

Capítulo 10

Registros sísmicos. Validación del modelo teórico

10.1. Introducción

En el capítulo 9 (punto 9.4) se realizó una descripción del instrumental sísmico dispuesto, tanto en el edificio con aislamiento sísmico como para el de fundación tradicional. Dicho instrumental se encuentra funcionando aproximadamente desde mediados del año 2005 y a la fecha se cuenta con registros de sismos menores ocurridos en la región, o bien sentidos en la zona del Gran Mendoza que han sido detectados por el sistema. Por lo tanto el primer objetivo del presente capítulo se centra en la presentación de los resultados obtenidos de los registros y en la evaluación de las respuestas de los edificios. Los resultados obtenidos del instrumental sísmico permiten obtener las conclusiones finales sobre el comportamiento real del edificio con aislamiento sísmico y contar con datos relacionados con el edificio de fundación tradicional.

En el capítulo 7 se han mostrado los resultados obtenidos de las respuestas del edificio con aislamiento sísmico para los sistemas utilizados en la etapa de diseño y en la instancia de ejecución del proyecto. Dichas respuestas han sido comparadas con otro edificio, de idénticas características arquitectónicas y estructurales, pero de fundación tradicional. En el capítulo 8 se ha realizado una discusión preliminar de los resultados mencionados. Sin embargo, los mismos han sido determinados mediante una modelación teórica del edificio y del sistema de aislamiento. Las distintas características del edificio (estructurales, leyes constitutivas de los materiales, etc.) han sido representadas mediante un modelo 3D de elementos finitos y de acuerdo sea el tipo de sistema de aislamiento (NZ, GCS), se ha realizado análisis lineales y no lineales en el dominio del tiempo (Ver también punto 7.4.1.).

Para confirmar, o bien definir parámetros de corrección de la predicción teórica, es necesario validar el modelo teórico utilizado. Por lo tanto un segundo objetivo del presente capítulo será la validación del modelo teórico y para ello, se emplean otras herramientas con el objeto de comparar los resultados que se obtienen cuando se utilizan otros caminos posibles.

10.2. Registros sísmicos

Desde la puesta en marcha del instrumental sísmico en los edificios de la residencia universitaria, ha ocurrido una serie de sismos menores que han afectado la región ⁽¹⁾. En la Tabla 10.1 se indica el listado de los mismos (incluidas algunas réplicas del sismo principal) junto a otros parámetros sísmicos de interés. Si bien muchos de ellos son de baja magnitud y poco sensibles, representan una información importante para evaluar el comportamiento del sistema de aislamiento. Los resultados que muestran los mismos permiten predecir el comportamiento de los edificios frente a sismos más severos.

Tabla 10.1: Listado de los sismos registrados por el instrumental sísmico instalado en la residencia de estudiantes al mes de enero de 2007.

Fecha del sismo	Estación	Magnitud estimada	Intensidad estimada (IMM)	Distancia Epicentral (km)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
09-sep-05	Lab. Estructura UTN	5,20	IV - V	170	0,01337	0,681	0,102
08-ene-06	Subsuelo torre 3				0,00205	0,078	0,005
05-may-06	Subsuelo torre 3				0,00448	0,028	0,002
09-may-06	Lab. Estructura UTN	5,00	II - III	150	0,01097	0,497	0,054
05-ago-06	Lab. Estructura UTN	5,00	VI -VII	50	0,10400	3,850	0,433
05-ago-06	Subsuelo torre 3				0,00193	0,044	0,002
05-ago-06	Subsuelo torre 3				0,00092	0,021	0,001
06-ago-06	Subsuelo torre 3				0,00135	0,026	0,001
06-ago-06	Subsuelo torre 3				0,00159	0,032	0,002
12-sep-06	Subsuelo torre 3				0,0009	0,047	0,016
17-sep-06	Lab. Estructura UTN				0,00972	0,602	0,138
19-sep-06	Subsuelo torre 3				0,00093	0,022	0,002
24-sep-06	Subsuelo torre 3				0,00427	0,178	0,033
12-oct-06	Subsuelo torre 3				0,00458	0,421	0,079
13-oct-06	Subsuelo torre 3				0,00108	0,077	0,013
21-oct-06	Subsuelo torre 3				0,00398	0,149	0,012
19-nov-06	Subsuelo torre 3				0,00229	0,076	0,004

Cada uno de los registros sísmicos indicados en la Tabla 10.1 entrega la información de doce canales de registros de aceleraciones (Ver también punto 9.4 del capítulo 9). La integración de dicha señal permite obtener la historia de velocidades y desplazamientos de cada uno de los canales. En el anexo (E), se encuentran tabulados los valores picos de aceleraciones, velocidades y desplazamientos de los doce canales junto al tiempo en el cual se producen los mismos.

