

## **CAPÍTULO II**

### **AISLADORES DE BASE TIPO PÉNDULO DE FRICCIÓN FPS**

---

#### **RESUMEN**

Se presenta el marco teórico sobre el funcionamiento de estructuras con aisladores de base tipo péndulo de fricción, de la primera generación. Luego se presenta un modelo lineal en el cual el sistema de aislación es modelado como un macro elemento rígido que tiene tres grados de libertad y la superestructura con pisos rígidos con tres grados de libertad por planta.

Posteriormente se halla la respuesta en el tiempo en 10 estructuras de hormigón armado de tres pisos, que tienen la misma configuración en planta y elevación, únicamente cambian la sección transversal de sus elementos y la geometría de los FPS, ante la acción de un acelerograma correspondiente al sismo de El Centro de 1940.

Finalmente, se encuentra la respuesta en el tiempo de las mismas estructuras, para los dos períodos objetivos pero ahora los dispositivos de control son aisladores de base elastoméricos sin núcleo de plomo. Las respuestas máximas a nivel del sistema de aislación y del último piso son comparadas con las que se hallan en las estructuras con aisladores tipo péndulo de fricción



## 2.1 MODELO NUMÉRICO DE CÁLCULO

Existen varios modelos de análisis sísmico para estructuras con FPS, unos más complejos que otros. Pero los modelos lineales son muy utilizados actualmente, ya que en forma macro reproducen con bastante exactitud el desplazamiento lateral del sistema de aislamiento y de la estructura. Uno de estos modelos lineales considera tres grados de libertad gdl. por planta en cada piso de la superestructura y tres grados de libertad en el sistema de aislación, es decir se considera que los pisos de la superestructura son completamente rígidos en su plano y que el sistema de aislación está representado por un macro elemento lineal equivalente de 3 gdl. En la figura 2.1 se presenta el modelo numérico de análisis. Aguiar (2008)

Los grados de libertad de la base se han notado con la letra q y los grados de libertad de la superestructura con la letra u.

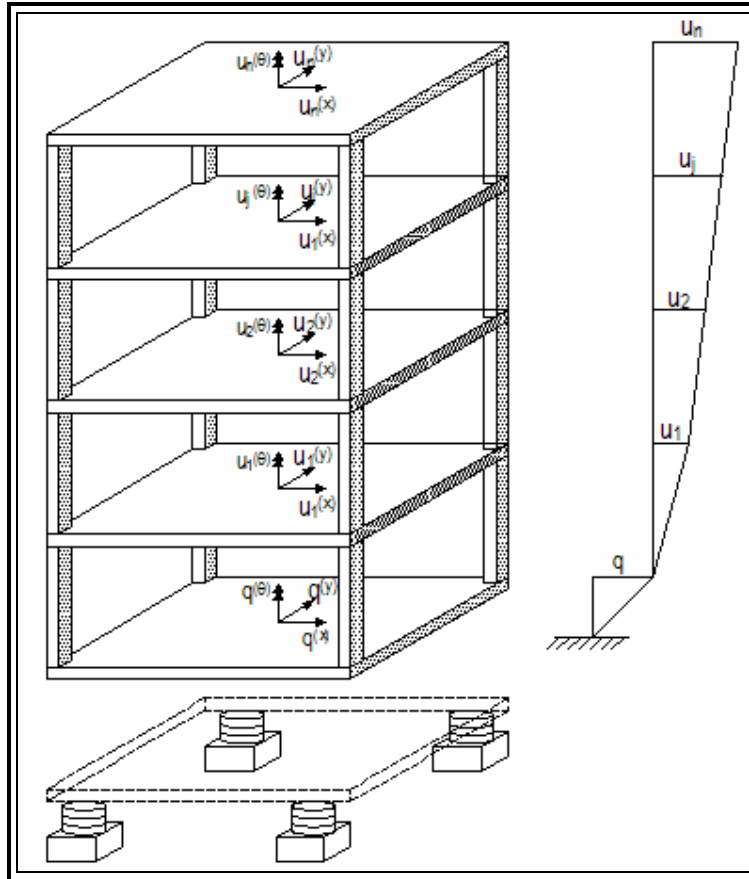
$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} q^{(x)} \\ q^{(y)} \\ q^{(\theta)} \end{bmatrix} \quad \mathbf{u} = \begin{bmatrix} \bar{u}^{(x)} \\ \bar{u}^{(y)} \\ \bar{u}^{(\theta)} \end{bmatrix} \quad \bar{\mathbf{u}}^{(x)} = \begin{bmatrix} u_1^{(x)} \\ u_2^{(x)} \\ \dots \\ u_n^{(x)} \end{bmatrix} \quad \bar{\mathbf{u}}^{(y)} = \begin{bmatrix} u_1^{(y)} \\ u_2^{(y)} \\ \dots \\ u_n^{(y)} \end{bmatrix} \quad \bar{\mathbf{u}}^{(\theta)} = \begin{bmatrix} u_1^{(\theta)} \\ u_2^{(\theta)} \\ \dots \\ u_n^{(\theta)} \end{bmatrix}$$

Por otra parte la relación fuerza deformación que se ha considerado para el macro elemento del sistema de aislación es la siguiente. Almazán y de la Llera (2002).

$$\mathbf{Q}^{(b)} = \mathbf{K}^{(b)} \mathbf{q} + \mathbf{C}^{(b)} \dot{\mathbf{q}} \quad (2.1)$$



Donde  $K^{(b)}$  es la matriz de rigidez del sistema de aislamiento;  $C^{(b)}$  es la matriz de amortiguamiento del sistema de aislamiento;  $q, \dot{q}$  son los vectores de desplazamiento y velocidad del sistema de aislamiento;  $Q^{(b)}$  es el vector de cargas.



