

CONSIDERACIÓN DE LOS PULSOS DE VELOCIDAD EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AISLAMIENTO SÍSMICO DE BASE

CONSIDERATION OF VELOCITY PULSES IN THE DESIGN OF STRUCTURES WITH BASE SEISMIC ISOLATION

CARLOS D. FRAU¹, MIGUEL E. TORNELLO², SEBASTIÁN D. PANELLA³

1 Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. cdfrau@fm.utn.edu.ar

2 Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. mtornello@fm.utn.edu.ar

3 Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. spanella@fm.utn.edu.ar

RESUMEN

El movimiento del suelo en las regiones próximas a la fuente sísmica puede presentar características impulsivas debido a los efectos de directividad de la ruptura. Así, los registros de aceleración cercanos a las fallas sismogénicas presentan grandes amplitudes; pero es en la historia de tiempo de las velocidades del suelo donde el carácter impulsivo se hace más evidente a través pulsos de velocidad de gran amplitud y largos períodos. Estos pulsos son los responsables de las altas demandas y daños en las estructuras. En la última década los dispositivos de aislamiento sísmico han alcanzado gran auge tanto a nivel de investigación y desarrollo con en las aplicaciones prácticas en edificios como un medio eficaz de protección sísmica. Esencialmente la técnica consiste en disponer aisladores de baja rigidez como interface entre las cimentaciones y el cuerpo del edificio de manera que se logra concentrar las deformaciones en él a la vez que se alarga el periodo estructural en busca de menores ordenadas del espectro de diseño. Esta metodología puede no resultar eficiente cuando la estructura es emplazada en una zona expuesta a terremotos de campo cercano; los dispositivos de aislamiento pueden llevar el periodo estructural a la región espectral dominada por los pulsos de velocidad y por consiguiente más severa. En este trabajo se presenta una metodología que permite determinar las regiones de los espectros de aceleración que están dominadas por los pulsos de velocidad que contiene el movimiento del suelo. Consiste en el trazado de un diagrama compuesto Velocidad del suelo - Espectro de respuesta - Tiempo de ocurrencia de la respuesta máxima (V-E-T). La metodología propuesta puede resultar de ayuda para el diseño preliminar de los dispositivos de aislamiento sísmico de base.

PALABRAS CLAVE: pulsos de velocidad, regiones espectrales, aislamiento sísmico

ABSTRACT

The movement of the soil in the regions close to the seismic source can present impulsive characteristics due to the directivity effects of the rupture. Thus, the acceleration records close to the seismogenic faults present large amplitudes; but it is in the time history of ground velocities where the impulsive character becomes more evident through high amplitude velocity pulses and long periods. These pulses are responsible for the high demands and damage to the structures. In the last decade seismic isolation devices have reached a high boom both in research and development with practical applications in buildings as an effective means of seismic protection. Essentially the technique consists of having low stiffness insulators as an interface between the foundations and the body of the building so that it is possible to concentrate the deformations in it while extending the structural period in search of smaller ordinates of the design spectrum. This methodology may not be efficient when the structure is located in an area exposed to near-field earthquakes; the insulation devices may carry the structural period to the spectral region dominated by the velocity pulses and therefore more severe. This work presents a methodology that allows to determine the regions of the acceleration spectra that are dominated by the velocity pulses that contain the movement of the ground. It consists of plotting a composite diagram ground velocity - Response spectrum - Time of occurrence of the maximum response (V-E-T). The proposed methodology may be helpful for the preliminary design of the basic seismic isolation devices.

KEYWORDS: Velocity pulses, spectral regions, seismic isolation

DOI: <http://dx.doi.org/10.23878/alternativas.v17i3.218>

RECIBIDO: 30/05/2015

ACEPTADO: 30/08/2015

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las características del movimiento del suelo debido a terremotos que afectan las construcciones es de vital importancia para poder elaborar métodos confiables de diseño sísmico que minimicen los daños y las pérdidas de vidas ante la ocurrencia de fuertes terremotos.

En la zona cercana a la fuente sismogénica el movimiento del terreno contiene pulsos de ondas que dominan el movimiento horizontal pudiendo manifestarse como pulsos simples o dobles y con amplitudes en uno o ambos sentidos. Las características de estos pulsos dependen del tipo, longitud y distribución de las asperezas y la complejidad de la ruptura sísmica. El carácter impulsivo del movimiento del suelo si bien a veces se manifiestan en los registros de aceleración se observa más marcadamente en la historia de tiempo de las velocidades (Frau, 2009).

