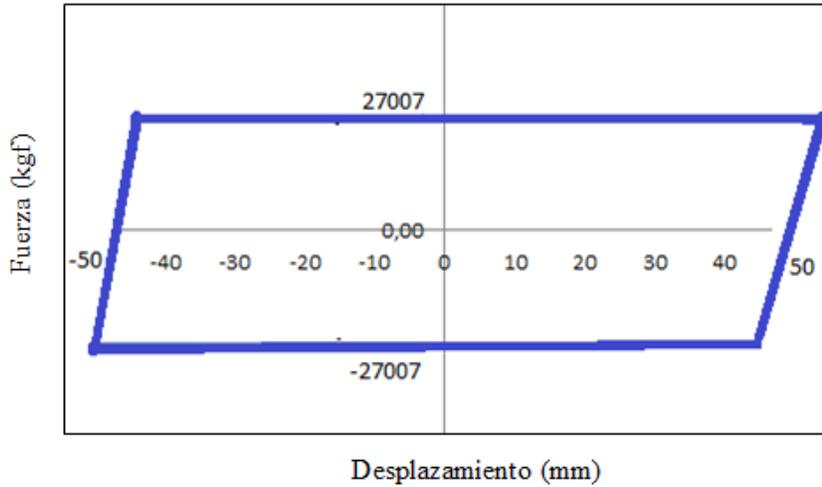


Figura 34. Curva Histerética del dispositivo utilizado en el modelo 1

Posteriormente se pueden calcular las propiedades lineales del dispositivo que son rigidez efectiva y amortiguamiento equivalente.

Se recomienda ampliamente el uso de la rigidez secante como rigidez efectiva de los elementos disipadores de energía y se calcula por medio del siguiente esquema y utilizando la ecuación 7-1

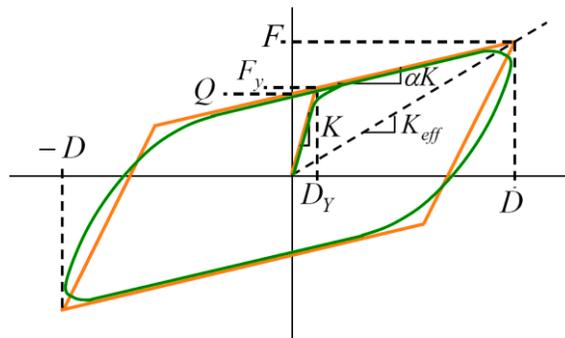


Figura 35. Esquema de Determinación de Rigidez Efectiva. Fuente: Instructional Material Complementing FEMA 451, Design Examples

$$K_{eff} = \frac{F}{D} \quad (7-1)$$

Donde F= fuerza máxima en el dispositivo y D= a su desplazamiento máximo

La cual dio un valor de: 540 Kgf/mm

Adicionalmente se puede calcular su amortiguamiento efectivo por medio de la siguiente ecuación:

$$C = \frac{Wd}{\pi U_o^2 \omega} \quad (4-18)$$

Dónde:

Uo: Desplazamiento máximo del ciclo de histéresis.

WD: Trabajo realizado por el disipador para el nivel de deformación Uo.

ω : Frecuencia del movimiento forzante.

Teniendo en cuenta que se considera la frecuencia del primer modo de vibración de la estructura la cual tiene un valor de 14,02 rad/seg, se calcula el amortiguamiento equivalente obteniendo un valor igual a 49 Kgf seg /rad mm.

Tabla 7. Resumen del dispositivo usado en el modelo 1

Dimensiones (cm)	L= 14	d= 11	db= 5	ds= 3
Fuerza máxima (kgf)	27007			
Rigidez efectiva (kgf/mm)	540			
Amortiguamiento efectivo(Kgf seg/rad mm)	49			
Desplazamiento máximo (mm)	50			

VII.1.2 Modelo 2

Para el caso del modelo 2 se aplicó el mismo procedimiento que se aplicó en el modelo 1 obteniendo los siguientes resultados:

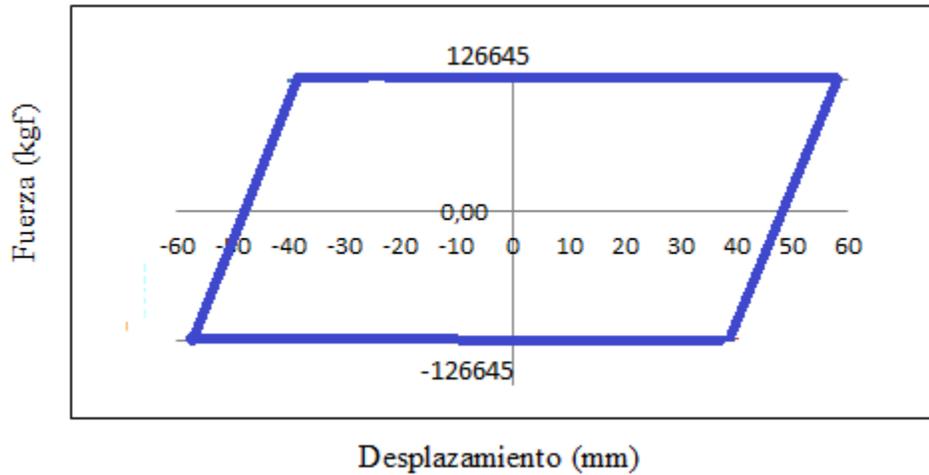


Figura 36. Curva Histerética del dispositivo utilizado en el modelo 2

Tabla 8. Resumen del dispositivo usado en el modelo 2

Dimensiones (cm)	L= 15	d= 6	db= 5	ds= 3
Fuerza máxima (kgf)	126645			
Rigidez efectiva (kgf/mm)	2533			
Amortiguamiento efectivo(Kgf seg/rad mm)	662			
Desplazamiento máximo (mm)	50			

Nota: frecuencia del primer modo $\omega = 4,87$ rad/seg

VII.1.3 Modelo 3

Para el caso del modelo 3 se aplicó el mismo procedimiento que se aplicó en el modelo 1 obteniendo los siguientes resultados:

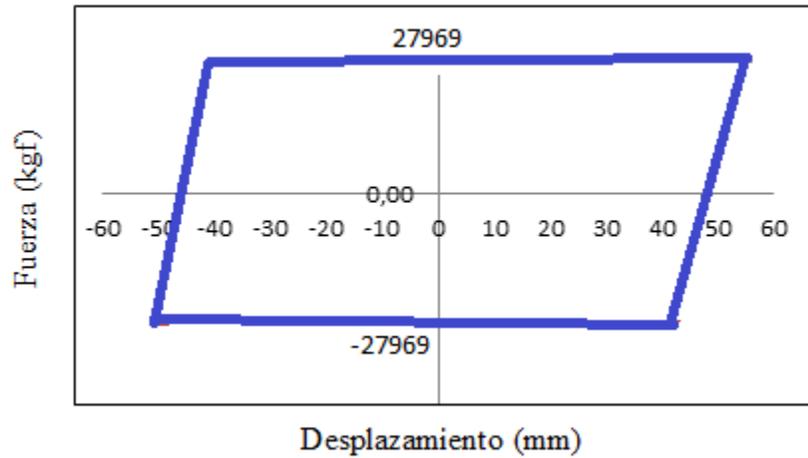


Figura 37. Curva Histerética del dispositivo utilizado en el modelo 3

Tabla 9. Resumen del dispositivo usado en el modelo 3

Dimensiones (cm)	L= 15	d= 11	db= 5	ds= 3
Fuerza máxima (kgf)	27969			
Rigidez efectiva (kgf/mm)	559			
Amortiguamiento efectivo (Kgf seg/rad mm)	204			
Desplazamiento máximo (mm)	50			

Nota: frecuencia del primer modo $\omega = 3,49$ rad/seg

VII.2. Respuesta de la estructura sin disipadores de extrusión de plomo

Para cada registro sísmico utilizado se midieron los desplazamientos y velocidades de los puntos en donde estos valores eran máximos para ambas direcciones horizontales de cada uno de los modelos, así como también se midieron las fuerzas axiales, y fuerzas de corte en las columnas donde estos valores eran máximos, todo esto sin el uso de disipadores.

VII.2.1 Modelo 1

Tabla 10. Desplazamientos y velocidades del modelo 1 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
New hall	64,86	983,65
Santa Monica	42,27	871,49
Sylmar	70,81	1084,58

Tabla 11. Derivas del modelo 1 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Derivas
New hall	0,026
Santa Monica	0,0064
Sylmar	0,010

Tabla 12. Desplazamientos y velocidades del modelo 1 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
New hall	59,61	938,93
Santa Monica	10,13	152,4
Sylmar	19,26	288,37

Tabla 13. Derivas del modelo 1 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y

	Derivas
New hall	0,0089
Santa Monica	0,0017
Sylmar	0,0029

Tabla 14. Fuerza axial y de corte en la columna donde estos valores son máximos del modelo 1 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos

	Fuerza Axial (Tonf)	Fuerza de corte (Tonf)
New hall	84,87	98,18
Santa Monica	47,31	58,27
Sylmar	78,04	110,19

Al comparar los resultados del modelo 1 se observa que los valores más altos de desplazamientos en el eje X, velocidades en el eje X y fuerza de corte se obtienen con el sismo de Sylmar, mientras que los valores de desplazamientos en el eje Y, velocidades en el eje Y, derivas en X y en Y, y fuerzas axiales son más altos para el sismo de New Hall. En la dirección X los desplazamientos y velocidades son mayores que los de la dirección Y.

VII.2.2 Modelo 2

Tabla 15. Desplazamientos y velocidades del modelo 2 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
New hall	232,34	2037,61
Santa Monica	112,69	768,93
Sylmar	173,64	1024,53

Tabla 16. Derivas del modelo 2 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Derivas
New hall	0,0148
Santa Monica	0,0065
Sylmar	0,013

Tabla 17. Desplazamientos y velocidades del modelo 2 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
New hall	69,23	635,24
Santa Monica	53,39	316,14
Sylmar	80,63	410,48

Tabla 18. Derivas del modelo 2 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y

	Derivas
New hall	0,006
Santa Monica	0,021
Sylmar	0,0046

Tabla 19. Fuerza axial y de corte en la columna donde estos valores son máximos del modelo 2 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos

	Fuerza Axial (Tonf)	Fuerza de corte (Tonf)
New hall	430,02	221,05
Santa Monica	220,92	91,56
Sylmar	346,64	149,53

Al comparar los resultados del modelo 2 se observa que los valores más altos de desplazamientos en el eje X, velocidades en el eje X y Y, deriva en el eje X, fuerza axial y fuerza de corte se obtienen con el sismo de New Hall, mientras que los valores de desplazamientos en el eje Y son más altos para el sismo de Sylmar y la deriva en el eje Y es mayor para el sismo de Santa Mónica. En la dirección X los desplazamientos y velocidades son mayores que los de la dirección Y.

VII.2.3 Modelo 3

Tabla 20. Desplazamientos y velocidades del modelo 3 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
New hall	489,96	2169,87
Santa Monica	178,89	738,85
Sylmar	318,17	1520,67

Tabla 21. Derivas del modelo 3 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Derivas
New hall	0,109
Santa Monica	0,023
Sylmar	0,118

Tabla 22. Desplazamientos y velocidades del modelo 3 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
New hall	183,45	860,42
Santa Monica	149,65	430,05
Sylmar	212,87	864,51

Tabla 23. Derivas del modelo 3 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y

	Derivas
New hall	0,046
Santa Monica	0,027
Sylmar	0,067

Tabla 24. Fuerza axial y de corte en la columna donde estos valores son máximos del modelo 3 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos

	Fuerza Axial (Tonf)	Fuerza de corte (Tonf)
New hall	103,68	80,06
Santa Monica	42,66	31,27
Sylmar	74,12	71,46

Al comparar los resultados del modelo 3 se observa que los valores más altos de desplazamientos en el eje X, velocidades en el eje X, fuerza axial y fuerza de corte se obtienen con el sismo de New Hall, mientras que los valores de desplazamientos en el eje Y, velocidades en el eje Y, derivas en X y en Y son más altos para el sismo de Sylmar. En la dirección X los desplazamientos y velocidades son mayores que los de la dirección Y.

VII.3. Respuesta de la estructuras con disipadores de extrusión de plomo

Para cada registro sísmico utilizado se midieron los desplazamientos y velocidades de los puntos en donde estos valores eran máximos para ambas direcciones horizontales de cada uno de los modelos, así como también se midieron las fuerzas axiales, y fuerzas de corte en las columnas donde estos valores eran máximos, todo esto con el uso de disipadores de extrusión de plomo

VII.3.1 Modelo 1

Tabla 25. Desplazamientos y velocidades del modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
New hall	56,32	743,04
Santa Monica	30,97	665,83
Sylmar	46,64	681,95

Tabla 26. Derivas del modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Derivas
New hall	0,008
Santa Monica	0,005
Sylmar	0,007

Tabla 27. Desplazamientos y velocidades del modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
New hall	45,46	737,04
Santa Monica	6,02	121,46
Sylmar	8,97	172,09

Tabla 28. Derivas del modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Derivas
New hall	0,0067
Santa Monica	0,0011
Sylmar	0,0014

Tabla 29. Fuerza axial y de corte en la columna donde estos valores son máximos del modelo 1 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos

	Fuerza Axial (Tonf)	Fuerza de corte (Tonf)
New hall	82,05	91,09
Santa Monica	33,87	48,50
Sylmar	47,02	82,47

Todos los parámetros medidos se redujeron, y los desplazamientos más altos fueron los de New Hall en la dirección X, con un valor tope de 56,32 mm, los valores de

velocidad más altos fueron también los de New Hall en la dirección X con un tope de 743,04 mm/seg. Las derivas para ambas direcciones y para cada uno de los sismos no superan el valor normativo de 0,025 para el grupo B2.

VII.3.2 Modelo 2

Tabla 30. Desplazamientos y velocidades del modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
New hall	155,3	969,98
Santa Monica	61,98	621,16
Sylmar	152,02	840,05

Tabla 31. Derivas del modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Derivas
New hall	0,0057
Santa Monica	0,0041
Sylmar	0,011

Tabla 32. Desplazamientos y velocidades del modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
New hall	43,69	492,57
Santa Monica	11,28	130,18
Sylmar	38,45	274,66

Tabla 33. Derivas del modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y

	Derivas
New hall	0,0017
Santa Monica	0,0074
Sylmar	0,0029

Tabla 34. Fuerza axial y de corte en la columna donde estos valores son máximos del modelo 2 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos

	Fuerza Axial (Tonf)	Fuerza de corte (Tonf)
New hall	311,76	135,62
Santa Monica	115,67	59,87
Sylmar	302,67	148,22

Todos los parámetros medidos se redujeron, y los desplazamientos más altos fueron los de New Hall en la dirección X, con un valor tope de 155,3 mm, los valores de velocidad más altos fueron también los de New Hall en la dirección X con un tope de 969,98 mm/seg. Las derivas para ambas direcciones y para cada uno de los sismos no superan el valor normativo de 0,025 para el grupo B2.

VII.3.3 Modelo 3

Tabla 35. Desplazamientos y velocidades del modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
New hall	250,57	1609,47
Santa Monica	115,42	494,77
Sylmar	282,19	1364,42

Tabla 36. Derivas del modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje X

	Derivas
New hall	0,018
Santa Monica	0,0086
Sylmar	0,019

Tabla 37. Desplazamientos y velocidades del modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y

	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
New hall	43,69	359,56
Santa Monica	28,88	139,19
Sylmar	88,73	281,69

Tabla 38. Derivas del modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos en el eje Y

	Derivas
New hall	0,011
Santa Monica	0,0053
Sylmar	0,006

Tabla 39. Fuerza axial y de corte en la columna donde estos valores son máximos del modelo 3 sin disipadores de extrusión de plomo para los diversos registros sísmicos

	Fuerza Axial (Tonf)	Fuerza de corte (Tonf)
New hall	65,05	45,60
Santa Monica	29,06	22,43
Sylmar	62,85	48,06

Todos los parámetros medidos se redujeron, y los desplazamientos más altos fueron los de Sylmar en la dirección X, con un valor tope de 282,19 mm, los valores de velocidad más altos fueron también los de New Hall en la dirección X con un tope de

1609,47 mm/seg. Las derivas para ambas direcciones y para cada uno de los sismos no superan el valor normativo de 0,020 para el grupo B1.

VII.4. Comparación de los resultados obtenidos entre las estructuras con y sin disipadores de extrusión de plomo.

