

RESPUESTA DE DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO SÍSMICO FRENTE A PULSOS CARACTERÍSTICOS DE VELOCIDAD PARA TERREMOTOS DE FALLA CERCANA

Miguel E. Tornello^a, Carlos D. Frau^a, Gustavo Gioacchini^a, Sebastian D. Panella^a,
Roberto Aguiar Falconi^b, Marcelo A. Guzman^a

^a*Ceredetec, Facultad Regional Mendoza. UTN, Rodriguez 273, 5500 Mendoza, Argentina,
ceredetec@frm.utn.edu.ar, <http://www.frm.utn.edu.ar>*

^b*Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército. Av. Gral. Rumiñahui s/n
Sangolquí – Ecuador, <http://www.espe.edu.ec>*

Palabras claves: protección sísmica, aislamiento sísmico, pulsos de velocidad, terremotos de campo cercano.

Resumen. La ingeniería sísmica ha desarrollado en las últimas dos 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 de base. Dentro de los terremotos intensos, aquellos de falla cercana *near-fault* se caracterizan por su alto poder destructivo. Las construcciones sometidas a dichos terremotos deben ser capaces de soportar grandes deformaciones y disipar importante cantidad de energía en pocos ciclos y reducido tiempo. Los registros de terremotos *near-fault* se caracterizan por contener pulsos de velocidad de largo período y gran amplitud a los que se les atribuye gran parte de su poder destructivo. El trabajo evalúa la respuesta de un edificio de tres niveles de mampostería y hormigón armado aislado sísmicamente mediante aisladores de goma con núcleo de plomo. Las respuestas analizadas se comparan con el mismo edificio pero con la condición de base fija. Como input sísmico se utiliza un conjunto de registros de terremotos de campo cercano que contienen importantes pulsos de velocidad de distintas características. Los registros de aceleración son integrados en el dominio del tiempo con el objeto de obtener las velocidades, parámetro seleccionado, para definir el set de acelerogramas. Las respuestas del edificio con aisladores de goma se determinaron mediante un análisis dinámico no lineal y se evalúa la historia de la respuesta *time-history* del edificio con aislamiento. Los resultados muestran que el dispositivo de aislamiento estudiado atenúa de manera eficiente las aceleraciones del suelo mientras que, para las velocidades no se observa el mismo efecto.

1 INTRODUCCIÓN

Los reglamentos recientes, conocidos en algunos casos como de última generación, aceptan distintas estrategias para resistir las acciones impuestas por los terremotos tales como, incursiones en rango no lineal, valores altos de periodos y capacidad de las estructuras de disipar energía a través de elementos adecuadamente diseñados y detallados con el objeto de proporcionarle una mayor capacidad de deformación y estabilidad del ciclo de histéresis carga-deformación. Dicha respuesta implica, para el sistema estructural, distintos niveles de daño el cual puede considerarse aceptable para las construcciones en general porque no conducen al colapso total, son controlados y no provocan pérdidas económicas relevantes. Sin embargo, los terremotos tienen otros impactos tales como enfrentar la parte operativa de las reparaciones, interrupción del funcionamiento del edificio, atender los aspectos emocionales y psicológicos de los ocupantes, aceptar las pérdidas de vidas humanas y los heridos en general.

La estrategia del aislamiento sísmico permite reducir los efectos de los terremotos sobre las construcciones y las personas mediante el empleo de dispositivos emplazados por debajo de la construcción con el objeto de suministrar flexibilidad y disipación de energía ante la ocurrencia de terremotos al mismo tiempo que, cumplen la función de soportar las cargas gravitacionales del edificio. Los dispositivos de aislamiento permiten desacoplar la estructura del movimiento horizontal del terremoto controlando el daño estructural, no estructural y la estabilidad de los contenidos.

Los beneficios de los dispositivos de aislamiento en general se cuantifican mediante un único parámetro como es la aceleración máxima a la que está sujeta la estructura sin embargo, hoy es conocido, que los elementos no estructurales y secundarios se ven afectados por otros parámetros de la respuesta tales como las distorsiones de piso (sistemas de cañerías, revestimientos, etc.), aceleración máxima en un nivel (equipos rígidamente unidos a la estructura), o la combinación de diferentes respuestas (gabinetes, equipos que pueden volcar, sistemas complejos tales como redes de aspersores o sistemas de suministros de gas, etc.). Sin embargo existen pocos trabajos que tienen en cuenta otros parámetros que caracterizan a terremotos destructivos tales como la presencia de pulsos de velocidad (Wolff E. et al, 2004).

