

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO EN VENEZUELA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Serrano, Leonardo

Palmieri, Blas

Para optar al título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2014

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO EN VENEZUELA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ricardo Bonilla

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Serrano, Leonardo

Palmieri, Blas

Para optar al título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2014

ACTA

El día 18 de junio 2014 se reunió el jurado formado por los profesores:

RICARDO Bouilla
OSCAR Lopez
Caroline tovar

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

**"PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN LA
CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETÒ ARMADO EN
VENEZUELA".**

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

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Palmieri Rios, Blas Daniel	20	veinte
Br. Serrano Fernández, Leonardo Augusto	20	veinte

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO



Caracas, 18 de 06 de 2014

DEDICATORIA

A mi madre, Reina Rios de Palmieri.

A mi padre, Blas A. Palmieri.

A mi hermana, Diana Palmieri.

Blas Palmieri

DEDICATORIA

A mi madre, Luisa V. de Serrano.
A mi padre, Leonardo M. Serrano.
A mi hermana, Carolina P. Serrano.

Leonardo Serrano

AGRADECIMIENTOS

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

Tutor

Ricardo Bonilla

Profesores y otros profesionales

Salvador Safina

Leonardo M. Serrano

Reina Rios

Colegas y amigos

Carolina Serrano

Leonardo Pérez

Rafael Pérez

Legna Manrique

Jennifer Mendoza

Miguel González

Darwin Guerrero

Serrano F. Leonardo A.

serranoleonardo@hotmail.com

Palmieri R. Blas D.

blasdaniel1988@hotmail.com

**PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN
LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO
ARMADO EN VENEZUELA**

Tutor Académico: Prof. Ricardo Bonilla

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

Escuela de Ingeniería Civil. 2014, 149 págs.

Palabras Clave: Disipadores de energía, control pasivo, ingeniería
sismorresistente, dinámica de estructuras

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 es 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 para una estructura no convencional de concreto armado que cumpla con los parámetros de sismorresistencia de la norma venezolana COVENIN 1756-2001. Ya que existen muchos disipadores de energía a nivel mundial, la investigación para seleccionar uno de ellos quedará limitada a los dispositivos presentados en el Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica llevado a cabo en el año 2012 en Lisboa-Portugal, para poder proponer la utilización de uno de ellos en la estructura antes mencionada. Al mismo tiempo se hizo una revisión de normas internacionales que proporcionaran parámetros de diseño de estructuras con disipadores. Entre los dispositivos revisados se eligió el disipador de fluido viscoso y se hizo un análisis tiempo-historia en el programa de cálculo SAP2000 de la estructura con el uso de los disipadores para luego comparar la respuesta de ella con los dispositivos y sin ellos. Los resultados obtenidos presentaron grandes reducciones de desplazamientos, derivas, velocidades y fuerzas en los elementos estructurales.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I.....	1
I.1. Planteamiento del problema.....	3
I.2. Objetivos.....	5
I.2.1. Objetivo general.....	5
I.2.2. Objetivos específicos.....	5
I.3. Antecedentes.....	6
I.4. Aportes	8
I.5. Alcance y limitaciones	9
CAPITULO II.....	10
II.1. Información conceptual fundamental.....	10
II.1.1. Control estructural	10
II.1.1.1. Control activo:.....	10
II.1.1.2. Control pasivo:	11
II.1.1.3. Control híbrido:	11
II.1.1.4. Sistemas de control pasivo de vibraciones	12
II.1.1.4.1. Aisladores	12
II.1.1.4.2. Dispositivos disipadores de energía.....	12
II.1.1.4.3. Dispositivos histeréticos.....	15
II.1.1.4.4. Dispositivos de fricción.....	16
II.1.1.4.5. Dispositivos por plastificación de metales	16
II.1.1.4.6. Dispositivos de fluido viscoso.....	17
II.1.1.4.7. Dispositivos viscoelásticos	17
II.1.2. Amortiguamiento y curvas de histéresis.....	18
II.2. Generalidades.....	20
II.2.1. Sismo	20
II.2.2. Acciones sísmica.....	21
II.2.3. Amenaza o peligro sísmico	21

II.2.4. Riesgo sísmico	21
II.2.5. Vulnerabilidad sísmica.....	21
II.2.6. Diseño sismorresistente	22
II.2.7. Derivas (desplazamiento relativo entre pisos).....	22
II.2.8. Acelerograma.	23
II.2.9. Aceleración máxima del suelo.....	24
II.2.10. Módulo de reacción o coeficiente de balasto	25
II.3. Antecedentes legales.....	25
CAPITULO III.....	27
III.1. Dimensionado de la estructura sismorresistente	27
III.2. Investigación de los trabajos presentados de dispositivos de disipación de energía en el congreso mundial de ingeniería sísmica del año 2012.....	27
III.3. Investigación de normas nacionales e internacionales respecto a control estructural mediante disipadores de energía	28
III.4. Elección de un dispositivo disipador y análisis de la estructura con el uso de este dispositivo.....	28
III.5. Análisis de resultados	28
CAPITULO IV.....	29
IV.1. Espectro de diseño.	29
IV.1.1. Zonificación sísmica	29
IV.1.2. Formas espectrales de los terrenos de fundación	30
IV.1.3. Clasificación de edificaciones según el uso, nivel de diseño, tipo y regularidad estructural	30
IV.1.4. Espectro de diseño.....	30
IV.2. Combinaciones de carga	32
IV.2.1. Valores de cargas:	34
IV.3. Información necesaria para el análisis estructural de la edificación de estudio.	35
IV.3.1. Descripción de la edificación.....	35
CAPITULO V.....	39

V.1. Disipadores por extrusión de metales	39
V.1.1. Efectos de la velocidad en el comportamiento de disipadores de plomo (HF2V) utilizando diversas configuraciones de ejes.....	39
V.2. Disipadores por fricción	46
V.2.1. Disipador de fricción multicapa.	46
V.2.2. Disipadores de gran capacidad para edificios y estructuras.....	51
V.2.3. Nuevo muro o pared de cortante de acero en un mecanismo de amortiguación incorporado (SSWAF).	59
V.3. Disipadores de fluido viscoso.	66
V.3.1. Disipador de fluido viscoso (FVD) para control de vibración de choque de estructuras.	67
V.3.2. Estudio del sistema de disipación de estabilizadores amortiguados para construcciones de gran altura.	70
V.4. Disipadores histeréticos	74
V.4.1. Amortiguador de histéresis multidireccional torsional (MTHD).	74
V.4.2. Arriostramientos duales resistentes a terremotos (ADCS).	79
V.5. Disipadores con sólidos viscoelásticos	81
V.5.1. Dispositivo cilíndrico con goma de alta amortiguación.	81
V.5.2. Comportamiento sísmico de un nuevo dispositivo visco plástico equipado con núcleos de acero y visco elástico sólido.	87
V.6. Disipador combinado	91
V.6.1. Dispositivo de hendidura combinados con amortiguadores viscosos.	91
CAPITULO VI.....	96
VI.1. Norma venezolana COVENIN 1756-2001 “edificaciones sismorresistentes”	96
VI.2. Norma chilena 2369-2003 “Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales”	96
VI.3. Norma ASCE 7-10 “Cargas de diseño mínimas para edificaciones y otras estructuras”	98
VI.3.1. Procedimiento no lineal	99
VI.3.1.1. Procedimiento respuesta-historia no lineal.....	99
VI.3.1.2. Modelaje de dispositivos amortiguadores.....	99

VI.3.1.3. Parámetros de respuesta	100
VI.3.2. Procedimiento de espectro de respuesta	100
VI.3.3. Inspección y revisión periódica	101
VI.4. FEMA 450 capítulo 15 “estructuras con sistemas de disipación”	101
CAPITULO VII.....	102
VII.1. Elección del dispositivo	102
VII.2. Colocación de los dispositivos.....	105
VII.3. Proceso de modelaje	105
VII.3.1. Terremoto de Loma Prieta:.....	106
VII.3.2. Terremoto de Imperial Valley:	107
VII.3.3. Terremoto de Sylmar:	107
CAPITULO VIII.....	109
VIII.1. Respuesta de la estructura sin disipadores de fluido viscoso.....	109
VIII.2. Respuesta de la estructura con el uso de los disipadores de fluido viscoso	111
VIII.3. Comparación de los resultados obtenidos entre la estructura con y sin disipadores de fluido viscoso	113
VIII.3.1. Desplazamientos del centro de masa del piso del módulo de la estructura	113
VIII.3.2. Velocidades del centro de masa del piso del módulo de la estructura	116
VIII.3.3. Fuerzas axiales en las columnas que soportan el módulo de la estructura.....	120
VIII.3.4. Fuerzas de corte en las columnas que soportan el módulo de la estructura	123
VIII.4. Energía absorbida por el sistema de disipación.....	127
CONCLUSIONES.....	129
RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFÍA	133
APÉNDICES.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Organigrama de Control estructural.....	11
Fig. 2. Organigrama de los Dispositivos disipadores de energía.....	15
Fig. 3. Respuesta Histerética típica de disipadores viscoelásticos y de fluido viscoso.	19
Fig. 4. Respuesta Histerética típica de dispositivos disipadores por plastificación metálica y de fricción.	20
Fig. 5. Espectro de diseño para la componente sísmica horizontal	32
Fig. 6. Modelo de estructura	35
Fig. 7. Corte transversal de columnas que soportan el módulo	36
Fig. 8. Piso del módulo A H=20m.....	37
Fig. 9. Corte transversal de columnas que soportan el techo del módulo	38
Fig. 10. Dispositivo HF2V	40
Fig. 11. Configuraciones del dispositivo HF2V en sistemas estructurales de acero.	41
Fig. 12. Configuración de prueba y régimen de desplazamiento típico.....	42
Fig. 13. Curvas de histéresis para dispositivos con hundimiento	42
Fig. 14. Curvas de histéresis para dispositivos con protuberancias.....	43
Fig. 15. Curva de fuerza vs velocidad en los dispositivos con hundimientos y de protuberancia.	44
Fig. 16. Curva dependiente de la velocidad para dispositivos con hundimientos.	45
Fig. 17. Curva dependiente de la velocidad para dispositivos con protuberancias.	45
Fig. 18. Composición y diseño del disipador por fricción.....	47
Fig. 19. Análisis mediante el software ANSYS	48
Fig. 20. Relación fuerza desplazamiento como resultado del análisis.....	49
Fig. 21. Fotografía del ensayo experimental.....	50
Fig. 22. Relaciones Fuerza- Desplazamiento	50
Fig. 23. Relacion Fuerza- Desplazamiento.....	51
Fig. 24. Fotografía del disipador por fricción de larga capacidad	52

Fig. 25. En 1) posición inicial, 2) amortiguador a tracción y en 3) amortiguador a compresión.....	53
Fig. 26. Comportamiento del dispositivo a causa de fuerzas sísmicas en un pórtico estructural.	54
Fig. 27. Instalación de un dispositivo de 2250 KN de capacidad en un pórtico estructural.	54
Fig. 28. Curva de histéresis para 30 y 45 mm de amplitud de desplazamiento.....	55
Fig. 29. Curva de histeresis con 45 mm de desplazamiento	56
Fig. 30. Curva de histeresis para el disipador de 2250 KN de capacidad con una amplitud de 30mm.....	57
Fig. 31. Curvas de histeresis con una amplitud de 40 mm de desplazamiento para el disipador de 1500kn de capacidad.....	57
Fig. 32. Curva dependiente de la velocidad para una amplitud de 20 mm	58
Fig. 33. Curva de histéresis para la prueba con grandes desplazamientos vs. valores teóricos.....	58
Fig. 34. Sistemas alternativos que se utilizan para estabilizar un pórtico típico de (SSWAF)	61
Fig. 35. Placas utilizadas en el segundo ensayo cíclico con las deformaciones graves y el desgarro.....	62
Fig. 36. Curva de histéresis para el primer espécimen de doble pared (C1) bajo cargas cíclicas.....	64
Fig. 37. Curva de histéresis para el segundo espécimen de doble pared (C2) bajo cargas cíclicas.....	64
Fig. 38. Curva de histéresis para el tercer espécimen de doble pared (C3) bajo cargas cíclicas.....	65
Fig. 39. Componentes del disipador FVD	67
Fig. 40. Esquema del orificio del orificio que componen al cabezal del pistón.	68
Fig. 41. Relación Fuerza -Velocidad para un FVD.....	69
Fig. 42. Fotografía sobre el modelo a escala ensayado.	71
Fig. 43. Relación Fuerza -Velocidad.....	72

Fig. 44. Fotografía sobre el dissipador (MTHD)	75
Fig. 45. Componentes y descripción del dissipador (MTHD)	76
Fig. 46. Comportamiento de endurecimiento.....	76
Fig. 47. Comportamiento de acuerdo al ajuste en la longitud del brazo.....	77
Fig. 48. Relación Fuerza- desplazamiento en el MTHD para diferentes índices de diseño de endurecimiento ($HI = F_{max} / AF$).	77
Fig. 49. Curvas de histéresis para el prototipo ensayado MTHD con diferentes acero: (a)S355J2+N, (b) C45, (c) 42CrMo4.	78
Fig. 50. ADCS con sólo el mecanismo de tensión refuerzo - amortiguador: (a) Pórtico de arriostamiento configuración, ADCS1; (b) Configuración de arriostamiento en pórtico y Chevron, ADCS2.....	80
Fig. 51. Modelo cinético: (a) ADCS1; (b) Configuración de arriostamiento en pórtico y Chevron, ADCS2.....	80
Fig. 52. Diseño, descripción y componentes del dispositivo.....	82
Fig. 53. Arreglo del dissipador en un pórtico diagonal.	83
Fig. 54. Disposición de los pórticos de madera	84
Fig. 55. Relación Fuerza-Desplazamiento.....	85
Fig. 56. Desplazamientos como respuesta del estudio.	86
Fig. 57. Aceleraciones como respuesta del estudio.	86
Fig. 58. Detalle de los componentes que conforman el dispositivo	88
Fig. 59. Implementación del dispositivo en una junta de acero	88
Fig. 60. Relación fuerza-desplazamiento para los núcleos de acero	90
Fig. 61. Curvas de fuerzas desplazamiento para dispositivos visco- plásticos con diferentes tipos :(a) $V=2\text{mm/s}$ (b) $V=4\text{mm/s}$ (c) $V=10\text{mm/s}$ (d) $V =20\text{ mm/s}$	90
Fig. 62. Curva de histéresis para el dispositivo visco- plásticos con una frecuencias 3HZ...	91
Fig. 63. Dispositivo de hendidura (Slit).....	92
Fig. 64. Equipo de acero equipado con dispositivos de acero y amortiguadores viscosos .	93
Fig. 65. Vista en planta del edificio utilizado para el Estudio.....	94

Fig. 66. Propiedades no lineales del dispositivo de fluido viscoso.....	103
Fig. 67. Ubicación de los dispositivos de fluido viscoso	105
Fig. 68. Acelerograma de Loma Prieta en ambas direcciones horizontales	106
Fig. 69. Acelerograma de Imperial Valley en ambas direcciones horizontales.....	107
Fig. 70. Acelerograma de Sylmar en ambas direcciones horizontales.....	108
Fig. 71. Centro de masa en el piso del módulo de la estructura.....	109
Fig. 72. Columnas 1 y 2 en las que se apoya el módulo de la estructura	110
Fig. 73. Desplazamiento en el eje X en la estructura sin disipadores para el sismo de Sylmar	113
Fig. 74. Desplazamiento en el eje X en la estructura con disipadores para el sismo de Sylmar	113
Fig. 75. Desplazamiento en el eje Y en la estructura sin disipadores para el sismo de Sylmar	114
Fig. 76. Desplazamiento en el eje Y en la estructura con disipadores para el sismo de Sylmar	114
Fig. 77. Desplazamientos comparativos entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo en el eje X.....	115
Fig. 78. Desplazamientos comparativos entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y	115
Fig. 79. Velocidad en el eje X en la estructura sin disipadores para el sismo de Sylmar ...	116
Fig. 80. Velocidad en el eje X en la estructura con disipadores para el sismo de Sylmar..	117
Fig. 81. Velocidad en el eje Y en la estructura sin disipadores para el sismo de Sylmar ...	117
Fig. 82. Velocidad en el eje Y en la estructura con disipadores para el sismo de Sylmar..	118
Fig. 83. comparativas entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo en el eje X	118
Fig. 84. Velocidades comparativas entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y	119
Fig. 85. Fuerza axial en la columna 1 en la estructura sin disipador para el sismo de Sylmar	120

Fig. 86. Fuerza axial en la columna 1 en la estructura con disipador para el sismo de Sylmar	120
Fig. 87. Fuerza axial en la columna 2 en la estructura sin disipador para el sismo de Sylmar.	121
Fig. 88. Fuerza axial en la columna 2 en la estructura con disipador para el sismo de Sylmar.	121
Fig. 89. Fuerzas axiales comparativas de la columna 1 entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo	122
Fig. 90. Fuerzas axiales comparativas de la columna 2 entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo	122
Fig. 91. Fuerza de corte en la columna 1 en la estructura sin disipador para el sismo de Sylmar.	123
Fig. 92. Fuerza de corte en la columna 1 en la estructura con disipador para el sismo de Sylmar.	124
Fig. 93. Fuerza de corte en la columna 2 en la estructura sin disipador para el sismo de Sylmar.	124
Fig. 94. Fuerza de corte en la columna 2 en la estructura con disipador para el sismo de Sylmar.	125
Fig. 95. Fuerzas de corte comparativas de la columna 1 entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo.	125
Fig. 96. Fuerzas de corte comparativas de la columna 2 entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo.	126
Fig. 97. Energía de la estructura con disipadores de fluido viscoso para el sismo de Sylmar	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades geométricas del H2FV.....	41
Tabla 2. Resumen de los resultados.....	49
Tabla 3. Especificaciones de varios tipos de especímenes	62
Tabla 4. Resultado de las pruebas llevadas a cabo con especímenes de doble pared con fricción y con aprietes de torque de 20 N.m.....	63
Tabla 5. Resultado de las pruebas llevadas a cabo con especímenes de doble pared.....	63
Tabla 6. Periodos Naturales y Radios de amortiguamiento.....	73
Tabla 7. Comparación de resultados para distintos sismo de PGA-0,6g	74
Tabla 8. Mediciones de fuerza máxima y coeficiente de amortiguación efectiva para diferentes tipos de aceros	78
Tabla 9. Especificaciones de la goma de alta amortiguación.....	82
Tabla 10. Especificaciones para los pórticos de madera.....	83
Tabla 11. Cálculo del coeficiente de rigidez para el dispositivo VPD.....	89
Tabla 12. Propiedades de MRF convencional y MRF con disipadores.....	95
Tabla 13. Propiedades del slit y del disipador viscoso	95
Tabla 14. Relación daño-deriva según el tipo de estructura.	104
Tabla 15. Desplazamientos y velocidades de la estructura sin disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos en el eje X.....	110
Tabla 16. Desplazamientos y velocidades de la estructura sin disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos en el eje Y.....	110
Tabla 17. Fuerzas axiales y de corte en la columna 1 de la estructura sin disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos.....	111
Tabla 18. Fuerzas axiales y de corte en la columna 2 de la estructura sin disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos.....	111
Tabla 19. Desplazamientos y velocidades de la estructura con disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos en el eje X.....	111
Tabla 20. Desplazamientos y velocidades de la estructura con disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos en el eje Y.....	112

Tabla 21. Fuerza axial y de corte en la columna 1 de la estructura con disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos.....	112
Tabla 22. Fuerza axial y de corte en la columna 2 de la estructura con disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos.....	112
Tabla 23. Porcentajes de reducción de desplazamientos en el eje X y Y.....	116
Tabla 24. Porcentajes de reducción de velocidades en el eje X y Y.....	119
Tabla 25. Porcentajes de reducción de fuerzas axiales para las columnas que soportan el módulo de la estructura	123
Tabla 26. Porcentajes de reducción de fuerzas de corte para las columnas que soportan el módulo de la estructura	126

CAPITULO 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.

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 y otros.

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.

Venezuela es un país con un elevado riesgo sísmico, aproximadamente el ochenta por ciento de la población venezolana habita en zonas de alta amenaza

sísmica 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. Para esto, fue necesario tomar una estructura particular de concreto armado y diseñar sus dimensiones en el programa de cálculo estructural SAP2000, utilizando la norma de edificaciones sismorresistentes de Venezuela. Al mismo tiempo se realizó la lectura de normas nacionales e internacionales que presenten parámetros para el diseño de estructuras con el uso de control estructural pasivo, entre las normas revisadas están la norma venezolana de estructuras sismorresistentes, la norma chilena y las normas de Estados Unidos.

Para la elección del disipador a utilizar, se realizó una revisión de los dispositivos disponibles en los trabajos de investigación del Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica del año 2012, llevado a cabo en Lisboa, Portugal, para así poder tener un catálogo de los disipadores más novedosos, es importante aclarar que de los trabajos revisados se tomaron los que disponían de mayor información acerca de los dispositivos, una vez seleccionados estos, se resumieron y se tradujeron al español.

Una vez seleccionado el dispositivo y conociendo los parámetros de diseño que exigen las normas, se procedió en el programa de cálculo estructural SAP2000 a colocar en la estructura 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

Venezuela es un país con un elevado riesgo sísmico, aproximadamente el ochenta por ciento (80%) de la población venezolana vive en zonas de alto riesgo. Para evitar la pérdida de vidas durante la ocurrencia de terremotos en el país, se construyen edificaciones sismorresistentes, las cuales son estructuras con capacidad para soportar las acciones que se originan por sismos intensos, sin embargo, el avance de la tecnología nos permite un mayor alcance mediante la utilización de ciertos dispositivos de control estructural de vibraciones, y gracias a estos avances, se pueden reducir en gran medida los daños que sufren las estructuras mediante el uso de una variedad de dispositivos que actúan reduciendo desplazamientos, velocidades y fuerzas internas, protegiendo así, tanto la estructura de su colapso total, como su contenido.

El control estructural se divide en diversas áreas, como lo son el control activo, el control pasivo y el híbrido, existiendo una gama muy variada de mecanismos y dispositivos. Dentro de estas áreas, llama mucho la atención el uso de control estructural 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.

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. En esta investigación se hará una revisión de los distintos tipos de dispositivos más novedosos, para luego seleccionar el que presente las mayores ventajas para su uso en Venezuela.

La elaboración y construcción de estos dispositivos cuentan con materiales variados; materiales que se pueden obtener en nuestro país y por lo tanto estos dispositivos podrían fabricarse, pero en Venezuela solo se han utilizado en casos puntuales, como el viaducto de Ocumare del Tuy y un edificio de viviendas en Barquisimeto. No existen normas nacionales para su aplicación, por lo que es un campo abierto a la investigación. Como no está normalizado el uso de estos dispositivos, en este trabajo de investigación será necesario apoyarse en normas internacionales, lo cual genera las siguientes interrogantes: ¿Las normas internacionales se pueden adaptar al contexto de nuestro país? ¿Cuál es el dispositivo pasivo de disipación de energía que presenta las mayores ventajas para su utilización en Venezuela? Una vez seleccionado y modelado el dispositivo en una estructura dada, ¿qué reducciones en los valores de desplazamientos, velocidades y fuerzas internas se obtienen?

I.2. Objetivos

I.2.1. Objetivo general

- Proponer el uso de un dispositivo de disipación de energía que pueda ser usado con ventajas técnicas en una estructura de concreto armado de aplicación en Venezuela, planteada como modelo.

I.2.2. Objetivos específicos

- Explorar la disponibilidad, los materiales de fabricación y facilidades de implementación de los dispositivos disipadores novedosos, para generar criterios de selección del disipador adecuado.
- Seleccionar entre los disipadores de energía más utilizados a nivel mundial, aquel que mejor satisfaga los criterios de selección pensando en su uso para las estructuras venezolanas.
- Aplicar las normas internacionales para estructuras con sistemas disipadores.
- Desarrollar un ejemplo de aplicación de una estructura con el dispositivo seleccionado, incluyendo su respectivo modelo matemático.
- Contrastar la respuesta dinámica de la estructura modelo con el uso de disipadores y sin ellos.

I.3. Antecedentes

En Venezuela el uso de disipadores de energía no ha sido desarrollado extensamente, se han usado en una edificación en Barquisimeto y en el viaducto de Ocumare del Tuy. En cuanto a los estudios realizados en cuanto a este tipo de tecnologías en Venezuela, existen múltiples trabajos de grado, entre los más relevantes están:

- La tesis doctoral de la Ing. Carolina Tovar, titulada “Utilización de disipadores de energía en edificaciones de baja altura” del año 2008, donde se evalúa el efecto de la posición, número y distribución de amortiguadores en la respuesta sísmica y propiedades dinámicas de edificios de baja altura.
- La ponencia de los Ing. C. Tovar; O.A. López y A.G. Tovar presentada en el VII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica llevada a cabo en Barquisimeto, Venezuela, en el año 2003, titulada “Efecto de la posición y número de amortiguadores en la respuesta de estructuras aporticadas” donde se evalúa el error que se comete al analizar la estructura en programas de cálculo comerciales suponiendo amortiguamiento clásico y el efecto que tiene la posición y número de amortiguadores en las propiedades dinámicas y en la respuesta sísmica de estructuras aporticadas.
- La ponencia de los Ing. C. Tovar y O.A. López y A.G. Tovar presentada en el VII Congreso de Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería y Ciencias Aplicadas llevada a cabo en San Cristóbal, Venezuela, en el año 2004 titulada “Error en el cálculo de la respuesta sísmica y propiedades dinámicas de estructuras aporticadas con amortiguamiento adicional”

- La ponencia de los Ing. J.A. Morón Piña y L. Gaschteff presentada en el VII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica llevada a cabo en Barquisimeto, Venezuela, en el año 2003, titulada “Experiencia en la instalación de disipadores pasivos de energía en una edificación para reducción de daños ante acciones sísmicas” donde se presenta la experiencia obtenida al colocar disipadores de energía en una estructura de 13 niveles en Barquisimeto, Venezuela, se presentan las hipótesis usadas en la selección de los dispositivos, las propiedades dinámicas del edificio, los modelos matemáticos utilizados, las dificultades de implantación de dispositivos y los resultados o bondades esperadas con estos disipadores.

I.4. Aportes

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.

Estos desarrollos serán de gran utilidad tanto para estructuras nuevas como existentes. Para las estructuras nuevas, puede conllevar un precio un poco más elevado pero se compensa con saber que la edificación no sufrirá grandes daños con eventos sísmicos, por lo que se asume que no será necesaria una rehabilitación de la misma luego de un terremoto.

En cuanto a las estructuras existentes, el desarrollo de dispositivos disipadores de energía, ampliará las posibilidades de adecuación de las mismas. Para ciertas tipologías estructurales, afectadas por sismos o no, la utilización de disipadores de energía supera a todos los sistemas tradicionales de rehabilitación estructural.

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, Chile, Estados Unidos, México, entre otros.

I.5. Alcance y limitaciones

El siguiente trabajo especial de grado, al tener un rango tan amplio de estudio y abarcar tanta información, 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 vista de que existe una gran cantidad de dispositivos de disipación de energía en el mercado, la extensión de la revisión de estos, está limitada al Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica del año 2012 llevado a cabo en Lisboa, Portugal, y según criterios de la utilidad y la cantidad de información presentada en estas ponencias, se realizará una selección de los trabajos a traducir y colocar en esta investigación.

Por último, al no existir la suficiente información en las normas venezolanas con respecto a la utilización de control estructural pasivo, es necesario buscar normativas internacionales, al existir una gran cantidad de estas y debido a la gran cantidad de información que presenta cada una de ellas, se realizará la revisión, solamente de las normas chilenas y estadounidenses.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Es de considerable valor manejar la fundamentación conceptual en base a los distintos estudios existentes, ya que la comprensión de estos 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. Información conceptual fundamental

II.1.1. Control estructural

El control estructural en términos generales se puede clasificar en tres categorías. Pasiva, activa e híbrido, Véase la figura 1 estas son las tres clasificaciones más utilizadas de los sistemas de control de vibración, ya sea como aislantes o absorbentes. Un sistema de control de vibración se dice que es activo, pasivo o Híbrido dependiendo de la cantidad de energía externa requerida para que el sistema de control de vibración lleve a cabo su función.

II.1.1.1. Control activo:

Se aplican fuerzas a la estructura de manera prescrita a través de actuadores alimentados por una fuente externa de energía. Las acciones inducidas por los actuadores vienen de un sistema de control central y dependen de la respuesta del sistema, medida continuamente a través de sensores (Se introduce energía al sistema)

II.1.1.2. Control pasivo:

Incorpora elementos que introducen fuerzas en correspondencias con la respuesta de la estructura. Generalmente orientados a promover la disipación pasiva de energía o bien el aislamiento estructural (No introduce energía al sistema)

II.1.1.3. Control híbrido:

Combinan las técnicas de control activo y pasivo de estructuras.

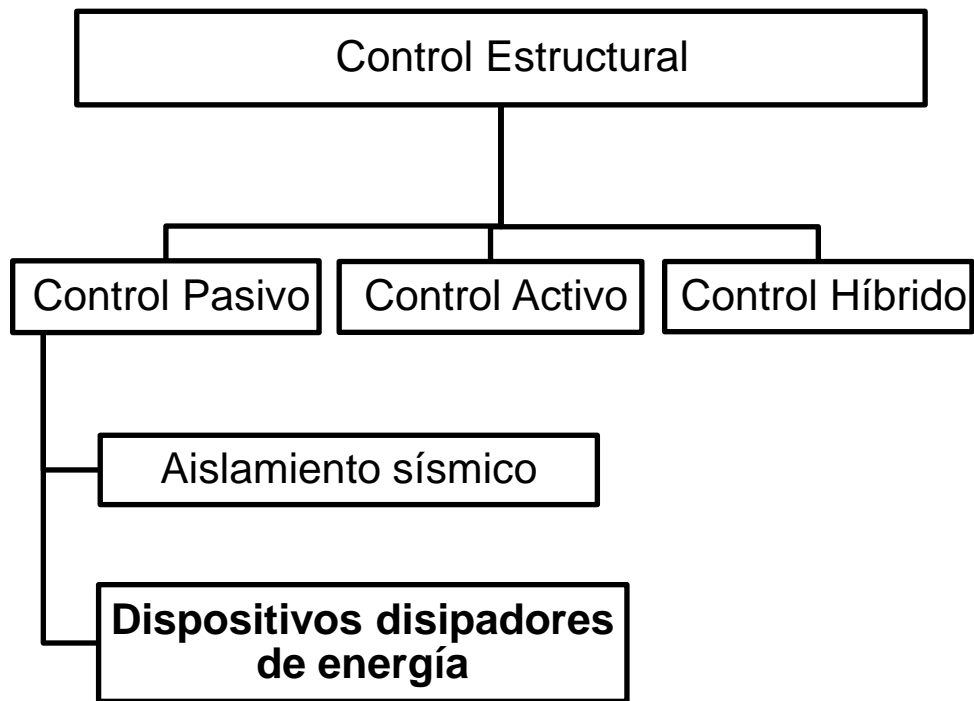


Fig. 1. Organigrama de Control estructural
Fuente: Elaboración Propia

II.1.1.4. Sistemas de control pasivo de vibraciones

II.1.1.4.1. Aisladores

Según los profesores Bonilla y Domínguez:

Son dispositivos especiales que en lugar de incrementar la capacidad resistente, reducen la demanda sísmica sobre la estructura. La ventaja del aislamiento frente a los sistemas tradicionales, es que estos últimos concentran importantes desplazamientos dentro de la estructura, afectando la integridad de otros componentes que no están habilitados para resistir deformaciones importantes, por otro lado, en las estructuras aisladas sus componentes internos son protegidos al concentrarse los desplazamientos en los aisladores, al tiempo que las fuerzas tienden a reducirse por la gran flexibilidad lateral incorporada a la estructura.” La Técnica de aislamiento de Base, aumenta la posibilidad de su uso en las regiones cercanas a fallas y esto exige investigaciones precisas. Los terremotos cercanos a la falla debido a movimientos de larga duración, tienen cada vez más efectos en las respuestas de las estructuras del aislamiento de base. Se ha demostrado que los registros cerca de la falla van a aumentar el desplazamiento de base, y crea la demanda de grandes aisladores.

II.1.1.4.2. Dispositivos disipadores de energía.

La disipación de energía se logra mediante la utilización de dispositivos especiales añadidos a una estructura sismorresistente, con el fin de reducir aceleraciones sísmicas que causan las deformaciones y esfuerzos sobre esta, esto se logra 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.

El desempeño estructural puede ser mejorado si una porción de la energía de entrada puede ser absorbida, no por la estructura misma, pero si por algún tipo

de dispositivo suplementario. Esto se muestra claramente en la relación de la conservación de la energía:

$$E = E_k + E_s + E_m + E_d \quad (2-1)$$

Dónde:

E - Energía de entrada del movimiento sísmico.

E_k - Energía cinética

E_s - Energía de deformación elástica recuperable

E_m - Energía disipada mediante el amortiguamiento inherente de la estructura

E_d - Energía disipada por el dispositivo de amortiguamiento suplementario

En el diseño convencional, el desempeño estructural aceptable está acompañado de la ocurrencia de deformaciones inelásticas. Este tiene el efecto directo de incrementar la energía E_h y también un efecto indirecto. La ocurrencia de deformaciones inelásticas resulta en el sistema estructural, el cual modifica el efecto de la energía de entrada. En efecto, el incremento de la flexibilidad y amortiguamiento actúa como un filtro, el cual refleja una porción de la energía de entrada sísmica. El resultado significativo es que tiende a reducir la aceleración y reduce las deformaciones en regiones alejadas de las rotulas plásticas.

Según los profesores Bonilla y Domínguez:

“Son mecanismos simples y efectivos de disipación de energía a través de la deformación de los metales o mediante la fricción de fluidos viscosos. La técnica de aplicación de disipadores de energía en edificaciones es de reciente desarrollo, los estudios se inician en Nueva Zelanda en 1972, siendo impulsados por el sismo de Kobe (Japón – 1995), como respuesta a los graves daños causados, y desde

entonces se han utilizado una amplia variedad de dispositivos, que en su mayoría utilizan la fluencia de placas de acero para disipar la energía.

Los dispositivos metálicos más conocidos son el ADAS (Added Damping And Stiffness) (Bergman y Goel, 1987; Whittaker, 1991), TADAS (Triangular Plates Added Damping And Stiffness, Tsai, 1993) y el sistema Honeycomb (Kobori, 1988; Kajima Corporation, 1991). Otro dispositivo es el arriostramiento de pandeo restringido, cuya marca comercial es Unbonded Brace (fabricado por la Corporación Japonesa de Acero), una variedad de estos dispositivos, con diversos materiales y geometría, han sido propuestos y estudiados extensamente a partir del terremoto de Kobe.

Los disipadores de energía aportan como beneficios la construcción de estructuras más seguras, provee una reducción de daños en la estructura principal, así como también la pérdida de vidas humanas; mantiene la estructura en funcionamiento y puede ser aplicado en nuevas edificaciones o en la rehabilitación de existentes.

El disipador de energía se diseña para formar parte de un sistema sismorresistente dual, formado por una estructura principal flexible aporricada, la cual soporta las acciones gravitatorias y por un sistema resistente a las acciones horizontales, el cual corresponde al proceso disipativo y del cual forman parte los disipadores de energía.” .Para tener un reflejo de las categorías existentes dentro de los dispositivos de disipación de energía vea la siguiente figura 2

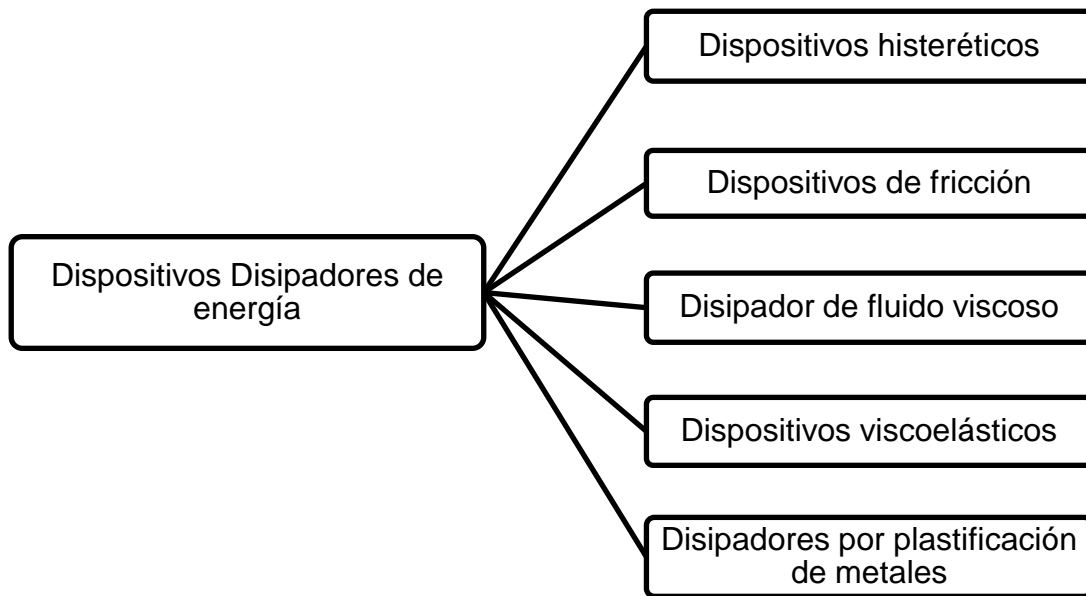


Fig. 2. Organigrama de los Dispositivos disipadores de energía
Fuente: Elaboración Propia.

II.1.1.4.3. Dispositivos hysteréticos

Estos utilizan el desplazamiento relativo de pisos que se generan 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 u otros metales, de sostener muchos ciclos del comportamiento de rendimiento hysterético

II.1.1.4.4. Dispositivos de 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.

II.1.1.4.5. Dispositivos 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.

II.1.1.4.6. Dispositivos de fluido viscoso

Un disipador de fluido viscoso es un dispositivo que disipa energía aplicando una fuerza resistiva a un desplazamiento finito. La fuerza de salida del disipador es resistiva y actúa en la dirección opuesta al movimiento de entrada. Debido a que el disipador se comporta de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos, el valor de la fuerza resistiva varía con respecto a la velocidad traslacional del disipador en cualquier punto en el tiempo.