VIII.4.1. Desplazamientos

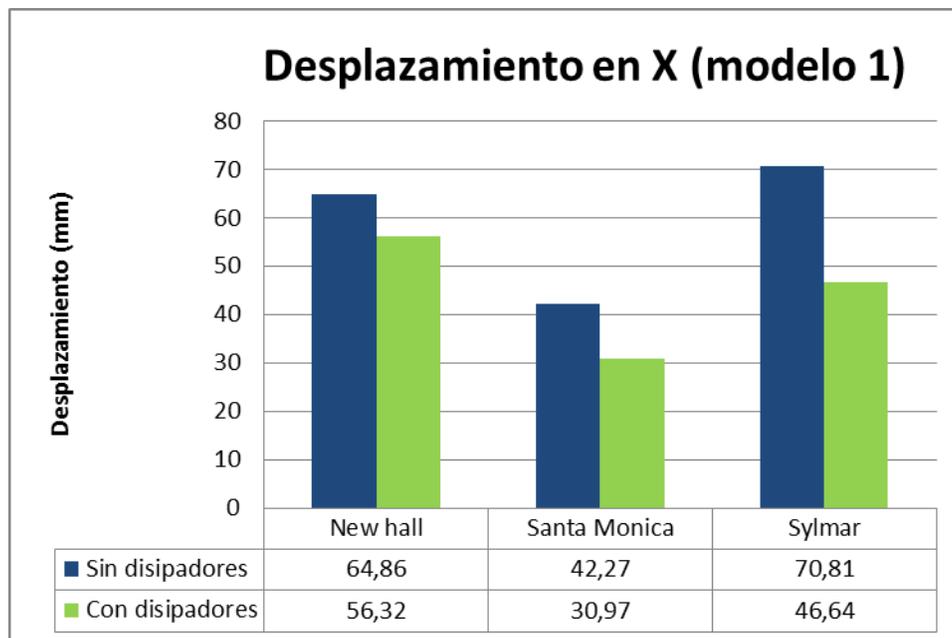


Fig. 38. Desplazamientos comparativos del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X

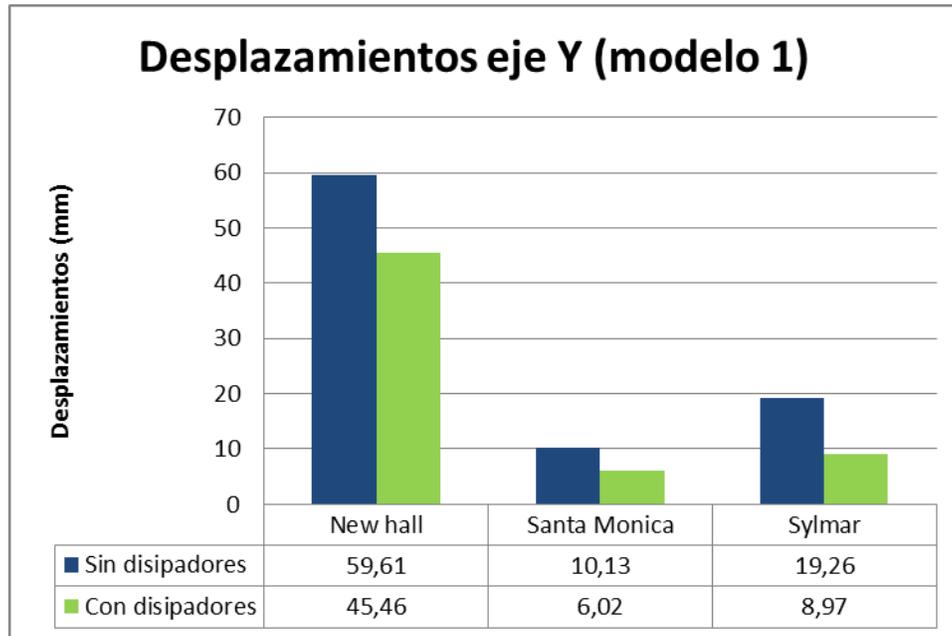


Fig. 39. Desplazamientos comparativos del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y

Tabla 40. Porcentajes de reducción de desplazamientos en el eje X y Y para el modelo 1.

	Desplazamiento	
	Eje X	Eje Y
New hall	13 %	24%
Santa Monica	27%	40%
Sylmar	34%	53%

La estructura con disipadores de extrusión de plomo presenta reducciones entre 13 y 53% en ambas direcciones horizontales. Para el sismo de New Hall, el cual presenta los mayores desplazamientos, se obtuvo una reducción máxima del 24% en el desplazamiento del eje Y, pasando de 59,61mm sin disipadores a 45,46mm con el uso de estos. Para el sismo de Sylmar la estructura redujo un 53% su desplazamiento en el eje Y pasando de 19,26 mm a 8,97 mm.

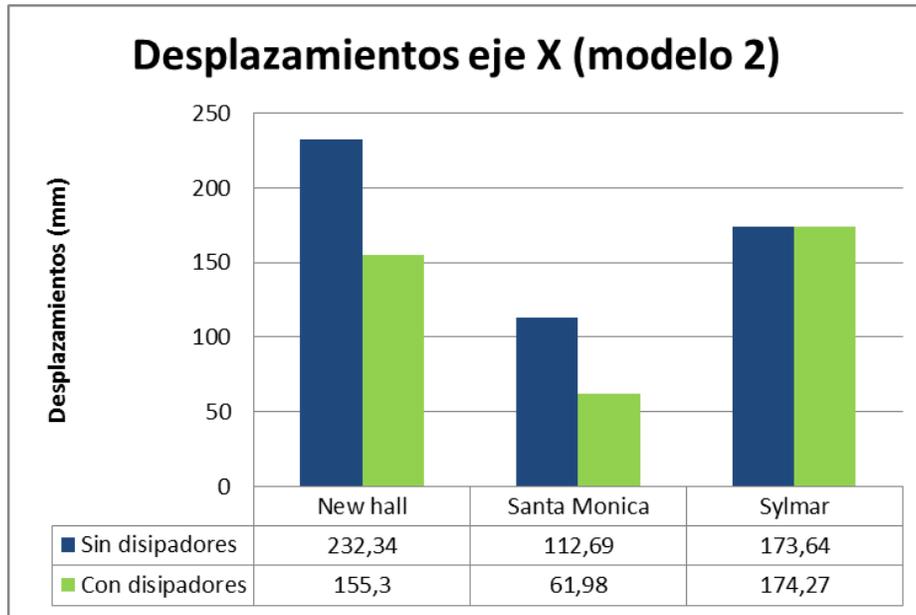


Fig. 40. Desplazamientos comparativos del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X

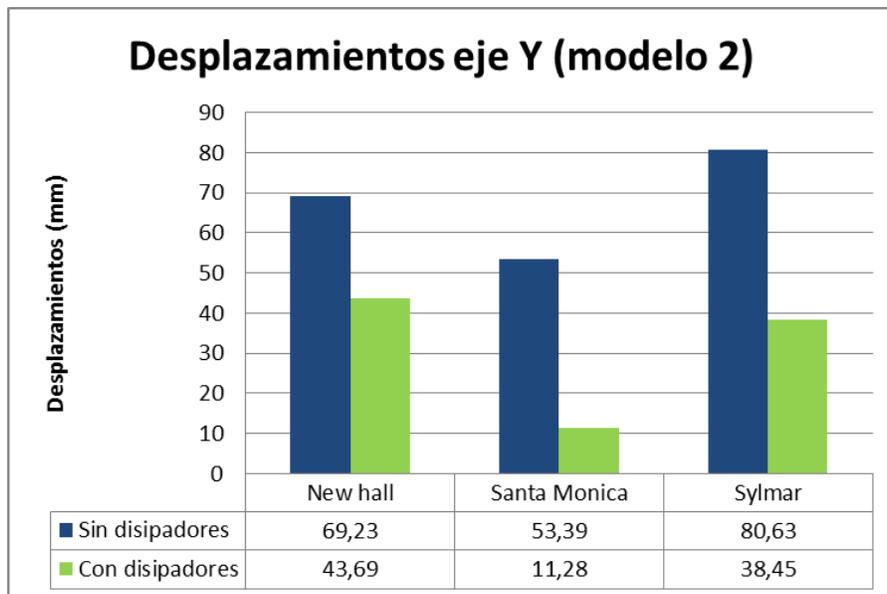


Fig. 41. Desplazamientos comparativos del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y

Tabla 41. Porcentajes de reducción de desplazamientos en el eje X y Y para el modelo 2.

	Desplazamiento	
	Eje X	Eje Y
New hall	33%	37%
Santa Monica	45%	78%
Sylmar	0%	52%

La estructura con disipadores de extrusión de plomo presenta reducciones entre 0% y 78% en ambas direcciones horizontales. Para el sismo de New Hall, el cual presenta los mayores desplazamientos, se obtuvo una reducción máxima del 37% en el desplazamiento del eje Y, pasando de 53,39 mm sin disipadores a 11,28mm con el uso de estos. Para el sismo de Santa Monica la estructura presenta los mayores porcentajes de reducción con un máximo de 78% en el eje Y. Para el sismo de Sylmar la estructura redujo un 52% su desplazamiento en el eje Y, mientras que no redujo su desplazamiento en el eje X debido a que el modo en esa dirección tiene menor participación que en la dirección Y.

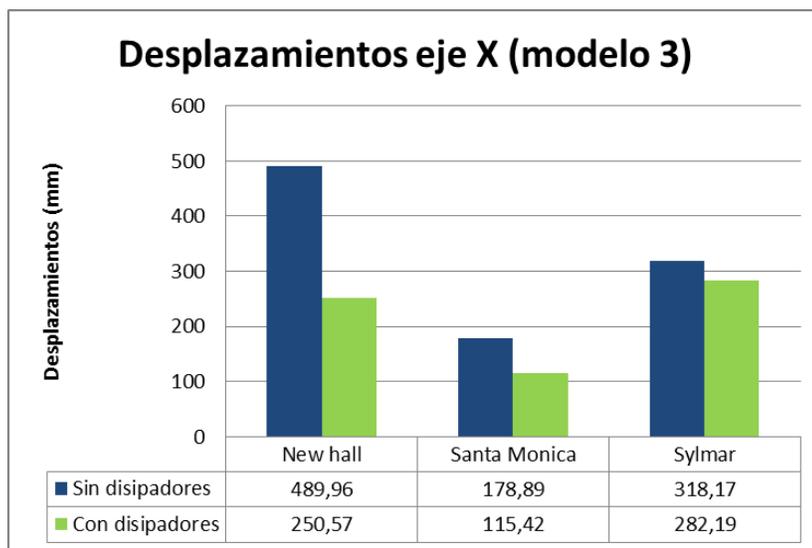


Fig. 42. Desplazamientos comparativos del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X

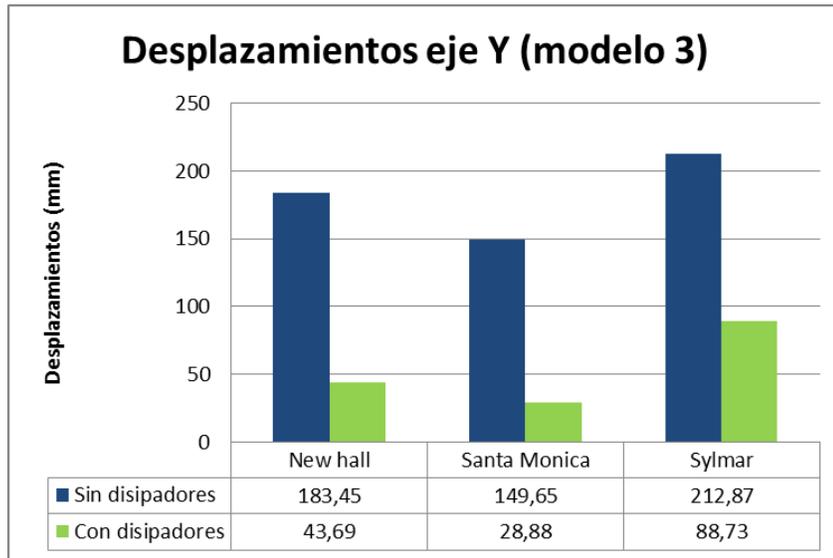


Fig. 43. Desplazamientos comparativos del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y

Tabla 42. Porcentajes de reducción de desplazamientos en el eje X y Y para el modelo 3.

	Desplazamiento	
	Eje X	Eje Y
New hall	48%	76%
Santa Monica	35%	80%
Sylmar	11%	58%

La estructura con disipadores de extrusión de plomo presenta reducciones entre 11% y 80% en ambas direcciones horizontales. Para el sismo de New Hall, el cual presenta los mayores desplazamientos, se obtuvo una reducción máxima del 76% en el desplazamiento del eje Y, pasando de 183,45 mm sin disipadores a 43,69mm con el uso de estos. Para el sismo de Santa Mónica la estructura presenta los mayores porcentajes de reducción con un máximo de 80% en el eje Y. Para el sismo de Sylmar la estructura redujo un 58% su desplazamiento en el eje Y, mientras que su reducción en el eje X fue mucho menor con un 11%.

VIII.4.2. Derivas

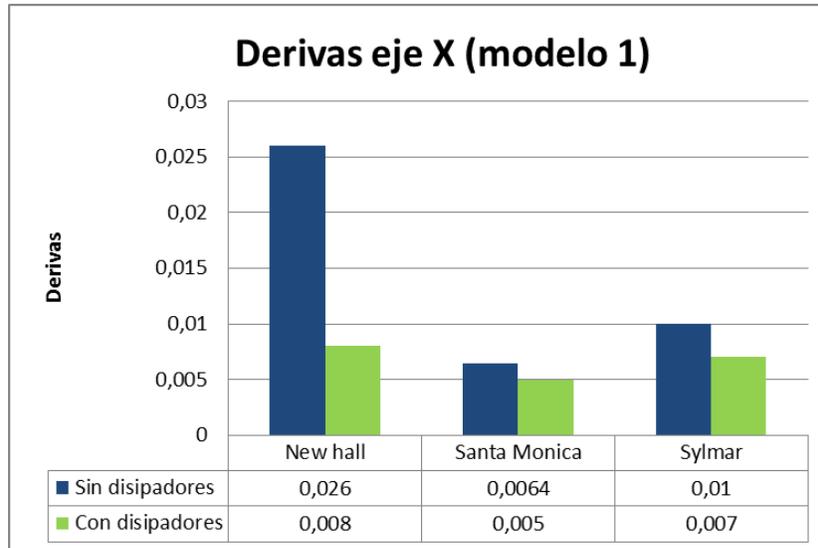


Fig. 44. Derivas comparativas del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X

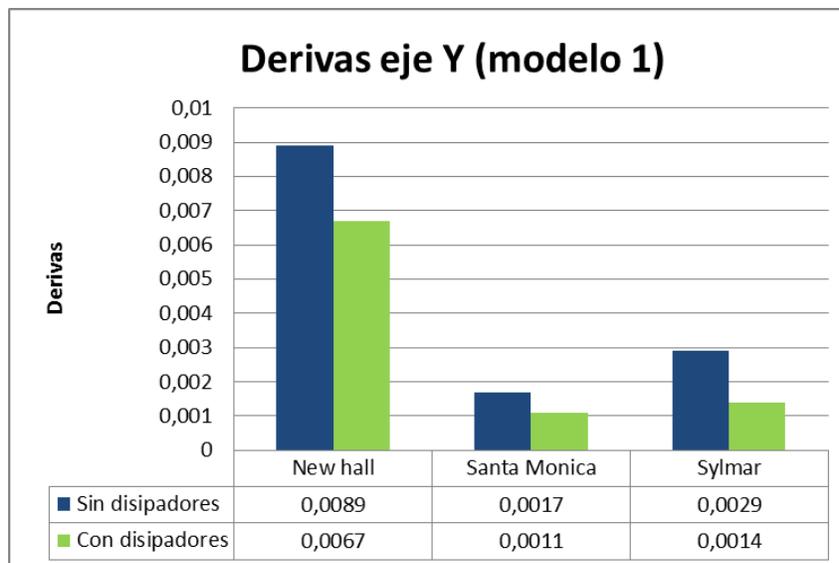


Fig. 45. Derivas comparativas del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y

Tabla 42. Porcentajes de reducción de derivas en el eje X y Y para el modelo 1.

	Derivas	
	Eje X	Eje Y
New hall	69%	24%
Santa Monica	21%	35%
Sylmar	30%	51%

En el modelo 1 las derivas se redujeron entre un 21% y 69%, en todos los casos sin disipadores la deriva no excedía el límite normativo para este tipo de estructuras (0,025) a excepción de la deriva en el eje X del modelo 1 la cual usando disipadores se redujo en un 69% cumpliendo con el límite normativo y siendo este el valor más alto de reducción.

