

II CONGRESO DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, SÍSMICA Y PUENTES

ICG, MAYO 2006

DISIPADORES VISCOSOS VS DISIPADORES VISCOELÁSTICOS

Ricardo OVIEDO SARMIENTO¹

RESUMEN

Palabras Clave: Ingeniería Sismorresistente, Edificaciones, Disipadores, Estructuras.

Existen numerosas propuestas para el reforzamiento de estructuras aporticadas de concreto armado ante una sollicitación sísmica. Esto es debido a su poca rigidez lateral que origina distorsiones muy grandes. Además se debe tener en consideración la baja resistencia y flexibilidad de las paredes de mampostería en su plano normal, que aconseja la rigidización en este plano. Ante la presencia de desplazamiento de entrepiso en ambas direcciones, los disipadores de energía concentrarían así la mayor parte del desplazamiento, desarrollando fuerzas acordes con la capacidad resistente de los elementos. Se debe tener en cuenta que al no considerar los muros de mampostería en el modelo resulta una simplificación excesiva y poco real, ya que los muros de mampostería aumentan de forma significativa la rigidez del edificio y modifican sus características dinámicas.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo fundamental mostrar el comportamiento dinámico de estructuras con disipadores viscosos de energía versus estructuras con disipadores viscoelásticos, los cuales estarán unidos a la estructura principal. El disipador de energía se diseña para formar parte de un sistema sismorresistente dual no estándar, formada por una estructura principal flexible aporticada, la cual soporta las acciones gravitatorias, y por un sistema que se concentra en el proceso disipativo y del que forman parte los disipadores de energía. Actualmente se han desarrollado numerosos disipadores de energía, que presentan diversas características. En este trabajo solo se hablara de los dos antes mencionados y se realizara un comentario de ambos.

¹ Ingeniero investigador de la sección de Posgrado - UNI, Perú. Email: oviedos@ciplima.org.pe
—Especialista Ing. Sismorresistente - UNI
--Maestría Ing. Estructural – UNI

INTRODUCCIÓN

Una estructura aperticada 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, tres 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. La tercera alternativa, se incorporaron disipadores de energía viscoelásticos a la estructura flexible. Los beneficios obtenidos de las alternativas son comparados para determinar las ventajas de ambos sistemas.

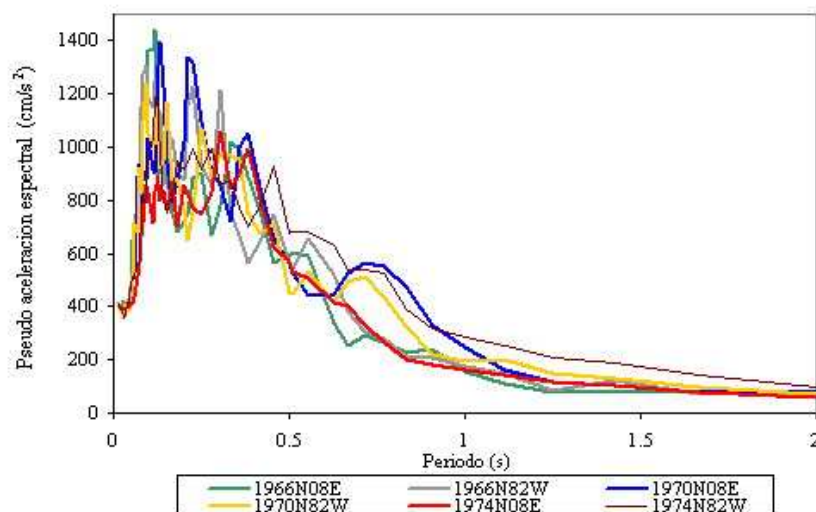
REGISTROS SÍSMICOS UTILIZADOS

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 estructural inherente es considerado en 5%.

