

# PRUEBA DE SIMULADOR DE TERREMOTO EN ESTRUCTURA DE CINCO PISOS CON SISTEMA DE AMORTIGUAMIENTO VISCOSO

P.C. Roussis<sup>1</sup> y M.C. Constantinou<sup>2</sup>

Departamento de Ingeniería Civil, Estructural y Ambiental  
Universidad de Buffalo, Universidad Estatal de Nueva York, Buffalo, NY 14260  
20 de Septiembre de 2004

## Introducción

Una serie de pruebas que implican un modelo de estructura de acero de cinco pisos con y sin un sistema de amortiguación viscosa, se llevó a cabo en el simulador de terremotos en la Universidad de Buffalo. El estudio se concentró en los movimientos sísmicos con la característica de largo periodo. Entre ellas se incluyen, los movimientos de 1977 Bucarest, Rumania y el de 1985 Ciudad de México, México.

## Descripción del Modelo Estructural

Las Figuras 1 y 2 muestran, respectivamente, una fotografía y un esquema del modelo a un cuarto de escala. Es la estructura de acero de cinco pisos de una sola bahía (modelo de prototipo en Taiwán utilizado en las pruebas de campo), utilizado en las pruebas de los dispositivos viscoelásticos y sistemas de aislamiento en el simulador de terremotos en la Universidad de Buffalo (Chang et al, 1993; Roussis y Constantinou, 2004).

La estructura es de planta cuadrada con una dimensión de 1321 mm (52 pulg). Las alturas de los pisos son 1092 mm (43 pulg) para el primer piso y 1194 mm (47 pulg) para los demás pisos, dando una altura total de 5867 mm (231 pulg). La disposición del arreglo es idéntica para todos los pisos. Los pisos están compuestos de secciones acanaladas de MC6x12. Las secciones transversales con columnas, vigas, canaletas y refuerzos tal como se muestra en la Figura 3.

La escala del modelo se seleccionó para ser 4. Conforme a las leyes de similitud, masa artificial, forma de las placas de acero y bloques de plomo, las cuales fueron añadidas a la estructura en todos los niveles de piso. La Tabla 1 presenta los principales factores a escala asociados con las pruebas. La estructura tiene un peso total de 68.7 kN (15.4 kip).

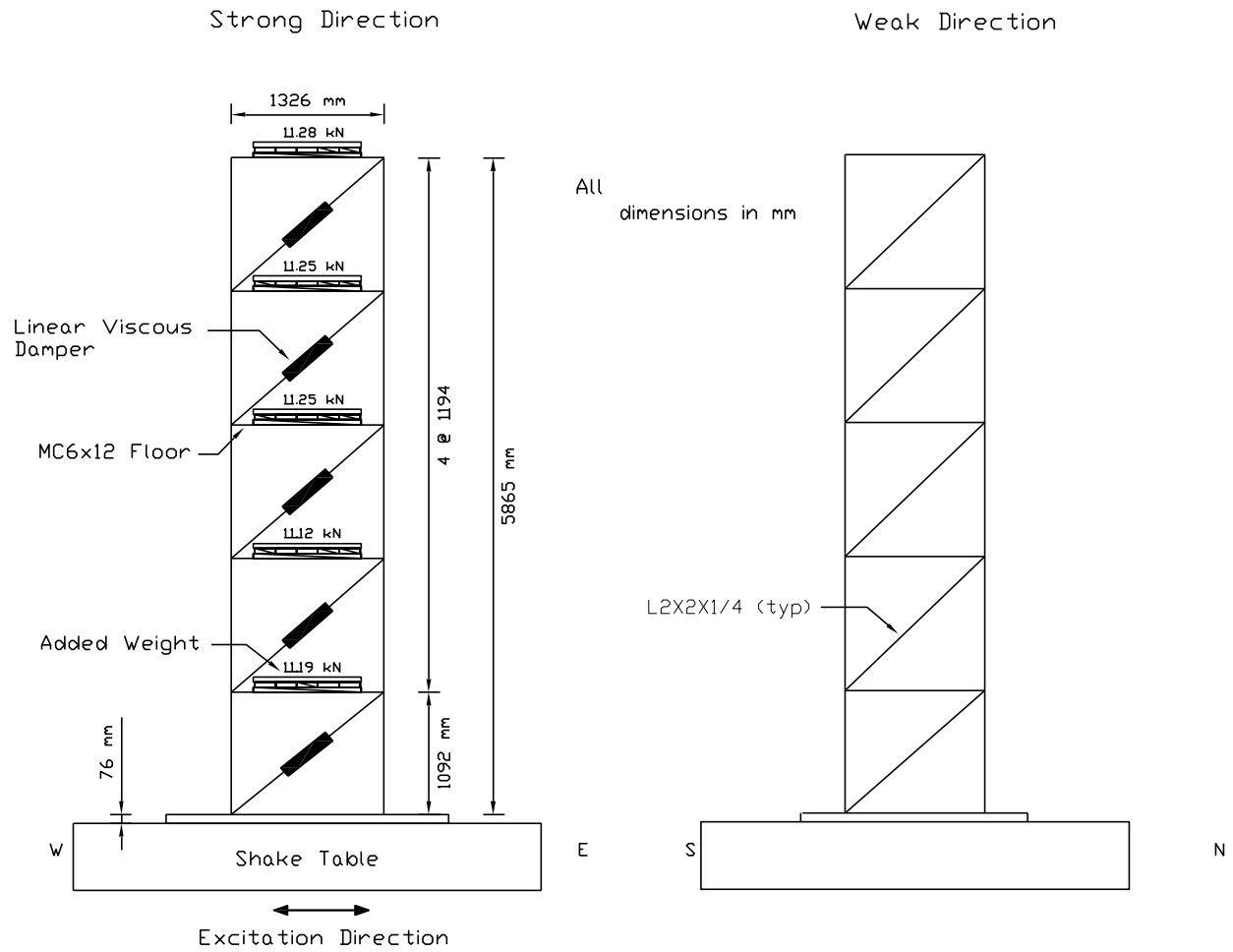
---

<sup>1</sup> Post-doctoral Associate

<sup>2</sup> Professor and Chair



**Figura 1:** Fotografía del modelo estructural de cinco pisos con sistema de amortiguación en uno de los nuevos simuladores sísmicos en la Universidad de Búfalo.



**Figura 2:** Esquema del modelo estructural de cinco pisos con sistema de amortiguación.

**Tabla 1:** Factores de escala para el modelo estructural.

CANTIDAD	DIMENSIONES	FACTOR DE ESCALA
Dimensión lineal	L	4
Desplazamiento	L	4
Tiempo	T	2
Velocidad	$LT^{-1}$	2
Aceleración	$LT^{-2}$	1
Frecuencia	$T^{-1}$	$\frac{1}{2}$
Estrés / Presión	$ML^{-1}T^{-2}$	1
Fuerza	$MLT^{-2}$	16
Tensión	-	1

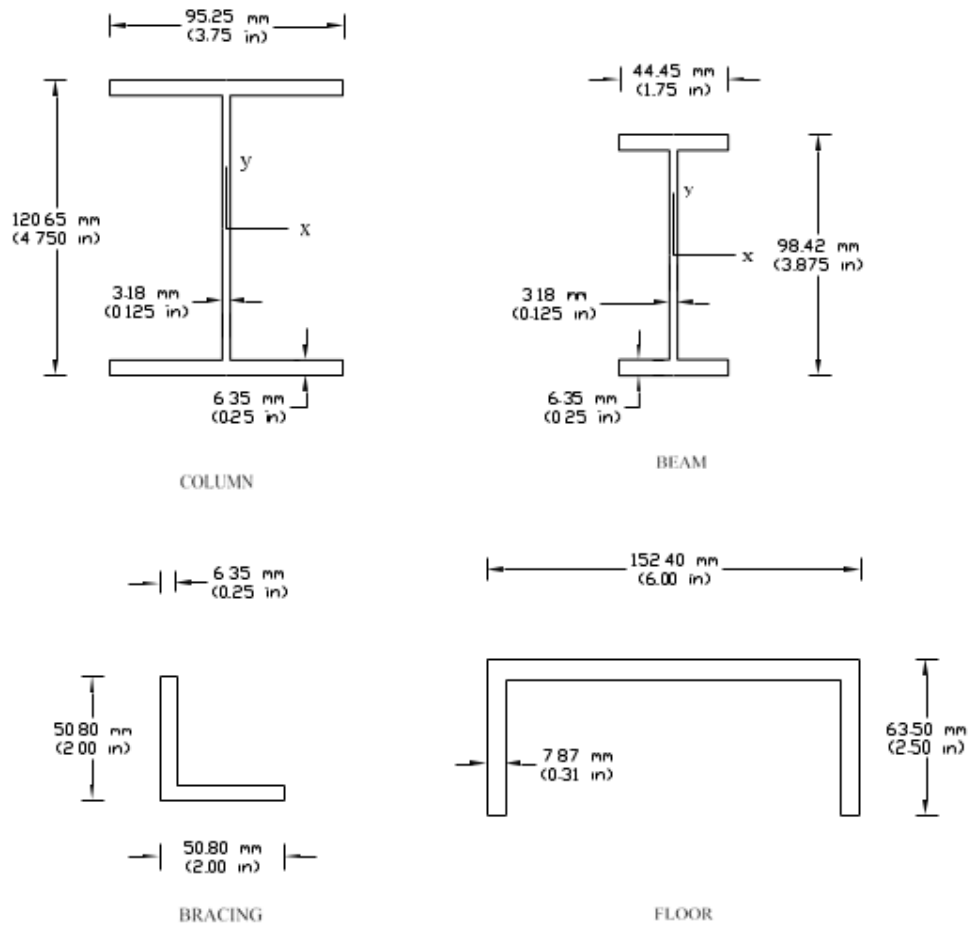


Figura 3: Componentes de las secciones transversales del modelo estructural.