**Figura 2.1:** Modelo de tres grados de libertad por planta

En base a la ecuación diferencial (2.1) se halla el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales para el macro elemento y para la superestructura.

$$M^{(t)} \ddot{q} + C^{(b)} \dot{q} + K^{(b)} q = -M^{(t)} r^{(b)} \ddot{u}_g - r^{(s)t} M^{(s)} \ddot{u} \quad (2.2)$$

$$M^{(s)} \ddot{u} + C^{(s)} \dot{u} + K^{(s)} u = -M^{(s)} r^{(s)} [\ddot{q} + r^{(b)} \ddot{u}_g] \quad (2.3)$$



Las variables todavía no definidas, son:  $M^{(t)}$  es la matriz de masa total de la estructura completa como cuerpo rígido;  $r^{(b)}$  es un vector de colocación de  $\ddot{u}_g$  en los grados de libertad de la base;  $\ddot{u}_g$  es la aceleración del suelo, definida por su acelerograma;  $M^{(s)}$ ,  $C^{(s)}$  y  $K^{(s)}$ , son las matrices de masa, amortiguamiento y rigidez de la superestructura;  $r^{(s)}$  es la matriz de colocación de  $\ddot{u}_g$  en los grados de libertad de la estructura;  $\ddot{u}$  es la aceleración en la superestructura.

No se trabaja con la rigidez efectiva para hallar la rigidez del aislador sino que está se calcula con  $k_b = W/R$  que corresponde a la rigidez cuando la estructura está trabajando como péndulo.

## 2.2 MATRICES DE RIGIDEZ, MASA Y AMORTIGUAMIENTO DE SUPERESTRUCTURA.

### 2.2.1 Matriz de rigidez

$$K^{(s)} = \begin{bmatrix} K_{XX} & K_{XY} & K_{X\theta} \\ K_{YX} & K_{YY} & K_{Y\theta} \\ K_{\theta X} & K_{\theta Y} & K_{\theta\theta} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$K_{XY} = K_{YX} = 0$  Para pórticos ortogonales



Siendo:

$$K_{XX} = \sum k_{LX}^i \quad K_{YY} = \sum k_{LY}^j$$

$$K_{\theta\theta} = \sum k_{LX}^i r_{yi}^2 + \sum k_{LY}^j r_{xi}^2$$

$$K_{X\theta} = \sum k_{LX}^i \cdot r_{yi} \quad K_{Y\theta} = \sum k_{LY}^j \cdot r_{xi}$$

Donde:

$k_{LX}^i$  Matriz de rigidez lateral del pórtico  $i$  en sentido X

$k_{LY}^j$  Matriz de rigidez del pórtico  $j$  en sentido Y

$r_{xj}$  Distancia en sentido X del pórtico  $j$  al centro de masas

$r_{yi}$  Distancia en sentido Y del pórtico  $i$  al centro de masas

### 2.2.2 Matriz de masa

$$M = \begin{pmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & J \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Sabiendo que:

$$J_i = \frac{m_i}{12} (d_{xi}^2 + d_{yi}^2) \quad (2.6)$$





A continuación se define el amortiguamiento en cada modo de vibración  $i$ .

$$C_i = \frac{2\xi_i W_{ni}}{M_i^*} (M\phi_i)(\phi_i^t M) \quad (2.8)$$

$M^*$  y  $\xi$  son matrices diagonales

$$M_i^* = \phi_i^t M \phi_i \quad (2.9)$$

Siendo:

$\xi_i$  = Factor de amortiguamiento del modo  $i$

$W_{ni}$  = Frecuencia de vibración del modo  $i$

$\phi_i$  = Modo de vibración  $i$

$M$  = Matriz de masas

## 2.3 MATRIZ DE RIGIDEZ, MASA Y AMORTIGUAMIENTO DE SISTEMA DE AISLAMIENTO.

### 2.3.1 Matriz de rigidez del sistema de aislamiento

La matriz de rigidez  $K^{(b)}$  es la que se indica a continuación, cuando son pórticos ortogonales  $K_{XY} = K_{YX} = 0$ .



$$\mathbf{K}^{(b)} = \begin{bmatrix} K_{XX} & K_{XY} & K_{X\theta} \\ K_{YX} & K_{YY} & K_{Y\theta} \\ K_{\theta X} & K_{\theta Y} & K_{\theta\theta} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Siendo:

$k_x^i$  : La rigidez del aislador  $i$  en sentido X.

$k_y^i$  : Rigidez del aislador  $i$  en sentido Y. Para aisladores circulares se tiene que

$k_x^i = k_y^i$ . Por otra parte

$r_{xi}$  Distancia en sentido X del aislador  $i$  al centro de masas

$r_{yi}$  Distancia en sentido Y del aislador  $i$  al centro de masas.

### 2.3.2 Matriz de masa del sistema de aislamiento

La matriz de masas se debe calcular considerando el peso total aplicado sobre cada aislador. Primero se hallan la masa que gravita sobre el aislador proveniente de la superestructura y se le añade la masa del aislador y de la cimentación.

La matriz de masas  $M^{(b)}$  es la siguiente:

$$M^{(b)} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & J \end{bmatrix} \quad (2.11)$$





Sabiendo que:

$$J = \sum m_i r_i^2 \quad (2.12)$$

$$r_i^2 = x_i^2 + y_i^2$$

$m_i$  :Masa total que gravita sobre el aislador.

$r_i$  : Radio de giro de cada aislador.

$X_i, Y_i$  Distancias del aislador  $i$  al C.M

### 2.3.3 Matriz de amortiguamiento del sistema de aislamiento

Al igual que la matriz de amortiguamiento de la superestructura se halla en base al algoritmo de Wilson y Penzien.

La matriz de amortiguamiento  $C$  se obtiene mediante la sumatoria indicada en la ecuación 2.8.