Figura 2 Elevación de la estructura aporticada

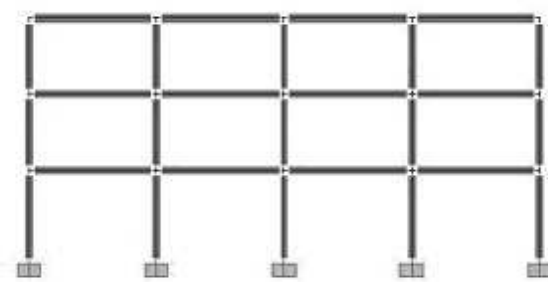


Tabla 2 Alturas, pesos y masas

NIVEL	ALTURA (m)	PESO (t)	MASA (t.s ² /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 VISCOSOS

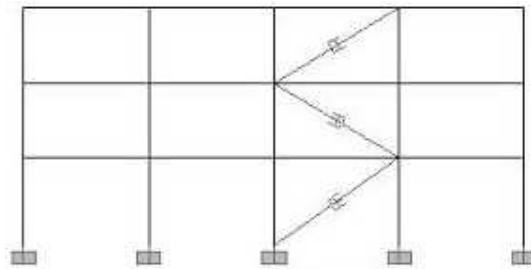
El amortiguamiento de un elemento disipador lineal (C_n) es definido como el producto del coeficiente de amortiguamiento del elemento (β_n), y la rigidez del elemento (K_n). La fuerza en los elementos disipadores (F_n), es una función lineal del amortiguamiento del elemento (C_n), y la velocidad desarrollada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



REFORZAMIENTO CON DISIPADORES DE ENERGÍA VISCOELÁSTICOS

Los materiales viscoelásticos sólidos empleados en aplicaciones estructurales de ingeniería civil son usualmente copolímeros o sustancias vidriosas que disipan energía cuando están sujetas a deformación por corte. Un disipador viscoelástico típico (VE), el cual consiste en capas viscoelásticas entre platos de acero, cuando son montadas en una estructura, la deformación por corte y por consiguiente la disipación de energía ocurre cuando la vibración estructural induce el movimiento relativo entre las laminas de acero exteriores y el plato central.

Los materiales típicos utilizados en disipadores viscoelásticos sólidos son dependientes de la temperatura. Por otra parte, para una amplia clase de polímeros, la forma de la superficie de la curva del modulo dinámico versus la frecuencia es similar cuando es evaluada a varias temperaturas.

Debido a la simplicidad geométrica del área de corte típico del disipador A y el espesor δ , la relación fuerza-deformación es obtenida para la respuesta bajo la excitación armónica en el tiempo:

$$F(t) = k'(\omega)x(t) + c'(\omega)\dot{x}(t) \quad (3)$$

$$k' = \frac{AG'(\omega)}{\delta} \quad (4)$$

$$c' = \frac{AG''(\omega)}{\omega\delta} \quad (5)$$

En la mayoría de las aplicaciones estructurales, las aproximaciones involucradas en la adopción del modelo de Kelvin definido en la ecuación 4 son razonablemente provistas para que uno seleccione un valor propio de ω .

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 (LI74N82W).

Períodos y frecuencias

De lo resultados obtenidos con ambas alternativas de disipadores de energía en relación a los períodos, se puede mencionar que no existe modificaron importante entre la estructura original y la estructura con los disipadores de energía. Con la alternativa de aumento de sección en las columnas, se aumentó la rigidez en la estructura, la cual origino una disminución en el período estructural del orden del 34%. Así como una variación en la frecuencia estructural del mismo orden de variación.