### Descripción del Sistema de Amortiguación

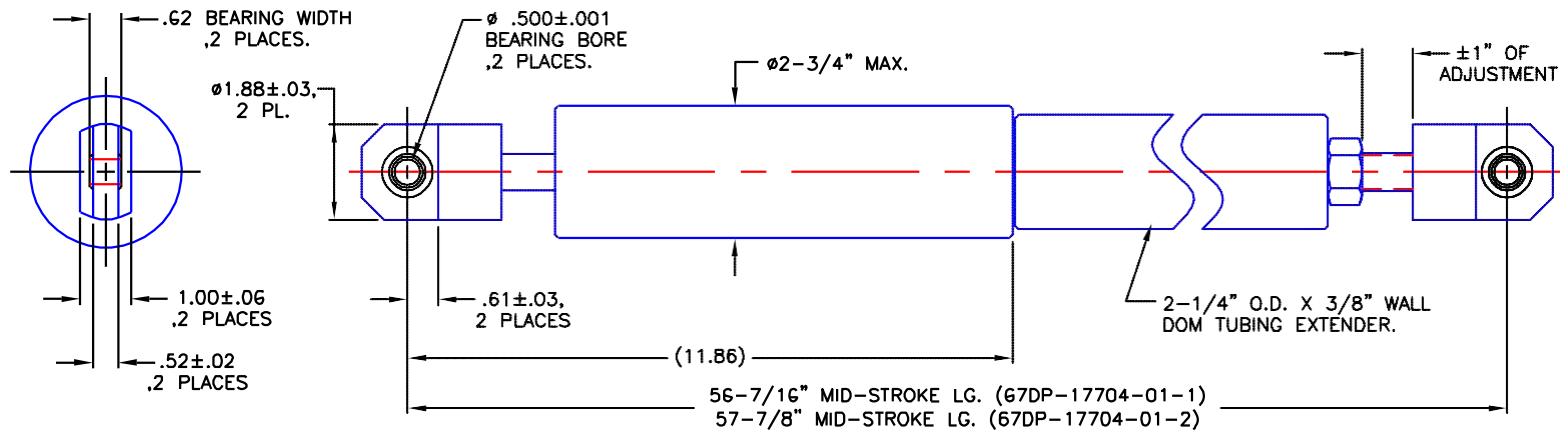
El sistema de amortiguación se instaló en la dirección fuerte de la trama, en la configuración diagonal y en ambos lados de la estructura (dos dispositivos de amortiguación por piso). Los dispositivos de amortiguación, mostrados en la figura 4, son amortiguadores viscosos lineales con una constante de amortiguación de 52.5 N-seg/mm (300 lb-seg/pulg). Fueron fabricados por Taylor Devices, North Tonawanda, NY. Basándose en los procedimientos presentados en FEMA 273 y 274 (FEMA, 1997), el coeficiente de amortiguamiento añadido en el modo principal de vibración en condiciones de elasticidad es 10% del crítico. Específicamente, el valor de amortiguación efectivo fue calculado por:

$$\beta_{\text{eff}} = \beta + \frac{T \sum_j C_j \cos^2 \theta_j \phi_j^2}{4\pi \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (1)$$

**SPECIFICATIONS:**

- 1.) UNIT TYPE: DOUBLE ACTING LINEAR FLUID VISCOUS DAMPER.
- 2.) ALL PARTS THAT SLIDE RELATIVE TO ANY SEALS SHALL BE MADE FROM 17-4PH STAINLESS STEEL.
- 3.) APPROXIMATE WEIGHT OF THE UNIT = 35 LBS.
- 4.) UNITS TO BE CONSTRUCTED FROM CORROSION PROTECTED MATERIALS.
- 5.) OPERATING FLUID IS INERT SILICONE, PER U.S.-FEDERAL STANDARD VV-D-1078.
- 6.) OPERATING AMBIENT TEMPERATURE RANGE: 20°F TO 130°F. WITH MINIMAL CHANGE IN PERFORMANCE CHARACTERISTICS.
- 7.) UNIT STROKE  $\pm 1.0$  INCH NOMINALLY WITH IDENTICAL CHARACTERISTICS IN EITHER DIRECTION OF MOTION.
- 8.) NOMINAL OUTPUT FORCE = 3 KIP @ 10 IN/SEC.

REVISIONS			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED
A	1.) UPDATED DAMPING FUNCTION. 2.) ADDED MID-STROKE LENGTHS.	04/5/5	J.C.M.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES. TOLERANCES, ANGLES $\pm 2$		PREPARED	M.A.C.	04/3/25	NORTH TONAWANDA, N.Y. PHONE 716-694-0800 FAX 716-695-6015	
XXX	±.01	XXXX	±.002	X/X		±1/16
XXXX	±.002	XXXX	±.002	XXXX		±1/16
XXXX	±.002	XXXX	±.002	XXXX		±1/16
ALL SHARP CORNERS & EDGES TO BE R 01-.02		ALL SHARP CORNERS & EDGES TO BE R 01-.02	MAX. ALL SURFACES	MAX. ALL SURFACES		
B/P COPY NO.		B/P SUBJECT TO RECALL:		B/P & SUBJECT MATTER PROPERTY TAYLOR COMPANIES. REPRODUCTION B/P OR SUBJECT MATTER PROHIBITED.		
PATENTS: TAYLOR FOR		COPYRIGHT 1956 FORM 5E		STOCK SIZE:		
MATERIAL:		APPROVED		J.C.M.	04/4/1	
3 KIP DAMPER FOR MCEER/UB		SIZE		B	CAGE CODE	
DRAWING NO:		67DP-17704-01		-1	REV	
SCALE: 1/2		SHEET: 1 OF 1		A		

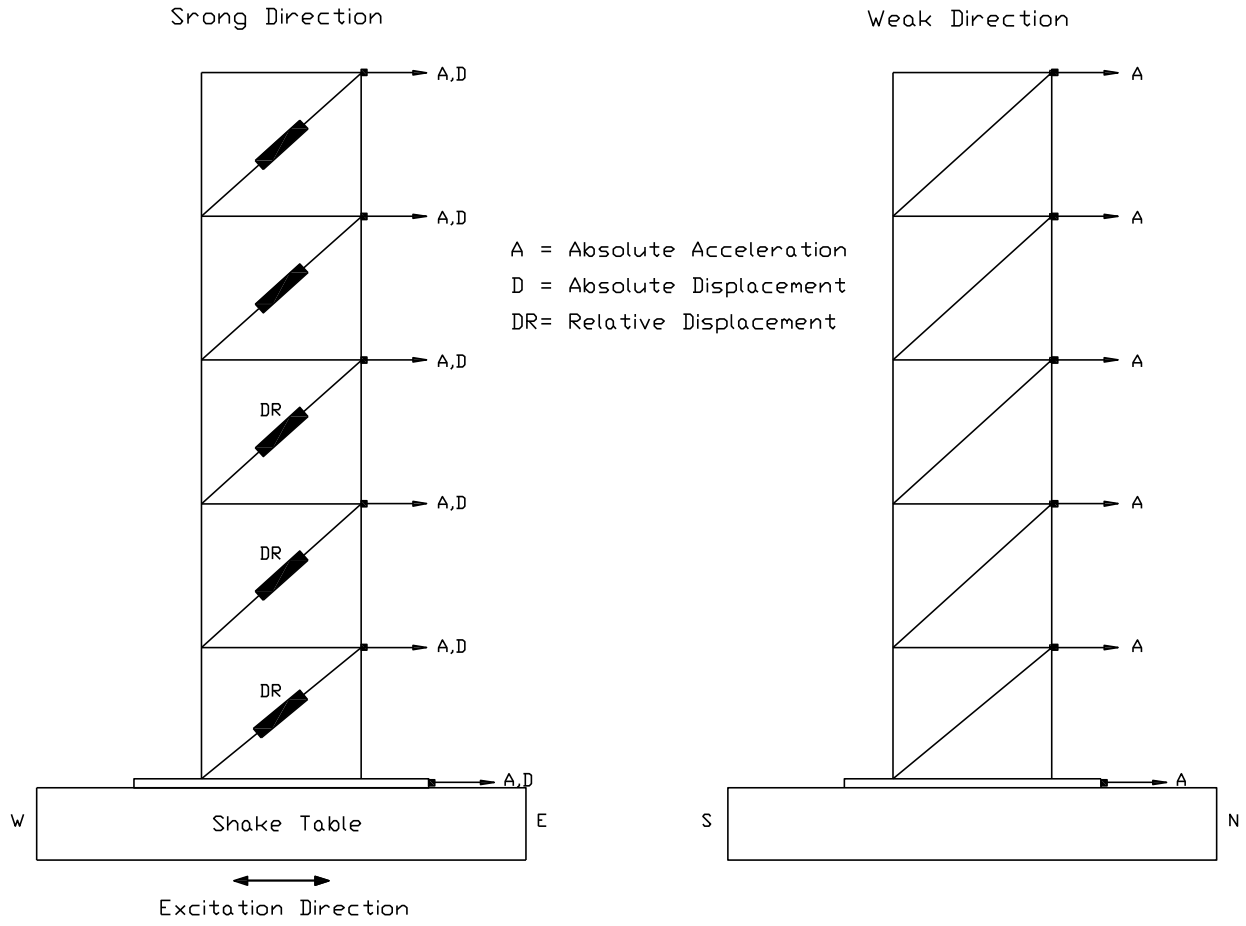
INTERPRET DWG. DIMENSIONS PER ANSI Y14.5

Figura 4: Esquema del sistema extendido de amortiguación.

Donde  $\varphi_i$  es el primer modo de desplazamiento del piso  $i$ ,  $m_i$  es la masa del piso nivel  $i$ ,  $\vartheta_j$  es el ángulo del dispositivo  $j$  en relación al horizontal,  $\phi_{rj}$  es el primer modo del desplazamiento horizontal entre los extremos de dispositivo  $j$ ,  $T$  es el período en el modo fundamental,  $C_j$  es la constante de amortiguación del amortiguador  $j$  y  $\beta$  es valor de amortiguamiento inherente. Utilizando en (1),  $T=0.33$  seg (valor experimental para la estructura amortiguada),  $\theta_j \approx 42^\circ$ ,  $w_i = m_i g = 13,740$  N,  $C_j = 2 \times 52.5$  N-seg/mm,  $\phi_i$  = primer modo de forma analítica de la estructura sin amortiguar en la Tabla 5, y  $\beta = 0.02$  (valor experimental para la estructura sin amortiguamiento – vea la Tabla 5), el resultado es  $\beta_{\text{off}} = 0.12$ , donde el valor e amortiguación añadido es  $0.12 - 0.02 = 0.10$ .

## **Instrumentación**

La instrumentación del modelo estructural de cinco pisos, consistió en acelerómetros y los transductores de desplazamiento que grabaron, respectivamente, las aceleraciones horizontales y desplazamientos del bastidor a nivel de piso. En particular, los transductores de desplazamiento fueron instalados en cada uno de los cinco pisos para medir desplazamientos longitudinales (fuerte dirección), con respecto a un bastidor estacionario, mientras que los acelerómetros se instalaron en los niveles de piso y el tablero sacudido para medir las aceleraciones tanto longitudinales como transversales. Adicionalmente, la deformación de los amortiguadores para los primer, segundo y tercer piso, fue registrado por los transductores de desplazamiento montados directamente sobre los amortiguadores con el fin de producir mediciones redundantes para fines de verificación. El diagrama esquemático de la disposición de la instrumentación se muestra en la Figura 5. Una lista de los canales monitoreados y su correspondiente descripción se muestran en la Tabla 2.