Distintos investigadores han identificado en registros de campo cercano la incidencia de pulsos largos de velocidad en la respuesta de las estructuras, donde los picos de velocidad son un parámetro que afecta notablemente la máxima respuesta inelástica de las estructuras (Báez y Miranda, 2000). La presencia de pulsos largos de velocidad en el movimiento del suelo constituye un factor importante en el daño de las estructuras debido a que involucra la transmisión de grandes cantidades de energía en muy corto tiempo lo que les confiere un alto poder destructivo (Decanini and Saragoni, 2000). Los pulsos de velocidad controlan generalmente la amplitud de la aceleración espectral para un rango de periodos entre 0.5 y 3.0 segundos (Howard et al, 2005). Tal afirmación no cuenta con una rigurosa justificación, por tal motivo en el presente trabajo se propone un procedimiento para identificar las regiones del espectro de aceleraciones que son afectadas por pulsos de velocidad contenidos en registros sísmicos.

En la última década los dispositivos de aislamiento sísmico han alcanzado gran auge tanto a nivel de investigación y desarrollo con aplicaciones en edificios como un medio eficaz de protección sísmica. Esencialmente la técnica consiste en disponer aisladores de baja rigidez como interface entre las cimentaciones y el cuerpo del edificio de manera que se logra concentrar las deformaciones en él a la vez que se alarga el periodo estructural en busca de menores ordenadas del espectro de diseño. Esta metodología puede no resultar eficiente cuando la estructura es emplazada en una

zona expuesta a terremotos de campo cercano; los dispositivos de aislamiento pueden llevar el periodo estructural a la región espectral dominada por los pulsos de velocidad y por consiguiente más severa. En este trabajo se presenta una metodología que permite determinar las regiones de los espectros de aceleración que están dominadas por los pulsos de velocidad que contiene el movimiento del suelo. Consiste en el trazado de un diagrama compuesto Velocidad del suelo - Espectro de respuesta - Tiempo de ocurrencia de la respuesta máxima (V-E-T). La metodología propuesta puede resultar de ayuda para el diseño preliminar de los dispositivos de aislamiento sísmico de base.

REGISTROS SÍSMICOS

Para este estudio se han seleccionado un set de registros sísmicos correspondientes a terremotos destructivos con magnitudes momento comprendidas entre 6.5 y 7.6. La distancia epicentral de los registros va desde 13 a 48 km, mientras que la distancia más cercana al plano de falla desde la estación registradora varía de 0 a 12 km. Los registros se obtuvieron de la base de datos Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER NGA, 2015).

TABLA 1. REGISTROS SELECCIONADOS DE TERREMOTOS DE FALLA CERCANA PARA ANÁLISIS DE PARÁMETROS.

NGA	NOMBRE DE TERREMOTO	AÑO	ESTACIÓN	MW	EPID (KM)	TP (SEG.)	PGA (G)	PGV (CM/S)
171-FN	Imperial Valley - 06	1979	EC Meloland O. FF	6.53	19.4	3.3	0.378	114.9
174-FN1	Imperial Valley - 06	1979	El Centro Array #11	6.53	29.4	7.4	0.37	41.1
983-FN	Northridge - 01	1994	Jensen F.P.G.	6.69	13.0	3.5	0.518	67.3
1119-FN	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	6.90	38.6	1.4	0.645	72.7
1505-FN	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU068	7.62	47.9	12.2	0.562	191.1

El set de registro está compuesto por 6 acelerogramas, que corresponden a la componente horizontal en la dirección normal al trazo de falla. El conjunto de registros utilizados, son catalogados como registros de campo cercano (near-fault) tipo impulsivo según el criterio de clasificación J. Baker (2007) y presentan claros pulsos en la historia de tiempo de las velocidades. La tabla 1 muestra los parámetros de la fuente sísmica y la estación seleccionada para analizar los registros. Para obtener la historia de tiempo de velocidades se realizó una integración numérica

de las aceleraciones en el tiempo utilizando los softwares SeismoSignal y MatLab.

Donde M_w es la magnitud momento, E_p la distancia epicentral, C_{stD} la distancia al plano de falla, T_p el periodo del pulso de velocidad del suelo, PGA la aceleración máxima del suelo y PGV la amplitud máxima del mayor pulso de velocidad. La designación de FN significa que la dirección del registro es normal a la falla.