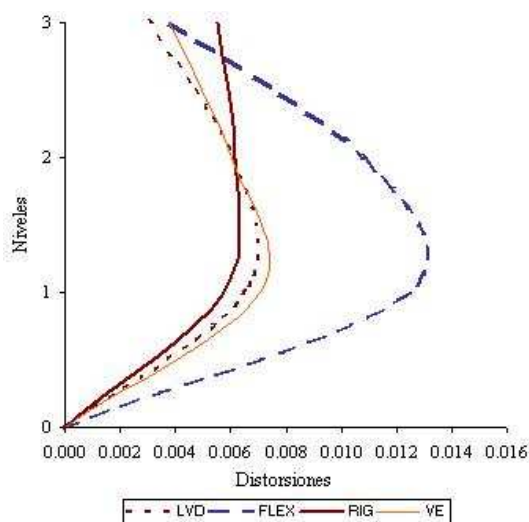
Tabla 2 Períodos y frecuencias

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

Distorsiones de entrepiso

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

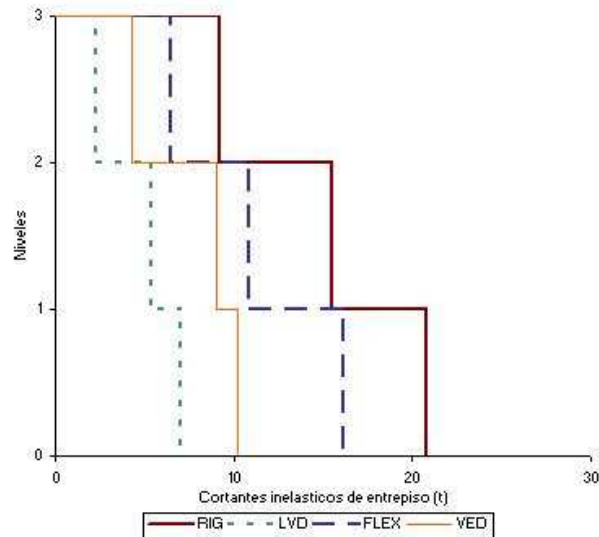
Figura 4 Distorsiones de entrepiso



Cortantes

Con la inclusión de los disipadores de energía viscosos 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. Con los disipadores de energía viscoelásticos se han obtenido hasta un 51% de disminución en la fuerza cortante, tal como lo muestra el gráfico

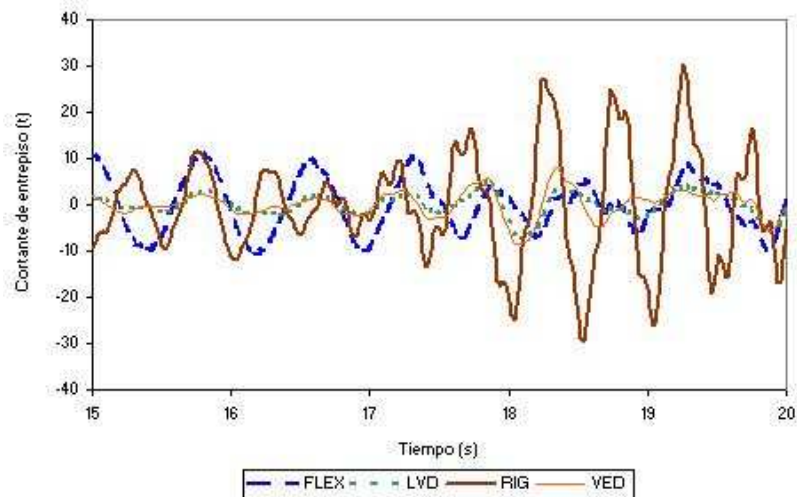
Figura 5 Cortantes totales de entrepiso



Momentos en las columnas

La figura 6 muestra la comparación de las fuerzas cortantes en el tiempo de la columna de la base. Estos gráficos confirman que para el convencional reforzamiento de aumento de la sección en las columnas, se incrementan las fuerzas cortantes en la columna de la base. Se ha podido obtener con ambos tipos de disipadores de energía reducciones variables de la fuerza cortante en la base de la columna de hasta más de 100%, dependiendo de la excitación en el tiempo.