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \quad (2.13)$$

A continuación se define el amortiguamiento en cada modo de vibración  $i$ .

$$C_i = \frac{2\xi_{basei} W_{ni}}{M_i^*} (M\phi_i)(\phi_i^t M) \quad (2.14)$$



$M^*$  y  $\xi$  son matrices diagonales

$$M_i^* = \phi_i^t M \phi_i \quad (2.15)$$

El valor de  $\xi_{basei}$  para este caso se lo halla de la siguiente manera:

$$\xi_{basei} = \left( \frac{2}{\pi} \right) \left( \frac{\mu}{\mu + \left( \frac{d_{max}}{radio} \right)} \right) \quad (2.16)$$

Siendo:

$\xi_{basei}$  = Factor de amortiguamiento del modo i

$W_{ni}$  = Frecuencia de vibración del modo i

$\phi_i$  = Modo de vibración i

M = Matriz de masas

$\mu$  = Coeficiente de fricción en aislamiento tipo péndulo de fricción

radio = Radio del Péndulo friccional

dmax = Desplazamiento máximo esperado del aislador



## 2.4 MÉTODO DE MASA CORREGIDA

El método de masa corregida toma en consideración la posición espacial de las masas de piso en el comportamiento de la estructura. Se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Hallar la matriz de Masas Corregidas  $\tilde{M}^{(s)}$  sabiendo que:

$$\tilde{M}^{(s)} = M^{(s)} - M^{(s)} r^{(s)} M^{(t)-1} r^{(s)t} M^{(s)} \quad (2.17)$$

- Se encuentra la respuesta del sistema de aislamiento  $q$  y  $\dot{q}$
- Se halla el vector de aceleraciones de la superestructura  $a(q, \dot{q})$  sabiendo que:

$$\tilde{a}(q, \dot{q}) = M^{(t)-1} (C^{(b)} \dot{q} + K^{(b)} q) \quad (2.18)$$

- Se encuentra la respuesta dinámica de la superestructura, usando PEE.

$$\tilde{M}^{(s)} \ddot{u} + C^{(s)} \dot{u} + K^{(s)} u = M^{(s)} r^{(s)} \tilde{a}(q, \dot{q}) \quad (2.19)$$

## 2.5 USO DE PROGRAMA MASACORREGIDA AISLAMIENTOFRICCIONAL

Se dispone del programa en Matlab masacorregidaaislamientofriccional 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:

**[radio,sedabase,rel,error,Tobj]=masacorregidaaislamientofriccional(NP,seda,iejes,pesoD,pesoL,KLG,r,sismo,sismo1,miu,Tobj,dt)**

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:

**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.

**KLG:** Matriz que contiene las matrices de rigidez lateral de cada uno de los pórticos de la estructura.

**r:** Vector que contiene la distancia desde el Centro de Masas a cada pórtico, con signo.

**sismo:** Archivo que contiene el acelerograma en sentido X. Se requiere cargarlo en Matlab de la siguiente manera C:\nombre del archivo. Se recomienda que esté en m/s<sup>2</sup>.

**sismo1:** Archivo que contiene el acelerograma en sentido Y.



**miu:** Coeficiente de fricción en aislamiento tipo péndulo de fricción.

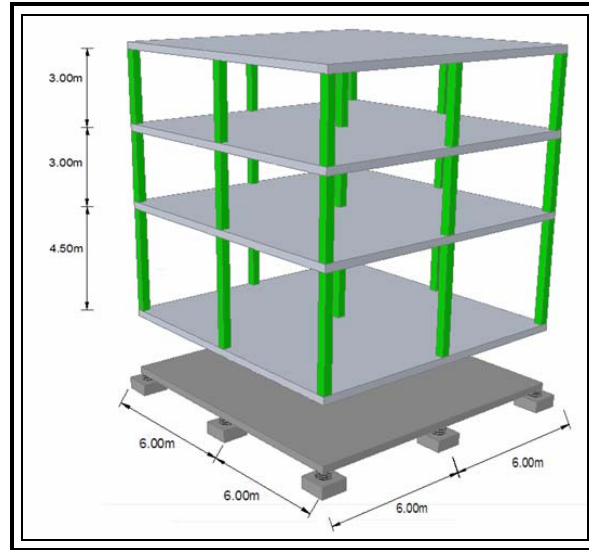
**Tobj:** Período objetivo aconsejable para estructura aislada de 2-2.5 seg.

**dt:** Incremento de tiempo del acelerograma.

## 2.6 EJEMPLO NUMÉRICO CON SUPERESTRUCTURA FLEXIBLE CON FPS

La estructura de la figura 2.2 se encuentra sobre aisladores de base FPS, que tienen un coeficiente de fricción  $\nu = 0.04$ . Se debe determinar el radio de los aisladores para que el período objetivo del sistema de aislación sea de 2.0 s.

La carga muerta que gravita sobre la estructura es de 0.5 t/m<sup>2</sup> y la carga viva 0.2 t/m<sup>2</sup>, se considera el 25% de la carga viva para el análisis. Todas las columnas son de 30/30 y las vigas de 20/30. Se trabajó con un módulo de elasticidad  $E = 1800000$  t/m<sup>2</sup>; se realiza el análisis sísmico para el sismo de El Centro de 1940, cuyo acelerograma se indica a la izquierda de la figura 2.3, a la derecha se encuentra el espectro de desplazamientos para  $\xi = 0.05$ , se destaca que el sistema de aislación tendrá un factor de amortiguamiento mayor al indicado pero se desea mostrar también como se halla las ordenadas espectrales para cualquier valor de  $\xi$ . De hecho el espectro se utiliza únicamente como comprobación de los resultados obtenidos ya que se encuentra la respuesta en el tiempo.



