

Comparación cualitativa e instrumental de respuestas del edificio aislado y de base fija de la Residencia Universitaria de la FRM

Miguel Tornello¹; Gustavo Gioacchini¹; Kevyn Cenas²; Alejandro Tillar²

Resumen: La ingeniería sísmica ha desarrollado en las últimas décadas nuevas estrategias para controlar y reducir el daño de las construcciones frente a terremotos destructivos. Entre ellas se destacan los dispositivos de disipación de energía y los sistemas de aislamiento sísmico. Estas dos estrategias han planteado un cambio de paradigma de la ingeniería estructural sismorresistente, por lo tanto, son muy utilizadas a nivel mundial, pero con una muy escasa aplicación a nivel local y nacional. El presente trabajo sintetiza las respuestas sísmicas medidas en términos de aceleraciones y desplazamientos del edificio aislado de la FRM UTN perteneciente a la residencia de estudiantes de la Facultad. Los resultados corresponden a un periodo de tiempo de más de veinte años a partir del momento en que se registró el primer movimiento sísmico sensible en la región, 2005. El proyecto del sistema de aislamiento del edificio, posee instrumental sísmico para el monitoreo tanto del edificio protegido sísmicamente como de otro idéntico, pero, con fundaciones tradicionales. La instrumentación permite comparar las respuestas del edificio de base fija con el edificio aislado los cuales, se encuentran separados por escasos metros. Los resultados encontrados a lo largo de más de dos décadas, no solamente muestran la eficiencia de los dispositivos de aislamiento sísmico instalados y la conveniencia del uso de esta estrategia en construcciones emplazadas en regiones de alto riesgo sísmico sino también, la adecuada performance que ha tenido el instrumental sísmico que se encuentra instalado en el proyecto.

Palabras claves: aislamiento sísmico, instrumental sísmico, registros sísmicos, respuestas estructurales.

Introducción:

Aproximadamente un tercio de la población mundial habita en zonas expuestas al riesgo sísmico y habitan en edificios con escasas prescripciones sísmicas o bien diseñados con códigos antiguos y obsoletos. Los terremotos son fenómenos recurrentes, pero fuertemente irregulares en cuanto al tiempo de ocurrencia. Precisamente dicho aspecto incide de manera negativa, para ciertas regiones sísmicas, sobre la conciencia de las personas, en general, y de los gobiernos en particular quienes tienen la responsabilidad de asignar los recursos económicos para reducir las vulnerabilidades de las obras esenciales, las cuales, podrían conducir al colapso de las construcciones (**Murase M. et al, 2013**).

Las construcciones tradicionales diseñadas con códigos modernos pueden considerarse como un progreso significativo dentro de la ingeniería, sin embargo, las mismas siguen presentando limitaciones frente a terremotos destructivos. Precisamente por esta causa es que la atención de muchas investigaciones se ha centrado, en las últimas dos o tres décadas, en poner a punto tecnologías innovadoras para reducir los efectos de los terremotos. Estas nuevas tecnologías, en general, persiguen dos objetivos, el primero superar las limitaciones de una construcción tradicional (admitir daños considerables frente a fuertes terremotos, incluida la inutilización del edificio, aún construidos con códigos modernos) y la segunda asistir las construcciones existentes con escasa o ninguna prescripción sísmica (**Tornello M. y Sarrazin M, 2007**).

Las estrategias de protección sísmica más utilizadas y difundidas a nivel mundial son, el aislamiento sísmico y los dispositivos de disipación de energía, ambas han mostrados resultados satisfactorios en regiones sísmicas de muy elevada peligrosidad sísmica (**Martelli A., 2005**).