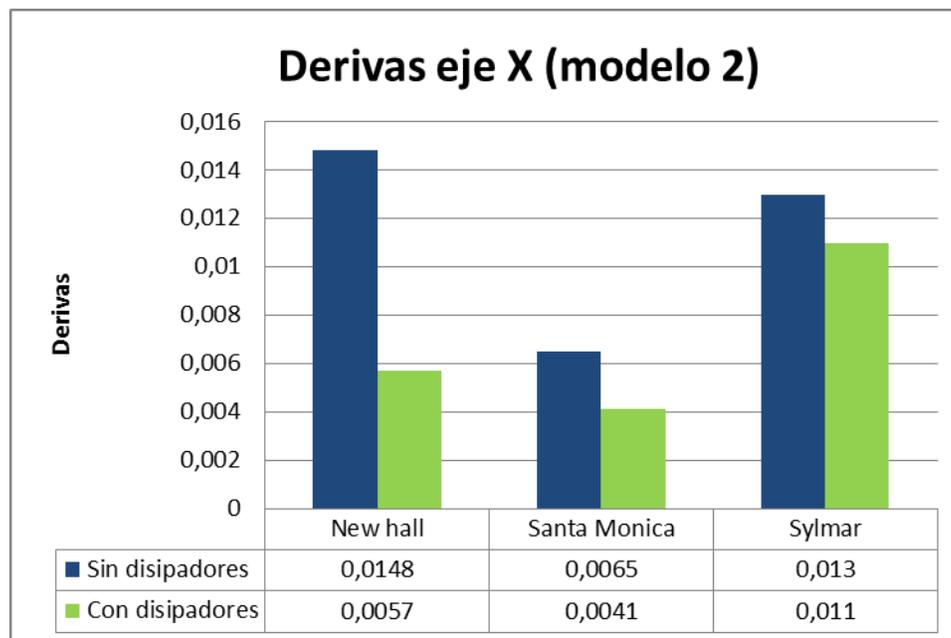


Fig. 46. Derivas comparativas del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X

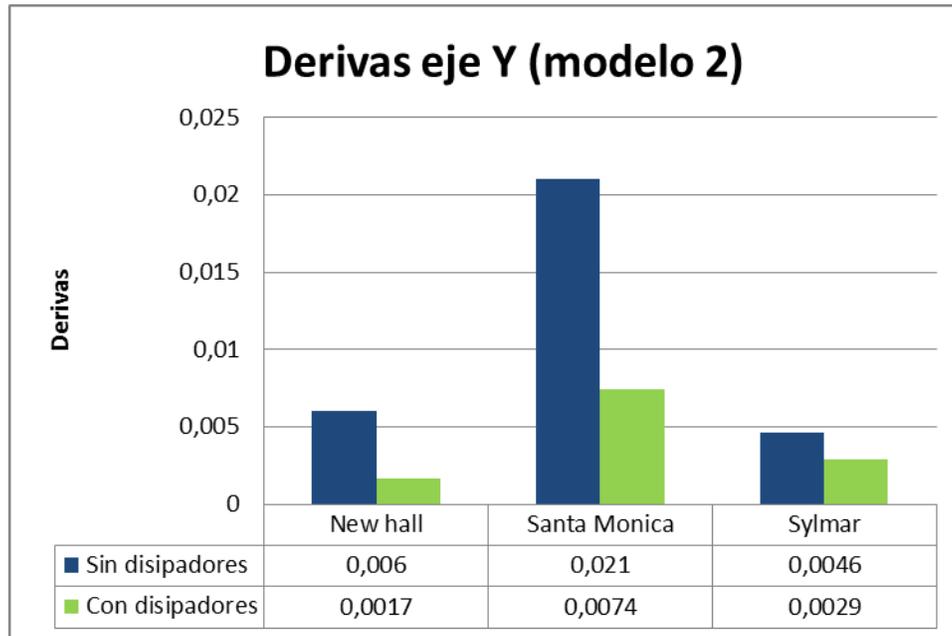


Fig. 47. Derivas comparativas del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X

Tabla 43. Porcentajes de reducción de derivas en el eje X y Y para el modelo 2.

	Derivas	
	Eje X	Eje Y
New hall	61%	72%
Santa Monica	36%	64%
Sylmar	1%	37%

En el modelo 2 las derivas se redujeron entre un 1% y 72%, en todos los casos sin disipadores la deriva no excedía el límite normativo para este tipo de estructuras (0,025). Cabe destacar que para el sismo de Sylmar en el eje X prácticamente la reducción fue nula.

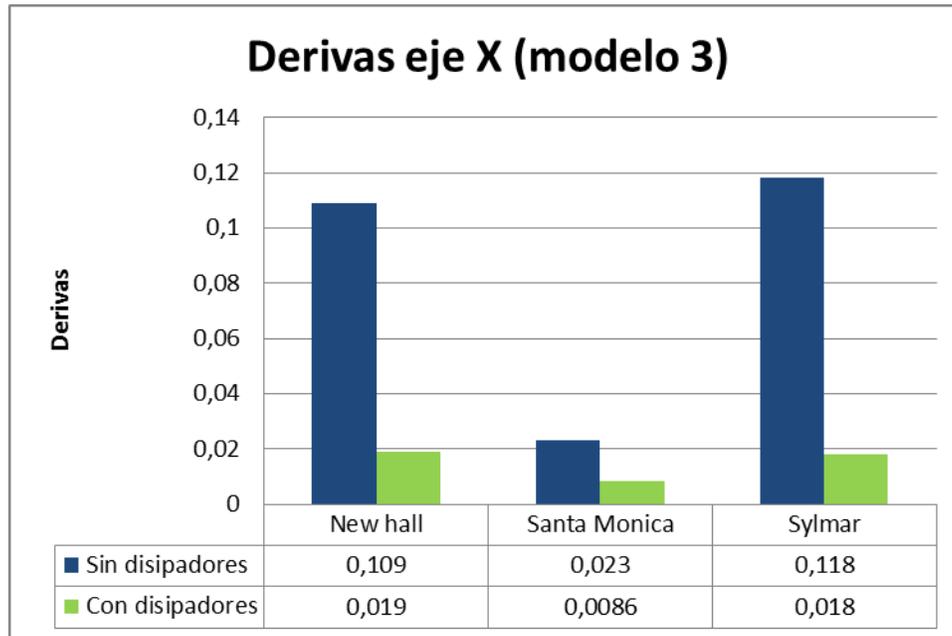


Fig. 48. Derivas comparativas del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X

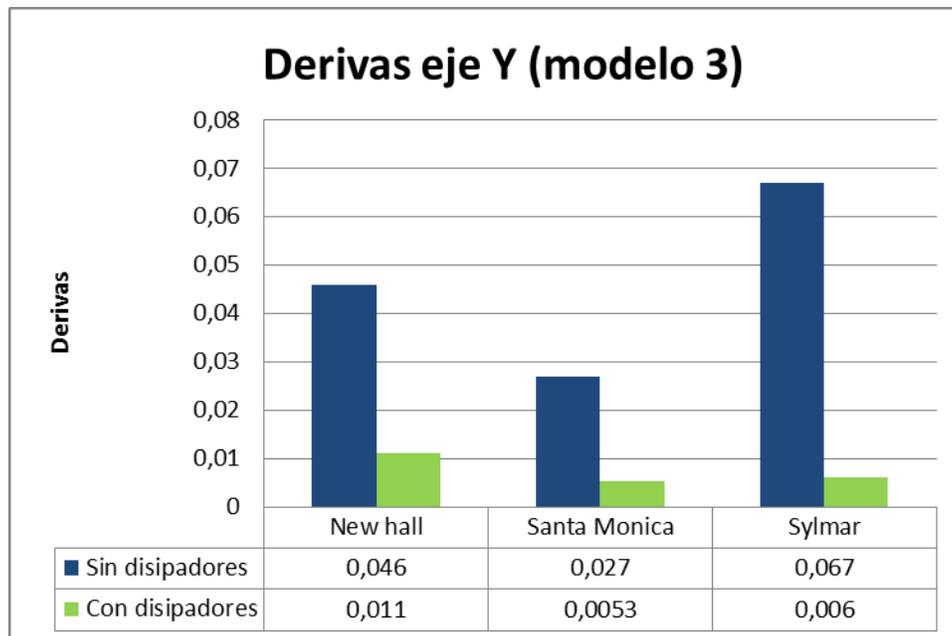


Fig. 49. Derivas comparativas del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y

Tabla 44. Porcentajes de reducción de derivas en el eje X y Y para el modelo 3.

	Derivas	
	Eje X	Eje Y
New hall	77%	76%
Santa Monica	62%	80%
Sylmar	80%	90%

En el modelo 3 las derivas se redujeron notoriamente con valores entre un 62% y 90%, en todos los casos sin disipadores la deriva excedía el límite normativo para este tipo de estructuras (0,020) y, usando disipadores de energía todas estas se redujeron sin exceder el límite normativo.

VIII.4.3. Velocidades

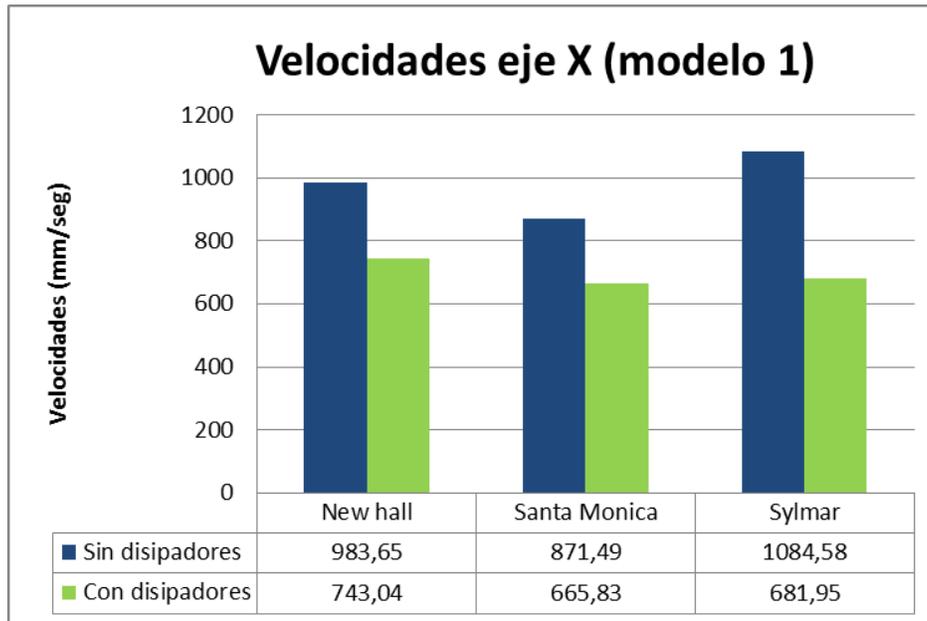


Fig. 50. Velocidades comparativas del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X

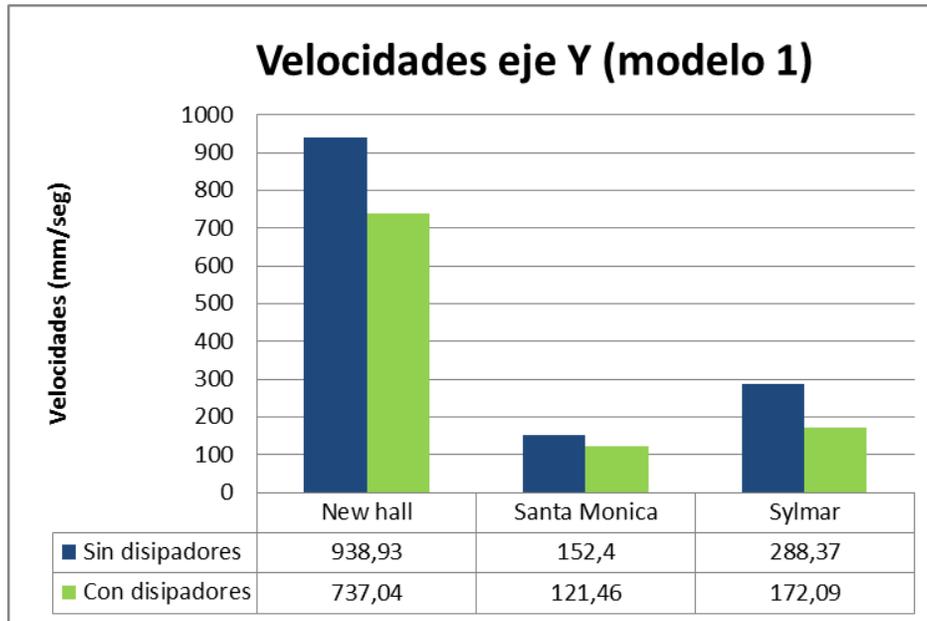


Fig. 51. Velocidades comparativas del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y

Tabla 45. Porcentajes de reducción de Velocidades en el eje X y Y para el modelo 1.

	Velocidades	
	Eje X	Eje Y
New hall	24%	21%
Santa Monica	23%	20%
Sylmar	37%	40%

En el modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo presenta reducciones de velocidad en rangos desde 20% hasta 40%. Para el sismo de New Hall, el cual se toma como el sismo patrón ya que presenta las mayores velocidades, se obtuvo una reducción máxima del 24%, pasando de 983,65 mm/s sin disipadores a 743,04 mm/s con el uso de estos.

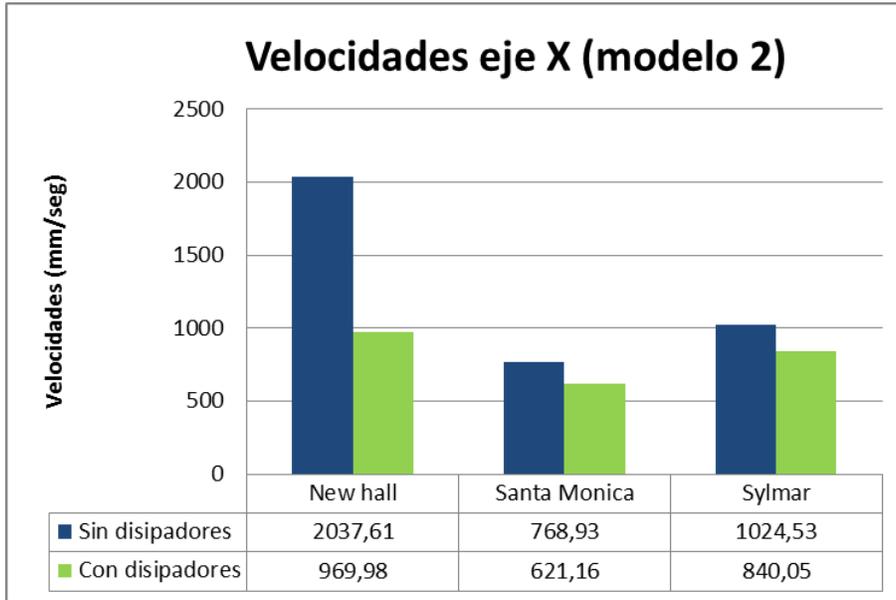


Fig. 52. Velocidades comparativas del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X.

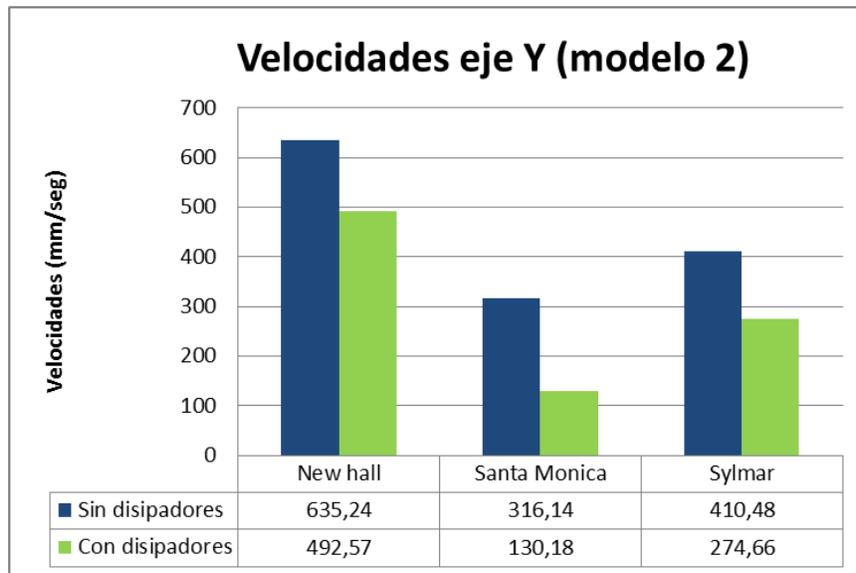


Fig. 53. Velocidades comparativas del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y.

Tabla 46. Porcentajes de reducción de Velocidades en el eje X y Y para el modelo 2.

	Velocidades	
	Eje X	Eje Y
New hall	52%	22%
Santa Monica	20%	58%
Sylmar	18%	33%

En el modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo presenta reducciones de velocidad en rangos desde 18% hasta 52%. Para el sismo de New Hall, el cual se toma como el sismo patrón ya que presenta las mayores velocidades, se obtuvo una reducción máxima del 52 % pasando de 2037,61 mm/seg a 969,98 mm/seg con el uso de estos.