En la figura 1 se presenta la historia de tiempo de aceleraciones, velocidades y desplazamiento del set de registros seleccionados. Se observa el carácter impulsivo de todos los registros. Los casos de 174 y 983 no presentan pulsos nítidos en la historia de aceleraciones pero los pulsos se manifiestan claramente en la historia de velocidades y desplazamientos. Los pulsos de velocidad de los registros seleccionados cubren una amplia gama de periodos, desde 1.4 hasta más de 12 segundos. Nótese que en algunos casos (174) el pulso largo de velocidad está afectado por pulsos alta frecuencia montados sobre el pulso principal. Los pulsos de velocidad se constituyen por semiondas como es el caso del registro 171 o como ondas seno de dos o más semiciclos. Los segmentos de la historia de aceleraciones con baja intensidad de cruces por cero lleva a pulsos de velocidad de grandes amplitudes y muy largos periodos (1505).

BASES DEL AISLAMIENTO SÍSMICO

La ingeniería sísmica se puede decir que inició su verdadero desarrollo a inicios del siglo XX en los EE.UU a partir de la necesidad de incorporar cierto nivel de deformación inelástica en las estructuras para resistir las altas demandas que le imponían fuertes terremotos. Estas ideas llevaron a los ingenieros a desarrollar procedimientos de diseño para controlar el nivel de fuerzas y la rigidez de las estructuras.

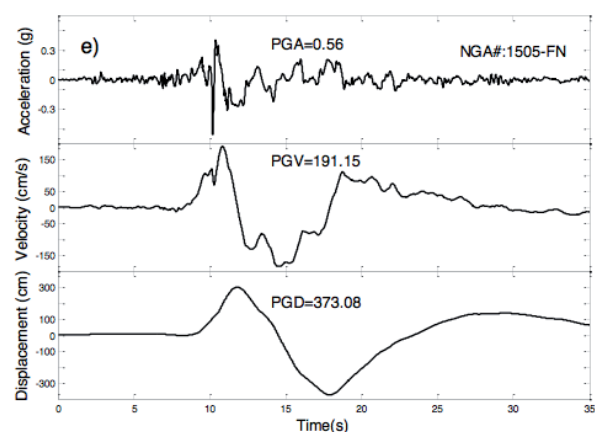
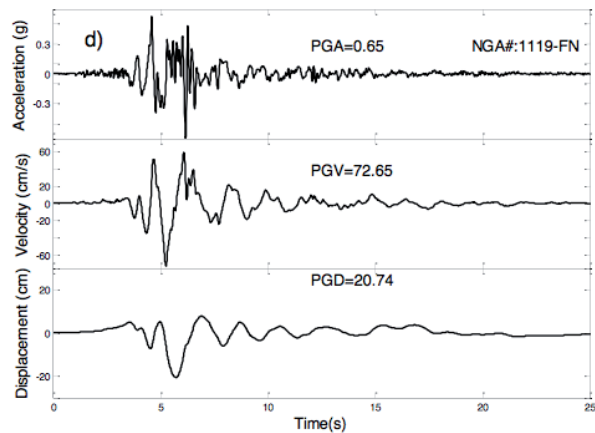
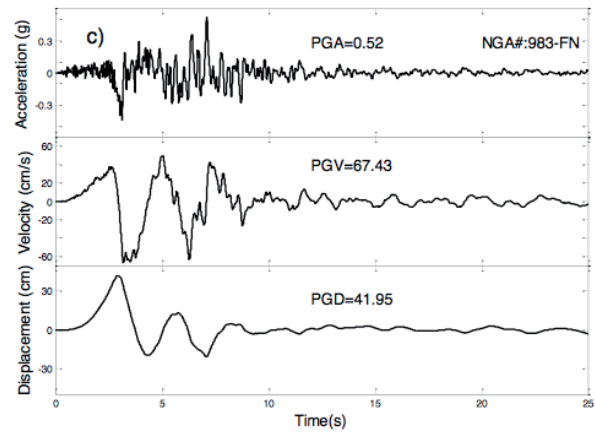
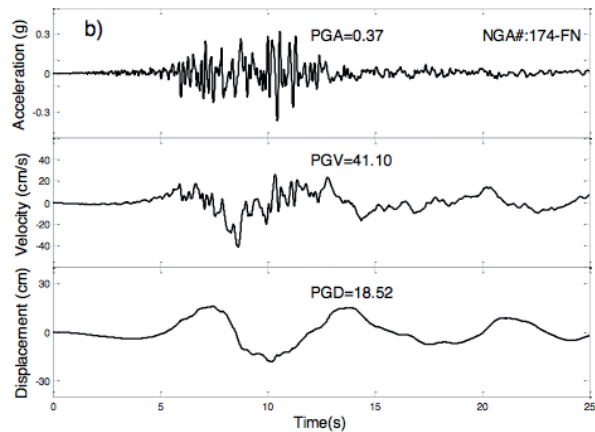
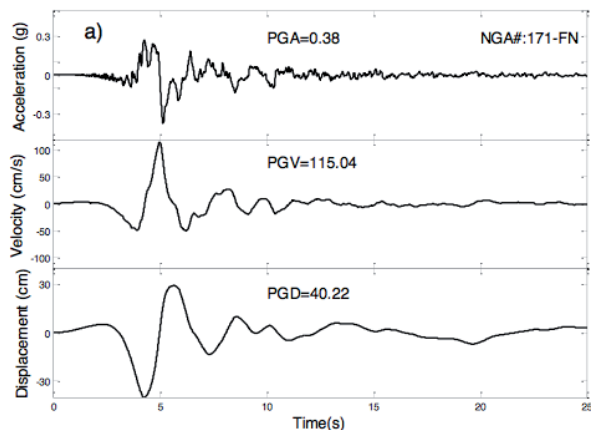