Sobre ambas estrategias existen numerosas aplicaciones a nivel mundial (a excepción de nuestro país). Se conoce que la energía sísmica se transmite a la estructura a través de la fundación, por lo tanto, el principio general del aislamiento sísmico es desacoplar la construcción del movimiento del terreno. Dicho aislamiento se realiza usualmente insertando, entre la construcción y la fundación, dispositivos de apoyo con baja rigidez horizontal y/o vertical que permiten liberar los desplazamientos de la construcción como consecuencia del terremoto (**Tornello M. y Sarrazin M., 2007**).

El nivel de seguridad que se consigue con los sistemas de aislamiento sísmico es mayor que el logrado por una construcción

sismorresistente convencional aún para terremotos destructivos que causan graves daños en las construcciones y el colapso de aquellas con escasas prescripciones sísmicas (**Tornello M., et al, 2013**).

En la línea de pensamiento precedente, en el año 2002 se iniciaron en el CeReDeTeC proyectos de investigación relacionados con la protección sísmica. En tal sentido una de los primeros proyectos en el país fue la residencia de estudiantes de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional, la cual es un conjunto de tres torres, cuya construcción fue finalizada en el año 2005, con el objeto de facilitarles un lugar de estadía a los alumnos que residen fuera de la ciudad de Mendoza; el complejo lo completa un edificio de dos niveles para administración y aulas de posgrado (**Tornello M. y Frau C., 2010**). El sector de residencia, perfectamente diferenciado del anterior, se compone de tres edificios de tres niveles cada uno con idénticas características arquitectónicas y estructurales. Esos edificios fueron designados en la etapa de proyecto como Torres 1, 2 y 3 (T1, T2, T3) y su destino es dormitorios para los residentes y visitantes.

La torre T3 se caracteriza por estar montada sobre un sistema de aislamiento sísmico de base mientras que la T1 y T2 fueron construidas de manera tradicional, es decir, con base fija. A fines del año 2005 se procedió a la instrumentación sísmica de las torres T2 y T3 las cuales están separadas entre sí por escasos metros; situación que ha permitido, desde su concreción, comparar sus respuestas ante la ocurrencia de sismos menores sentidos en la región ya sea de foco cercano como de epicentros lejanos (**Tornello M. et al, 2010**).

En el presente trabajo se realiza una descripción de la metodología implementada para la adquisición de datos de la instrumentación sísmica, se muestran los resultados de los sismos más relevantes de los últimos años y se comparan las respuestas medidas a través del instrumental sísmico instalado en la torre T3, con aislamiento sísmico, y en la torre T2, con base fija. Los resultados obtenidos indican la conveniencia del uso del aislamiento sísmico como técnica de protección y además el correcto funcionamiento del conjunto sistema de aislamiento – edificio fundamentalmente en aspectos relacionados con el desacoplamiento de las obras complementarias.

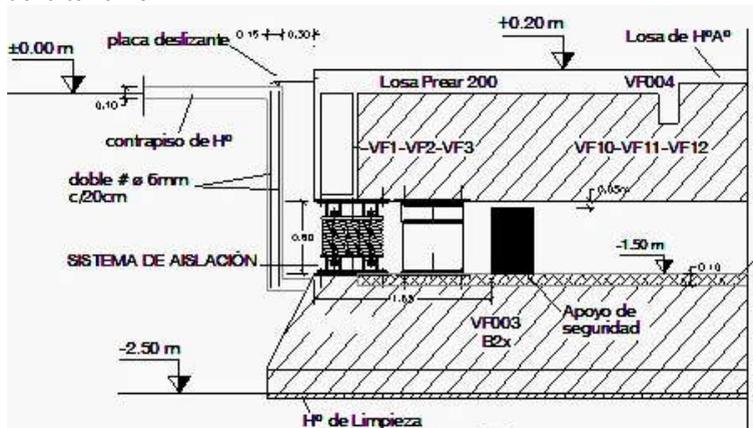
Materiales y Métodos

Características principales del edificio con aislamiento sísmico:

Los tres edificios destinados a dormitorios poseen las mismas características arquitectónicas y estructurales, constan de tres niveles y planta rectangular de (8,0 x 7,60 m). La superficie de cada torre destinada a dormitorios es de 176 m², lo que hace un total de 528 m² entre los tres edificios. Todos los cuerpos del complejo fueron construidos con estructura de hormigón armado y mampostería encadenada y armada. Los muros exteriores son de mampostería (ladrillo macizo cocido) con espesores de 20 y 30 cm. Los entrepisos y cubierta de techo están conformados por una losa prefabricada plana y una capa de hormigón armado superior para lograr una estructura monolítica. Las divisiones interiores han sido realizadas con placas de roca de yeso. Las fundaciones han sido resueltas con base corridas y vigas rígidas de fundación incorporadas a dichas bases de hormigón armado. La cota de fundación de las bases corridas se ubica entre -2,00 y -2,50 m) (Tornello M. y Sarrazín M, 2007). En la Fig. 1 se muestra el emplazamiento relativo de los dispositivos de aislamiento en relación a la superestructura.

Figura 1

Emplazamiento de los dispositivos del sistema de aislamiento debajo de la torre T3



El sistema de aislamiento instalado en la torre T3 permite desplazamientos verticales y horizontales y provee amortiguamiento en las mismas direcciones a través del trabajo conjunto de los aisladores de resortes de acero y amortiguadores viscosos (Tornello

M., 2012). Las masas del edificio con aislamiento sísmico se indican en la Tabla 1; los valores indicados en la misma incluyen una participación del 25% de la carga viva. A los efectos comparativos se indican también los datos de la torre T2, de base fija. Con relación al edificio aislado, la masa del primer nivel incluye la correspondiente al nivel considerado más la correspondiente a la losa y vigas inmediatamente por encima del sistema de aislamiento. Las masas correspondientes a los dispositivos de aislamiento se han despreciado debido a su escasa incidencia.

Tabla 1

Masas del edificio aislado y del edificio con base fija

Nivel	Edificio con base fija (kN. s ² /m)	Edificio con aislamiento sísmico (kN. s ² /m)
1	69.06	158.77
2	56.33	56.33
3	46.96	46.96
Total	172.35	262.06

Características de los dispositivos de aislamiento sísmico:

Los dispositivos de aislamiento fueron provistos por la firma Gerb ® fabricados en Alemania. El sistema de aislamiento está compuesto por cuatro paquetes de resortes y cuatro amortiguadores independientes de eje vertical (Visco ®), fabricados por la misma empresa y dispuestos en cada vértice del edificio, debajo de la viga perimetral que soporta la superestructura (Tornello M., 2012). Los sistemas de resortes para aislamiento sísmico (GERB Control System ®, GCS) fueron originalmente diseñados, para controlar las vibraciones que generaban las turbinas en plantas hidroeléctricas y posteriormente extendidos a construcciones civiles (**Nawrotzki P., 2001**). El aislador está conformado por paquetes de resortes con baja rigidez en sentido horizontal y vertical, sin embargo, para aumentar el amortiguamiento del sistema de aislamiento se instalan en paralelo con amortiguadores visco elásticos (Visco®), (Fig. 2a y 2b).

Figura 2a.

Paquetes de resortes metálicos

Figura 2b.

Amortiguadores viscoelásticos



La cantidad de resortes que componen el paquete es función de la rigidez vertical, horizontal y de las capacidades a cargas estáticas y dinámicas impuestas por las acciones en servicio y sísmicas. Como consecuencia de una mayor carga vertical en uno de los perímetros del edificio, dos de los paquetes están compuestos por 30 resortes, con una capacidad de carga vertical de 921 kN y los otros dos por 28 resortes con una capacidad de carga vertical de 768 kN (**Tornello M., 2012**). En Tabla 2 se resumen las características principales del sistema de aislamiento. La rigidez horizontal y vertical de los resortes son funciones del módulo de corte del material del resorte, diámetro de la espira que conforma el resorte, número de espiras activas, diámetro exterior del resorte y altura libre del resorte [6]. La rigidez lateral de los resortes, sujetos a acciones dinámicas se encuentra influenciada por un efecto combinado de flexión y torsión (**Nawrotzki P., 2001**).