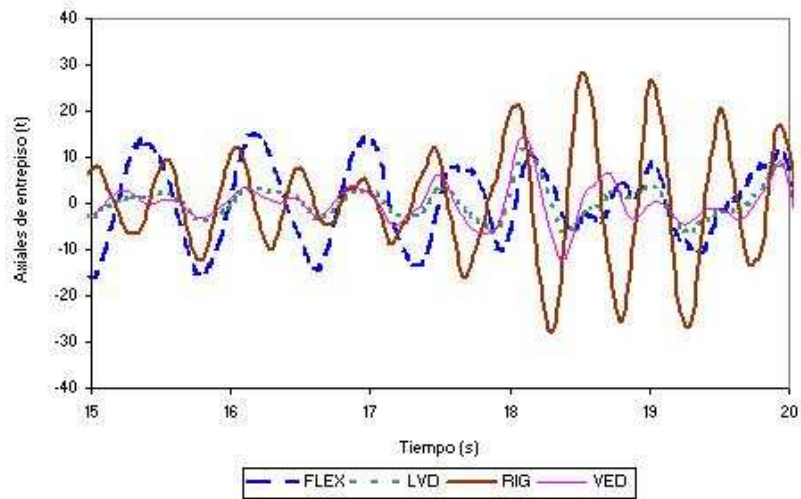
Figura 6 Cortantes de la columna del 1er nivel (extremo)



Fuerzas axiales en la base.

La reducción de la fuerza axial es muy importante para determinar la sección de la zapata, y en este grafico se puede apreciar hasta una reducción del 140% en la base de la columna. Con los disipadores viscoelásticos existe una pequeña variación en la fuerza axial, que podría originar una variación en las dimensiones de las zapatas en comparación con los disipadores viscosos.

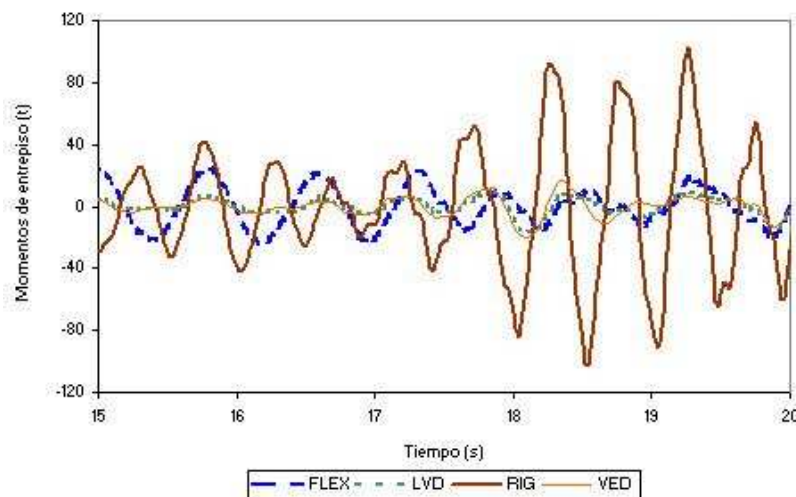
Figura 7 Fuerzas axiales de la columna del 1er nivel (extremo)



Momentos en la base.

Se ha logrado disminuir el momento transmitido por la columna a la cimentación hasta en un 84% con los disipadores de energía viscosos, y hasta en un 80% con los disipadores de energía viscoelásticos. Con el aumento de la sección de las columnas, se rigidiza la estructura y se transmite mayor momento y fuerza axial a la cimentación.

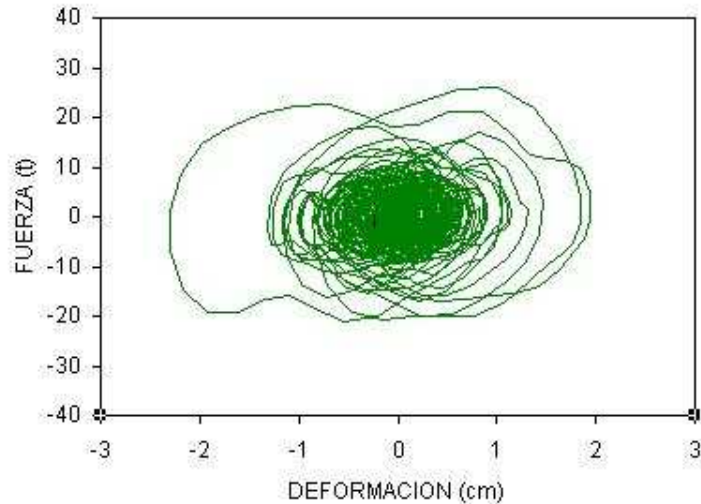
Figura 8 Momentos de la columna del 1er nivel (extremo)



Comportamiento del disipador viscoso

En el grafico que se muestra a continuación se aprecia la fuerza desarrollada por el disipador de energía viscoso, 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.