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 como visco-elástico que son disipadores con un complejo resorte combinado con un amortiguamiento, inclusive en estos disipadores no fluidos se tienen elementos de fluencia, fricción, rótulas plásticas, ninguno de estos dispositivos tiene una respuesta fuera de fase debido a esfuerzos estructurales de flexión. Esto es simplemente porque estos dispositivos son dependientes de otros parámetros aparte de la velocidad. Los disipadores no fluidos disminuyen las deflexiones en la estructura, pero al mismo tiempo incrementan los esfuerzos en las columnas.

II.1.1.4.7. Dispositivos viscoelásticos

Los disipadores viscoelásticos, son dispositivos que han sido empleados con éxito, durante los últimos treinta años, para reducir la respuesta de edificios altos ante la acción del viento. De forma más reciente se ha estudiado su utilización con fines sismorresistentes. Los disipadores viscoelásticos sólidos

están formados con chapas metálicas unidas con capas finas de material viscoelástico y presentan unos ciclos histeréticos característicos elípticos

Su acción disipativa se basa en el aumento del amortiguamiento estructural.

Presentan algunas ventajas con relación a los disipadores histeréticos, tales como:

- No precisan de una fuerza umbral para disipar energía
- No cambian significativamente los periodos de vibración, con lo cual resulta posible linealizar el comportamiento estructural y realizar una modelación más sencilla.

Como inconvenientes de su uso y aplicación tenemos:

- 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 dispositivos.

II.1.2. Amortiguamiento y curvas de histéresis.

En materiales metálicos, la histéresis es el mecanismo de disipación de energía generado al imponer una deformación plástica al material durante ciclos de carga y descarga. Sabemos que los materiales, aleaciones y elementos estructurales no se comportan de una manera perfectamente elástica, ni siquiera frente a sollicitaciones pequeñas. La inelasticidad está siempre presente en los materiales bajo cualquier tipo e intensidad de cargas y lleva a la disipación de energía.

Los gráficos de carga cíclica contra deformación de todos los mecanismos de disipación de energía forman curvas de histéresis, ya que la energía es almacenada en un sistema solicitado por ciclos de carga, la curva de descarga pasa por debajo de la curva de carga. El área que queda definida por ambas curvas, área de curva de histéresis, es proporcional a la energía almacenada. Esta área representa la energía disipada por amortiguamiento. La energía almacenada internamente por un sistema, generalmente, se disipa en forma de calor, sin embargo, algunas veces una pequeña parte de la energía puede ser almacenada mediante cambios estructurales que elevan el nivel de energía del sistema.

En las siguientes figuras se pueden observar las respuestas histeréticas típicas de cada tipo de disipador, en la figura 3 encontramos las respuestas típicas de los disipadores viscoelástico y de fluido viscoso, mientras que en la figura 4, conseguimos la respuesta histerética típica de dispositivos disipadores por plastificación metálica y de fricción.

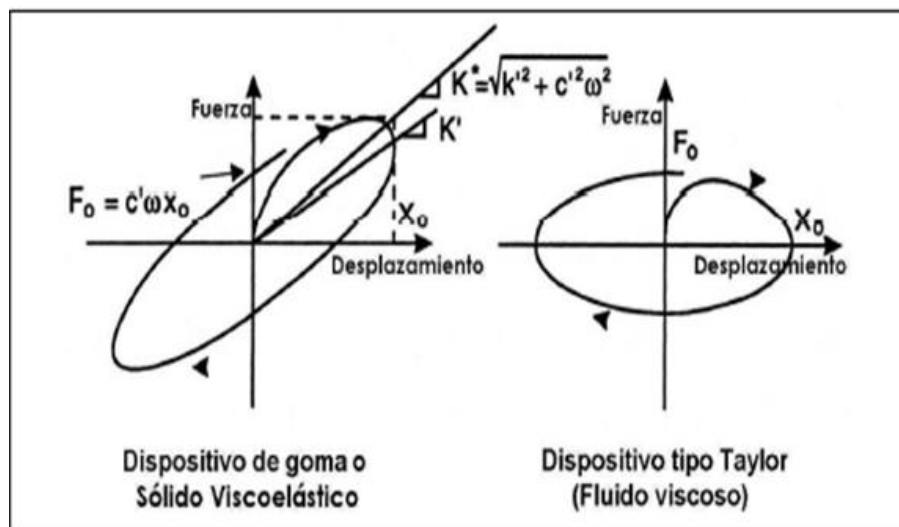


Fig. 3. Respuesta Histerética típica de disipadores viscoelásticos y de fluido viscoso.
 Fuente: Falk, P. Análisis del comportamiento de estructuras de acero provistas de disipadores de energía tipo "Slotted Bolted Connection")

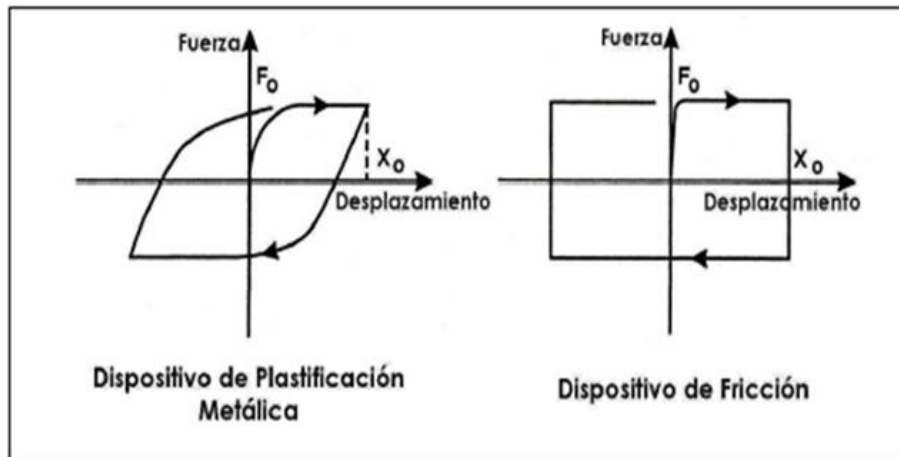


Fig. 4. Respuesta Histerética típica de dispositivos disipadores por plastificación metálica y de fricción.

Fuente: Falk, P. Análisis del comportamiento de estructuras de acero provistas de disipadores de energía tipo "Slotted Bolted Connection"

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.

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 la fuerte movimientos de tierra asociados con períodos más cortos y mayor gravedad.

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

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

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.

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 (Li y Li, 2008). 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.

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

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

$$\frac{\delta_i}{(h_i - h_{i-1})} \quad (2-3)$$

Donde:

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

Los valores límite, vienen dados por:

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

II.2.8. Acelerograma.

Es una serie temporal y cronológica de valores de aceleración que sean 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.

II.2.9. Aceleración máxima del suelo

Es obtenida directamente de un registro acelerográfico, constituye quizás el parámetro más frecuentemente asociado con la severidad del movimiento sísmico, sin embargo debe reconocerse que es un pobre parámetro para evaluar el daño potencial

Por ejemplo, un pico de aceleración puede estar asociado con un impulso de corta duración (de alta frecuencia) o con un impulso de larga duración (de baja frecuencia). En el primer caso, la mayor parte del impulso es absorbido por la inercia de la estructura con pequeñas deformaciones; sin embargo, una aceleración moderada en el segundo caso puede conducir a significativas deformaciones de la estructura. En este caso, se sugiere el uso de la máxima velocidad incremental y el máximo desplazamiento incremental. Numerosas investigaciones demuestran que otros parámetros asociados al movimiento como el contenido de frecuencias, la duración, la velocidad, el desplazamiento, la velocidad incremental, el desplazamiento incremental, etc., pueden tener mayores efectos sobre la respuesta estructural que la aceleración pico, particularmente en el rango inelástico.

II.2.10. Módulo de reacción o coeficiente de balasto

Se define como la relación entre la tensión capaz de generar una penetración de la placa en el terreno de 0,05" (pulgadas) que equivale a una deformación de 0,127 cm, es decir que este coeficiente es la pendiente de la recta que une el origen de coordenadas con el punto de la curva "tensión – deformación" que genera un asentamiento de la placa de 0,127 cm.

II.3. Antecedentes legales

Es importante mencionar la base Legal en relación al tema, son requisitos que tomaremos 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"*.

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.

CAPITULO III

MÉTODO Y ACTIVIDADES

En el año 2012 se realizó el Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica en Lisboa, Portugal, en el que se presentaron entre muchas cosas, los avances en dispositivos de disipación pasiva de energía.

En el siguiente trabajo especial de grado, se propondrá el uso de un dispositivo de disipación pasiva de energía elegido entre los presentados en el congreso de Lisboa y se modelará una estructura sismorresistente con el uso del mismo para probar sus propiedades.

Para alcanzar los objetivos planteados se realizaron las siguientes actividades como parte del método a seguir:

III.1. Dimensionado de la estructura sismorresistente

Se realizó un modelaje en el programa SAP2000 V15, de una estructura pendular la cual es un modelo de aplicación, con un análisis modal de tres grados de libertad, que soportará las combinaciones de cargas que establece la norma venezolana COVENIN 1756-2001 “Estructuras Sismorresistentes”

III.2. Investigación de los trabajos presentados de dispositivos de disipación de energía en el congreso mundial de ingeniería sísmica del año 2012

Se realizó una búsqueda de los dispositivos de disipación pasiva de energía entre los trabajos de investigación presentados en el congreso de ingeniería sísmica llevado a cabo en Lisboa, Portugal en el año 2012, se realizó una traducción y un resumen de los aspectos importantes presentados en algunos de estos trabajos de investigación.

III.3. Investigación de normas nacionales e internacionales respecto a control estructural mediante disipadores de energía

Como un tercer paso se realizó una revisión de las normas nacionales e internacionales en busca de parámetros para el diseño de estructuras con uso de dispositivos de disipación de energía, se revisó la norma venezolana COVENIN 1756-2001 “Estructuras Sismorresistentes”, la norma chilena NCh 2369-2003 “Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales” y la revisión y traducción de algunos aspectos de las normas estadounidenses ASCE 7-10 “Minimum design loads for buildings and other structures” en su capítulo 18 y FEMA450 en su capítulo 15 “Estructuras con sistemas de disipación”.

III.4. Elección de un dispositivo disipador y análisis de la estructura con el uso de este dispositivo

Entre los dispositivos vistos se elegirá el que presente las características más provechosas para efectos de esta investigación, se modelará junto a la estructura sismorresistente ya calculada en el programa SAP2000 V15, y se efectuará el análisis lineal-no lineal de ella como lo estipulen las normas.

III.5. Análisis de resultados

Por último se procederá 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.

CAPITULO IV

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA SISMORRESISTENTE

En el presente capítulo, para poder continuar con el estudio de los disipadores de energía, se realizó el dimensionado de un modelo práctico de estructura, la cual debe cumplir con los parámetros de diseño que estipula la norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes” y que será debidamente ampliado a continuación

IV.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”

IV.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.

El modelo de estructura de estudio está ubicado en Mérida, Municipio Libertador, por lo que según la tabla 4.2 “Zonificación Sísmica de Venezuela”, corresponde a una zona 5 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 $A_0=0.30$

IV.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 la estructura a estudiar se ha decidido utilizar una forma espectral S2, y utilizando la tabla 5.1 obtenemos un factor $\phi=0.9$

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

Según el uso de la estructura la vamos a clasificar como una estructura tipo B1 y según la tabla 6.1 tiene un factor de importancia $\alpha=1.15$ y según la tabla 6.2 requiere de un nivel de diseño ND3, y se clasifica como una estructura tipo IV ya que es una estructura pendular.

Con estos datos podemos ir a la tabla 6.4 para estructuras de concreto armado y hallar el factor de reducción de respuesta, el cual será igual a 2 ($R=2$).

La estructura de estudio posee una irregularidad en planta por riesgo torsional elevado, lo que según la norma en su artículo 6.4.1 exige que el factor de reducción de respuesta sea minorado multiplicándolo por 0,75. El valor a utilizar para el cálculo del espectro de diseño será $R=1,5$.

IV.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:

$$T < T^+ \quad Ad = \frac{\alpha\phi A_o \left[1 + \frac{T}{T^+} (\beta - 1) \right]}{1 + \left(\frac{T}{T^+} \right)^c (R - 1)} \quad (4-1)$$

$$T^+ \leq T \leq T^* \quad Ad = \frac{\alpha\phi\beta A_o}{R} \quad (4-2)$$

$$T > T^* \quad Ad = \frac{\alpha\phi\beta A_o}{R} \left(\frac{T^*}{T} \right)^p \quad (4-3)$$

Dónde:

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

α : Factor de importancia

A_o : Coeficiente de aceleración horizontal

ϕ : Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal

β : Factor de magnificación promedio

T_o : $0.25T^*$ Período 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 “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 para el factor de reducción de respuesta $R=1,5$. A continuación, en la figura 5 se presenta el espectro de diseño que se utilizó para el análisis de la estructura.

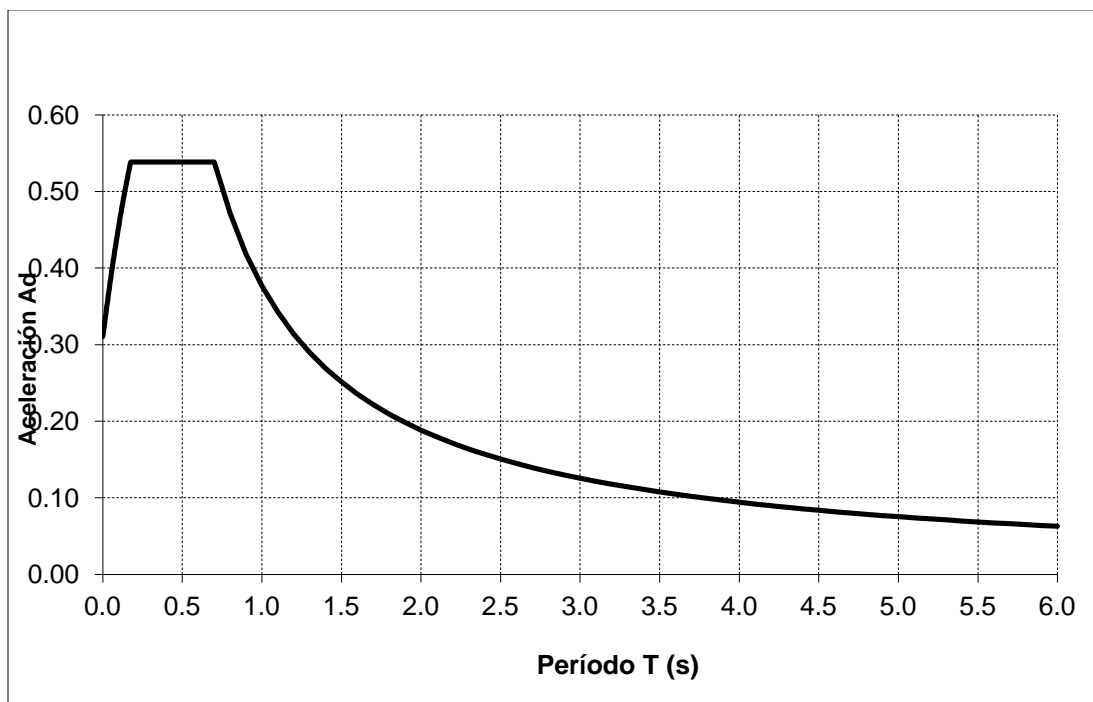


Fig. 5. Espectro de diseño para la componente sísmica horizontal
Fuente: Elaboración Propia

IV.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:

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

$$U = 1,2CP + 1,6CV + 0,5CVt \quad (4-5)$$

$$U = 1,2CP + \gamma CV \pm S \quad (4-6)$$

$$U = 0,9CP \pm S \quad (4-7)$$

El factor de combinación de solicitaciones γ debida a la acción variable en la combinación 3 será 1.

En las combinaciones 3 y 4, 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:

$$S = S_H \pm (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (4-8)$$

El artículo 8.6 de la norma venezolana 1756 ofrece tres criterios para combinar las solicitaciones 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 solicitaciones correspondientes a cada

dirección de análisis (S_X , S_Y). Entonces el valor de la componente horizontal del sismo (S_H) quedaría como:

$$S_H = \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} \quad (4-9)$$

Tomando en cuenta lo anterior expuesto, las combinaciones de carga utilizadas para hallar la demanda a la que será sometida la estructura, pueden ser expresadas de la siguiente manera:

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

$$U = 1,2CP + 1,6CV + 0,5CVt \quad (4-11)$$

$$U = 1,2CP + CV + \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} + (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (4-12)$$

$$U = 1,2CP + CV + \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} - (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (4-13)$$

$$U = 1,2CP + CV - \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} + (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (4-14)$$

$$U = 1,2CP + CV - \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} - (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (4-15)$$

$$U = 0,9CP + \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} + (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (4-16)$$

$$U = 0,9CP + \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} - (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (4-17)$$

$$U = 0,9CP - \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} + (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (4-18)$$

$$U = 0,9CP - \sqrt{S_X^2 + S_Y^2} - (0,2\alpha\phi\beta A_o CP) \quad (4-19)$$

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)

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

IV.3.1. Descripción de la edificación.

La estructura en estudio es un ejemplo práctico de aplicación proporcionada por el tutor académico, la estructura será utilizada como un andén. Este ejemplo de aplicación está conformado por una sola edificación de concreto armado conformado por un módulo soportado por dos columnas de 20 metros de longitud como se puede ver en la figura 6.

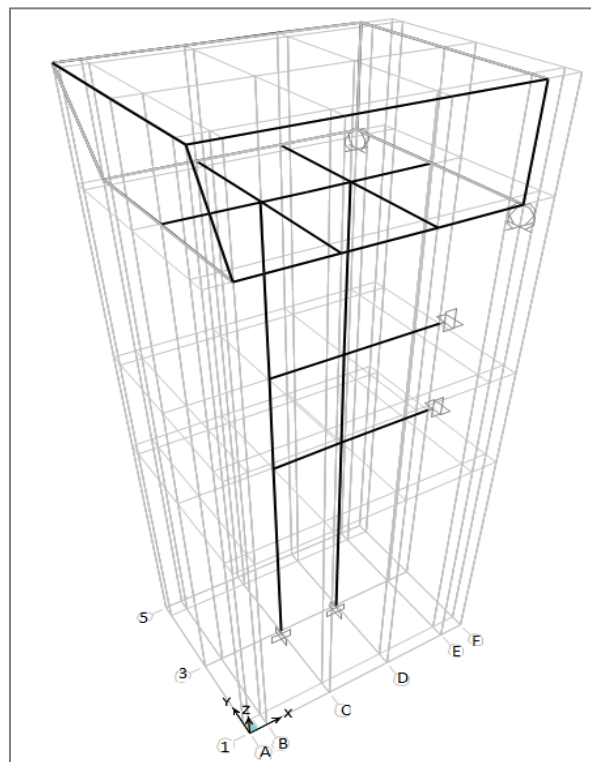


Fig. 6. Modelo de estructura
Fuente: Elaboración propia

Las columnas se separan 2,6 metros desde sus ejes, y van empotradas a una fundación de zapata combinada. Las dimensiones de estas columnas son 1,20m en la dirección del eje “Y” y 0,80m en la dirección del eje “X”, el acero longitudinal es acero número 8 (1”), 38 cabillas dispuestas como se muestra en el corte transversal en la figura 7 y su acero de confinamiento (estribos) es acero número 4 (1/2”) cada 10 cm. Al ser columnas esbeltas se colocan 2 vigas que las conectan a alturas de 10 y 14 metros, a su vez estas vigas se encuentran empotradas a una estructura en el eje F la cual para efectos de este trabajo de investigación no será tomada en cuenta para el cálculo. Las vigas tienen dimensiones de 0,80m de altura y 0,70m en la dirección del eje “Y”.

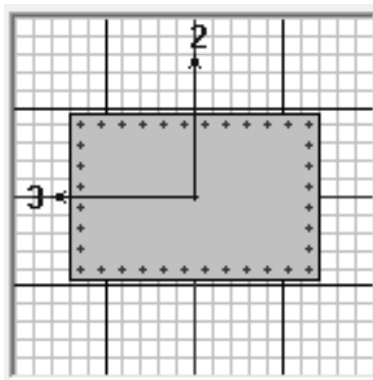


Fig. 7. Corte transversal de columnas que soportan el módulo
Fuente: Elaboración propia

El modulo superior es de una sola planta con dimensiones de 7,00 metros en la dirección del eje “Y” y una longitud de 7,80 metros en la dirección del eje “X” para el piso, el techo presenta 7,00 metros en la dirección del eje “Y” y 8,50 metros en la dirección del eje “X”, y una altura libre de entrepiso de 3.2 metros, y en su eje “E”, el piso se encuentra simplemente apoyado en la estructura a la cual esta adosada. El piso del andén posee vigas perimetrales y vigas internas de dimensiones 0,60mx0,50m en la figura 8 se puede ver la disposición, mientras que el techo esta soportado solo por vigas perimetrales de iguales dimensiones a las del piso. Las columnas que soportan las vigas de techo son columnas de 0,60m

en la dirección "X" y 0,55m en la dirección "Y" y las columnas que van del eje "A" al "B" poseen una inclinación de 11 grados. Al igual que las columnas que soportan el módulo, los refuerzos de acero longitudinal son aceros numero 8 (1"), con 16 cabillas dispuestas como se muestra en la figura 9 y el acero de confinamiento (estribos) es numero 4 (1/2") cada 10cm. Las losas de piso y de techo son losas macizas de 0,10m de espesor y los diafragmas se consideraron rígidos, a la losa de techo se le asignó una carga viva de 100Kg/m² y una sobrecarga permanente de 100Kg/m² y la losa de piso se le asignó una carga viva de 500Kg/m² y una sobrecarga permanente de 100Kg/m². En los vanos del eje "5" y el que se encuentra entre los ejes "A" y "B" se colocarán paredes de vidrio de 0.03m de espesor.

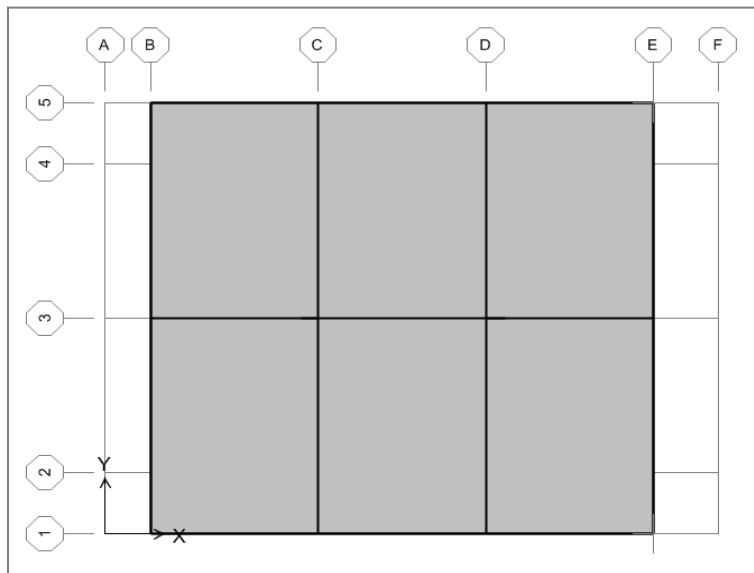


Fig. 8. Piso del módulo A H=20m
Fuente: Elaboración propia.

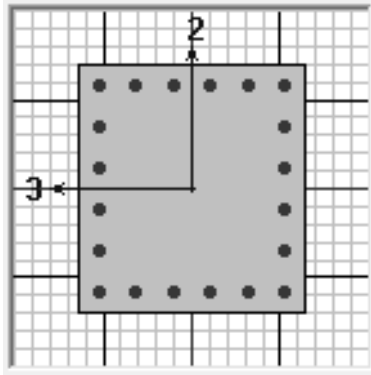


Fig. 9. Corte transversal de columnas que soportan el techo del módulo
Fuente: Elaboración propia

Mediante un análisis de superposición modal con 3 grados de libertad, realizado en el programa sap2000 V15, introduciendo todos los valores antes descritos y comprobando que el porcentaje de sumatoria de masas fuera mayor del 90% para cada dirección horizontal, se comprobó que la estructura resiste las combinaciones de carga propuestas para cargas gravitatorias y cargas sísmicas horizontales.

CAPITULO V

REVISIÓN DE LOS DISIPADORES DISPONIBLES

Se realizó una revisión de los últimos estudios desarrollados sobre disipadores de energía en el control estructural de carácter pasivo, para ello se hizo una exploración exhaustiva de los trabajos de investigación relacionados al tema, publicados en la conferencia mundial de ingeniería sísmica celebrada en Lisboa, Portugal en el año 2012. Entre los trabajos de investigación se eligieron los más relevantes y los que proporcionaban una información más detallada de los dispositivos de disipación de energía.

Basados en los siguientes trabajos de investigación, elegimos un disipador que posea las características más ventajosas según los criterios de economía, facilidad de implementación y disponibilidad de materiales.

V.1. Disipadores por extrusión de metales

La plastificación de metales en disipadores de energía sísmica se puede producir a partir del proceso de extrusión.

V.1.1. 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)

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 14(b)) o una protuberancia (figura 14 (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 14 muestra los componentes, montaje y la forma del ciclo de histéresis de un dispositivo HF2V con eje de hundimiento o abultado.

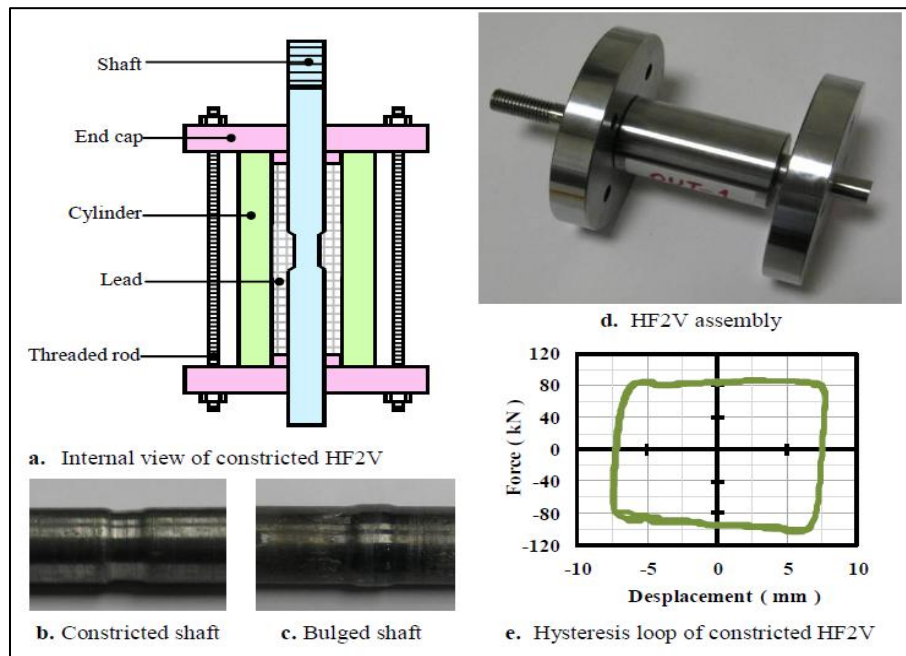


Fig. 10. Dispositivo HF2V

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 aperticados de acero sometidos a cargas sísmicas.

Existen configuraciones que se basan en colocar el dispositivo en vigas, ya sea por debajo de la brida inferior (según Mander. 2009). En este caso, el dispositivo desarrolla fuerzas de resistencia contra las rotaciones de la viga, también es posible colocar el dispositivo dentro de arriostramientos, el cual

desarrolla fuerzas de resistencia contra el alargamiento del arriostramiento (según Chanchi. 2011). En ambas configuraciones, 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 15 muestra las dos posibles configuraciones mencionadas de los dispositivos HF2V en sistemas estructurales de acero.

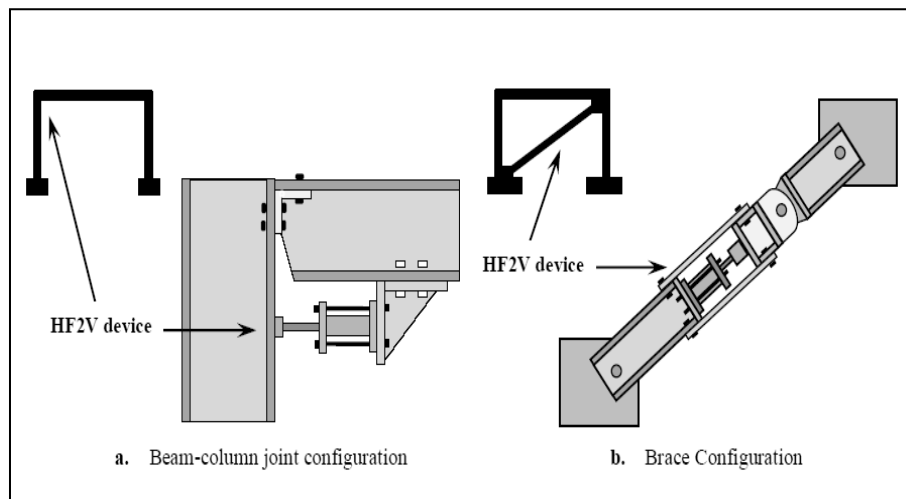


Fig. 11. Configuraciones del dispositivo HF2V en sistemas estructurales de acero.

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

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 2.

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

Tabla 1. Propiedades geométricas del H2FV

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

Ver la figura. 16 que presenta la configuración de prueba y el régimen de desplazamiento típico que se aplica en cada nivel de velocidad.

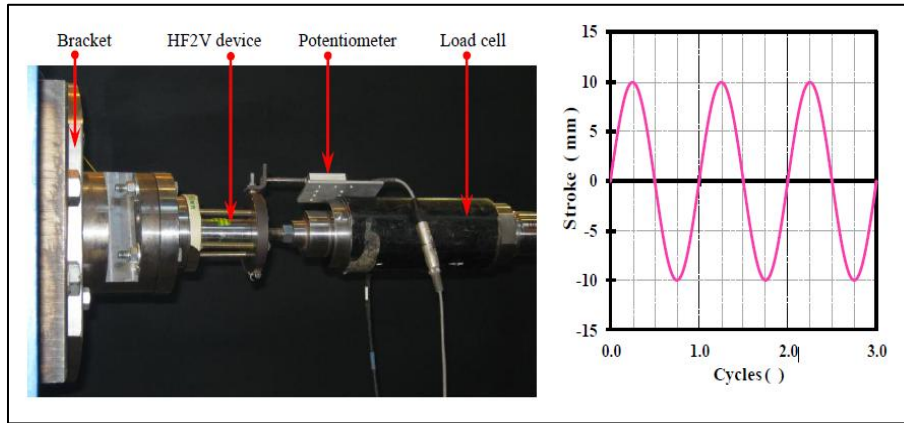


Fig. 12. Configuración de prueba y régimen de desplazamiento típico.

Fuente: C. Golondrino, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton. Velocity Effects on the Behaviors 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 17 y 18 muestran las formas de los bucles de histéresis de ambos tipos de dispositivos HF2V probados en niveles de velocidades altos y bajos.

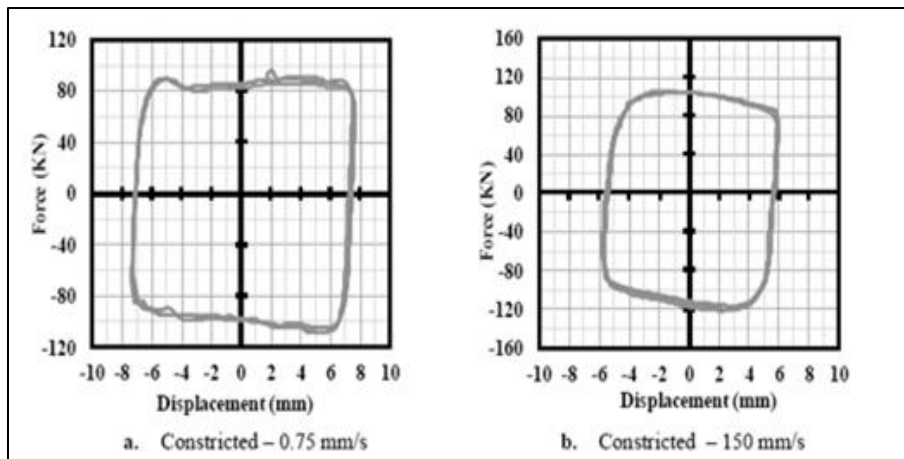


Fig. 13. Curvas de histéresis para dispositivos con hundimiento

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

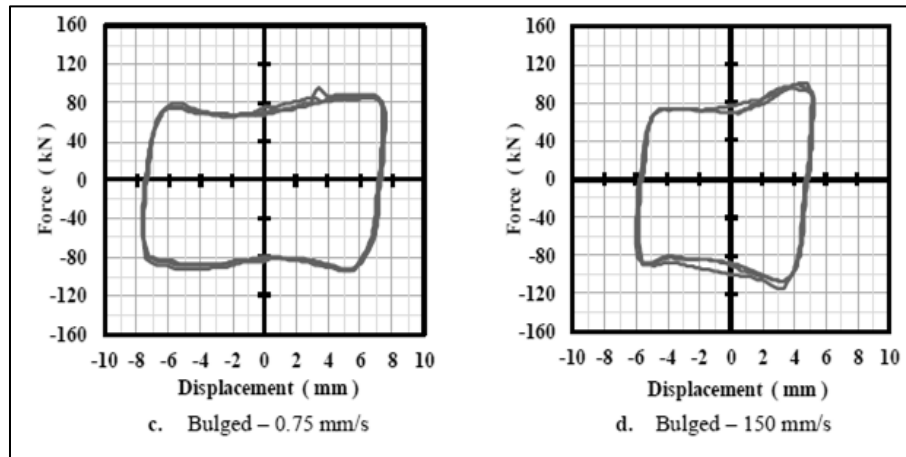


Fig. 14. Curvas de histéresis para dispositivos con protuberancias

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

- 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 19 muestra la variación de las fuerzas resistivas para dispositivos probados en el rango 0,15 a 190 mm/s.

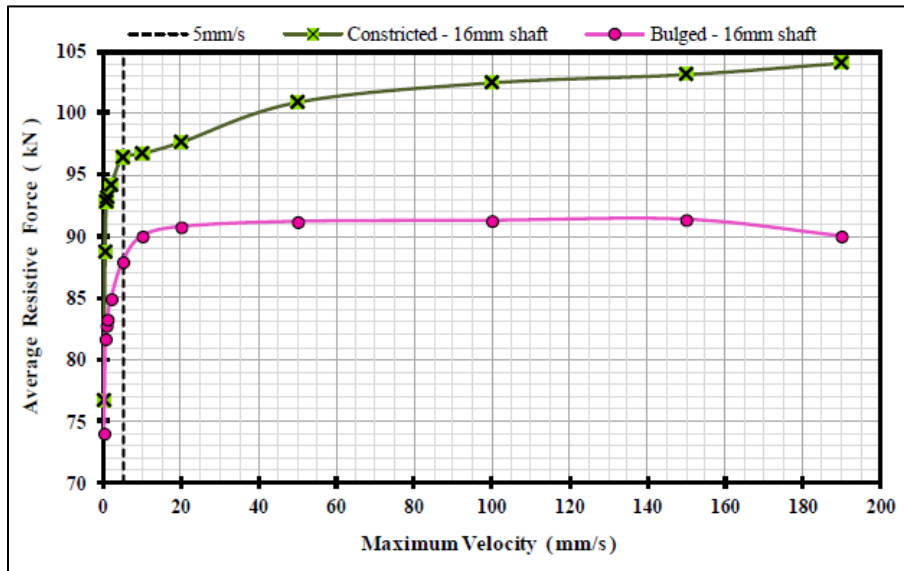


Fig. 15. Curva de fuerza vs velocidad en los dispositivos con hundimientos y de protuberancia. Fuente C. Golondrino, J. Chase, G. Rodgers, G. Macrae y C. Clifton. Velocity Effects on the Behaviors of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configurations (2011)

- 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 (formula 5-1)

$$F = CxV^\alpha \quad (5-1)$$

Las figuras 20 y 21 muestran a los modelos dependientes de la velocidad para configuraciones de eje con hundimiento y abombado.

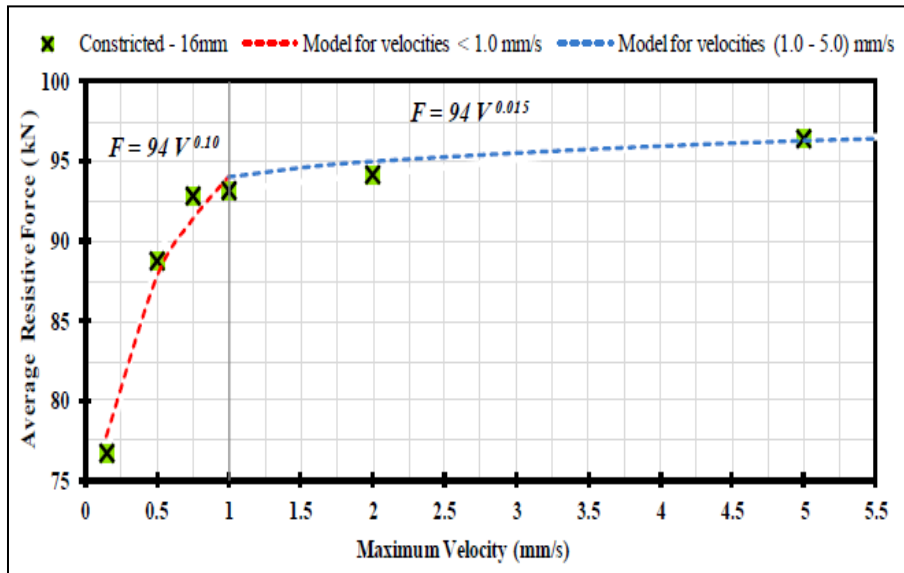


Fig. 16. Curva dependiente de la velocidad para dispositivos con hundimientos.