Tabla 2

Parámetros de diseño principales del sistema de aislamiento

Parámetro	Notación	28 resortes	30 resortes	Unidad
Capacidad nominal carga vertical	F_v	768	921	kN
Rigidez vertical	K_v	29500	35400	kN/m
Rigidez horizontal	K_h	3940	4730	kN/m
Amortiguamiento horizontal	c_h	26	26	%
Amortiguamiento vertical	c_v	13	13	%
Diámetro exterior del resorte	D	105	105	mm
Diámetro espira resorte	d	26	26	mm
Altura libre del resorte	h_s	271	272	mm

Instrumental sísmico instalado:

Los instrumentos instalados son acelerómetros marca Kinematics, modelo Altus K2 con un sensor triaxial interno. El mismo actúa como central de adquisición de datos y es el receptor de otros nueve canales externos de registros de aceleración, por lo tanto, el sistema

instalado tiene capacidad para el registro simultáneo de aceleración, de doce canales (**Tornello M., et al., 2012**). El emplazamiento de sensores se resume en la Tabla 3, mientras que en Figura 3 se representa gráficamente la ubicación en el edificio con aislamiento sísmico.

En la Torre 2, que corresponde al edificio de base fija, se encuentra instalado en la cubierta de techo un sensor triaxial que permite el registro sísmico de las tres componentes del movimiento. La T2 se emplaza a escasos metros del edificio aislado por lo tanto los valores registrados en el edificio permiten compararse con los resultados obtenidos en las componentes 8 y 9 del edificio con aislamiento sísmico. Los resultados de las comparaciones, junto a los valores de los desplazamientos del edificio aislado, serán tratados y mostrados en los párrafos siguientes (Figura 7).

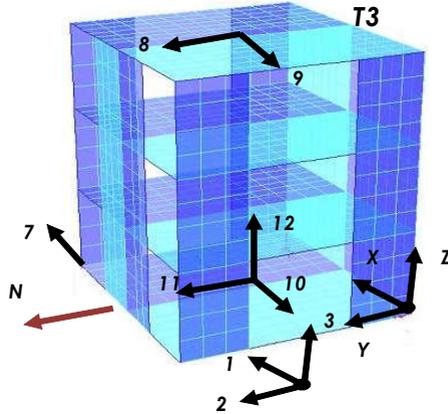
Tabla 3

Emplazamiento de sensores del sistema de adquisición de datos

Nº de Canal	Sentido de registro	Emplazamiento	Característica	Tipo de Sensor
1	E - O	Subsuelo del edificio de la (Torre 3)	Triaxial (2g)	Altus K2
2	S - N			
3	Vertical			
7	E - O	PB (por encima sistema de aislamiento) de T3, en el vértice noreste.	Uniaxial (2g)	Sensor uniaxial
8	S - N	Techo edificio con aislamiento sísmico (Torre 3).	Uniaxial (2g)	Sensor uniaxial
9	E - O	Techo edificio con aislamiento sísmico (Torre 3).	Uniaxial (2g)	Sensor uniaxial
10 11 12	E - O S - N Vertical	PB (encima sistema de aislamiento) de T3 en el baricentro de la planta.	Triaxial (2g)	Sensor triaxial

Figura 3.

Esquema del instrumental instalado y dirección de registraci3n en la T3



En la Figura 4 se muestran algunos de los sensores sísmicos instalados en los distintos niveles del edificio y sus protecciones metálicas.

Figura 4.

Sensores sísmicos instalados en puntos estratégicos del edificio con aislamiento sísmico.