**Figura 2.2:** Descripción de estructura de ejemplo.

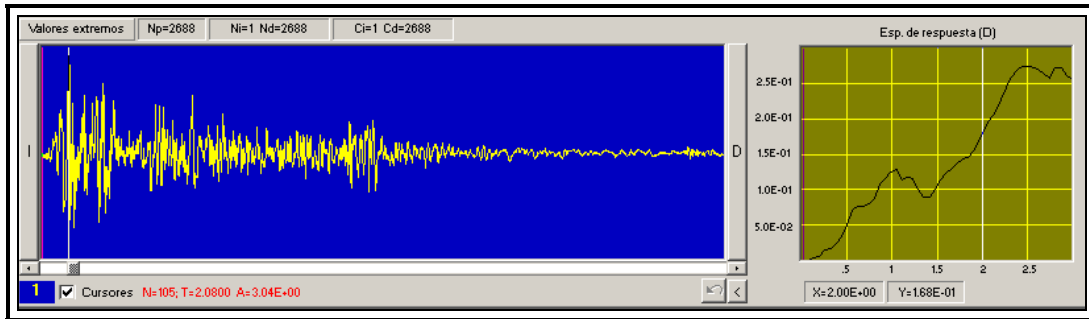
El cálculo de las matrices de rigidez, masa y amortiguamiento de la superestructura con base empotrada y del sistema de aislación se indicaron anteriormente en este capítulo.

El peso  $W$  que gravita en cada aislador es:

$$W = (0.5 + 0.25 * 0.2) * 144 * 1.1 * 3 / 9 = 29.04t$$

$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad \rightarrow R = \frac{T_b^2 g}{4\pi^2} = \frac{2^2 * 9.8}{4\pi^2} = 1.0 m.$$

$$k_b = \frac{W}{R} = \frac{29.04}{1.0} = 29.04$$



**Figura 2.3:** Acelerograma de El Centro de 1940 y espectro de desplazamientos para  $\xi = 0.05$ .

Con la rigidez de cada aislador se halla la matriz en coordenadas de piso, como se indicó anteriormente para estructuras con aisladores. La matriz que se obtiene es la siguiente.

$$K^{(b)} = \begin{bmatrix} 263.0 & & \\ & 263.0 & \\ & & 12634.4 \end{bmatrix}$$

La masa que gravita en cada aislador es igual a  $29.04/9.8 = 2.96$  T s<sup>2</sup>/m.

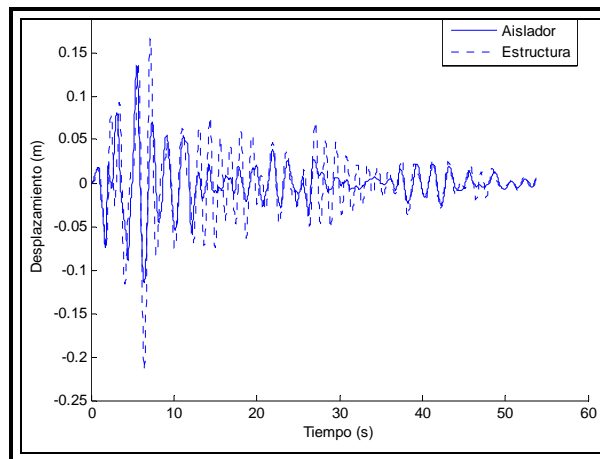
Nuevamente en Aguiar (2008) está descrito en detalle el cálculo de la matriz de masas que sale lo siguiente:

$$M^{(t)} = \begin{bmatrix} 26.669 & & \\ & 26.669 & \\ & & 1280.13 \end{bmatrix}$$



Se utilizó el programa MASACORREGIDA AISLAMIENTO FRICCIONAL para encontrar la respuesta en el tiempo, empleando el método de Masa Corregida.

En la figura 2.4 se presenta la respuesta en desplazamientos del sistema de aislación y del último piso de la superestructura. Se aprecia que el último piso de la superestructura se mueve más que el sistema de aislamiento contrario a lo que se habría esperado pero esto se debe a que la superestructura es demasiado flexible, el período de vibración de la superestructura es 1.494 s., demasiado para un edificio de 3 pisos.



**Figura 2.4:** Respuesta en el tiempo del sistema de aislación y del último piso de la superestructura flexible.

El desplazamiento lateral máximo del sistema de aislamiento es 13.4 cm., y el de la superestructura es 16.5 cm. El factor de amortiguamiento del sistema de aislación que se halla con la (ecuación 1.1) es 0.145.





Para comprobar que el desplazamiento lateral máximo del sistema de aislación es correcto se obtiene este valor a partir del espectro de desplazamientos indicado a la derecha de la figura 2.3, donde para un período de 2 s. (período del sistema de aislación) el desplazamiento máximo es 16.8 cm. Pero este valor está asociado a un espectro cuyo  $\xi = 0.05$ , para hallar el desplazamiento asociado a un  $\xi = 0.145$  se encuentra primero  $B_0$  que permite encontrar las ordenadas espectrales para cualquier valor de  $\xi$

$$B_0 = 2 \left( \frac{1 + \xi}{1 + 14.68 \xi^{0.865}} \right) \quad (2.20)$$

En el Capítulo 1 se vió que la ecuación (2.20) es adecuada para hallar las ordenadas espectrales para cualquier valor de  $\xi$  a partir del espectro obtenido para  $\xi = 0.05$ , esto se lo observó al trabajar con sismos artificiales compatibles al espectro del Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000. Al reemplazar  $\xi = 0.145$  en la ecuación (2.20) se halla  $B_0 = 0.609$ .

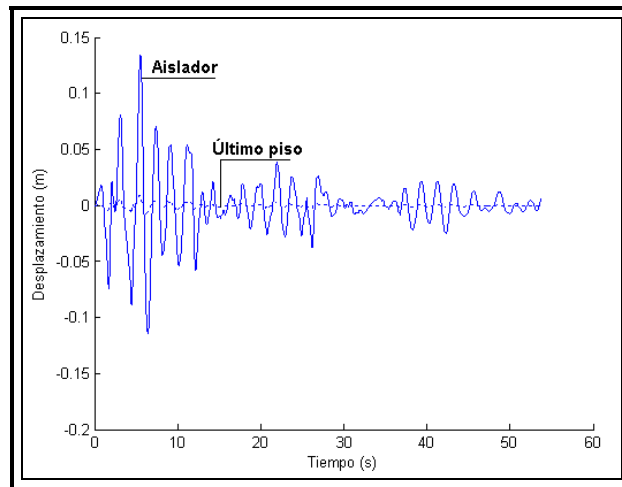
Al multiplicar  $B_0$  por 16.8 se halla que el desplazamiento es 10.22 cm., cantidad menor pero parecida al valor máximo hallado en la respuesta en el tiempo.