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

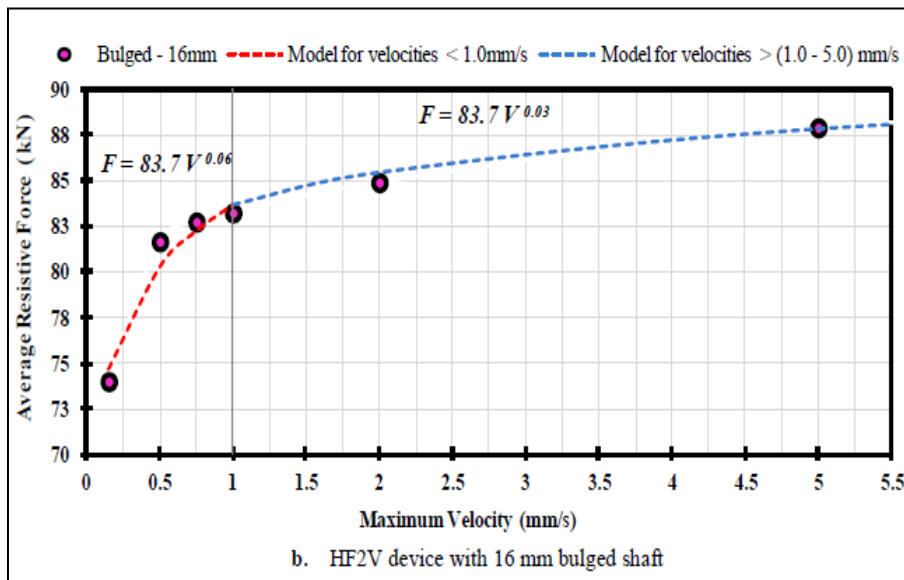


Fig. 17. Curva dependiente de la velocidad para dispositivos con protuberancias.

Fuente: Chanchi Golondrino, J.G. Chase, G.W. Rodgers, G.A. Macrae y C.G. Clifton. Velocity Effects on the Behaviors 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.

V.2. Disipadores por fricción

Los sistemas de disipación por fricción disipan energía basándose en el roce que ocurre entre dos superficies en contacto bajo presión y en su desplazamiento 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.

V.2.1. Disipador de fricción multicapa.

Autores: A. Stefancu, M. Budescu, F. Paulet-Crainiceanu y L. Guerreiro. Varios países.
(2012)

Diseño general y descripción del dispositivo

El dispositivo consta de dos elementos móviles y otros tres fijos. La disipación de energía por fricción se produce a lo largo de cuatro superficies, por lo tanto la tensión sobre las superficies de deslizamiento se logra por la fijación de una pastilla o disco de freno y la chapa de acero recubierta de zinc a través de pernos de alta tensión. Los elementos de unión se utilizan para asegurar un desplazamiento sincronizado de los elementos móviles (La composición del disipador se presenta en la figura 22). El comportamiento de disipación del dispositivo viene dado por la interacción entre las partes móviles y las fijas. Esta interacción, en términos de energía disipada, es mejor descrita por el coeficiente de fricción.

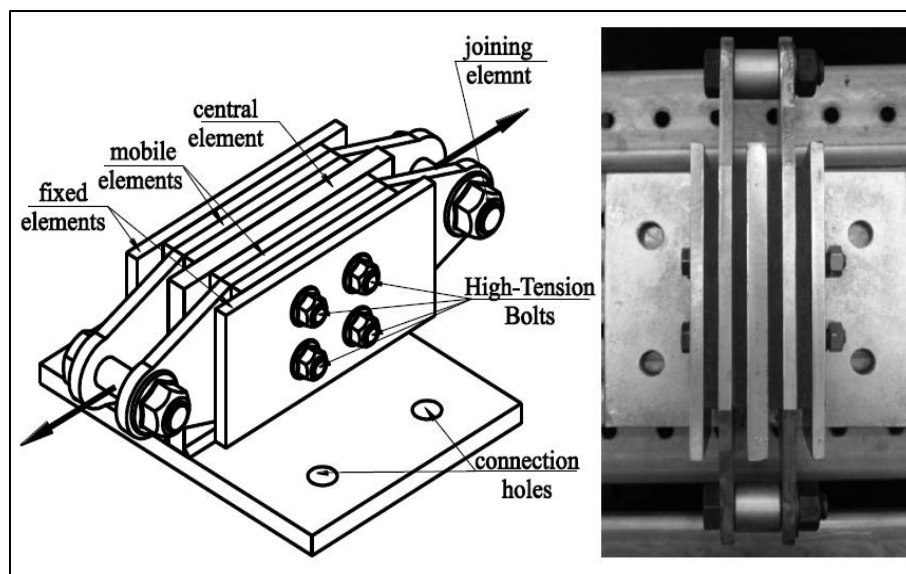


Fig. 18. Composición y diseño del disipador por fricción

Fuente: A.I. Stefancu, M. Budescu, F. Paulet-Crainiceanu, L. M. C. Guerreiro. Numerical and experimental analysis of a passive multilayer friction damper for seismic energy dissipation (2012)

De acuerdo con Wen y Huang (2012) el coeficiente de fricción varía con la velocidad de deslizamiento de acuerdo con la fórmula:

$$\mu = (a + bU)e^{-cU} + d \quad (5-2)$$

Donde U es la velocidad de deslizamiento; a, b, c y d son las constantes que se determinarán por las propiedades del material y la carga. Se realizaron unas mediciones experimentales y Los valores del coeficiente de fricción, como resultado de las pruebas (entre 0.25 y 0.33) son compatibles con las especificaciones técnicas previstas por el proveedor del material de fricción (entre 0.2 y 0.45). Del análisis de los datos, se puede observar que: el coeficiente de fricción es dependiente de la velocidad (aumentando a medida que aumenta la velocidad).

Análisis y resultados

El análisis del dispositivo se ha realizado utilizando el software ANSYS. El análisis de elementos finitos del dispositivo se ha realizado en un disipador modificado (figura 23) - que se ajustan a las condiciones reales de prueba.

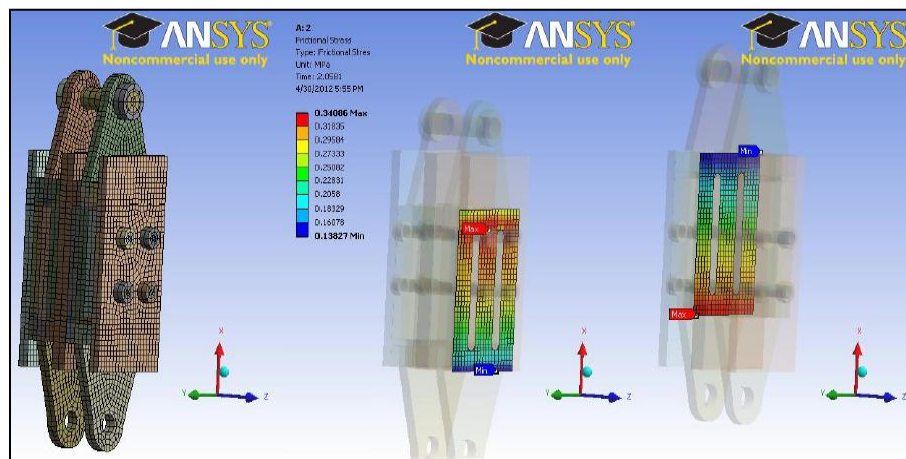


Fig. 19. Análisis mediante el software ANSYS

Fuente: A.I. Stefanu, M. Budescu, F. Paulet-Crainiceanu, L. M. C. Guerreiro. Numerical and experimental analysis of a passive multilayer friction damper for seismic energy dissipation (2012)

Los resultados del análisis se resumen en la Tabla 3.

Loading frequency		0.2 Hz	0.4 Hz	0.6 Hz	0.8 Hz	1 Hz
Maximum displacement amplitude [mm]		24.97	25	25	25.016	25.016
Overall Friction force [N]		14218	14247	14248	13660	13659
Frictional Stress outer surface	Minimum [MPa]	0.25718	0.25085	0.25076	0.25583	0.25552
	Maximum [MPa]	0.35383	0.3262	0.33443	0.3573	0.35843
Frictional Stress	Minimum [MPa]	0.28184	0.28159	0.28175	0.21361	0.21341
	Maximum [MPa]	0.35959	0.35789	0.36218	0.36874	0.36931
Normal Stress - X axis	Minimum [MPa]	-157.19	-157.51	-155.92	-211	-201.8
	Maximum [MPa]	160.38	158.83	156.25	162.1	162.14
Normal Stress - Z axis	Minimum [MPa]	-163.26	-160.86	-161.39	-157.08	-156.93
	Maximum [MPa]	165.43	162.69	163.31	163.87	163.98
Contact Pressure outer surface	Minimum [MPa]	0.5715	0.55745	0.55723	0.56851	0.56782
	Maximum [MPa]	0.7863	0.72489	0.74318	0.79399	0.7965
Contact Pressure inner surface	Minimum [MPa]	0.62817	0.63681	0.63693	0.47468	0.47425
	Maximum [MPa]	0.79909	0.80519	0.80484	0.84545	0.84086
Shear Stress XY	Minimum [MPa]	-57.762	-57.038	-57.448	-123.46	-122.43
	Maximum [MPa]	57.295	57.239	57.671	106.89	110.35

Tabla 2. Resumen de los resultados

Fuente: A.I. Stefanu, M. Budescu, F. Paulet-Crainiceanu, L. M. C. Guerreiro. Numerical and experimental analysis of a passive multilayer friction damper for seismic energy dissipation (2012)

Después de un exhaustivo análisis se generó como resultado el gráfico de la curva de histéresis para las diferentes frecuencias, véase la figura 24.

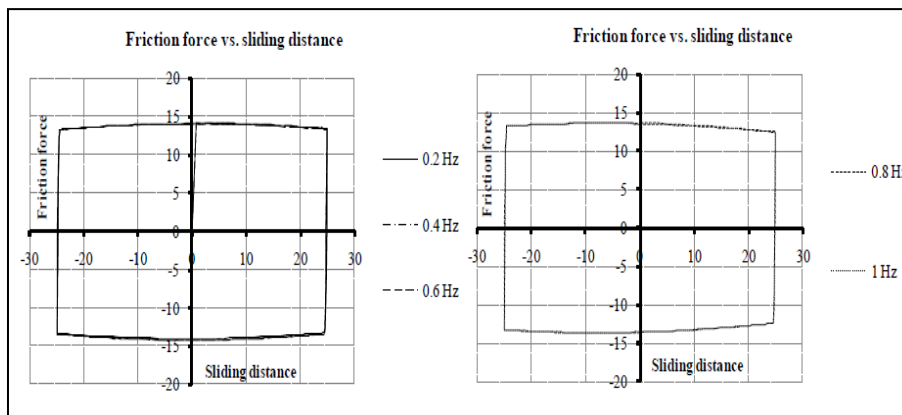


Fig. 20. Relación fuerza desplazamiento como resultado del análisis.

Fuente: A.I. Stefanu, M. Budescu, F. Paulet-Crainiceanu, L. M. C. Guerreiro. Numerical and experimental analysis of a passive multilayer friction damper for seismic energy dissipation (2012)

Un modelo del dispositivo ha sido sometido a una carga cíclica. La configuración de la prueba, así como una vista detallada del dispositivo se presenta en la figura 25.



Fig. 21. Fotografía del ensayo experimental.

Fuente: A.I. Stefanu, M. Budescu, F. Paulet-Crainiceanu, L. M. C. Guerreiro. Numerical and experimental analysis of a passive multilayer friction damper for seismic energy dissipation (2012)

Estas mediciones de cargas cíclicas, arrojo los siguientes resultados: Curvas de histéresis presentadas en la figura 26 Y figura 27.

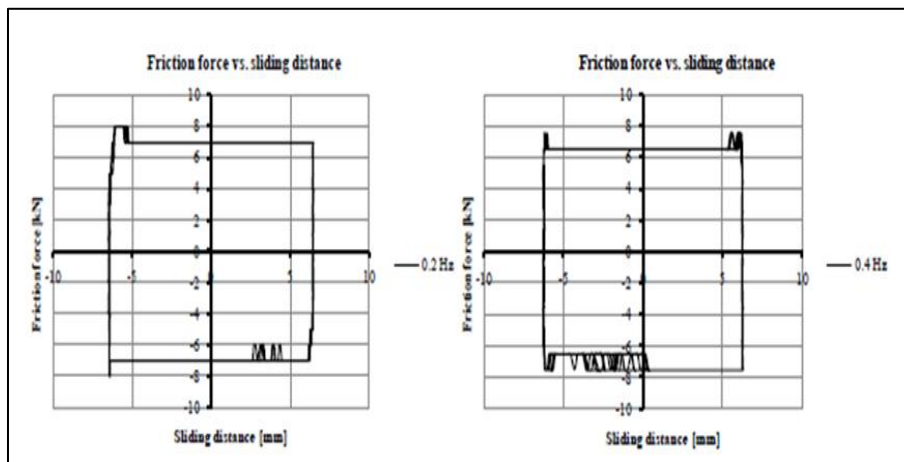


Fig. 22. Relaciones Fuerza- Desplazamiento

Fuente: A.I. Stefanu, M. Budescu, F. Paulet-Crainiceanu, L. M. C. Guerreiro. Numerical and experimental analysis of a passive multilayer friction damper for seismic energy dissipation (2012)

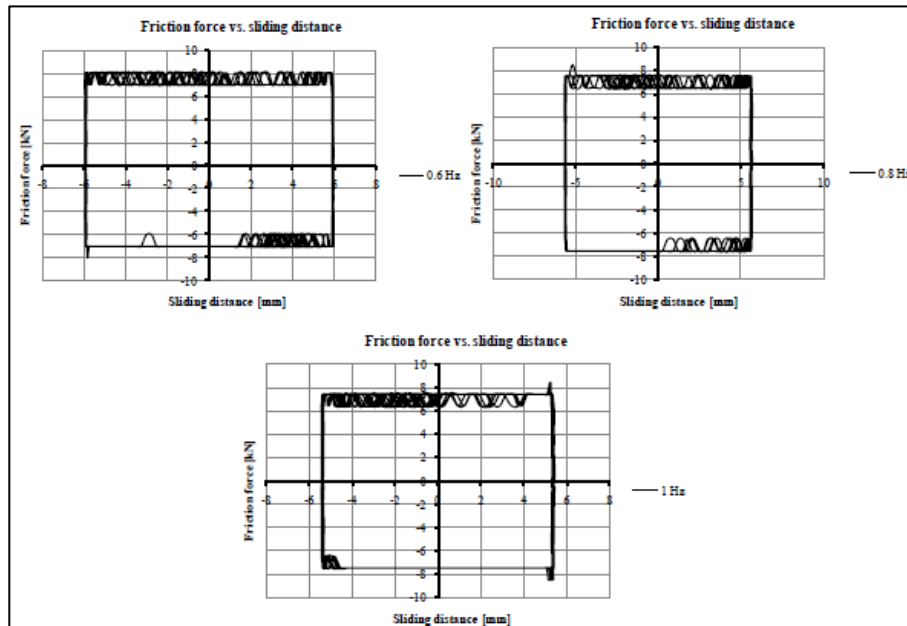


Fig. 23. Relacion Fuerza- Desplazamiento

Fuente: A.I. Stefanu, M. Budescu, F. Paulet-Crainiceanu, L. M. C. Guerreiro. Numerical and experimental analysis of a passive multilayer friction damper for seismic energy dissipation (2012)

Observaciones finales

Las pruebas experimentales ponen de manifiesto que la fuerza de fricción varía con la velocidad. Su valor promedio es el siguiente: 6,6 kN para 0,2 Hz, 8,2 kN para 0,4 Hz, 9,3 kN para 0,6 Hz, 8,7 kN para 0,8 Hz y finalmente 8,2 kN para 1 Hz. La diferencia entre los ensayos realizados sobre los materiales y los realizados en el dispositivo es que el coeficiente de fricción no sigue el mismo camino ascendente.

V.2.2. Disipadores de gran capacidad para edificios y estructuras

Autores: I. Mualla, L. Nielsen, M. Sugisawa y Y. Suzuki. Japón

Se presenta un estudio sobre el comportamiento de los disipadores de fricción de alta capacidad que se instalan en el edificio más alto de Japón (Abenobashi).

Los dispositivos se componen de varias capas de placas de acero, largas y cortas que se atornillan unidas con un perno de alta capacidad en cada junta de fricción, véase la figura 28. Entre todas las placas de acero se colocan almohadillas de fricción circulares.

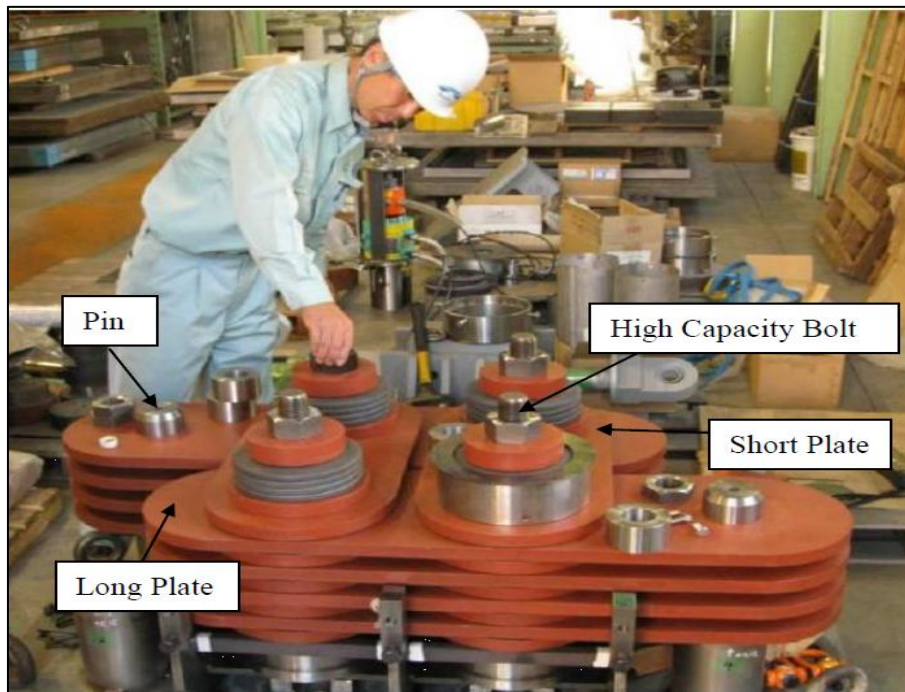


Fig. 24. Fotografía del disipador por fricción de larga capacidad

Fuente: I.H. Mualla, L. O. Nielsen, M. Sugisawa y Y. Suzuki. Large Capacity Dampers for Buildings and Structures (2012)

Concepto básico de aplicación para este disipador

Cuando el disipador está en la posición inicial (figura 29: izquierda), las placas cortas son perpendiculares a las placas largas. Si el disipador se carga con fuerzas iguales a la capacidad de deslizamiento del disipador, las placas cortas comienzan a girar alrededor de los pernos y el disipador comienza a deslizarse. El mecanismo de deformación depende de la dirección de las cargas, si el disipador está en compresión (figura 29: derecha) o en tracción (figura 29: medio). La magnitud de la capacidad de deslizamiento del disipador depende de las fuerzas

de fricción en las juntas de fricción y es proporcional a la fuerza de apriete en los pernos.

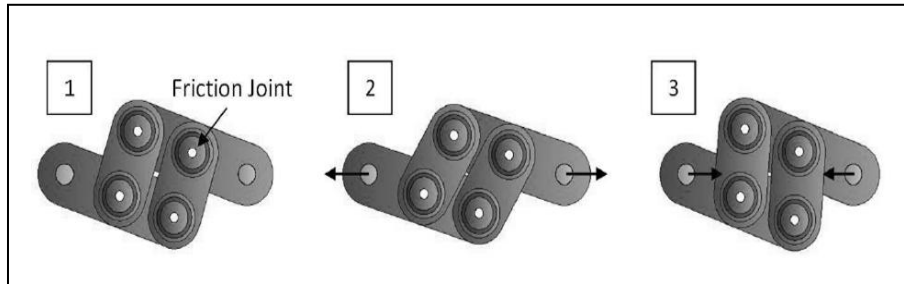


Fig. 25. En 1) posición inicial, 2) amortiguador a tracción y en 3) amortiguador a compresión.
Fuente: I.H. Mualla, L. O. Nielsen, M. Sugisawa y Y. Suzuki. Large Capacity Dampers for Buildings and Structures (2012)

Concepto básico del disipador en un pórtico

Los disipadores son flexibles y se pueden utilizar para muchas configuraciones de construcción. Un ejemplo de ello son estructuras aporticadas con dos arriostramientos diagonales, como se muestra en la figura 30 y la figura 31. En el caso de un evento sísmico moderado o grande, la parte superior del piso de un pórtico comienza a desplazarse horizontalmente con relación al piso inferior. En el sistema de arriostramiento diagonal, las fuerzas de roce desarrolladas entre las superficies de contacto de las placas de acero y los materiales de pastillas de fricción se resistirán al movimiento horizontal.

Cuando la parte superior del pórtico se mueve a la izquierda el disipador de la izquierda en el pórtico se comprime mientras que el derecho se tracciona y ambos dispositivos disipan energía, y también sucede en sentido opuesto véase la figura 30. Durante un terremoto, el piso superior de los pórticos en un edificio como el de la figura 30 se moverá de izquierda a derecha en repetidas ocasiones mientras que los dispositivos están disipando la energía cinética del terremoto en calor, reduciendo efectivamente la respuesta de la estructura al sismo.

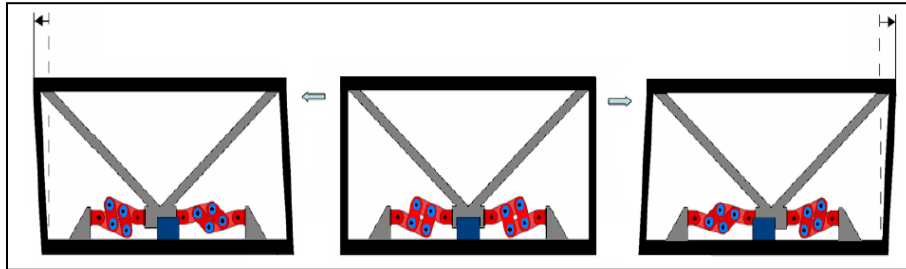


Fig. 26. Comportamiento del dispositivo a causa de fuerzas sísmicas en un pórtico estructural.
Fuente: I. Mualla, L. Nielsen, M. Sugisawa y Y. Suzuki. Large Capacity Dampers for Buildings and Structures. (2012)



Fig. 27. Instalación de un dispositivo de 2250 kN de capacidad en un pórtico estructural.
Fuente: I.H. Mualla, L. O. Nielsen, M. Sugisawa y Y. Suzuki. Large Capacity Dampers for Buildings and Structures (2012)

Una serie de pruebas sobre amortiguadores en el rango de 1.500 kN a 5000 kN se han llevado a cabo en Dinamarca y Japón.

- PRUEBA DE DISIPADORES DE 5000 kN.
- PRUEBAS DE DISIPADORES DE 1500-2250 kN.

El disipador de 5000 kN fue probado hasta el límite de la máquina de ensayo. Los bucles de histéresis de amortiguadores con 30 y 45 mm de desplazamiento, se pueden ver en Figura 32.

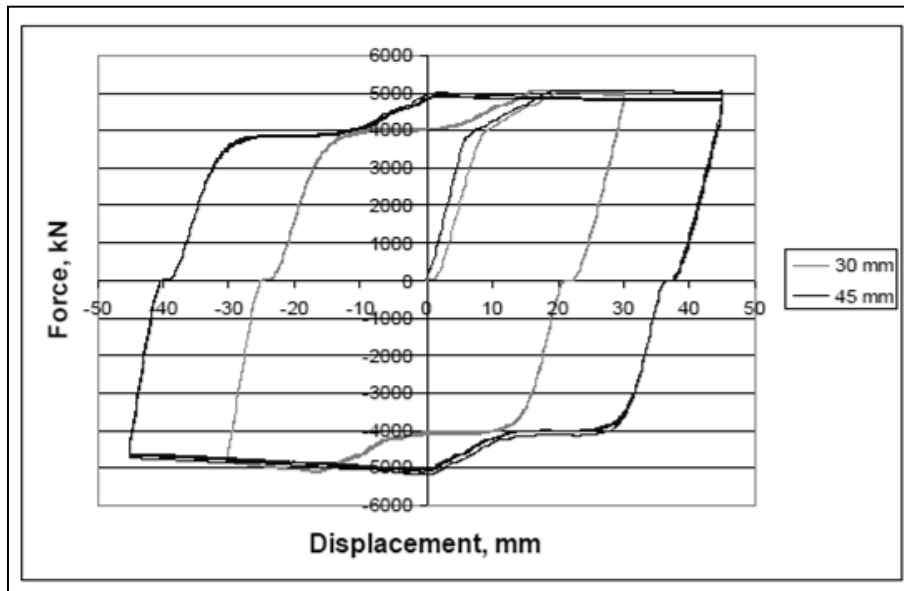


Fig. 28. Curva de histéresis para 30 y 45 mm de amplitud de desplazamiento.

Fuente: I.H. Mualla, L. O. Nielsen, M. Sugisawa e Y. Suzuki. Large Capacity Dampers for Buildings and Structures (2012)

El comportamiento del disipador es casi elasto-plástico, pero hay algunas desviaciones más notablemente como lo son:

- Comportamiento elástico inicial donde hay una fuerza aproximadamente de 4000kN es menor del esperado
- Después de alrededor de 20 mm de comportamiento plástico, la fuerza comienza a subir y el disipador llega a un total de 5.000 kN. Este patrón se también repite cuando se cambia la dirección de la carga.

Pero si el comportamiento del disipador era idealmente elasto-plástico, habrá comportamiento elástico hasta que la fuerza llegue a 5.000 kN y luego sigue el comportamiento plástico como se ve en la figura 33. En el ejemplo dado, con 45 mm de amplitud en la figura 33 la zona del bucle de histéresis del

disipador se reduce en un 5% en comparación con el área del bucle de histéresis elasto-plástico ideal.

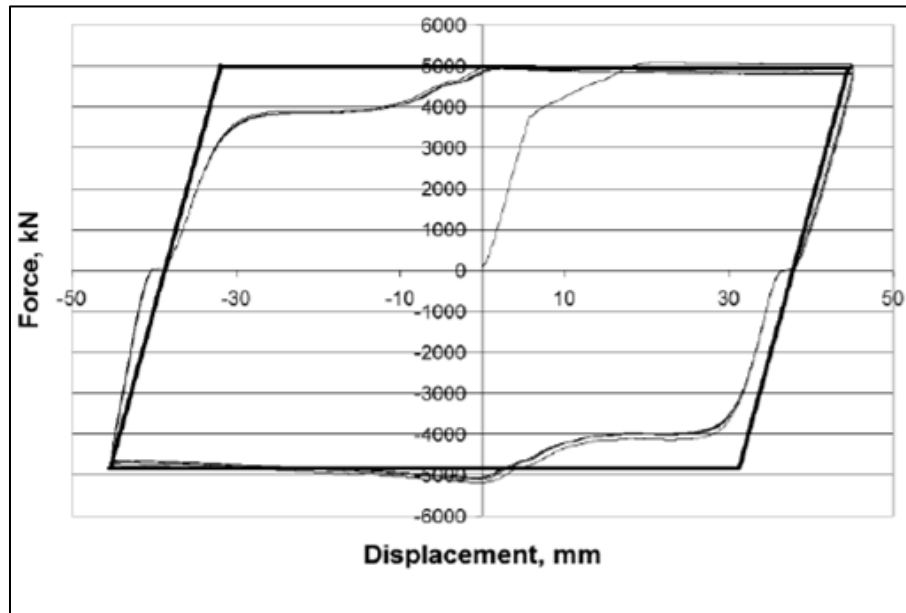


Fig. 29. Curva de histéresis con 45 mm de desplazamiento

.Fuente: I.H. Mualla, L. O. Nielsen, M. Sugisawa y Y. Suzuki. Large Capacity Dampers for Buildings and Structures (2012)

Resultados de los disipadores de 1500-2250 KN

Varios experimentos para disipadores de 1500-2250 kN se han llevado a cabo en las instalaciones de prueba en Kawakin, Japón. El bucle de histéresis del disipador de 2250 kN se puede ver en la figura 34.

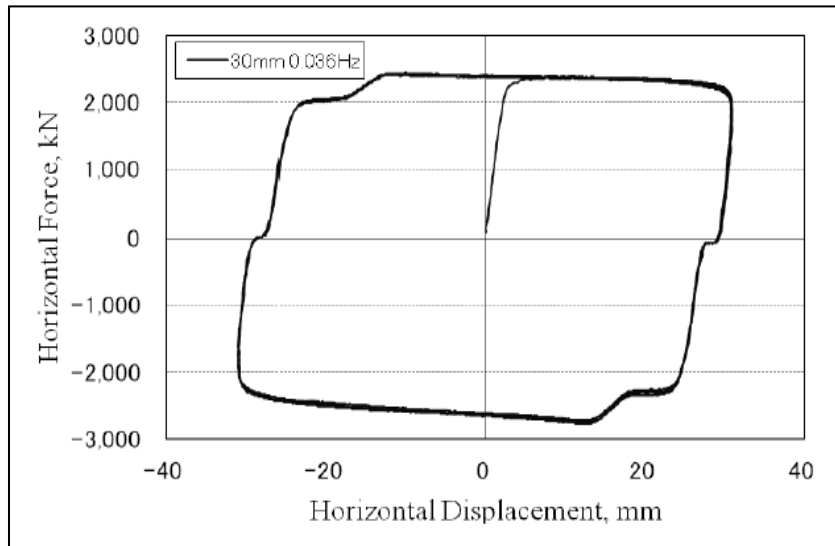


Fig. 30. Curva de histéresis para el disipador de 2250 kN de capacidad con una amplitud de 30mm .Fuente: I.H. Mualla, L. O. Nielsen, M. Sugisawa y Y. Suzuki. Large Capacity Dampers for Buildings and Structures. (2012)

Los bucles de histéresis del disipador de 1500 kN con una amplitud de 40 mm se muestran en la Figura 35.

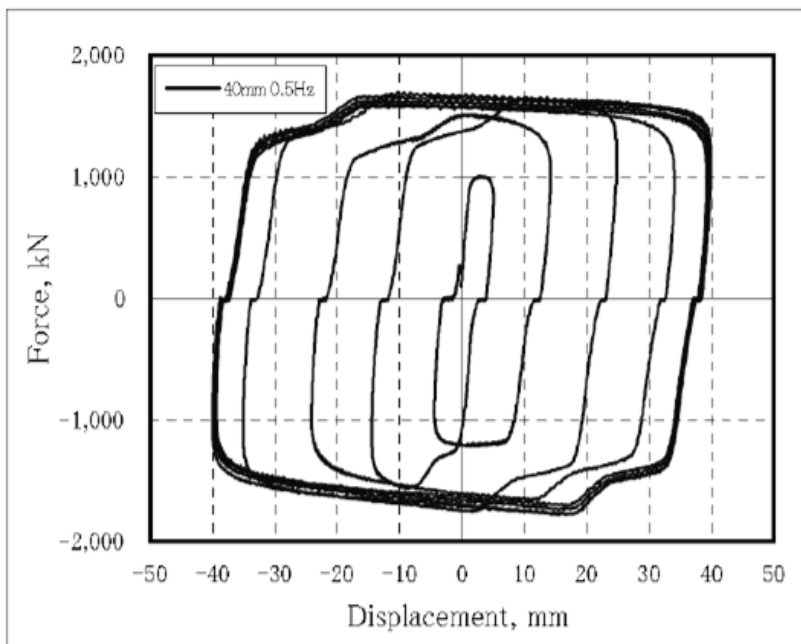


Fig. 31. Curvas de histéresis con una amplitud de 40 mm de desplazamiento para el disipador de 1500kn de capacidad

.Fuente: I.H. Mualla, L. O. Nielsen, M. Sugisawa y Y. Suzuki. Large Capacity Dampers for Buildings and Structures (2012)

La fuerza de deslizamiento del disipador para la variación de velocidad se muestra en la Figura 36. Las pruebas se realizaron con una amplitud de 20 mm y variando la velocidad.

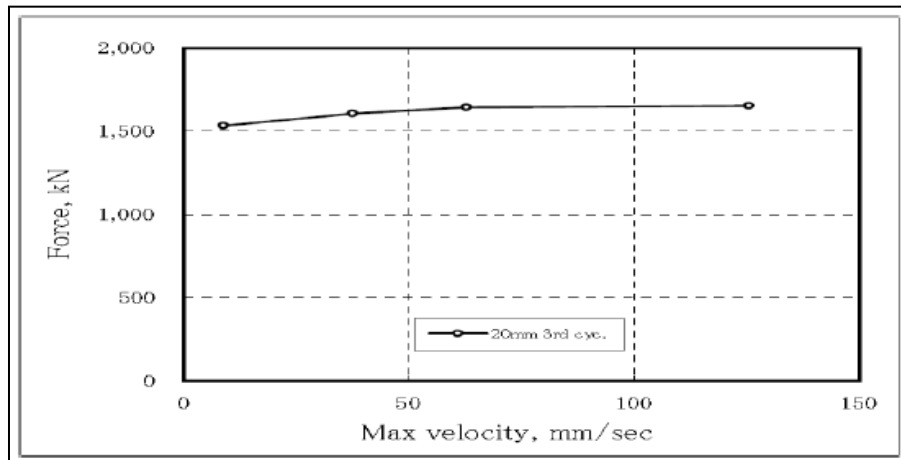


Fig. 32. Curva dependiente de la velocidad para una amplitud de 20 mm
.Fuente: I.H. Mualla, L. O. Nielsen, M. Sugisawa y Y. Suzuki. Large Capacity Dampers for Buildings and Structures (2012)

El resultado de la prueba con desplazamiento grande (110 mm de amplitud) y los valores teóricos se muestran en la Figura 37. La fuerza de deslizamiento para grandes amplitudes está cerca de los valores teóricos.

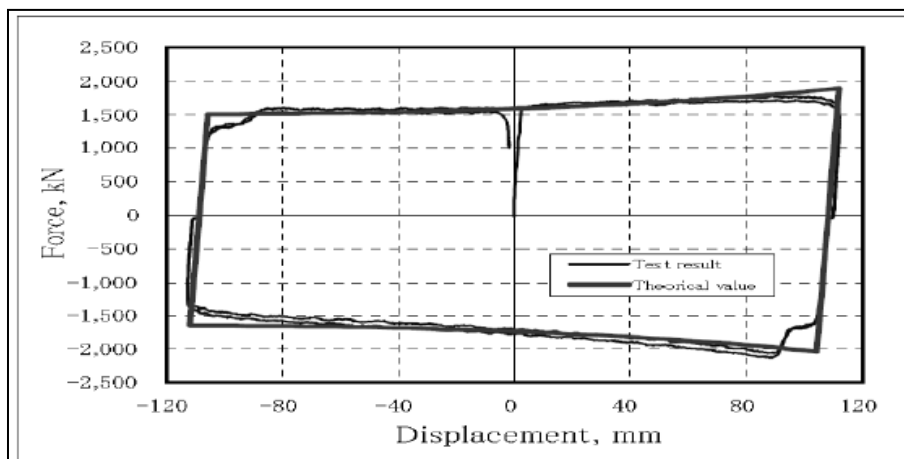


Fig. 33. Curva de histéresis para la prueba con grandes desplazamientos vs. valores teóricos.
.Fuente: I.H. Mualla, L. O. Nielsen, M. Sugisawa y Y. Suzuki. Large Capacity Dampers for Buildings and Structures (2012)

Conclusiones

- Los resultados experimentales indican un comportamiento muy estable de los disipadores en relación a terremotos y a cargas de viento extremas.
- Los dispositivos son fáciles de implementar en las estructuras y son dispositivos económicos debido a la disponibilidad de material.
- Los amortiguadores se han instalado en el proyecto de construcción del Abenobashi, el edificio más alto de Japón, también aplicables a cualquier otra edificación de gran altura. Varios modelos de disipadores de fricción rotativos Damptech se han instalado en 20 proyectos en Japón y en otros países alrededor del mundo.

V.2.3. Nuevo muro o pared de cortante de acero en un mecanismo de amortiguación incorporado (SSWAF).

Autores: S. Khonsari, H. Seyf, S. Mehryar & M. Shahsavar-Gargari. Sharif University of Technology, Irán. (2012)

Un nuevo muro de corte de acero con un mecanismo de amortiguación adicional incrustado en su elaboración se estudia a continuación. Este dispositivo puede ser eficaz durante los sismos de alta magnitud en los que la estructura del edificio ha sido excitada, ya que la amplitud de la deriva en los pisos permanece dentro del rango de este mecanismo. Sin embargo, una vez que la amplitud de la deriva alcanza el umbral del mecanismo de amortiguación, a continuación, la pared de acero se activa y comienza a reaccionar con las fuerzas laterales. Una serie de especímenes de modelos a escala de la pared junto con el dispositivo de amortiguación, llamado acero cortante en la pared con Fricción Agregada (SSWAF) fueron experimentados.

Es deseable diseñar dispositivos antisísmicos con dos o más mecanismos de carga-resistencia y de disipación de energía, cada uno trabajando en un rango de desplazamiento de amplitudes. También es deseable idear mecanismos que

se activen bajo amplitudes bajas, y de este modo poder ser reutilizable sin degradación del rendimiento, con estos objetivos en mente, un nuevo muro de esfuerzo cortante en acero es diseñado. En este diseño, la fricción se utiliza como el mecanismo principal para resistir las cargas laterales y disipar su energía inducida, dependiendo del rango de trabajo del Mecanismo de fricción (FM), el sistema puede oponerse a los terremotos hasta cierto desplazamiento y una vez que esta amplitud excede el umbral del mecanismo de fricción, es la placa de acero del muro la que se activa y resiste las cargas laterales, sus fuerzas inducidas, desplazamientos y la energía. De esta manera el mecanismo de fricción funciona como un elemento de sacrificio reutilizable para el sistema principal, en este caso el muro de corte de acero.

La figura 38 representa varios sistemas alternativos que se utilizan para estabilizar un pórtico típico. En total, el sistema ideado es el muro de corte con ranuras o de aberturas, que se adopta con varios métodos de fijación al soporte a través del mecanismo de fricción.

La Figura 38(a) muestra el muro que está unido al pórtico sólo en la parte superior y la parte inferior de la pared a través de los mecanismo de fricción (MF), sin tener ninguna interacción con las dos columnas, mientras que en la figura. 38(b) es la pared soldada a la viga superior mientras está unido a la viga inferior a través del mecanismo de fricción (MF), de nuevo con ninguna interacción con las columnas. En la figura 38(c) la pared de acero se une a los cuatro elementos que rodean el pórtico a través del mecanismo de fricción (MF). El detalle de la conexión entre la pared y los miembros del pórtico, que en realidad sirve para el propósito del MF, se muestra en el detalle A. En la figura 38(d) que es el detalle que muestra el método de conexión de la FM en la pared de acero cortante y el miembro de armazón adyacente a través de una tira adicional de acero que está atornillada a la pared ranurada.