Procesamiento de los registros sísmicos:

El procesamiento de los registros sísmicos tiene por objeto determinar las respuestas del edificio aislado y la del edificio con base fija, en términos de aceleraciones y desplazamientos. Los resultados obtenidos permiten comparar el comportamiento de ambos edificios. Los parámetros que caracterizan a los terremotos tienen importancia en la respuesta tanto de las estructuras con base fija como en la de estructuras con aislamiento de base. Trabajos previos realizados (**Tornello M., et al, 2011**) indican por ejemplo la relevancia del periodo del pulso de los terremotos cuyos registros

sísmicos provienen de fallas cercanas con relación al periodo del edificio con aislamiento sísmico. El procesamiento de los registros sísmicos no solo permite, como en este caso, comparar respuestas de dos edificios sino también, evaluar el comportamiento de los edificios en relación con los parámetros que caracterizan a los terremotos.

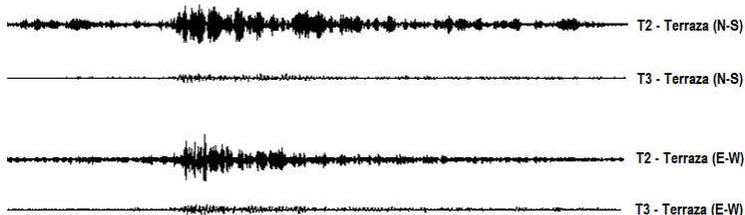
En los párrafos siguientes se sintetiza la metodología que se utiliza para el procesamiento de los registros.

Inicialmente se realiza una revisión de la página web del Servicio de Información Sísmica (SIS) del CeReDeTeC, UTN (SIS, UTN, 2022) con el objeto de recopilar los datos informados de cada evento sísmico registrado por la red de acelerómetros. Con las fechas y horarios obtenidos de dicha página se procede a bajar los registros sísmicos en formato digital buscando los eventos sísmicos informados en la página web del SIS.

La comunicación con la central de adquisición de datos se realiza a través de una PC y para ello se utiliza un software de comunicación, "QuickLook" (Kinematics, 2002) que permite obtener el archivo digital del registro y también permite una visualización cualitativa del mismo. La Figura 5 muestra, a modo de ejemplo y cualitativamente, uno de los registros sísmicos obtenidos del instrumental instalado.

Figura 5.

Vista cualitativa del registro sísmico en sus doce canales del software "QuickLook"



Resultados:

Una vez que se ha levantado la información digital del instrumental y mediante el uso del mencionado software de comunicación, se consigue la información de los valores máximos de cada componente del registro dados en voltios. Conociendo la sensibilidad de cada sensor de registro, es posible determinar los valores de aceleración con línea base corregida. En la Tabla 4 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos para uno de los sismos procesados.

Finalmente se procesan los registros de cada evento sísmico para obtener las historias de tiempo de aceleración, velocidad y desplazamiento de cada uno de los canales y sus correspondientes valores máximos. Para tal objetivo se utiliza el software “SMA” (*StrongMotionAnalyst*) (Kinematics, 2002). El resultado del procesamiento permite obtener un archivo de texto con las historias de tiempo y los valores máximos de las aceleración, velocidad y desplazamiento junto con el instante de tiempo en el cual se producen. Dichos valores son ordenados, para cada evento sísmico en una planilla cuyo formato se muestra en la Tabla 5.

El instrumental instalado en los edificios de la Residencia de estudiantes de la FRM UTN, registró, por primera vez, el evento sísmico del 09/09/2005 ocurrido a las 08:25:26 hs., con epicentro a 170 Km de la ciudad de Mendoza, magnitud estimada en 5.2 en la escala de Richter e Intensidad Mercalli Modificada entre IV y V. Desde la fecha comentada el instrumental ha continuado registrando los eventos sísmicos sentidos en la región de manera ininterrumpida. Hoy se cuenta con una base de datos de más doscientos eventos sísmicos registrados.

