

## **CAPÍTULO III**

### **METODO MODAL ESPECTRAL EN ESTRUCTURAS CON AISLADORES FPS Y ELASTOMÉRICOS**

---

#### **RESUMEN**

Los aisladores de base son una excelente alternativa para tener estructuras sismo resistentes, de ahí el gran desarrollo que ha experimentado a nivel mundial y es así como se tienen estos dispositivos de control en edificios, en puentes, en la industria petrolera, en la preservación de monumentos históricos, entre otros. Por este motivo, es fundamental que en el Ecuador conozcamos en primer lugar como se realiza el análisis sísmico de edificios con estos dispositivos y presentemos métodos sencillos de análisis para que los proyectistas estructurales se animen a utilizarlos.

En este artículo se presentan dos métodos de análisis, el uno denominado Método de Masa Corregida , MMC, en el cual la acción sísmica viene definida por un acelerograma y el otro llamado Método Modal Espectral, MME, en que la acción sísmica está representada por un espectro de respuesta elástico. En



el MME se consideraran todos los modos de vibración en el sistema de aislamiento pero en la superestructura solamente se trabaja con el primer modo, por facilidad y lo que se pretende estudiar en este artículo es la bondad de este método que es muy sencillo, en comparación con el MMC.

Se encuentra la respuesta sísmica en cuatro estructuras de hormigón armado de 2, 4, 6 y 8 pisos, las mismas que están sobre aisladores de base elastoméricos sin núcleo de plomo y se las analiza ante la acción de tres componentes sísmicas. Se encuentra la respuesta empleando el MMC y el MME. Ahora, si los aisladores de base son FPS se realiza la misma comparación de las respuestas máximas halladas con el MMC y con el MME.



### 3.1 MÉTODO MODAL ESPECTRAL

El comportamiento sísmico de una estructura sobre aisladores de base elastoméricos sin núcleo de plomo o FPS (Frictional Pendulum System) ante la acción de sismos severos es no lineal en el sistema de aislamiento y lineal en la superestructura. Ahora bien, para este tipo de dispositivos de control pasivo se pueden aplicar como aproximación, métodos de análisis sísmico lineales que dan muy buenos resultados. Zayas et al (1987, 1989); Almazán y De la Llera (1998, 2002), Almazán (2001).

Evidentemente que existe diferencia al aplicar un análisis no lineal y un análisis lineal, en este tipo de estructuras pero la esencia de la respuesta sísmica, que es lo que interesa es la que no varía mucho, entre estos dos métodos de análisis por este motivo es que el desarrollo de los métodos lineales equivalentes ha tenido gran aceptación.

Según (2007) propuso el MME para el análisis sísmico de estructuras con aisladores de base elastoméricos. Este método ha sido adaptado por Aguiar (2008,1) para el análisis sísmico de estructuras con aisladores FPS. La problemática es bastante compleja ya que en las estructuras con aisladores elastoméricos el amortiguamiento es de tipo viscoso tanto de la superestructura como del sistema de aislación; en cambio, en las estructuras con FPS el amortiguamiento es viscoso en la superestructura y de fricción o de Coulomb en el sistema de aislamiento pero para poder aplicar el MME se considera que el amortiguamiento de todo el sistema, superestructura y aislamiento son viscosos.



Bozzo y Mahin (1989) como aproximación, consideraron que el amortiguamiento de la superestructura y de los FPS son del tipo viscoso, debido a que la superestructura tiene una gran masa y rigidez en comparación con la masa y rigidez del sistema de aislación; y al tener la superestructura amortiguamiento viscoso se podría extender este tipo de amortiguamiento también al sistema de aislamiento.

Las estructuras se analizan con el programa modalespectralaislamiento el mismo que es usado para estructuras con aisladores de base elastoméricos o FPS. Este análisis considera 3 gdl por planta. Se puede analizar las estructuras con Espectro del CEC-2000 o con cualquier espectro para el cual se da como dato en un archivo el periodo y la aceleración.