## 2.7 EJEMPLO NUMÉRICO CON SUPERESTRUCTURA RÍGIDA CON FPS

Ahora si en la misma estructura de 3 pisos indicada en la figura 2.2 se cambian la sección de las columnas y vigas a 60/60 y 50/50; con lo que se obtiene un período de la superestructura igual a 0.43 s., la respuesta que se obtiene en el tiempo, tanto para el sistema de aislamiento como para el último piso, es el indicado en la figura 2.5. Se mantuvo el período objetivo de 2.0 s., el valor de  $\nu = 0.4$ . La carga muerta se incrementó a  $0.65 \text{ t/m}^2$ .

En este caso si, el aislador es el que más se mueve y la superestructura prácticamente no se desplaza lateralmente. El desplazamiento lateral máximo del sistema de aislación es 13.4 cm., y el desplazamiento máximo de la superestructura es 0.88 cm.



**Figura 2.5:** Respuesta en el tiempo del sistema de aislación y del último piso de la superestructura rígida



## 2.8 COMPARACIÓN DE RESPUESTA ENTRE FPS Y ELASTOMÉRICO

### 2.8.1 Comparación de varios casos con FPS

Con relación a la estructura de la figura 2.2 en la tabla 2.1, se presentan varios casos, en los cuales se ha cambiado las dimensiones de las columnas y vigas, para tener diferentes estructuras, con diferentes períodos de vibración. La identificada como caso 1, corresponde a la estructura flexible analizada en el apartado 4 y la identificada como caso 9 a la analizada en el apartado anterior como estructura rígida.

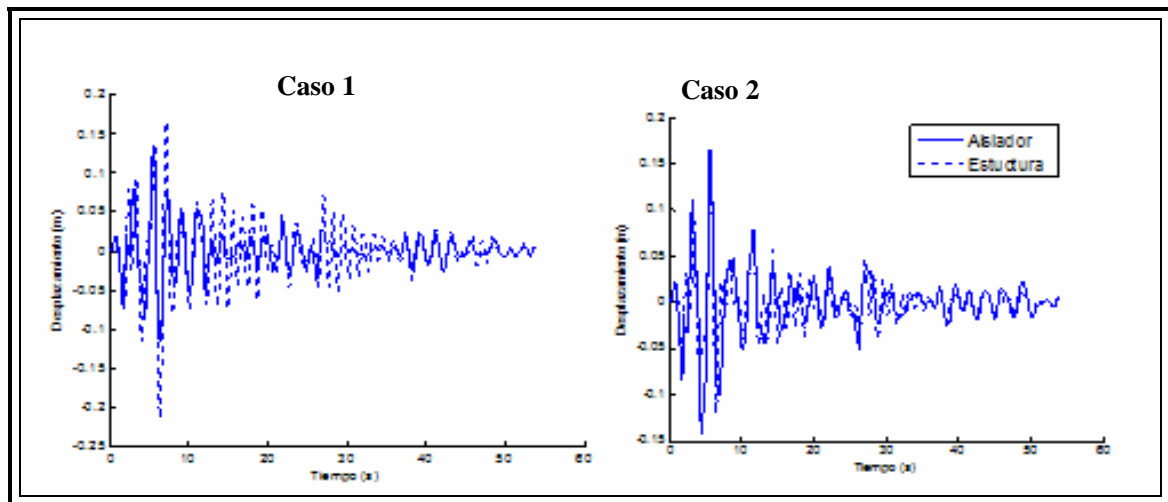
Para todas las estructuras indicadas en la tabla 1.1 se encontró la respuesta en el tiempo ante el sismo de El Centro de 1940 con aisladores FPS que tengan un período de vibración de 2.0 s., y de 2.5 s., los resultados se presentan en las figuras 2.6 a 2.10, en cada gráfica se presenta la respuesta en el sistema de aislación y en el último piso de la superestructura.

El objetivo es ver que la respuesta de la superestructura depende de las secciones de sus elementos, que no se piense que ya por que colocó aisladores de base, se tendrán desplazamientos muy bajos en la superestructura y hace ver que en la medida que el período de vibración de la superestructura esté bastante distante del período de vibración del sistema de aislamiento se tendrá una mejor respuesta sísmica.



**Tabla 2.1** Desplazamientos máximos en estructuras analizadas. Aisladores FPS.

Caso	Sección		$T_b$ (s)	radio (m)	$T_s$ (s)	Desplazamientos		$\xi_b$	Carga Muerta (T/m <sup>2</sup> )
	Col. (cm.)	Vigas (cm.)				Aisla. (cm.)	Tope (cm.)		
1	30/30	25/25	2.0	1.00	1.494	13.4	21.5	0.145	0.5
2	30/30	25/25	2.5	1.55	1.494	16.7	14.0	0.169	0.5
3	30/30	30/30	2.0	1.00	1.272	13.4	12.15	0.145	0.5
4	30/30	30/30	2.5	1.55	1.272	16.7	8.90	0.169	0.5
5	40/40	30/30	2.0	1.00	1.040	13.4	8.51	0.145	0.6
6	40/40	30/30	2.5	1.55	1.040	16.7	6.72	0.169	0.6
7	50/50	40/40	2.0	1.00	0.62	13.4	2.25	0.145	0.6
8	50/50	40/40	2.5	1.55	0.62	16.7	1.57	0.169	0.6
9	60/60	50/50	2.0	1.00	0.43	13.4	0.88	0.145	0.65
10	60/60	50/50	2.5	1.55	0.43	16.7	0.71	0.169	0.65