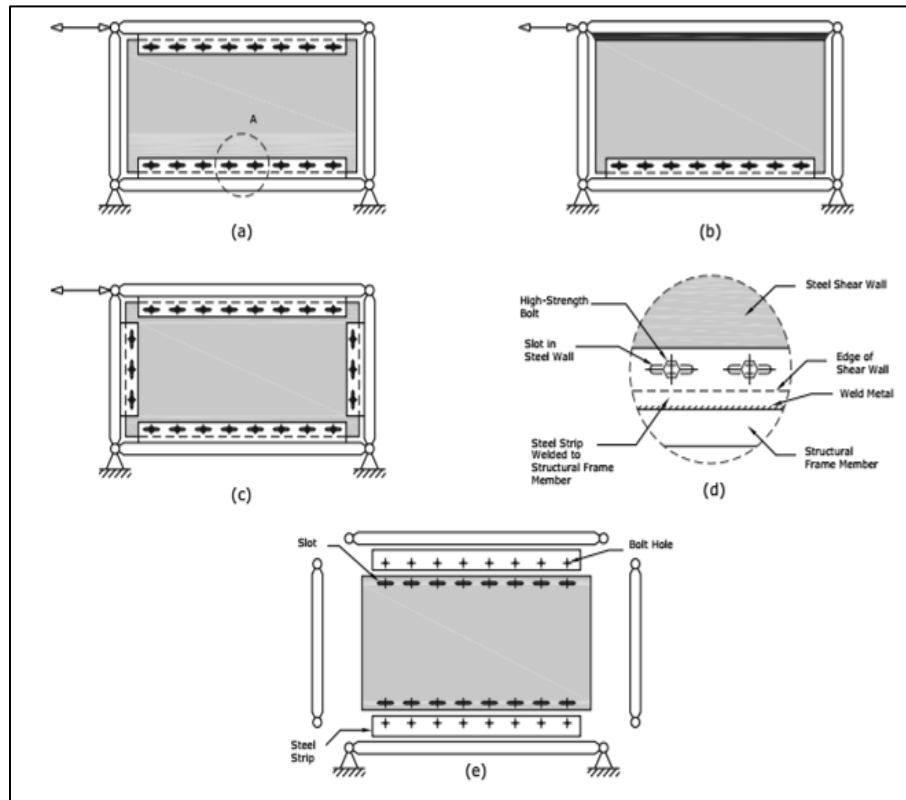


Fig. 34. Sistemas alternativos que se utilizan para estabilizar un pórtico típico de (SSWAF)
Fuente S.V. Khonsari, H. Seyf, S. Mehryar & M. Shahsavar-Gargari Sharif. Experimental Study of a
New Steel Shear Wall with an Embedded Special Damping Mechanism (SSWAF) (2012)

Estudio experimental (3 tipos)

Con el fin de ser capaz de llevar a cabo estas pruebas, fue diseñado un ensayo especial de ensamblaje, fabricación y utilización. Donde dos especímenes nominalmente idénticos se probaron (A pesar del hecho de que los especímenes dobles utilizados en los diferentes ensayos fueron muy similares, si hubo algunas diferencias entre algunos de ellos). La Tabla 4 muestra las especificaciones de varios tipos de especímenes (placas de acero) usados en las pruebas

Specimen Type	L (mm)	W (mm)	T (mm)	No. of Bolt Holes or Slots at Each Side	Bolt Holes Diameter (mm)	Slots Dimensions* (mm)	Bolt Holes or Slots Distance (C-to-C)† (mm)	Boundary Stiffening Plates (BSPs) Dimensions (mm ³)	Welding Method for Attaching BSPs to Specimens
1	600	450	2.5	6	n/a	11×40 Slots @ 2 Sides	100	n/a	n/a
2	600	450	2.5	6	11	11×40 Slots @ 1 Side	100	n/a	n/a
3	600	450	2.5	6	11	11×40 Slots @ 1 Side	100	2×[600×50×2.5] Each Side	Plug Weld

L ≡ Specimen Length, W ≡ Specimen Width, t ≡ Specimen Thickness
*) Smallest dimension (width) × largest dimension (length) of the slots
†) Centre-to-centre distance between collinear bolt holes or slots

Tabla 3. Especificaciones de varios tipos de especímenes

S.V. Khonsari, H. Seyf, S. Mehryar & M. Shahsavari-Gargari Sharif .Experimental Study of a New Steel Shear Wall with an Embedded Special Damping Mechanism (SSWAF) (2012)

Se realizó la prueba de cargas cíclicas

En total 3 pruebas bajo cargas cíclicas se llevaron a cabo en simultáneo. Durante los dos primeros ensayos cíclicos que se llevaron a cabo, las ranuras y sus proximidades se vieron expuestas a daños graves, con deformaciones y el desgarramiento de las placas (ver figura 39).



Fig. 35. Placas utilizadas en el segundo ensayo cíclico con las deformaciones graves y el desgarramiento Fuente: S.V. Khonsari, H. Seyf, S. Mehryar & M. Shahsavari-Gargari Sharif .Experimental Study of a New Steel Shear Wall with an Embedded Special Damping Mechanism (SSWAF) (2012)

La Tabla 5 presenta “Resultados de las pruebas llevadas a cabo con especímenes de doble pared con fricción y con aprietes de torque de 20 N.m”

Specimen	Specimen Type*	Mass of Specimen (kg)	Bolt-Tightening Torque (N.m)	Maximum Sustained Amplitude (Δ_{max}) (mm)	Max. Drift $\frac{\Delta}{h} = \frac{\Delta_{max}}{450}$	Total Cumulative Dissipated Energy by Each Plate (J)	Cumulative Dissipated Energy by Friction in Each Plate (J)	Percentage of Energy Dissipated by the Frictional Mechanism (%)
C1	2	5.245	20	17.5	0.0388	6961	6752	97
C2	1	5.207	20	23.5	0.0522	13489	11598	86
C3	3	7.483	20	46.4	0.1031	44557	21947	49.3

*) Refer to Table 1.

Tabla 4. Resultado de las pruebas llevadas a cabo con especímenes de doble pared con fricción y con aprietes de torque de 20 N.m

Fuente: S.V. Khonsari, H. Seyf, S. Mehryar & M. Shahsavari-Gargari Sharif. Experimental Study of a New Steel Shear Wall with an Embedded Special Damping Mechanism (SSWAF) (2012)

La Tabla 6 muestra diferentes etapas para un mismo ciclo de carga.

Stage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
No. of Cycles in the Stage	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Amplitude (mm)	5.0	10.0	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5

Tabla 5. Resultado de las pruebas llevadas a cabo con especímenes de doble pared.

Fuente: S.V. Khonsari, H. Seyf, S. Mehryar & M. Shahsavari-Gargari Sharif. Experimental Study of a New Steel Shear Wall with an Embedded Special Damping Mechanism (SSWAF) (2012)

Las figuras que se muestran a continuación son las curvas de histéresis que resultan de los ensayos de carga. Ver figuras 40, 41 y 42.

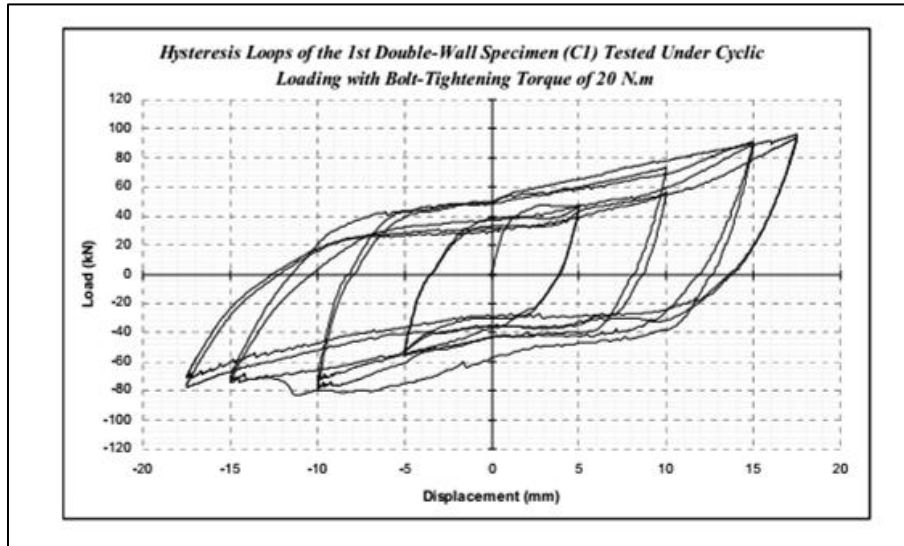


Fig. 36. Curva de histéresis para el primer espécimen de doble pared (C1) bajo cargas cíclicas
 Fuente: S.V. Khonsari, H. Seyf, S. Mehryar & M. Shahsavari-Gargari Sharif .Experimental Study of a New Steel Shear Wall with an Embedded Special Damping Mechanism (SSWAF) (2012)

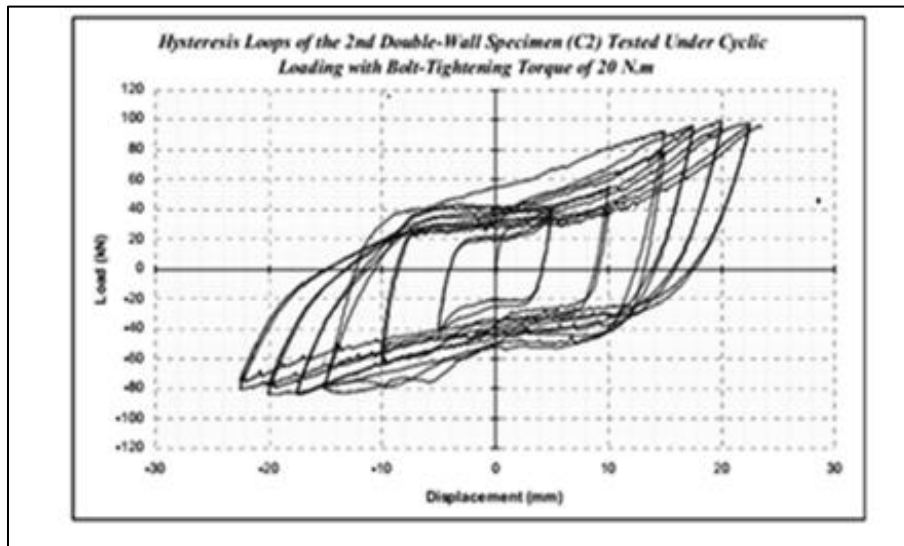


Fig. 37. Curva de histéresis para el segundo espécimen de doble pared (C2) bajo cargas cíclicas
 Fuente: S.V. Khonsari, H. Seyf, S. Mehryar & M. Shahsavari-Gargari Sharif. Experimental Study of a New Steel Shear Wall with an Embedded Special Damping Mechanism (SSWAF) (2012)

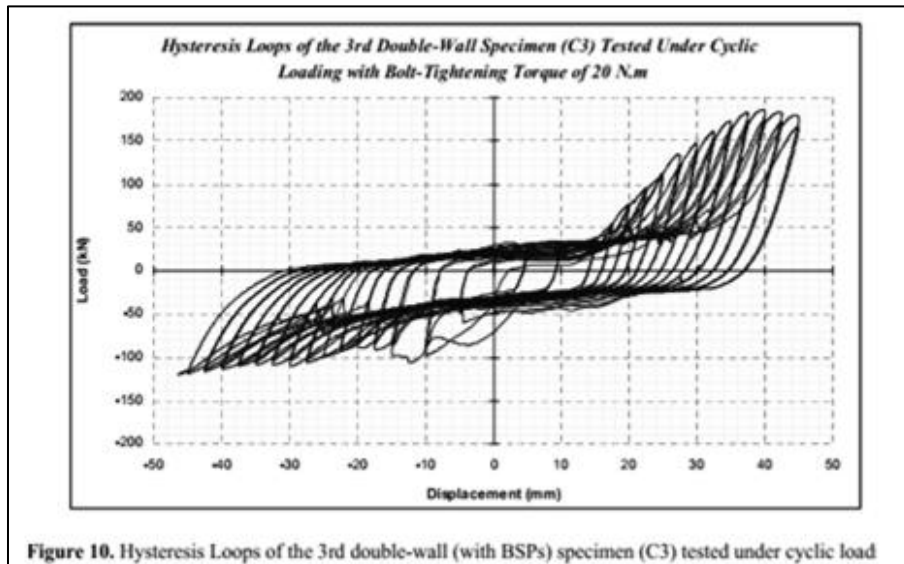


Fig. 38. Curva de histéresis para el tercer espécimen de doble pared (C3) bajo cargas cíclicas
Fuente: S.V. Khonsari, H. Seyf, S. Mehryar & M. Shahsavar-Gargari Sharif. Experimental Study of a New Steel Shear Wall with an Embedded Special Damping Mechanism (SSWAF). (2012)

Los resultados obtenidos a través de las pruebas realizadas, genera las siguientes conclusiones.

- La idea de conectar los muros de corte de planchas de acero a través de mecanismos de fricción (FM) no es sólo una idea viable, sino que ha demostrado ser una forma eficiente de utilizar placas de acero para oponerse a las fuerzas laterales inducidas a esos pórticos en un terremoto.
- El uso de este sistema de amortiguamiento evita el daño durante las vibraciones de baja amplitud de la estructura, por lo tanto, los elementos restantes quedan intactos y listos para reaccionar con vibraciones de amplitudes más grandes
- Concentran la capacidad para absorber y disipar la energía de una manera eficiente al tiempo que ocupa un espacio limitado, dado que el espacio ocupado por los muros de corte de placas de acero es mucho menor que la de sus homólogos de hormigón, su aplicación puede conducir a una

manera mucho más eficiente de ser usados y que hoy en día es bastante más económica en muchas partes del mundo.

- El peso mucho más ligero de paredes de acero en comparación con las paredes de hormigón no solo afecta positivamente la construcción de la estructura y el diseño de las fundaciones, también afecta las características de vibración estructural, que conduce a frecuencias naturales más pequeñas y fuerzas inducidas por el sismo más pequeñas, por lo tanto, de nuevo una disminución en el tamaño de los elementos estructurales es idóneo. En líneas generales con el aumento de la popularidad de este sistema estructural, la cantidad de investigación dedicada a ello se ha elevado notablemente.

V.3. Disipadores de fluido viscoso.

Los disipadores de fluido viscoso han sido ampliamente utilizados para el control de vibraciones en varios sistemas estructurales, disipan energía aplicando una fuerza resistiva a un desplazamiento finito, los disipadores de fluido viscoso son dispositivos que no alteran las propiedades dinámicas de la estructura, tienen la propiedad de reducir simultáneamente los esfuerzos y las deflexiones de la estructura, esto se debe a que los disipadores de fluido viscoso 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. Los disipadores de fluido viscoso basan su disipación en la presión generada por un fluido al pasar de un espacio a otro a través de orificios o mecanismos especiales, generando energía térmica la cual será transferida al medio ambiente.

V.3.1. Disipador de fluido viscoso (FVD) para control de vibración de choque de estructuras.

Autores: D. Narkhede y R. Sinha. (2012)

Descripción y componentes

En la figura 43 se muestra una sección transversal longitudinal de un disipador de fluido viscoso típico que está compuesta de un pistón de acero inoxidable, con un cabezal de bronce con orificios y un acumulador autónomo. El disipador se llena con un fluido viscoso de silicona y compresible, generalmente no inflamable, no tóxico, ambientalmente seguro, y térmicamente estable. La fuerza de salida de los disipadores es resistiva, por lo tanto actúa en una dirección opuesta a la del movimiento de entrada, los medios de disipación de energía son mediante transferencia de calor, es decir, la energía mecánica disipada por el equipo provoca calentamiento en el fluido, y esta energía se transfiere al medio ambiente mediante sus partes mecánicas (según Constantinou y Symans, 1992).

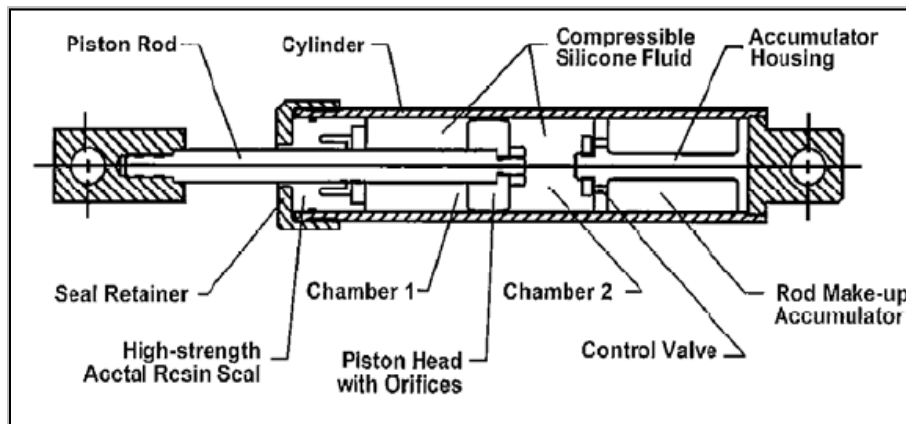


Fig. 39. Componentes del disipador FVD

Fuente: D. I. Narkhede & R. Sinha. Shock Vibration Control of Structures using Fluid Viscous Dampers (2012)

La fuerza interna es generada por el disipador de fluido, debido a la diferencia de presión a través del cabezal del pistón. Durante el movimiento del cabezal, el volumen de fluido cambia como producto de los viajes y el área de la varilla del

pistón puesto que el fluido es compresible, este cambio en el volumen de líquido está acompañado por el desarrollo de una fuerza de restauración tipo resorte, esto se evita por el uso del acumulador. A mayor frecuencia del movimiento de entrada, los disipadores de fluido viscoso exhiben una mayor rigidez, en general, esta frecuencia de corte depende del diseño del acumulador (según Constantinou y Symans, 1993). El cabezal del pistón se compone de orificios que permiten alterar las características del flujo con la velocidad del fluido. Un esquema de este orificio se muestra en la figura 44.

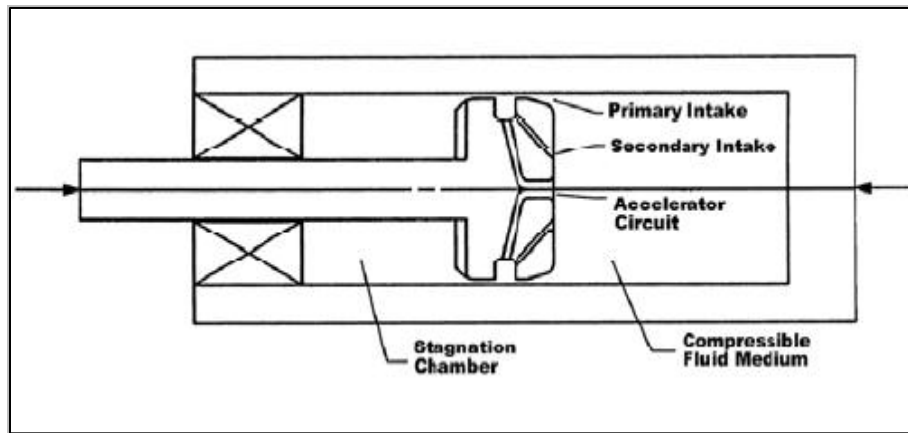


Fig. 40. Esquema del orificio que componen al cabezal del pistón.
Fuente: D. I. Narkhede & R. Sinha. Shock Vibration Control of Structures using Fluid Viscous Dampers (2012)

La fuerza de salida ideal de un FVD no lineal, se expresa como:

$$F_d = C_\alpha \operatorname{sgn}(\dot{U}) |\dot{U}|^\alpha \quad (5-2)$$

Donde F_d es la fuerza del disipador, C_α es el coeficiente de amortiguación con las unidades de fuerza por la velocidad elevada a la potencia α , usualmente los valores del coeficiente de amortiguación varía en un rango amplio, entre las pocas toneladas por metro/segundo, hasta cientos de toneladas por metro/segundo, \dot{U} es la velocidad relativa entre los dos extremos del disipador y $\operatorname{sgn}(\dot{U})$ es la función signum que lleva el signo en que va la fuerza. El disipador con $\alpha = 1$ se conoce como FVD lineal, en el que la fuerza del disipador es

proporcional a la velocidad. El amortiguador con $\alpha < 1$ se denomina FVD no lineal. La figura 45 muestra la relación fuerza-velocidad de FVD en el que la fuerza máxima del disipador es limitada cuando el exponente de velocidad es inferior a 1. Esta propiedad demuestra la eficiencia de la FVD no lineal ($\alpha < 1$) para limitar la fuerza máxima del disipador para minimizar choques de alta velocidad. Este comportamiento es contrario al de la FVD lineal y por lo tanto hace al FVD no lineal idóneo para el control de impulsos o cargas de corta duración.

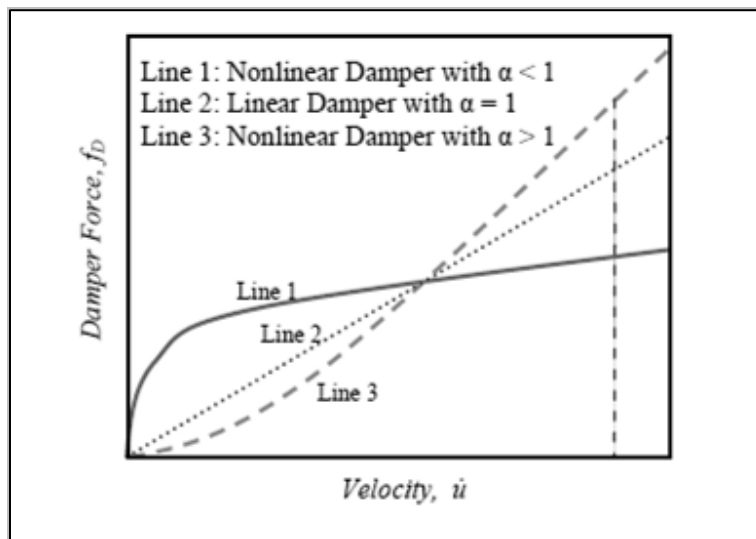


Fig. 41. Relación Fuerza -Velocidad para un FVD.
 Fuente: D. I. Narkhede & R. Sinha. Shock Vibration Control of Structures using Fluid Viscous Dampers. (2012)

De los debates presentados en este documento, las siguientes conclusiones se pueden extraer:

- Para los mismos valores máximos de respuestas, las cargas de choque dados en el coeficiente del disipador de fluido viscoso no lineal es mucho más pequeño que en el lineal, indicando un tamaño de disipador mucho más pequeño y compacto.

- El desplazamiento y la velocidad decaen a un ritmo mucho mayor con el uso de disipadores no lineales. Esta propiedad puede ser utilizada para mejorar la fiabilidad de los sistemas secundarios montados en la estructura.
- Gráficos de diseño pueden servir como una referencia lista para el diseñador estructural para elegir el disipador no lineal más apropiado con un exponente de amortiguación y un coeficiente de disipación adecuado para un pulso de choque particular

V.3.2. Estudio del sistema de disipación de estabilizadores amortiguados para construcciones de gran altura.

Autores: P. Tan, C. Fang, W. Tu, F. Zhou, Y. Wang y M. Jiang. China (2012)

Tradicionalmente, el sistema de disipación adicional es equipado entre los pisos adyacentes y se organizan a todo lo largo de la estructura.

Este artículo presenta el trabajo experimental sobre el sistema de amortiguación de estabilizadores en construcciones de gran altura, que se llevó a cabo en la Universidad de Guangzhou, China. Un modelo de estructura tubular de acero es planteado y fabricado, en el cual los disipadores viscosos están especialmente diseñados y se insertan verticalmente entre los estabilizadores y las columnas perimetrales para hacer un uso completo de la discrepancia de movimiento de estos dos componentes.

Montaje experimental

La estructura a escala utilizada en este estudio fue de ocho pisos, un modelo de estructura tubular de acero, como se muestra en la figura 46. Los rigidizadores se encuentran en la 4ª y 8ª planta, respectivamente y en los dos extremos de los rigidizadores hay pequeños disipadores viscosos que están equipados en las columnas verticalmente. Hay un total de ocho amortiguadores de fluido viscoso empleados en este estudio, que se hacen especialmente para la

prueba de mesa vibradora por el Instituto de Investigación de Materiales de Shanghai. Se colocaron acelerómetros en el centro de cada piso para medir las respuestas del modelo de prueba y los disipadores. Con el fin de obtener los trazos de amortiguación, transductores de desplazamiento y sensores de velocidad son instalados en ambos extremos de los amortiguadores.



Fig. 42. Fotografía sobre el modelo a escala ensayado.

Fuente: P. Tan, C.J. Fang, W.R. Tu & F.L. Zhou, Y. Wang & M. Jiang. Experimental Study on the Outrigger Damping System for High-Rise Building (2012)

En la figura 47 que se muestra a continuación se puede observar y detallar la relación fuerza vs velocidad que es de suma importancia para el análisis de estos dispositivos.

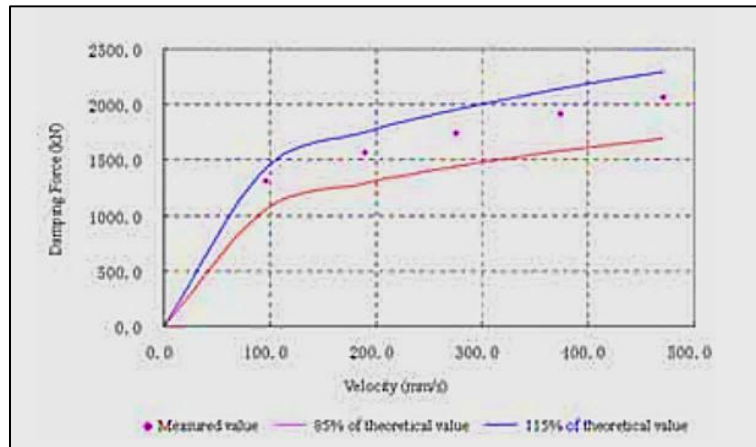


Fig. 43. Relación Fuerza -Velocidad

Fuente: P. Tan, C.J. Fang, W.R. Tu & F.L. Zhou, Y. Wang & M. Jiang. Experimental Study on the Outrigger Damping System for High-Rise Building (2012)

Prueba de desempeño del disipador viscoso

Amortiguadores viscosos no lineales están diseñados y hechos especialmente para esta prueba. El disipador viscoso se puede modelar fácilmente con un elemento Damper, cuya forma mecánica en general puede ser expresada como:

$$U(t) = C_{\alpha} \text{sgn}(d) |d|^{\alpha} \quad (5-3)$$

Donde d es la velocidad del pistón a través del amortiguador y C_{α} es el coeficiente de amortiguación determinado experimentalmente con las unidades de fuerza por la velocidad elevada a la potencia α . En la ecuación, α es una constante que controla la no linealidad del disipador con su rango entre 0 y 1, y $\text{sgn}(d)$ es una función Signum que lleva el signo que va la fuerza. Cuando $\alpha = 1$, la ecuación representa un amortiguador viscoso lineal. Cuando α se acerca a cero, el amortiguador viscoso es no lineal y se comporta como un amortiguador de fricción pura. Se hizo un estudio de elementos finitos mediante el programa SAP2000.

Se realiza una prueba de vibración en busca de los períodos naturales de los modelos de prueba. La Tabla 7 muestra la medición de los periodos naturales y los radios de amortiguación del modelo con estabilizadores fijos y amortiguados.

Model	Fundamental period (s)	Damping ratio
Fixed-Outrigger	0.485(0.474)	0.010
Damped-Outrigger	0.55(0.51)	0.054
*() is analytical value.		

Tabla 6. Periodos Naturales y Radios de amortiguamiento

Fuente: P. Tan, C.J. Fang, W.R. Tu & F.L. Zhou, Y. Wang & M. Jiang. Experimental Study on the Outrigger Damping System for High-Rise Building (2012)

Resultados y análisis experimentales.

Los datos de estrada para los ensayos de mesa vibrante vienen de los registros de los terremotos de El Paso (1940) y Hollywood (1970). El PGA (aceleración máxima del suelo) de estos movimientos se incrementa en 0.2g, 0.4g y 0.6g para investigar el desempeño de los estabilizadores amortiguados bajo sismos de baja, media y alta magnitud. Se puede observar que a partir de los resultados experimentales obtenidos el mejor efecto de amortiguación se ha logrado con el aumento del PGA (0.6g). Esto se debe principalmente a un aumento de la capacidad de disipar la energía sísmica, no a un cambio en la frecuencia.

La Tabla 8 compara las respuestas de deformación del modelo de la estructura con el soporte sin el amortiguador y con el amortiguador bajo movimientos de 0.6g.

Record Location	El Centro			Hollywood		
	Fixed	Damped	Effectiveness	Fixed	Damped	Effectiveness
Column base	276.2	166.3	39.79%	279.6	151.7	45.75%
Tube bottom	361.4	253.9	29.75%	363.1	194.6	46.40%
4 th outrigger	474	173.3	63.44%	446.4	167.8	62.42%
8 th outrigger	301	161	46.49%	414.7	140.9	66.03%

Tabla 7. Comparación de resultados para distintos sismo de PGA-0,6g

Fuente: P. Tan, C.J. Fang, W.R. Tu & F.L. Zhou, Y. Wang & M. Jiang. Experimental Study on the Outrigger Damping System for High-Rise (2012)

Los resultados experimentales muestran que la estructura con estabilizadores amortiguados pueden lograr un mejor rendimiento sobre la estructura con estabilizadores fijos en la reducción de las respuestas sísmicas, la ventaja es mayor mientras los movimientos sísmicos de entrada sean más altos. Además, el trabajo analítico muestra que el modelo de elementos finitos desarrollado puede representar muy bien el modelo de prueba estructural. El nuevo sistema de estabilizadores amortiguados ofrece una estrategia económica y efectiva para la mejora del rendimiento en la estructura tubular bajo la excitación sísmica.

V.4. Disipadores histeréticos

Los dispositivos histeréticos son dispositivos metálicos que basan su amortiguamiento en la deformación de sus elementos. Este tipo de dispositivos ofrece gran capacidad de amortiguamiento con volúmenes pequeños en relación a la totalidad de las estructuras, 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.

V.4.1. Amortiguador de histéresis multidireccional torsional (MTHD).

Autores: M. Dicleli y A. Salem. Middle East Technical University. Ankara-Turquía. (2012)

El siguiente es un estudio del comportamiento de un nuevo amortiguador histerético. El amortiguador histerético multidireccional de torsión (MTHD), es un invento patentado recientemente y es usado en su mayoría para puentes.

El disipador (MTHD) posee ocho cilindros de acero basados en movimientos torsionales y con rendimientos idéntico, cada uno conectado a un brazo de torsión que es dispuesto en una configuración simétrica, como se muestra en la figura 48. Para convertir los desplazamientos de la estructura a torsión en los núcleos cilíndricos, cada brazo está acoplado con un riel guía que a través de un bloque deslizante de baja fricción conduce el movimiento del brazo. Los brazos, son de este modo restringidos al moverse a lo largo de una trayectoria predeterminada independientemente de la dirección del desplazamiento impuesta en el sistema de carriles con respecto a la base, creando una conexión entre los rodillos y los rieles.

Los núcleos están configurados en una posición vertical alrededor de una columna central a la que están unidas por una placa gruesa (ver figura 49).

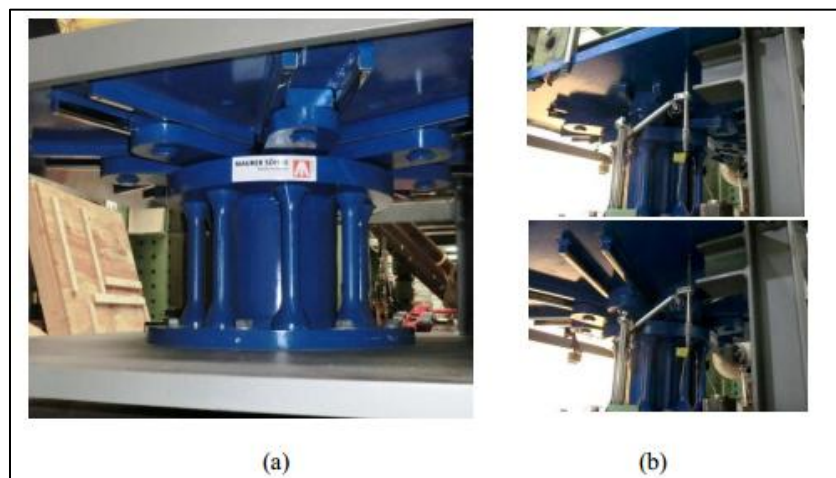


Fig. 44. Fotografía sobre el disipador (MTHD)

Fuente: M. Dicleli & A. Salem Milani. Analytical and Experimental Investigations of a New Hysteretic Damper (2012)

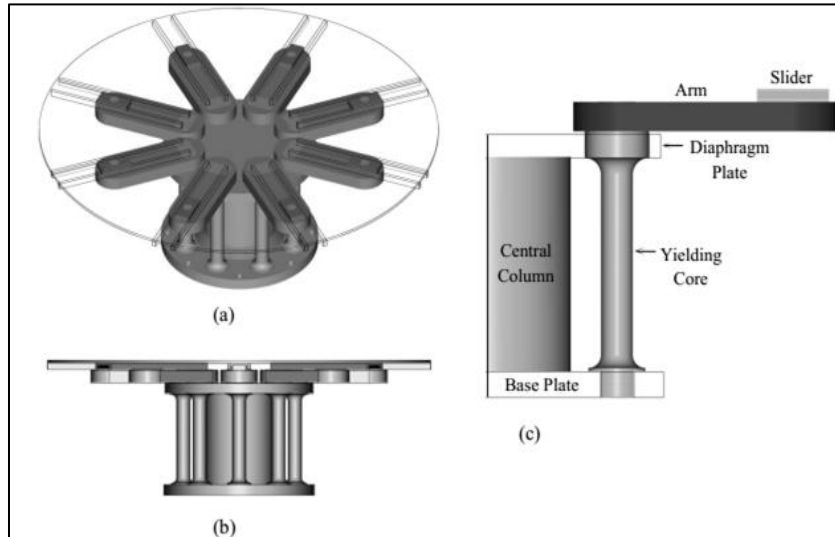


Fig. 45. Componentes y descripción del disipador (MTHD)

Fuente: M. Dicleli & A. Salem Milani. Analytical and Experimental Investigations of a New Hysteretic Damper (2012)

Un rasgo distintivo de la respuesta del MTHD a la relación fuerza/desplazamiento es el comportamiento de endurecimiento que resulta de la conversión del movimiento de traslación a la rotación, como se representa en la figura 50. El mismo mecanismo también ofrece la posibilidad de controlar el nivel deseado de endurecimiento como respuesta a la relación fuerza/desplazamiento, a través del ajuste de la longitud del brazo a la relación máxima de desplazamiento. Es representado en la figura 51.

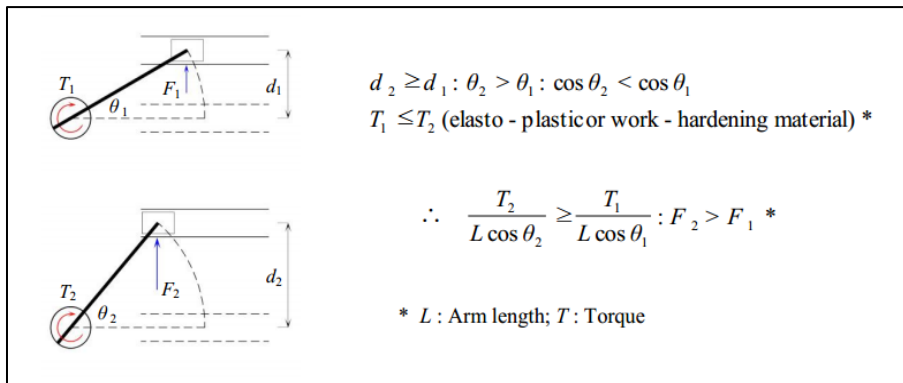


Fig. 46. Comportamiento de endurecimiento

Fuente: M. Dicleli & A. Salem Milani. Analytical and Experimental Investigations of a New Hysteretic Damper (2012)

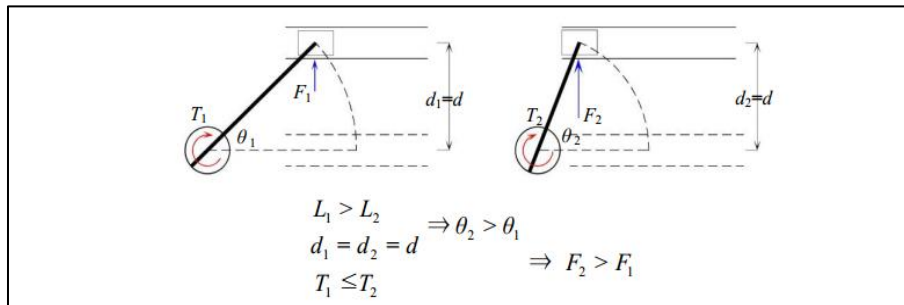


Fig. 47. Comportamiento de acuerdo al ajuste en la longitud del brazo
Fuente: M. Dicleli & A. Salem Milani. Analytical and Experimental Investigations of a New Hysteretic Damper. (2012)

De este modo variando los niveles de endurecimiento obtenido, conduce a ciclos de histéresis de diferentes formas como se muestra en La figura 52.

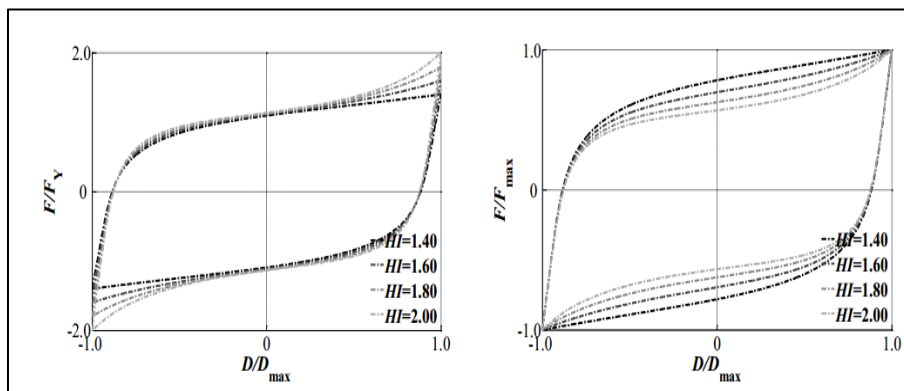


Fig. 48. Relación Fuerza- desplazamiento en el MTHD para diferentes índices de diseño de endurecimiento (HI = Fmax / AF).