Figura 1. Historia de tiempo de aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo de los registros seleccionados. a) 171; b) 174, c) 983, d) 1119 y e) 1505.

De los conceptos precedentes surgió la idea de aislamiento sísmico y la disipación de energía, estrategias esenciales para el control de vibraciones por sismo en las construcciones. El aislamiento sísmico se utiliza preferentemente en edificios de baja altura y permite filtrar el movimiento, a través de la incorporación de aisladores en las fundaciones del edificio, los cuales interrumpen la estructura mecánica del edificio y lo aíslan del suelo, protegiéndolo considerablemente cuando el terreno vibra.

Los principios del aislamiento de base son dos: flexibilización y aumento del amortiguamiento. La flexibilización o alargamiento del periodo fundamental de la estructura se logra a través de la introducción de un "piso blando" entre el suelo de fundación y la superestructura. Este alargamiento del periodo tiende a trasladar el edificio, originalmente más rígido, a una zona del espectro de aceleraciones con menores ordenadas. De esta manera se busca bajar la demanda sísmica significativamente, lo que también se ve favorecido por el incremento del amortiguamiento (figura 2).

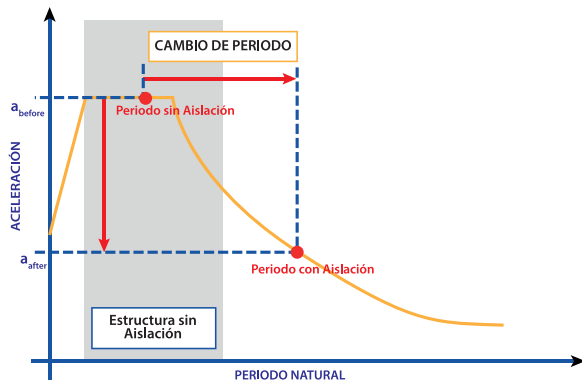


Figura 2. Principio en que se basa el diseño sísmico con aislamiento de base.

REGIONES ESPECTRALES AFECTADAS POR PULSOS

El objeto del presente trabajo es presentar un procedimiento para identificar las regiones del espectro de respuesta elástica de pseudo-aceleraciones que son afectadas por los pulsos de velocidad que contienen el movimiento de suelo y que son características de los registros de campo cercano. De esta manera se puede evaluar si el alargamiento del periodo estructural producto del aislamiento sísmico de base lleva a la estructura a una zona del espectro gobernada por los pulsos.

El procedimiento involucra tres componentes principales que surgen a partir de un registro de aceleraciones: a) El espectro de respuesta elástica de pseudo-aceleraciones, b) el tiempo al cual se produce la respuesta máxima en des-

plazamientos que da origen al espectro de aceleraciones a través de la ecuación $S_a = \omega^2 S_d$ para un amortiguamiento dado (5% para nuestro estudio) y c) la historia de tiempo de velocidades y la ventana de tiempo donde tiene lugar el pulso. Con estos elementos se construye un gráfico interactivo que permite visualizar la zona del espectro de respuesta que está gobernada por los pulsos de velocidad.