En la ecuación diferencial:

$$\mathbf{M}^{(t)} \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}^{(b)} \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}^{(b)} \mathbf{q} = -\mathbf{M}^{(t)} \mathbf{r}^{(b)} \ddot{\mathbf{u}}_g - \mathbf{r}^{(s)t} \mathbf{M}^{(s)} \ddot{\mathbf{u}}$$

Analizada en el capítulo I se considera que  $\ddot{\mathbf{u}} = 0$  esto implica suponer que la aceleración de la superestructura en el movimiento del sistema de aislación es nula por lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$\mathbf{M}^{(t)} \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}^{(b)} \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}^{(b)} \mathbf{q} = -\mathbf{M}^{(t)} \mathbf{r}^{(b)} \ddot{\mathbf{u}}_g \quad (3.1)$$



Es en esta ecuación es en donde se aplica el MME. A continuación el cálculo del vector  $q$ . Para ello se realiza el siguiente cambio de coordenadas con el objeto de desacoplar el sistema de ecuaciones diferenciales.

$$q = \Phi X \quad (3.2)$$

Donde:

$\Phi$  : Matriz modal, conformada por cada uno de los modos de vibración de la estructura;

$X$ : Vector de desplazamientos y giro del sistema de aislamiento, en el nuevo sistema de coordenadas.

$$\Phi = \left[ \phi^{(1)} \quad \phi^{(2)} \quad \phi^{(3)} \right] \quad (3.3)$$

Siendo  $\phi^{(1)}$  el primer modo de vibración el sistema de aislamiento,  $\phi^{(2)}$  el segundo modo de vibración y  $\phi^{(3)}$  el tercer modo de vibración. Solo se tienen tres modos de vibración ya que el sistema de aislamiento tiene tres grados de libertad. En las coordenadas  $X$  el sistema de ecuaciones diferenciales está desacoplado, por esta razón se suele denominar a este sistema como coordenadas principales. En este nuevo sistema de coordenadas se tiene:

$$M^* \ddot{X} + C^* \dot{X} + K^* X = Q^* \quad (3.4)$$



De la Dinámica de Estructuras. Aguiar (2007) se conoce que:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}^* &= \Phi^t \mathbf{M}^{(t)} \Phi & \mathbf{C}^* &= \Phi^t \mathbf{C}^{(b)} \Phi \\ \mathbf{K}^* &= \Phi^t \mathbf{K}^{(b)} \Phi & \mathbf{Q}^* &= \Phi^t \mathbf{Q}^{(b)} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Para el caso que se está analizando que tiene tres grados de libertad, estas matrices, son:

$$\mathbf{M}^* = \begin{bmatrix} \eta & & \\ & \eta & \\ & & \eta \end{bmatrix} = \eta \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$\mathbf{C}^* = 2 \xi^{(b)} \eta \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{n1} & & \\ & \mathbf{W}_{n2} & \\ & & \mathbf{W}_{n3} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$\mathbf{K}^* = \eta \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{n1}^2 & & \\ & \mathbf{W}_{n2}^2 & \\ & & \mathbf{W}_{nn}^2 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$\phi^{(i)t} \mathbf{M}^{(t)} \phi^{(i)} = \eta \quad (3.9)$$



Donde:

$W_{n1}, W_{n2}, W_{n3}$ : Frecuencias naturales de vibración de los tres modos de vibración.

$\xi^{(b)}$ : Factor de amortiguamiento del aislamiento, que se considera igual en todos los modos; para estructuras con aislamiento de base elastomérico el valor de  $\xi^{(b)}$  es dato, en cambio para estructuras con FPS  $\xi^{(b)}$  se obtiene con la siguiente ecuación (la misma que se detalló en un capítulo anterior):

$$\xi^{(b)} = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\nu}{\nu + \frac{q}{R}} \right] \quad (3.10)$$

Los vectores de cargas generalizadas  $Q^{(b)}$  y  $Q^*$  valen:

$$Q^{(b)} = -M^{(t)} r^{(b)} \ddot{U}_g \quad (3.11)$$

$$Q^* = - \begin{bmatrix} \phi^{(1)t} \\ \phi^{(2)t} \\ \phi^{(3)t} \end{bmatrix} M^{(t)} r^{(b)} \ddot{U}_g \quad (3.12)$$