Fuente: M. Dicleli & A. Salem Milani. Analytical and Experimental Investigations of a New Hysteretic Damper. (2012)

El MTHD que ha sido diseñado para esta prueba mediante una versión que se considera de baja capacidad en su tipo, ya que en la práctica real se emplean dispositivos de capacidad en fuerza/desplazamiento muchos mayores. Los experimentos con el prototipo MTHD consisten en pruebas cíclicas y desplazamientos casi estáticos controlados a diferentes amplitudes, que consta de 1/4, 1/2, 3/4 y 1,0 Dmax.

Observaciones sobre la estabilidad de la respuesta se expresan en términos del grado de variación en la fuerza de los bucles de respuesta de desplazamiento, la fuerza máxima y el área del bucle cerrado en un cierto desplazamiento.

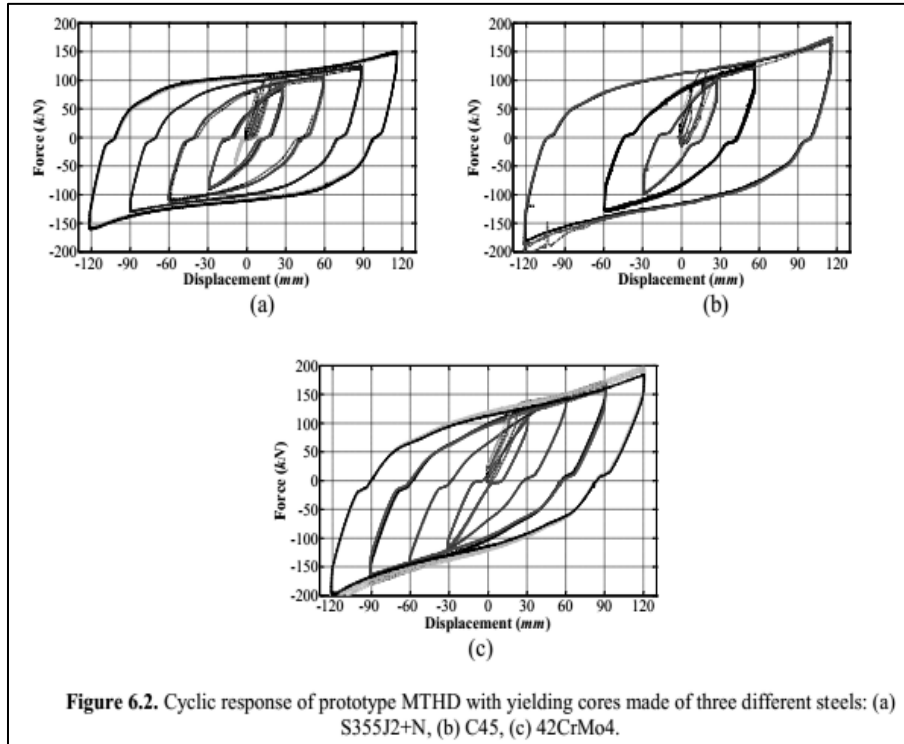


Fig. 49. Curvas de histéresis para el prototipo ensayado MTHD con diferentes aceros: (a) S355J2+N, (b) C45, (c) 42CrMo4.

Fuente: M. Dicleli & A. Salem Milani. Analytical and Experimental Investigations of a New Hysteretic Damper (2012)

La tabla 9 muestra los siguientes resultados para distintos tipos de aceros

Steel grade	F_{max} (kN)	β_{eff} at D_{max}
S355J2+N	153	0.40
C45	178	0.36
42CrMo4	194	0.32

Tabla 8. Mediciones de fuerza máxima y coeficiente de amortiguación efectiva para diferentes tipos de aceros

Fuente: M. Dicleli & A. Salem Milani. Analytical and Experimental Investigations of a New Hysteretic Damper (2012)

V.4.2. Arriostramientos duales resistentes a terremotos (ADCS).

Autores: T. Sophocleous & M. Phocas, Departamento de Arquitectura, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cyprus, Cyprus-Chipre. (2012)

El ADCS consiste en un arriostramiento de cables tensionados y un amortiguador histerético de placas de acero de forma triangular. En un principio, Las placas de acero están adheridas al sistema de arriostramiento de cables, basado en discos giratorios. El ADCS se introduce en los pórticos mediante una conexión de refuerzo tipo chevron y los miembros del refuerzo están conectados típicamente a las vigas y las columnas a través de pernos, de este modo las placas de acero antes de ceder por acciones sísmicas, reducen la deriva de piso, desarrollando al mismo tiempo altas aceleraciones por lo que el presente análisis se refiere a dos configuraciones particulares de los ADCS.

El refuerzo del sistema de control propuesto está conectado en la parte inferior de las columnas y son libres de moverse en sus juntas de conexión mediante discos giratorios mecánicos, figura 54. En ambas configuraciones se coloca un amortiguador de histéresis entre la viga y el miembro de arriostramiento de cable horizontal.

En la figura 54, el ADCS (b), se muestra una configuración con un par de tirantes diagonales conectados a un disco giratorio medio. El amortiguador histerético consta de un número adecuado de placas de acero de forma triangular o en X idénticos, colocados en paralelo y se sueldan en dos placas horizontales.

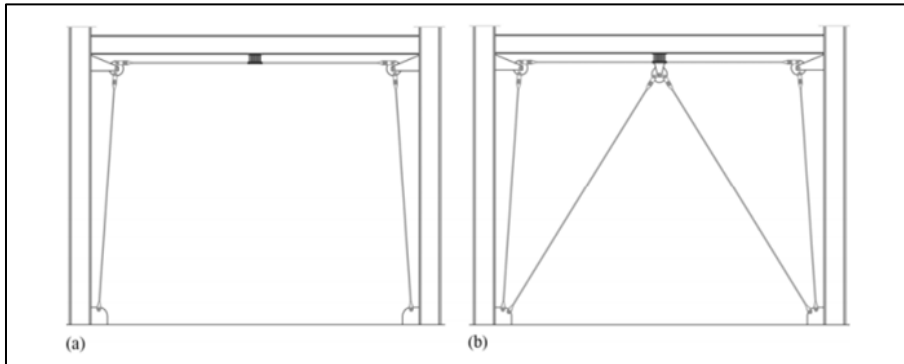


Fig. 50. ADCS con sólo el mecanismo de tensión refuerzo - amortiguador: (a) Pórtico de arriostramiento configuración, ADCS1; (b) Configuración de arriostramiento en pórtico y Chevron, ADCS2

Fuente: T. Sophocleous & M.C. Phocas. Bracing Design in Dual Systems for Earthquake Resistance (2012)

El mecanismo cinético ADCS se activa durante la excitación dinámica por las fuerzas horizontales. En cada ciclo de carga se generan desplazamientos para la configuración principal, seguido después por los deslizamientos en los refuerzos tensionales a través de rotaciones de los discos excéntricos. Desde los miembros de refuerzo tensionales se forma un circuito cerrado, e idealmente las reacciones sobre el pórtico en el extremo de cada uno de los ciclos de desplazamientos se neutralizan y los miembros permanecen bajo tensión, figura 55.

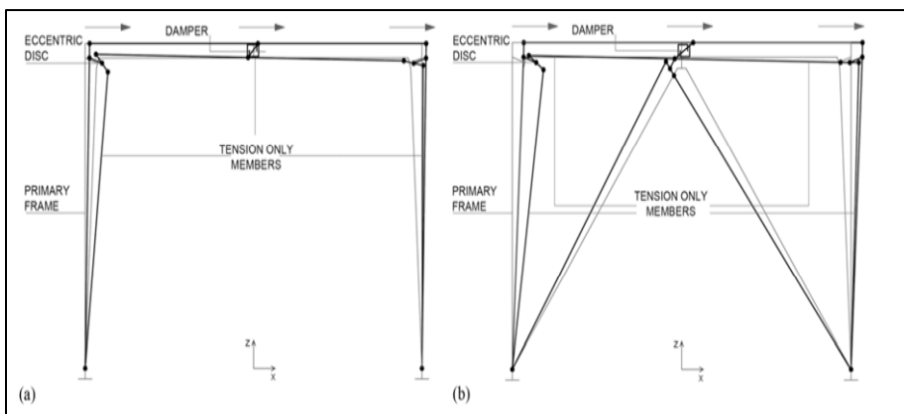


Fig. 51. Modelo cinético: (a) ADCS1; (b) Configuración de arriostramiento en pórtico y Chevron, ADCS2

Fuente: T. Sophocleous & M.C. Phocas. Bracing Design in Dual Systems for Earthquake resistance. (2012)

La aplicación del mecanismo de control se convierte en una alternativa atractiva, no sólo para el diseño de estructuras resistentes a los terremotos, sino también para la modernización sísmica de las ya existentes.

Los sistemas aquí propuestos se han verificado en la actualidad por su desempeño sobre la base de diez registros de terremotos de la región del Mediterráneo griego. Mientras que el arriostramiento de cables en el pórtico es el responsable de su desplazamiento primario, el sistema de pórtico principal lo que conduce a deformaciones del amortiguador por histéresis, el refuerzo adicional con chevron también ha demostrado a través de su acción centrada, no sólo la disipación de energía resultante, sino también disminuir de la sensibilidad del mecanismo de control para la carga de terremoto.

V.5. Disipadores con sólidos viscoelásticos

Los disipadores con sólidos viscoelásticos normalmente están conformados por placas y otro tipo de elementos metálicos unidos a un sólido viscoelástico, el cual se deforma por fuerzas de corte. Su acción disipativa se basa en el aumento del amortiguamiento estructural. De este modo, presentan ciclos histeréticos elípticos.

V.5.1. Dispositivo cilíndrico con goma de alta amortiguación.

Autores: N. Yamaguchi, M. Nakao, T. Furuta, T. Mikoshiba, Japón (2011)

El dispositivo cuenta con un par de rodillos y cilindros como un disipador de aceite regular, pero el espacio entre los rodillos y cilindros son llenados con goma de alta amortiguación en vez de aceite. El diámetro y la longitud del dispositivo son de 48.6mm y 350mm respectivamente. El grosor, longitud y módulo de corte de la goma de alto amortiguamiento son 6.2mm, 200mm y 0.8N/mm² como se ve en la figura 56. La tabla 10 indica las especificaciones de la goma de alta amortiguación utilizada para el disipador.

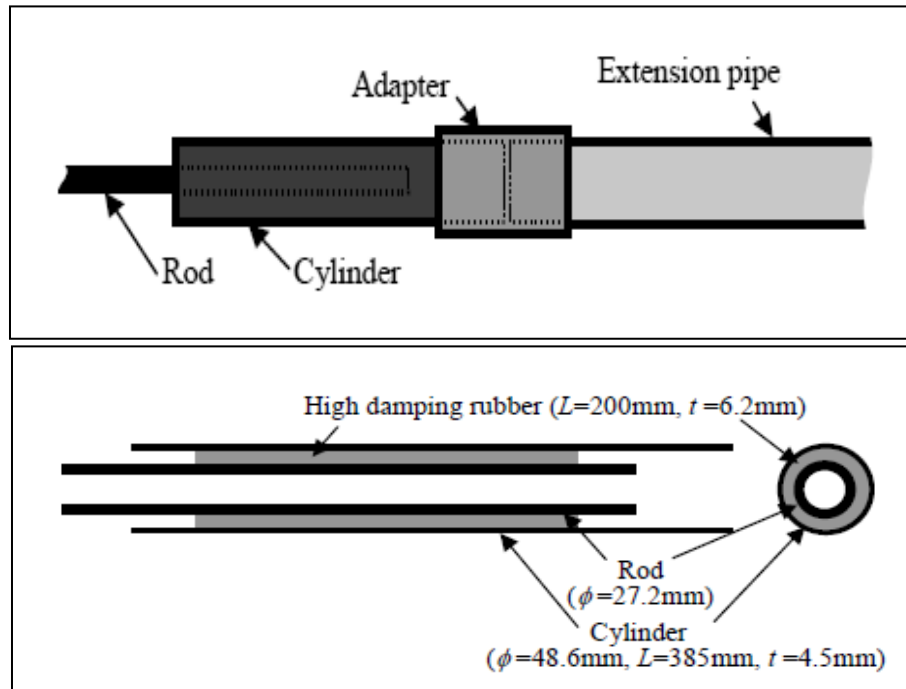


Fig. 52. Diseño, descripción y componentes del dispositivo

Fuente: Nobuyoshi YAMAGUCHI, Masato NAKAO, Tomoki FURUTA Tadashi MIKOSHIBA
Development of Cylindrical Passive Damper using High Damping Rubber (2011)

MODULO DE RIGIDEZ G (N/mm ²)	FACTOR DE DISIPACION VISCOSA EQUIVALENTE Heq (%)	FRACTURA POR DEFORMACION POR CORTE Eb (%)
0.8	22.9	>600

Tabla 9. Especificaciones de la goma de alta amortiguación

Fuente: Nobuyoshi YAMAGUCHI, Masato NAKAO, Tomoki FURUTA Tadashi MIKOSHIBA
Development of Cylindrical Passive Damper using High Damping (2011)

El disipador se conecta a un tubo de extensión, y el tubo de extensión es instalado como un tirante a la unión entre columna y viga, suelo y la columna. El tipo de instalación del rigidizador es en forma de K y el arreglo de los dos rigidizadores diagonales se muestra en la figura 57. Se conectan mediante tiras roscadas, donde un tubo de extensión del disipador es conectado a una placa de conexión que se instala entre un par de soportes de fijación. Un perno de alta tensión se inserta horizontalmente entre la abrazadera y la placa de conexión. Los soportes se fijan a las columnas horizontalmente, y verticalmente a las vigas con

tornillos de madera. Un par de soportes de fijación también se instalan en el medio de una columna y conecta la columna a dos diagonales del disipador. Se sujeta el soporte en el centro de la columna mediante pernos para frenar el movimiento vertical de los soportes.

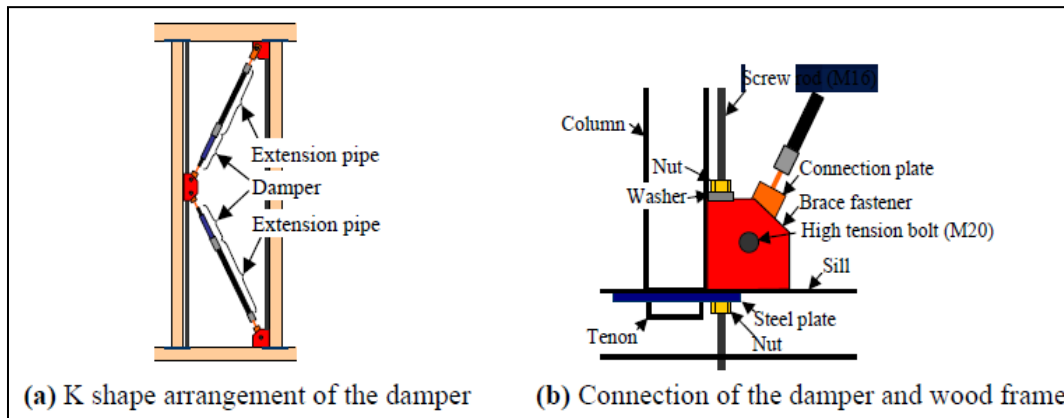


Fig. 53. Arreglo del disipador en un pórtico diagonal.

Fuente: Nobuyoshi YAMAGUCHI, Masato NAKAO, Tomoki FURUTA Tadashi MIKOSHIBA Development of Cylindrical Passive Damper using High Damping Rubber (2011)

Utilizando marcos o pórticos de madera que están preparados para las pruebas de cargas cuasi estáticas y la prueba de mesa vibrante, los paneles de madera y un solo arriostramiento se utilizan como la pared de corte a ser evaluada, la Tabla 11 muestra las especificaciones de esta.

Shear wall	Wall length	Material & connector
Nailed plywood	910mm	Plywood : t=12mm, Japanese cypress Connector : $\Phi 50\text{mm}@150\text{mm}$
Single wood brace	910mm	Wood brace : Hem Fir, 90mm x 45mm Brace fastener : Box type

Tabla 10. Especificaciones para los pórticos de madera

Fuente: Nobuyoshi YAMAGUCHI, Masato NAKAO, Tomoki FURUTA Tadashi MIKOSHIBA Development of Cylindrical Passive Damper using High Damping (2011)

- Las pruebas de carga cuasi-estáticas usan una pared de madera de dos vanos con tres columnas
- La prueba de la mesa de vibración utiliza tres pórticos de madera de tres vanos con cuatro columnas; tres pórticos de madera empotrados al piso.

La figura 58 muestra la disposición de los pórticos de madera para las pruebas de mesa vibradora. El disipador de tirantes en forma de K o paredes de corte típicas está instalado en el pórtico central de los tres marcos de madera. Los pórticos exteriores no resisten cargas horizontales.

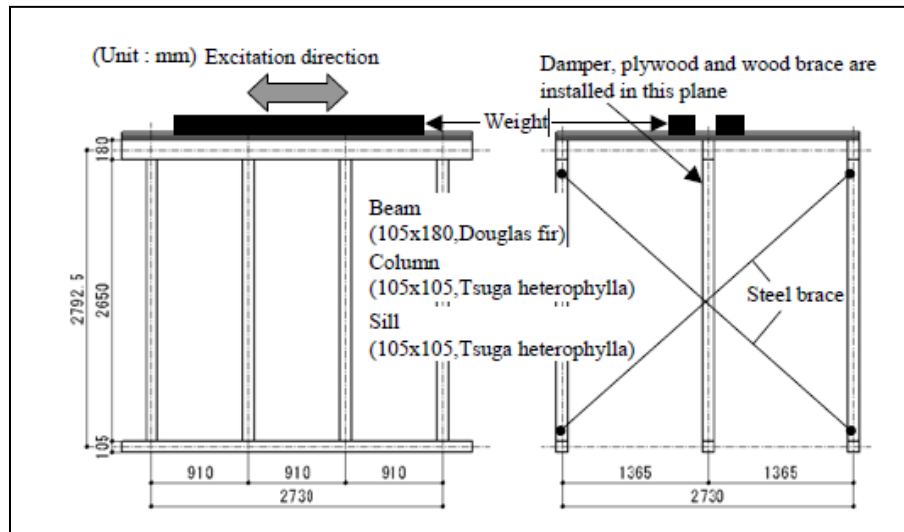


Fig. 54. Disposición de los pórticos de madera

Fuente: Nobuyoshi YAMAGUCHI, Masato NAKAO, Tomoki FURUTA Tadashi MIKOSHIBA
Development of Cylindrical Passive Damper using High Damping Rubber (2011)

El desempeño de los disipadores se mide mediante pruebas de carga cuasi estáticas. Un grupo de disipadores de arriostamientos en forma de k se instaló en el pórtico y se aplicaron desplazamientos cíclicos de $1/300\text{rad}$, $1/200\text{rad}$ y $1/150\text{rad}$. Pesos de 8kN se aplicaron en ambas columnas laterales de los pórticos, los otros 4kN se aplican en las demás columnas.

La figura 59 muestra la relación de fuerza-desplazamiento de los disipadores con goma de alta amortiguación utilizando pruebas de carga cuasi estáticas.

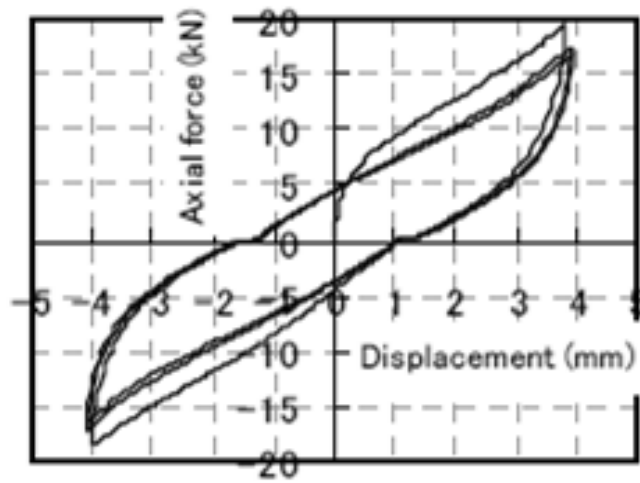


Fig. 55. Relación Fuerza-Desplazamiento

Fuente: Nobuyoshi YAMAGUCHI, Masato NAKAO, Tomoki FURUTA Tadashi MIKOSHIBA
Development of Cylindrical Passive Damper using High Damping Rubber (2011)

El rendimiento de los amortiguadores también se evalúa mediante la prueba de mesa vibratoria, la dirección de la vibración es dependiente para los pórticos evaluados. Los desplazamientos de cada uno de los pulsos de entrada fueron de 1 mm, 2 mm y 3 mm respectivamente. El registro de movimiento sísmico a utilizar fue el de Kobe, Japón (1995).

En la figura 60 podemos observar los desplazamientos de respuesta del pórtico con disipadores comparando los resultados de análisis y prueba de mesa vibratoria, mientras que en la figura 61 se observa la aceleración de respuesta del pórtico con disipadores comparando los resultados de análisis y prueba de mesa vibratoria.

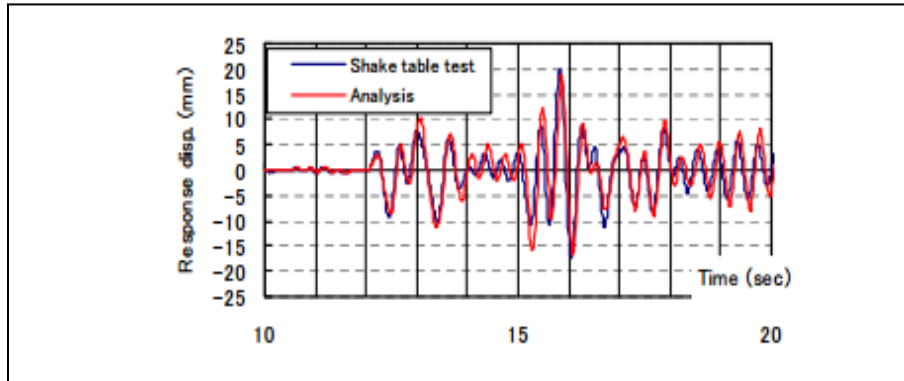


Fig. 56. Desplazamientos como respuesta del estudio.

Fuente: Nobuyoshi YAMAGUCHI, Masato NAKAO, Tomoki FURUTA Tadashi MIKOSHIBA
Development of Cylindrical Passive Damper using High Damping Rubber (2011)

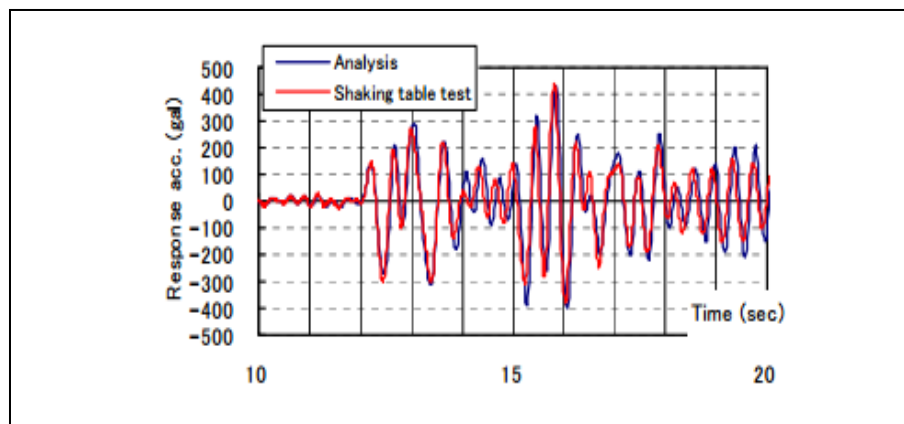


Fig. 57. Aceleraciones como respuesta del estudio.

Fuente: Nobuyoshi YAMAGUCHI, Masato NAKAO, Tomoki FURUTA Tadashi MIKOSHIBA
Development of Cylindrical Passive Damper using High Damping Rubber (2011)

Se realizó un análisis por computadora usando un modelo esquemático de los pórticos y un modelo histerético no lineal simulando las relaciones fuerza-desplazamiento de los disipadores. El modelo de los pórticos es el mismo utilizado para las pruebas.

Los disipadores cilíndricos llenos de goma de alta amortiguación son desarrollados para viviendas de madera en Japón. Se realizaron evaluaciones de cargas cuasi estáticas de los pórticos de madera con disipadores y prueba de mesa vibratoria a los pórticos típicos con disipadores. La respuesta de los pórticos

con estos disipadores, fue casi la mitad de la obtenida por los pórticos sin ellos. La eficiencia de estos disipadores se verificó en la prueba de mesa vibratoria. El análisis de respuesta dinámico de los pórticos con disipadores usando los resultados de las pruebas de carga cuasi estáticas acertó la predicción de la respuesta en la mesa vibratoria. Los modelos de histéresis no lineales del pórtico con disipadores basados en las pruebas de carga cuasi estáticas fueron eficientes para el análisis de respuesta dinámica. Los resultados mostraron que mientras el radio de la longitud de la pared con disipadores aumenta, los desplazamientos de respuesta de la estructura se redujeron, pero las aceleraciones de respuesta de la estructura eran casi constantes.

V.5.2. Comportamiento sísmico de un nuevo dispositivo visco plástico equipado con núcleos de acero y visco elástico sólido.

Autores: A. Shiekholeslami y F. Behnamfar (2012)

El dispositivo consiste en un material sólido visco elástico unido en su lugar entre dos placas de acero, varios núcleos de acero, pernos de alta resistencia, tuercas y arandelas, chasis principal y algunas tuercas especiales para fijar los núcleos de acero en el orificio de la brida inferior. Detalles del dispositivo propuesto se muestran en la figura 62.

El dispositivo está fabricado a partir de materiales de fácil obtención, por otra parte, el dispositivo disipa la energía bajo todos los niveles de vibración. A bajos niveles de excitación el dispositivo funciona como un disipador visco elástico y la energía se disipa a través de la deformación por corte amplificada. Para un alto nivel de vibración, opera como una combinación de un visco elástico y un dispositivo de cedencia metálico. Además de la disipación de energía, el dispositivo proporciona rigidez a la estructura a través de los elementos de núcleo de acero y la rigidez almacenada del material visco elástico.

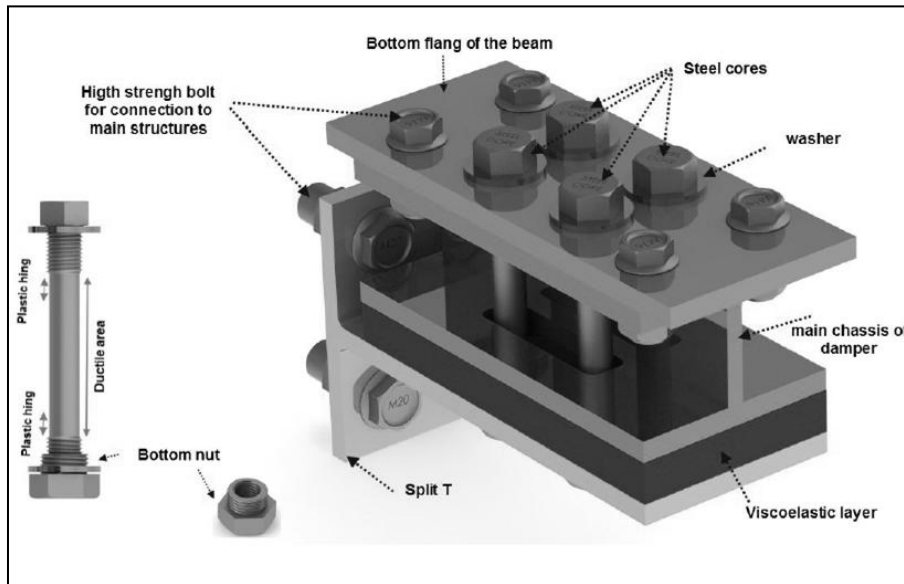


Fig. 58. Detalle de los componentes que conforman el dispositivo

Fuente: A.B. Sheikholeslami F. Behnamfar. Seismic behavior of new plastic device equipped with steel cores and viscoelastic solid (2012)

En La Figura 63 se muestra cómo el dispositivo propuesto puede estar unido a la junta de la viga con la columna. Como otra aplicación, este dispositivo también se puede utilizar en sistemas de arriostamiento-chevron.

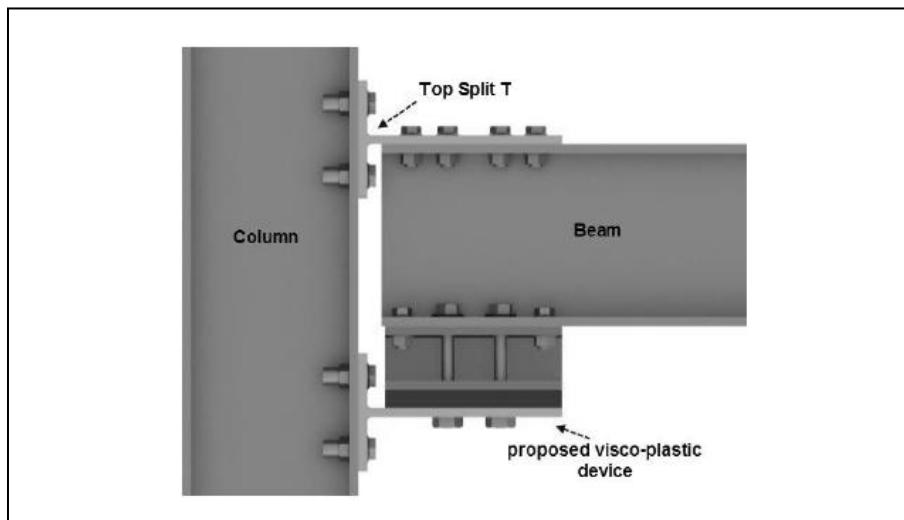


Fig. 59. Implementación del dispositivo en una junta de acero

Fuente: A.B. Sheikholeslami F. Behnamfar. Seismic behavior of new plastic device equipped with steel cores and viscoelastic solid. (2012)

Se realizó un análisis de elementos finitos para determinar la rigidez y la capacidad de disipación de energía del dispositivo visco-plástico propuesto. La muestra en este análisis consta de cuatro núcleos de acero y una capa visco elástica de 20 mm de espesor.

Mediante la realización de varios análisis de elementos finitos con varias relaciones de D / L, y mediante el uso de un proceso de ajuste de curvas, la siguiente ecuación se deriva de la longitud efectiva de núcleos de acero.

$$b = 0.91 - 0.4 \frac{D}{L} \quad (5-4)$$

Entonces.

$$l_0 = bL \quad (5-5)$$

Donde, L es la longitud total de la zona dúctil en los núcleos de acero. Además la teoría y el análisis, se calcularon y se presentan detalladamente en la Tabla 12.

D/L Ratio	K _{anal}	K _{FEM}	c
0.136	7515	3240	0.43
0.145	9854	4068.4	0.41
0.163	16196	6001	0.37

Tabla 11. Cálculo del coeficiente de rigidez para el dispositivo VPD

Fuente: A.B. Sheikholeslami F. Behnamfar. Seismic behavior of new plastic device equipped with steel cores and viscoelastic solid. (2012)

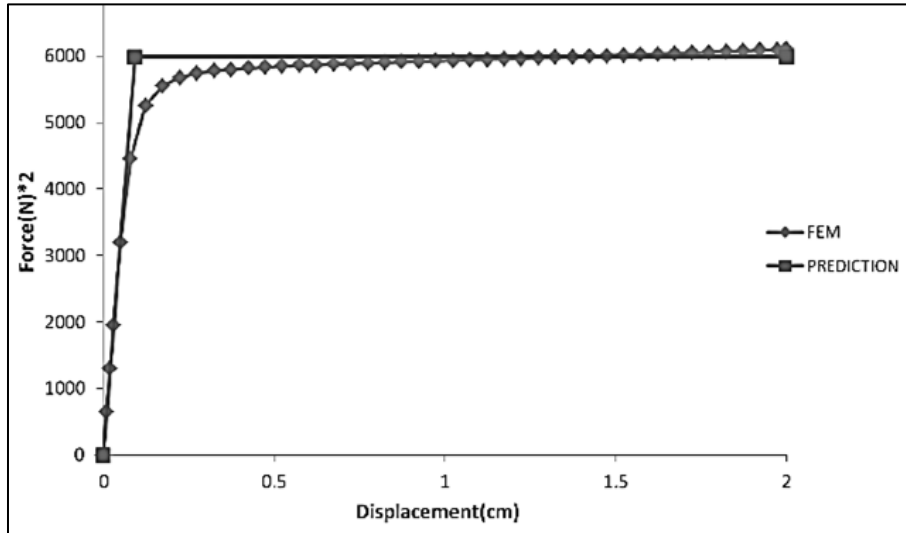


Fig. 60. Relación fuerza-desplazamiento para los núcleos de acero
Fuente: A.B. Sheikholeslami F. Behnamfar. Seismic behavior of new plastic device equipped with steel cores and viscoelastic solid. (2012)

También las curvas de fuerza-desplazamiento del dispositivo propuesto para diversas velocidades de carga de 2, 4, 10 y 20 mm/s para los especímenes con relación D/L igual a 0.136 se muestran en la figura 65.

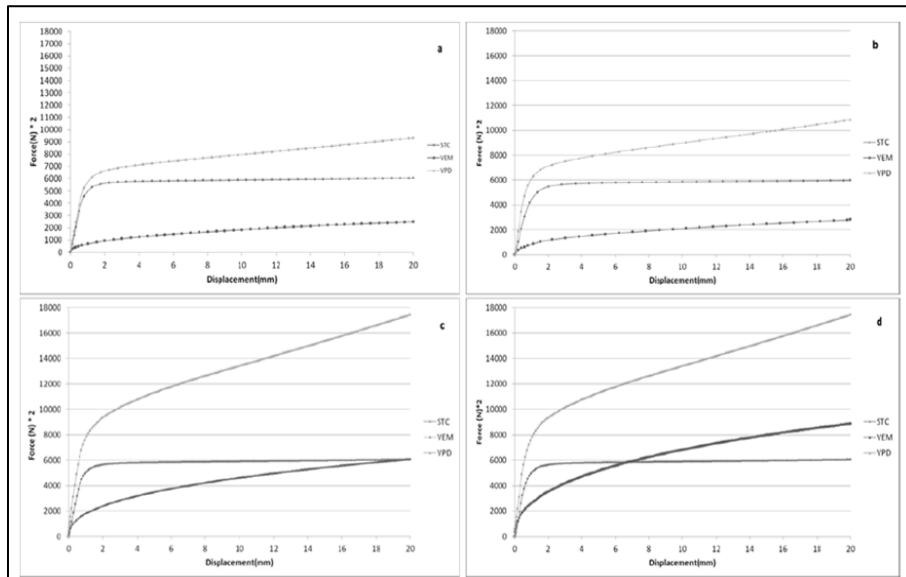


Fig. 61. Curvas de fuerzas desplazamiento para dispositivos visco-plásticos con diferentes tipos
:(a) $V=2\text{mm/s}$ (b) $V=4\text{mm/s}$ (c) $V=10\text{mm/s}$ (d) $V=20\text{mm/s}$
Fuente: A.B. Sheikholeslami F. Behnamfar. Seismic behavior of new plastic device equipped with steel cores and viscoelastic solid. (2012)

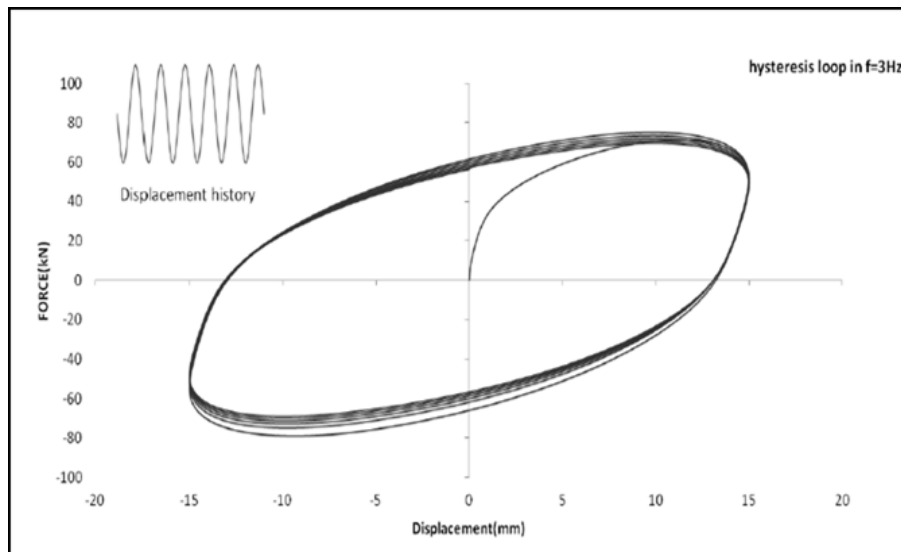


Fig. 62. Curva de histéresis para el dispositivo visco- plásticos con una frecuencias 3HZ
Fuente: A.B. Sheikholeslami F. Behnamfar. Seismic behavior of new plastic device equipped with steel cores and viscoelastic solid. (2012)

El dispositivo está construido con materiales fácilmente disponibles y se puede montar fácilmente en la mayoría de las plantas de fabricación de acero estructural. El dispositivo ha mostrado un buen comportamiento de histéresis bajo excitación armónica sinusoidal y posee la capacidad de ser reparado rápidamente. Esto significa que los pernos cedidos pueden sustituirse fácilmente después de terremotos moderados o fuertes.

V.6. Disipador combinado

V.6.1. Dispositivo de hendidura combinados con amortiguadores viscosos.

Autores: T. Karavasilis Y A. Dimopoulos. Escuela de Ingeniería, Universidad de Warwick, UK-Reino Unido. (2011)

Se muestra un enfoque alternativo para el diseño sísmico de estructuras de acero que se concentra en el daño de los elementos no estructurales sensibles, para que así sea fácil de reemplazar. Esta estrategia alternativa de diseño sísmico que concentra daños en los dispositivos con ranuras de acero mejora aún más su

rendimiento mediante el uso de amortiguadores viscosos en paralelo a los dispositivos mencionados. Mostraron que las derivas y aceleraciones totales se pueden controlar simultáneamente proporcionando amortiguamiento suplementario a los sistemas que resisten poca fuerza, es decir el MRF (Pórtico resistente a fuerzas por su siglas en inglés) con el dispositivo de hendidura están diseñados para una baja resistencia, y luego se da uso de amortiguadores viscosos que deben ser diseñados e insertados para reducir derivas máximas.