**Figura 5:** Esquema de instrumentación del modelo estructural de cinco pisos.

**Tabla 2:** Lista de canales de adquisición de datos (con referencia a la Figura 5).

Canal	Notación	Instrumento	Unidades	Respuesta Medida
1	EDAD	ACCL	g	Tabla Aceleración Horizontal- Este
2	AGN	ACCL	g	Tabla Aceleración Horizontal- Norte
3	A1E	ACCL	g	Primera Planta Aceleración Horizontal - Este
4	A1N	ACCL	g	Primera Planta Aceleración Horizontal - Norte
5	A2E	ACCL	g	Segunda Planta Aceleración Horizontal - Este
6	A2N	ACCL	g	Segunda Planta Aceleración Horizontal - Norte
7	A3E	ACCL	g	Tercera Planta Aceleración Horizontal - Este
8	A3N	ACCL	g	Tercera Planta Aceleración Horizontal - Norte
9	A4E	ACCL	g	Cuarta Planta Aceleración Horizontal - Este
10	A4N	ACCL	g	Cuarta Planta Aceleración Horizontal - Norte
11	A5E	ACCL	g	Quinta Planta Aceleración Horizontal - Este
12	A5N	ACCL	g	Quinta Planta Aceleración Horizontal - Norte
13	DGL	DT	mm	Desplazamiento horizontal de la Tabla - Este
14	D1L	DT	mm	Primera Planta desplazamiento horizontal - Este
15	D2L	DT	mm	Segunda Planta desplazamiento horizontal - Este
16	D3L	DT	mm	Tercera Planta desplazamiento horizontal - Este
17	D4L	DT	mm	Cuarta Planta desplazamiento horizontal - Este
18	D5L	DT	mm	Quinta Planta desplazamiento horizontal - Este
19	DD1N	DT	mm	Primera Planta Deformación del Amortiguador Norte
20	DD2N	DT	mm	Segunda- Planta Deformación del Amortiguador Norte
21	DD3N	DT	mm	Tercera-Planta Deformación del Amortiguador Norte



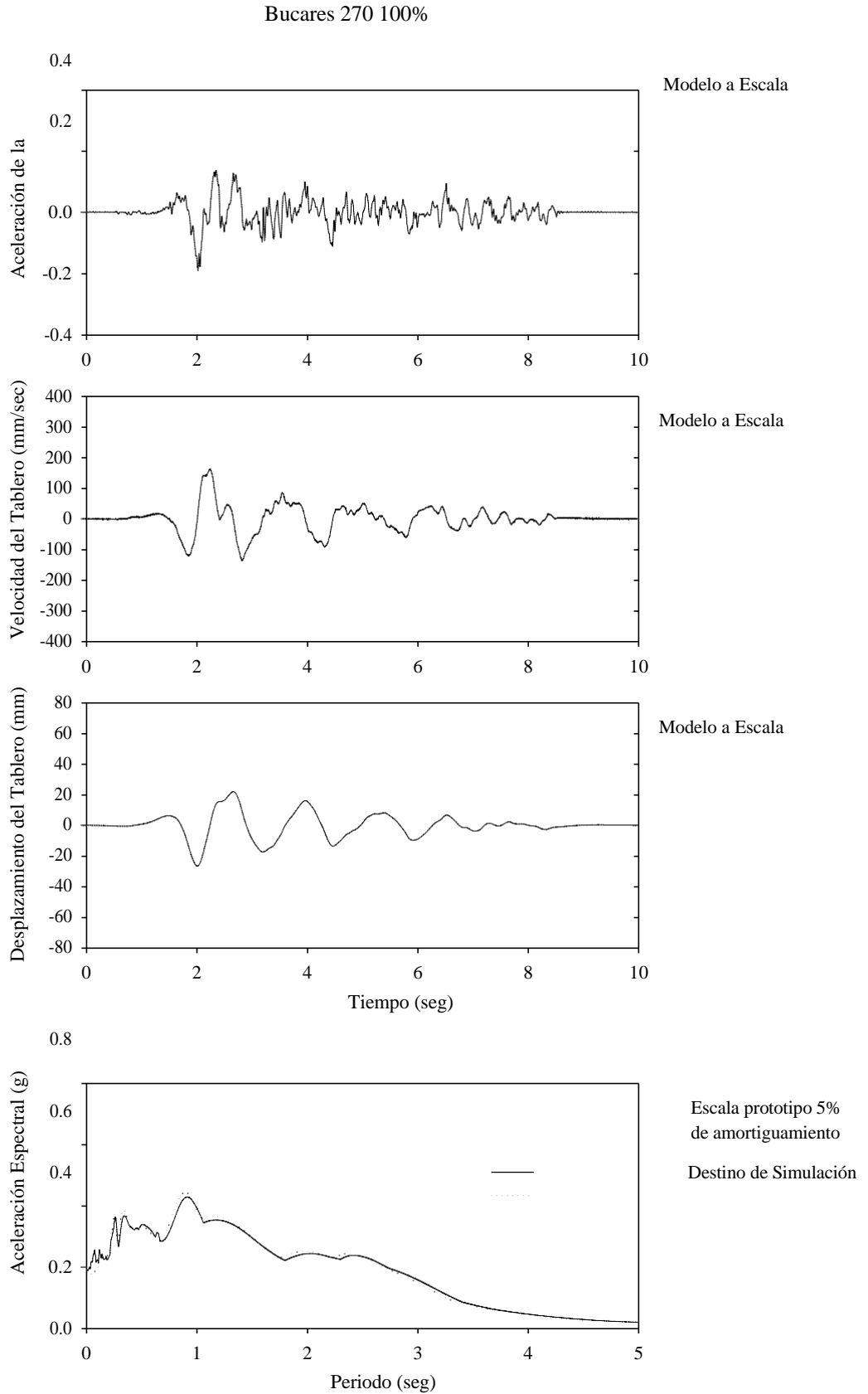
## Programa de Pruebas

La serie de pruebas en el simulador de terremotos en la Universidad de Búfalo, utilizó el modelo estructural de cinco pisos descrito anteriormente con y sin el sistema de amortiguación. El programa implicado en un número de movimientos de tierra horizontales reales que tienen una diversidad de valores de frecuencia y amplitud. La Tabla 3 enumera los movimientos sísmicos utilizados para las pruebas del simulador, junto con sus características de los movimientos picos del suelo en la escala del prototipo. Cada registro se comprimió en el tiempo mediante un factor de dos para ajustarse a los requerimientos de similitud de la Tabla 1. Una lista de las pruebas realizadas se presenta en la Tabla 4. Es más, se efectuaron pruebas en las que el excitado tablero de sacudidas con un movimiento armónico a la frecuencia especificada, y una amplitud creciente hasta que se registró una amplia respuesta.

En las Figuras 6 a 9 se presenta el historial del registro de movimientos simulados en el tablero, en las cuatro pruebas con estas entradas del terremoto. Los registros de aceleración y desplazamiento se midieron directamente, mientras que el registro de velocidad se calculó mediante la diferenciación del registro de desplazamiento. Cada una de estas figuras presenta el espectro del 5 por ciento de respuesta amortiguada (en escala del prototipo) del movimiento del tablero, y el espectro del historial de movimiento del suelo como objetivo. Se puede observar que el tablero de sacudidas reproduce los movimientos, los cuales están en acuerdo con los movimientos seleccionados como objetivo en el rango del período del modelo estructural aislado.

**Tabla 3:** Lista de movimientos sísmicos y sus características en la escala del prototipo.

Notación	Excitación	Componentes	Movimientos pico del suelo		
			Displ. (mm)	Vel. (mm/s)	Acel. (g)
Bucarest 270	1977 Bucarest, Rumania	270	106	325	0.18
Bucarest 0	1977 Bucarest, Rumania	0	201	752	0.21
Sylmar 90	1994 Northridge-Sylmar, Northridge-Sylmar, Estacionamiento	90	152	769	0.60
México N90W	1985 Ciudad de México, México	N90W	219	605	0.17



**Figura 6:** Historial del desplazamiento, velocidad y aceleración, y el espectro de respuesta de aceleración del movimiento para Bucarest 270 excitación.

Bucarest 0 100%

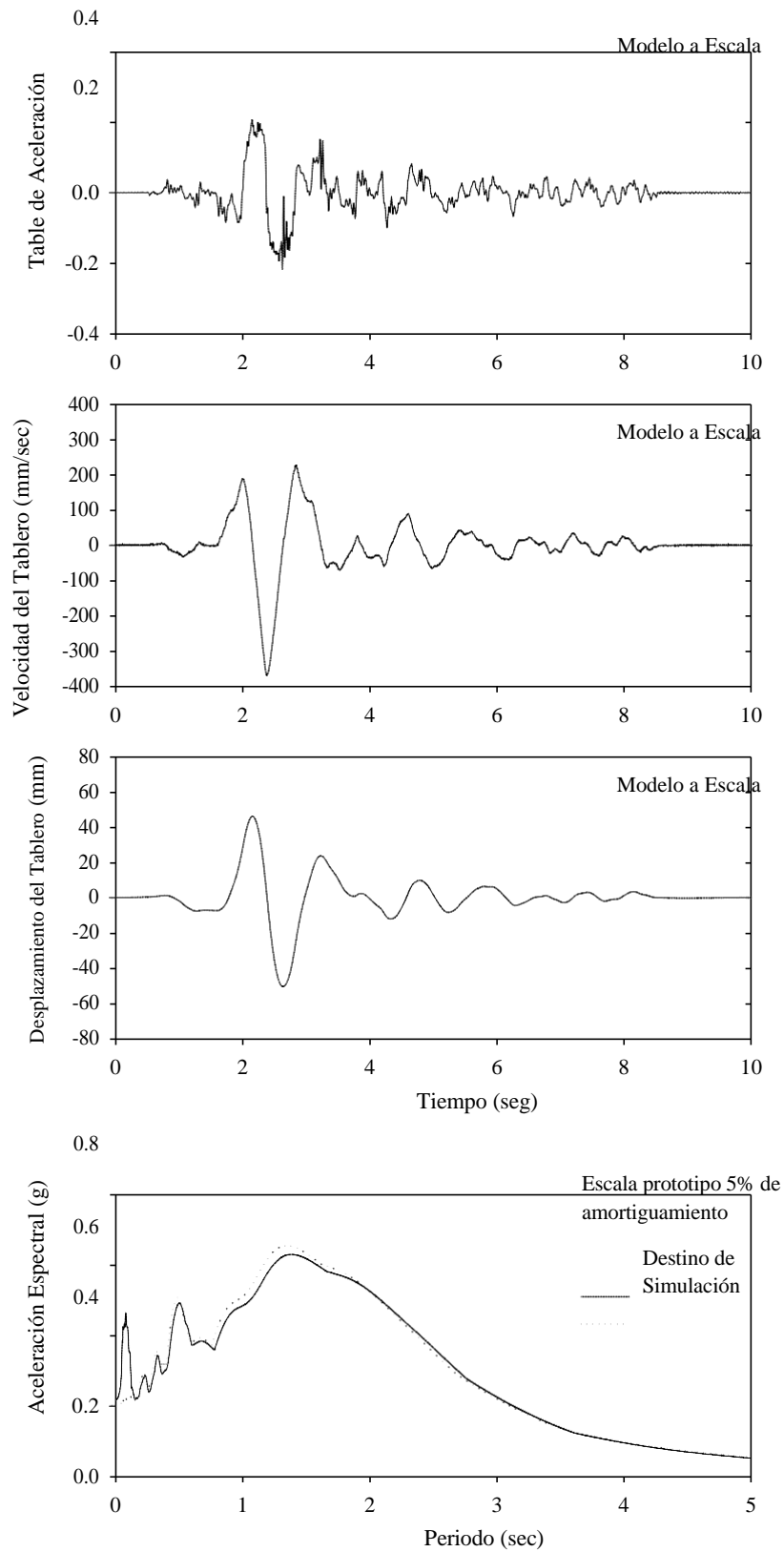


Figura 7: Historial del desplazamiento, velocidad y aceleración, y el espectro de respuesta de aceleración del movimiento para Bucarest 0 excitación.