De tal manera que el sistema de ecuaciones diferenciales, en coordenadas principales resulta:

$$\begin{bmatrix} \eta \\ \eta \\ \eta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{bmatrix} + 2 \xi^{(b)} \begin{bmatrix} W_{n1} \\ W_{n2} \\ W_{n3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} + \eta \begin{bmatrix} W_{n1}^2 \\ W_{n2}^2 \\ W_{n3}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = -Q^* \quad (3.13)$$

La ecuación diferencial de la fila  $i$ , del sistema de ecuaciones diferenciales desacoplado en coordenadas principales, es:

$$\eta \ddot{x}_i + 2 \xi^{(b)} \eta W_{ni} \dot{x}_i + \eta W_{ni}^2 x_i = -\phi^{(i)t} M^{(t)} r^{(b)} \ddot{U}_g \quad \text{Para } i = 1,2,3 \quad (3.14)$$

Al dividir todo para  $\eta$  se tiene:

$$\ddot{x}_i + 2 \xi^{(b)} W_{ni} \dot{x}_i + W_{ni}^2 x_i = -\frac{\phi^{(i)t} M^{(t)} r^{(b)}}{\eta} \ddot{U}_g \quad (3.15)$$

Se denomina factor de participación modal  $\gamma_i^{(b)}$  a:

$$\gamma_i^{(b)} = \frac{\phi^{(i)t} M^{(t)} r^{(b)}}{\eta} = \frac{\phi^{(i)t} M^{(t)} r^{(b)}}{\phi^{(i)t} M^{(t)} \phi^{(i)}} \quad (3.16)$$

$$\ddot{x}_i + 2 \xi^{(b)} W_{ni} \dot{x}_i + W_{ni}^2 x_i = -\gamma_i^{(b)} \ddot{U}_g \quad (3.17)$$



La expresión 3.17 corresponde a la ecuación diferencial de un sistema de un grado de libertad, donde  $\ddot{U}_g$  viene definido por un espectro de diseño o un espectro de respuesta, generalmente para un valor de amortiguamiento de 0.05. La máxima respuesta es:

$$x_i = \gamma_i S_{di} = \gamma_i \left( \frac{T_i^{(b)}}{2\pi} \right)^2 A_{di} \quad (3.18)$$

Donde  $T_i^{(b)}$  es el período de vibración del modo  $i$  del sistema de aislamiento;  $S_{di}$ ,  $A_{di}$  son el desplazamiento y la aceleración espectral asociada al período  $T_i^{(b)}$ . Finalmente para encontrar la respuesta en las coordenadas  $q$  se utiliza la ecuación 3.19.

$$q^{(i)} = \gamma_i \left( \frac{T_i^{(b)}}{2\pi} \right)^2 A_{di} \phi^{(i)} \quad (3.19)$$

Por otro lado  $S_{di}$  o  $A_{di}$  son las ordenadas espectrales asociadas al espectro de desplazamientos o aceleraciones obtenido para  $\xi_i^{(b)}$ . Generalmente, los espectros están dados para un factor de amortiguamiento de 0.05. Por lo que para hallar las ordenadas espectrales para cualquier tipo de amortiguamiento  $\xi$  a partir del espectro para 0.05, se debe encontrar el factor  $B_0$  y multiplicar las ordenadas espectrales por este factor.



$$B_0 = 2 \left( \frac{1 + \xi}{1 + 14.68 \xi^{0.865}} \right) \quad (3.20)$$

En estructuras con aisladores FPS el  $\xi^{(b)}$  es función del desplazamiento lateral. Por lo tanto el análisis sísmico se realiza iterando a partir de un factor de amortiguamiento inicial dado.