Tabla 4

Aceleraciones registradas en el sismo del 01/04/2022

Acelerómetro	Ubicación	Canal:	1	(E-W)
		Volts (max)	g	(% g)
ALTUS K2 (1-2-3)	Residencia T3 Subsuelo	0.0046	0.004	0.37
TRIA XIAL (4-5-6)	Residencia T2 Terraza	0.0206	0.016	1.65
UNIA XIAL (7)	Residencia T3 P.Baja (E-W)-(VERTICE)	0.0057	0.005	0.45
UNIA XIAL (8)	Residencia T3 Terraza (N-S)			
UNIA XIAL (9)	Residencia T3 Terraza (E-W)	0.0059	0.005	0.47
TRIA XIAL (10-11-12)	Residencia T3 P. Baja	0.0053	0.004	0.42

Acelerómetro	Ubicación	Canal:	2	(Vertical)
		Volts (max)	g	(% g)
ALTUS K2 (1-2-3)	Residencia T3 Subsuelo	0.0032	0.003	0.26
TRIA XIAL (4-5-6)	Residencia T2 Terraza	0.0040	0.003	0.32
UNIA XIAL (7)	Residencia T3 P.Baja (E-W)-(VERTICE)			
UNIA XIAL (8)	Residencia T3 Terraza (N-S)			
UNIA XIAL (9)	Residencia T3 Terraza (E-W)			
TRIA XIAL (10-11-12)	Residencia T3 P. Baja	0.0077	0.006	0.62

Acelerómetro	Ubicación	Canal:	3	(N-S)
		Volts (max)	g	(% g)
ALTUS K2 (1-2-3)	Residencia T3 Subsuelo	0.0038	0.003	0.31
TRIA XIAL (4-5-6)	Residencia T2 Terraza	0.0161	0.013	1.29
UNIA XIAL (7)	Residencia T3 P.Baja (E-W)-(VERTICE)			
UNIA XIAL (8)	Residencia T3 Terraza (N-S)	0.0037	0.003	0.29
UNIA XIAL (9)	Residencia T3 Terraza (E-W)			
TRIA XIAL (10-11-12)	Residencia T3 P. Baja	0.0049	0.004	0.39

Tabla 5

Valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento para el sismo del 01/04/2022.

Instrumento	Canal	Ubicación	Aceleración	
			peak (cm/seg ²)	time (seg)
Acelerometro Altus K2	1	Torre 3 - Subsuelo	3.662	40.03
	2		2.916	39.76
	3		2.437	40.95
Acelerometro Triaxial	4	Torre 2 - Terraza	12.620	40.79
	5		16.160	41.28
	6		3.072	40.96
Acelerometro Uniaxial	7	Torre 3 - Planta Baja	4.424	41.48
Acelerometro Uniaxial	8	Torre 3 - Terraza	2.899	39.30
Acelerometro Uniaxial	9	Torre 3 - Terraza	4.600	41.28
Acelerometro Triaxial	10	Torre 3 - Planta Baja	4.067	41.48
	11		3.866	39.87

Tabla 5

Valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento para el sismo del 01/04/2022 (Continuación).