### Sylmar 90 50%

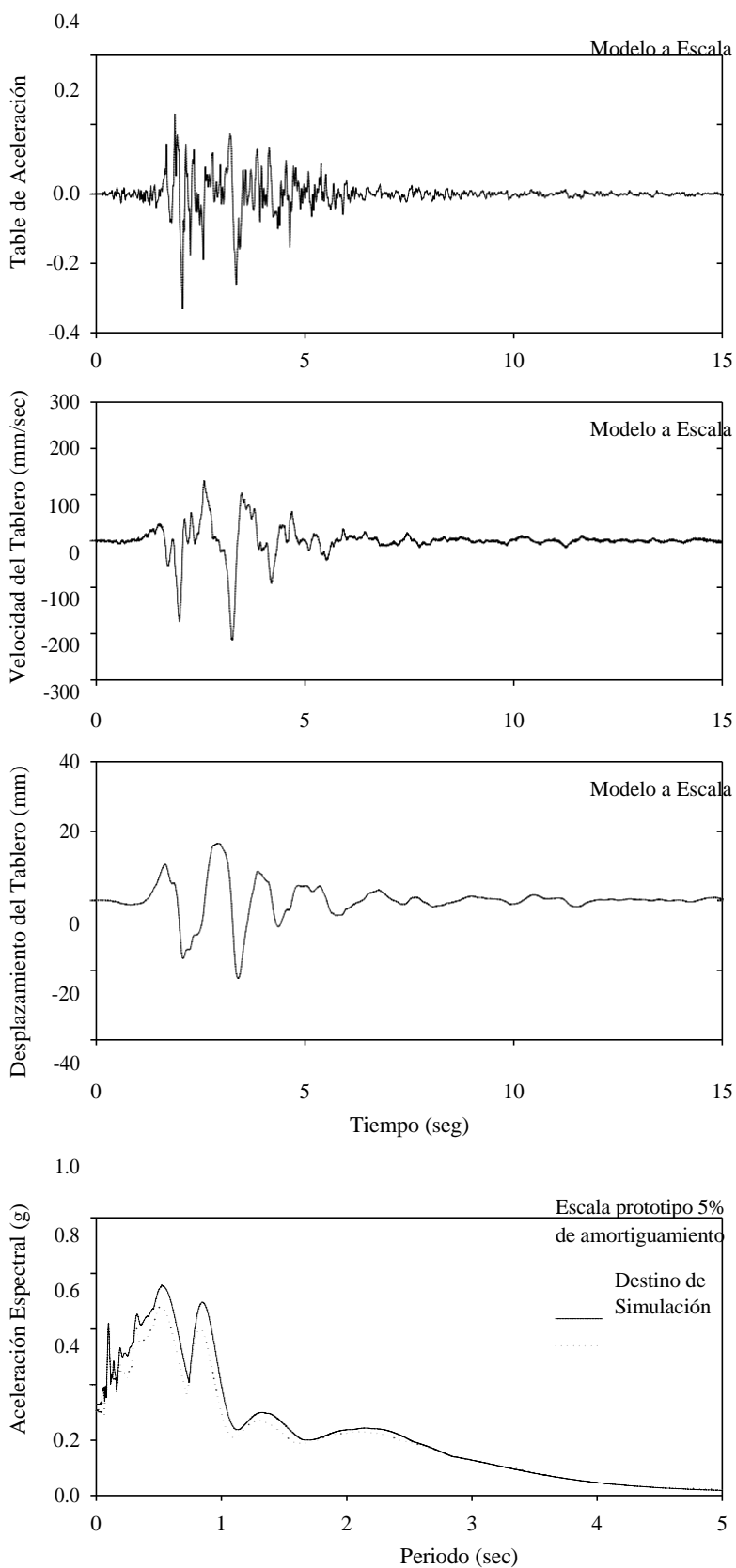
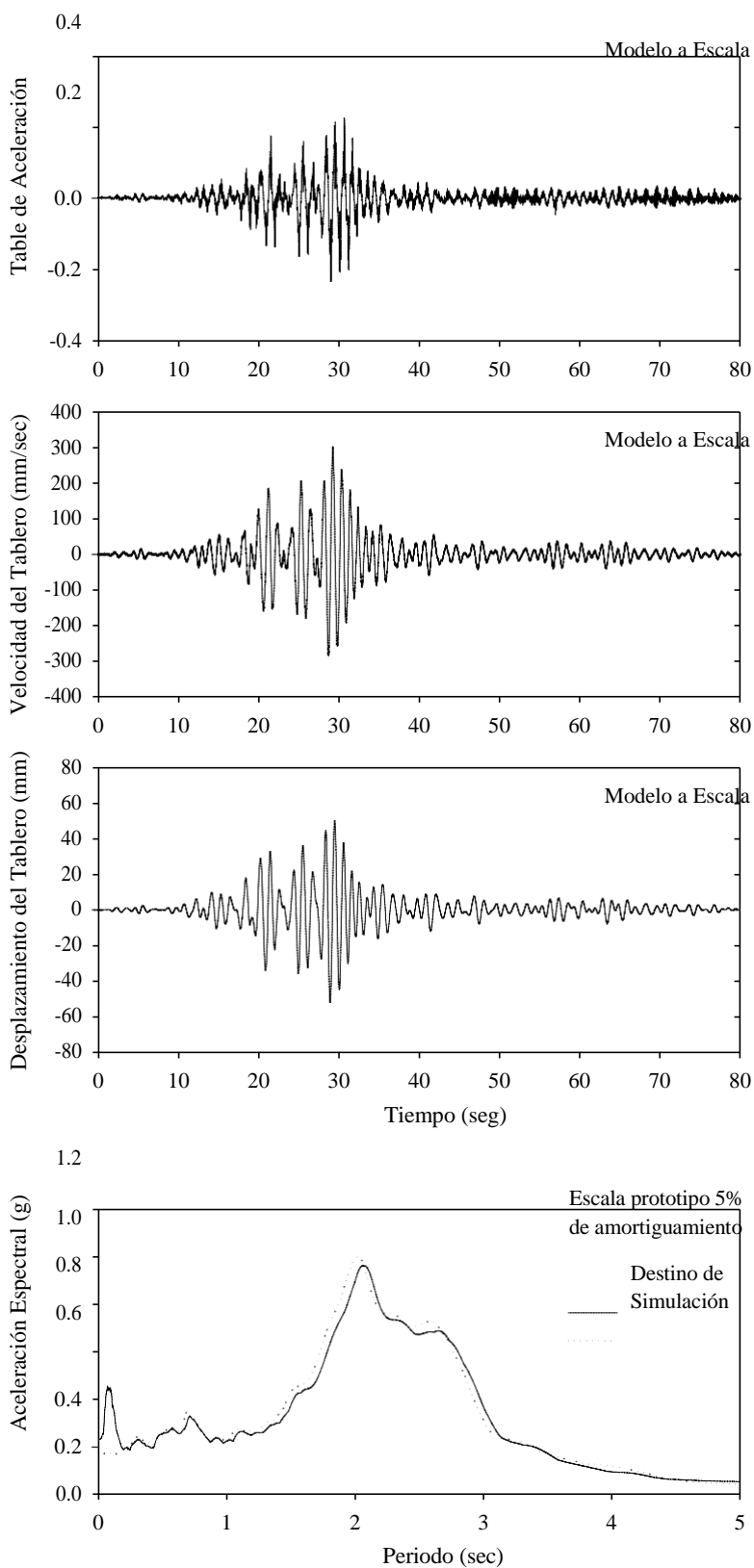


Figura 8: Historial del desplazamiento, velocidad y aceleración, y el espectro de respuesta de aceleración del movimiento para Sylmar 90 excitación.

### México N90W 100%



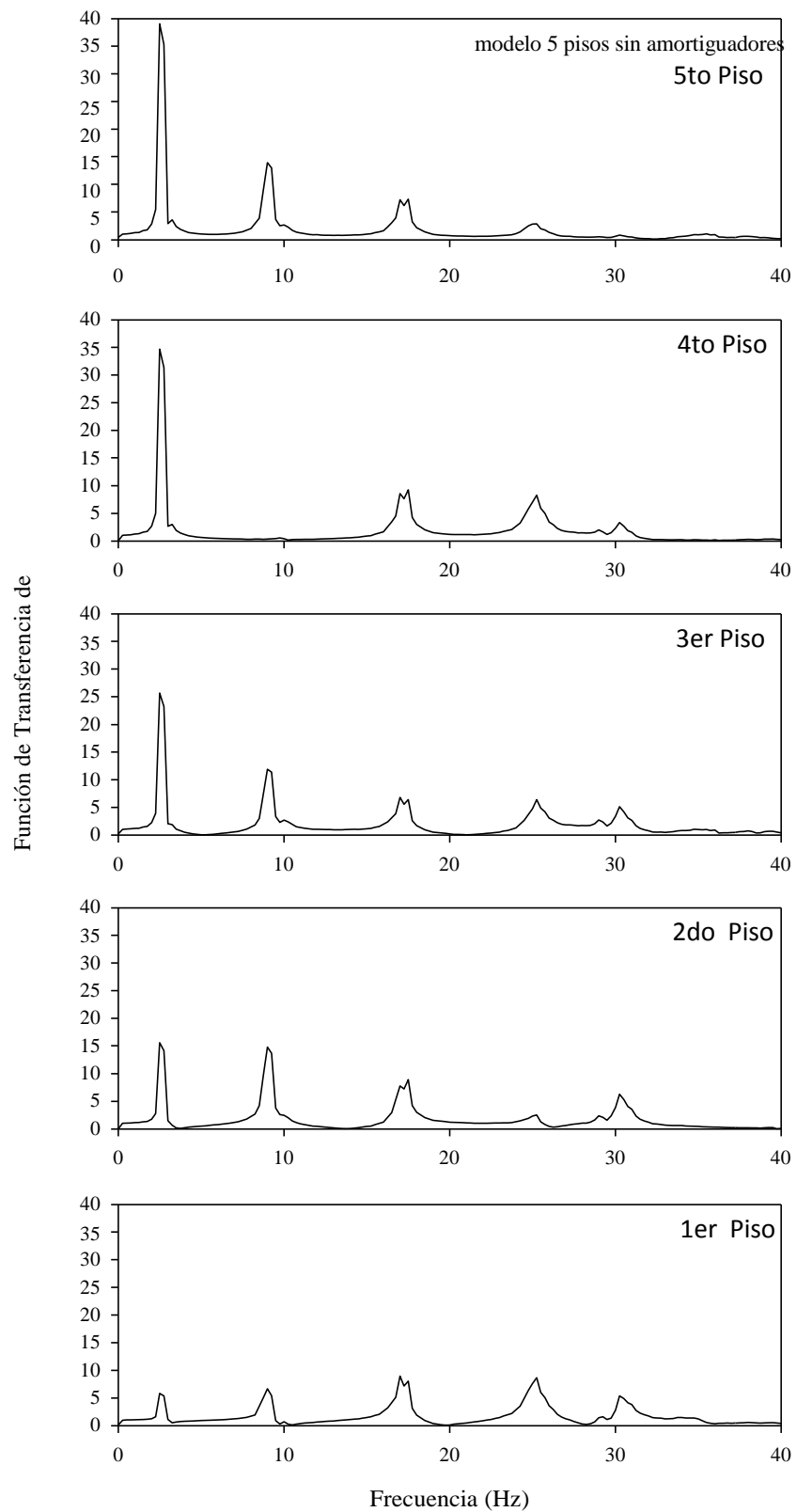
**Figura 9:** Historial del desplazamiento, velocidad y aceleración, y el espectro de respuesta de aceleración del movimiento para Mexico N90W excitación.