Se puede aplicar el MME en la superestructura, con cada uno de los modos de vibración del sistema de aislamiento. Según (2007). Pero también se pueden hallar estos desplazamientos laterales a partir del vector  $q$  final encontrado en el sistema de aislamiento y es así como se lo resuelve en este artículo. Aguiar (2008,1). Para ello se debe encontrar las fuerzas estáticas en cada piso mediante la siguiente ecuación. De la Llera et al (2005)

$$F^{(s)} = M^{(s)} r^{(s)} M^{(t)-1} K^{(b)} q \quad (3.21)$$

Para hallar los desplazamientos en cada piso de la superestructura se debe resolver un sistema de ecuaciones lineales, el mismo que viene dado por:

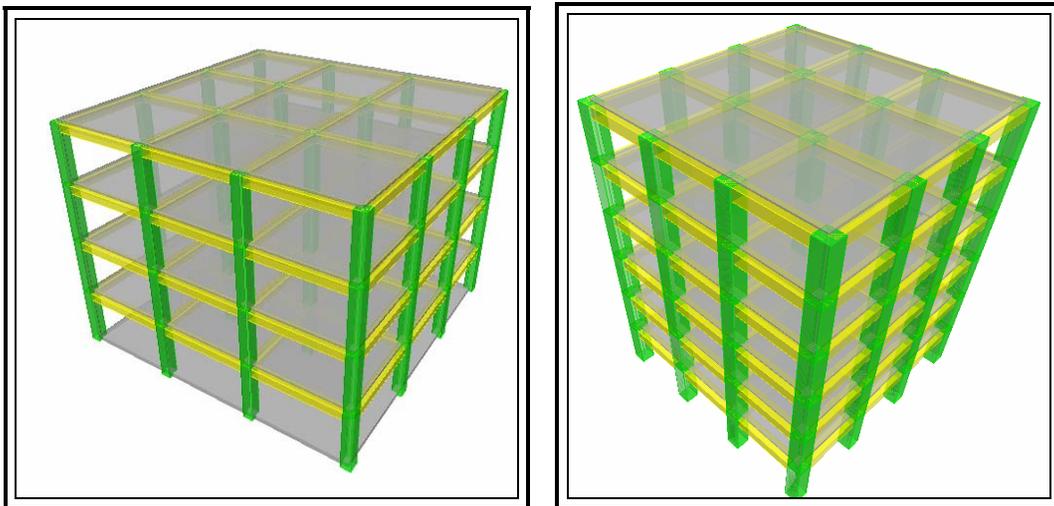
$$F^{(s)} = K^{(s)} u \quad (3.22)$$



### 3.2 ESTRUCTURAS Y SISMOS DE ANÁLISIS

Se analizan cuatro estructuras de 2, 4, 6 y 8 pisos. Todas tienen la misma distribución en planta y a modo de ejemplo en la figura 3.1 se presentan una vista en elevación para la estructura de 4 y 6 pisos, tienen planta cuadrada con luces iguales de 5 m, cada uno. La altura de los entrepisos es de 3.0 m. para las estructuras de 2 y 4 pisos; y para las estructuras de 6 y 8 pisos es de 3.5 m.

En la tabla 3.1, se indica las dimensiones de cada una de las estructuras y en la última columna se muestra el período fundamental de la superestructura. El período objetivo de las estructuras con dispositivos de control fue de 2 s.



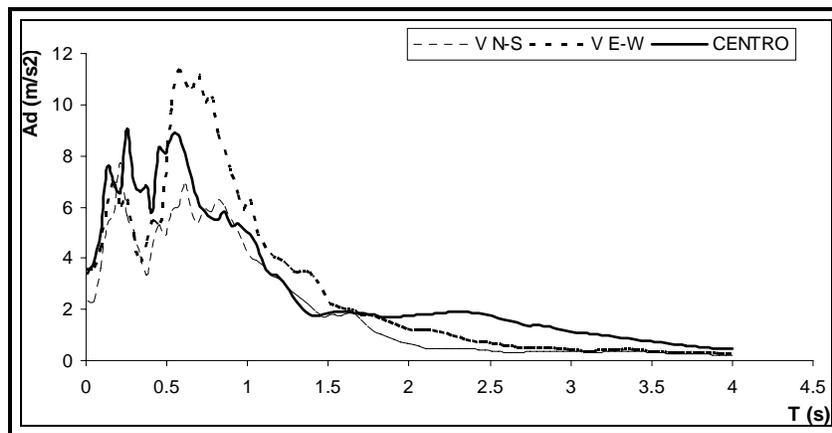
**Figura 3.1:** Vista en elevación de estructuras de 4 y 6 pisos.