HISTORIA DE VELOCIDADES Y PULSOS DE VELOCIDAD

El término pulso ha sido usado como referencia de la aceleración, velocidad y desplazamientos de grandes movimientos del suelo debido a terremotos. Para este estudio los pulsos son considerados en un registro como ondas de baja frecuencia, con temprana ocurrencia en la historia del tiempo de la velocidad y con una gran amplitud.

Un procedimiento basado en la transformada onditas (wavelet) propuestas por J. Baker [2] es usado para identificar empíricamente pulsos de velocidad en registros sísmicos. El método consiste en "aislar" o "extraer" los pulsos contenidos en un registro de velocidades utilizado la transformada wavelet como se muestra en la figura 3, en la cual se observa claramente la captura y el pulso de la velocidad del registro original.

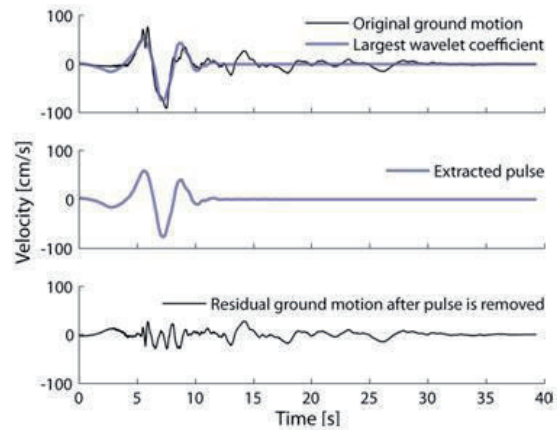


Figura 3. Ilustración del procedimiento de utilizado para extraer la parte de pulso para el terremoto de 1979 Imperial Valley estación El Centro Array #5. (J. Baker 2008).

ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA

G. W. Housner fue fundamental en la aceptación generalizada del concepto de espectro de respuesta sísmico, introducido por M. A. Biot en 1932, como un medio práctico de caracterizar el movimiento del suelo y sus efectos sobre las estructuras. Hoy es un concepto central en ingeniería sísmica, el espectro de respuesta provee un medio conveniente para resumir la

respuesta máxima (*peak*) de todos los posibles sistemas lineales de Un Grado de Libertad (UGL) a una componente particular de un movimiento del suelo. Provee también un procedimiento práctico para aplicar el conocimiento de la dinámica estructural al diseño de estructuras y al desarrollo de requerimientos de acciones horizontales en códigos de construcción sismorresistente. Los espectros de respuesta son un medio adecuado para el análisis sísmico de estructuras; además de ser un procedimiento simple, reúne buena cantidad de información, representa la práctica corriente de la ingeniería y es aplicable a una amplia gama de estructuras (Chopra and Chintanapakdee, 2001).

En forma conceptual un espectro de respuesta elástica recoge la respuesta de una serie de osciladores de un grado de libertad con diferentes periodos de vibración T_n , y con una razón de amortiguamiento ζ (para este estudio $\zeta = 5\%$) sometidos a la acción de un mismo terremoto a través de un registro de aceleraciones $\ddot{u}_g(t)$, de manera que cada uno de ellos exhibirá una respuesta diferente que puede ser representada por la historia de respuestas $u(t, \zeta)$.

La respuesta puede expresarse en términos de desplazamiento relativo $u(t)$, velocidad relativa $\dot{u}(t)$ o aceleración absoluta $\ddot{u}(t)$ (Chopra, 1995). A partir de los espectros de respuesta elástica de desplazamientos relativos (S_d) es posible construir el espectro de respuesta elástica de pseudo-aceleración absoluta (S_a) vinculando ambas magnitudes a través de la frecuencia $\omega = 2\pi/T_n$ mediante la ecuación: $S_a = \omega^2 S_d$. La figura 4 muestra el espectro de respuesta elástica de pseudo-aceleraciones para el registro 1119.