**Figura 2.6:** Respuesta en el tiempo para CASOS 1 y 2. Aisladores FPS.

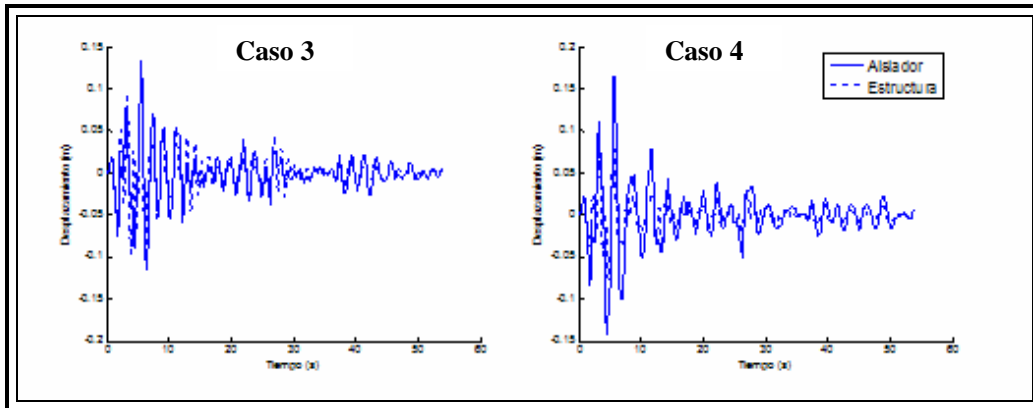


Figura 2.7: Respuesta en el tiempo para CASOS 3 y 4. Aisladores FPS.

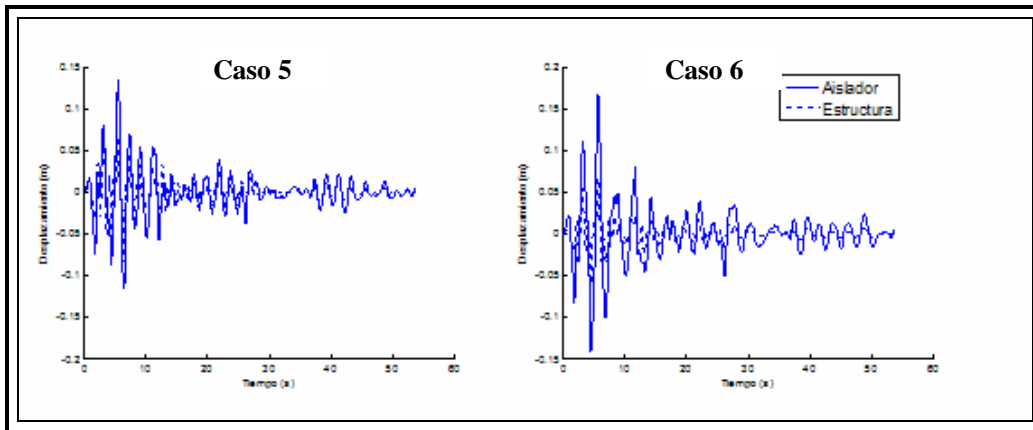


Figura 2.8: Respuesta en el tiempo para CASOS 5 y 6. Aisladores FPS.

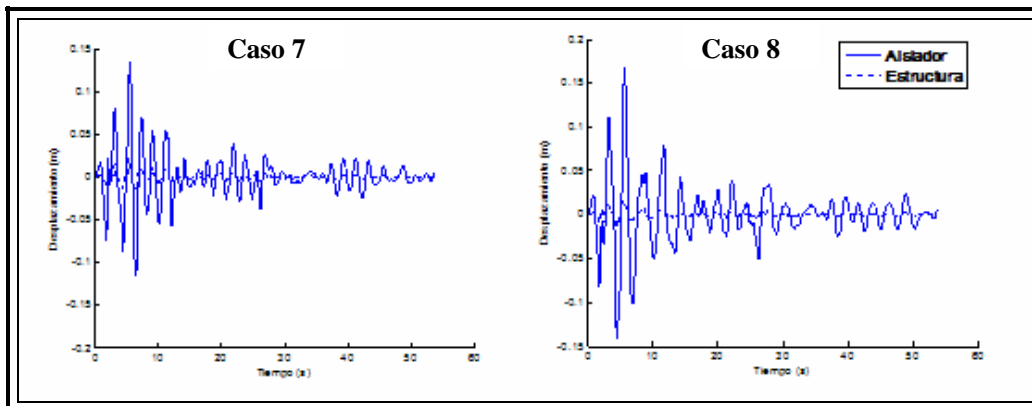
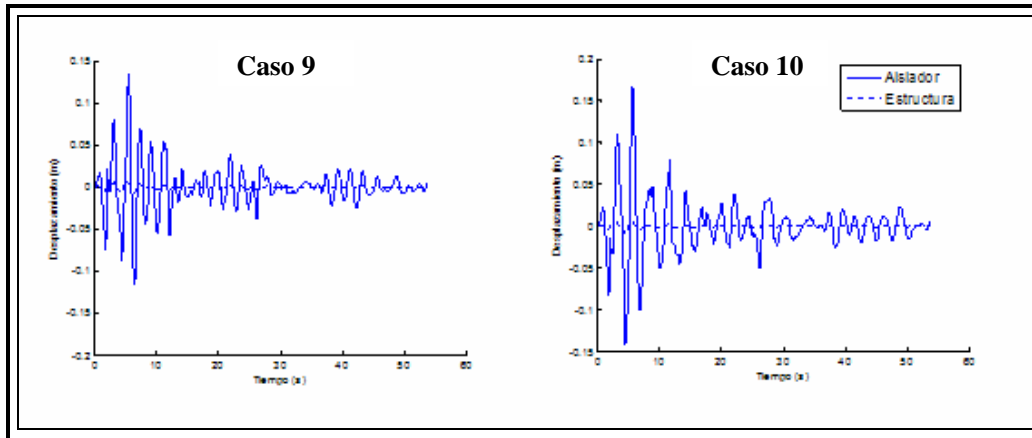


Figura 2.9: Respuesta en el tiempo para CASOS 7 y 8. Aisladores FPS.