**Tabla 4:** Lista de las pruebas efectuadas por el simulador de terremotos en el modelo estructural de 5 pisos (dirección fuerte).

Excitación	Componentes	Intensidad	Sin Amortiguadores	Con Amortiguadores
Bucarest	270°	100% 200%	√ -	√ √
Bucarest	0°	100% 200%	√ -	√ √
Sylmar	90°	50% 75%	√ -	√ √
Ciudad de México	N90W	100% 200%	√ -	√ √

### Identificación de las Características Dinámicas en el Modelo Estructural

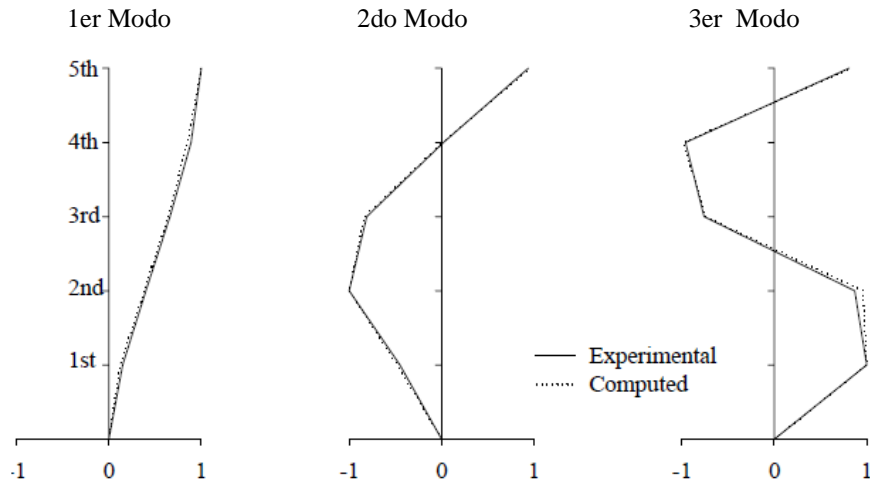
Los programas de pruebas que participan en los ensayos de identificación encaminadas a determinar las características dinámicas del modelo estructural de cinco pisos en su dirección energética y exclusiva del sistema de amortiguación. Las pruebas se realizaron utilizando la excitación del ruido blanco con una amplitud de la banda de aceleración de 0.05 g y el contenido de frecuencia en el rango de 0 a 40 Hz. Las formas, frecuencias y valores de amortiguamiento en los modos dentro de gama de frecuencias de prueba, fueron determinadas utilizando las técnicas de identificación modal. El método se basa en los historiales de aceleración del piso y la frecuencia de respuesta de las funciones de transferencia del piso (Bracci et al., 1992). La Figura 10 presenta las amplitudes de la función de transferencia de aceleración obtenidos experimentalmente para bandas (0-40 Hz), en base al ruido blanco de excitación para el modelo sin amortiguadores. La Tabla 5 lista las formas de los modos identificados, frecuencias y valores de amortiguación junto con los valores calculados a partir de análisis modal SAP2000 (Computers and Structures, 1998). El análisis SAP2000 se basó en el modelo utilizado en Roussis y Constantinou (2004), sin considerar cualquier efecto de rigidez de las placas de refuerzo añadidos (vea la Figura 1). Por otra parte, la Figura 11 presenta una comparación gráfica de las formas experimentales y analíticas de los tres primeros modos. Evidentemente, hay una buena concordancia entre el experimental y las propiedades modales obtenidas analíticamente del modelo.



**Figura 10:** Amplitudes de la función de transferencia de aceleración baja, para excitación en base al ruido blanco con bandas de (0-40 Hz, 0.05g): modelo 5 pisos sin amortiguadores (dirección fuerte).

**Tabla 5:** Características dinámicas del modelo estructural de cinco pisos, exclusivo del sistema de amortiguamiento.

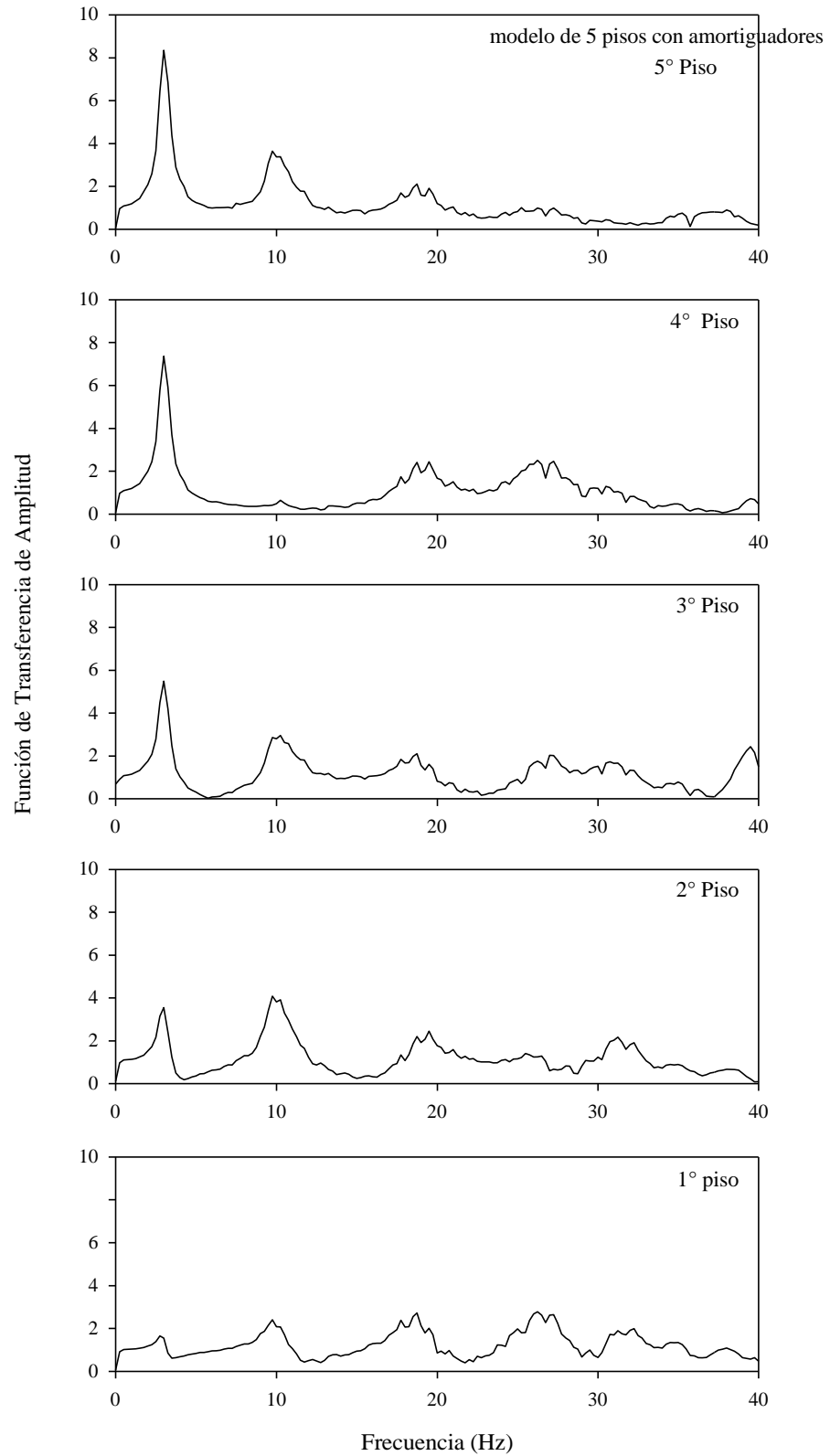
Modo	Método	Frecuencia (Hz)	Factor de Amortig.	Modo Forma				
				Piso	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
1	Experimental	2.5	0.018	0.15	0.40	0.66	0.89	1.00
	Analítico	2.4	-	0.12	0.38	0.64	0.85	1.00
2	Experimental	9.0	0.016	-	-1.00	-0.81	0.02	0.94
	Analítico	8.2	-	-	-1.00	-0.84	0.01	0.96
3	Experimental	17.0	0.014	1.00	0.87	-0.76	-0.96	0.81
	Analítico	16.4	-	1.00	0.95	-0.74	-0.98	0.83
4	Experimental	25.3	0.013	-	0.29	0.74	-0.96	0.33
	Analítico	26.3	-	-	0.27	0.65	-0.92	0.38
5	Experimental	30.3	0.008	0.85	-1.00	0.82	-0.53	0.13
	Analítico	34.6	-	0.91	-1.00	0.90	-0.58	0.18



**Figura 11:** Representación gráfica de las tres primeras formas del modelo estructural.

La aceleración de las amplitudes del suelo en función de la transferencia, también se elaboraron para el modelo estructural amortiguado. La Figura 12 presenta estas funciones para el caso de las bandas de 0 a 40 Hz, con la excitación en base al ruido blanco con una amplitud de 0.10g. La identificación de las propiedades del modelo amortiguado no se ha realizado porque esto habría requerido desarrollar primero un modelo matemático refinado para los amortiguadores. Sólo uno de los amortiguadores se puso a prueba mediante la imposición del desplazamiento armónico





**Figura 12:** Amplitudes de la función de transferencia de aceleración baja para excitación en base al ruido blanco, con bandas de (0-40 Hz, 0.10g): modelo de 5 pisos con amortiguadores (dirección fuerte).