**Tabla 3.1:** Dimensiones y período de vibración de estructuras analizadas.

Estructura	Dimensiones		Altura de entepiso (m)	Período (s)
	Columnas (m)	Vigas (m)		
2	0.4 / 0.4	0.3 / 0.3	3.0	0.45
4	0.5 / 0.5	0.4 / 0.4	3.0	0.65
6	0.7 / 0.7	0.6 / 0.6	3.5	0.62
8	0.9 / 0.9	0.7 / 0.7	3.5	0.63

Se trabajan con dos registros del Sismo del 3 de marzo de 1985 que afectó a Chile y que fueron registrados en Viña de Mar. Uno de los registros tiene una aceleración máxima de 233 gals y se lo ha identificado como N-S, y el otro tiene una aceleración máxima de 356 gals que se lo ha denominado E-W, en este artículo. El otro evento corresponde a un registro del sismo de El Centro de 1940 que tiene una aceleración máxima de  $3.42 \text{ m/s}^2$ . En la figura 3.2 se presentan los espectros de respuesta elástico de estos eventos, obtenidos para una factor de amortiguamiento del 5%.



**Figura 3.2:** Espectros de respuesta elásticos considerados en el estudio



### 3.3 USO DE PROGRAMA MODALESPECTRALAISLAMIENTO AISLAMIETO.

Se dispone del programa en Matlab modalespectralaislamiento desarrollado por el Dr. Roberto Aguiar Falconí en el Centro de Investigaciones Científicas de la ESPE.

Para empezar a ejecutar el programa se requiere colocar:

**[T1b,T1s,qmax,u]=modalespectralaislamiento(NP,seda,iejes,pesoD,pesoL, KLG,r,Tobj)**

Lo que se encuentra dentro de los [ ] son las respuestas que obtenemos con el programa y los que están entre ( ) son los datos que le proporcionamos al programa por lo que se ve necesario explicar cada uno de ellos como se muestra a continuación:

**Los datos que se deben proporcionar al programa son los siguientes:**

**NP:** Número de pisos.

**seda:** Factor de amortiguamiento de los aisladores de la superestructura.

**iejes:** Número de pórticos de la estructura en el sentido de análisis sísmico.

**pesoD:** Vector en el que se indica el peso total de cada uno de los pisos, desde el primer piso al último, debido a carga muerta D.

**pesoL:** Vector en el que se indica el peso total de cada uno de los pisos, desde el primer piso al último, debido a carga viva L.



**KL<sub>G</sub>**: Matriz que contiene las matrices de rigidez lateral de cada uno de los pórticos de la estructura.

**T<sub>obj</sub>**: Período objetivo aconsejable para estructura aislada de 2-2.5 seg.

**Después el programa se ejecutará y nos pedirá lo siguiente:**

**Códigos para espectro a emplear: CEC-2000= 1    Cualquier espectro= 2**

**Indique el código para el espectro a utilizar:**

Si queremos emplear el espectro del CEC-2000 únicamente digitaremos 1 y este se cargará.

Si queremos emplear otro espectro digitaremos 2 y el programa nos dará la siguiente instrucción

**Nombre del archivo que contiene al espectro**

Aquí se pondrá el nombre del archivo que contiene el espectro (aceleración, tiempo) por ejemplo C:\centro.

**Los resultados que proporciona el programa son los siguientes:**

**T<sub>1b</sub>**: Período fundamental del sistema de aislación

**T<sub>1s</sub>**: Período fundamental de la estructura

**q<sub>max</sub>**: Desplazamiento máximo del último piso

**u**: Vector de desplazamientos laterales de cada piso de la superestructura

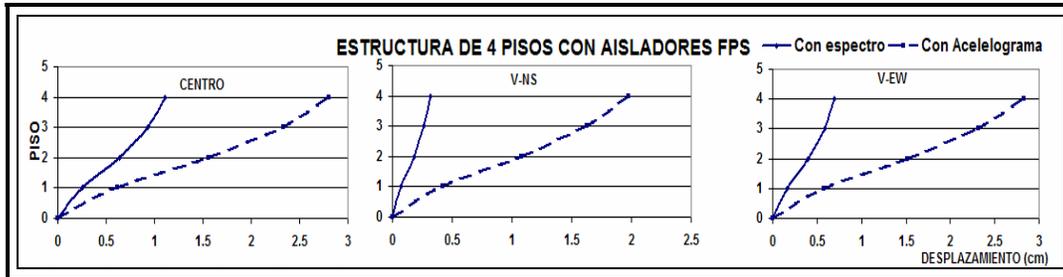


### **3.4 ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS CON FPS CON MÉTODO MODAL ESPECTRAL Y MÉTODO DE MASA CORREGIDA**