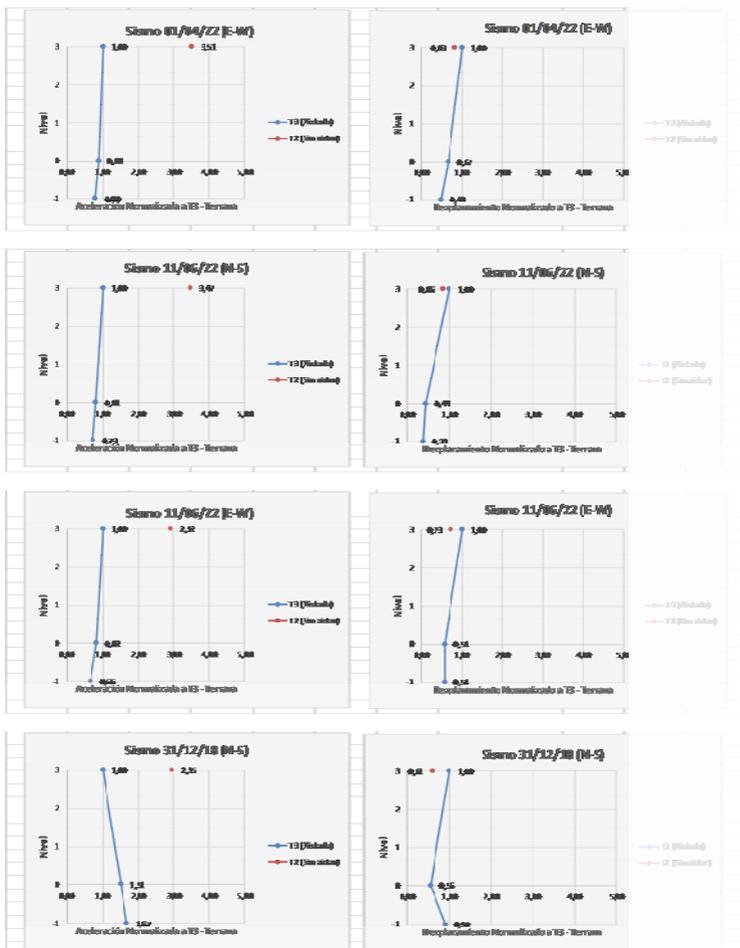
Instrumento	Canal	Ubicación	Velocidad	
			peak (cm/seg ²)	time (seg)
Acelerometro Altus K2	1	Torre 3 - Subsuelo	0.114	40.07
	2		0.108	38.67
	3		0.081	40.90
Acelerometro Triaxial	4	Torre 2 - Terraza	0.412	40.74
	5		0.391	41.24
	6		0.089	40.91
Acelerometro Uniaxial	7	Torre 3 - Planta Baja	0.159	40.10
Acelerometro Uniaxial	8	Torre 3 - Terraza	0.168	38.18
Acelerometro Uniaxial	9	Torre 3 - Terraza	0.184	41.60

Con el objeto de evaluar el comportamiento del edificio aislado respecto del de base fija se comparan los respectivos registros de aceleraciones y desplazamientos.

En la Figura 6 se muestran los resultados obtenidos para ciertos eventos sísmicos registrados por el instrumental. Por razones de extensión, se muestra sólo algunos resultados. Los gráficos muestran la comparación de las aceleraciones y el desplazamiento para el mismo evento sísmico, del edificio aislado. Con relación a las aceleraciones (gráficos de la izquierda) en el eje horizontal se ha representado la aceleración normalizada respecto al valor registrado a nivel del techo del edificio aislado y en el eje vertical se indica el nivel del edificio. Con relación a los desplazamientos (gráficos de la derecha) en el eje horizontal se han representado los desplazamientos normalizados respecto del valor registrado en el nivel del techo del edificio aislado y en el eje vertical se indica el nivel del edificio.

Figura 6.

Comparación de las aceleraciones del edificio aislado con el edificio de base fija (Izquierda). Desplazamientos registrados en el edificio con aislamiento sísmico (Derecha)



Conclusiones:

El instrumental sísmico instalado ha funcionado por más de veinte años de manera ininterrumpida aportando datos valiosos sobre el comportamiento del edificio con protección sísmica y del edificio con

fundación tradicional. El mantenimiento de los equipos que conforman el instrumental sísmico de la residencia de estudiantes ha sido el mínimo necesario para garantizar la continuidad de los mismos, esta situación demuestra la confiabilidad de los equipos instalados.

Los datos obtenidos confirman la eficiencia de los dispositivos de aislamiento instalados y su adecuado comportamiento frente a sismos sensibles.

La información obtenida a la fecha indica que los dispositivos de aislamiento, tanto el aislador como el amortiguador, funcionan correctamente. El mantenimiento de los dispositivos que conforman el sistema de aislamiento ha sido prácticamente nulo y, en la mayoría de los casos, se ha circunscripto solamente a una simple inspección de los mismos.