(1) Al momento de la redacción del presente capítulo de tesis (Enero 2007) se cuenta con diecisiete registros. Los resultados obtenidos han sido elaborados trabajando con la totalidad de los registros indicados en la Tabla 10.1.

En la Tabla 10.2. se resume la comparativa entre los valores de aceleraciones registrados debajo del sistema de aislamiento y los medidos inmediatamente por encima del mismo. En la última columna de la tabla se evalúa el grado de amplificación o reducción de la aceleración entre los dos niveles comparados.

Tabla 10.2: Comparativa entre las aceleraciones registradas debajo del sistema de aislamiento y las medidas inmediatamente por encima del mismo.

Sismo	Componente	Aceleración debajo del sistema aislamiento (A) (% g)	Aceleración inmediatamente encima sistema aislamiento (B) (% g)	Razón (B/A)
09-sep-05 (*)	E-O	1,560	1,880	1,205
	Vert.	0,656	1,520	2,317
	N-S	1,336	1,438	1,076
08-ene-05 (*)	E-O	0,205	0,266	1,298
	Vert.	0,210	0,266	1,267
	N-S	0,202	0,214	1,059
05-may-06	E-O	0,058	0,066	1,138
	Vert.	0,088	0,079	0,898
	N-S	0,448	0,137	0,306
09-may-06	E-O	1,045	0,904	0,865
	Vert.	0,458	1,184	2,585
	N-S	0,714	0,622	0,871
05-ago-06	E-O	12,480	7,974	0,639
	Vert.	5,303	6,775	1,278
	N-S	9,756	8,370	0,858
05-ago-06	E-O	0,193	0,214	1,109
	Vert.	0,122	0,157	1,287
	N-S	0,154	0,210	1,364
05-ago-06	E-O	0,092	0,106	1,152
	Vert.	0,058	0,067	1,155
	N-S	0,033	0,060	1,818
06-ago-06	E-O	0,135	0,128	0,948
	Vert.	0,213	0,120	0,563
	N-S	0,133	0,153	1,150
06-ago-06	E-O	0,139	0,137	0,986
	Vert.	0,253	0,130	0,514
	N-S	0,159	0,205	1,289
12-sep-06	E-O	0,090	0,098	1,089
	Vert.	0,070	0,123	1,757
	N-S	0,081	0,103	1,272
17-sep-06	E-O	0,784	0,678	0,865
	Vert.	0,491	0,992	2,020
	N-S	0,960	0,904	0,942
19-sep-06	E-O	0,093	0,089	0,957
	Vert.	0,099	0,068	0,687
	N-S	0,092	0,152	1,652
24-sep-06	E-O	0,427	0,495	1,159
	Vert.	0,231	0,483	2,091
	N-S	0,386	0,327	0,847
12-oct-06	E-O	0,458	0,391	0,854
	Vert.	0,152	0,320	2,105
	N-S	0,421	0,364	0,865
13-oct-06	E-O	0,084	0,098	1,167
	Vert.	0,054	0,089	1,648
	N-S	0,108	0,114	1,056
21-oct-06	E-O	0,398	0,266	0,668
	Vert.	0,441	0,346	0,785
	N-S	0,317	0,349	1,101
19-nov-06	E-O	0,157	0,176	1,121
	Vert.	0,192	0,195	1,016
	N-S	0,229	0,334	1,459

(*) Registros que corresponden a una instancia previa a los trabajos de desacople de las escaleras del edificio con aislamiento sísmico.

En la Tabla 10.3. se resume la comparativa entre los valores de aceleraciones registrados debajo del sistema de aislamiento y el techo del edificio aislado. En la última columna de la tabla se evalúa el grado de amplificación o reducción de la aceleración entre los dos niveles comparados.

Tabla 10.3: Comparativa entre las aceleraciones registradas debajo del sistema de aislamiento y el techo del edificio aislado.