Chan y Albermani (2008) realizaron el diseño del dispositivo a partir de acero que se fabrica con una longitud corta de un perfil H , con un número de hendiduras cortadas, dejando un número de tiras entre las dos bridas para La deformación a flexión y disipar la energía mediante la formación de rótulas plásticas en sus extremos. Como se muestra en la figura 67, las variables que intervienen en el diseño del dispositivo son la longitud de la tira l_0 , b profundidad de la tira y t espesor del alma.

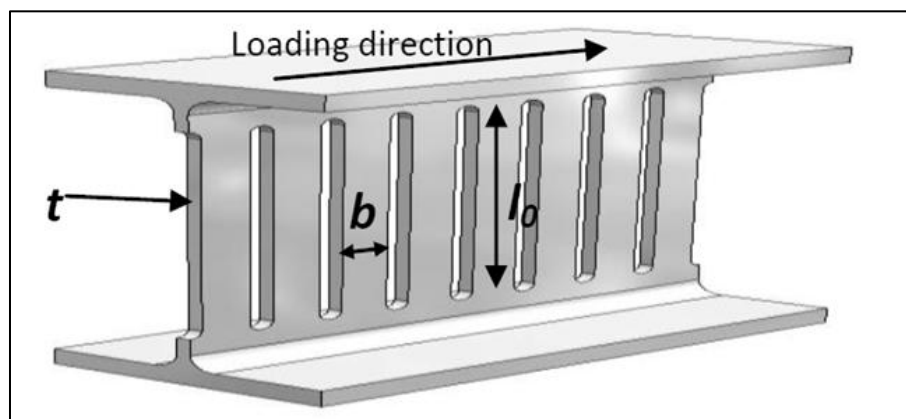


Fig. 63. Dispositivo de hendidura (Slit)

Fuente: T.L. Karavasilis & A.I. Dimopoulos E. Hal. Seismic design and evaluation of a minimal-damage steel frame equipped with steel yielding devices and viscous dampers (2011)

Un prototipo de edificio de acero fue equipado con dispositivos de acero y amortiguadores viscosos (figura 67), diseñado de acuerdo a los objetivos de rendimiento mínimo de daño definidos. Estos dispositivos de hendidura están

soportados por los apoyos y conectados a la brida inferior de la viga de acero de las MRF. Los amortiguadores viscosos se insertan en un pórtico de gravedad del edificio.

Los pórticos resistentes a fuerzas (MRF) con dispositivos de hendidura y un pórtico de gravedad con amortiguadores viscosos, se forman para así entrar en funcionamiento como un sistema de resistencia de carga lateral e híbrido como se muestra en las figuras 68 y 69.

Para el análisis no lineal de los amortiguadores viscoso se utilizó la formula siguiente.

$$f_d = c|v|^a \operatorname{sgn}(v) \quad (5-6)$$

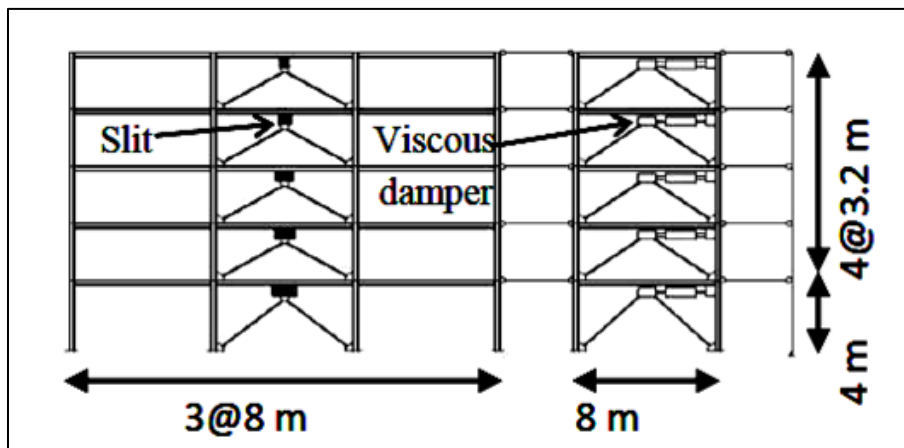


Fig. 64. Equipo de acero equipado con dispositivos de acero y amortiguadores viscosos
 Fuente: T.L. Karavasilis & A.I. Dimopoulos E. Hal. Seismic design and evaluation of a minimal-damage steel frame equipped with steel yielding devices and viscous dampers (2011)

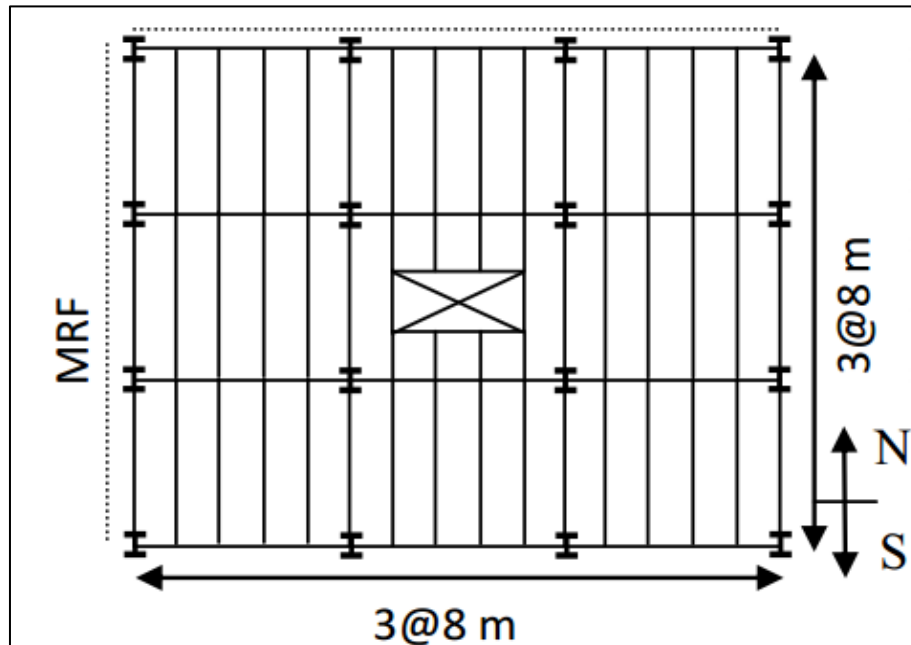


Fig. 65. Vista en planta del edificio utilizado para el Estudio.

Fuente: T.L. Karavasilis & A.I. Dimopoulos E. Hal. Seismic design and evaluation of a minimal-damage steel frame equipped with steel yielding devices and viscous dampers (2011)

La tabla 13 proporciona detalles de diseño para el MRF convencional (Pórtico resistente a fuerzas por su siglas en ingles) y el MRF con dispositivos de hendidura y amortiguadores viscosos, y muestra los beneficios significativos (menor deriva, θ_{max} , y reducido peso del acero) ofrecidos por la estrategia de diseño aquí propuesta. Además, la Tabla 14 muestra que los dispositivos de hendidura y amortiguadores viscosos no lineales tienen tamaños prácticos y rentables.

St.	Conventional MRF					MRF with slit dev. and damp.				
	Col. (HEB)	Beam (IPE)	T (s.)	Steel (kN)	θ_{max} (%)	Col. (HEB)	Beam (IPE)	T (s.)	Steel (kN)	θ_{max} (%)
1	400	450			DBE	280	270			DBE
2	400	450	1.7	180	1.75	280	270	1.5	124	1.0
3	400	400				280	270			
4	360	400			MCE	240	240			MCE
5	360	360			2.63	240	240			1.5

Tabla 12. Propiedades de MRF convencional y MRF con disipadores

Fuente: T.L. Karavasilis & A.I. Dimopoulos E. Hal. Seismic design and evaluation of a minimal-damage steel frame equipped with steel yielding devices and viscous dampers (2011)

Table 3.2. Slit devices and viscous dampers properties			
St.	Damper constant c {kN(s./mm) ^{0.5} }	Slit device geometry $t/b/l_o$ (mm)	Slit device number of strips n_{st}
1	33.2	15/66/440	13
2	38.0	15/53/350	15
3	34.0	15/53/350	13
4	25.1	15/53/350	10
5	19.1	15/53/350	8

Tabla 13. Propiedades del slit y del disipador viscoso

Fuente: T.L. Karavasilis & A.I. Dimopoulos E. Hal. Seismic design and evaluation of a minimal-damage steel frame equipped with steel yielding devices and viscous dampers (2011)

El procedimiento de diseño sísmico propuesto para los edificios de acero equipados con dispositivos de acero y amortiguadores se ratificó con un análisis dinámico no lineal.

Derivas de plantas residuales de la MRF convencional no cumplían el valor crítico de 0,5%, lo que garantiza posible reparación en base a causa de sismos

El total de las aceleraciones de piso pueden ser reducidas, mientras se logró una reducción significativa de las derivas de pisos mediante el diseño con amortiguamiento viscoso suplementario y una estructura de menor resistencia.

CAPITULO VI

REVISIÓN DE NORMAS SOBRE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

Se llevó a cabo una revisión de algunas normas nacionales e internacionales que sirvieran para el diseño de estructuras con dispositivos de disipación de energía, la norma nacional fue COVENIN 1756-2001 “Edificaciones sismorresistentes”, y las normas internacionales fueron la norma de Chile NCh 2369-2003 “Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales” y las normas de Estados Unidos a las cuales también se le hizo una traducción de algunos de sus aspectos importantes fueron la ASCE 7-10 “Cargas de diseño mínimas para edificaciones y otras estructuras” y el capítulo 15 de la norma FEMA 450 “Estructuras con sistemas de disipación”

VI.1. Norma venezolana COVENIN 1756-2001 “edificaciones sismorresistentes”

La norma venezolana no contempla reglas generales ni específicas para el diseño de estructuras con sistemas de disipación de energía ni el diseño de disipadores, solo se refiere al uso de disipadores en su artículo 8.7 donde menciona que se autoriza el uso de disipadores pasivos de energía debidamente justificados, analítica y experimentalmente para reducir la respuesta sísmica, tales como los sistemas de aislamiento sísmico y amortiguamiento.

VI.2. Norma chilena 2369-2003 “Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales”

La norma chilena en comparación con la norma venezolana ahonda en el tema de utilización de disipación de energía sísmica en estructuras, en su artículo 5.9 habla de las estructuras con aislación sísmica o disipadores de energía, a continuación se presentan algunos de los artículos más importantes en relación a disipación pasiva de energía:

“El sistema resistente de la estructura a fuerzas laterales y el sistema de aislación y/o disipación de energía deben ser diseñados para resistir la demanda de deformación y resistencia producida por el movimiento sísmico.”

“El modelo matemático de la estructura física debe representar la distribución de masas y rigidez de la estructura en un nivel que sea adecuado para el cálculo de las características significativas de su respuesta dinámica.”

“Las razones de amortiguamiento que se usen deben ser las correspondientes a los sistemas de aislación o de disipación de energía.”

“El análisis y la verificación de los sistemas de aislación o disipación de energía se deben realizar mediante un análisis modal espectral o de historia de respuesta en el tiempo o en frecuencias. El análisis modal espectral solo se podrá utilizar si el dispositivo o aislador es susceptible de ser modelado en una forma lineal equivalente validada.”

“Las relaciones constitutivas fuerza-deformación que se consideran en el análisis para los dispositivos escogidos, deben estar debidamente fundamentadas y respaldadas por ensayos de laboratorio.”

Toda estructura con sistemas de disipación de energía debe ser diseñada utilizando espectros de diseño descritos previamente en la norma y luego ser verificada utilizando tres registros compatibles con el nivel de demanda implícito en el espectro de diseño.

“El análisis sísmico de estructuras con sistemas de disipación de energía se debe llevar a cabo utilizando procedimientos de análisis dinámico que consideren adecuadamente la relación constitutiva fuerza-deformación de los dispositivos incluidos en la estructura.”

“Los sistemas de disipación a utilizar en una estructura deben haber sido sometidos con anterioridad a estudios experimentales que demuestren un comportamiento cíclico estable del dispositivo, así como posibles variaciones de sus propiedades con la temperatura.”

VI.3. 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.

VI.3.1. Procedimiento no lineal

Las propiedades de rigidez y amortiguamiento de los dispositivos usados en los modelos deben ser verificados por pruebas de control de calidad. Las características no lineales de fuerza-deformación de los dispositivos deben ser modeladas, como es requerido, para expresar la dependencia del dispositivo a frecuencia, amplitud y duración de carga sísmica.

VI.3.1.1. Procedimiento respuesta-historia no lineal

Un análisis respuesta-historia no lineal debe utilizar un modelo matemático de la estructura y el sistema de disipación que presente el comportamiento histerético no lineal de sus elementos para determinar su respuesta.

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

VI.3.1.2. Modelaje de dispositivos amortiguadores

Los modelos matemáticos de dispositivos desplazamiento-dependientes deben incluir el comportamiento histerético de los dispositivos consistente con datos de ensayos y presentando todos los cambios significativos en fuerza, rigidez y forma del ciclo de histéresis.

Los modelos matemáticos de dispositivos velocidad-dependientes deben incluir el coeficiente de velocidad consistente con datos de ensayos. Si este coeficiente cambia con el tiempo o temperatura, ese comportamiento debe ser modelado explícitamente. Los elementos de conexión de los dispositivos con la estructura deben ser incluidos en el modelo.

VI.3.1.3. Parámetros de respuesta

Para cada movimiento sísmico usado para el análisis tiempo-historia, se deben determinar para los dispositivos dependientes de la velocidad, parámetros individuales de fuerza, desplazamiento y velocidad.

VI.3.2. 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.

VI.3.3. Inspección y revisión periódica

Se debe proveer un medio de acceso y remoción de todos los dispositivos disipadores. El profesional 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.

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 realizar 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.

El capítulo 18 también se enfoca en gran medida al diseño de dispositivos pero en lo que respecta a este trabajo de investigación no se diseñaran dispositivos, se utilizarán los dispositivos existentes mostrados en la última conferencia mundial de ingeniería sísmica llevada a cabo en Lisboa en el año 2012 que estén adecuadamente probados y cumplan con los requerimientos necesarios para su uso en la estructura propuesta.

VI.4. FEMA 450 capítulo 15 “estructuras con sistemas de disipación”

La norma FEMA 450 en su capítulo 15 “Estructuras con Sistemas de Disipación” poseen la misma información que el capítulo 18 de la norma ASCE 7-10 por lo que no contiene información adicional útil.

CAPITULO VII

MODELOS

VII.1. Elección del dispositivo

El dispositivo elegido para la colocación en la estructura fue el disipador de fluido viscoso (FVD) revisado en la ponencia de D.I. Narkhede y R. Sinha, debido a múltiples factores que suponen ventajas en comparación a los demás dispositivos contemplados, aunque no se descarta que los demás disipadores presenten propiedades muy atractivas para su utilización.

Los dispositivos de fluido viscoso presentan una fácil instalación y relativa baja necesidad de mantenimiento, además de su alta capacidad de amortiguamiento con dispositivos relativamente pequeños.

La ventaja más notable de los disipadores de fluido viscoso es que el único parámetro del que dependen es de la velocidad, por lo que poseen una respuesta fuera de fase que no tiene ningún otro dispositivo de disipación de energía y no aportan rigidez a los elementos estructurales por lo que no modifican su respuesta dinámica.

El dispositivo será modelado con la función Damper del programa de cálculo SAP2000, se modela como un elemento no lineal, los valores a utilizar para su modelaje se pueden observar en la figura 70.

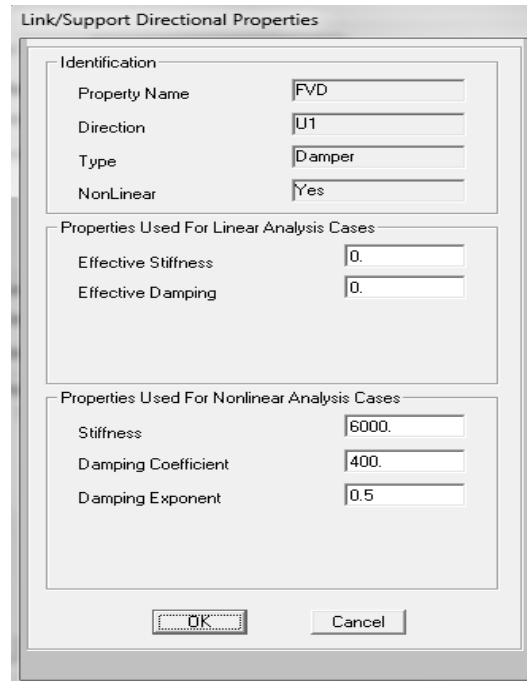


Fig. 66. Propiedades no lineales del dispositivo de fluido viscoso
Fuente: Elaboración propia

La rigidez a utilizar es la rigidez axial del elemento al que va sujeto el dispositivo, en este caso el extremo del disipador está sujeto a otra estructura de concreto armado que no será tomado en cuenta para efectos de esta investigación, por lo que su rigidez axial se asumirá con un valor elevado de 6000 Tf/m.

El coeficiente de amortiguación depende de un proceso iterativo, donde se busca una deriva objetivo, esta deriva objetivo viene dada por la siguiente tabla, la cual es presentada por la FEMA Mitigation Division en su documento Multihazard Loss Estimation Methodology HAZUS. Este documento presenta las derivas para los diferentes estados de daño de diversos sistemas estructurales.

Building Properties			Interstory Drift at			
Type	Height (inches)		Threshold of Damage State			
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
S1L	288	216	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600
S1M	720	540	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400
S1H	1872	1123	0.0030	0.0052	0.0118	0.0300
S2L	288	216	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
S2M	720	540	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
S2H	1872	1123	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
S3	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525
S4L	288	216	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
S4M	720	540	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
S4H	1872	1123	0.0020	0.0035	0.0093	0.0262
S5L						
S5M						
S5H						
C1L	240	180	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
C1M	600	450	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
C1H	1440	864	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300

Tabla 14. Relación daño-deriva según el tipo de estructura.

Fuente: H. Cano y E. Zumaeta. Diseño estructural de una edificación con disipadores de energía y análisis comparativo sísmico entre el edificio convencional y el edificio con disipadores de energía para un sismo severo (2012)

La estructura de estudio entra en la categoría C1H, edificación de concreto armado de gran altura. Para un daño mínimo se busca que el valor de la deriva sea menor de 0,0025. Utilizando las formulas para el cálculo de derivas de la norma COVENIN 1756:2001 y despejando el valor de desplazamiento lateral máximo, se presenta un valor para los desplazamientos laterales máximos. El valor de desplazamiento máximo será de 4.167cm. El valor del coeficiente de amortiguación C será asumido con un valor inicial de 400 T*s/m, en caso de que el desplazamiento objetivo no sea logrado se itera el valor de C hasta lograr el valor buscado.

El exponente de amortiguamiento a utilizar depende del disipador, su tamaño y el diseño del pistón, usualmente este valor se encuentra entre 0,4 y 0,6 por lo que el exponente que se utilizará será de 0,5.

VII.2. Colocación de los dispositivos

Se utilizarán dos dispositivos en el piso del módulo como se observa en la figura 71, con un ángulo de 45 grados para que genere fuerzas resistivas efectivas en ambas direcciones horizontales. Los dispositivos están conectados en sus dos extremos, uno de ellos al módulo y el otro extremo se encuentra articulado a otra estructura de concreto armado que no se tomara en cuenta para efectos de este trabajo de investigación para el modelaje ni el cálculo.

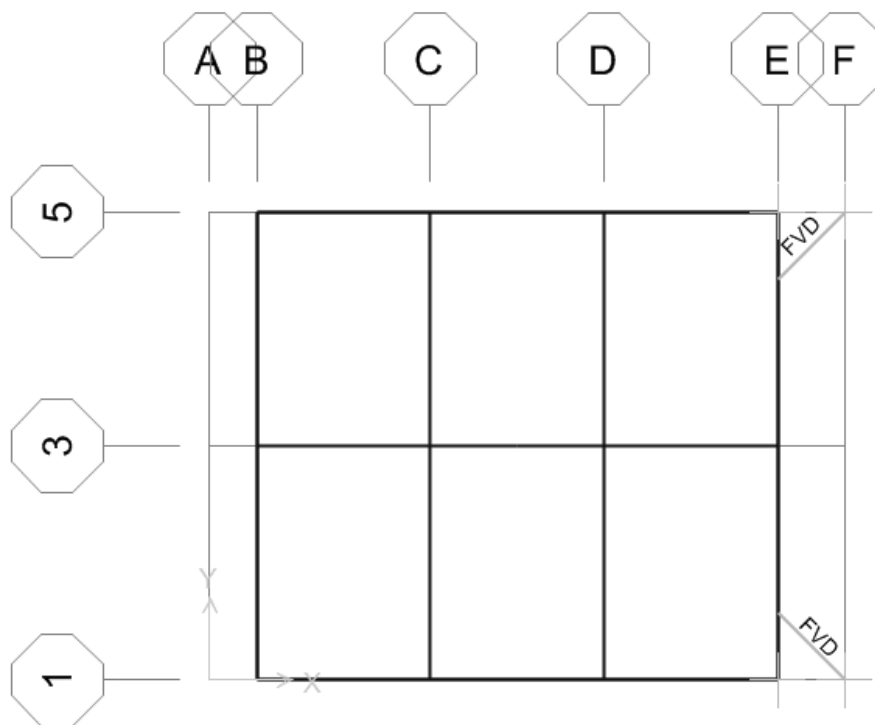


Fig. 67. Ubicación de los dispositivos de fluido viscoso
Fuente: Elaboración propia

VII.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 Loma Prieta, el sismo de Imperial Valley 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.

VII.3.1. Terremoto de Loma Prieta:

El terremoto de Loma Prieta fue un sismo ocurrido en el año 1989 en el área de la Bahía de San Francisco, California. Fue causado por un deslizamiento en la falla de San Andrés. Tuvo una duración entre 10 y 15 segundos y presentó un valor de 6,9 en la escala de magnitud de Richter.

En la figura 72 se muestran las aceleraciones para el registro sísmico de Loma Prieta en ambas direcciones horizontales. Este acelerograma presenta aceleraciones pico de 269,05 cm/s² para la dirección X y 196,30 cm/s² para Y.

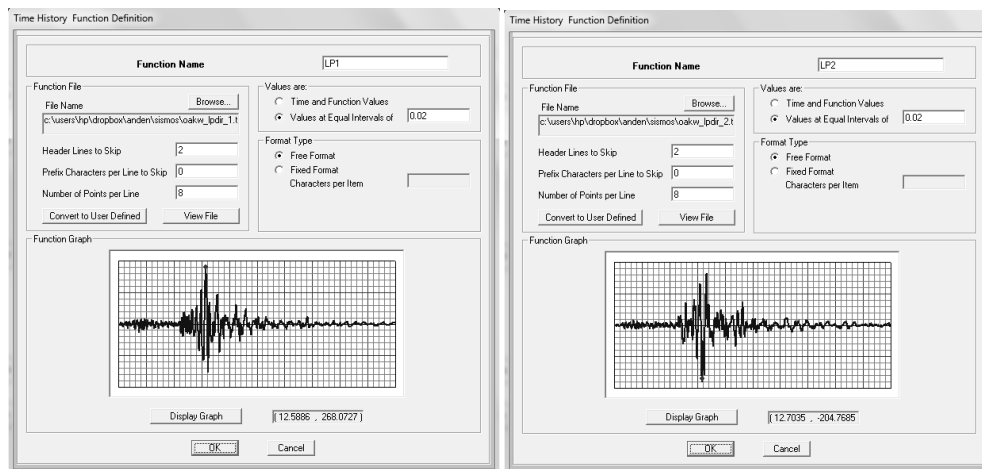


Fig. 68. Acelerograma de Loma Prieta en ambas direcciones horizontales
Fuente: Elaboración propia

VII.3.2. Terremoto de Imperial Valley:

El terremoto de Imperial Valley fue un sismo ocurrido en el año 1940 en Imperial Valley al sur de California. Tuvo una magnitud de momento de 6,9 y se consideró como un sismo intenso en la escala de intensidad de Mercalli.

En la figura 73 se muestran las aceleraciones para el registro sísmico de Imperial Valley en ambas direcciones horizontales. Este acelerograma presenta aceleraciones pico de 341,08 cm/s² para la dirección X y 209,19 cm/s² para Y.

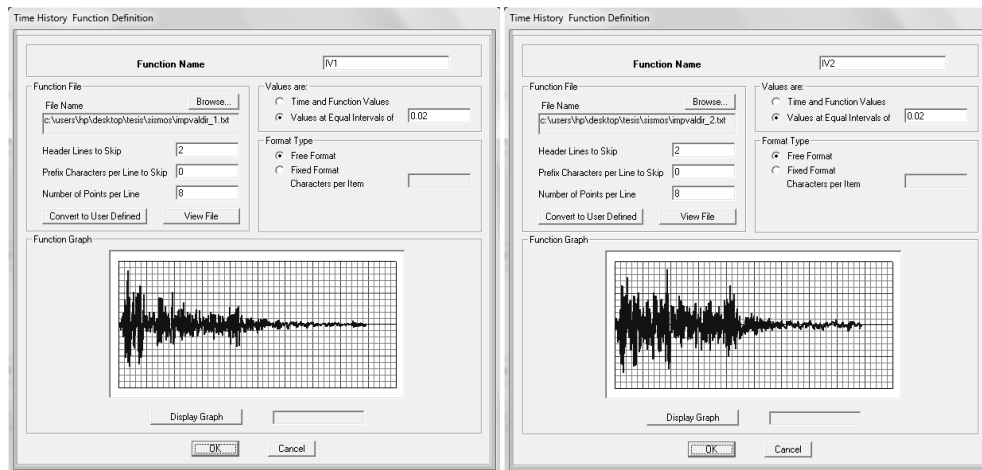


Fig. 69. Acelerograma de Imperial Valley en ambas direcciones horizontales
Fuente: Elaboración propia

VII.3.3. 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/s² para la dirección X y 757,27 cm/s² para Y.

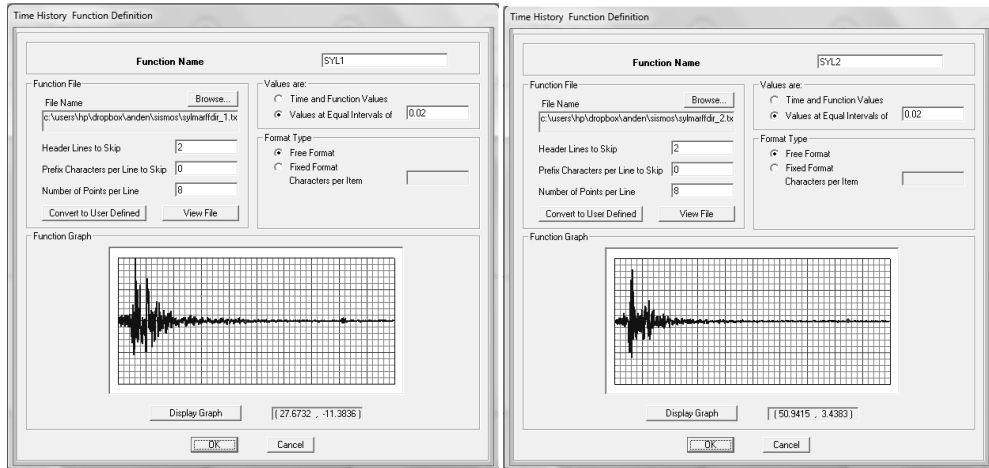


Fig. 70. Acelerograma de Sylmar en ambas direcciones horizontales
Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VIII

RESULTADOS Y ANÁLISIS

VIII.1. Respuesta de la estructura sin disipadores de fluido viscoso

Para cada registro sísmico utilizado se midieron los desplazamientos y velocidades en el centro de masa del piso del módulo de la estructura (figura 75) para ambas direcciones horizontales como se muestra en las tablas 15 y 16, así como también se midieron las fuerzas axiales, y fuerzas de corte en las columnas que soportan el módulo de la estructura (figura 76), en la tabla 17 se observan las fuerzas de la columna 1 y la tabla 18 las fuerzas de la columna 2, todo esto sin el uso de disipadores.

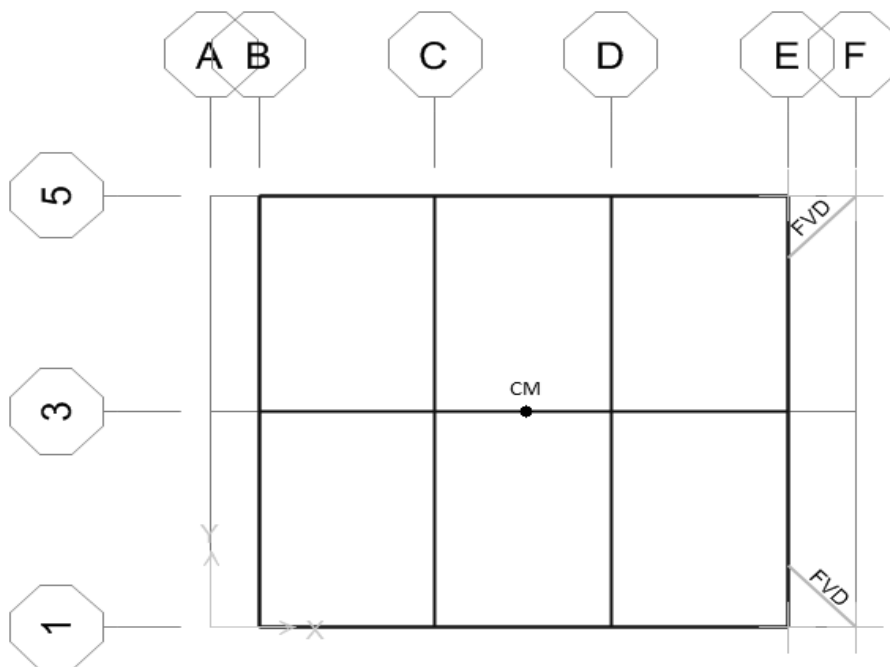


Fig. 71. Centro de masa en el piso del módulo de la estructura
Fuente: Elaboración propia

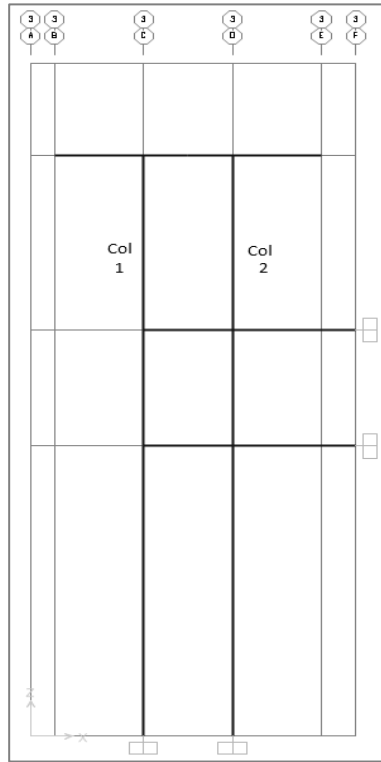


Fig. 72. Columnas 1 y 2 en las que se apoya el módulo de la estructura
Fuente: Elaboración propia

	Desplazamiento (mm)		Velocidad (mm/s)	
	MIN	MAX	MIN	MAX
IMP. VALLEY	16.58	17.36	323.50	323.90
LOMA PRIETA	11.42	9.86	158.70	174.00
SYLMAR	27.73	30.03	566.80	544.90

Tabla 15. Desplazamientos y velocidades de la estructura sin disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos en el eje X
Fuente: Elaboración propia

	Desplazamiento (mm)		Velocidad (mm/s)	
	MIN	MAX	MIN	MAX
IMP. VALLEY	28.86	35.80	352.40	401.50
LOMA PRIETA	59.03	32.09	430.40	399.30
SYLMAR	103.50	96.61	941.00	1402.00

Tabla 16. Desplazamientos y velocidades de la estructura sin disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

	Fuerza axial (Tf)		Fuerza de corte (Tf)	
	MIN	MAX	MIN	MAX
IMP. VALLEY	67.99	70.37	40.72	42.72
LOMA PRIETA	41.09	40.36	28.61	23.76
SYLMAR	114.00	118.30	66.74	73.19

Tabla 17. Fuerzas axiales y de corte en la columna 1 de la estructura sin disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos
Fuente: Elaboración propia

	Fuerza axial (Tf)		Fuerza de corte (Tf)	
	MIN	MAX	MIN	MAX
IMP. VALLEY	43.37	41.42	48.59	50.51
LOMA PRIETA	24.79	28.35	33.56	28.86
SYLMAR	75.24	69.73	81.10	87.96

Tabla 18. Fuerzas axiales y de corte en la columna 2 de la estructura sin disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos
Fuente: Elaboración propia

Al comparar estos resultados se observa que los valores más altos de los parámetros medidos se obtienen con el sismo de Sylmar. En la dirección Y los desplazamientos y velocidades son mayores que los de la dirección X. También observamos que los valores de desplazamiento del eje Y para el sismo de Sylmar, excede el valor de desplazamiento lateral para daños mínimos según el documento Multihazard Loss Estimation Methodology HAZUS.

VIII.2. Respuesta de la estructura con el uso de los disipadores de fluido viscoso

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la estructura colocando los disipadores de energía.

	Desplazamiento (mm)		Velocidad (mm/s)	
	MIN	MAX	MIN	MAX
IMP. VALLEY	6.52	8.27	199.80	202.00
LOMA PRIETA	5.00	4.89	104.60	103.40
SYLMAR	10.10	6.54	201.50	141.30

Tabla 19. Desplazamientos y velocidades de la estructura con disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos en el eje X
Fuente: elaboración propia

	Desplazamiento (mm)		Velocidad (mm/s)	
	MIN	MAX	MIN	MAX
IMP. VALLEY	10.86	15.50	211.30	200.40
LOMA PRIETA	17.68	18.21	111.20	132.10
SYLMAR	36.14	29.92	381.00	361.00

Tabla 20. Desplazamientos y velocidades de la estructura con disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos en el eje Y
Fuente: elaboración propia

	Fuerza axial (Tf)		Fuerza de corte (Tf)	
	MIN	MAX	MIN	MAX
IMP. VALLEY	37.37	43.73	16.63	19.45
LOMA PRIETA	25.83	26.37	11.06	11.36
SYLMAR	54.71	36.81	23.57	16.83

Tabla 21. Fuerza axial y de corte en la columna 1 de la estructura con disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos
Fuente: elaboración propia

	Fuerza axial (Tf)		Fuerza de corte (Tf)	
	MIN	MAX	MIN	MAX
IMP. VALLEY	21.30	16.19	19.17	23.99
LOMA PRIETA	12.69	12.97	14.50	14.19
SYLMAR	17.11	26.04	29.35	19.15

Tabla 22. Fuerza axial y de corte en la columna 2 de la estructura con disipadores de fluido viscoso para los diversos registros sísmicos
Fuente: elaboración propia

Todos los parámetros medidos se redujeron, y los desplazamientos más altos fueron los de Sylmar en la dirección Y, con un valor tope de 3,614 cm, por lo tanto este valor cumple con la deriva máxima de 0,0025 y no hará falta iterar los valores del coeficiente de amortiguación de los disipadores de fluido viscoso.