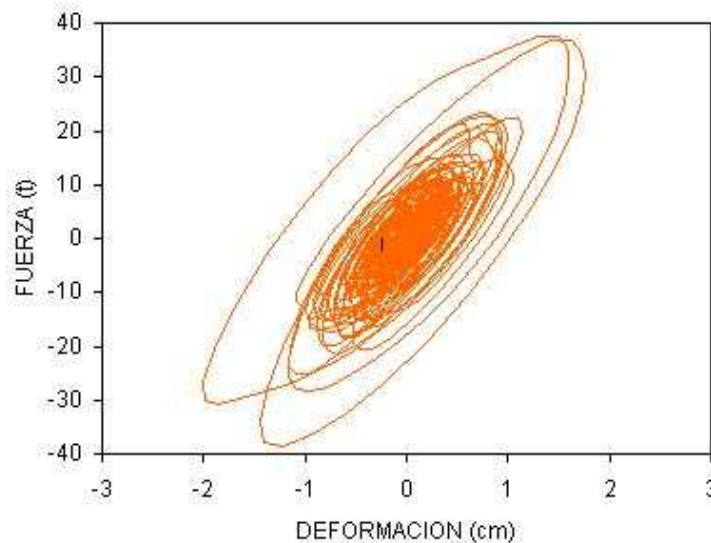
Figura 9 Curva histerética del disipador viscoso



Comportamiento del disipador viscoelástico

En el grafico que se muestra a continuación se aprecia la fuerza desarrollada por el disipador de energía viscoelástico, localizado en el primer nivel; llegando a desarrollar una fuerza de hasta 38.76 t y logrando alcanzar una deformación máxima para la sollicitación dada de 2.01 cm.

Figura 10 Curva histerética del disipador viscoelástico



CONCLUSIONES

- El período estructural no se modifica con la incorporación de disipadores de energía viscosos y viscoelásticos. Estos tipos de disipadores no rigidizan la estructura.
- Las distorsiones de entrepiso pueden ser controladas con la incorporación de disipadores de energía en relación al porcentaje de amortiguamiento de diseño de los disipadores.
- La fuerza cortante en la base se ve disminuida con ambos tipos de disipadores en relación a su rigidez. El aumento de sección en columnas incrementa la fuerza cortante y la masa.
- La fuerza cortante en las columnas se pueden reducir con una magnitud variable dependiendo de su ubicación en la estructura y la distribución de los disipadores.
- La fuerza axial en la base de las columnas con disipadores viscoelásticos es mayor que con disipadores viscosos. Esta variación se incrementa en los apoyos del disipador.
- Los momentos de las columnas en la base se reducen similar y considerablemente con ambos tipos de disipadores en relación al incremento de la sección de las mismas.
- Los disipadores de energía viscosos desarrollan una menor fuerza y una mayor deformación en comparación a los disipadores de energía viscoelásticos.

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. **Oviedo, R.**, “Reforzamiento Estructural Convencional Versus Disipadores de Energía”, Libro de ponencias del XV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Colegio de Ingenieros del Perú, Ayacucho. Perú. 2005. <http://oviedos.tripod.com/oviedo.htm> – oviedos@ciplima.org.pe
10. **Taylor, D.**, “Buildings: Design for Damping”, Proceedings of the Boston Society of Civil Engineers, BSCES, Lecture Series, “Dynamics of Structures”. USA. 1999.
11. **Taylor Devices, INC.**, “Sample Technical Specifications for Viscous Damping Devices”, Technical Paper for Design. North Tonawanda, NY. USA. 2003.