

REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL CONVENCIONAL VERSUS DISIPADORES DE ENERGÍA

MsC Ing Ricardo OVIEDO SARMIENTO¹

RESUMEN

Desde hace varios años los sismos han dañado las estructuras aporticadas, para evitar estos daños existen nuevas versiones de la Norma de Diseño Sismorresistente poniendo mas atención en el control de las deformaciones. Esto es particularmente cierto en edificios localizados en la costa de Perú.

Como resultado, las estructuras requieren de elementos de mayor sección y mayor ductilidad. Similarmente una considerable cantidad de edificios existentes, que no cumplen con la actual Norma E-030. En algunos casos cuando hay cambio de uso o se desea rehabilitar la estructura, es necesario un reforzamiento de la estructura aporticada para poder cumplir con la nueva normatividad.

Los sistemas estructurales convencionales utilizados para resistir la fuerza sísmica en estructuras aporticadas son el aumento de la sección de las columnas y la incorporación de placas. Ambas soluciones tienden a incrementar la rigidez de la estructura y pueden atraer fuerzas sísmicas adicionales. Como una alternativa a estos sistemas existen los disipadores de energía de fluido viscoso, los cuales han sido instalados en numerosos edificios en California y pueden ser diseñados para producir un amortiguamiento suplementario de alrededor del 25% del crítico. De esta manera, el exceso de energía de entrada de la estructura es disipada y las deformaciones estructurales son reducidas.

En el presente artículo, a una estructura aporticada de concreto armado de tres niveles, la cual no cumple con la normatividad actual es utilizada. Esta estructura ha sido considerada primero con el método tradicional de aumentarle la sección a las columnas y como alternativa compararla con la incorporación de disipadores de energía. Los análisis tiempo historia no lineal fueron utilizados con el uso del programa SAP2000 v9.0.3. Se realizó una comparación de ambas alternativas en lo referente a parámetros de respuesta sísmica, tales como las deformaciones, fuerzas, momentos y axiales.

¹ Ingeniero investigador de la sección de Posgrado - UNI, Perú. Email: oviedos@ciplima.org.pe

INTRODUCCIÓN

Una estructura aporricada de concreto armado de tres niveles fue utilizada. Originalmente la estructura no cumple con la actual Norma Peruana E-030 de Diseño Sismorresistente. La estructura es sometida a 06 registros sísmicos peruanos.

Para mejorar el desempeño estructural del modelo, dos alternativas de reforzamiento fueron utilizadas. En la primera alternativa, se propuso el diseño aumentando las secciones de las columnas. En la segunda alternativa, se incorporaron disipadores de energía de fluido viscoso a la estructura flexible. Los beneficios obtenidos de ambas alternativas son comparados para determinar las ventajas de ambos sistemas.

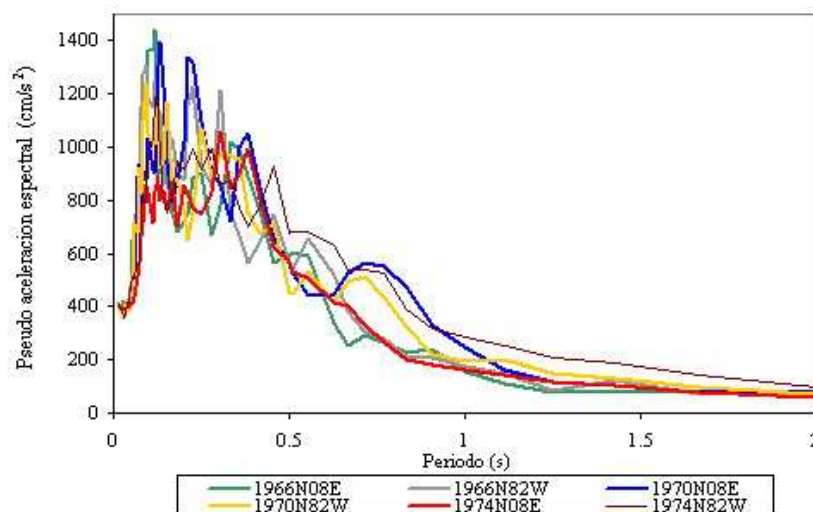
REGISTROS SÍSMICOS UTILIZADOS

Una serie de seis eventos sísmicos peruanos son utilizados para el análisis de la estructura. Estos registros sísmicos se muestran en la tabla 1 y fueron escalados a una aceleración de 400 gals.