VIII.3. Comparación de los resultados obtenidos entre la estructura con y sin disipadores de fluido viscoso

VIII.3.1. Desplazamientos del centro de masa del piso del módulo de la estructura

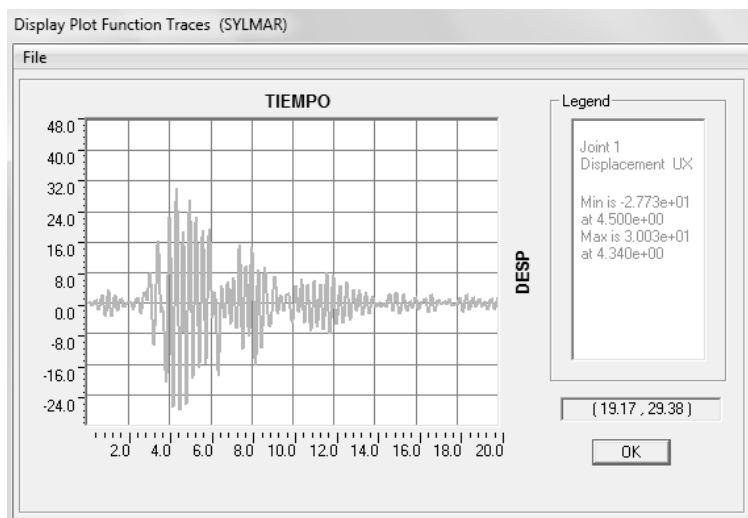


Fig. 73. Desplazamiento en el eje X en la estructura sin disipadores para el sismo de Sylmar
Fuente: Elaboración Propia

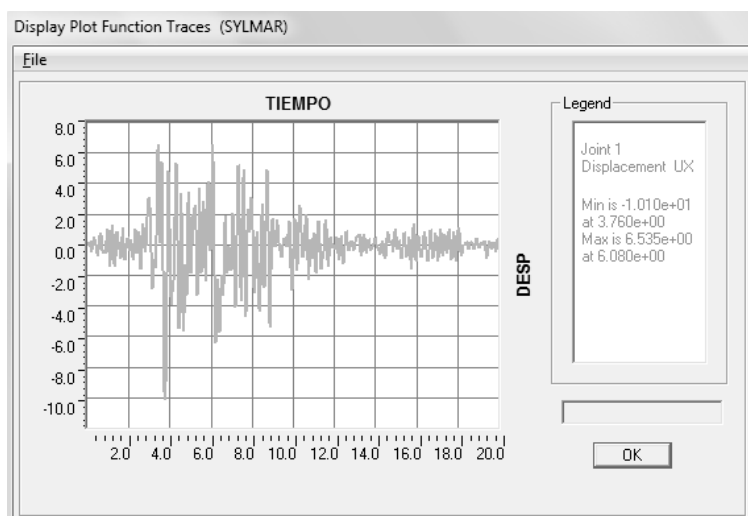


Fig. 74. Desplazamiento en el eje X en la estructura con disipadores para el sismo de Sylmar
Fuente: Elaboración Propia

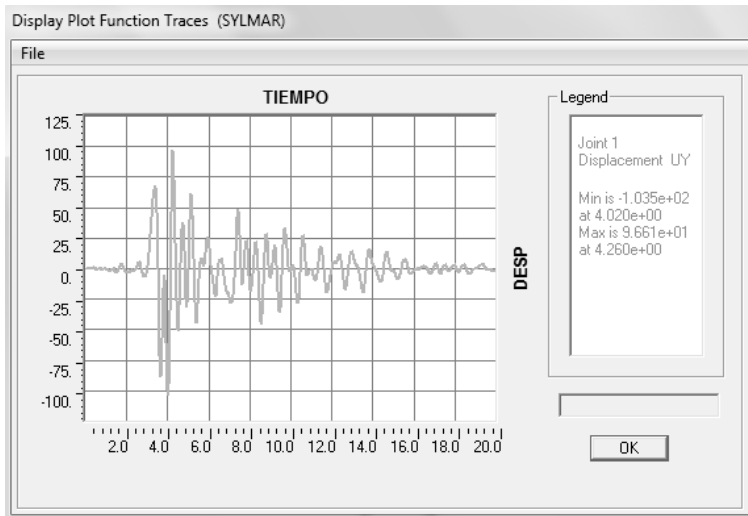


Fig. 75. Desplazamiento en el eje Y en la estructura sin disipadores para el sismo de Sylmar
Fuente: Elaboración Propia

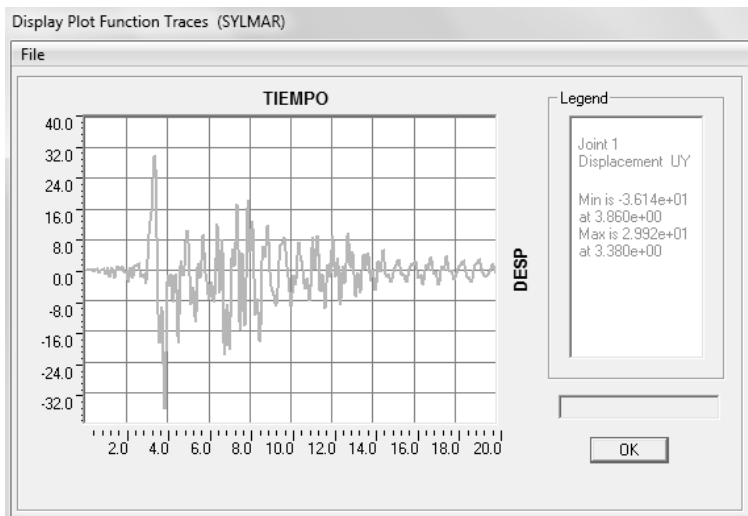


Fig. 76. Desplazamiento en el eje Y en la estructura con disipadores para el sismo de Sylmar
Fuente: Elaboración Propia

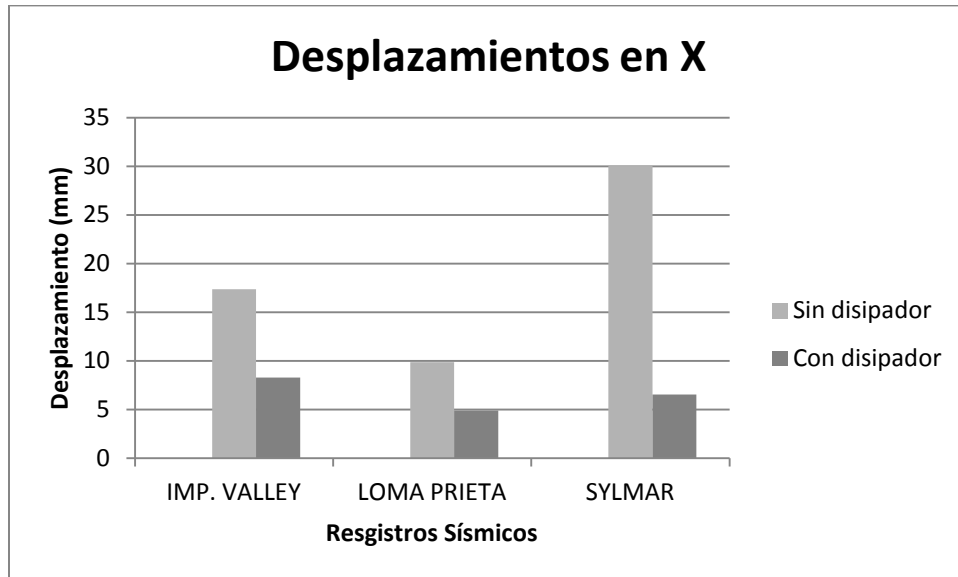


Fig. 77. Desplazamientos comparativos entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo en el eje X
Fuente: Elaboración propia

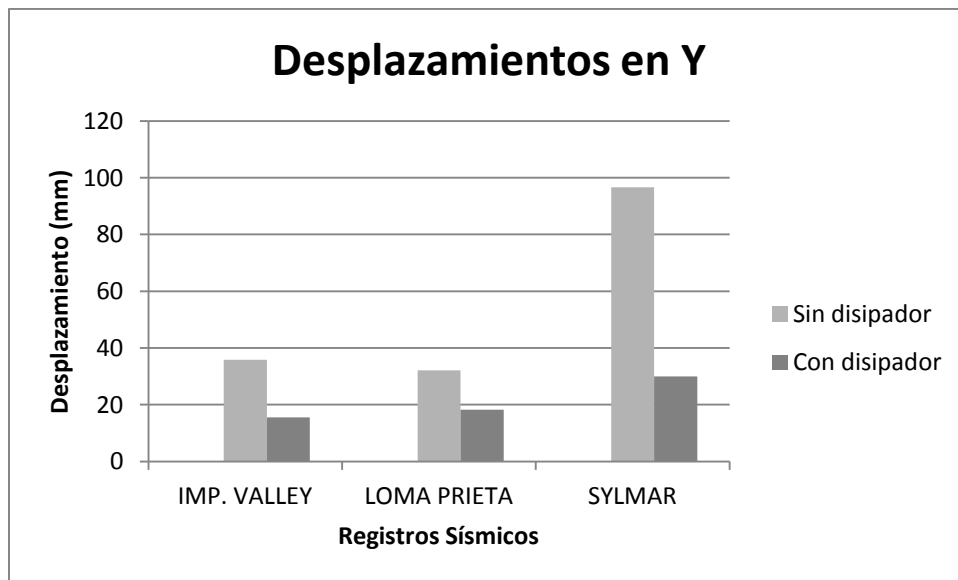


Fig. 78. Desplazamientos comparativos entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

	EJE X		EJE Y	
	Desplazamiento		Desplazamiento	
	MIN %	MAX %	MIN %	MAX %
IMP. VALLEY	60.68	52.36	62.37	56.70
LOMA PRIETA	56.22	50.41	70.05	43.25
SYLMAR	63.58	78.22	65.08	69.03

Tabla 23. Porcentajes de reducción de desplazamientos en el eje X y Y.
Fuente: Elaboración propia

La estructura con disipadores de fluido viscoso presenta reducciones entre 40 y 80% en ambas direcciones horizontales. Para el sismo de Sylmar, el cual se toma como el sismo patrón ya que presenta los mayores desplazamientos, se obtuvo una reducción máxima del 78,22% en el desplazamiento del eje X, pasando de 30,03mm sin disipadores a 6,54mm con el uso de estos.

VIII.3.2. Velocidades del centro de masa del piso del módulo de la estructura

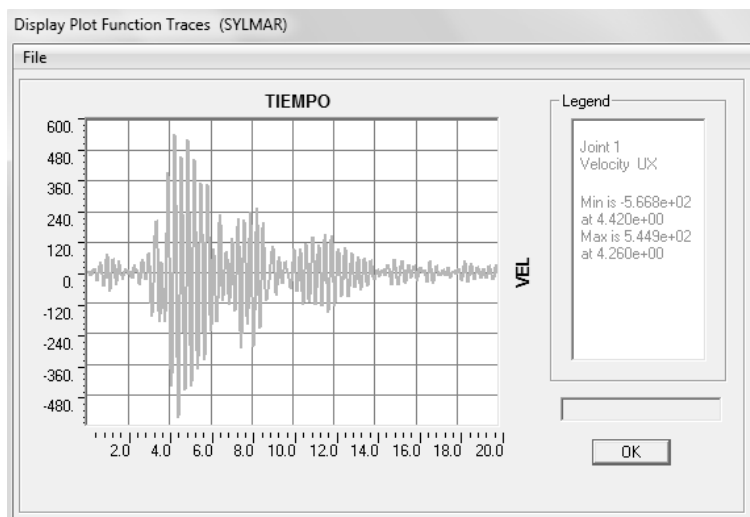


Fig. 79. Velocidad en el eje X en la estructura sin disipadores para el sismo de Sylmar
Fuente: Elaboración Propia

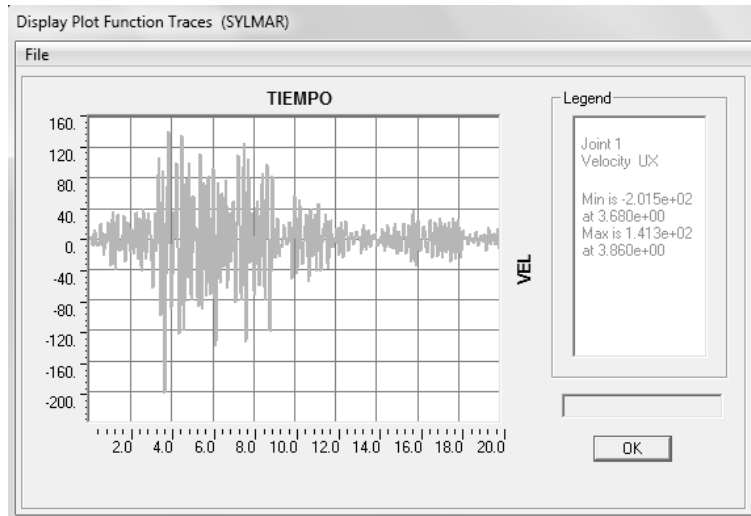


Fig. 80. Velocidad en el eje X en la estructura con disipadores para el sismo de Sylmar
Fuente: Elaboración Propia

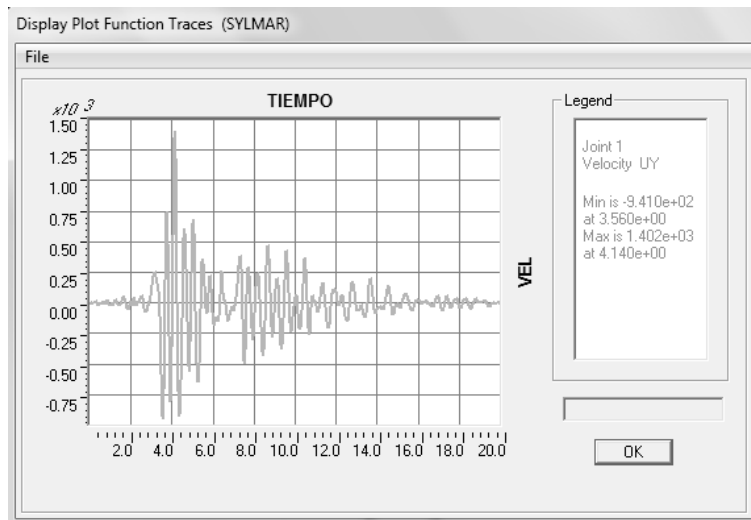


Fig. 81. Velocidad en el eje Y en la estructura sin disipadores para el sismo de Sylmar
Fuente: Elaboración Propia

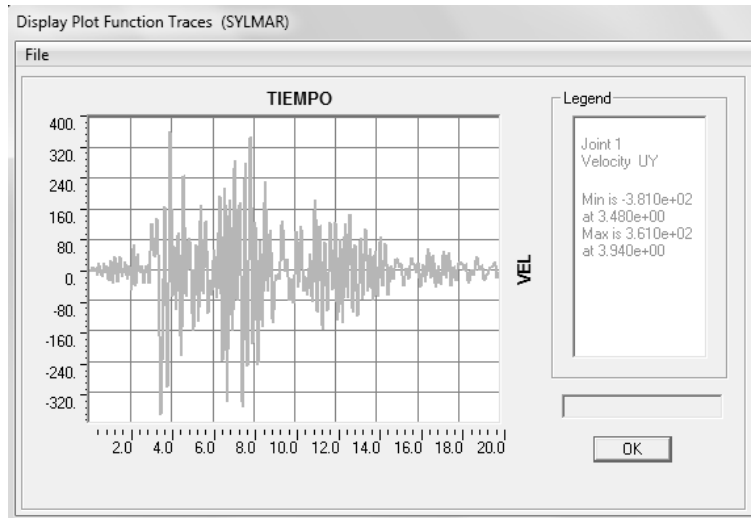


Fig. 82. Velocidad en el eje Y en la estructura con disipadores para el sismo de Sylmar
Fuente: Elaboración Propia

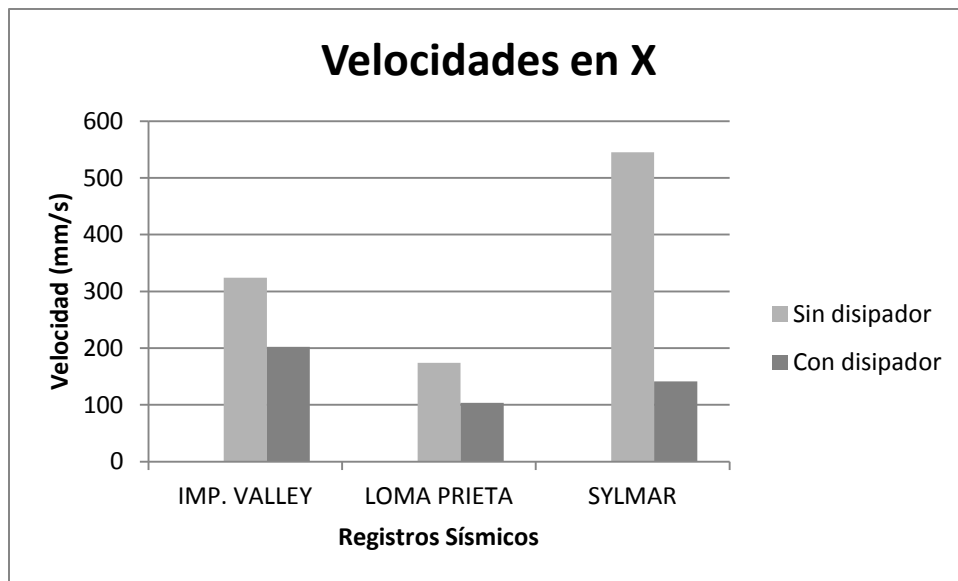


Fig. 83. comparativas entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo en el eje X
Fuente: Elaboración propia

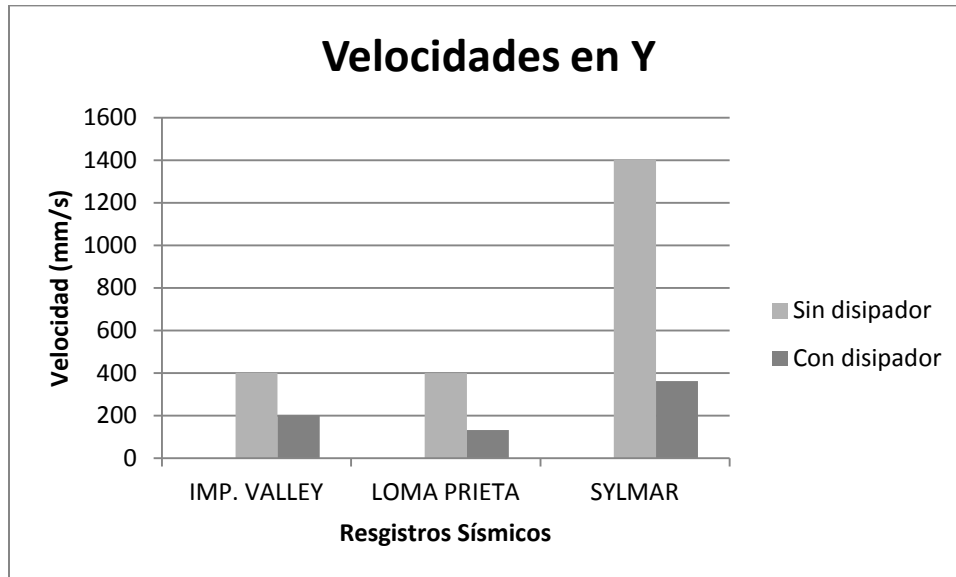


Fig. 84. Velocidades comparativas entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo en el eje Y

Fuente: Elaboración propia

	EJE X		EJE Y	
	Velocidad		Velocidad	
	MIN %	MAX %	MIN %	MAX %
IMP. VALLEY	38.24	37.64	40.04	50.09
LOMA PRIETA	34.09	40.57	74.16	66.92
SYLMAR	64.45	74.07	59.51	74.25

Tabla 24. Porcentajes de reducción de velocidades en el eje X y Y.

Fuente: Elaboración propia

La estructura con disipadores de fluido viscoso presenta reducciones de velocidad en rangos desde 35% hasta 75%. Para el sismo de Sylmar, el cual se toma como el sismo patrón ya que presenta las mayores velocidades, se obtuvo una reducción máxima del 74,25%, pasando de 1402,00 mm/s sin disipadores a 361,00 mm/s con el uso de estos.

VIII.3.3. Fuerzas axiales en las columnas que soportan el módulo de la estructura

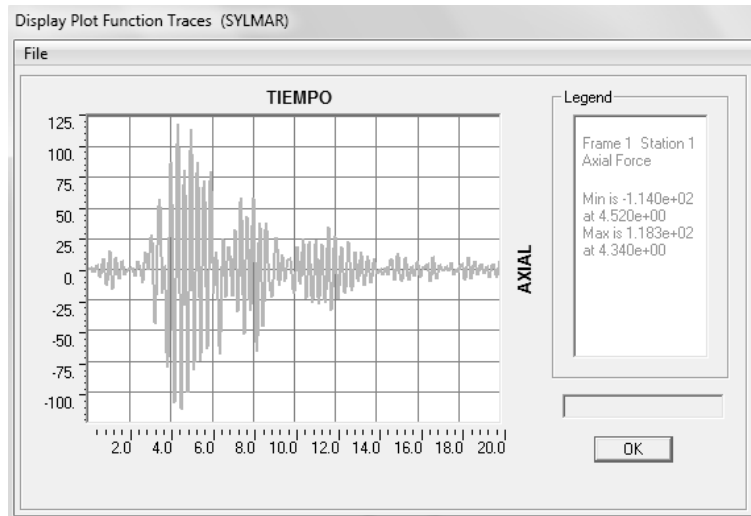


Fig. 85. Fuerza axial en la columna 1 en la estructura sin disipador para el sismo de Sylmar
Fuente: Elaboración Propia

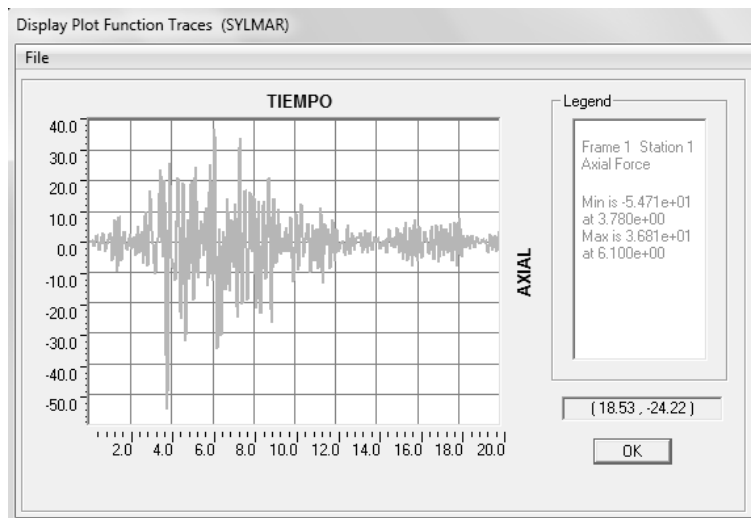


Fig. 86. Fuerza axial en la columna 1 en la estructura con disipador para el sismo de Sylmar
Fuente: Elaboración Propia

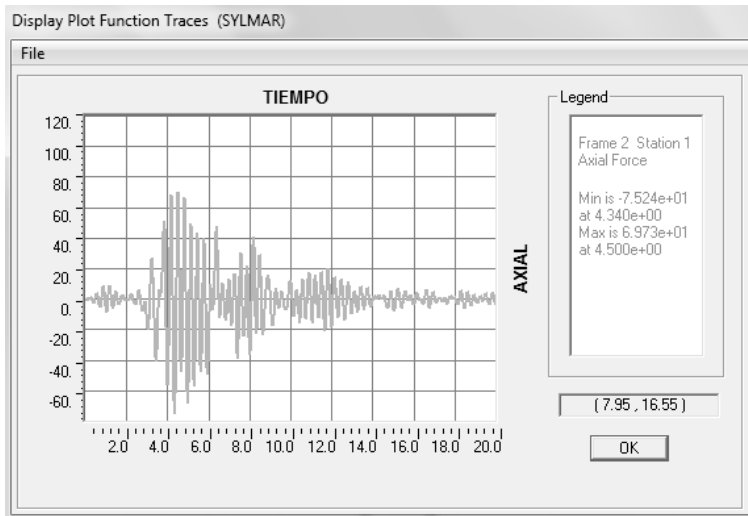


Fig. 87. Fuerza axial en la columna 2 en la estructura sin disipador para el sismo de Sylmar.
Fuente: Elaboración Propia

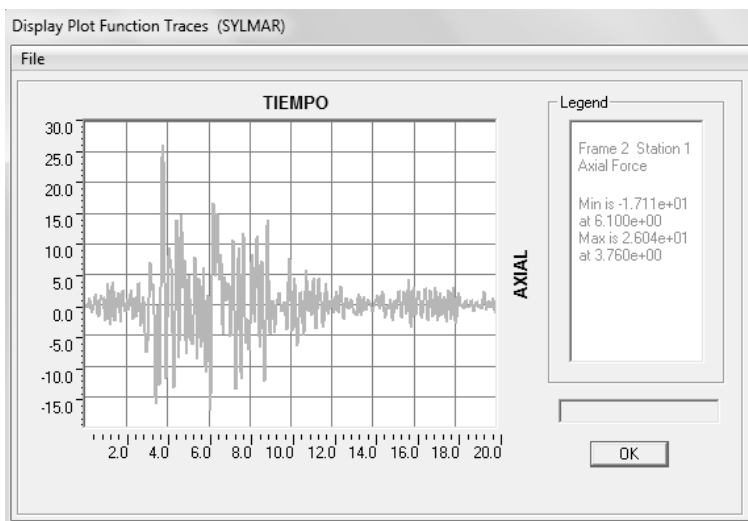


Fig. 88. Fuerza axial en la columna 2 en la estructura con disipador para el sismo de Sylmar.
Fuente: Elaboración Propia

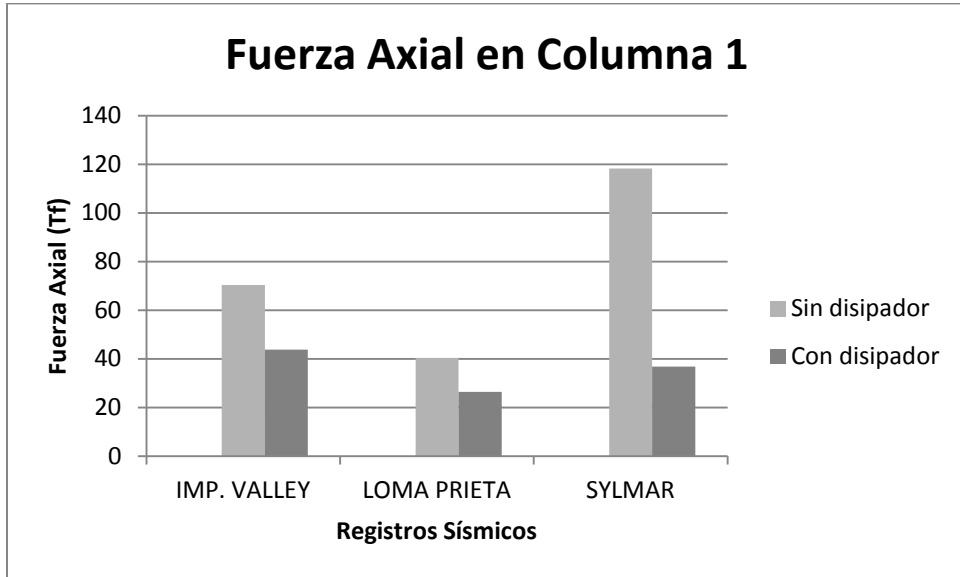


Fig. 89. Fuerzas axiales comparativas de la columna 1 entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo
Fuente: Elaboración propia

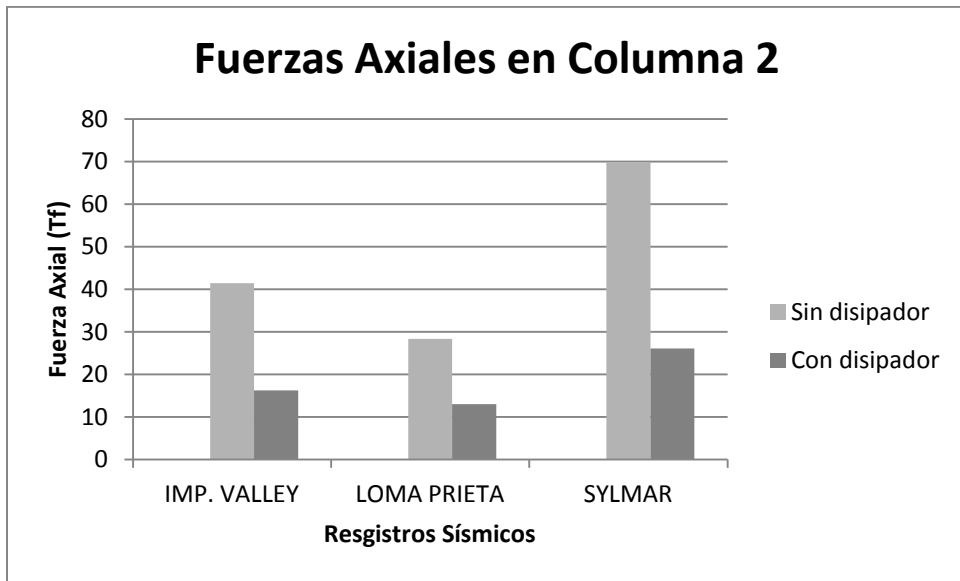


Fig. 90. Fuerzas axiales comparativas de la columna 2 entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo
Fuente: Elaboración propia

	COLUMNA 1		COLUMNA 2	
	Fuerza axial		Fuerza axial	
	MIN %	MAX %	MIN %	MAX %
IMP. VALLEY	45.04	37.86	50.89	60.91
LOMA PRIETA	37.14	34.66	48.81	54.25
SYLMAR	52.01	68.88	77.26	62.66

Tabla 25. Porcentajes de reducción de fuerzas axiales para las columnas que soportan el módulo de la estructura
Fuente: Elaboración propia

La estructura con disipadores de fluido viscoso presenta grandes reducciones con respecto los esfuerzos axiales que sufren las columnas 1 y 2. Para el sismo de Sylmar, el cual se toma como el sismo patrón ya que presenta las mayores fuerzas axiales, se obtuvo una reducción máxima del 77,26% en las fuerzas de la columna 2, los esfuerzos se reducen de 75,24 Tf sin disipadores a 17,11 Tf con su uso.

VIII.3.4. Fuerzas de corte en las columnas que soportan el módulo de la estructura

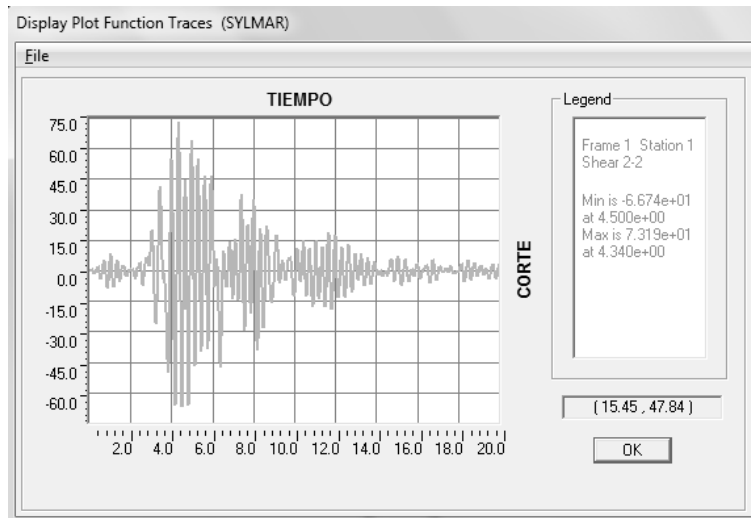


Fig. 91. Fuerza de corte en la columna 1 en la estructura sin disipador para el sismo de Sylmar.
Fuente: Elaboración Propia

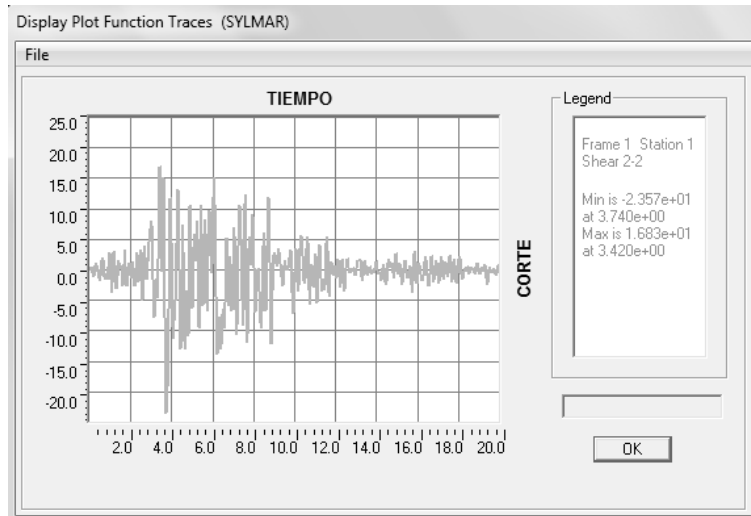


Fig. 92. Fuerza de corte en la columna 1 en la estructura con disipador para el sismo de Sylmar.
Fuente: Elaboración Propia

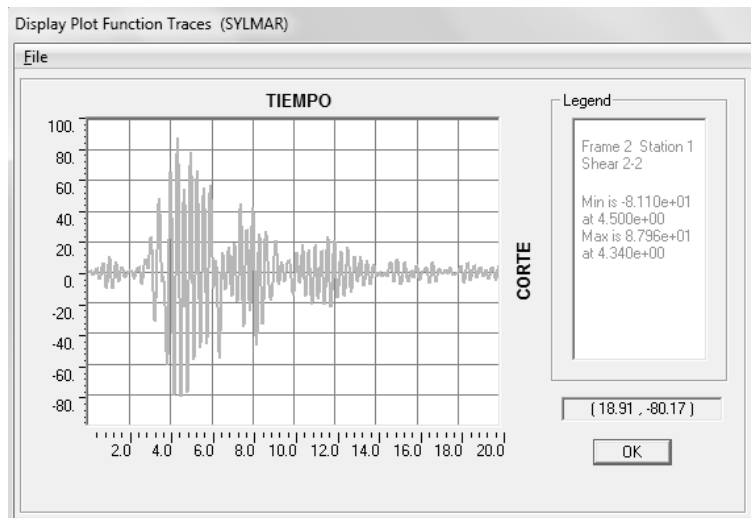


Fig. 93. Fuerza de corte en la columna 2 en la estructura sin disipador para el sismo de Sylmar.
Fuente: Elaboración Propia

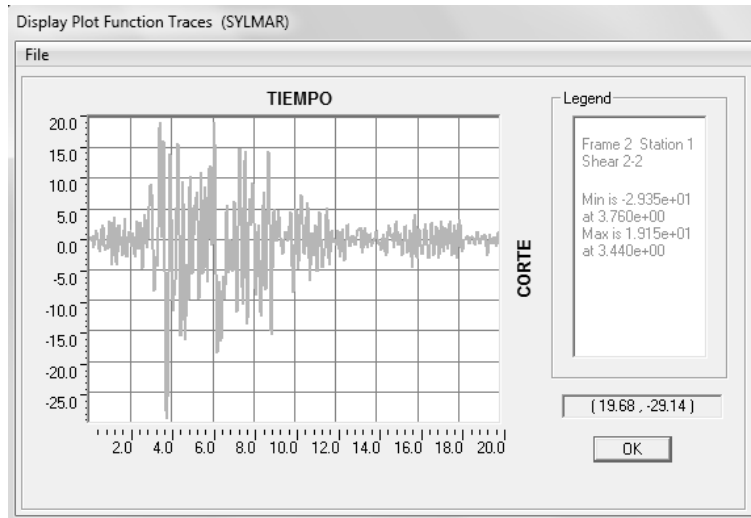


Fig. 94. Fuerza de corte en la columna 2 en la estructura con disipador para el sismo de Sylmar.
Fuente: Elaboración Propia

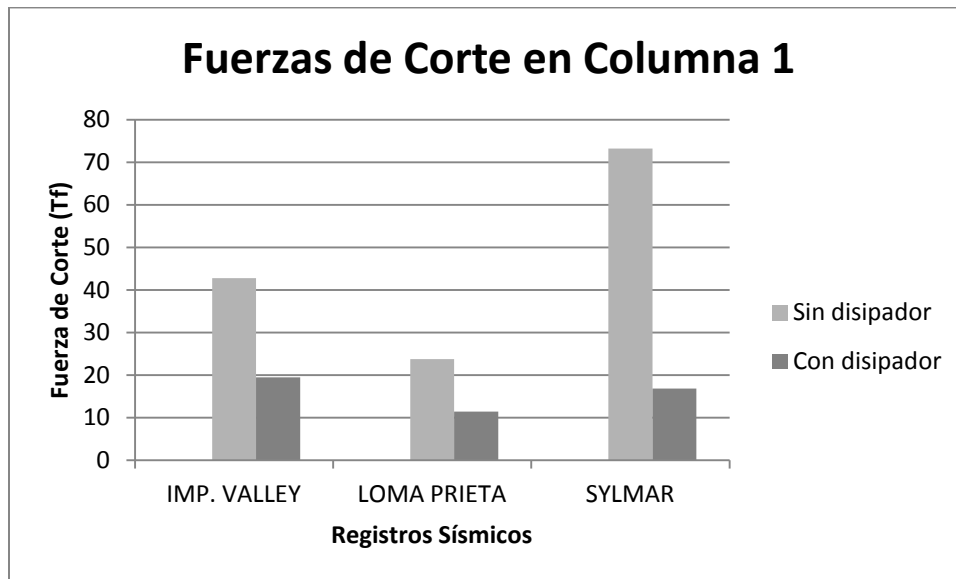


Fig. 95. Fuerzas de corte comparativas de la columna 1 entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo.
Fuente: Elaboración propia

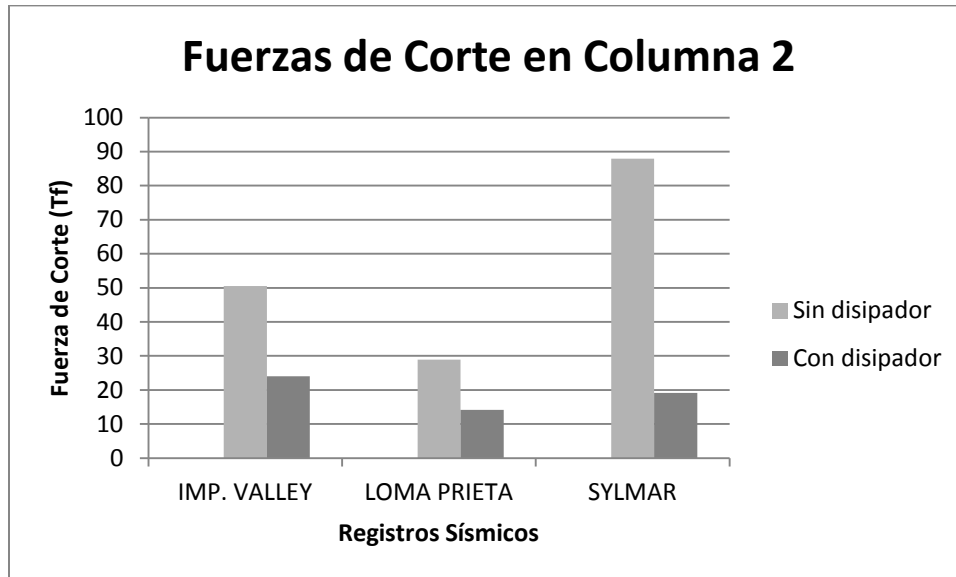


Fig. 96. Fuerzas de corte comparativas de la columna 2 entre la estructura sin y con disipadores para cada sismo.

Fuente: Elaboración propia

	COLUMNA 1		COLUMNA 2	
	Fuerza de corte		Fuerza de corte	
	MIN %	MAX %	MIN %	MAX %
IMP. VALLEY	59.16	54.47	60.55	52.50
LOMA PRIETA	61.34	52.19	56.79	50.83
SYLMAR	64.68	77.01	63.81	78.23

Tabla 26. Porcentajes de reducción de fuerzas de corte para las columnas que soportan el módulo de la estructura

Fuente: Elaboración propia

La estructura con disipadores de fluido viscoso presenta grandes reducciones con respecto esfuerzos cortantes que sufren las columnas 1 y 2. Para el sismo de Sylmar, el cual se toma como el sismo patrón ya que presenta las mayores fuerzas de corte, se obtuvo una reducción máxima del 78,23% en las fuerzas de la columna 2, se reduce fuerza de 87,96 Tf sin disipadores a 19,15 Tf con el uso de ellos.

VIII.4. Energía absorbida por el sistema de disipación

En la figura 101 se muestra la energía del sistema, la línea azul presenta la energía que ingresa el sismo a la estructura, la línea roja representa la energía disipada mediante el amortiguamiento inherente de la estructura, la línea verde representa la energía absorbida por los disipadores de fluido viscoso. Las líneas de color morado y azul claro son la energía cinética y la energía potencial respectivamente y tienen un porcentaje pequeño de participación.