Sismo	Componente	Aceleración debajo el sistema aislamiento (A) (%g)	Aceleración en el techo del edificio con aislamiento (B) (%g)	Razón (B/A)
09-sep-05 (*)	E-O	1,560	1,856	1,190
	Vert.	0,656		
	N-S	1,336	1,928	1,443
08-ene-05 (*)	E-O	0,205	0,264	1,288
	Vert.	0,210		
	N-S	0,202	0,288	1,426
05-may-06	E-O	0,058	0,123	2,121
	Vert.	0,088		
	N-S	0,448	0,093	0,208
09-may-06	E-O	1,045	1,138	1,089
	Vert.	0,458		
	N-S	0,714	1,086	1,521
05-ago-06	E-O	12,480	9,052	0,725
	Vert.	5,303		
	N-S	9,756	7,605	0,780
05-ago-06	E-O	0,193	0,230	1,192
	Vert.	0,122		
	N-S	0,154	0,139	0,903
05-ago-06	E-O	0,092	0,130	1,413
	Vert.	0,058		
	N-S	0,033	0,053	1,606
06-ago-06	E-O	0,135	0,113	0,837
	Vert.	0,213		
	N-S	0,133	0,100	0,752
06-ago-06	E-O	0,139	0,135	0,971
	Vert.	0,253		
	N-S	0,159	0,125	0,786
12-sep-06	E-O	0,090	0,156	1,733
	Vert.	0,070		
	N-S	0,081	0,118	1,457
17-sep-06	E-O	0,784	1,016	1,296
	Vert.	0,491		
	N-S	0,960	1,008	1,050
19-sep-06	E-O	0,093	0,094	1,011
	Vert.	0,099		
	N-S	0,092	0,088	0,957
24-sep-06	E-O	0,427	0,754	1,766
	Vert.	0,231		
	N-S	0,386	0,555	1,438
12-oct-06	E-O	0,458	0,674	1,472
	Vert.	0,152		
	N-S	0,421	0,796	1,891
13-oct-06	E-O	0,084	0,220	2,619
	Vert.	0,054		
	N-S	0,108	0,259	2,398
21-oct-06	E-O	0,398	0,452	1,136
	Vert.	0,441		
	N-S	0,317	0,312	0,984
19-nov-06	E-O	0,157	0,306	1,949
	Vert.	0,192		
	N-S	0,229	0,267	1,166

(*) Registros que corresponden a una instancia previa a los trabajos de desacople de las escaleras del edificio con aislamiento sísmico.

En la Tabla 10.4. se resume la comparativa entre los valores de aceleraciones registrados debajo del sistema de aislamiento y el techo del edificio con base fija. En la última columna de la tabla se evalúa el grado de amplificación o reducción de la aceleración entre los dos niveles comparados.

Tabla 10.4: Comparativa entre las aceleraciones registradas debajo del sistema de aislamiento y el techo del edificio con fundación tradicional.

Sismo	Componente	Aceleración a nivel sistema aislamiento (A) (%g)	Aceleración en el techo del edificio con base fija (B) (%g)	Razón (B/A)
09-sep-05	E-O	1,560	3,512	2,25
	Vert.	0,656	1,224	1,87
	N-S	1,336	5,728	4,29
08-ene-05	E-O	0,205	0,394	1,92
	Vert.	0,210	0,394	1,88
	N-S	0,202	1,376	6,81
05-may-06	E-O	0,058	0,196	3,38
	Vert.	0,088	0,090	1,02
	N-S	0,448	0,364	0,81
09-may-06	E-O	1,045	2,823	2,70
	Vert.	0,458	0,596	1,30
	N-S	0,714	4,602	6,45
05-ago-06	E-O	12,480	24,632	1,97
	Vert.	5,303	12,392	2,34
	N-S	9,756	40,648	4,17
05-ago-06	E-O	0,193	0,712	3,69
	Vert.	0,122	0,322	2,64
	N-S	0,154	0,552	3,58
05-ago-06	E-O	0,092	0,354	3,85
	Vert.	0,058	0,127	2,19
	N-S	0,033	0,152	4,61
06-ago-06	E-O	0,135	0,738	5,47
	Vert.	0,213	0,494	2,32
	N-S	0,133	0,565	4,25
06-ago-06	E-O	0,139	0,404	2,91
	Vert.	0,253	0,501	1,98
	N-S	0,159	0,553	3,48
12-sep-06	E-O	0,090	0,271	3,01
	Vert.	0,070	0,094	1,34
	N-S	0,081	0,422	5,21
17-sep-06	E-O	0,784	1,976	2,52
	Vert.	0,491	1,056	2,15
	N-S	0,960	3,192	3,33
19-sep-06	E-O	0,093	0,234	2,52
	Vert.	0,099	0,182	1,84
	N-S	0,092	0,399	4,34
24-sep-06	E-O	0,427	1,568	3,67
	Vert.	0,231	0,470	2,03
	N-S	0,386	1,512	3,92
12-oct-06	E-O	0,458	0,646	1,41
	Vert.	0,152	0,187	1,23
	N-S	0,421	1,788	4,25
13-oct-06	E-O	0,084	0,189	2,25
	Vert.	0,054	0,077	1,43
	N-S	0,108	0,374	3,46
21-oct-06	E-O	0,398	1,258	3,16
	Vert.	0,441	1,625	3,68
	N-S	0,317	1,399	4,41
19-nov-06	E-O	0,157	0,706	4,50
	Vert.	0,192	0,404	2,10
	N-S	0,229	1,140	4,98