Trabajos realizados para evaluar las respuesta de sistemas estructurales primarios, elementos no estructurales y contenidos, todos ellos con distintos dispositivos de aislamiento, (Wolff E. et al, 2004), utilizaron como parámetro comparativo, para los primeros sistemas, el desplazamiento, el corte en la base y la distorsión de piso sin embargo, para los elementos no estructurales y contenidos los parámetros utilizados fueron la distorsión de piso, la velocidad máxima del nivel, la aceleración máxima y la aceleración espectral del nivel para rangos de frecuencias comprendidas entre 0.1 y 20 Hz. El estudio consideró como input tres terremotos con alto contenido de frecuencias y cinco terremotos con características de *near-fault*. El desarrollo del trabajo pone en evidencia que un único parámetro no es suficiente para evaluar la respuesta de sistemas primarios y secundarios y destaca la importancia de considerar otros tales como las velocidades del movimiento.

El mismo trabajo concluye que la adición de amortiguamiento en sistemas aislados sísmicamente (en dicho caso con aisladores elastoméricos) conduce a una reducción de: desplazamientos de los dispositivos de aislamiento, distorsiones de piso, fuerzas de corte, aceleraciones de piso, velocidades de piso y aceleraciones espectrales de piso. Algunas de estas conclusiones han sido confirmadas por otros trabajos con objetivos similares en cuanto a desplazamientos, corte en la base y aceleraciones de piso (Tornello et. al, 2007).

Otros resultados del mismo trabajo indican que las velocidades involucradas para sistemas no lineales son típicamente menores que las velocidades en sistemas aislados con bajo

amortiguamiento como puede ser los aisladores elastoméricos. Por lo tanto valores altos de amortiguamiento, en sistemas no lineales, provocan un menor impacto en contenidos que pueden ser afectados por la velocidad tales como, equipamiento sin ningún tipo de fijación u objetos de arte.

Trabajos realizados por Zhu and Soong (1998) sobre la posibilidad del vuelco de contenidos tipo bloque (servidores de redes, impresoras, computadoras, etc.) mostraron que la relación de aspecto tiene poca incidencia en el momento del vuelco del equipo y que existen otros parámetros tales como, las dimensiones generales del objeto, la duración de la excitación sísmica, la aceleración máxima de piso y la aceleración vertical que influyen en mayor medida. La combinación entre la duración de la excitación y la aceleración máxima del nivel conduce a velocidades importantes de piso.

Trabajos realizados sobre la influencia del amortiguamiento en la respuesta de estructuras aisladas (Makris et. al, 1998; Tornello et. al, 2008) demuestran la necesidad de realizar análisis dinámicos en el dominio del tiempo en los cuales se tenga en cuenta las propiedades mecánicas de los dispositivos de aislamiento y sobre todo, cuando la estructura está sometida a terremotos *near-fault*. El concepto de aislamiento sísmico es una estrategia conveniente para los casos en que el movimiento del suelo evidencie pulsos largos de velocidad y de desplazamiento, aún para valores bajos de amortiguamiento (<10%) los dispositivos de aislamiento anulan cualquier efecto de resonancia que podría producir la presencia de pulsos largos en sistemas aislados de periodos altos (Makris et. al, 1998).

En función de los antecedentes, el presente trabajo evalúa la respuesta de un edificio de tres niveles de mampostería y hormigón armado con aislamiento sísmico de base utilizando dispositivos elastoméricos con núcleo de plomo. Las respuestas analizadas son comparadas con el mismo edificio pero con la condición de base fija.

Como input sísmico se utiliza un conjunto de registros sísmicos de campo cercano que contienen importantes pulsos de velocidad de distintas características. Las comparaciones incluyen respuestas en términos de aceleraciones pero también en término de velocidades. Esta última respuesta ha sido incluida atendiendo principalmente a dos conceptos, el primero es que el carácter impulsivo del movimiento del suelo se aprecia con mayor nitidez en la historia de velocidades y en muchos casos son poco evidentes en la historia de aceleraciones. El segundo motivo es que distintos trabajos (Wolff E. et al, 2004, Zhu and Soong, 1998) citan la importancia de controlar las respuestas en términos de velocidades debido a que el comportamiento de contenidos y equipamiento de los edificios son afectados más por la velocidad del movimiento que por la aceleración.

2 EDIFICIO AISLADO Y DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO

2.1 Descripción del edificio

El edificio aislado sísmicamente cumple la función de residencia de estudiantes de la Facultad Mendoza UTN. Cuenta con tres niveles y planta rectangular de (8.20 x 7.60) m. Las losas, vigas y columnas son de hormigón armado; los cerramientos exteriores de mampostería armada y los interiores, tabiques livianos de roca de yeso. Las fundaciones, ubicadas por debajo de los dispositivos de aislamiento, son bases corridas con vigas de fundación incorporadas (Tornello et. al, 2007). Las masas del edificio con base fija y aislamiento de base se indican en Tabla 1. Los valores indicados incluyen una participación del 25% de las cargas accidentales. En el análisis de los resultados no se ha tenido en cuenta la masa de los dispositivos de aislamiento por considerarse despreciable con respecto a la masa del edificio.