Del historial de 1 Hz de frecuencia – pruebas que verifican las propiedades básicas del dispositivo, pero no permiten el desarrollo de un modelo válido en un amplio rango de frecuencias. Se planifican tales pruebas para realizarla en fecha posterior. Sin embargo, es evidente en la Figura 12, que el modelo amortiguador exhibe frecuencias más altas que la del modelo no amortiguado, con la frecuencia fundamental de 3.0 Hz. En un intento de identificar la fuente de la aparente rigidez del modelo en bandas, se realizaron pruebas de ruido blanco con una amplitud de 0.45g. Una comparación de las amplitudes de las funciones de transferencia para los dos casos, se presenta en la Figura 13. Parece que hay un cambio en los picos de las funciones hacia frecuencias más bajas (alrededor de 2.8 Hz), y una reducción de la amplitud en el nivel de 0.45g de excitación. Tal fenómeno indica un comportamiento que es una combinación de histéresis y viscoso, con el comportamiento viscoso dominando las amplitudes más grandes de vibración (también mayores velocidades de amortiguación). Tal comportamiento podría ser el resultado de la alta fricción en las juntas de los amortiguadores (que por lo general resultan del exceso de presurización del aceite en los amortiguadores - un proceso que es típico y sin incidentes en los dispositivos de gran tamaño, pero es de cierta importancia en dispositivos de pequeño tamaño).

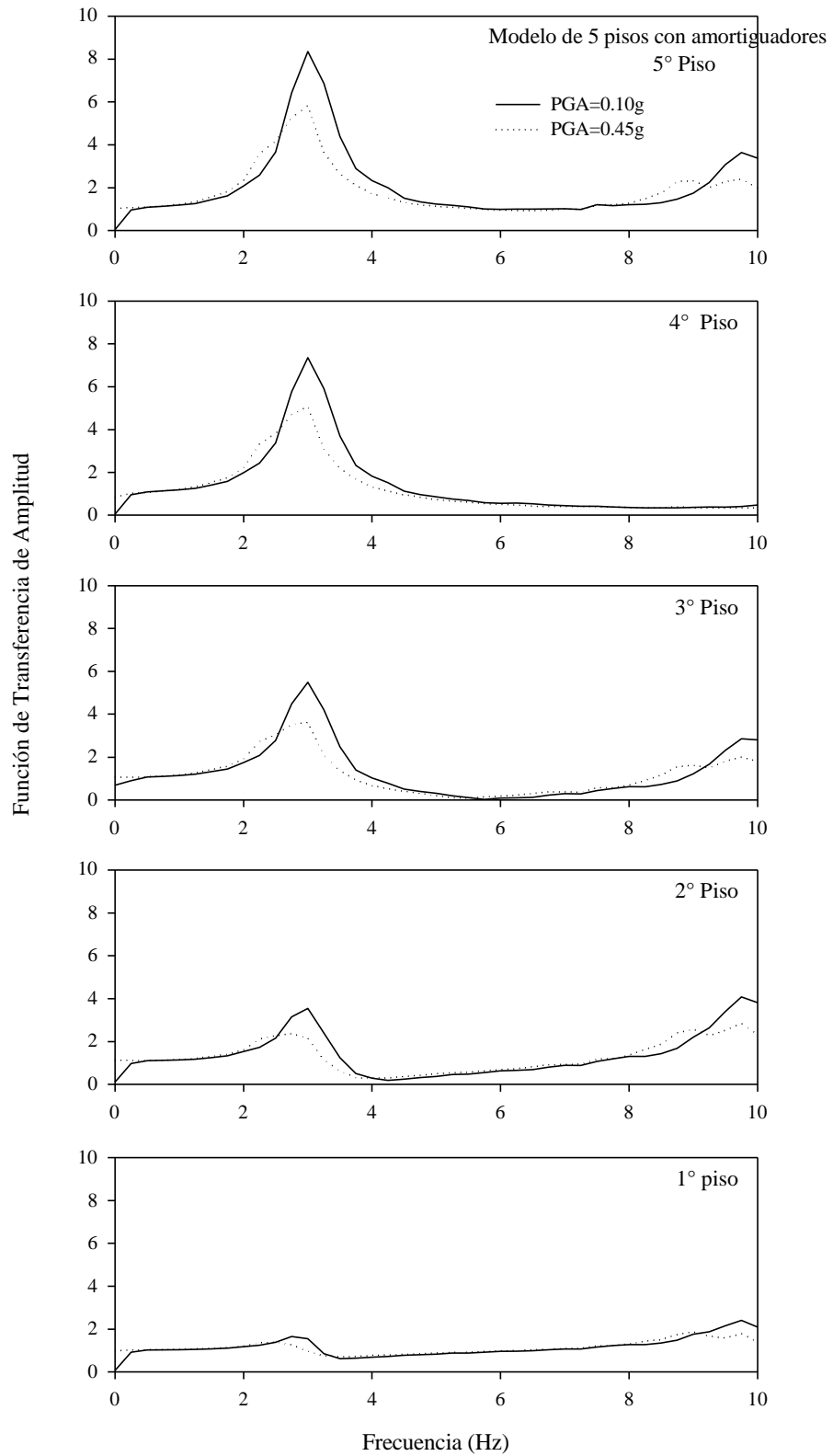
Es necesario realizar pruebas en los amortiguadores en una amplia gama de frecuencias, para ser capaz de modelar completamente la estructura probada y para explicar la observada "rigidez" cuando se agregaron los amortiguadores.

### **Resultados de las Pruebas del Simulador de Terremoto**

Los resultados experimentales para el modelo estructural de cinco pisos se resumen en la Tabla 6. La tabla presenta la respuesta pico de la estructura experimental, registrada en términos de la desviación pico del piso, la aceleración pico de baja, y la fuerza de corte pico del piso, tanto para el modelo sin amortiguadores y con amortiguadores. Las fuerzas de corte del piso fueron calculadas mediante la suma de las fuerzas de inercia del piso, lo cuales fueron calculados como el producto de la aceleración del piso registrada y la masa en el piso (vea la Figura 2). La excitación es identificada con un porcentaje que denota un factor de escala en el registro real de aceleración. Por otra parte, las figuras 14 a 16 muestran los resultados representativos del rango de las pruebas realizadas en el modelo estructural. Los gráficos presentan el historial de las respuestas en términos de la aceleración del quinto piso y la desviación del quinto piso.

Muy informativo son los resultados obtenidos con el movimiento armónico del tablero. En las Figura 17 y 18 se presentan los historiales de aceleración registrados en el último piso, la desviación en el 3er piso (donde era el máximo), y el desplazamiento del tablero en las siguientes pruebas: (a)

el modelo amortiguado en la entrada de la frecuencia de movimiento de 3.0 Hz, y (b) el modelo no amortiguado en la entrada de frecuencia de movimiento de 2.5 Hz. Estas frecuencias son las frecuencias fundamentales identificadas del modelo con amortiguadores (3.0 Hz) y sin amortiguadores (2.5 Hz). Es decir, los dos modelos fueron excitados en condiciones de resonancia.



**Figura 13:** La comparación de las amplitudes de la función de transferencia de aceleración en el piso, para la excitación en base al ruido blanco en las bandas (0-40 Hz), para amplitudes de 0.10 g y 0.45 g: modelo de 5 pisos con amortiguadores.

## **Conclusiones**

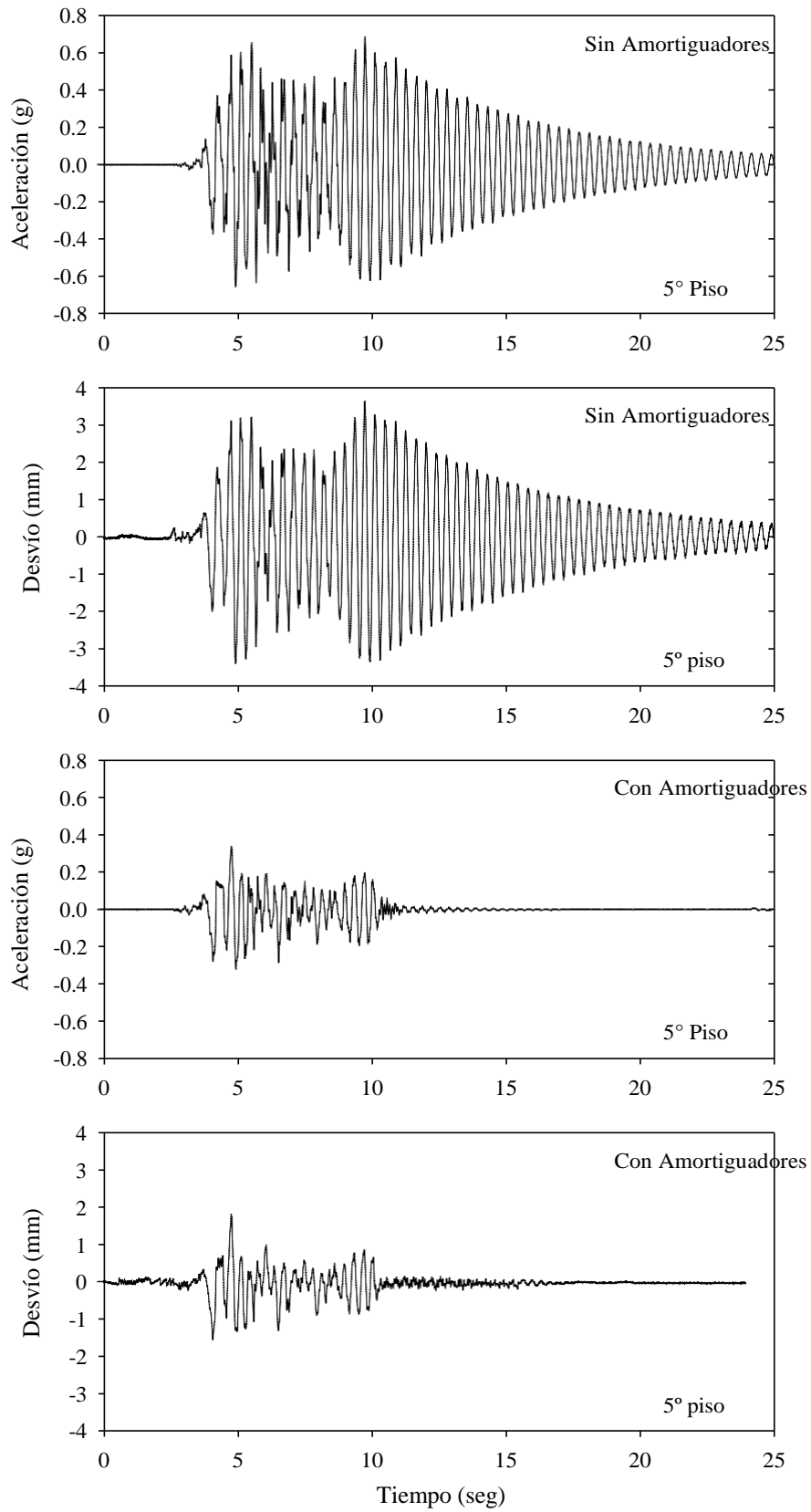
Los resultados presentados en la Tabla 6 y en las Figuras 14 a 18, demuestran que la adición de amortiguadores al modelo probado, da como resultado sustanciales reducciones en los desvíos de los pisos, y en las aceleraciones del piso. La razón principal de esta reducción de la respuesta, es la adición del amortiguamiento viscoso. Una inspección de los espectros de respuesta en las Figuras 6 a 9, en períodos de 0.66 y 0.8 segundos (los períodos de la amortiguamiento y los modelos sin amortiguar, respectivamente, en la escala prototipo), revela que el cambio en el período produce cambios insignificantes en la respuesta.