En la Tabla 10.5. se resume la comparativa entre los valores de aceleraciones registrados a nivel del techo del edificio con aislamiento sísmico y el techo del edificio con base fija. En la última columna de la tabla se evalúa el grado de reducción de las aceleraciones registradas en el edificio aislado con relación al de base fija.

Tabla 10.5: Comparativa entre las aceleraciones registradas a nivel del techo del edificio con aislamiento sísmico y el techo del edificio con fundación tradicional.

Sismo	Componente	Aceleración en el techo del edificio con aislamiento (A) (%g)	Aceleración en el techo del edificio con base fija (B) (%g)	Razón (A/B)
09-sep-05 (*)	E-O	1,856	3,512	0,53
	Vert.		1,224	
	N-S	1,928	5,728	0,34
08-ene-05 (*)	E-O	0,264	0,394	0,67
	Vert.		0,394	
	N-S	0,288	1,376	0,21
05-may-06	E-O	0,123	0,196	0,63
	Vert.		0,090	
	N-S	0,093	0,364	0,26
09-may-06	E-O	1,138	2,823	0,40
	Vert.		0,596	
	N-S	1,086	4,602	0,24
05-ago-06	E-O	9,052	24,632	0,37
	Vert.		12,392	
	N-S	7,605	40,648	0,19
05-ago-06	E-O	0,230	0,712	0,32
	Vert.		0,322	
	N-S	0,139	0,552	0,25
05-ago-06	E-O	0,130	0,354	0,37
	Vert.		0,127	
	N-S	0,053	0,152	0,35
06-ago-06	E-O	0,113	0,738	0,15
	Vert.		0,494	
	N-S	0,100	0,565	0,18
06-ago-06	E-O	0,135	0,404	0,33
	Vert.		0,501	
	N-S	0,125	0,553	0,23
12-sep-06	E-O	0,156	0,271	0,58
	Vert.		0,094	
	N-S	0,118	0,422	0,28
17-sep-06	E-O	1,016	1,976	0,51
	Vert.		1,056	
	N-S	1,008	3,192	0,32
19-sep-06	E-O	0,094	0,234	0,40
	Vert.		0,182	
	N-S	0,088	0,399	0,22
24-sep-06	E-O	0,754	1,568	0,48
	Vert.		0,470	
	N-S	0,555	1,512	0,37
12-oct-06	E-O	0,674	0,646	1,04
	Vert.		0,187	
	N-S	0,796	1,788	0,45
13-oct-06	E-O	0,220	0,189	1,16
	Vert.		0,077	
	N-S	0,259	0,374	0,69
21-oct-06	E-O	0,452	1,258	0,36
	Vert.		1,625	
	N-S	0,312	1,399	0,22
19-nov-06	E-O	0,306	0,706	0,43
	Vert.		0,404	
	N-S	0,267	1,140	0,23

(*) Registros que corresponden a una instancia previa a los trabajos de desacople de las escaleras del edificio con aislamiento sísmico.