La frecuencia del edificio aislado es de 1 Hz, mientras que la del edificio con base fija es de 6.65 Hz.

Nivel	Edificio con base fija (kN. s ² /m)	Edificio con aislamiento sísmico (kN. s ² /m)
1	69.06	158.76
2	56.33	56.33
3	46.96	46.96
Total	172.35	265.05

Tabla 1: Masas del edificio con base fija y con aislamiento de base.

2.2 Dispositivo de aislamiento

Los dispositivos de aislamiento más comúnmente utilizados están representados por aisladores friccionales y elastoméricos. Existe un número acotado de trabajos que han estudiado el comportamiento de dispositivos de aislamiento sísmico en zonas de falla cercana. Los primeros trabajos relacionados con estructuras aisladas sísmicamente y emplazadas en zonas de falla cercana pusieron en duda la eficiencia de los dispositivos de aislamiento porque obtuvieron valores altos de distorsiones a nivel del dispositivo de aislamiento aún para amortiguamientos elevados (25%) (Heaton T.H. et al., 1995).

Amortiguamientos altos controlan los desplazamientos del modo fundamental del dispositivo de aislamiento con mayores cortes y aceleraciones en la superestructura. Incrementos de la aceleración y las deformaciones en los modos superiores tienden a incrementar los desplazamientos relativos entre pisos (Gavin H., et al., 2002).

Estudios de respuestas en construcciones emplazadas en zonas de falla cercana sujetas a registros sísmicos orientados en la dirección normal y paralela a la falla mostraron que el desplazamiento máximo de los dispositivos de aislamiento está fuertemente influenciado por la componente normal a la falla y no la paralela (Jangid R. et al., 2001).

Investigaciones realizadas en puentes, destacaron la importancia de la adición de amortiguamiento, a través de dispositivos especiales, junto a su estratégica ubicación, con el objeto de controlar los desplazamientos ocasionados por los terremotos de falla cercana (Lee T. Y et al., 2004). La comparación de las respuestas de dispositivos de aislamiento sujetos a terremotos de falla cercana indicaron que el uso de sistemas mixtos compuestos por aisladores elastoméricos y amortiguadores viscosos o aisladores elastoméricos y friccionales, es una alternativa eficiente para controlar los desplazamientos impuestos por terremotos de falla cercana (Mazza F. et al., 2004).

La presencia de pulsos largos de velocidad, característico de los movimientos de falla cercana, exige amortiguamientos mayores para asegurar una adecuada protección sísmica (Gavin H. et al., 2002). Cuando el amortiguamiento del primer modo excede el 20-30%, los modos clásicos utilizados en la superposición modal no existen. Para amortiguamientos altos decrece la respuesta del primer modo, por el contrario, para amortiguamientos bajos se amplifican las respuestas de los modos superiores, especialmente las distorsiones de piso y las aceleraciones. El trabajo de Gavin H., consideró diez terremotos con presencia de pulsos de velocidad y concluye que, un aumento del amortiguamiento, permite reducir la distorsión de los dispositivos de aislamiento sísmico.

El amortiguamiento lineal ofrece un adecuado comportamiento para terremotos de baja y moderada intensidad, pero las demandas de fuerzas del amortiguador lineal, durante un

movimiento de falla cercana, puede ser alta lo que provoca una saturación del amortiguador y mayores fuerzas en la superestructura (Xu Z. et al., 2007). Los amortiguamientos viscosos no lineales pueden ser adecuados para terremotos de baja y moderada intensidad porque su capacidad se agota a velocidades más elevadas.

Los antecedentes descriptos fueron utilizados como base para el diseño del sistema de aislamiento con el objeto de evaluar las respuestas del edificio aislado con aisladores elastoméricos dispositivos que, fueron utilizados en la etapa de diseño del sistema. Posteriormente y por razones económicas los dispositivos efectivamente colocados están compuesto por cuatro aisladores de resortes helicoidales de acero (Gerb Control System ®) instalados en paralelo con cuatro amortiguadores viscosos de eje vertical (Visco ®) emplazados en cada vértice del edificio (Tornello et. al, 2007). En la Figura 1-a se muestra una vista del edificio aislado y la Figura 1-b se muestra un esquema general del aislador de goma con núcleo de plomo considerado en el presente trabajo.