Las reducciones de las respuestas en términos de aceleraciones del edificio con aislamiento sísmico han sido significativas. En los casos mostrados en el presente trabajo los dispositivos de aislamiento han permitido reducir las aceleraciones entre tres a ocho veces los valores de aceleraciones registradas a nivel del techo del edificio de base tradicional.

Los desplazamientos del edificio aislado resultan ser mayores que las del edificio de base fija, pero estos conllevan deformaciones concentradas en los aisladores; los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de desplazamientos máximos previstos para el sistema de aislamiento.

Los desplazamientos del edificio aislado no han afectado las obras complementarias, incluidas las instalaciones, que interactúan con el edificio durante el movimiento sísmico, situación que indica una correcta solución en la concreción de los detalles de la unión con el edificio.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación ECTCB ME0008107TC financiado por la Universidad Tecnológica Nacional. Los autores agradecen a las autoridades de la Universidad por el financiamiento otorgado al proyecto y a las becas BINID asignadas al mismo. Se agradece a todos los docentes investigadores del CeReDeTeC, por los aportes y sugerencias realizadas al texto y al contenido del presente trabajo.

Referencias:

Kinematics inc. (2022). Altus Digital Recorder. User Manual.

- Martelli, A.**, (2005) Modern Seismic Protection Systems for Civil and Industrial Structures. *Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. IX Jornadas. Concepción. Chile.* CD. ISSN 0718-2678.
- Murase, M., Masaaki, T., Izuru, T.** (2013). Smart passive control building with higher redundancy and robustness using base-isolator and inter-connection. *Earthquake and Structures*. Vol. 4, N° 6. Page 649-670.
- Nawrotzki, P.** (2001). Seismic Protection of structures by viscoelastic elements. *The 8th Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*. NanyangTechnologicalUniversity. Singapore
- Servicio de Información sísmica. CeReDeTec** (2022). *Facultad Regional Mendoza. Ministerio de Infraestructura y Energía de la ciudad de Mendoza.* <http://www1.frm.utn.edu.ar/sismos/>
- Tornello, M., Zarrazin, M.** (2007). Dynamic response of a building with base isolation for near-fault motion. *9th Canadian Conference on Earthquake Engineering*. Paper 1057. Ottawa. CAEE, ACEP.
- Tornello, M. Frau, C., Palazzo, C.** (2013). Estructuras edilicias con Dispositivos de Protección sísmica emplazadas en regiones de fallas activas. *eduTecNe*. Pp. 357. ISBN: 978-950-9064-73-7.
- Tornello, M., Frau, C.** (2010). Experiencias sobre aislamiento sísmico en Mendoza, Argentina. Diseño, modelación y construcción. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*. Volumen 15, número 1, 2010. Pp. 1-47. ISSN 1390-0315. ESPE.
- Tornello, M., Frau, C., Ciudad Real, M., Gioacchini, G., Panella, S.** (2010). Análisis comparativo entre las respuesta instrumental y modelos numéricos de un edificio con aislamiento sísmico de base. *Memorias del XXXIV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural*. San Juan Argentina. Tema 5. ID: 680.pdf. Pp. 1-15.
- Tornello, M.** (2012). Protección de estructuras con aislamiento sísmico de base. Una estrategia para reducir la vulnerabilidad sísmica de las obras civiles frente a terremotos destructivos. *Edit. Académica Española. Schaltungsdienst Lange O:H G. Berlin, Books on Demand GmbH, Nordersdedt. RehaGmbH*. ISBN: 978-3-8484-5168-5.
- Tornello, M., Frau, C., Gioacchini, G., Panella, S.** (2011). Impact the main parameter of near-fault earthquakes in the response of isolated building with spring and viscous damper". *12th World conference on seismic isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures*, Sochi. Rusia.