**Figura 2.10:** Respuesta en el tiempo para CASOS 9 y 10. Aisladores FPS.

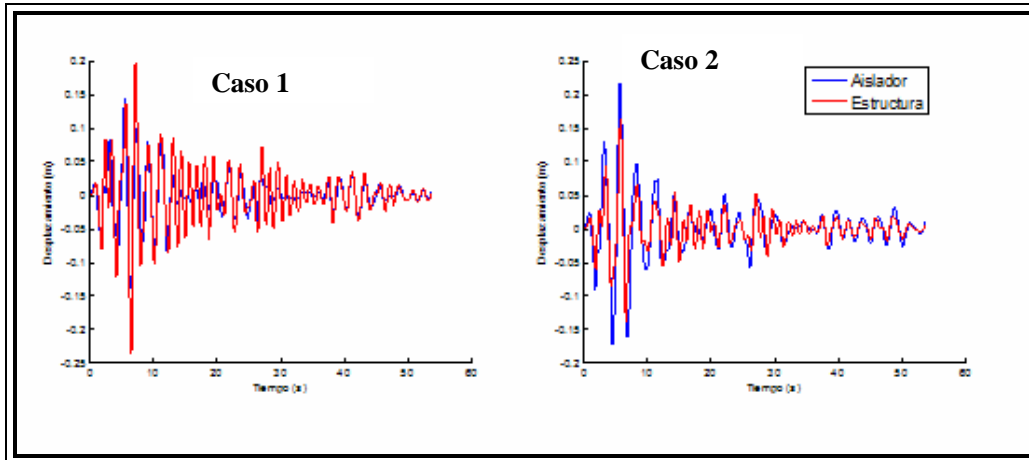
### 2.8.2 Comparación de varios casos con Elastoméricos

Se comparan las respuestas de desplazamientos en el sistema de aislación y en el último piso de las mismas estructuras consideradas en el apartado anterior, para los mismos períodos objetivos pero esta vez los aisladores de base son Elastoméricos sin núcleo de plomo con una goma cuyo módulo de corte  $G = 7.0 \text{ kg/cm}^2$  y un factor de amortiguamiento  $\xi_b = 0.10$ . El diámetro interior es de 10 cm., los resultados obtenidos ante el mismo sismo se muestran en las figuras 2.11 a 2.15 y se resumen en la tabla 2.2.

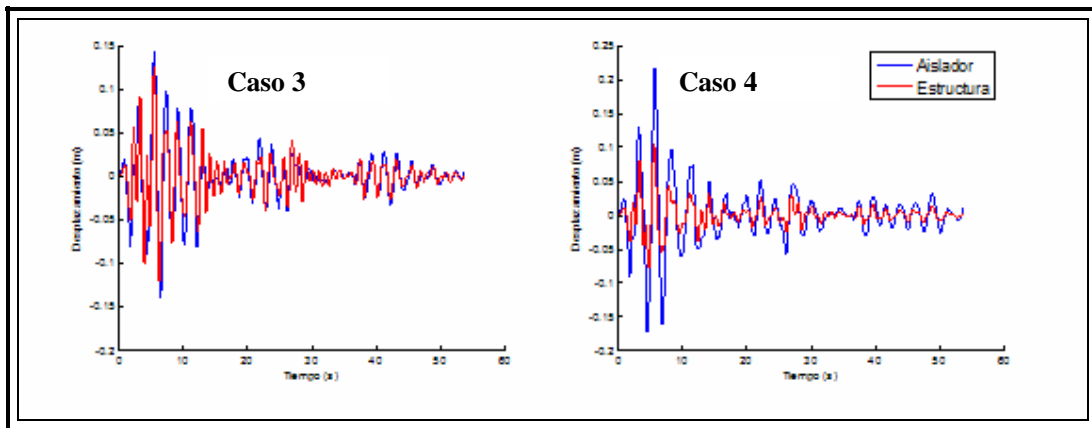
En general el desempeño de las estructuras con aisladores elastoméricos es similar al desempeño de las estructuras con FPS. Para el caso 1, correspondiente a la estructura más flexible, el último piso se desplaza lateralmente más que el aislamiento; para el caso 2 en que el período objetivo es 2.5 s., pero la superestructura es muy flexible el sistema de aislamiento ligeramente se mueve más que el último piso de la superestructura.



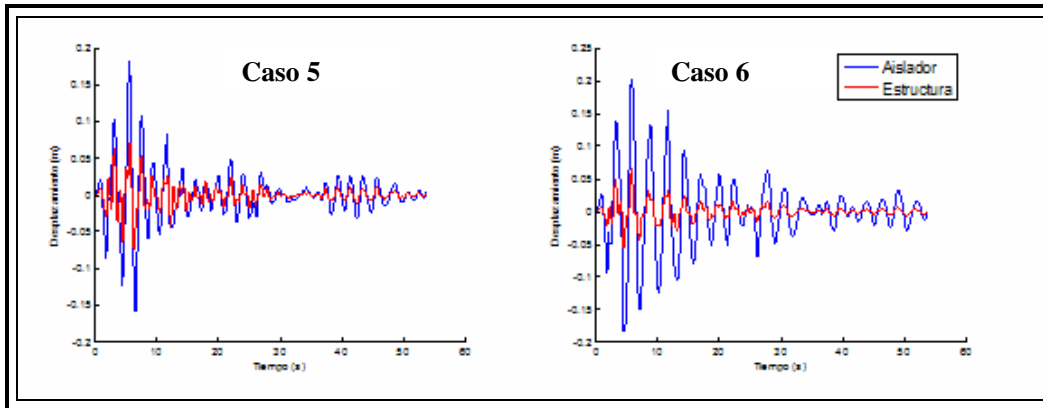
En los casos 9 y 10, en que la estructura es rígida el desplazamiento del sistema de aislamiento es mucho mayor que el desplazamiento del último piso del edificio.