Figura 1a: Vista del edificio aislado

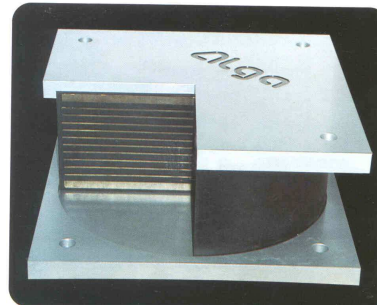


Figura 1b: Aislador goma con núcleo de plomo

El sistema de aislamiento utilizado en el trabajo está compuesto por cuatro aisladores de goma con núcleo de plomo los cuales fueron diseñados para cumplir los requerimientos de la norma chilena NCH2745-2003. En la Tabla 2 se indican las características geométricas de cada aislador. En la Figura 2 se ha representado la constitutiva del aislador utilizada para realizar el análisis no lineal de la respuesta del edificio aislado y en la Tabla 3 los parámetros característicos de la constitutiva del aislador.

Parámetro	Cantidad	Unidad
Diámetro del aislador	600	mm
Diámetro del núcleo de plomo	150	mm
Altura total	268	mm
Espesor de la lámina de goma	8	mm
Espesor de la placa de acero	2	mm

Tabla 2: Características geométricas de los aisladores elastoméricos

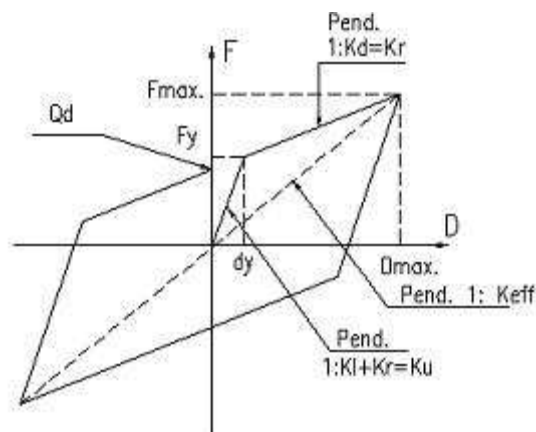


Figura 2: Constitutiva del aislador de goma

Parámetro	Valor	Unidad
Desplazamiento máximo	417.20	mm
Rigidez pos-fluencia	736.31	kN/m
Rigidez efectiva	4241.70	kN/m
Rigidez vertical	5437185	kN/m
Desplazamiento de fluencia	18	mm
Fuerza de fluencia	159.08	kN
Fuerza máxima	442.38	kN
Amortiguamiento efectivo	17.60	%
Tensión pos-fluencia	135.21	kN

Tabla 3: Parámetros característicos de la constitutiva del aislador

3 REGISTROS SÍSMICOS NEAR-FAULT

Los movimientos tipo pulso han sido identificados como críticos en el diseño de estructuras en zonas *near-fault*; el análisis de sistemas elásticos e inelásticos de múltiples grados de libertad indican que la amplitud y periodo del pulso en la historia de velocidades del suelo es el parámetro que controla la performance de la estructura.

El carácter impulsivo de los registros puede no ser evidente en la historia de las aceleraciones; pero la historia de las velocidades y desplazamientos revelan la naturaleza especial del movimiento de pulso característico. En registros *near-fault*, el PGV es sustancialmente mayor que en los registros ordinarios y las acciones sobre las estructuras pueden ser afectadas considerablemente por esta diferencia.

En la práctica corriente la mayor demanda sísmica que provocan los registros impulsivos, fruto del fenómeno de directividad de la ruptura, son tenidos en cuenta mediante la modificación de las ordenadas del espectro de aceleraciones. Somerville et al. (1997) han provisto guías de cómo ajustar las ordenadas espectrales basados en parámetros geométricos de las fallas, en tanto que Frau (2009) ha desarrollado factores de corrección para incluir este aspecto en el la nueva versión del Reglamento INPRES-CIRSOC 103, Parte I (2008).

Para el presente estudio se ha seleccionado una serie de 6 registros sísmicos, cinco de tipo *near-fault* y uno de tipo *far-field* o vibratorio. Los registros de aceleración fueron integrados en el tiempo para obtener la historia de tiempo de velocidades y así poder identificar la

presencia de pulsos de velocidad de gran amplitud y duración. Las Tablas 4 y 5, resumen las características y parámetros fundamentales de los registros seleccionados; en tanto que las Figuras 3 y 4 muestran la historia de tiempo de aceleraciones y velocidades para un registro impulsivo y vibratorio.