Se encontró la respuesta en el tiempo empleando el MMC en el cual la acción sísmica está definida por un acelerograma, de esta respuesta se halló el desplazamiento máximo, en valor absoluto.

Los resultados se presentan en la figura 3.3 para las superestructuras sobre aisladores FPS.

Se presentan los resultados en primer lugar para el sismo de El Centro (1940), luego para la componente N-S y finalmente para la componente E-W del registro de Viña del Mar (1985). El orden de presentación es primero la de 2 pisos, luego la de 4, 6 y finalmente la de 8 pisos.



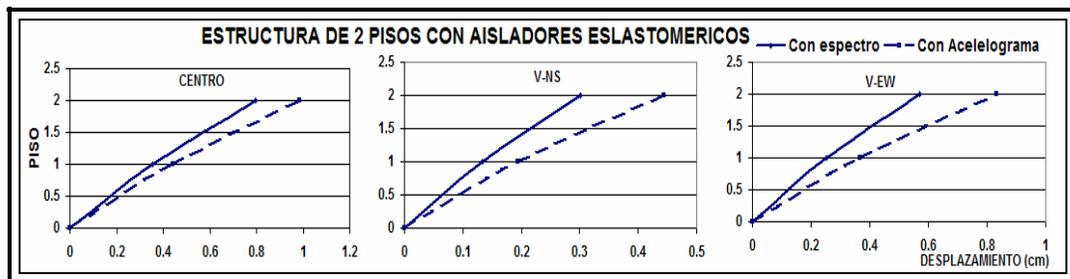
**Figura 3.3:** Comparación de las respuestas obtenidas en la superestructura con FPS

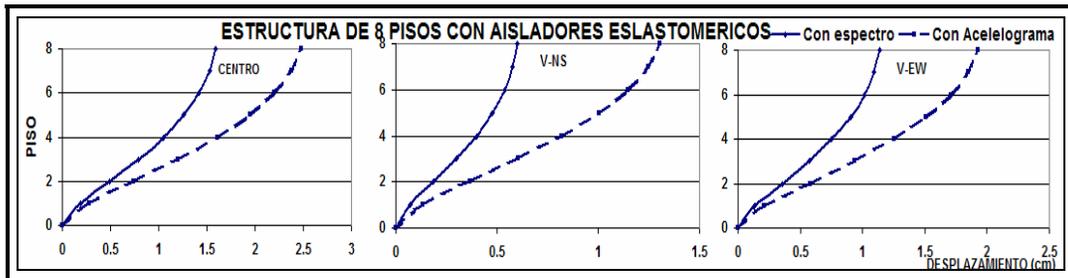
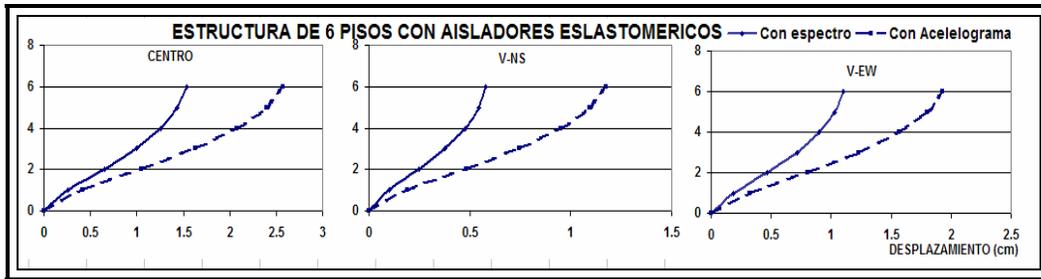


### 3.5 ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON MÉTODO MODAL ESPECTRAL Y MÉTODO DE MASA CORREGIDA

Se encontró la respuesta en el tiempo empleando el MME en el cual la acción sísmica está definida por un espectro de esta respuesta elástico, se halló el desplazamiento máximo, en valor absoluto.