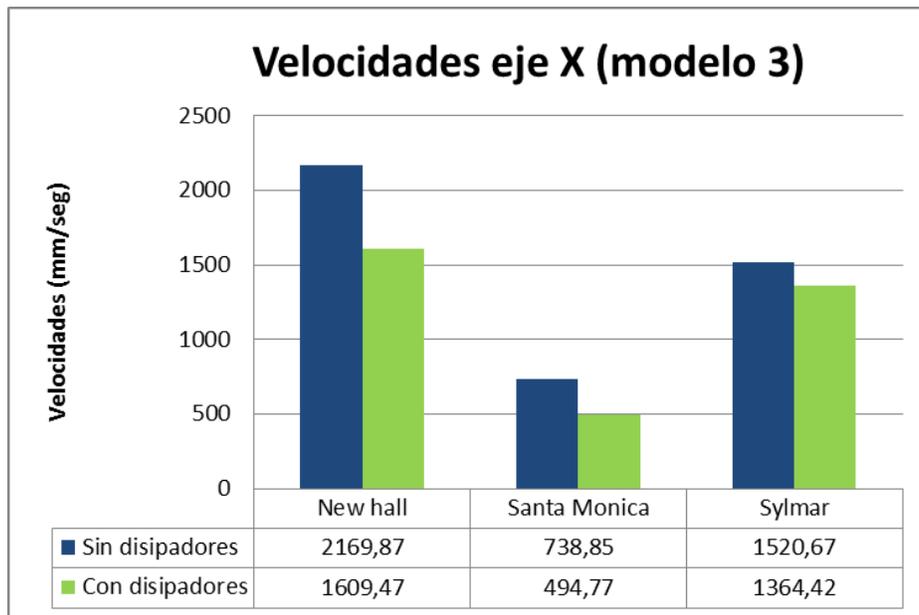


Fig. 54. Velocidades comparativas del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo en el eje X.

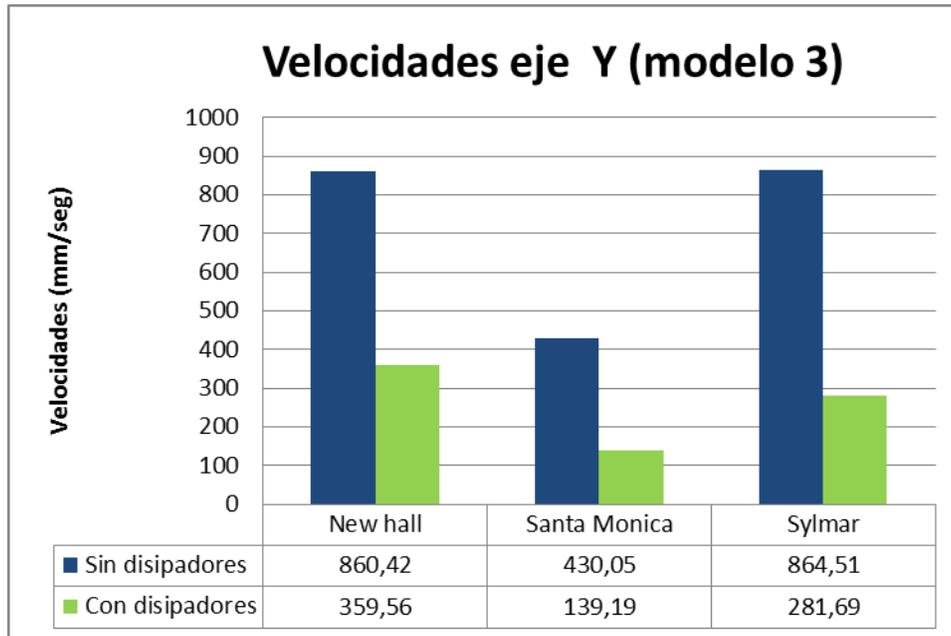


Fig. 55. Velocidades comparativas del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y.

Tabla 47. Porcentajes de reducción de Velocidades en el eje X y Y para el modelo 3

	Velocidades	
	Eje X	Eje Y
New hall	26%	58%
Santa Monica	33%	67%
Sylmar	10%	67%

En el modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo presenta reducciones de velocidad en rangos desde 10% hasta 67%. Para el sismo de New Hall, el cual se toma como el sismo patrón ya que presenta las mayores velocidades, se obtuvo una reducción máxima del 58 % pasando de 860,42 mm/seg a 359,56 mm/seg con el uso de estos.

VIII.4.4. Fuerzas

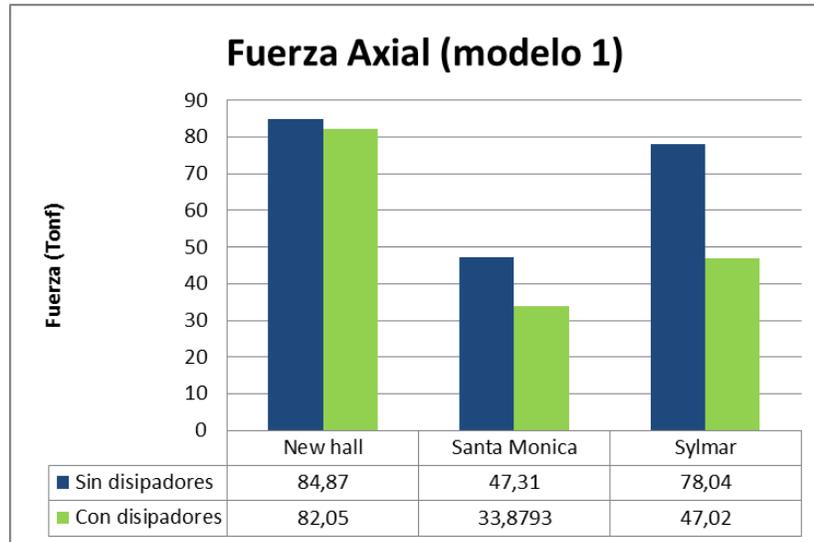


Fig. 56. Fuerzas axiales comparativas del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo.

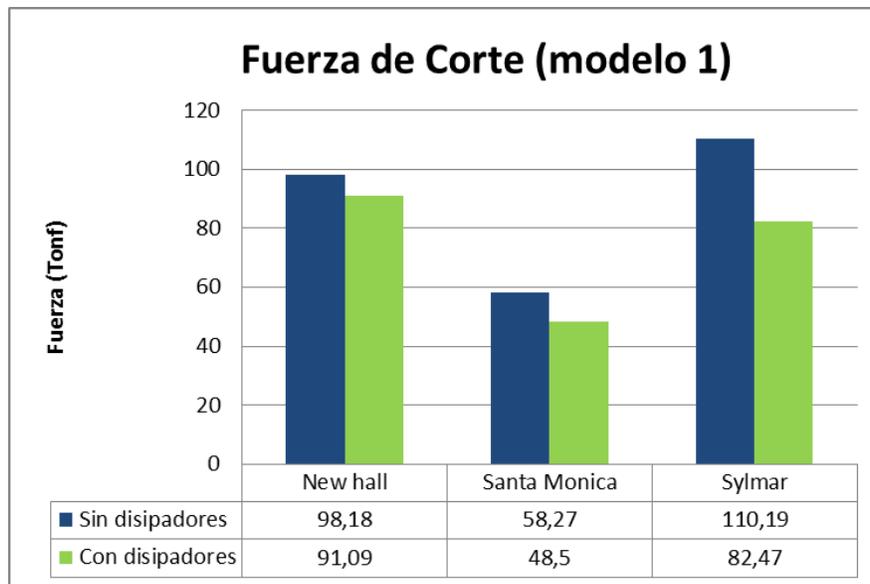


Fig. 57. Fuerzas de corte comparativas del modelo 1 sin y con disipadores para cada sismo.

Tabla 48. Porcentajes de reducción de fuerzas axiales y de corte para el modelo 1

	Fuerzas	
	Axial	Corte
New hall	3%	7%
Santa Monica	28%	17%
Sylmar	39%	25%

El modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo presenta reducciones con respecto los esfuerzos axiales que sufren las columnas desde 3% hasta 39%. Mientras que para las fuerzas de corte presenta reducciones de las fuerzas de corte entre 7% hasta 25%. Las mayores reducciones se obtuvieron en el sismo de Sylmar con una reducción de 39 % en las fuerzas axiales y de 25 % en las fuerzas de corte.

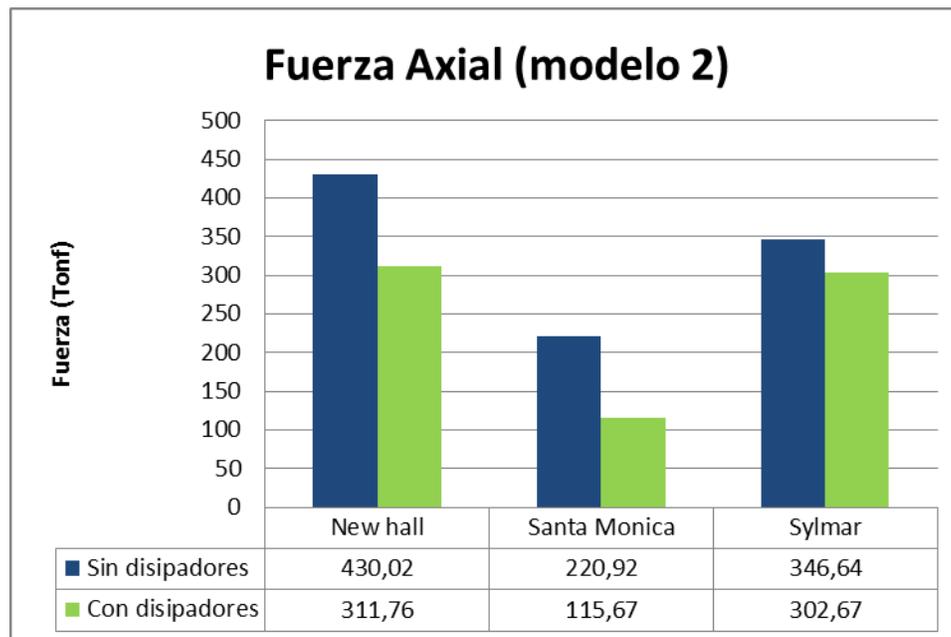


Fig. 58. Fuerzas axiales comparativas del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo.

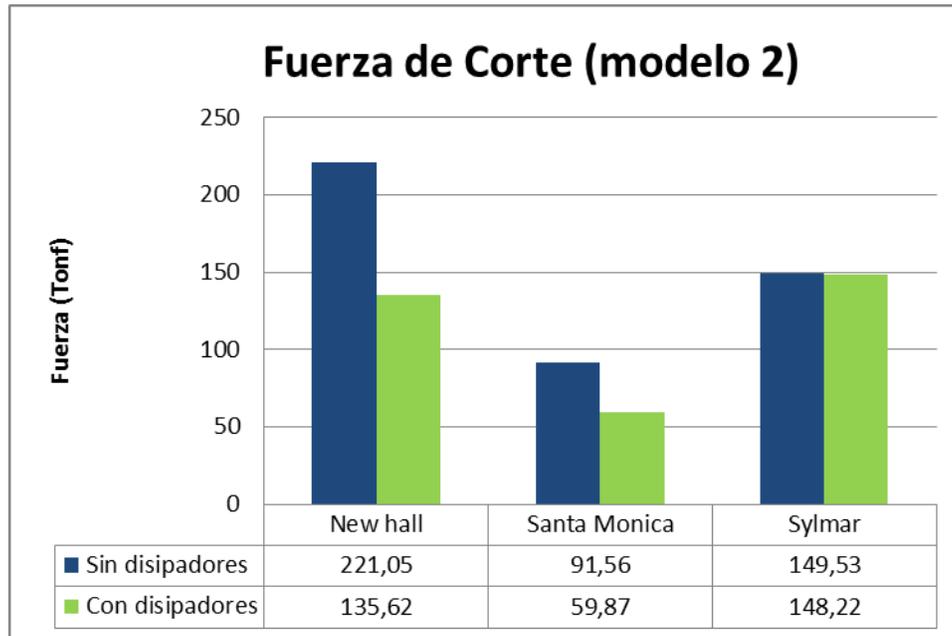


Fig. 59. Fuerzas de corte comparativas del modelo 2 sin y con disipadores para cada sismo.

Tabla 49. Porcentajes de reducción de fuerzas axiales y de corte para el modelo 2

	Fuerzas	
	Axial	Corte
New hall	28%	39%
Santa Monica	48%	35%
Sylmar	13%	0,8%

El modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo presenta reducciones con respecto los esfuerzos axiales que sufren las columnas desde 13% hasta 48%. Mientras que para las fuerzas de corte presenta reducciones de las fuerzas de corte entre 0,8% hasta 39%. Las mayor reducción de fuerza axial se obtuvo en el sismo de Santa Monica con una reducción de 48% , mientras que la mayor reducción de fuerza de corte se obtuvo en el sismo de New hall con un 39%. Cabe destacar que los valores de fuerzas axiales y fuerzas de corte para el sismo de Sylmar son bajos comparados con los otros sismos.

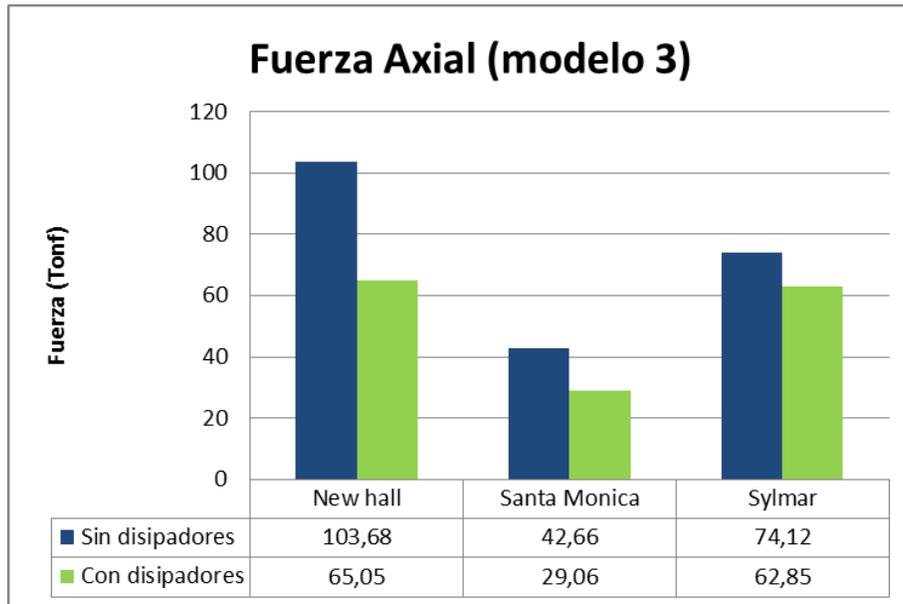


Fig. 60. Fuerzas axiales comparativas del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo.

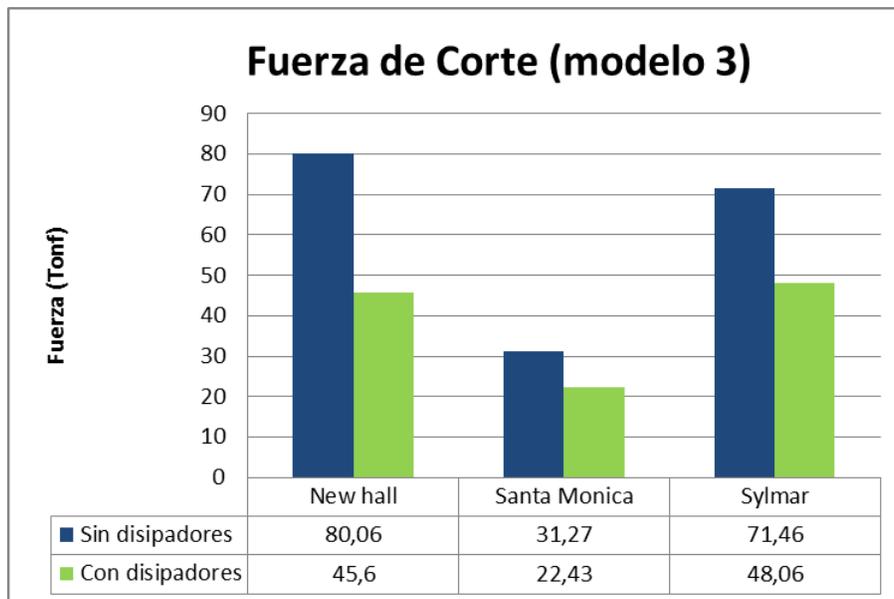


Fig. 61. Fuerzas de corte comparativas del modelo 3 sin y con disipadores para cada sismo.