De los valores de los registros de aceleraciones resumidos en las tablas anteriores se concluye en lo siguiente:

- i) En diez registros, de los diecisiete estudiados, las aceleraciones registradas, inmediatamente por encima del sistema de aislamiento, aumentan ligeramente comparadas con las medidas debajo del mismo. En los restantes siete registros las aceleraciones se reducen y dicha reducción es más evidente cuando el sismo es más importante. Esta conclusión concuerda con el criterio de diseño del sistema de aislamiento sobre todo porque el mismo ha sido proyectado con un criterio conservador y para terremotos severos.
- ii) En las comparativas de las aceleraciones registradas a nivel del techo del edificio con aislamiento sísmico, no es posible contar con información sobre la componente vertical debido a que no fue posible, por razones económicas, la instalación de un sensor que registrara en esa dirección. En catorce registros, del total estudiado, se encontró que las aceleraciones horizontales, registradas a nivel del techo del edificio con aislamiento sísmico, aumentan entre un valor mínimo del 5% a un valor máximo del 162 %. En los restantes tres casos las aceleraciones horizontales se reducen, el valor de dicha reducción es más evidente en la medida que la importancia del sismo aumenta.
- iii) Las aceleraciones registradas a nivel del techo del edificio con fundación tradicional aumentan fuertemente comparadas con las medidas a nivel del sistema de aislamiento o las registradas en campo libre (Estación: Laboratorio de Estructuras). En las aceleraciones verticales se observan incrementos entre un valor mínimo del 3% a un valor máximo del 270 %, mientras que las aceleraciones horizontales aumentan entre un valor mínimo del 40 % y un máximo del 581 %.
- iv) Las aceleraciones registradas a nivel del techo del edificio con fundación tradicional aumentan fuertemente comparadas con las medidas al mismo nivel, en el edificio con aislamiento sísmico. Las aceleraciones horizontales en el techo del primer edificio aumentan entre un valor mínimo del 44% a un máximo del 553 % en relación a las aceleraciones medidas en el techo del segundo.

- v) Los resultados de aceleración registrados (edificio con aislamiento sísmico vs. edificio con fundación tradicional) ponen de manifiesto la conveniencia de la implementación de sistemas de aislamiento sísmico en las construcciones civiles.

En el Anexo (E) se presentan los acelerogramas de los doce canales, expresados en forma cualitativa y con el objeto de comparar visualmente las aceleraciones registradas a nivel del sistema de aislamiento (canales 1, 2, 3), con las medidas por encima del mismo (canales 10, 11, 12), o con las registradas a nivel de techo del edificio con aislamiento sísmico (canales 8, 9) o las del edificio con fundación tradicional (canales 4, 5, 6).

Para controlar las rotaciones en planta del edificio con aislamiento de base, se ha dispuesto un sensor emplazado inmediatamente encima del sistema de aislamiento, en uno de los vértices del edificio (ver Tabla 9.28 y Fig. 9.29 del capítulo 9). Dicho sensor provee registros de aceleraciones en la componente E-O y los valores medidos en él pueden compararse con la misma componente del sensor triaxial ubicado en el baricentro geométrico del nivel (Planta Baja, inmediatamente encima del sistema de aislamiento). En la Tabla 10.6 se resumen las diferencias de desplazamientos entre ambos puntos y la rotación del edificio frente a la ocurrencia de cinco de los sismos registrados por el instrumental. Los sismos seleccionados corresponden a los de mayor magnitud.

Tabla 10.6: Desplazamientos relativos y rotaciones del edificio con aislamiento sísmico.

Desplazamiento y rotaciones	Sismos				
	09/09/05	05/08/06	17/09/06	24/09/06	12/10/06
$\Delta_{\text{desplazamiento}}$ (cm)	0.006	0.003	0.01	0.002	0.002
Rotación en (°)	1.39E-05	6.97E-06	2.325E-05	4.651E-06	4.651E-06
Rotación en radianes	2.43E-07	1.22E-07	4.058E-07	8.12E-08	8.12E-08

Los resultados indicados en la tabla precedente indican que los efectos torsionales y rotacionales del conjunto aislado pueden considerarse despreciables, por lo tanto la respuesta

en términos de rotación en planta del edificio no es relevante frente a los desplazamientos horizontales y verticales.

10.3. Validación del modelo teórico

Con los registros y resultados obtenidos de la instrumentación sísmica instalada en los edificios de la residencia de estudiantes, es posible validar el modelo teórico utilizado para el diseño del sistema de aislamiento. Los resultados teóricos fueron desarrollados en el capítulo 7 y sus conclusiones preliminares presentadas en el capítulo 8.