Nº	Terremoto	Mw	Fecha	Nombre de Estación	Componente	PGA cm/s ²	PGV cm/s	PGD cm
1	Imperial Valley-06	6.5	15/10/1979	Brawley Airport	225	0.16	35.9	22.4
2	Superstition Hills-02	6.5	24/11/1987	Westmorland Fire Sta	90	0.17	23.5	13.0
3	Erzican, Turkey	6.7	13/03/1992	Erzincan	NS	0.52	83.9	27.4
4	Landers	7.3	28/06/1992	Lucerne	275	0.72	97.6	70.3
5	Kocaeli, Turkey	7.5	17/08/1999	Gebze	00	0.24	50.3	42.7
6	Valparaiso, Chile	7.8	03/03/1985	Llolleo	10	0.71	40.0	11.0

Tabla 4: Registros sísmicos seleccionados

Nº	Terremoto	Nº Pulsos Veloc.	Tv1	Av1	Tv2	Av2	Tv3	Av3
1	Imperial Valley-06	2	1.68	35.83	1.98	-25.19		
2	Superstition Hills-02	10	1.41	12.77	2.16	-17.51	2.23	16.85
3	Erzican, Turkey	3	1.33	-51.00	1.10	83.96	1.27	-53.43
4	Landers	2	1.90	-97.85	2.70	90.76		
5	Kocaeli, Turkey	2	-24.82	2.58	50.33	5.11	-25.05	
6	Valparaiso, Chile							

Tv_i: Periodo de la semionda que conforma el pulso [s].

Av_i: Amplitud del pulso de velocidad [cm/s]

Tabla 5: Pulsos de velocidad contenidos en los registros seleccionados

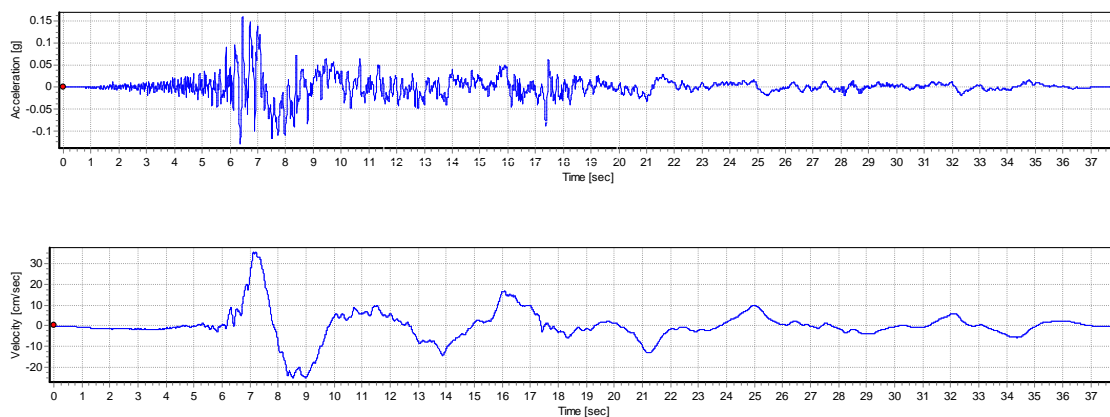


Figura 3: Historia de aceleraciones y velocidades del suelo para el registro impulsivo de Imperial Valley

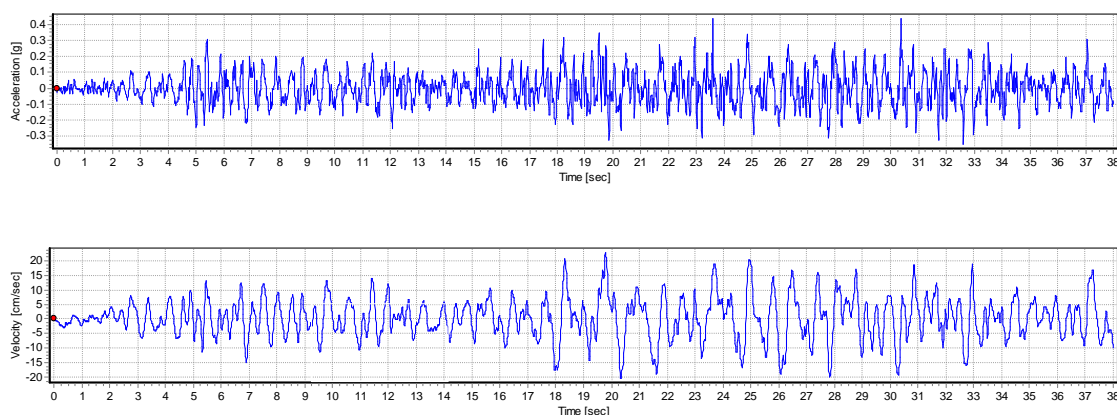


Figura 4: Historia de aceleraciones y velocidades del suelo para el registro vibratorio de Llolleo

4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

A los fines de evaluar la interacción entre los registros sísmicos *near-fault* el sistema de aislamiento y la respuesta del edificio, se realizó con cada uno de los registros seleccionados, un análisis dinámico no lineal en el tiempo.