Tabla 50. Porcentajes de reducción de fuerzas axiales y de corte para el modelo 3

	Fuerzas	
	Axial	Corte
New hall	37%	43%
Santa Monica	32%	28%
Sylmar	15%	33%

El modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo presenta reducciones con respecto a los esfuerzos axiales que sufren las columnas desde 15% hasta 37%. Mientras que para las fuerzas de corte presenta reducciones de las fuerzas de corte entre 33% hasta 43%. Las mayores reducciones de fuerza axial y de corte se obtuvieron en el sismo de New Hall con unos valores de reducción de 37% y 43% respectivamente.

VII.4.5 Energía absorbida por el sistema de disipación

En las figuras 62, 63 y 64 se muestra la energía del sistema de cada uno de los modelos para el sismo de New Hall, la línea naranja presenta la energía que ingresa al sismo a la estructura, la línea verde representa la energía disipada mediante el amortiguamiento inherente de la estructura, la línea roja representa la energía absorbida por los disipadores de extrusión de plomo.

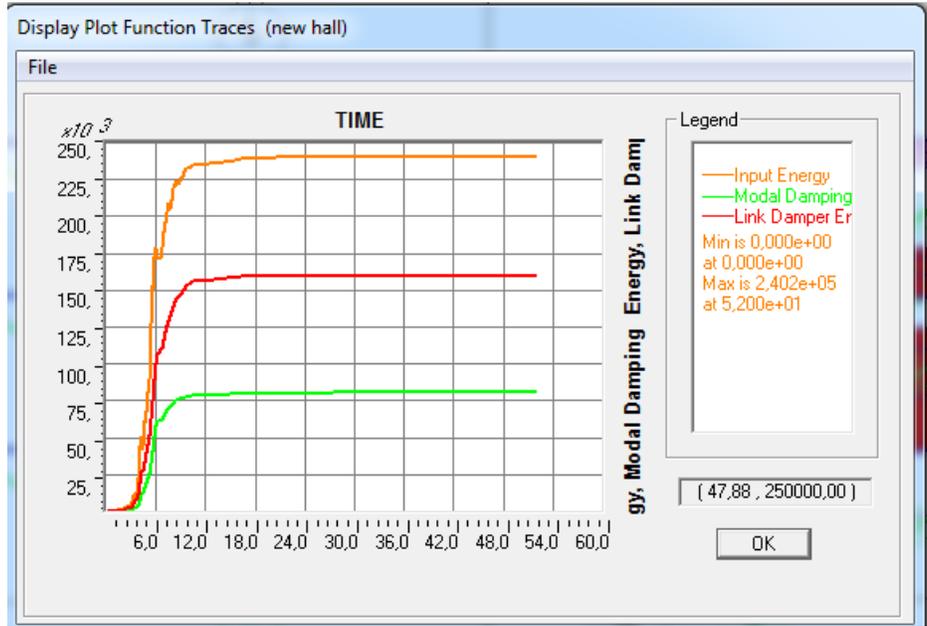


Fig. 62. Energía del modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo de New Hall.

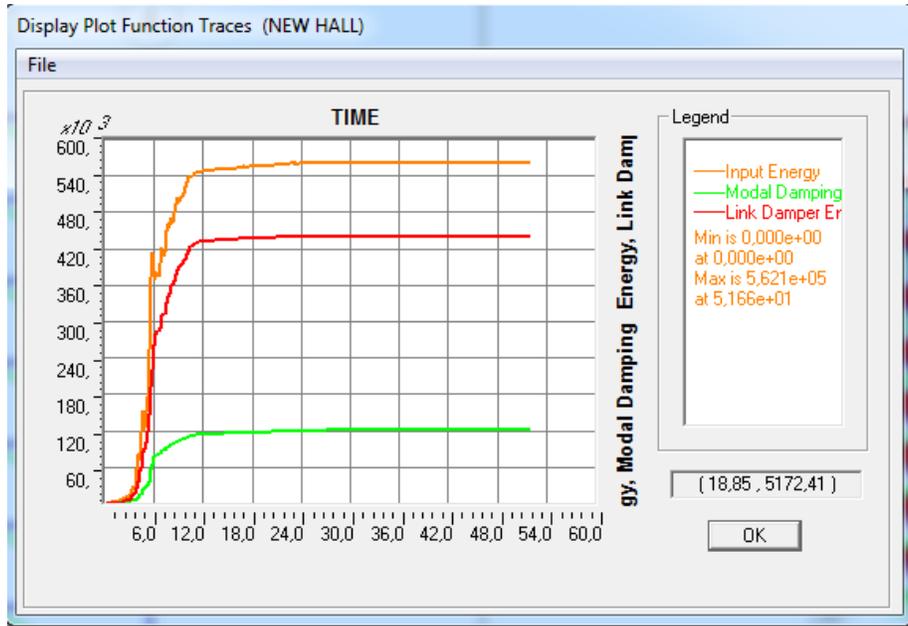


Fig. 63. Energía del modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo de New Hall.

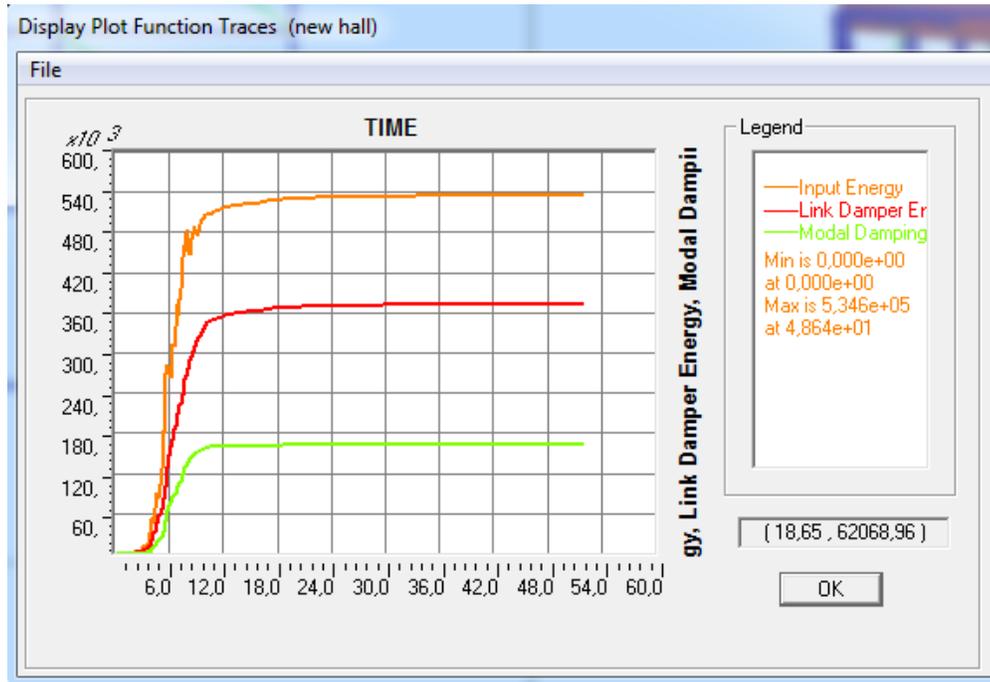


Fig. 64. Energía del modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo de New Hall.

Para el sismo de New Hall la energía disipada por el modelo 1 se reduce aproximadamente a 39%, para el modelo 2 se reduce aproximadamente 27% y para el modelo 3 se reduce aproximadamente 33%. La energía disipada mediante los dispositivos de extrusión de plomo fue para el modelo 1 cerca de un 64%, para el modelo 2 fue cerca del 75% y para el modelo 3 65%. Cuando las estructuras no poseen un método de disipación de energía, parte de la energía que introduce el sismo es absorbida por los materiales estructurales y disipada a través de la deformación plástica de los elementos. Las estructuras sismorresistentes están diseñadas para que sus elementos estructurales disipen energía mediante la deformación controlada evitando el colapso total de la edificación, agregando los dispositivos se reducen estos daños aumentando la energía disipada de la estructura.

CAPÍTULO VIII

DISEÑO CONCEPTUAL DEL ENSAYO FÍSICO DE UN DISIPADOR DE ENERGÍA DE EXTRUSIÓN DE PLOMO

Este capítulo trata sobre el diseño conceptual del ensayo físico de un disipador de energía por extrusión de plomo factible de realizarse en el Instituto de Materiales y Modelos Experimentales (IMME) de la facultad de ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (UCV) y consta de dos partes: en primer lugar el diseño del dispositivo en cuanto a sus dimensiones y materiales a utilizar y en segundo lugar la evaluación experimental la cual comprende equipos a utilizar y procedimientos de ensayos.

VIII.1 Dispositivo

Dimensionado del dispositivo:

En esta primera fase se propone adaptarse a los recursos disponibles, por lo que las dimensiones de este primer dispositivo estarían gobernadas por los materiales y recursos disponibles que mejor adapten a las exigencias normativas de ensayar modelos a escala real. En este sentido son útiles los análisis realizados en este trabajo que permiten establecer las dimensiones y capacidades del dispositivo.

El dispositivo a ensayar sería del tipo “eje abombado” o “bulbo”, descrito en el capítulo IV, y consta de 4 partes como se ve en la figura 65:

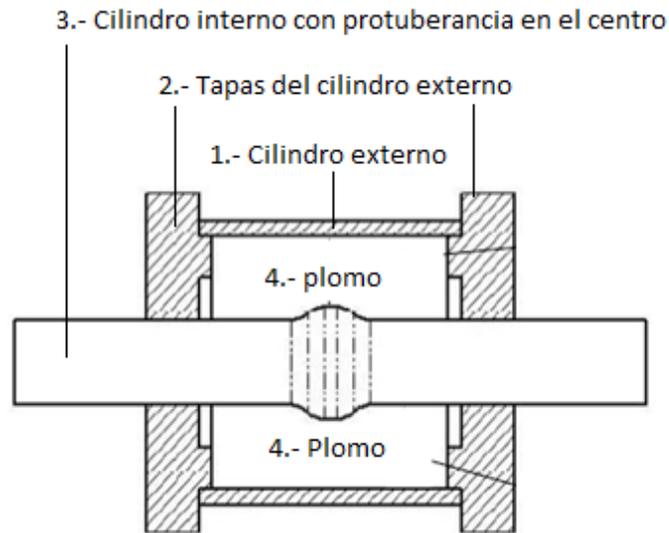


Figura 65. Partes del dispositivo: 1.- Cilindro externo, 2.- Tapas del Cilindro Externo ,3.- Cilindro interno con protuberancia o bulbo en el centro, 4.- Plomo. Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración del cilindro externo, las tapas del cilindro externo y el cilindro interno con el bulbo, se recomienda utilizar materiales resistentes debido a las grandes fuerzas que experimenta el dispositivo durante un sismo, uno de los materiales recomendados es acero A36.

Para el dimensionado de las partes del dispositivo se empleará la ecuación 4-1, sabiendo que la fuerza tope debido a las limitaciones de los equipos existentes en el IMME es de 20 tonf, se sugiere un dimensionado correspondiente a una fuerza máxima en el dispositivo de 16 tonf el cual se presenta a continuación:

Tabla 51. Dimensiones del dispositivo a ensayar.

L (cm)	d (cm)	db (cm)	ds (cm)
10	8	5	4

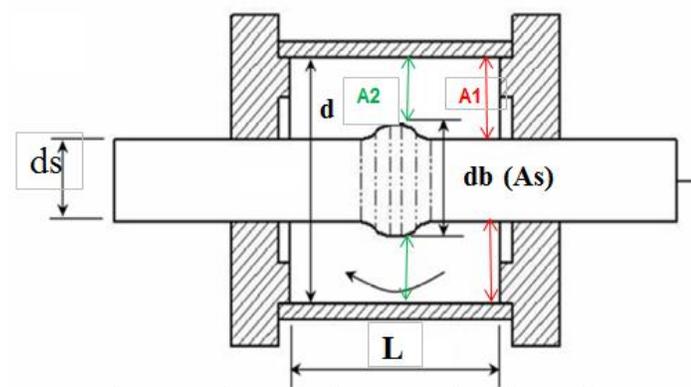


Figura 66. Dispositivo disipador de energía por extrusión de plomo a utilizar. Fuente:
Elaboración propia

El cilindro externo debe tener una longitud de 10 cm y un diámetro interno de 8 cm.

El cilindro interno debe tener un diámetro de 4 cm y la protuberancia de 5 cm



Figura 67. Fotografía del cilindro interno con protuberancia elaborado en el taller mecánico del IMME.

En cuando a las tapas del cilindro externo, se recomienda que una de las tapas permanezca fija al cilindro por medio de pernos o soldadura, y la segunda tapa se sugiere que sea estilo “Junta Dresser” la cual permita realizar el pretensado del plomo tal y como se muestra en la figura:

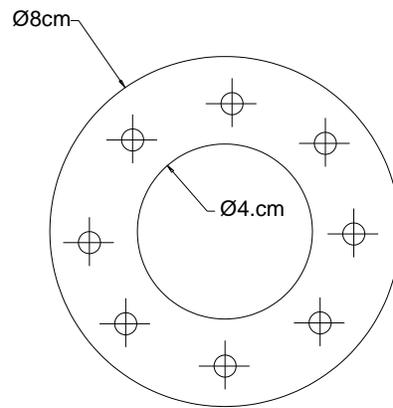


Figura 68. Tapa fija al cilindro externo. Fuente: Elaboración propia

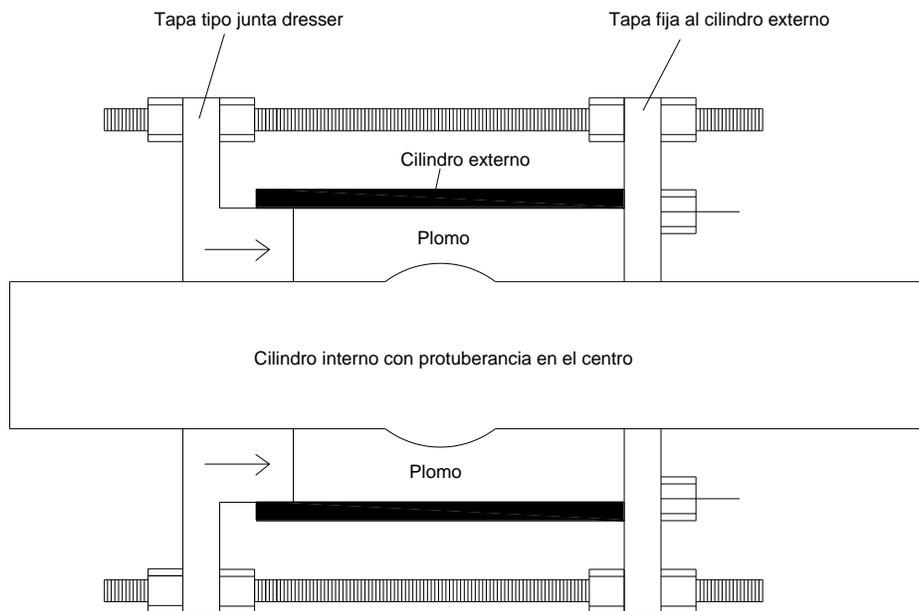


Figura 69. Esquema del dispositivo en donde se observa la tapa tipo “junta Dresser”. Fuente: Elaboración propia

En cuanto al plomo se debe calentar hasta derretirlo y luego introducirlo en el cilindro externo para pretensarlo a 250 MPa para eliminar los espacios vacíos que en él se encuentran y así mejorar su rendimiento dentro del dispositivo.

VIII.2 Evaluación experimental

Para el desarrollo de este planteamiento se hace referencia a la tesis doctoral realizada por la ingeniero Carolina Tovar en el año 2008 titulada: Utilización de disipadores de energía en edificaciones de baja altura, en la cual se realizó un ensayo físico de un dispositivo disipador de energía metálico en las instalaciones del IMME. El ensayo físico de un disipador de energía de extrusión de plomo es similar al realizado por Carolina Tovar pero con ciertas modificaciones que serán descritas a continuación:

Este proceso se puede realizar a través de ensayos efectuados de modo cuasi estático, es decir con aplicación de cargas a velocidad constante y desplazamiento controlado con modificaciones en el desplazamiento. Este procedimiento es factible para los disipadores de energía dependiente de desplazamientos e independiente de la velocidad.

La evaluación experimental del dispositivo se podría efectuar en la nave de ensayos especiales del instituto de materiales y modelos experimentales de la facultad de ingeniería de la UCV.