La validación del modelo teórico representa una instancia importante del trabajo de tesis debido a que permite incorporar parámetros correctivos para predecir la respuesta, en este caso del edificio con aislamiento sísmico, o bien confirmar los resultados obtenidos. Para dicha validación se realizaron ensayos a escala real en el edificio (ver punto 9.2.2.2. del capítulo 9) sin embargo, para este tramo de la tesis la validación se realiza mediante los registros y resultados obtenidos de la instrumentación sísmica.

El procedimiento de validación que se presenta consiste en comparar las respuestas, en término de aceleraciones y desplazamientos, obtenidas para el modelo teórico, con lo realmente registrado en los edificios. Dicha comparativa se realiza tanto para el edificio con aislamiento sísmico como para la torre de fundación tradicional. Se compararon las respuestas obtenidas (modelo teórico vs. registros instrumentales) para cinco de los sismos (los de mayor magnitud) indicados en la Tabla 10.1. Los sismos utilizados para la validación del modelo son los ocurridos el: 09/09/2005, 05/08/2006, 17/09/2006 y 12/10/2006. En el Anexo (E) se presentan los acelerogramas en sus tres direcciones.

En las Tablas 10.7 y 10.8, se resumen las comparativa para el edificio con aislamiento sísmico de las respuestas en términos de aceleraciones y desplazamientos respectivamente, mientras que en las Tablas 10.9 y 10.10 se muestran los mismos resultados pero para el edificio de fundación tradicional.

Tabla 10.7: Comparativa de la respuesta en términos de aceleración para el edificio con aislamiento sísmico entre, los resultados obtenidos del modelo teórico y los realmente registrados por el instrumental sísmico.

SISMO DEL 09/09/2005			
Nivel	Dirección de la aceleración	Aceleraciones medidas en edificio con aislamiento sísmico (cm/seg ²)	Aceleraciones obtenidas con el modelo teórico (SAP2000) (cm/seg ²)
Planta Baja (Por encima del sistema de aislamiento)	U1	18,40	16,72
	U2	14,11	15,09
	U3	14,81	18,80
Techo del edificio con aislamiento de base	U1	18,97	17,64
	U2	18,16	16,79
SISMO DEL 05/08/2006			
Nivel	Dirección de la aceleración	Aceleraciones medidas en edificio con aislamiento sísmico (cm/seg ²)	Aceleraciones obtenidas con el modelo teórico (SAP2000) (cm/seg ²)
Planta Baja (Por encima del sistema de aislamiento)	U1	77,33	71,50
	U2	79,20	77,58
	U3	59,46	60,20
Techo del edificio con aislamiento de base	U1	74,06	74,65
	U2	88,22	85,64
SISMO DEL 17/09/2006			
Nivel	Dirección de la aceleración	Aceleraciones medidas en edificio con aislamiento sísmico (cm/seg ²)	Aceleraciones obtenidas con el modelo teórico (SAP2000) (cm/seg ²)
Planta Baja (Por encima del sistema de aislamiento)	U1	6,64	8,57
	U2	8,84	8,65
	U3	9,68	12,58
Techo del edificio con aislamiento de base	U1	9,90	9,41
	U2	9,90	8,23
SISMO DEL 24/09/2006			
Nivel	Dirección de la aceleración	Aceleraciones medidas en edificio con aislamiento sísmico (cm/seg ²)	Aceleraciones obtenidas con el modelo teórico (SAP2000) (cm/seg ²)
Planta Baja (Por encima del sistema de aislamiento)	U1	4,85	4,50
	U2	3,21	2,88
	U3	4,74	5,57
Techo del edificio con aislamiento de base	U1	7,34	7,15
	U2	5,44	4,33
SISMO DEL 12/10/2006			
Nivel	Dirección de la aceleración	Aceleraciones medidas en edificio con aislamiento sísmico (cm/seg ²)	Aceleraciones obtenidas con el modelo teórico (SAP2000) (cm/seg ²)
Planta Baja (Por encima del sistema de aislamiento)	U1	3,83	4,92
	U2	3,56	3,05
	U3	3,14	3,82
Techo del edificio con aislamiento de base	U1	7,80	8,32
	U2	6,59	5,39

Tabla 10.8: Comparativa de la respuesta en términos de desplazamientos para el edificio con aislamiento sísmico entre, los resultados obtenidos del modelo teórico y los realmente registrados por el instrumental sísmico.