En la figura 3.4 se muestra los resultados de los desplazamientos empleando los dos métodos de análisis.





**Figura 3.4:** Comparación de las respuestas obtenidas en la superestructura con aisladores elastoméricos.

### 3.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE METODO MODAL ESPECTRAL CON MÉTODO DE MASA CORREGIDA

#### 3.6.1 Resultados en superestructura

En las figuras 3.3 y 3.4 se aprecia que el MMC reporta mayores valores a los hallados con el MME, en la superestructura. Ahora, en la tabla 2 se indica el porcentaje en que se incrementa la respuesta y en ella se aprecia que en las estructuras con aisladores FPS las diferencias son muy altas, en la mayor parte de los casos superan el 100 % pero en las estructuras con aisladores de base elastoméricos la diferencia es menor al 100%.



**Tabla 3.2:** Diferencia que se obtiene en el Método de Masa Corregida con respecto al Modal.

Para 2 pisos	CENTRO		VIÑA DEL MAR N-S		VIÑA DEL MAR E-W	
	% In FPS	% In Elasto	% In FPS	% In Elasto	% In FPS	% In Elasto
1	75.4	24.6	335.6	45.5	137.6	45.0
2	75.1	23.8	342.5	47.7	139.1	45.9

Para 4 pisos	CENTRO		VIÑA DEL MAR N-S		VIÑA DEL MAR E-W	
	% In FPS	% In Elasto	% In FPS	% In Elasto	% In FPS	% In Elasto
1	141.4	58.2	486.4	86.2	263.7	66.8
2	146.5	61.1	503.5	89.8	282.8	69.4
3	150.3	63.3	518.3	92.9	297.7	71.5
4	152.6	64.7	529.3	96.2	307.0	72.8

Para 6 pisos	CENTRO		VIÑA DEL MAR N-S		VIÑA DEL MAR E-W	
	% In FPS	% In Elasto	% In FPS	% In Elasto	% In FPS	% In Elasto
1	143.0	60.7	469.9	92.7	259.2	71.0
2	149.9	61.4	489.5	95.6	274.6	71.6
3	152.5	64.0	506.6	98.1	288.2	72.8
4	156.3	65.5	520.1	100.0	299.0	74.4
5	157.9	67.2	529.4	101.2	306.5	75.1
6	159.5	67.6	534.4	102.5	310.8	75.7

Para 8 pisos	CENTRO		VIÑA DEL MAR N-S		VIÑA DEL MAR E-W	
	% In FPS	% In Elasto	% In FPS	% In Elasto	% In FPS	% In Elasto
1	121.6	48.5	529.0	90.4	274.0	58.1
2	124.3	48.5	542.3	95.9	287.2	63.8
3	126.9	48.5	555.3	101.2	299.8	65.2
4	129.2	48.5	571.0	106.1	311.2	65.8
5	131.2	48.5	584.7	110.2	320.7	67.1
6	132.7	48.5	595.0	113.5	328.0	68.2
7	133.7	48.5	602.2	115.8	333.2	69.2
8	134.4	48.5	606.3	117.2	336.2	69.7



Pero es importante destacar que los desplazamientos laterales hallados en cada piso de la superestructura, tanto con aisladores FPS como con aisladores elastoméricos son bastante bajos, de tal manera que en forma global el MME proporciona resultados aceptables.

### 3.6.2 Resultados en el sistema de aislación

En la tabla 3 se presentan los resultados máximos en valor absoluto, en el sistema de aislamiento obtenidos con el MME y con el MMC, tanto en las estructuras con FPS como en las estructuras con aisladores elastoméricos.

Como se indicó anteriormente, el período objetivo del sistema de aislación es de 2.0 s., para todas las estructuras, por este motivo es que los desplazamientos laterales son iguales en todas las estructuras.