**Tabla 6:** Respuesta pico experimental de la estructura de cinco pisos, con y sin amortiguadores viscosos lineales.

Terremoto	Componentes	Intensidad	Piso	Sin Amortiguadores			Con Amortiguadores		
				Desvío (mm)	Aceleración (g)	Base de corte (kN)	Desvío (mm)	Aceleración (g)	Base de corte (kN)
Bucarest	270°	100%	5	3.6	0.69	9.39	1.8	0.34	4.63
			4	5.1	0.58	16.67	2.6	0.31	8.81
			3	5.8	0.49	21.92	3.0	0.26	12.21
			2	5.6	0.42	25.63	3.1	0.22	14.78
			1	3.0	0.27	27.52	1.3	0.20	16.23
Bucarest	270°	200%	5	N/A	N/A	N/A	3.8	0.73	10.01
			4	N/A	N/A	N/A	5.5	0.66	18.76
			3	N/A	N/A	N/A	6.5	0.51	25.56
			2	N/A	N/A	N/A	6.6	0.49	30.27
			1	N/A	N/A	N/A	3.0	0.46	33.05
Bucarest	0°	100%	5	3.0	0.58	7.89	2.4	0.42	5.73
			4	4.2	0.55	13.85	3.3	0.38	10.95
			3	4.8	0.48	19.17	3.6	0.32	15.12
			2	5.1	0.44	23.75	4.2	0.29	18.66
			1	2.2	0.32	28.07	1.5	0.24	21.44
Bucarest	0°	200%	5	N/A	N/A	N/A	4.9	0.86	11.72
			4	N/A	N/A	N/A	6.7	0.76	21.94
			3	N/A	N/A	N/A	7.6	0.66	30.29
			2	N/A	N/A	N/A	8.8	0.60	37.22
			1	N/A	N/A	N/A	3.3	0.54	42.55

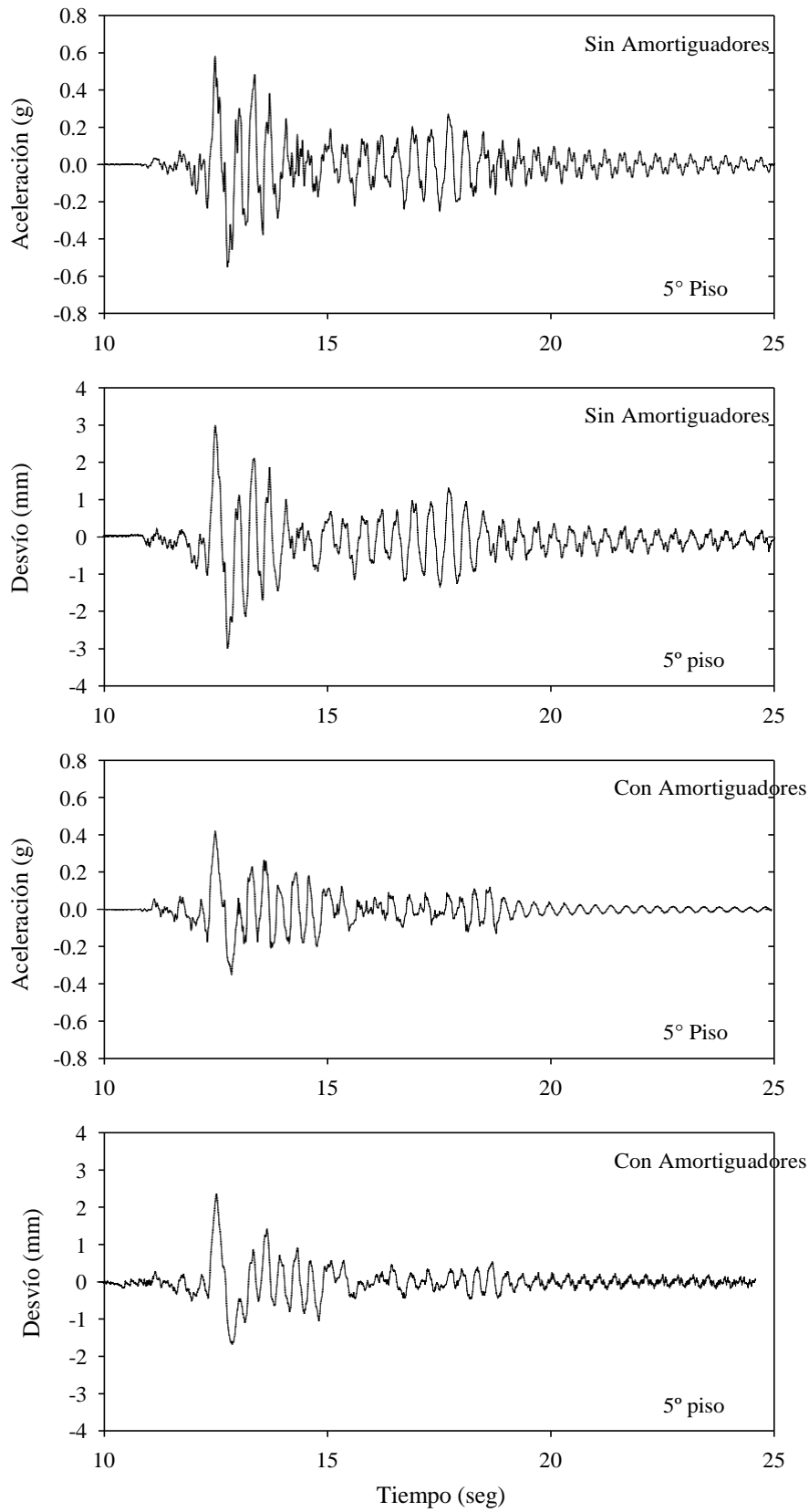
**Tabla 6:** Respuesta experimental pico de la estructura de cinco pisos con y sin amortiguadores viscosos lineales (continuación)

Terremoto	Componentes	Intensidad	Piso	Sin Amortiguadores			Con Amortiguadores		
				Desvío (mm)	Aceleración (g)	Base de corte (kN)	Desvío (mm)	Aceleración (g)	Base de corte (kN)
Sylmar	90°	50%	5	5.5	1.11	15.14	2.8	0.58	7.96
			4	7.5	1.07	26.46	3.8	0.52	14.66
			3	8.5	1.03	39.69	4.5	0.39	19.79
			2	8.8	0.65	48.39	4.7	0.32	22.08
			1	4.6	0.38	51.49	1.9	0.29	24.69
Sylmar	90°	75%	5	N/A	N/A	N/A	4.3	0.85	11.57
			4	N/A	N/A	N/A	5.9	0.74	21.65
			3	N/A	N/A	N/A	7.0	0.58	29.06
			2	N/A	N/A	N/A	7.4	0.46	34.01
			1	N/A	N/A	N/A	3.2	0.50	37.69
Ciudad de México	N90W	100%	5	2.9	0.56	7.67	1.7	0.32	4.39
			4	4.0	0.55	14.29	2.4	0.35	7.65
			3	4.7	0.42	19.73	2.7	0.26	10.63
			2	4.9	0.32	22.75	2.9	0.24	13.63
			1	2.2	0.26	25.40	1.2	0.27	15.46
Ciudad de México	N90W	200%	5	N/A	N/A	N/A	2.9	0.55	7.51
			4	N/A	N/A	N/A	4.0	0.49	14.22
			3	N/A	N/A	N/A	4.6	0.40	19.27
			2	N/A	N/A	N/A	5.4	0.36	23.04
			1	N/A	N/A	N/A	2.0	0.33	26.69