Como parámetros de respuesta se obtuvieron las aceleraciones y velocidades absolutas a nivel del techo del edificio, solo en una de las direcciones principales del edificio aislado y de base fija. Las historias de tiempo de las respuestas se grafican conjuntamente con las aceleraciones y velocidades del suelo en las Figuras 5 y 6. Por razones de espacio y visualización las gráficas se limitan a la ventana de tiempo más significativa del registro.

El registro de Landers muestra claramente la situación en la que no se aprecia el carácter impulsivo del movimiento del suelo en la historia de tiempo de las aceleraciones, en tanto que se manifiesta claramente en la historia de tiempo de las velocidades. Este efecto se observa también en el registro de Kocaeli

Las respuestas obtenidas para Erizcan y Imperial Valley indican que, si bien se reduce el valor máximo de las aceleraciones en el techo del edificio aislado, se evidencian en la respuesta picos de aceleraciones mayores que las aceleraciones del suelo. Este efecto confirma las conclusiones obtenidas por otros trabajos en cuanto a la importancia de realizar, para terremotos de falla cercana, estudios de respuestas en el tiempo (Makris et. al, 1998).

Para Shill y Llolleo, la historia del tiempo indica un aumento de las velocidades en el techo del edificio de base fija con relación a las velocidades del suelo.

En el edificio aislado las velocidades de respuesta son, en general, mayores que las velocidades del suelo para los cinco terremotos de falla cercana estudiados. La historia del tiempo indica que para el terremoto de Llolleo la amplificación es baja o nula; situación que podría indicar diferencias en las respuestas entre terremotos de falla cercana y terremotos con fuentes más alejadas.