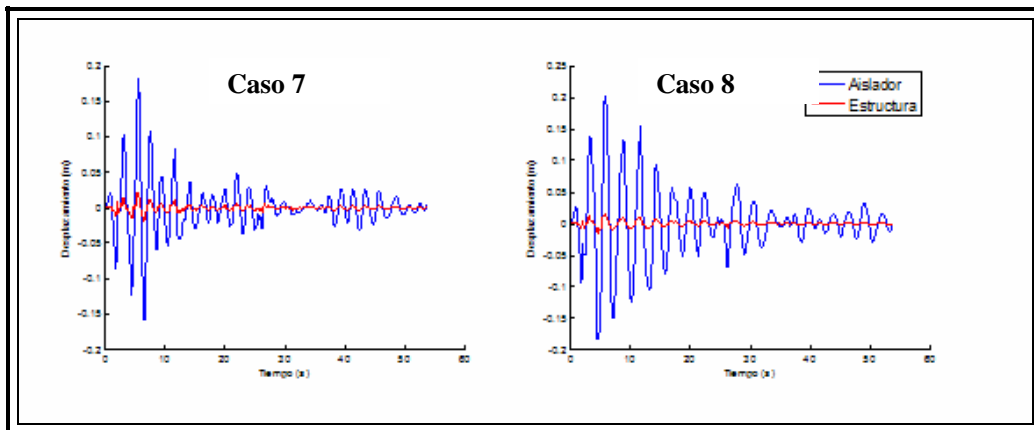
**Figura 2.11:** Respuesta en el tiempo para CASOS 1 y 2. Aisladores elastoméricos.



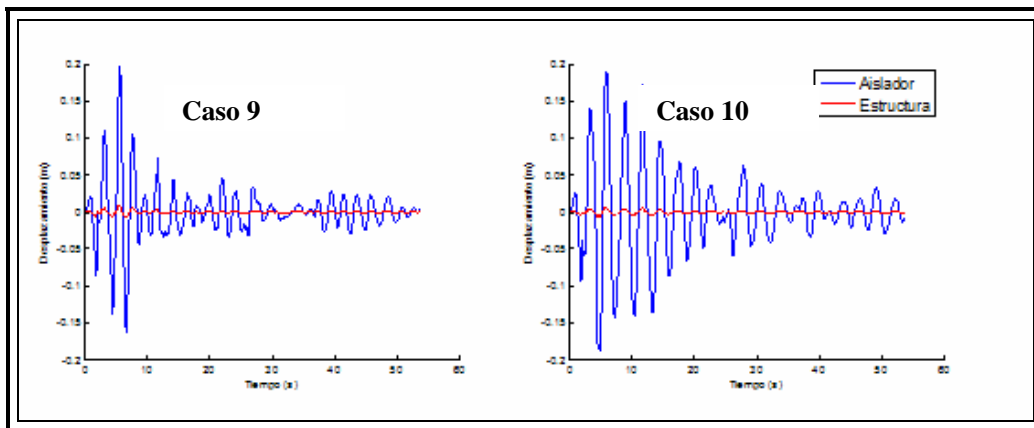
**Figura 2.12:** Respuesta en el tiempo para CASOS 3 y 4. Aisladores elastoméricos.



**Figura 2.13:** Respuesta en el tiempo para CASOS 5 y 6. Aisladores elastoméricos.



**Figura 2.14:** Respuesta en el tiempo para CASOS 7 y 8. Aisladores elastoméricos.



**Figura 2.15:** Respuesta en el tiempo para CASOS 9 y 10. Aisladores elastoméricos.





**Tabla 2.2** Desplazamientos máximos en estructuras analizadas. Aisladores Elastoméricos.

Caso	Sección		Diáme. Aislador (m.)	Altura Aislador (m.)	$T_b$ (s)	Desplazamientos		$T_s$ (s)	Carga Muerta (T/m <sup>2</sup> )
	Col. (cm.)	Vigas (cm.)				Aisla. (cm.)	Tope (cm.)		
1	30/30	25/25	0.6	0.65	2.0	14.5	23.6	1.494	0.5
2	30/30	25/25	0.5	0.70	2.5	21.8	16.3	1.494	0.5
3	30/30	30/30	0.6	0.65	2.0	14.5	12.6	1.272	0.5
4	30/30	30/30	0.5	0.70	2.5	21.8	10.5	1.272	0.5
5	40/40	30/30	0.6	0.65	2.1	18.1	7.40	1.040	0.6
6	40/40	30/30	0.5	0.70	2.7	20.3	6.50	1.040	0.6
7	50/50	40/40	0.6	0.65	2.1	18.1	2.22	0.62	0.6
8	50/50	40/40	0.5	0.70	2.7	20.3	1.50	0.62	0.6
9	60/60	50/50	0.6	0.65	2.2	19.7	0.95	0.43	0.65
10	60/60	50/50	0.5	0.70	2.8	19.1	0.63	0.43	0.65

AL comparar las tablas 2.1, estructuras con aisladores FPS y 2.2, estructuras con aisladores elastoméricos, se concluye que en todos los casos los aisladores elastoméricos se mueven más que los FPS. En los dos casos el período del sistema del aislamiento fue igual o parecido para poder comparar. A nivel de superestructura los desplazamientos laterales fueron bastante parecidos en las estructuras con aisladores elastoméricos y con FPS.



## REFERENCIAS

1. Aguiar R., (2007), “Dinámica de Estructuras con MATLAB, Centro de Investigaciones Científicas”. Escuela Politécnica del Ejército, 292 p. Sangolquí, Ecuador.
2. Aguiar R., (2008) Análisis Sísmico de Edificios, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 340 p. Sangolquí, Ecuador.
3. Almazán J. L. (2001) Torsión accidental y natural de estructuras aisladas con el sistema de péndulo de fricción, Tesis para obtener el título de Doctor en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
4. Almazán J. L., De la Llera J. C., (2002), “Procedimiento simplificado para considerar torsión accidental en estructuras aisladas con FPS”, VIII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Universidad Santa María, 8 p., Valparaíso, Chile.
5. EPS (2007) Friction Pendulum Seismic Isolation. Earthquake Protection Systems, Inc. Mare Island, USA