Tabla 1. Registros sísmicos considerados

Fecha	Orientación	PGA	PGV	PGD
17/10/1966	N82W	-180.59	13.23	7.35
17/10/1966	N08E	-269.34	-21.6	-16.6
31/05/1970	N82W	-104.82	4.71	1.55
31/05/1970	N08E	-97.75	6.98	2.64
03/10/1974	N82W	-192.49	14.48	6.41
03/10/1974	N08E	178.95	10.3	-5.34

Figura 1 Espectros de aceleraciones



DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Una estructura aporticada plana de concreto armado de tres niveles fue utilizada. La elevación de la estructura es mostrada en la figura 2. Las secciones de las columnas son de 0.35m x 0.35m y las vigas son de 0.20m x 0.40m. El espaciamiento entre columnas es de 5.0 m.

Las masas utilizadas para el análisis tiempo historia no lineal en el programa SAP2000 se muestran en la tabla 2. Un radio de amortiguamiento inherente de la estructura es considerada en 5%.

Figura 2 Elevación de la estructura aporticada

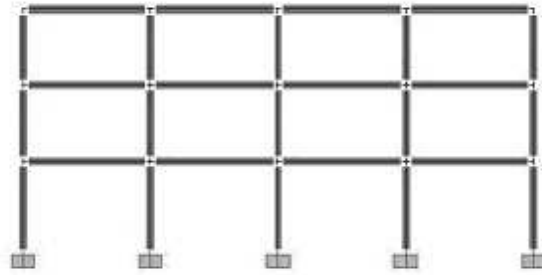


Tabla 2 Alturas, pesos y masas

NIVEL	ALTURA (m)	PESO (t)	MASA (t.s2/m)
Nivel 03	3.00	49.550	5.056
Nivel 02	3.00	74.300	7.582
Nivel 01	3.50	75.035	7.657
TOTAL	9.50	198.885	20.294

REFORZAMIENTO TRADICIONAL

Para lograr que la estructura cumpla con el límite de distorsión que establece la actual Norma Peruana E-030 de Diseño Sismorresistente, que es de 0.007, se aumento las secciones de las columnas. Siendo la sección ultima de la columna de 0.60 m x 0.60 m.; no fue necesario aumentar la sección de las vigas.

REFORZAMIENTO CON DISIPADORES DE ENERGÍA

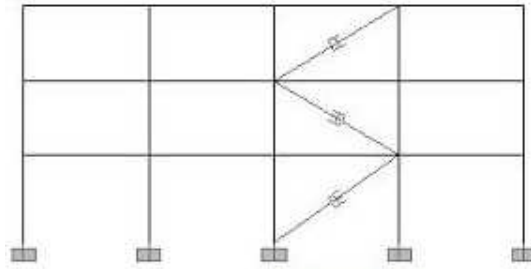
El amortiguamiento de un elemento disipador lineal (C_n) es definido como el producto del coeficiente de amortiguamiento del elemento (β_n), y la rigidez del elemento (K_n). La fuerza en los elementos disipadores (F_n), es una función lineal del amortiguamiento del elemento (C_n), y la velocidad desarrollada en el elemento, $V_n(t)$.

$$C_n = \beta_n K_n \quad (1)$$

$$F_n = C_n V_n(t) \quad (2)$$

Los disipadores de energía se adicionan a la estructura con la finalidad de brindar un amortiguamiento suplementario del 2%. Resultando un radio de amortiguamiento total de 7% del critico para la estructura. Los disipadores son ubicados en diagonal entre los nudos, tal como lo indica la figura 3.

Figura 3 Ubicación de los disipadores de energía



COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Para la comparación de los resultados se tomo el registro sísmico que mas afectaba a la estructura de los 6 registros sísmicos considerados.

Períodos y frecuencias

De lo resultados obtenidos con ambas alternativas en relación a los periodos, se puede mencionar que no existe modificaron importante entre la estructura original y la estructura con disipadores de energía. Existiendo un aumento de rigidez en la estructura con incremento de sección en las columnas, la cual origino una disminucion en el periodo del orden del 34%.