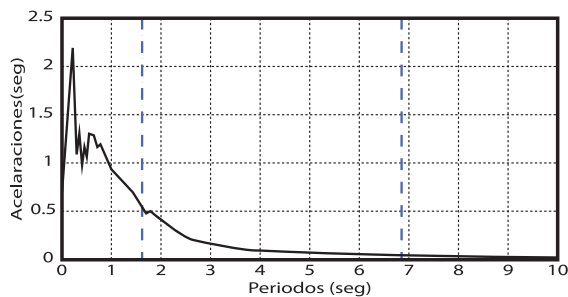


Figura 4. Espectro de respuesta elástica de pseudo-aceleraciones para el registro 1119.

TIEMPO DE OCURRENCIA DE LAS ORDENADAS ESPECTRALES

Por definición, los espectros de respuesta recogen la máxima respuesta de cada oscilador simple para un registro sísmico determinado

sin considerar el tiempo en la que ocurre la respuesta máxima. Es decir de la respuesta en el tiempo se toma la mayor independientemente del momento en que haya ocurrido. Para saber si la respuesta máxima del oscilador que da lugar la ordenada espectral correspondiente es fruto de uno o varios pulsos de velocidad contenidos en la excitación se necesita conocer el tiempo al que se produce la respuesta máxima. Para ello, se considera la determinación de la amplitud de la ordenada espectral y a su vez se toma el instante de tiempo en la cual se produce. Esta información resulta clave para los objetivos del presente estudio por lo que propone una representación gráfica de carácter espectral que recoja esta información. De esta forma, los tiempos correspondientes a la máxima repuesta de cada oscilador se representan en ordenadas frente a los periodos correspondientes T que van en las abscisas. La figura 5 muestra conceptualmente la construcción de esta gráfica.

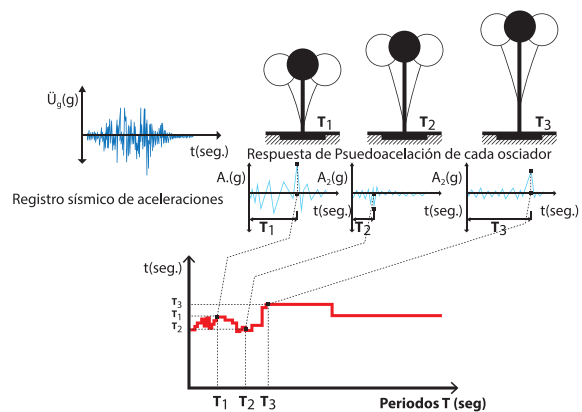


Figura 5. Gráfico que muestra la construcción del espectro de Tiempo de ocurrencia de la Pseudo-Aceleración.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

El procedimiento consiste en la construcción de un diagrama compuesto V-E-T (historia de Velocidades - Espectro de respuesta de la Pseudo-Aceleración -Tiempo de ocurrencia). La construcción de estos gráficos permite la identificación de las zonas espectrales en donde la respuesta máxima es contemporánea con el tiempo de ocurrencia de los pulsos. El diagrama compuesto V-E-T, está formado principalmente por tres gráficos, ubicado de forma tal de que trazados rectas horizontales y verticales entre ellos es posible captar la intervención del pulso de velocidad en el espectro de respuesta.

En la figura 6-a se observa el espectro de respuesta de pseudo-aceleración para el terremoto

de Imperial Valley-06 (1979) estación EC Meloland Overpass FF (171), representado en ordenadas por la amplitudes de pseudo-aceleración (g) y en abscisas el periodo T (seg); en la figura 6-b se representa el espectro de tiempos de ocurrencia que se ubica en la parte superior para tener correspondencia con los periodos del espectro de respuesta. En la figura 6-c se representa el pulso extraído de la historia de tiempo de velocidad rotado 90º respecto de la forma tradicional, de manera tal que en ordenada quedan los tiempos y en abscisa las amplitudes de la velocidad en cm/s, este mismo se ubica contigua a la figura 6b) a fin de poder tener un análisis de los tiempos donde el pulso es predominante y volcarlos al espectro tiempos de ocurrencia, obteniendo así las regiones de periodos asociados al instante de tiempo donde se manifiesta el pulso del registro de velocidad. Por último trasladamos estos periodos de forma de captar la zona en donde el efecto pulso está presente en el espectro de respuesta de la pseudo-aceleración. Adicionalmente para una visión más general, en la figura 4-d se presenta la historia de la velocidad completa más el pulso extraído.