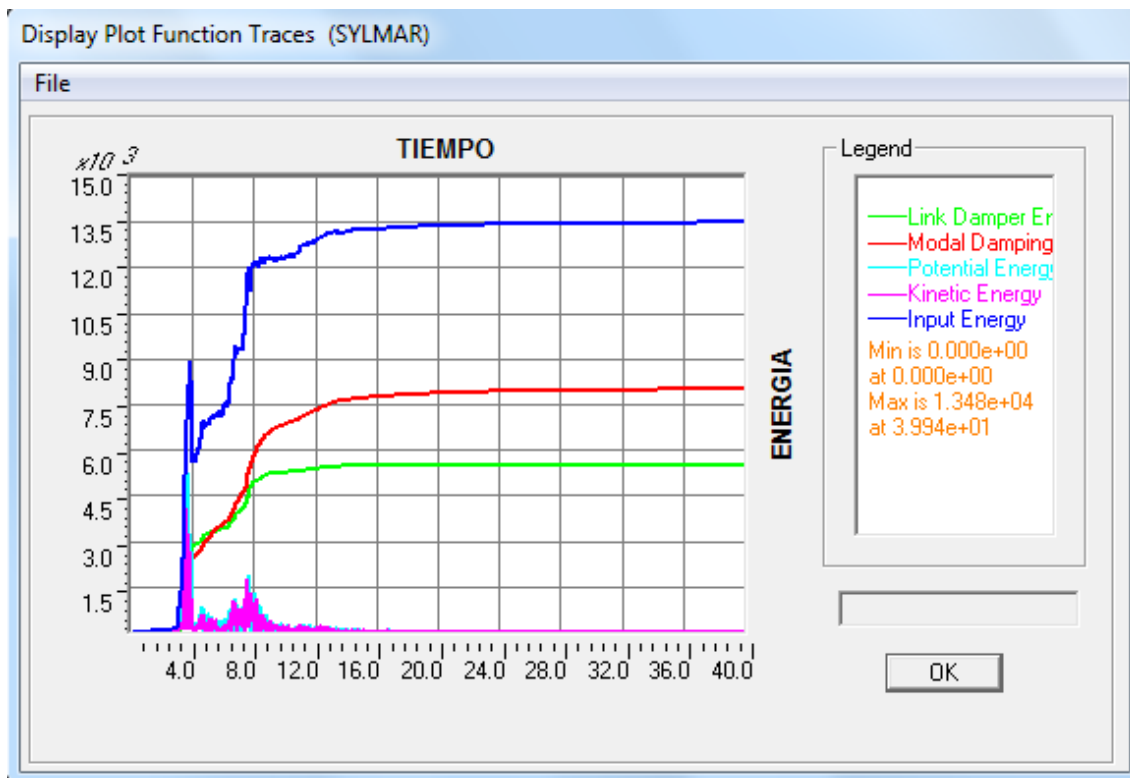


Fig. 97. Energía de la estructura con disipadores de fluido viscoso para el sismo de Sylmar
Fuente: Elaboración propia

Para el sismo de Sylmar, la energía disipada mediante los dispositivos de fluido viscoso fue cerca de un 41% y la energía disipada por la estructura se reduce aproximadamente a 59%. Cuando la estructura no posee un método de disipación de energía, la energía que introduce el sismo es absorbida casi en su

totalidad 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 en gran medida.

CONCLUSIONES

Al realizar este trabajo de investigación, se manejó una cantidad importante de información, se revisaron diversos tópicos de los cuales podemos efectuar los siguientes comentarios:

1. Los disipadores de energía han ido en continuo desarrollo, creando mecanismos novedosos, aumentando cada vez su eficiencia y su capacidad de amortiguamiento.
2. Debido a que los disipadores aprovechan las velocidades o desplazamientos de los elementos estructurales para su funcionamiento, el proceso de diseño debe ser iterativo y también se debe controlar la energía de disipación que estos dispositivos aportan. Afortunadamente se cuenta con herramientas computacionales para estas tareas.
3. La disipación de energía no ha sido tan desarrollada e implementada como el aislamiento sísmico, por esta razón la disponibilidad de información y las metodologías de diseño con disipadores ofrecen mayores dificultades. Existen más fuentes de información relativas al aislamiento sísmico, que al desarrollo de disipadores de energía.
4. El modelo desarrollado en este trabajo es una estructura muy flexible con dispositivos disipadores y tal como lo demuestra el gráfico de energía disipada, en estructuras como éstas, los amortiguadores resultan muy eficientes.
5. Las normas venezolanas no poseen información con respecto al uso de control pasivo con disipadores de energía, pero es posible usar las normas internacionales para el diseño, la norma de Chile NCh 2369-2003 presenta

algunos parámetros para la implementación de dispositivos de disipación y la norma ASCE 7-10 además de parámetros para la implementación también tiene apartados para diseño de dispositivos, ensayos y control de calidad de estos. De las normas revisadas, el código de diseño ASCE 7-10 es el documento más completo y con mayores soportes de investigación.

6. Una de las dificultades que se presentan para la utilización de estos dispositivos en el país, es la exigencia normativa de ensayar prototipos de los disipadores.
7. Los dispositivos de fluido viscoso presentan ventajas frente a otros dispositivos disipadores de energía, entre sus principales ventajas se encuentra su capacidad de amortiguar fuera de fase, su fácil implementación, tamaños reducidos, relativa poca necesidad de mantenimiento y no sufren grandes daños con los sismos de magnitudes pequeñas por lo que no hace falta su reemplazo después de cada movimiento telúrico.
8. Los disipadores de fluido viscoso reducen los valores de desplazamiento en porcentajes entre 63,58 y 78,22 lo que se traduce en disminuciones de las derivas, reducciones de velocidad entre 59,51% y 74,25%, reducciones de fuerzas axiales en las columnas entre 52,01% y 77,26% y reducciones de las fuerzas de corte entre 63,81% y 78,23%. Mediante el uso de los dispositivos podemos controlar el nivel de daño y diseñar estructuras guiadas hacia el nivel deseado.
9. Al agregar amortiguamiento a la estructura mediante dispositivos de fluido viscoso 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.

10. Con cantidades pequeñas de dispositivos de fluido viscoso se pueden reducir grandes cantidades de energía, con solo dos dispositivos se disipó un 41% de la energía de entrada del sismo, por lo que son elementos muy eficientes para el control estructural para este caso de estudio.
11. Se puede proponer el uso de disipadores de fluido viscoso para usar en las estructuras de concreto armado en Venezuela que sean similares al tipo de estructura utilizada en este trabajo de investigación, ya que los resultados obtenidos demuestran un buen desempeño.

RECOMENDACIONES

1. Este trabajo de investigación es una contribución para el uso de dispositivos de disipación de energía en nuestras estructuras en un futuro cercano, incluso se podrían fabricar en el país ya que los principales materiales que conforman estos dispositivos son acero, plomo, aceites de silicón y sólidos viscoelásticos, todos materiales que se pueden obtener en Venezuela.
2. Se podrían realizar pruebas con otros tipos de dispositivos de disipación de energía que sean dependientes de desplazamientos, para así comparar los resultados con los dispositivos dependientes de la velocidad. De la revisión de los distintos disipadores desarrollados hasta el presente, se recomienda desarrollar ensayos con dispositivos de fricción, histeréticos y de extrusión de plomo, debido a su eficiencia y facilidad de implementación.
3. En vista de que aún no existen normas venezolanas para el diseño o la utilización de control estructural pasivo, se deben buscar normativas internacionales que si cuentan con parámetros para diseñar estructuras con dispositivos de disipación de energía, las normas de Chile NCh 2369-2003 y Estados Unidos ASCE 7-10 son algunos ejemplos de ellas.
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.

BIBLIOGRAFÍA

- Bermúdez. C. Universidad Nacional de Colombia. [Curso virtual] Análisis estructural avanzado. Método de la fuerza horizontal equivalente. Acelerogramas. Disponible: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4100685/unidad_7/index.html [Consulta: 2014, abril]
- Bonilla, R., Domínguez, J. (2012) Dispositivos de aislamiento y disipación de energía en estructuras metálicas. Congreso de Estructuras de Acero, Caracas-Venezuela.
- Dicleli, M. y A. Milani, S. Analytical and Experimental Investigations of a New Hysteretic Damper. Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal.
- Falk, P., (2010). Análisis del comportamiento de estructuras de acero provistas de disipadores de energía tipo "Slotted Bolted Connection" [Resumen en línea]. Trabajo Especial de Grado no publicado, Universidad Santiago de Chile. Santiago de Chile. Disponible: <http://tesis.uchile.cl/handle/2250/103955> [Consulta: 2013, Noviembre 27].
- Fondo para la Normalización y Certificación de calidad (2006) "Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural". Norma Venezolana FONDONORMA 1753:2006. Caracas.
- Fratelli, M. (2007). "Estructuras sismo resistentes". Caracas: Editorial UNIVE.
- J. Chanchí, J.G. Chase, G.W. Rodgers, G.A. Macrae Y C.G. Clifton .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.

Karavasilis, T. y A, Dimopoulos, A. Hall, E. Seismic design and evaluation of a minimal-damage steel frame equipped with steel yielding devices and viscous dampers. Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal.

Khonsari, S.V. Seyf, H. Mehryar, S & M. Shahsavari-Gargari. Experimental Study of a New Steel Shear Wall with an Embedded Special Damping Mechanism (SSWAF). Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal.

Mayorga Vela, C.A.(2011). Caracterización mecánica y modelaje estructural de un disipador pasivo de energía de tipo arriostramiento de pandeo restringido. Parte 2.Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de magister en estructuras, Universidad Nacional de Colombia sede de Bogotá. Disponible: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4392/1/294481.2011.pdf>. [Consulta: 2014, marzo].

Mualla, I.H. Nielsen, L.O. M.Sugisawa y Suzuki, Y. Large Capacity Dampers for Buildings and Structure. Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal.

Narkhede, D.I. Y Sinha, R. Shock Vibration Control of Structures using Fluid viscous dampers. Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal.

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

Norma Chilena oficial NCH 2369 de 2003. “diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales”, Primera edición . Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Instituto Nacional de Normalización INN, Chile

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

FEMA 450-1/2003 Edition. NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. Federal Emergency Management Agency (FEMA) .Washington, D.C, 2004.

Oliver-Saiz, E. Benavent-Climent, A. Ramírez-Márquez, A.L. Buckling instability of Web Plastifying Dampers: analytical and numerical approach. Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal.

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: 2014, marzo].

Porrero, J., Ramos y otros. (2009). Manual del concreto estructural, 3º edición, Venezuela, SIDETUR

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

Seismic Protection Technologies (SIRVE) (2010). Aislamiento Sísmico y disipación de energía en Chile. III Congreso A.I.C. Revisado el 14/03/2013 de http://sirve.cl/wp-content/uploads/Aislamiento-y-Disipacion-de-Energ%C3%ADa_SIRVE_-III-Congreso-AICE.pdf

Sheikholeslami, A. Behnamfar, F. Seismic behavior of new plastic device equipped with steel cores and viscoelastic solid. Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal.

SIGWEB. Disipación de Energía. Revisado el 10/03/2013 de <http://www.sigweb.cl/biblioteca/DisipacionEnergia.pdf>

Sophocleous, T Y Phocas, M.C. (ADCS) Bracing Design in Dual Systems for Earthquake Resistance (Papers). Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal.

Stefancu, A.I, Budescu, M. Paulet-Crainiceanu, F y Guerreiro, L.M.C. Numerical and experimental analysis of a passive multilayer friction damper for seismic energy dissipation multilayer friction damper for seismic energy dissipation. Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal.

Tan, P. Fang, C.J. Tu, W.R. Zhou, F.L. Wang. Y. Y Jiang, M. Experimental Study on the Outrigger Damping System for High-Rise Building. Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal.

- Tovar, C. López, O. A. y Tovar, A. G. (2003), “Efecto de la posición y numero de amortiguadores en la respuesta sísmica de estructuras aporticadas”. Memorias de VII Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Sismica. Barquisimeto, Venezuela.
- Tovar, C. López, O. A. y Tovar, A. G. (2004), “Error en el calculo de la respuesta sísmica y propiedades dinámicas de estructuras aporticadas con amortiguamiento adicional”. Memorias de VII Congreso Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. San Cristóbal, Venezuela
- Tovar, C. (2008). Utilización de disipadores de energía en edificaciones de baja altura. Tesis doctoral, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Vidal, M., (2008). Análisis y diseño de estructuras con disipadores de energía metálicos en base a criterios de desempeño [Resumen en línea]. Trabajo Especial de Grado no publicado, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Disponible: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciv648a/doc/bmfciv648a.pdf> [Consulta: 2013, Noviembre 18]
- Villareal, G. y Oviedo, R. (2008) Edificios con disipación de energía [Libro en línea]. Libro premio nacional, ANR. Lima, Perú. Disponible: <http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20090720-Disipadores%20de%20energia.pdf> [Consulta: 2013, noviembre 18]
- World press(2012) blog sobre estructuras [Curso Virtual]. Acelerograma y características.Disponible:<http://seismic06g.wordpress.com/2012/11/03/aceleroграмas1/>. [Consulta: 2014, Abril].

Yamaguchi, N. Nakao, M. Furuta, T. Mikoshiba, T. Development of Cylindrical Passive Damper Using High Damping Rubber. Conferencia presentada en: 15TH World Conference on Earthquake engineering, 2012 September Lisbon, Portugal.

APÉNDICES

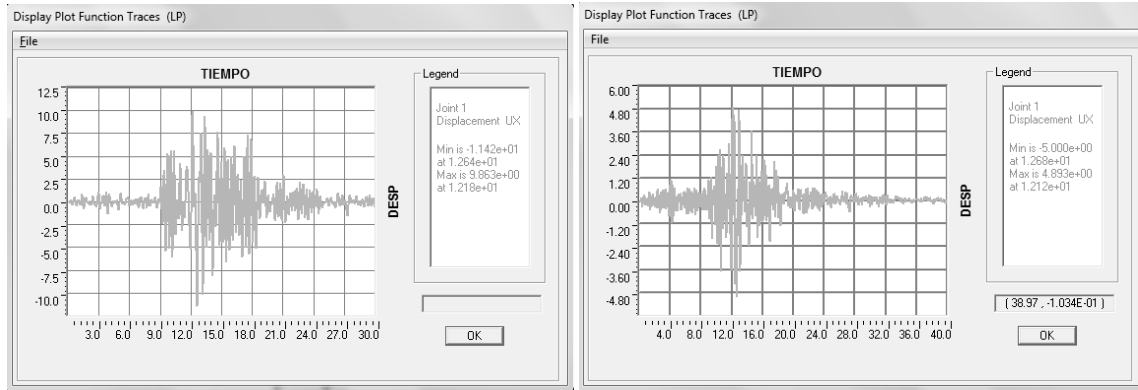
Apéndice 1

Tabla sobre casos de carga puntuales en nodos , aplicados para la fundación desde el ejemplo práctico en estudio. (Programa SAFE 12 CSI)

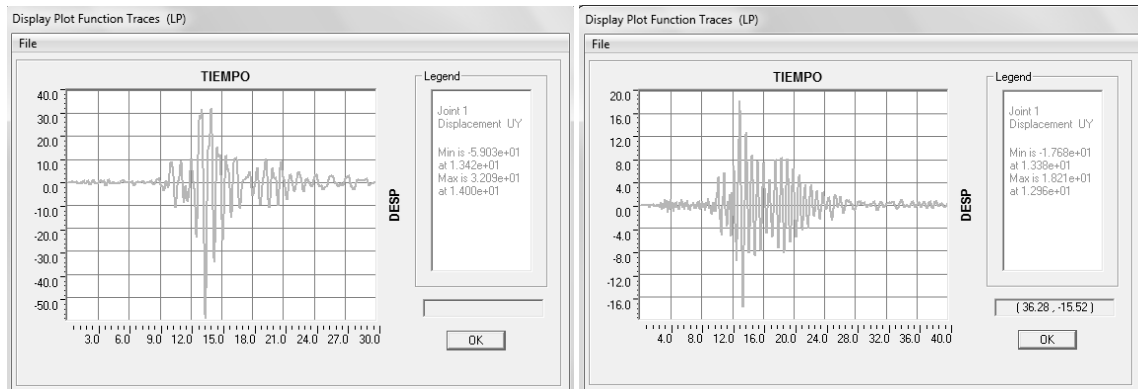
TABLA: Asignaciones de Cargas para Articulaciones							
Puntos	Carga	Fx	Fy	Fgrav (Z)	Mx	My	Mz
Pedestal	Tipos	kgf	kgf	kgf	kgf-cm	kgf-cm	kgf-cm
9	DEAD	180,76	19,65	101423,4	-43,61	-650,46	20,43
9	CV	59,16	0,17	12409,54	0,38	-209,96	-0,18
9	SX	-43,76	-0,00028	86823,9	0,12	24342	0,04586
9	SY	-0,00001727	-5140,36	0,004425	5830157	0,007349	1528942
9	SCP	24,74	0,07181	5188,3	0	0	0
13	DEAD	170,81	18,37	59276,12	-59,3	-608,66	12,69
13	CV	24,3	0,16	365,52	0,52	-91,85	-0,11
13	SX	-39,56	-0,0001916	23703,29	0,08407	16617	0,0048
13	SY	-0,00000959	-3254,83	0,00314	2037750	0,004553	1257721
13	SCP	10,16	0,06728	152,36	0	0	0

Apéndice 2

Desplazamientos para el acelerograma de Loma Prieta en las direcciones X y Y.



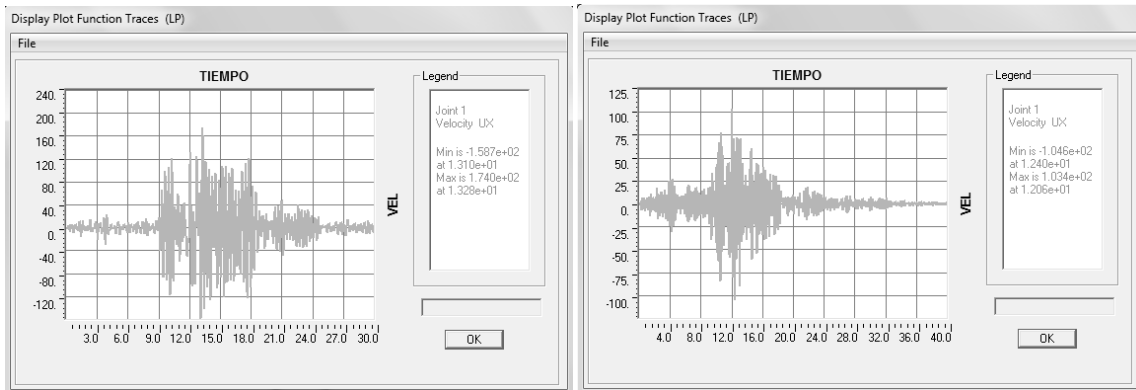
Desplazamientos para el sismo de Loma Prieta para la dirección X sin disipador y con disipador.



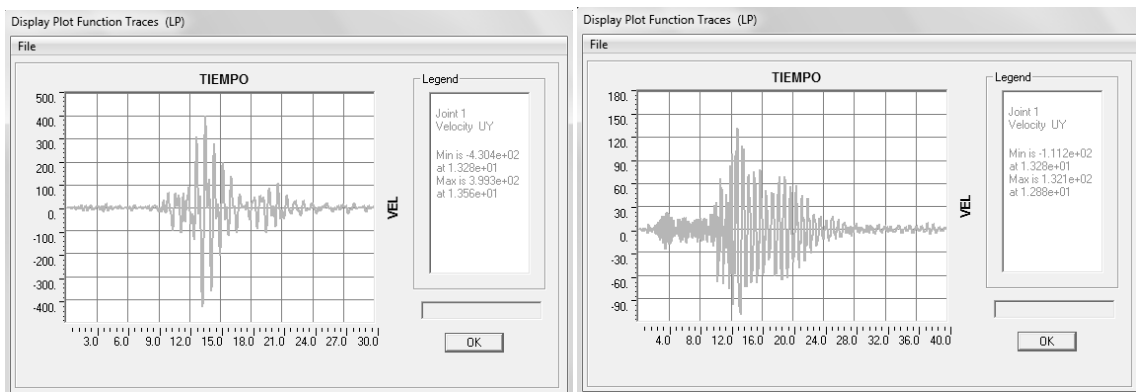
Desplazamientos para el sismo de Loma Prieta para la dirección Y sin disipador y con disipador.

Apéndice 3

Velocidades para el acelerograma de Loma Prieta en las direcciones X y Y.



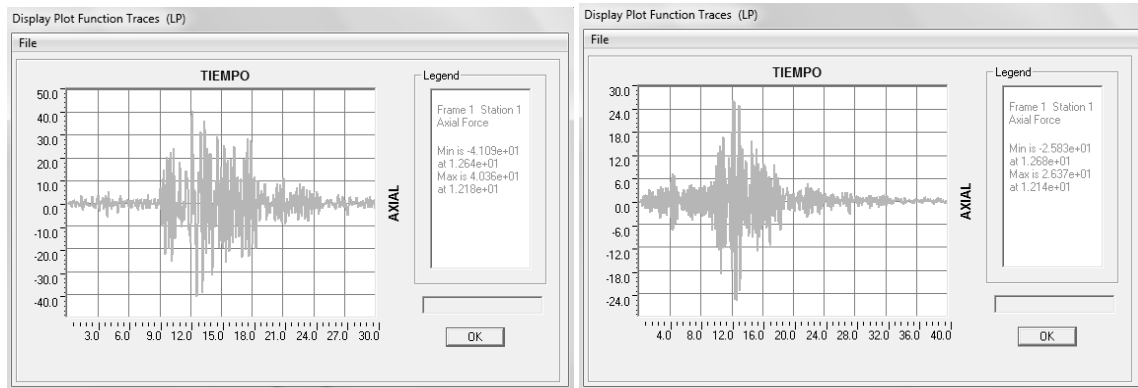
Velocidades para el sismo de Loma Prieta para la dirección X sin disipador y con disipador.



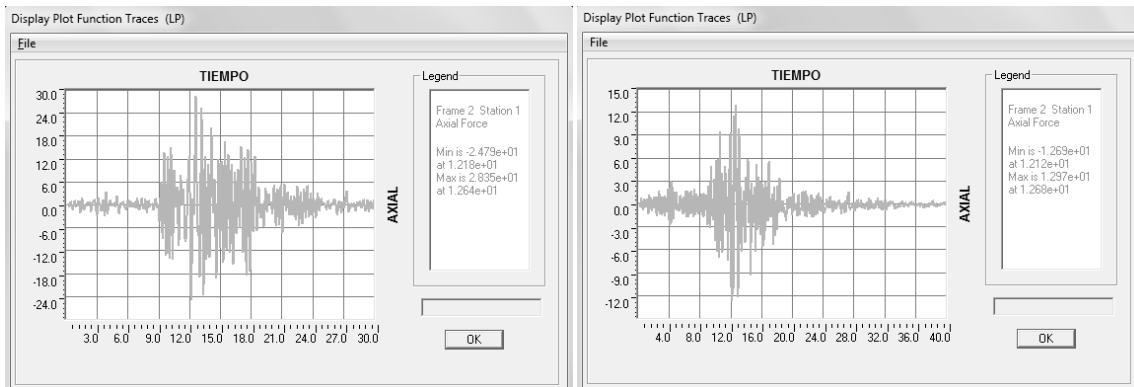
Velocidades para el sismo de Loma Prieta para la dirección Y sin disipador y con disipador.

Apéndice 4

Fuerzas axiales de las columnas 1 y 2 de la estructura para el sismo de Loma Prieta.



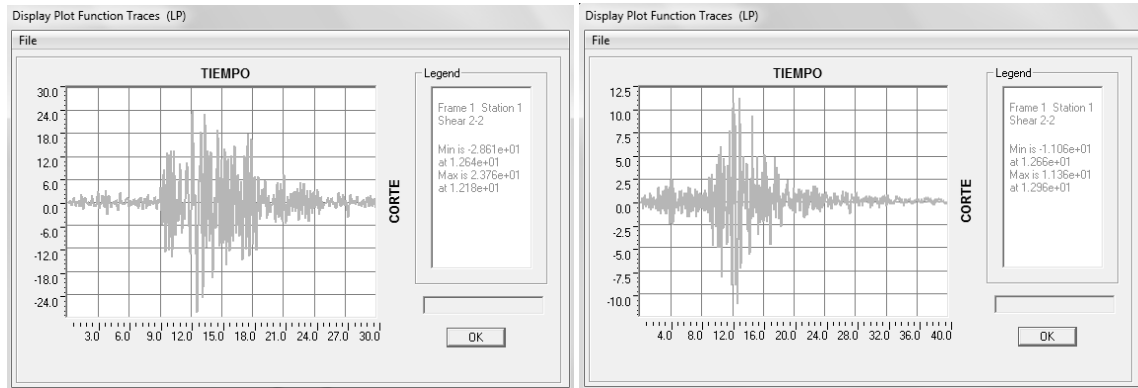
Fuerza Axial para la columna 1 sin disipador y con disipador.



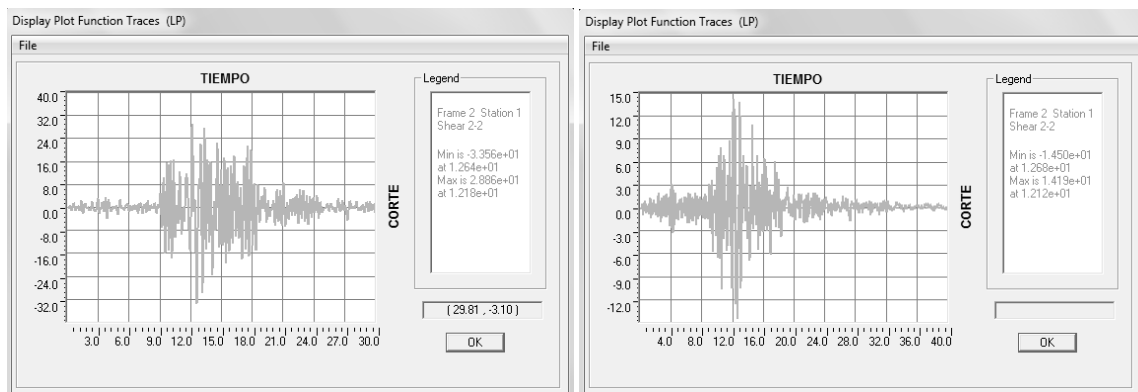
Fuerza Axial para la columna 2 sin disipador y con disipador.

Apéndice 5

Fuerzas de corte de las columnas 1 y 2 de la estructura para el sismo de Loma Prieta.



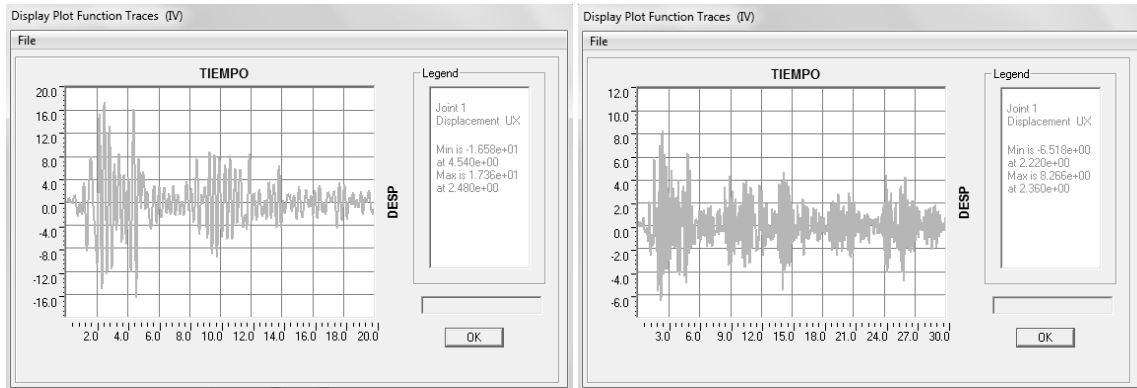
Fuerza de corte para la columna 1 sin disipador y con disipador.



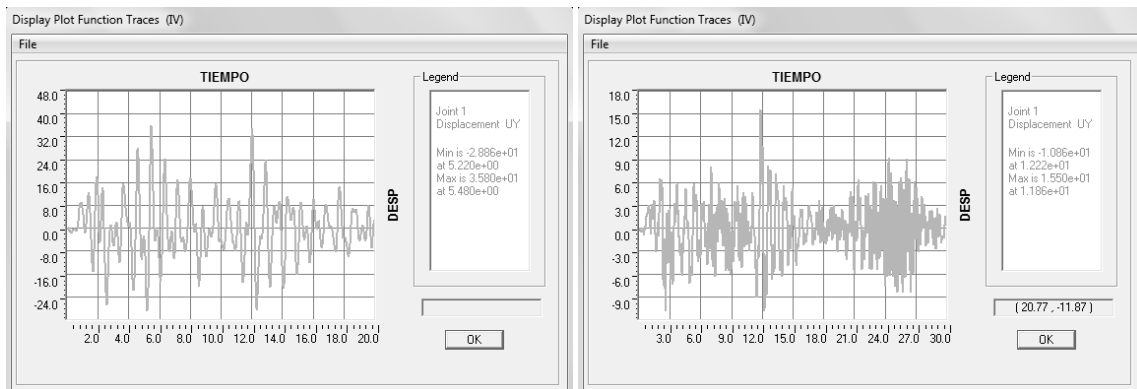
Fuerza de corte para la columna 2 sin disipador y con disipador.

Apéndice 6

Desplazamientos para el acelerograma de Imperial Valley en las direcciones X y Y.



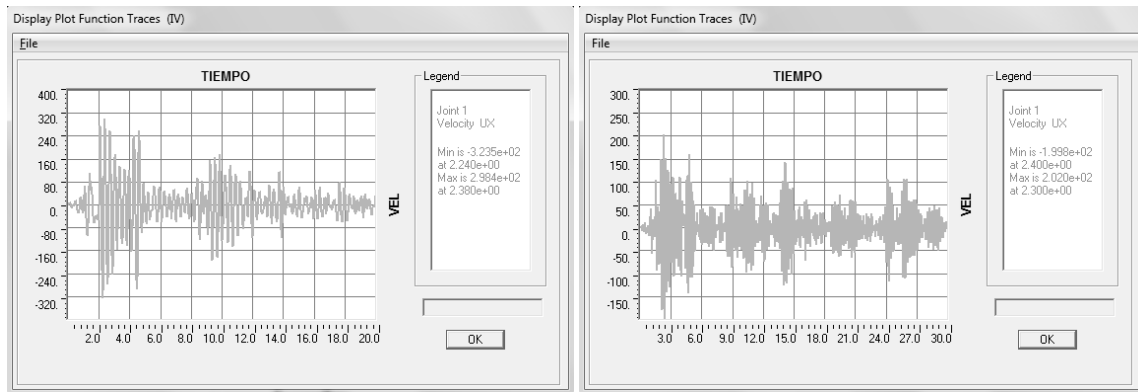
Desplazamientos para el sismo de Imperial Valley para la dirección X sin disipador y con disipador.



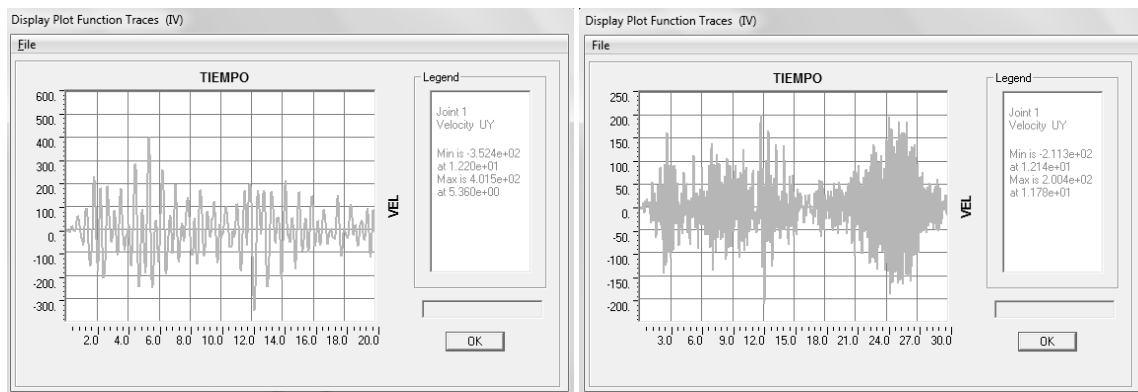
Desplazamientos para el sismo de Imperial Valley para la dirección Y sin disipador y con disipador.

Apéndice 7

Velocidades para el acelerograma de Imperial Valley en las direcciones X y Y.



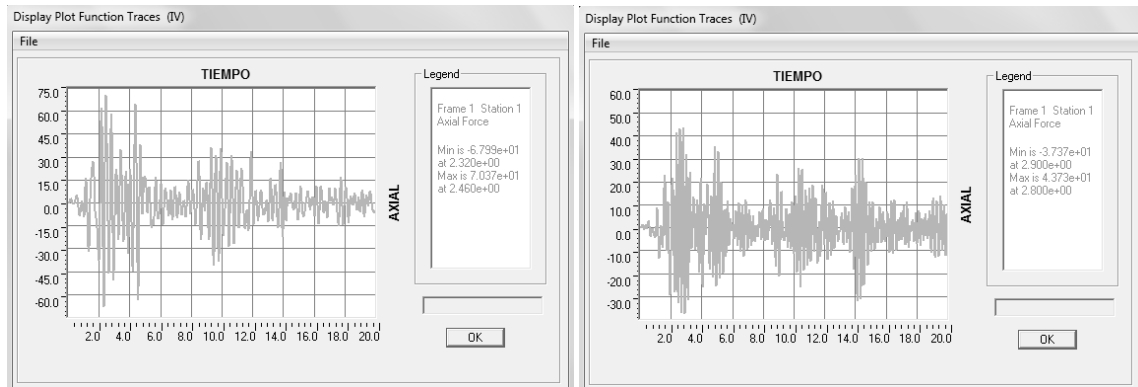
Velocidades para el sismo de Imperial Valley para la dirección X sin disipador y con disipador.



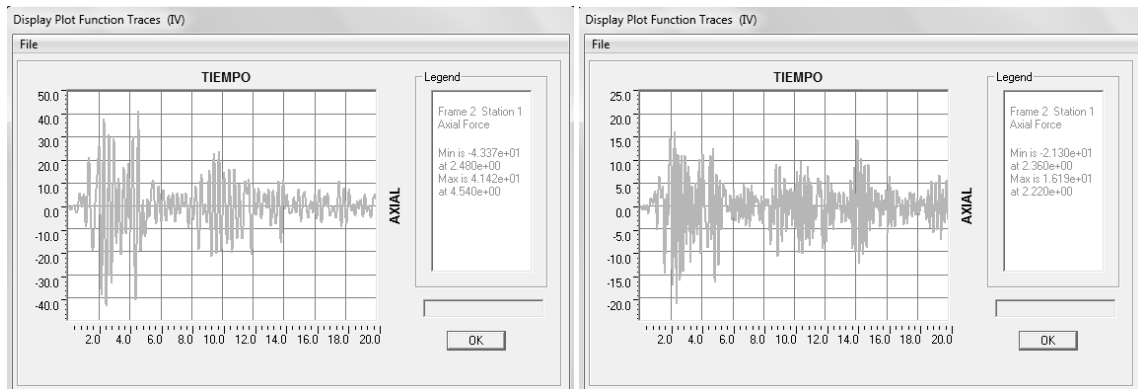
Velocidades para el sismo de Imperial Valley para la dirección Y sin disipador y con disipador.

Apéndice 8

Fuerzas axiales de las columnas 1 y 2 de la estructura para el sismo de Imperial Valley.



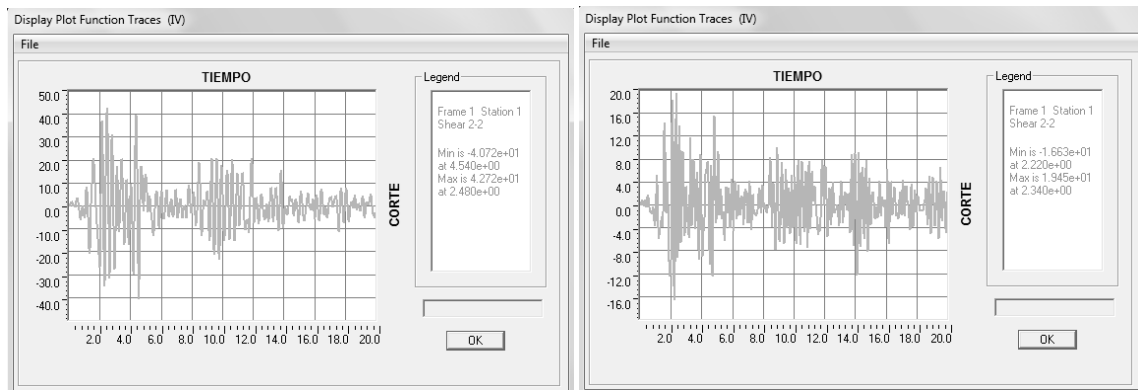
Fuerza Axial para la columna 1 sin disipador y con disipador.



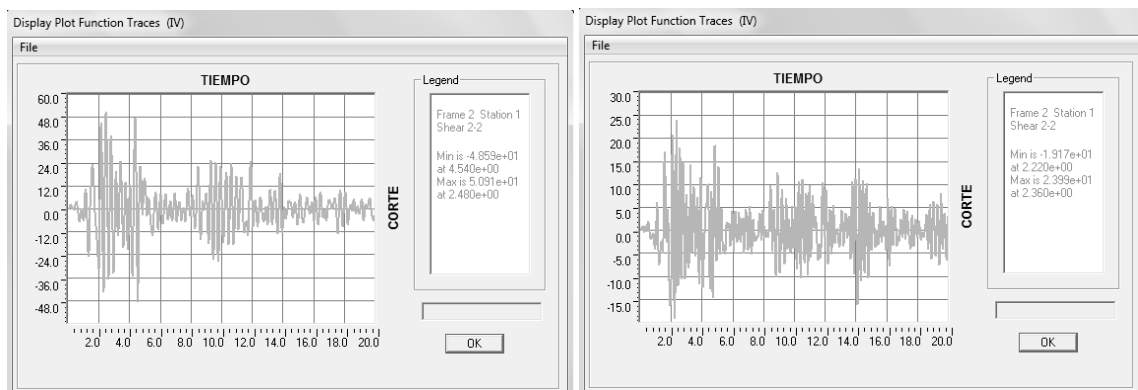
Fuerza Axial para la columna 2 sin disipador y con disipador.

Apéndice 9

Fuerzas de corte de las columnas 1 y 2 de la estructura para el sismo de Imperial Valley



Fuerza de corte para la columna 1 sin disipador y con disipador.



Fuerza de corte para la columna 2 sin disipador y con disipador.