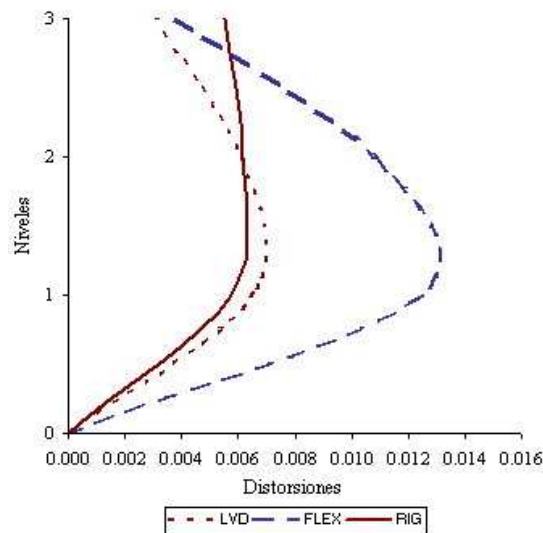
Tabla 2 Periodos y frecuencias

Modo	Flexible		Con Disipadores		Rígida	
	Período (Seg)	Frecuencia (Cic/seg)	Período (Seg)	Frecuencia (Cic/seg)	Período (Seg)	Frecuencia (Cic/seg)
1	0.773	1.294	0.772	1.295	0.507	1.971
2	0.235	4.247	0.235	4.251	0.129	7.731
3	0.130	7.691	0.130	7.698	0.057	17.619
4	0.064	15.550	0.064	15.574	0.040	24.792
5	0.064	15.702	0.064	15.718	0.040	24.894
6	0.063	15.888	0.063	15.910	0.040	25.002
7	0.047	21.249	0.047	21.249	0.031	31.981
8	0.047	21.250	0.047	21.250	0.031	31.982
9	0.023	43.306	0.023	43.430	0.014	69.042

Distorsiones de entrepiso

La figura 4 ilustra la comparación de las distorsiones entre los sistemas. Como se puede observar ambos sistemas cumplen con el límite de distorsión de la Norma E-030. Además se aprecia una reducción considerable en las distorsiones de ambos sistemas en comparación con la estructura flexible inicial.

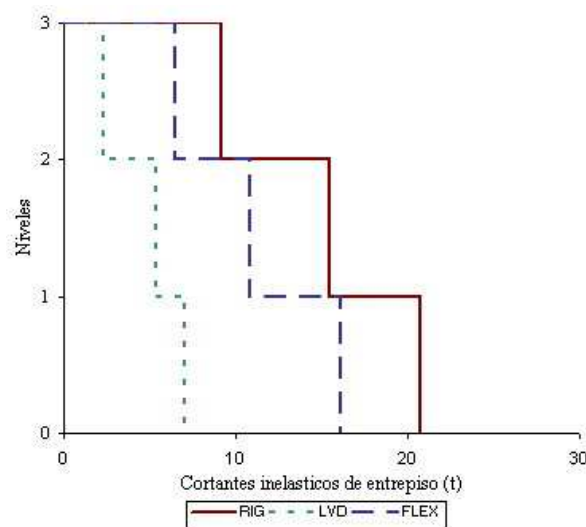
Figura 4 Distorsiones de entrepiso



Cortantes

Con la inclusión de los disipadores de energía en la estructura se han obtenido hasta un 66% de disminución en la fuerza cortante de entrepiso en relación a la estructura rigidizada con aumento de sección en las columnas, tal como lo muestra el gráfico

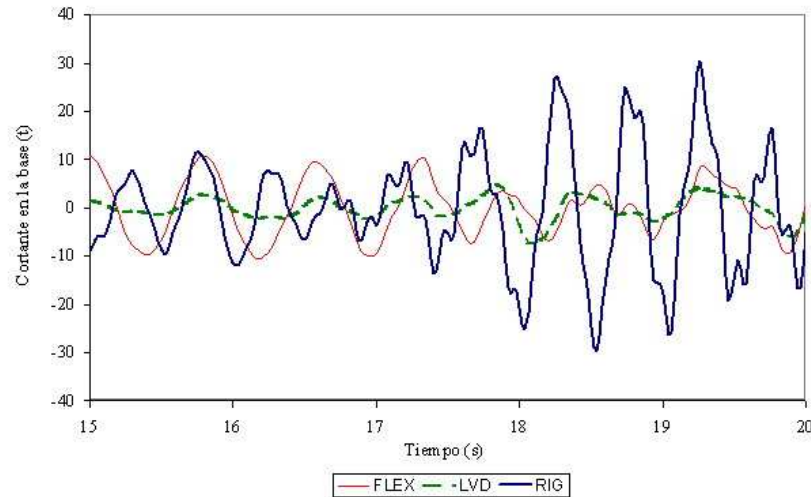
Figura 5 Cortantes totales de entrepiso



Momentos en las columnas

La figura 6 muestra la comparación de los momentos, axiales y cortantes de la columna de la base para los dos modelos. Estos gráficos confirman que para el convencional reforzamiento de aumento de la sección de las columnas, se incrementan las fuerzas axiales, los momentos y los cortantes en la columna de la base. Se ha podido obtener una reducción de la fuerza cortante en la base de la columna de hasta más de 100% en promedio entre ambas alternativas de solución.