SISMO DEL 09/09/2005			
Nivel	Dirección del desplazamiento	Desplazamientos medidos en edificio con aislamiento sísmico (cm)	Desplazamiento obtenidos con el modelo teórico (SAP2000) (cm)
Planta Baja (Por encima del sistema de aislamiento)	U1	0,119	0,093
	U2	0,113	0,095
	U3	0,050	0,037
Techo del edificio con aislamiento de base	U1	0,161	0,145
	U2	0,135	0,119
SISMO DEL 05/08/2006			
Nivel	Dirección del desplazamiento	Desplazamientos medidos en edificio con aislamiento sísmico (cm)	Desplazamiento obtenidos con el modelo teórico (SAP2000) (cm)
Planta Baja (Por encima del sistema de aislamiento)	U1	0,429	0,517
	U2	0,516	0,574
	U3	0,226	0,187
Techo del edificio con aislamiento de base	U1	0,732	0,721
	U2	0,941	0,857
SISMO DEL 17/09/2006			
Nivel	Dirección del desplazamiento	Desplazamientos medidos en edificio con aislamiento sísmico (cm)	Desplazamiento obtenidos con el modelo teórico (SAP2000) (cm)
Planta Baja (Por encima del sistema de aislamiento)	U1	0,090	0,095
	U2	0,162	0,133
	U3	0,050	0,043
Techo del edificio con aislamiento de base	U1	0,136	0,139
	U2	0,168	0,145
SISMO DEL 24/09/2006			
Nivel	Dirección del desplazamiento	Desplazamientos medidos en edificio con aislamiento sísmico (cm)	Desplazamiento obtenidos con el modelo teórico (SAP2000) (cm)
Planta Baja (Por encima del sistema de aislamiento)	U1	0,031	0,027
	U2	0,028	0,022
	U3	0,016	0,012
Techo del edificio con aislamiento de base	U1	0,048	0,041
	U2	0,037	0,029
SISMO DEL 12/10/2006			
Nivel	Dirección del desplazamiento	Desplazamientos medidos en edificio con aislamiento sísmico (cm)	Desplazamiento obtenidos con el modelo teórico (SAP2000) (cm)
Planta Baja (Por encima del sistema de aislamiento)	U1	0,089	0,109
	U2	0,064	0,051
	U3	0,035	0,026
Techo del edificio con aislamiento de base	U1	0,099	0,149
	U2	0,089	0,079

Tabla 10.9: Comparativa de la respuesta en términos de aceleración para el edificio con fundación tradicional, entre los resultados obtenidos del modelo teórico y los realmente registrados por el instrumental sísmico.

SISMO DEL 09/09/2005			
Nivel	Dirección de la aceleración	Aceleraciones medidas en edificio de base fija (cm/seg ²)	Aceleraciones obtenidas con el modelo teórico (SAP2000) (cm/seg ²)
Techo del edificio con fundación tradicional	U1	55,98	56,60
	U2	34,48	32,49
	U3	12,15	19,34
SISMO DEL 05/08/2006			
Nivel	Dirección de la aceleración	Aceleraciones medidas en edificio de base fija (cm/seg ²)	Aceleraciones obtenidas con el modelo teórico (SAP2000) (cm/seg ²)
Techo del edificio con fundación tradicional	U1	398,04	434,08
	U2	241,68	291,46
	U3	121,04	156,01
SISMO DEL 17/09/2006			
Nivel	Dirección de la aceleración	Aceleraciones medidas en edificio de base fija (cm/seg ²)	Aceleraciones obtenidas con el modelo teórico (SAP2000) (cm/seg ²)
Techo del edificio con fundación tradicional	U1	31,38	35,28
	U2	19,34	14,06
	U3	10,31	16,97
SISMO DEL 24/09/2006			
Nivel	Dirección de la aceleración	Aceleraciones medidas en edificio de base fija (cm/seg ²)	Aceleraciones obtenidas con el modelo teórico (SAP2000) (cm/seg ²)
Techo del edificio con fundación tradicional	U1	14,76	16,09
	U2	15,39	13,69
	U3	4,62	3,53
SISMO DEL 12/10/2006			
Nivel	Dirección de la aceleración	Aceleraciones medidas en edificio de base fija (cm/seg ²)	Aceleraciones obtenidas con el modelo teórico (SAP2000) (cm/seg ²)
Techo del edificio con fundación tradicional	U1	17,55	16,64
	U2	6,38	7,53
	U3	1,82	2,45

Tabla 10.10: Comparativa de la respuesta en términos de desplazamientos para el edificio con fundación tradicional entre, los resultados obtenidos del modelo teórico y los realmente registrados por el instrumental sísmico.