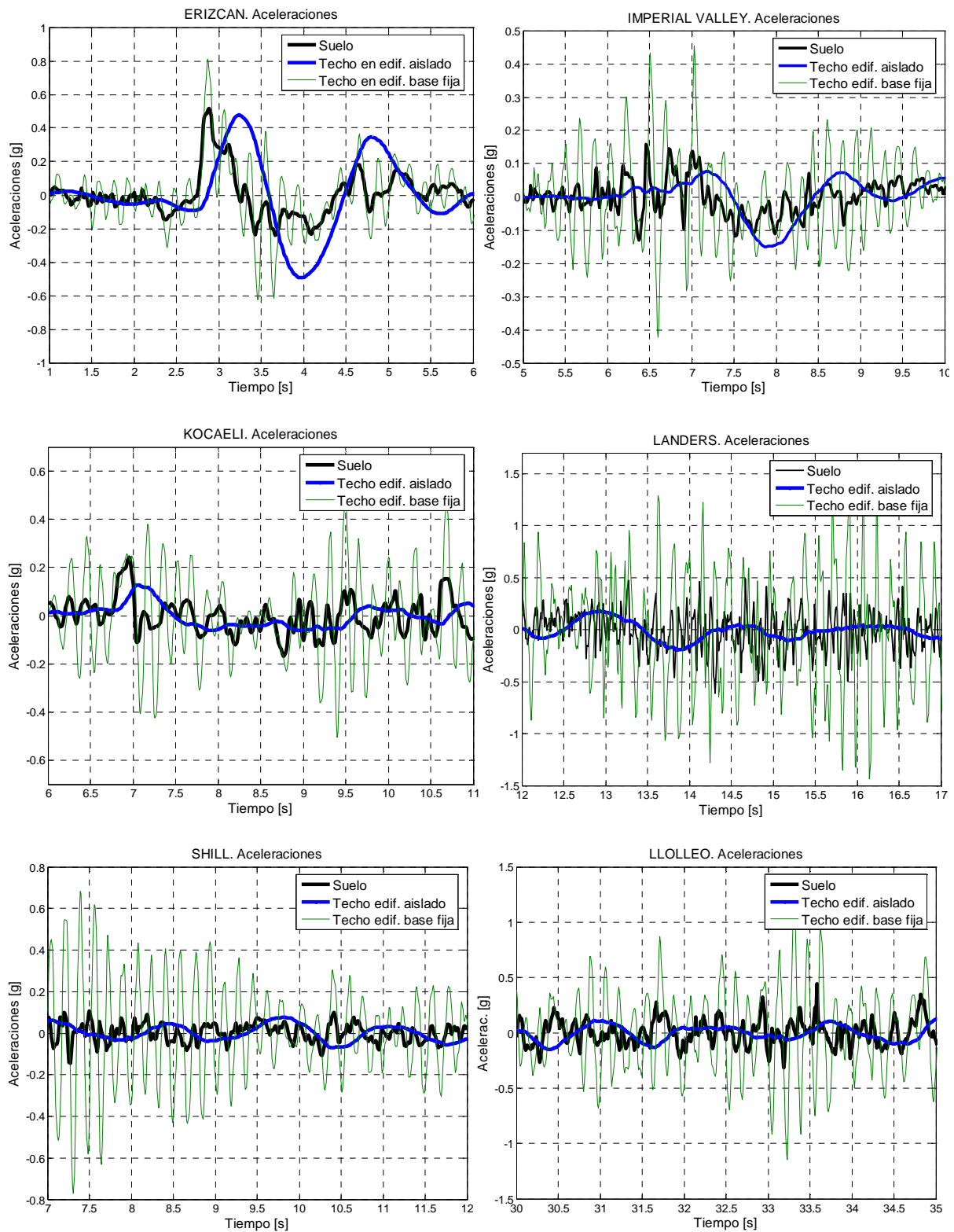


Figura 5: Historia de las aceleraciones del suelo, techo del edificio de base fija y techo del edificio aislado

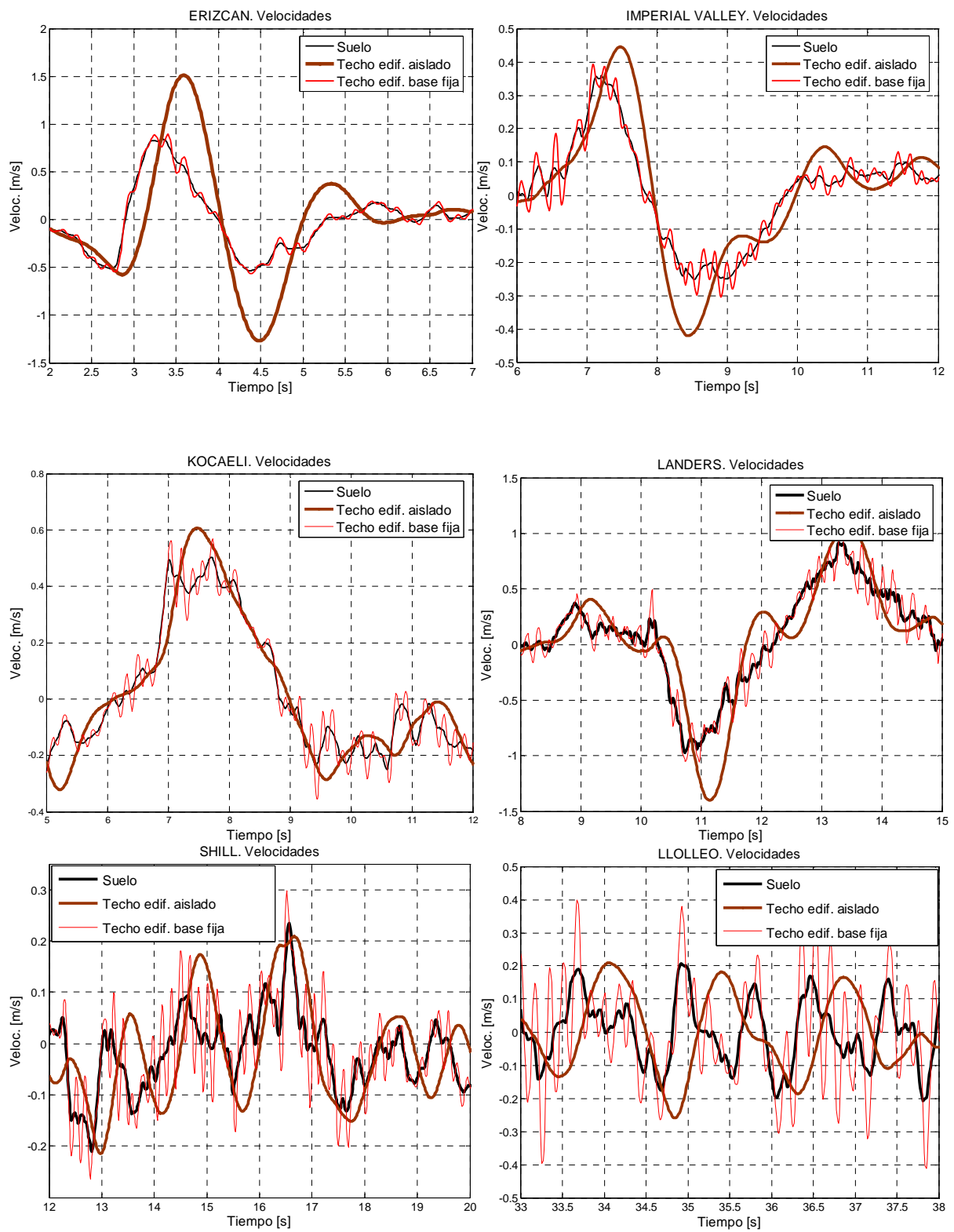


Figura 6: Historia de las velocidades del suelo, techo del edificio de base fija y techo del edificio aislado

5 CONCLUSIONES

En términos generales, las aceleraciones en el techo del edificio de base fija se incrementan con relación a las aceleraciones del suelo.