Se programará un desplazamiento alternante en diente de sierra con velocidad constante de aproximadamente 0,02 mm/seg e incrementos de amplitud de la función de 2 mm por cada ciclo. Para llegar a estos valores se deben considerar ciertas recomendaciones como por ejemplo que un ensayo realizado con una baja frecuencia de muestreo y poca amplitud de desplazamiento no es apto para el desarrollo de la plastificación generalizada y tampoco es adecuado para determinar en forma precisa los valores de inicio de la plastificación. La resolución del transductor de desplazamiento debe ser capaz de registrar con detalle los cambios de relación fuerza-desplazamiento del disipador, se recomienda que sea menor que el 10 % del valor de desplazamiento de inicio de plastificación. El valor de

incremento de amplitud de 2 mm por ciclo puede escogerse en función de los resultados del modelo numérico predictor de comportamiento del disipador.

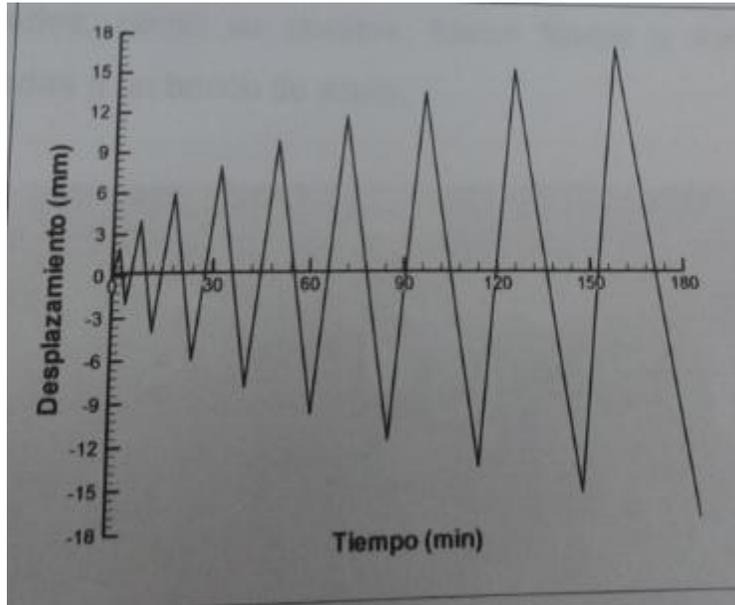


Figura 70. Evolución temporal del desplazamiento en el disipador. Fuente: Tovar, C. Utilización de disipadores de energía en edificaciones de baja altura (2008).

Para comenzar es recomendable realizar un ensayo de calibración que permita verificar que los valores escogidos para amplitud y velocidad de desplazamiento sean adecuados para mostrar con detalle el inicio del proceso de disipación de energía del dispositivo; esta calibración permitiría determinar el desplazamiento máximo según sea la geometría del disipador.

Una vez establecido que los parámetros de velocidad y amplitud de desplazamiento sean adecuados se estudiará en un segundo ensayo la estabilidad de los ciclos histeréticos tomando en cuenta el máximo desplazamiento determinado en la calibración previa y se repetirá el ciclo tantas veces como se desee según el mínimo requerido por las normas internacionales.

VIII.2.1 Equipo y procedimiento de ensayo

Los componentes fundamentales para llevar a cabo el ensayo del dissipador incluye dos gatos hidráulicos de 20 tonf de capacidad cuya colocación permita aplicar cargas al dissipador en ambas direcciones horizontales, estos gatos deben estar equipados con su correspondiente celda de presión y deben estar fijados y acoplados a un marco de reacción que puede ser un banco de acero mediante uniones atornilladas.

En segundo lugar se requiere de un sistema de alimentación y control de los actuadores en lazos cerrados que consta de dos computadoras y de un sistema de realimentación.

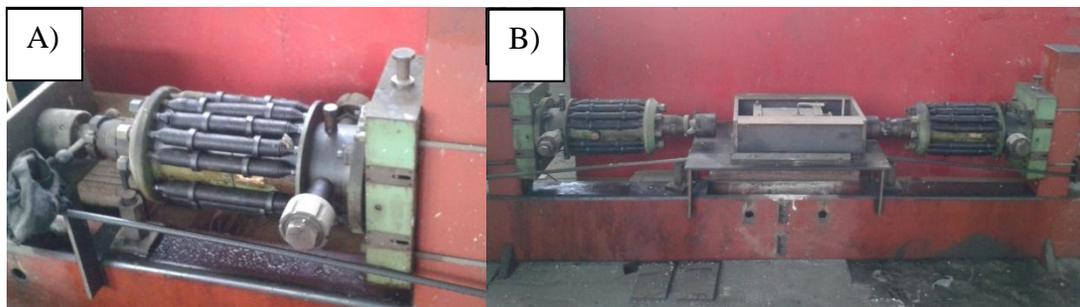


Figura 71. Fotografía tomada en las instalaciones del IMME. Montaje del ensayo realizado por Tovar, C en la tesis doctoral Titulada: Utilización de dissipadores de energía en edificaciones de baja altura. A) Gato hidráulico. B) Gatos hidráulicos acoplados a un banco de acero.

En tercer lugar es necesario activar el mecanismo de acción del dissipador, para ello se sugiere diseñar un artefacto que permita transmitir al dissipador las cargas aplicadas por los cabezales de los gatos hidráulicos. Esto se vería a través del desplazamiento horizontal de la pieza interna del dispositivo con la consecuente deformación del plomo por extrusión. En este sentido la ingeniero Carolina Tovar en su tesis doctoral construyó en el taller mecánico del IMME un artefacto especial con la misma función el cual consiste en una plancha de acero de $\frac{1}{2}$ “pulgada de espesor que hace las veces de mesa sobre el cual reposa el dissipador, a su vez a la pieza externa del dispositivo se le restringe el movimiento lateral con un marco de cabillas que lo circunda totalmente y que está soldado a la mesa. En este

sentido se sugiere mejorar las conexiones con cabillas soldadas, debido a que las cargas por aplicar en el disipador de plomo son mayores. Para impedir el movimiento vertical del disipador, en el ensayo de la Ing. Carolina, se utilizó una traba mecánica con barras roscadas y láminas de acero para mantener fijo a la mesa de apoyo, para el caso del dispositivo de extrusión de plomo se sugiere utilizar abrazaderas que sujeten el cilindro externo a la mesa de tal modo que se le restrinja el movimiento vertical y horizontal del mismo.

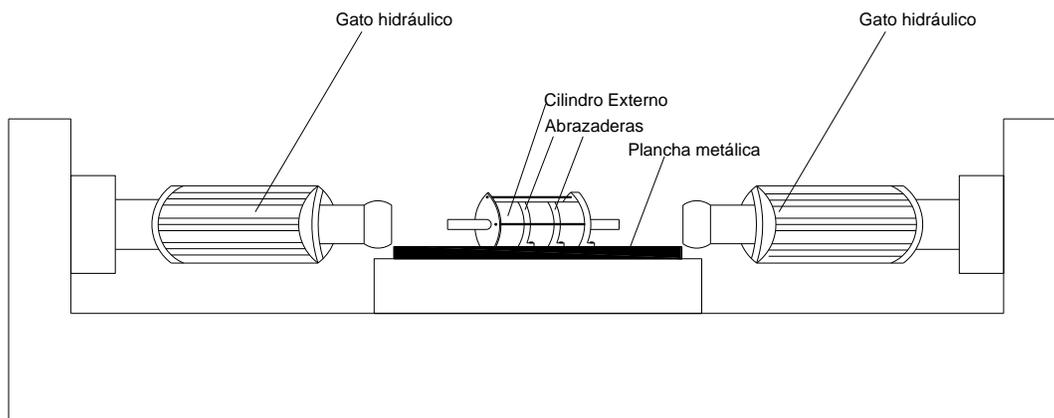


Figura 72. Esquema del montaje del ensayo físico de un disipador de energía por extrusión de plomo.

Fuente: Elaboración propia

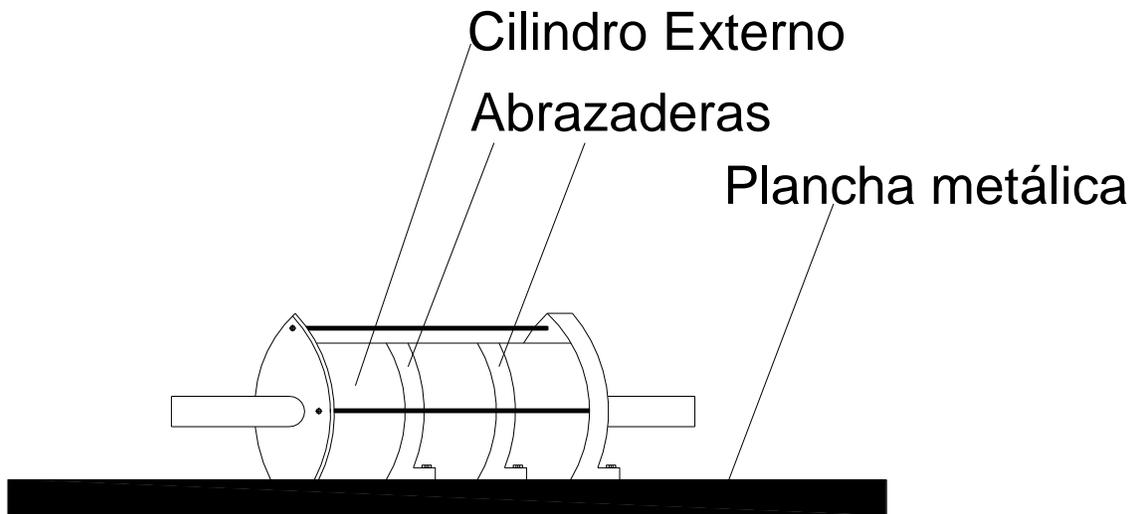


Figura 73. Detalle del dispositivo de extrusión de plomo a ensayar. Fuente: Elaboración propia

El disipador se debe ajustar a una altura adecuada para que el cabezal de los gatos aplique su carga en el centro de los pistones del disipador.

Por ultimo en la tesis doctoral se fabricó un marco metálico muy robusto, compuesto de láminas de espesor de 1 pulgada y perfiles H. Este marco tendría como función recibir directamente las cargas de los gatos, transmitir las al disipador y desatar su principio de acción. Para cumplir esta función sin desvirtuar el diseño del disipador, fue concebido como un elemento deslizante, su movimiento fue confinado a una sola dirección a través de unos ángulos soldados a la mesa y su vinculación a la misma se trató como un rodillo simple, para ello se apoya simplemente sobre cabillas de sección circular, lisas y calibradas. El marco fue articulado en una sola dirección a la cara frontal del disipador, única pieza en movimiento de este último, con la finalidad de que se transmitieran solo cargas axiales al disipador y no se produjeran flexiones u otro tipo de fenómenos indeseables. Para el caso del disipador de extrusión de plomo se puede fijar el marco al disipador articulándolo en una dirección para así transmitir solo cargas axiales a él

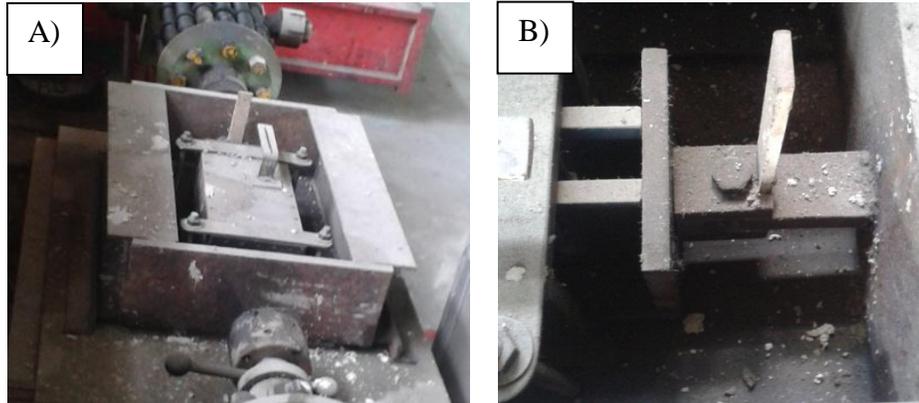


Figura 74. Fotografía tomada en las instalaciones del IMME. Montaje del ensayo realizado por Tovar, C en la tesis doctoral Titulada: Utilización de disipadores de energía en edificaciones de baja altura. A) Marco metálico. B) Conexión del marco metálico al dispositivo.

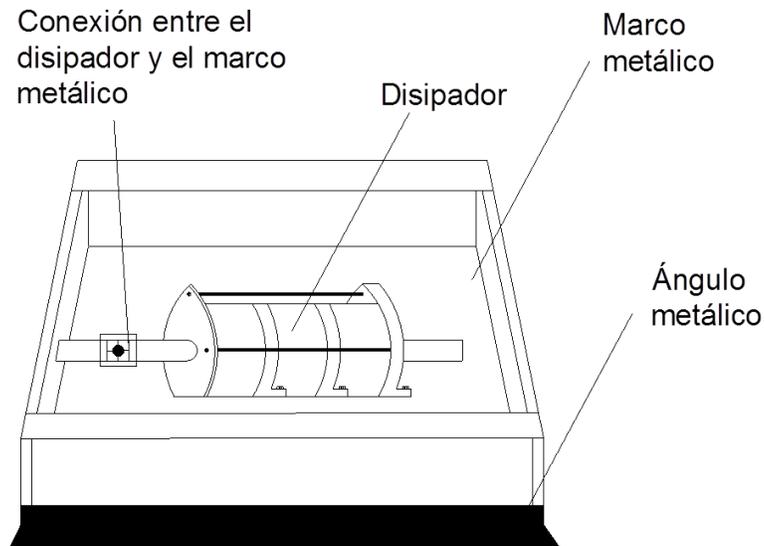


Figura 75. Esquema del dispositivo dentro del marco metálico. Fuente: Elaboración propia

Para garantizar el deslizamiento natural de las piezas involucradas y disminuir al máximo el coeficiente de roce se procede a lubricar con grasa cada una de las superficies de contacto, esto es, parte de inferior de la pieza interna y caja, cara inferior del marco metálico, cabillas, y mesa de apoyo. Con esta disposición física y espacial se aplica el programa de desplazamientos alternantes que se mencionó anteriormente.

VIII.2.2 Instrumentación

El disipador se instrumentará con un transductor de desplazamientos (LVDT) acoplado al sistema en la parte superior de la caja. Se colocará una barra especial en la conexión del marco metálico, de tal forma que el LVDT pueda medir el desplazamiento relativo entre el cilindro externo del disipador y el marco. La fuerza horizontal aplicada al marco metálico se puede medir a través de dos celdas de presión, el desplazamiento de los cabezales de los gatos se mantiene controlado a través de las mediciones del LVDT mediante el módulo electrónico de medida y control. La carga neta correspondiente a determinado desplazamiento se determina por la diferencia de la carga entre los dos gatos, puesto que ambos cabezales se mantienen en contacto permanente con el marco metálico.

CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

XI.1 Conclusiones

Haciendo énfasis en los resultados obtenidos en la realización de este estudio se concluye lo siguiente:

- 1.- El diseño, desarrollo e implementación de los disipadores de energía por extrusión de plomo es relativamente reciente y poco explorado en comparación a otras tecnologías como el aislamiento sísmico por lo que la información disponible es muy reducida y por consiguiente esta investigación abre nuevas posibilidades de investigación.
- 2.- Los dispositivos de disipación de energía por extrusión de plomo son una herramienta posible, factible, y eficiente en la protección de estructuras frente a sismos en Venezuela.
- 3.- Los disipadores de energía por extrusión de plomo pueden ser de tamaño reducido en relación a otros tipos de disipadores, pueden presentar fuerzas muy grandes siendo de poco tamaño y además son de fácil construcción. Debido al comportamiento estable del plomo, estos disipadores no degradan sus capacidades de disipación luego una actividad sísmica importante.
- 4.- El pretensado del plomo dentro del disipador es clave para mejorar su rendimiento y así aumentar la fuerza de amortiguación de extrusión en él.
- 5.- A medida que el área alrededor del bulbo o protuberancia es más pequeña, la fuerza de amortiguación de extrusión es más grande en el disipador.
- 6.- El dimensionamiento de los disipadores de extrusión de plomo es iterativo y depende de las fuerzas que experimenten ellos en las estructuras.

7.- La velocidad no tiene una influencia importante en la fuerza de los disipadores de extrusión de plomo debido a que el exponente de la velocidad, de acuerdo a resultados experimentales es muy pequeño, con valores entre 0,06 y 0,13.

8.- No se cuenta con una ecuación para calcular el coeficiente de amortiguamiento de los disipadores de extrusión de plomo, por lo que debe realizarse ensayos o asumir un valor del mismo para ser modelado.

9.- El programa Sap2000 es una gran herramienta para modelar disipadores de energía en estructuras debido a la gran cantidad de información que éste suministra.

10.- Hasta la fecha no existe en Venezuela una normativa propia que rijan la utilización de disipadores de energía por extrusión de plomo en edificaciones de concreto armado ni acero. En apoyo a este vacío, las Normas Internacionales, particularmente la norma ASCE 7-10 norteamericana sirve de base para el diseño, implementación y modelado de estos dispositivos.