SISMO DEL 09/09/2005			
Nivel	Dirección del desplazamiento	Desplazamientos medidos en edificio de base fija (cm)	Desplazamiento obtenidos con el modelo teórico (SAP2000) (cm)
Techo del edificio de con fundación tradicional	U1	0,103	0,150
	U2	0,122	0,085
	U3	0,037	0,023
SISMO DEL 05/08/2006			
Nivel	Dirección del desplazamiento	Desplazamientos medidos en edificio de base fija (cm)	Desplazamiento obtenidos con el modelo teórico (SAP2000) (cm)
Techo del edificio de con fundación tradicional	U1	0,562	0,492
	U2	0,441	0,344
	U3	0,157	0,209
SISMO DEL 17/09/2006			
Nivel	Dirección del desplazamiento	Desplazamientos medidos en edificio de base fija (cm)	Desplazamiento obtenidos con el modelo teórico (SAP2000) (cm)
Techo del edificio de con fundación tradicional	U1	0,142	0,110
	U2	0,097	0,067
	U3	0,047	0,023
SISMO DEL 24/09/2006			
Nivel	Dirección del desplazamiento	Desplazamientos medidos en edificio de base fija (cm)	Desplazamiento obtenidos con el modelo teórico (SAP2000) (cm)
Techo del edificio de con fundación tradicional	U1	0,035	0,045
	U2	0,039	0,028
	U3	0,014	0,023
SISMO DEL 12/10/2006			
Nivel	Dirección del desplazamiento	Desplazamientos medidos en edificio de base fija (cm)	Desplazamiento obtenidos con el modelo teórico (SAP2000) (cm)
Techo del edificio de con fundación tradicional	U1	0,062	0,041
	U2	0,085	0,063
	U3	0,033	0,023

De los resultados indicados en las tablas (10.7 a 10.10) se concluye en lo siguiente

- i) Los valores de aceleraciones obtenidas con el modelo teórico, para todos los casos estudiados, muestran una concordancia aceptable con las realmente medidas por el instrumental sísmico instalado. A los fines prácticos del diseño, las respuestas que surgen del modelo teórico resultan admisibles.
- ii) Los valores de desplazamientos obtenidos con el modelo teórico, para todos los casos estudiados, muestran una concordancia aceptable con las realmente medidas por el instrumental sísmico instalado. A los fines prácticos del diseño, las respuestas que surgen del modelo teórico resultan admisibles.

- iii) La similitud de los valores encontrados, entre las dos instancias comparadas, indican que el tipo de análisis y la modelación realizada resultan adecuados a los fines de la predicción teórica tanto para el edificio con aislamiento sísmico como para el de fundación tradicional.
- iv) El programa utilizado (SAP2000) para realizar los dos tipos análisis (lineal y no lineal en el espacio del tiempo) predice en forma aceptable las respuestas, tanto del edificio con aislamiento sísmico, como para el de fundación tradicional.

Los resultados y conclusiones precedentes han permitido validar el modelo teórico y con ello los resultados obtenidos durante la etapa de diseño y predicción de la respuesta de los sistemas de aislamiento sísmico analizados en la presente tesis.

10.4 Resumen

En el presente capítulo se han resumido las características más relevantes de los sismos registrados por el instrumental sísmico instalado en la residencia de estudiantes al momento de la redacción del presente capítulo (enero-2007). Se ha realizado una comparativa entre las respuestas del edificio con aislamiento sísmico y el edificio de fundación tradicional, los registros de aceleraciones disponibles permiten establecer conclusiones sobre el comportamiento de ambas estructuras. Se han verificado los resultados del modelo teórico mediante respuestas en términos de aceleraciones y desplazamientos en puntos singulares de los dos edificios analizados, los resultados obtenidos conducen a conclusiones sobre la exactitud del modelo teórico utilizado en la etapa de diseño para predecir la respuesta del conjunto aislado y del edificio con fundación tradicional, resultados que pueden considerarse aceptables para validar el modelo teórico.

En el anexo E, se incorporan las tablas de los picos de aceleración, velocidad y desplazamiento de los sismos registrados por el instrumental sísmico, los registros (cualitativos) de los doce canales para comparar visualmente las ventajas del sistema de aislamiento sobre el edificio con fundación tradicional y los acelerogramas de los sismos utilizados para validar el modelo teórico.