**Tabla 3.3:** Desplazamientos laterales máximos en el sistema de aislamiento.

Número de pisos	Sismo El Centro			
	FPS		ELASTOMERICO	
	MME (cm.)	MMC (cm.)	MME (cm.)	MMC (cm.)
2	8.35	12.46	12.93	14.65
4	8.35	12.46	12.93	14.77
6	8.35	12.46	12.93	14.75
8	8.35	12.46	12.93	14.59
	Sismo Viña del Mar N-S			
2	2.36	4.62	4.89	6.05
4	2.36	4.62	4.89	5.97
6	2.36	4.62	4.89	6.12
8	2.36	4.62	4.89	5.78
	Sismo Viña Del Mar E-W			
2	5.23	9.35	9.26	11.60
4	5.23	9.35	9.26	11.59
6	5.23	9.35	9.26	11.62
8	5.23	9.35	9.26	11.59



En la tabla 3 se aprecia que los desplazamientos hallados con el MMC son mayores a los obtenidos con el MME y se observa que mayor diferencia existe en las estructuras sobre aisladores FPS. El porcentaje de incremento de los desplazamientos en el sistema de aislamiento hallados con el MMC con relación a los encontrados con el MME se indica en la tabla 4.

**Tabla 3.4:** Incremento de los desplazamientos con respecto a MME

Número de pisos	Sismo El Centro		Viña de Mar N-S		Viña de Mar E-W	
	FPS % Increment.	Elastom. % Increment.	FPS % Increment.	Elastom. % Increment.	FPS % Increment.	Elastom. % Increment.
<b>2</b>	49.2	13.3	95.6	23.7	78.7	25.3
<b>4</b>	49.2	14.2	95.6	22.1	78.7	25.2
<b>6</b>	49.2	14.1	95.6	25.1	78.7	25.5
<b>8</b>	49.2	12.8	95.6	18.2	78.7	25.2



## REFERENCIAS

Aguiar R., (2007) Dinámica de Estructuras con MATLAB, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, 292 p., Sangolquí, Ecuador.

Aguiar R., (2008,1) “Análisis modal espectral en estructuras con aisladores elastoméricos o FPS”, V Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ingeniería Civil, V COLEIC. Universidad Técnica Particular de Loja, 19 p., Loja.

Aguiar R., (2008,2) Análisis Sísmico de Edificios, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 340 p. Sangolquí, Ecuador.

Almazán J. L., De la Llera J. C., and Inaudi J., (1998), “Modeling aspects of structures isolated with the frictional pendulum system”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27, 845-867.

Almazán J.L. (2001), Torsión accidental y natural de estructuras aisladas con el sistema Péndulo Friccional, Ph.D. Tesis Pontificia Universidad Católica de Chile.

Almazán J. L. (2002), “Procedimiento simplificado para considerar torsión accidental en estructuras aisladas con FPS”, Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. VIII Jornadas, 8 p., Valparaíso, Chile.



Bozzo L., Mahin S., (1989), "Response of elastic single degree of freedom systems supported on FPS connections", Earthquake Engineering Research Center. University of California at Berkeley, Report N.- UCB/EERC-89/09, Chapter 8, 189-194, Berkeley California.

De La Llera J. Almazán J., y Seguí C., (2005), "Control de Estructuras asimétricas mediante aislamiento sísmico", IX Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica, 12 p., Concepción.

Kulkarni J., y Jangrid R., (2002), "Rigid body response of base-isolated structures", Journal of Structural Control, 9, 171-188.

Seguí E., (2007), Torsión en sistemas aislados sísmicamente con dispositivos elastoméricos, Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile, 229 p., Santiago de Chile.

Zayas V., Low S., Mahin S., (1987), "The FPS earthquake resisting system: experimental report" Earthquake Engineering Research Center. University of California at Berkeley, Report N.- UCB/EERC-87/01, Berkeley, California.

Zayas V., Low S., Bozzo L., Mahin S., (1989), "Feasibility and performance studies on improving the earthquake resistance of new and existing buildings using the friction pendulum system" Earthquake Engineering Research Center. University of California at Berkeley, Report N.- UCB/EERC-89/09, 308 p., Berkeley, California.