11.- Los disipadores de extrusión de plomo reducen los desplazamientos, las derivas, las velocidades, las fuerzas axiales y de corte en las estructuras de concreto armado y acero en los casos estudiados. Mediante el uso de los dispositivos podemos controlar el nivel de daño y diseñar estructuras con niveles de desempeño más exigentes a los que típicamente contemplan las normas sismorresistentes.

12.- Para los modelos y solicitaciones considerados en este estudio, en las estructuras de acero la reducción de los valores de desplazamientos, derivas, velocidades, fuerzas axiales y de corte es relativamente mayores que en las estructuras de concreto armado.

13.- Al agregar amortiguamiento a la estructura mediante dispositivos de extrusión de plomo estamos agregando energía de disipación, al agregar esta energía reducimos directamente la energía de deformación inelástica que sufre la estructura, lo que se traduce en menos daño estructural, por lo que representan una opción atractiva para diseñar estructuras más confiables y seguras.

14.- Para los modelos y solicitaciones considerados en este estudio, la energía disipada por los disipadores de extrusión de plomo es mayor que la energía disipada mediante el amortiguamiento inherente de la estructura.

15.- Es factible realizar ensayos físicos de disipadores de extrusión de plomo en Venezuela.

XV.2 Recomendaciones

- 1.- Se puede proponer el uso de disipadores de extrusión de plomo a usarse en las estructuras de concreto armado y acero venezolanas que sean similares al tipo de estructura utilizada en este trabajo de investigación.
- 2.- Debido a que aún no existen normas venezolanas para el diseño o la utilización de disipadores de energía, se recomienda utilizar la norma Estadounidense ASCE 7-10 la cual cuenta con parámetros para diseñar estructuras con dispositivos de disipación de energía.
- 3.- Se recomienda realizar un modelado de los disipadores de extrusión de plomo ubicados en las intersecciones de las vigas y las columnas. Al igual que en las juntas de concreto armado.
- 4.- Esta investigación presenta un trabajo teórico, mas es necesario realizar ensayos de laboratorio en prototipos de estos dispositivos como lo exige la norma ASCE 7-10 a fin de obtener resultados experimentales y compararlos con los resultados teóricos obtenidos, por lo que se recomienda realizar el ensayo físico descrito en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Castro A. B, Soto, J. M. (2001), "Dispositivos para el control de vibraciones". Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2001/bmfcia958d/doc/bmfcia958d.pdf>. [Consulta: 2015, febrero].

Chopra A, 2014, "Dinámica de Estructuras", cuarta edición, Pearson Educación México.

C. Soydan, A. Gullu, O. E. Hepbostancı, E. Yuksel y E. Irtem, septiembre 2012."Desing of a Special Lead Extrusion Damper. Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal". Disponible en |http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_5092.pdf. [Consulta: 2015, julio].

Constantinou, MC. and Symans, MD. (1992). Experimental and Analytical Investigation of Seismic Response of Structures with Supplemental Fluid Viscous Dampers. Technical Report NCEER-92-0032. State University of New York at Buffalo. Department of Civil Engineering. Buffalo, New York.

Cousins, W. J., and Porritt, T. E. (1993). "Improvements to lead-extrusion damper technology." *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 26(3), 342-348.

Falk, P. Q. (2010), "Análisis del comportamiento de estructuras de acero provistas de disipadores de energía tipo Slotied Bolded Connection". Disponible en: <http://www.tesis.uchile.cl/handle/2250/103955>. [Consulta: 2015, abril].

Fondo para la Normalización y Certificación de calidad (2006) "Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural". Norma Venezolana FONDONORMA 1753:2006. Caracas.

FUNVISIS. (2002). La Investigación Sismológica en Venezuela. Caracas, Venezuela

Geoffrey W Rodgers, J Geoffrey Chase, John B Mander, Nicholas C Leach y Caleb S Denmead. (2007), "Experimental development, tradeoff analysis and design implementation of high force-to-volume damping technology". Disponible en: | http://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/10092/1798/1/12606223_EXPERIMENTAL%20DEVELOPMENT,%20TRADEOFF%20ANALYSIS%20AND%20DESIGN%20IMPLEMENTATION.pdf. [Consulta: 2015, febrero].

J. Chanchí, J.G. Chase, G.W. Rodgers, G.A. Macrae Y C.G. Clifton, septiembre 2012. "Velocity Effects on the Behaviour of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configuration. Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal". Disponible en: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_1930.pdf. [Consulta: 2015, enero].

Norma ASCE/ SEI 7-10. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures". United States.

Norma Venezolana COVENIN 1756:2001-1. Edificaciones Sismorresistentes, 1º revisión. Ministerio de infraestructura, FUNVISIS (2001, Marzo) Caracas, Venezuela.

Organización Panamericana de la Salud (OPS) de (2004). Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud [Libro en línea]. Área de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Socorro en Casos de Desastre. Segunda edición, revisada y corregida Serie Mitigación de Desastres. Disponible: www.paho.org/desastres [Consulta: 2015, abril].

Pearsons, C. E. and Parkins, R. N. (1960) "The Extrusion of Metals," 2nd Edition Revised, London: Chapman & Hall Ltd, pp. 201-221.

Pekcan, G, Mander, J.B, and Chen, S.S. "Fundamental Considerations for the Design of Non-linear Viscous Dampers," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 28, pp. 1405-1425, 1999.

Robinson, WH. and Greenbank, LR. (1976). Extrusion Energy Absorber Suitable for The Protection of Structures During an Earthquake. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 251-259.

Robinson, WH. and Cousins, WJ. (1987). Recent Developments in Lead Dampers for Base Isolation. *Pacific Conference On Earthquake Engineering*. Vol. 2. New Zealand.

Safina, S. (2009). Introducción al Control Estructural, Vulnerabilidad sísmica de estructuras. Seminario en Evaluación y Diseño Estructural (81190). Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Seleemah, AA. and Constantinou, MC. (1997). Investigation of Seismic Response of Buildings with Linear and Nonlinear Fluid Viscous Dampers. Technical Report NCEER-97-0004. State University of New York at Buffalo. Department of Civil Engineering. Buffalo, New York

Serrano, L., Palmieri, B. (2014). Propuesta de utilización de disipadores de energía en la construcción de estructuras de concreto armado en Venezuela. Tesis de grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

SIGWEB info@sigweb, "Disipación de energía" disponible en: <http://www.sigweb.cl/biblioteca/DisipacionEnergia.pdf>. [Consulta: diciembre 2014].

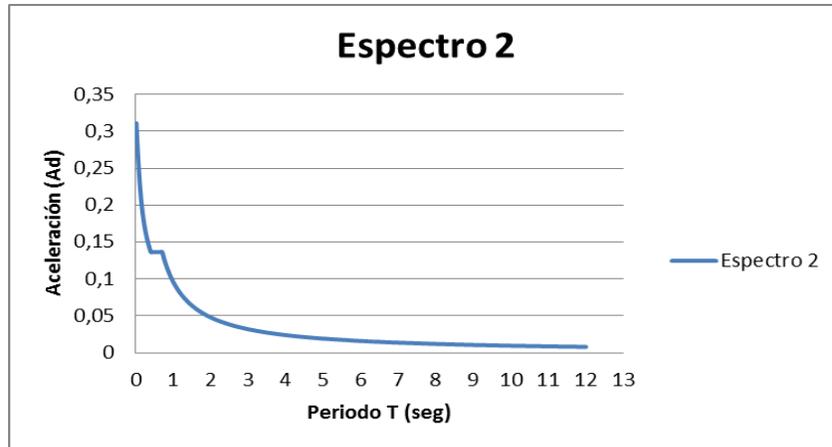
Tovar, C. (2008). Utilización de disipadores de energía en edificaciones de baja altura. Tesis doctoral, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Villarreal, G. Castro, M.Sc. Oviedo, R. Sarmiento. (2009), "Edificaciones con disipadores de energía". Disponible en: [<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20090720-Disipadores%20de%20energia.pdf>]. [Consulta: 2015, enero].

World press (2012) blog sobre estructuras [Curso Virtual]. Acelerograma y características. Disponible: <http://seismic06g.wordpress.com/2012/11/03/acelerogramas1/>. [Consulta: 2015, Junio].

APÉNDICES

Apéndice 1. Espectros de diseño de los modelo 2 y 3. Parámetros para el espectro de diseño de los modelos 2 y 3



Espectro de diseño del modelo 2

VALORES PARA EL ESPECTRO NORMATIVO DE DISEÑO 1756-2001

Resumen de Datos

Zona sísmica :	6
Forma Espectral (Tipo de Suelo) :	S2
Clasificación según el uso :	B2
Nivel de Diseño a utilizar :	3
Tipo de Estructura :	1
Tipo de Material :	Concreto Armado

Valores Normativos

Alfa :	1	T* :	0,4
Ri :	0,9	T* :	0,7
Ao :	0,35	To :	0,175
Beta :	2,6	R :	6

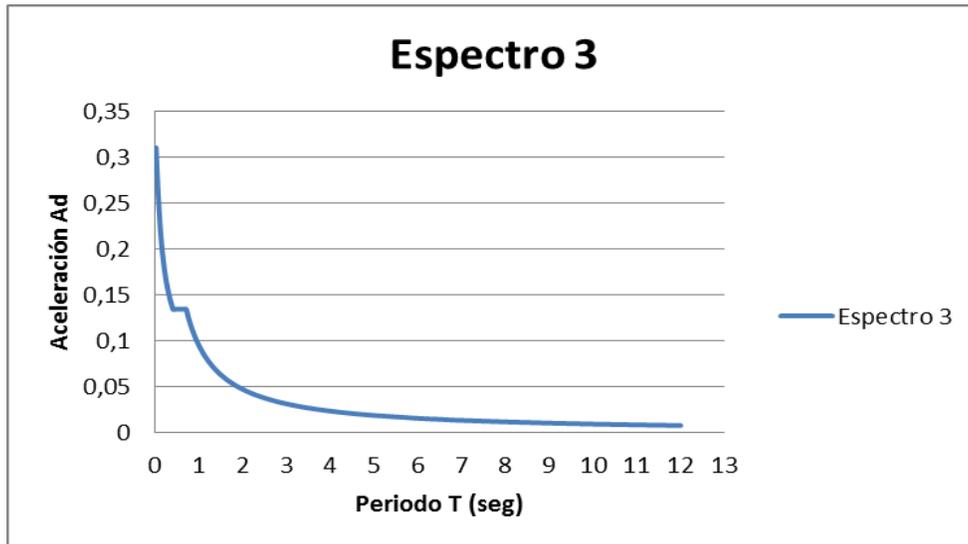
Desea modificar R? Si No

Salidas

Generar Espectro en archivo...
Generar Reporte en Excel

Aceptar

Parámetros del espectro de diseño para el modelo 2



Espectro de diseño del modelo 3

VALORES PARA EL ESPECTRO NORMATIVO DE DISEÑO 1756-2001

Resumen de Datos

Zona sísmica :

Forma Espectral (Tipo de Suelo) :

Clasificación según el uso :

Nivel de Diseño a utilizar :

Tipo de Estructura :

Tipo de Material :

Valores Normativos

Alfa : <input type="text" value="1.15"/>	T+ : <input type="text" value="0.4"/>
Ri : <input type="text" value="0.9"/>	T* : <input type="text" value="0.7"/>
Ao : <input type="text" value="0.3"/>	To : <input type="text" value="0.175"/>
Beta : <input type="text" value="2.6"/>	R : <input type="text" value="6"/>

Desea modificar R?