Para el edificio aislado en general presenta atenuación de los picos de aceleración. Esta atenuación es menor ante la presencia de pulsos largos de aceleración.

Cuando el registro de aceleraciones es del tipo vibratorio (Llolleo) es sistema de aislamiento estudiado arroja una significativa reducción de las aceleraciones a vez que filtra las altas frecuencias.

El edificio de base fija acompaña y amplifica la historia de velocidades del suelo; sin embargo, se observan picos de velocidades de mayor frecuencia montados sobre la onda de velocidad del suelo con un aspecto similar a respuesta transitoria.

Cuando la historia de tiempo de velocidades del suelo contiene pulsos largos y de gran amplitud, el dispositivo de aislamiento estudiado presenta incrementos en picos de velocidad absoluta.

El dispositivo de aislamiento estudiado filtra las altas frecuencias de las velocidades del suelo tanto en el caso de registros impulsivos como vibratorios.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido desarrollado dentro del marco del Proyecto PID 25/J062 de la UTN. Se agradece la colaboración de las autoridades de la Facultad Regional Mendoza, Escuela del Ejército de Ecuador y al Programa de doctorado para docentes de la Universidad Tecnológica Nacional.

REFERENCIAS

- Frau, Carlos. (2009). “*Demanda sísmica incluyendo efectos de directividad en zonas near-fault de Argentina*”. Tesis doctoral, 371 pp, dirigida por Dr. G. Rodolfo Saragoni. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, diciembre de 2009.
- Gavin H., Alhanc C., Inter-story drift amplification and damping in passive isolation systems. *00212 Seventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering (7NCEE)*, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), 2002.
- Heaton T. H., Hall J. F., Wald D. J., Halling M. W., Response of high-rise and base-isolated building in a hypothetical Mw 7.0 blind trust earthquake. *Science*, 3267:206 a 211, 1995.
- Jandid R. S., Kelly J.M., *Base Isolation for near-fault motions*. Earthquake Engineering and Structures Dynamics, 30:691-707., 2001.
- Lee T. Y., Kawashima K., Effectiveness of Supplementary dampers for isolated bridges under strong near-field ground motion. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, 2004.
- Makris, N., Shih-Po, C., Effect of damping mechanisms on the response of seismically isolated structures. *Pacific Earthquake Engineering Research Center. PEER*, 1998. *Paper 138*. Vancouver. Canada, 2004.
- Mazza F., Vulcano A., Base isolation techniques for the seismic protection of RC framed structures subjected to near-fault ground motion. *13th World Conference on Earthquake Engineering. Paper 2935*. Vancouver. Canada, 2004.
- NCh2745. Of.2003, Norma chilena de análisis y diseño de edificios con aislamiento sísmico. *Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Sísmica. Grupo de Protección sísmica*. Santiago de Chile, 2003.
- Somerville, P. G., N. F. Smith, R. F. Graves and N. A. Abrahamson. Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration

- effects of rupture directivity. *Seismological Research Letters, Volume 68, N° 1*, 199-222, 1997.
- Tornello, M. E. y Sarrazin, M., Influencia del amortiguamiento en la respuesta de estructuras con aislamiento de base. *XVIII Congreso sobre métodos numéricos y sus aplicaciones. ENIEF 2008. Paper 115-897-1-DR*. San Luis, Argentina, 2008.
- Tornello M. E., Sarrazin M. Dynamics response of a building with base isolation for near-fault motion. 9th Canadian Conference of Earthquake Engineering. Paper 1057. Ottawa. Canadá, 2007.
- Wolff E., Constantinou, M. C., Experimental study of seismic isolation systems with emphasis on secondary system response and verification of accuracy or dynamic response history analysis methods. *Technical Report MCRRT-04-001*, University at Buffalo, State University of New York. Department of Civil, Structural and Environmental Engineering, 2004.
- Xu Z., Agrawal A. K., He W. L. Tan P. Performance of passive energy dissipation systems during near-field ground motion type pulse. *Engineering Structures*, 29:224-236 (available on line www.sciencedirect.com), 2007.
- Zhu, Z. Y. and Soong T.T., Topping Fragility of Unrestrained Equipment. *Proceeding of Seminar on Seismic Design, Retrofit and Performance of Nonstructural Components, ATC 29-1*. Applied Technology Council, Redwood City, 1998.