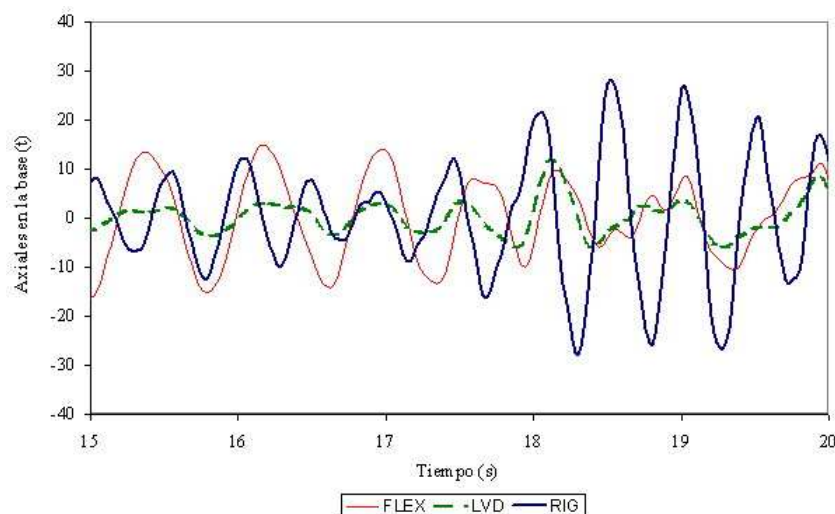
Figura 6 Cortantes de la columna del 1er nivel



Fuerzas axiales en la base.

La reducción de la fuerza axial es muy importante para determinar la sección de la zapata, y en este gráfico se puede apreciar hasta una reducción del 140% en la base de una columna; comparando ambos resultados se puede mencionar que existiría una considerable variación en las dimensiones de las zapatas con ambas soluciones.

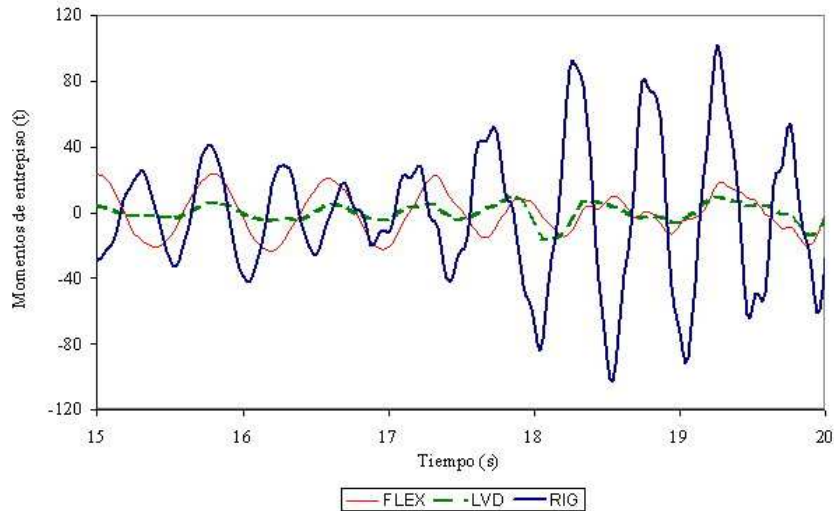
Figura 7 Fuerzas axiales de la columna del 1er nivel



Momentos en la base.

Se ha logrado con la alternativa de los disipadores de energía, disminuir hasta en un 84.4 % el momento transmitido por la columna a la cimentación. Con el grafico anterior se complementa que con la rigidización de la estructura aumentando la sección, se transmite mayor momento y fuerza axial a la cimentación.