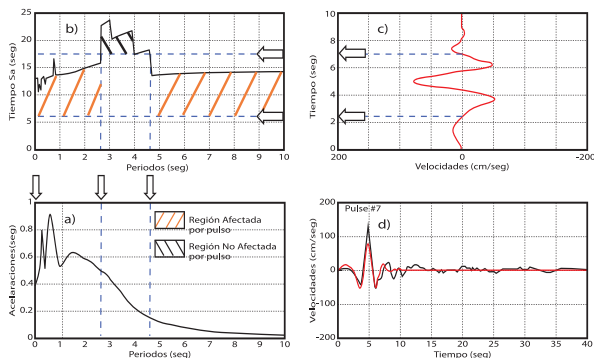


Figura 6. Descripción del procedimiento para el trazado del diagrama V-E-T.

RESULTADOS

Para el set de registros sísmico seleccionados se aplicó el procedimiento descrito y se trazaron los diagramas compuestos V-E-T, obteniendo las regiones de los espectros de aceleración afectada por el pulso.

Si observamos la figura 6, los tiempos donde es influyente el pulso de velocidad corresponden al $t_1=2.39$ s y $t_2=6.98$ s, al trasladar estos tiempos al espectro de aceleraciones, obtenemos tres regiones de interés, la primera región delimitada por los periodos $T_0=0$ y $T_1=2.68$ s donde se considera la influencia del pulso de velocidad en el espectro de aceleraciones. La segunda región para periodos $T_1=2.68$ s y $T_2=4.65$ s donde se

considera que no hay influencia del pulso de velocidad. La tercera región delimitada por los periodos $T_2=4.65$ s y $T_3=10$ s donde se considera la influencia del pulso de velocidad en el espectro. De la misma forma se realizó para todos los registros analizados, en las figuras 7, 8, 9 y 10 muestran los diagramas compuestos V-E-T para el resto de los registros seleccionados.

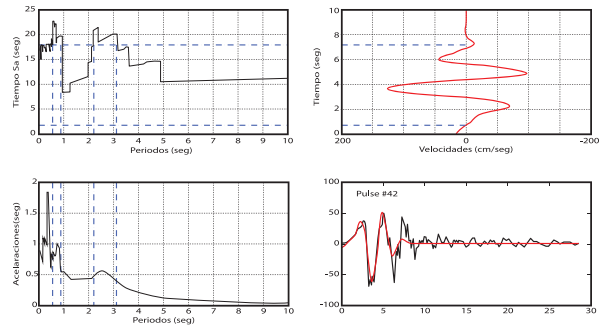


Figura 7. Diagrama compuestos V-E-T para Imperial Valley-06 (1979) estación El Centro Array #11 (#174).

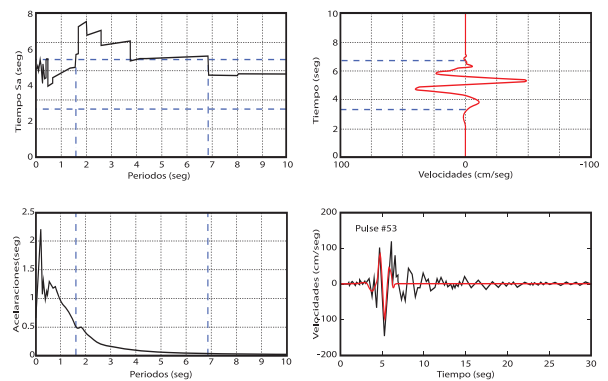


Figura 8. Diagrama compuestos V-E-T para Northridge-01 (1994) Estación Jensen Filter Plant Generator (983)

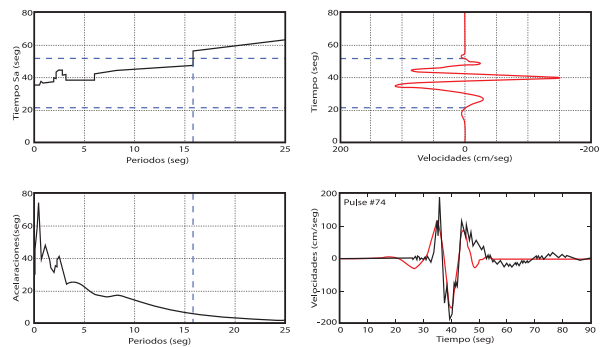


Figura 9. Diagrama compuestos V-E-T para Kobe, Japan (1995) Estación Takarazuka (1119).