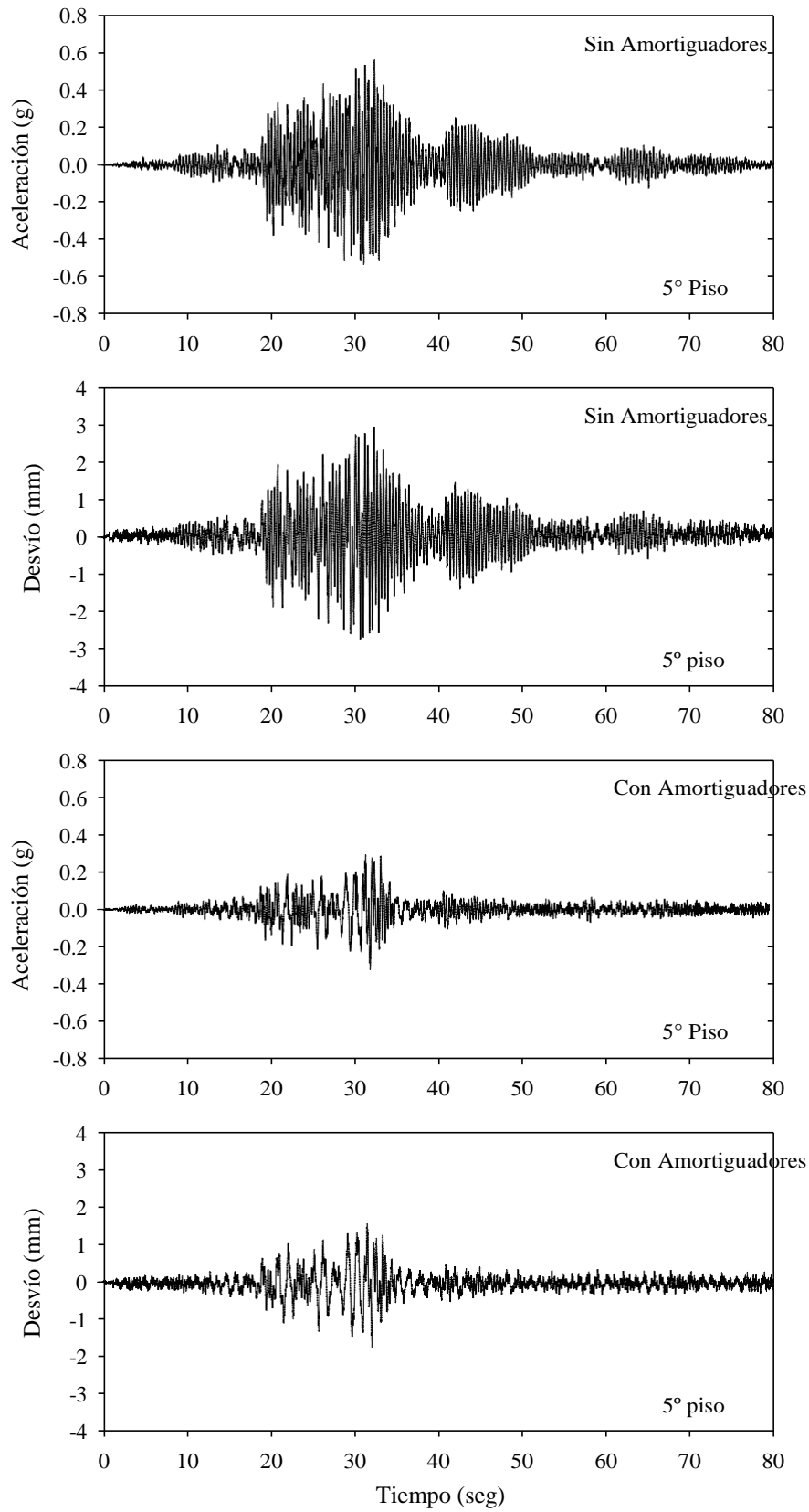


**Figura 14:** Resultados experimentales en Bucarest 270° al 100% para el modelo con y sin amortiguadores.

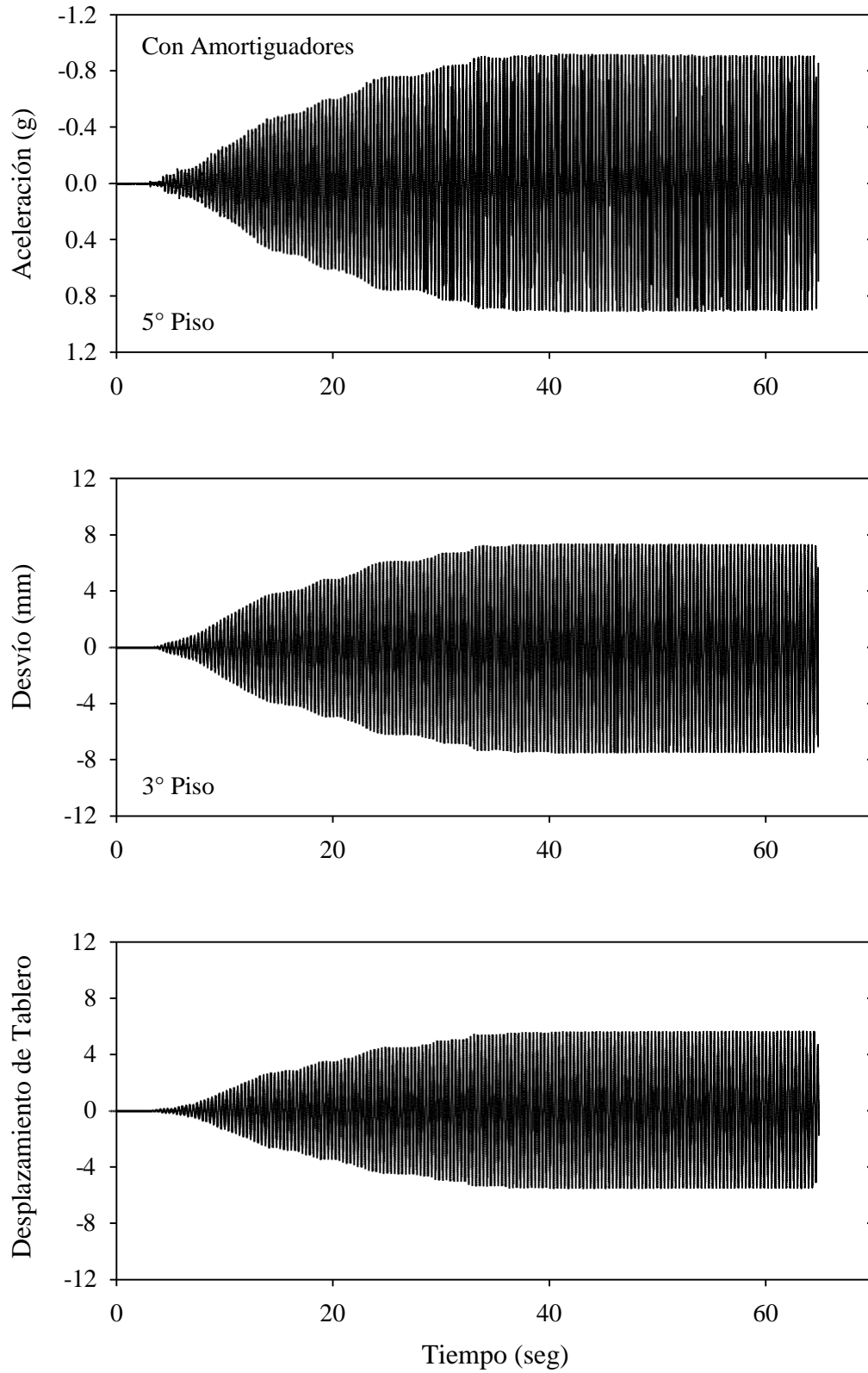




**Figura 15:** Resultados experimentales en Bucarest 0° al 100% para el modelo con y sin amortiguadores.



**Figura 16:** Resultados experimentales en México N90W 100% para el modelo con y sin amortiguadores.



**Figura 17:** Resultados experimentales en movimiento armónico del Tablero con frecuencia de 3.0 Hz para el modelo amortiguado (condiciones de resonancia).

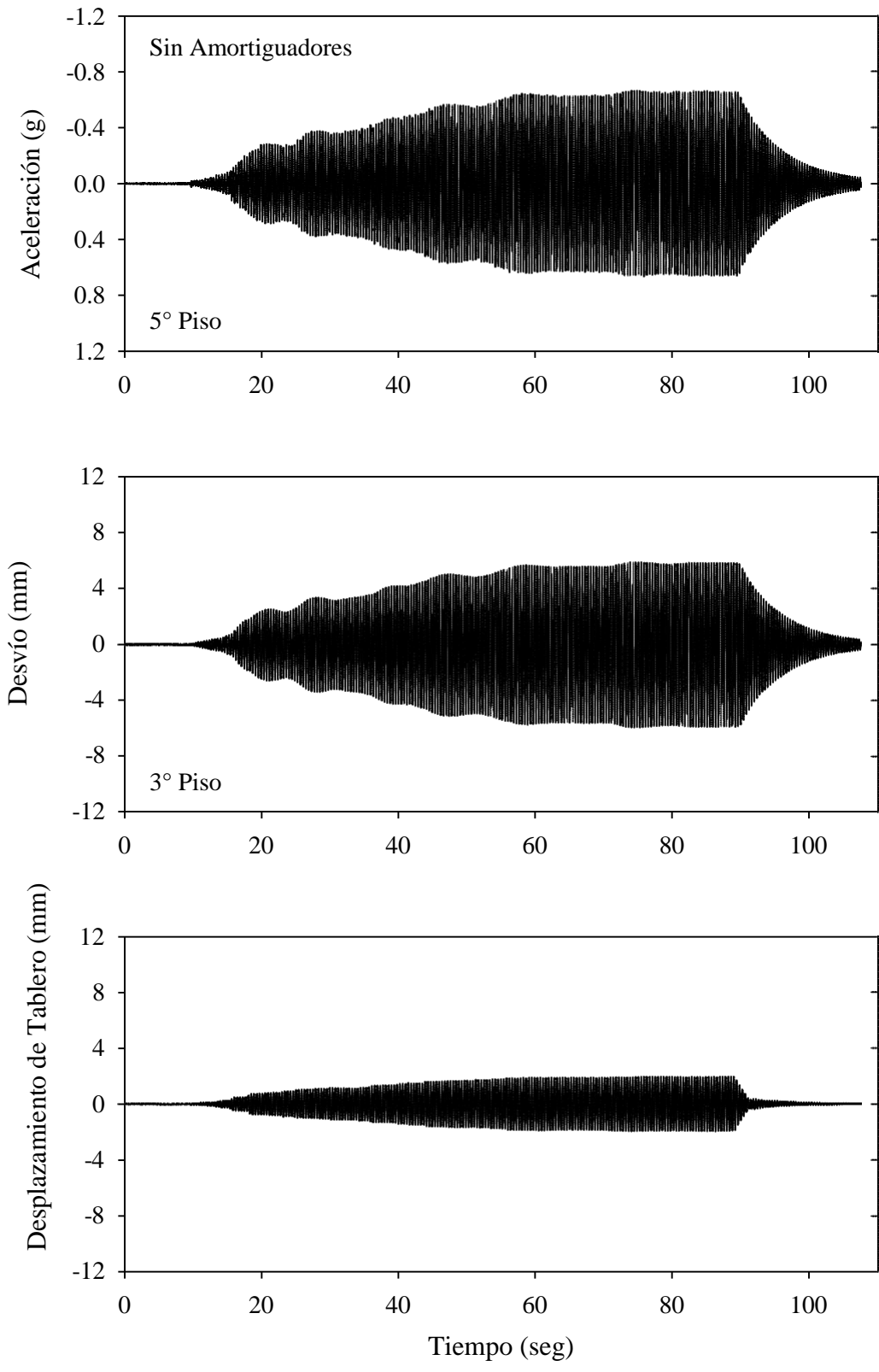


Figura 18: Resultados experimentales en movimiento armónico del Tablero con frecuencia de 2.5 Hz para el modelo sin amortiguamiento (condiciones de resonancia).

## **Referencias**

1. Bracci, J.M., Reinhorn, A.M., y Mander, J.B. (1992), "Resistencia sísmica de estructuras de hormigón reforzado diseñado sólo para cargas por gravedad: Parte I - Diseño y Propiedades del modelo estructural a un tercio de escala". Informe No. NCEER-92-0027, Centro Nacional de Investigación de Ingeniería Sísmica de la Universidad Estatal de Nueva York, Buffalo, Nueva York.
2. Chang, K.C., Lai, M.L., Soong, T.T., Hao, D.S., y Yeh, Y.C. "Comportamiento Sísmico y directrices de diseño para las estructuras de marcos de acero con amortiguadores viscoelástico agregados", Informe Técnico NCEER-93-0009, NCEER / SUNY Buffalo.
3. Computers and Structures Inc. "SAP2000: Análisis integrado de elementos finitos y diseño de estructuras ", versión 7.5, Berkeley, CA, 1998.
4. FEMA – Federal Emergency Management Agency (1997), "Directrices NEHRP para la rehabilitación sísmica de edificios" y "Comentario NEHRP sobre las Directrices para la rehabilitación sísmica de edificios", Informes N° FEMA-273 y FEMA-274, Washington, DC
5. Roussis y Constantinou (2004), "Estudio experimental y analítico de las estructuras aisladas sísmicamente con levantamiento de restricciones", 13ª Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica, Vancouver, B.C., Canadá 1-6 agosto, 2004.