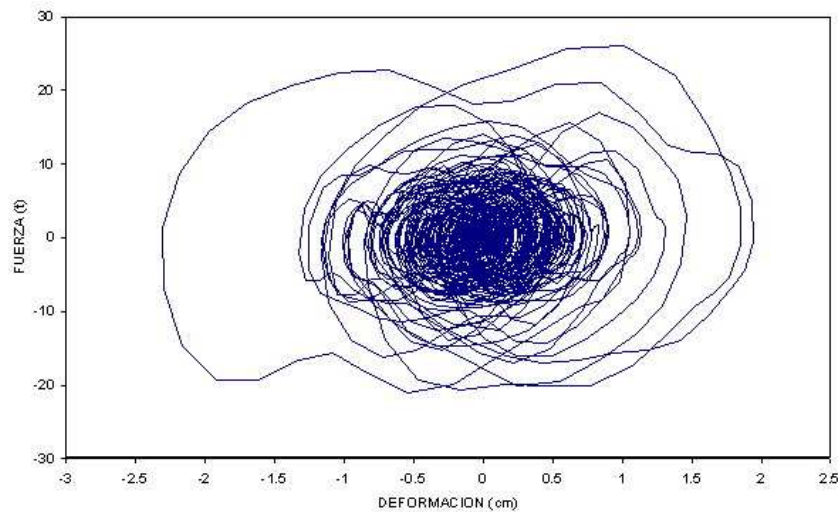
Figura 8 Momentos de la columna del 1er nivel



Comportamiento del disipador

En el grafico que se muestra a continuación se aprecia la fuerza desarrollada por el disipador de energía localizado en el primer nivel; llegando a desarrollar una fuerza de hasta 26.14 t y logrando alcanzar una deformación máxima para la sollicitación dada de 2.3 cm.

Figura 9 Curva histerética del disipador



CONCLUSIONES

- La incorporación de disipadores de energía reduce considerablemente las distorsiones de entrepiso en relación al porcentaje de amortiguamiento de diseño del disipador.
- La estructura con aumento de sección en sus columnas reduce considerablemente las distorsiones y los períodos, pero incrementa el cortante en la base y la masa en la estructura.
- Las vigas con ambas alternativas presentan momentos similares, y su área de acero también, indicando que no existe una marcada diferencia con ambas alternativas.
- Las columnas de la estructura con disipadores de energía reciben menos carga axial y momento, reflejándose en un menor costo de la cimentación.
- La estructura con disipadores de energía presenta una menor cantidad de rotulas plásticas en sus elementos en comparación a la estructura tradicional, brindando un mejor entendimiento de su probable mecanismo de falla. Así como menores costos de reparación.
- En lo referente al análisis comparativo de costos, el uso de disipadores de energía es más conveniente en reforzamiento de estructuras existentes y/o en estructuras con características especiales.

REFERENCIAS

1. **Aiken, I.**, “Testing of Seismic Isolators and Dampers Considerations and Limitations“, Proceedings, Structural Engineering World Congress, San Francisco, California. USA. 1998.
2. **Cahis, X.**, “Desarrollo de un Nuevo Disipador de Energía para Diseño Sismorresistente. Análisis Numérico y Validación Experimental de su Comportamiento”, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. España. 2000.
3. **Computers and Structures, INC.**, “SAP2000 Version 9.0.3, A Computer Program for Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three Dimensional Structures”, Berkeley, California, USA. 2005.
4. **Constantinou, M., and Symans, M.**, “Seismic Response of Structures with Supplemental Damping”, Journal of Structural Design of Tall Buildings, Vol. 2, pp. 93-132. USA. 1993.
5. **Constantinou, M., Symans, M., and Tsopelas, P.**, “Fluid Viscous Dampers in Applications of Seismic Energy Dissipation and Seismic Isolation”, Proc. Of ATC-17-1 Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, San Francisco, CA, pp. 584-591. USA. 2002.
6. **Chang, S., and Makris, N.**, “Effect of Various Energy Dissipation Mechanisms in Suppressing Structural Response”, 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland. New Zealand. 2000.
7. **Kelly, T.**, “In-Structure Damping and Energy Dissipation”, Design Guidelines Published by Holmes Consulting Group, Wellington. New Zealand. 2001.
8. **Miyamoto, H., and Taylor, D.**, “Structural Control of Dynamic Blast Loading Using Fluid Viscous Dampers”, Marr Shaffer & Miyamoto, Inc. Sacramento, California. USA. 2001.
9. **Taylor, D.**, “Buildings: Design for Damping”, Proceedings of the Boston Society of Civil Engineers, BSCES, Lecture Series, “Dynamics of Structures”. USA. 1999.
10. **Taylor Devices, INC.**, “Sample Technical Specifications for Viscous Damping Devices”, Technical Paper for Design. North Tonawanda, NY. USA. 2003.