Un resumen de los resultados obtenidos se muestra en la tabla 2. Se aprecian un resumen de los periodos para las regiones de los espectros de Pseudo-Aceleración que están influenciado por los pulsos de velocidad y las regiones donde se considera la no influencia de los pulsos de velocidad.

TABLA 2. RESUMEN DE PARÁMETROS DE DIAGRAMAS COMPUESTOS V-E-T

IDENTIF.	NOMBRE DE TERREMOTO	REGIÓN DEL SPECTRO AFECTADA POR PULSO DE VELOCIDAD	NO AFECTADA POR PULSO DE VELOCIDAD
		Periodos T (s)	Periodos T (s)
#171	Imperial Valley-06	0-2.68; 4.68-10	2.68-4.68
#174	Imperial Valley-06	0-5.15	5.15-9
#983	Northridge-01	0-0.55 ; 0.9-2.2; 3.1-10	0.55-0.9 ; 2.2-3.1
#1119	Kobe, Japan	0-1.63; 6.9-10	1.63-6.9
#1505	Chi-Chi, Taiwan	0-15.87	15.87-25

CONCLUSIONES

Se presenta un método a través de una construcción gráfica que permite la identificación de regiones espectrales en donde la respuesta máxima es contemporánea con el tiempo de ocurrencia de los pulsos de velocidad del movimiento del suelo.

De los casos particulares estudiados se observa que para los registros 174 y 1505 encontramos dos regiones diferenciadas del espectro de aceleraciones; una en la zona de periodos bajos que está gobernadas por los pulsos de velocidad del registro y la segunda, de periodos más largos donde los pulsos no determinan el espectro. Para los registros 171 y 1119 encontramos tres regiones de interés, alternando la influencia del pulso de velocidad en el espectro de aceleraciones. En tanto que el registro 983 encontramos cinco regiones que alternan la influencia de los pulsos; en este caso se observa también influencia de los pulsos en la zona de periodos bajos.

En los casos en que se apliquen dispositivos de aislamiento sísmico de base el procedimiento permite detectar si la zona donde cae en nuevo periodo estructural está gobernada por pulsos de velocidad. El procedimiento también permite establecer los casos en los que el alargamiento del periodo aleja la estructura de la zona gobernada por los pulsos. De esta manera, el procedimiento puede resultar una ayuda para el diseño preliminar de estructuras especialmente si se pretende utilizar dispositivos de aislamiento sísmico de base.

Como extensión del procedimiento planteado resulta posible definir un nuevo tipo de espectro de respuesta de aceleraciones denomi-

nado “espectro pulso”; el cual resultaría de graficar un espectro de respuesta con las ordenadas de la máxima respuesta correspondiente sólo a los tiempos en los que en el registro sísmico excitatriz presente pulsos de velocidad. Una contrastación del nuevo “espectro pulso” con el espectro clásico permitiría observar las regiones de periodos en los que es dominante la acción de los pulsos de velocidad frente a aquellas que no los son.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baéz, José I. And Miranda E. (2000). Amplification factors to estimate inelastic displacement demands or the design of structures in the near field. 12th World Conference on Earthquake on Engineering, New Zeland, paper 1561.
- Chopra, A. K. and Chintanapakdee, C. (2001). Drift spectrum vs. modal analysis of structural response to near-fault ground motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, No 2, 221-234.
- Chopra, Anil K. (1996). *Dynamics of structures. Theory and applications to earthquake engineering*. New Jersey, Prentice Hal.
- Decanini, L; Saragoni R. (2000). Energy and displacement demands imposed by near-source. 12 th World Conference in Eartquake Engineering.
- Frau, C. D. (2009). Demanda sísmica incluyendo efectos de directividad en zonas near-fault de Argentina. CeReDeTeC Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional.
- Howard, J. K., C. A. Tracy and R. G. Burns (2005). Comparing observed and predicted directivity in near-source ground motion. *Earthquake Spectra*, Volume 21, No 4, paper 1063-1092.
- Jack W. Baker (2007). Quantitative classification of Near-Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 5, pp. 1486-1501.
- PEER NGA (Pacific Earthquake Engineering Research Center). <http://peer.berkeley.edu/smcat/> (2015).
- Software SeismoSignal <http://www.seismosoft.com/en/HomePage.aspx> Software MatLab www.manualespdf.es/manual-matlab-6-1