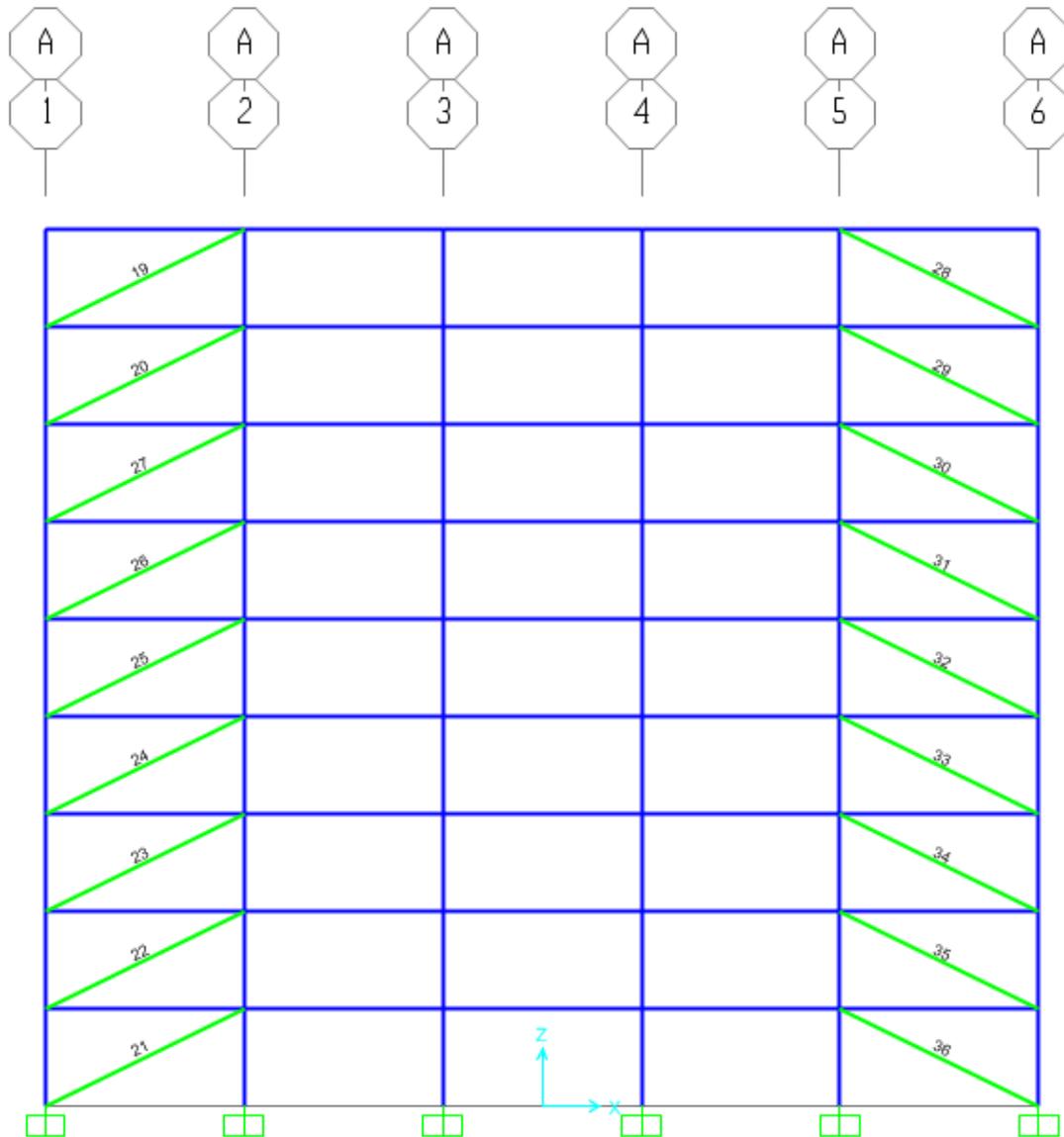
Si

No

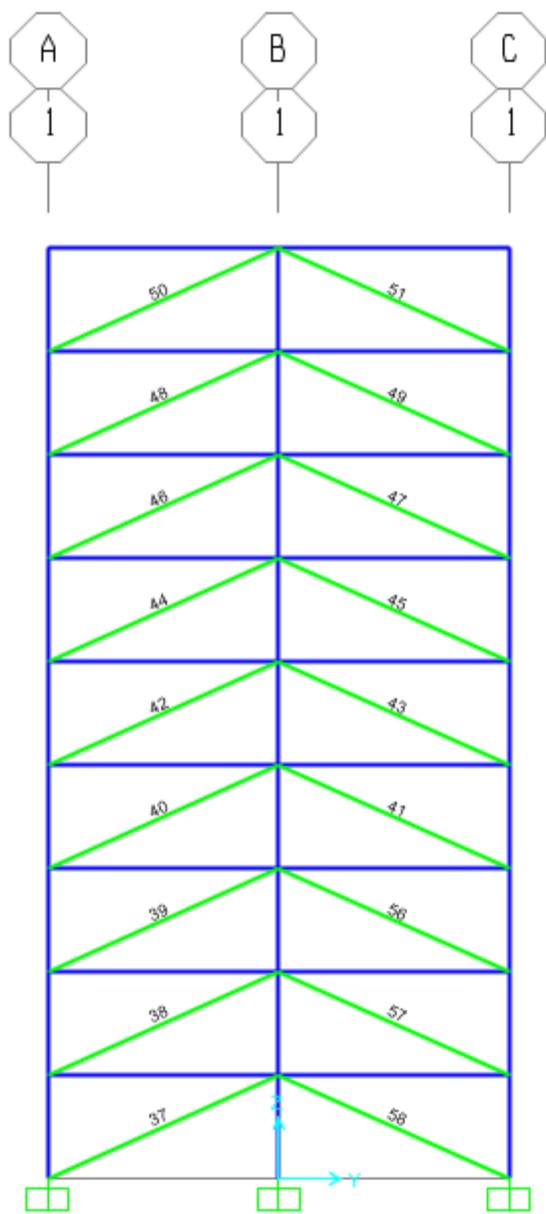
Salidas

Parámetros del espectro de diseño para el modelo 2

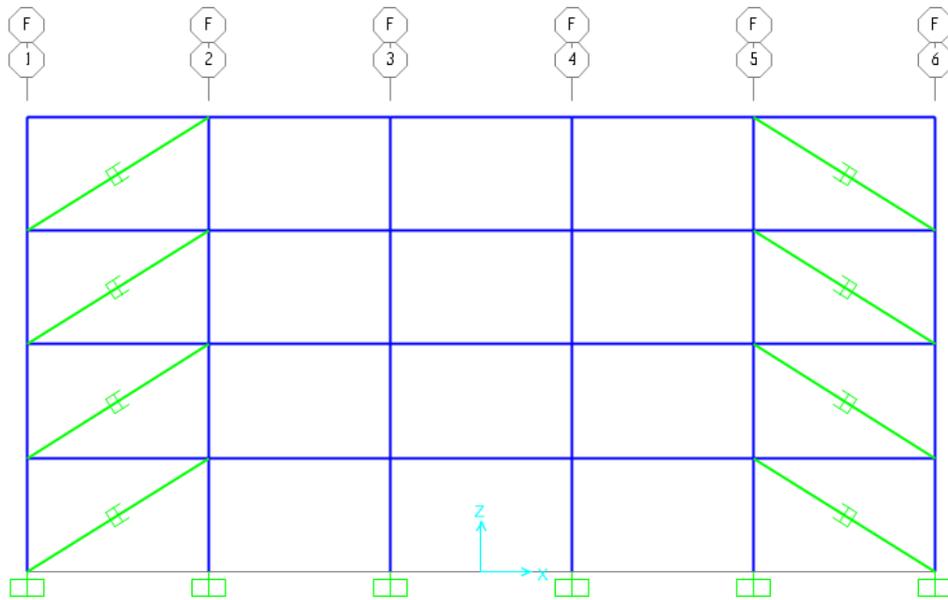
Apéndice 2. Ubicación de los disipadores de energía en los modelos 2 y 3



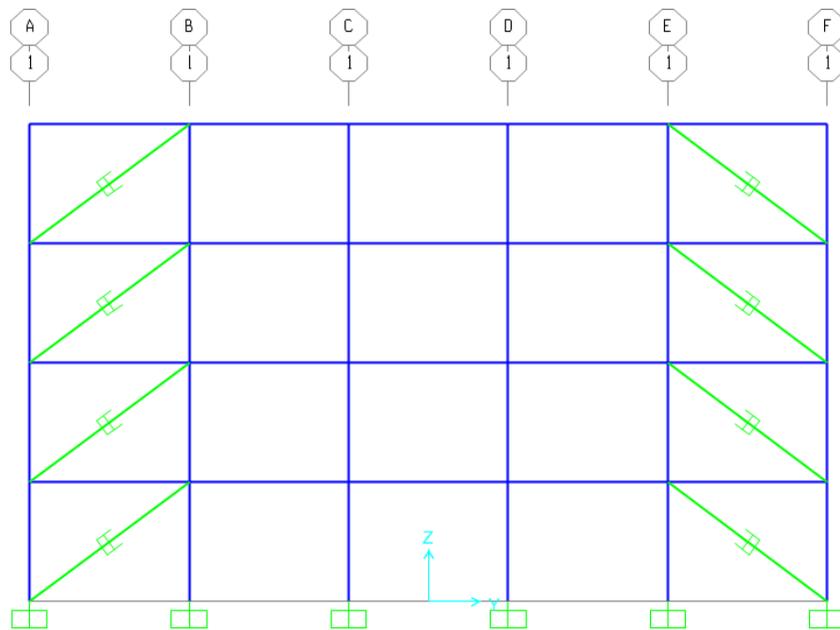
Pórtico A (dirección x) del modelo 2



Pórtico 1 (dirección Y) del modelo 2

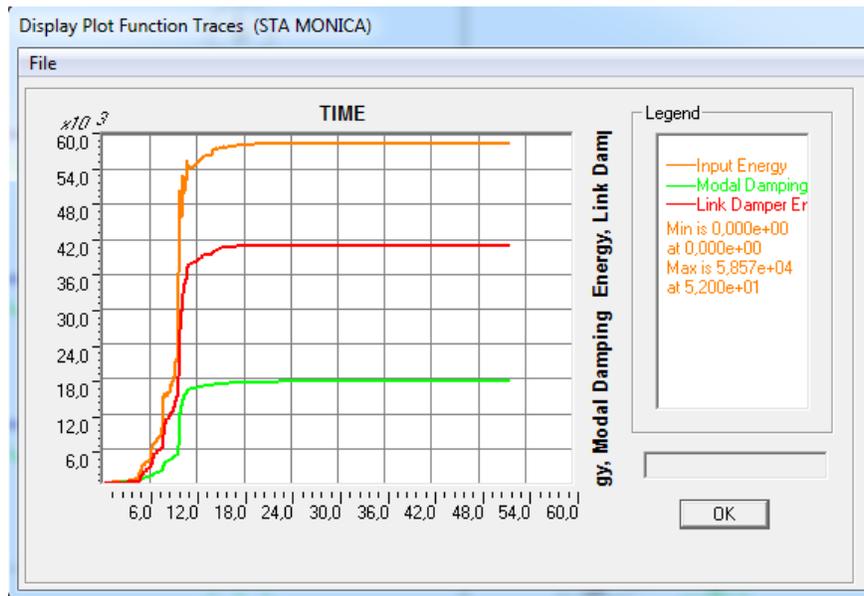


Pórtico F (dirección x) del modelo 3

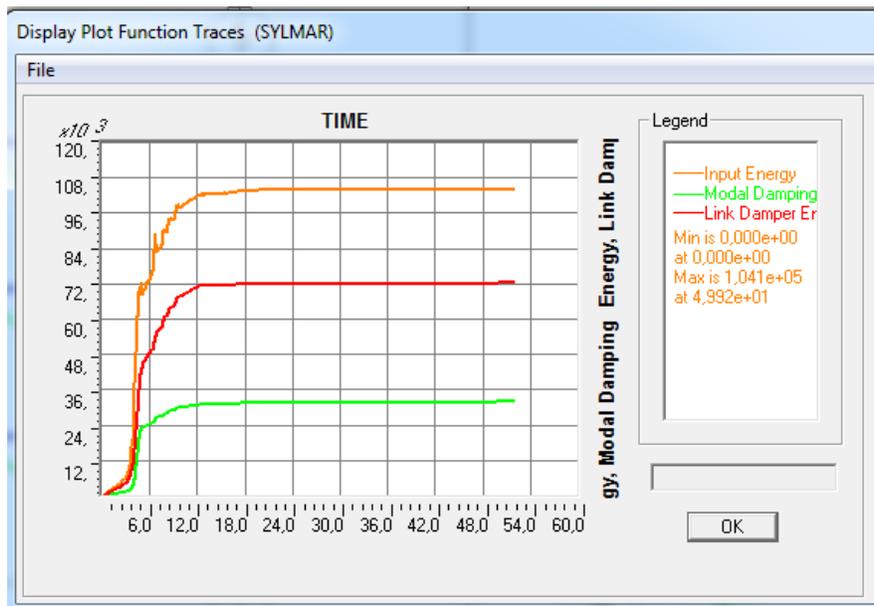


Pórtico 1 (dirección Y) del modelo 3

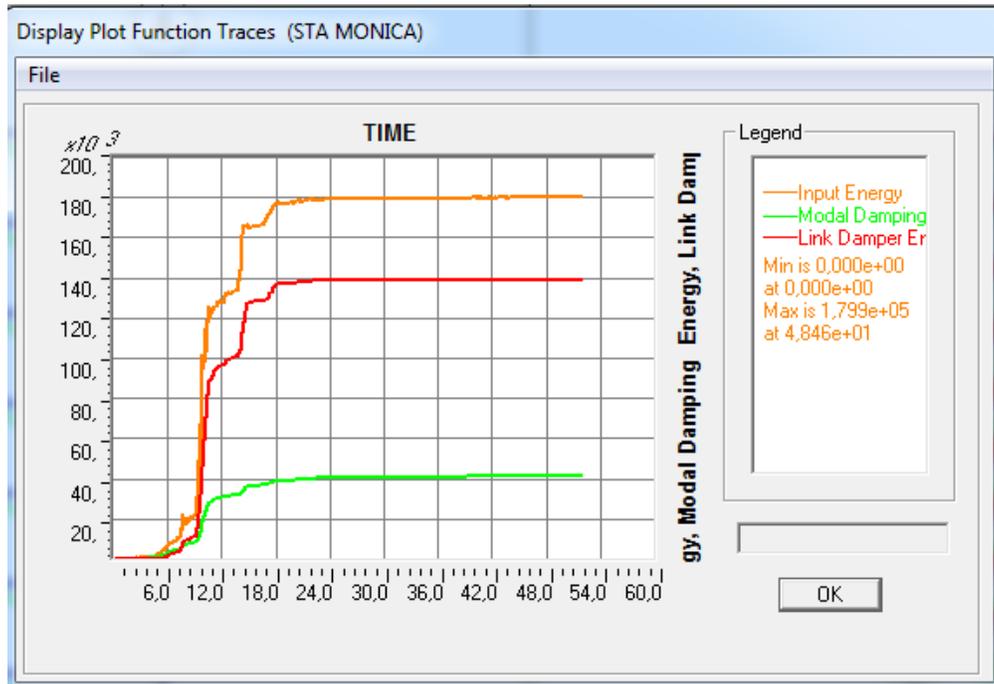
Apéndice 3. Energía de los modelos 1, 2 y 3 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo los sismos de Santa Mónica y Sylmar



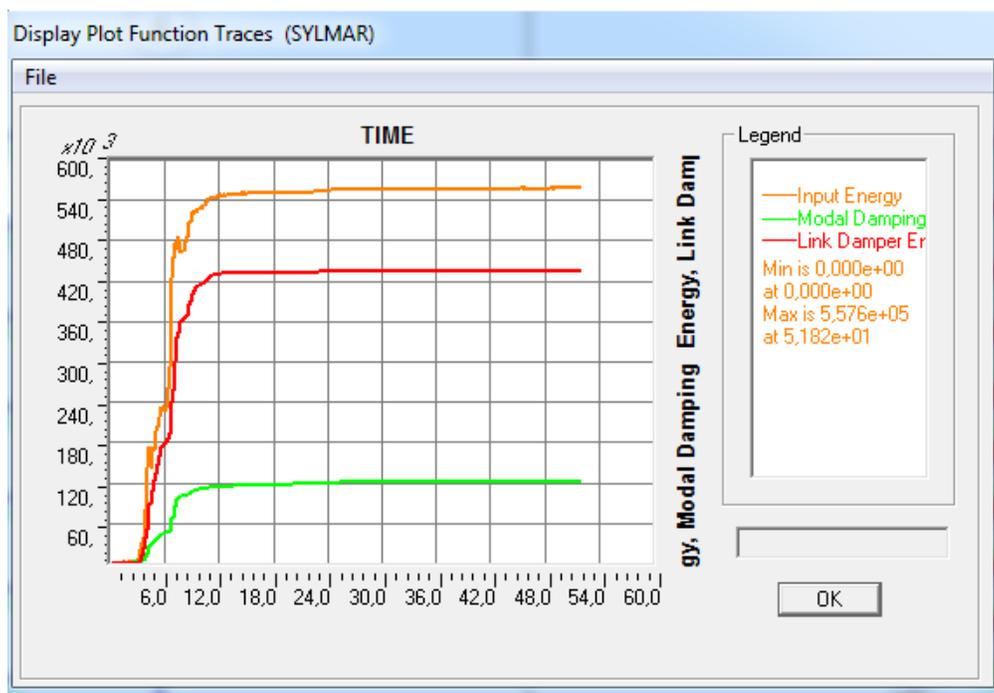
Energía del modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo de Santa Mónica.



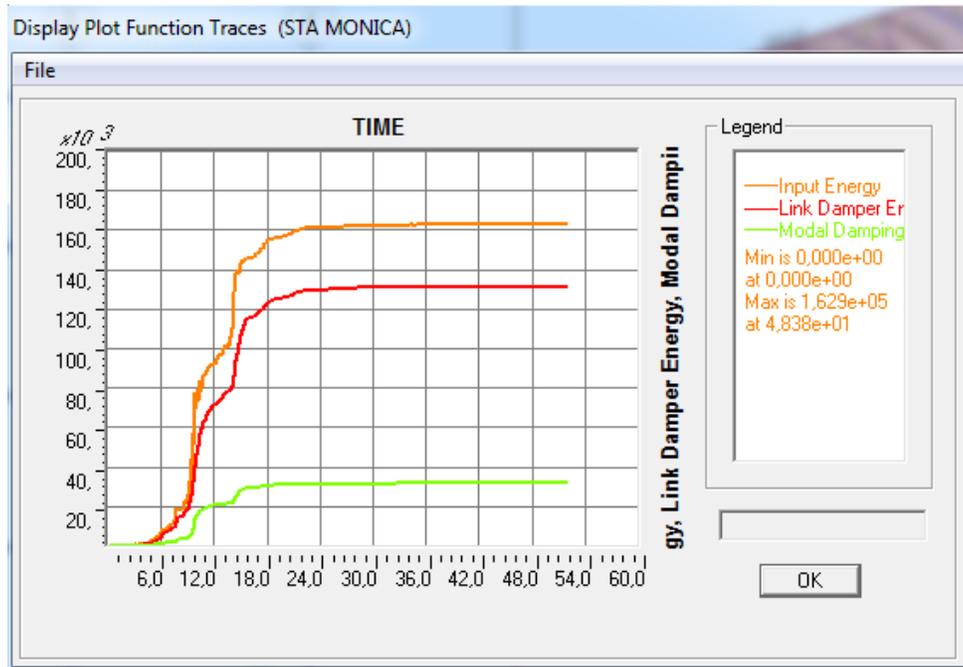
Energía del modelo 1 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo de Sylmar.



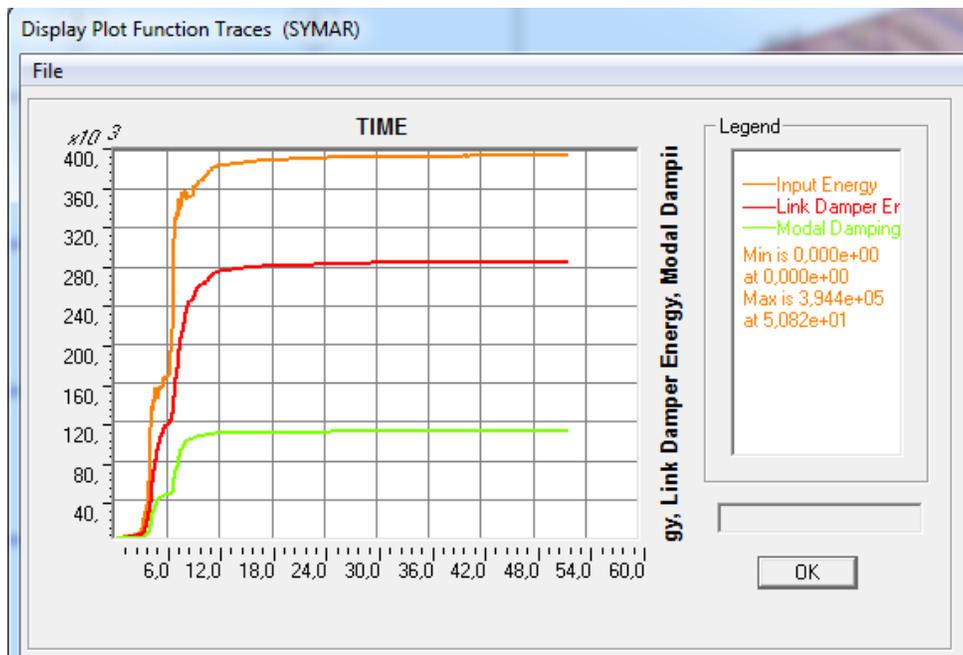
Energía del modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo de Santa Mónica.



Energía del modelo 2 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo de Sylmar.



Energía del modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo de Santa Monica.



Energía del modelo 3 con disipadores de extrusión de plomo para el sismo de Sylmar.