

Tren de Pulsos para Análisis en el Tiempo

Pulse Train for Time History Analysis

Presentación: 12/08/2024

Doctorando:

Abel ZAMBRANO

Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería sísmica (CeReDeTEC), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.

Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador.
angel.zambrano@uleam.edu.ec

Director:

Carlos FRAU

Codirector:

Roberto AGUIAR

Resumen

En este trabajo se propone un registro sintético compuesto por tres acelerogramas recortados, que se obtienen a partir de la extracción de pulsos de velocidad. Este registro propuesto se denomina tren de pulsos. Se explica el procedimiento para la extracción de los pulsos de velocidad y la conformación de los trenes de pulsos a partir de esos registros recortados. Se analiza la respuesta de cuatro trenes de pulsos, cada uno formado por tres registros recortados con diferentes órdenes de configuración, y se compara con la respuesta del conjunto de tres registros completos. Se calcula la respuesta en el tiempo por el método Beta de Newmark y se obtienen los espectros de respuesta elástica de aceleración, velocidad y desplazamiento. Para el rango inelástico se calculan los espectros de desplazamientos para diferentes factores de reducción de resistencia a la cedencia.

Palabras clave: tren de pulsos, pulsos de velocidad, espectros de respuesta.

Abstract

In this study, a synthetic record is proposed, consisting of three truncated accelerograms derived from the extraction of velocity pulses. This proposed record is termed a pulse train. The procedure for extracting velocity pulses and forming pulse trains from these truncated records is explained. The response of four pulse trains, each constructed from three truncated records with varying configuration orders, is analyzed and compared with the response of the set of three complete records. The time history response is calculated using the Newmark Beta method, and the elastic response spectra for acceleration, velocity, and displacement are obtained. For the inelastic range, displacement spectra are calculated for different yield reduction factors.

Keywords: pulse train, velocity pulses, response spectra.

Introducción

Los Códigos de Construcción establecen un número mínimo de 3 acelerogramas que deben usarse para los análisis en el tiempo NEC (2015), ASCE 7 (2010), UBC (1997), NZS1170.5 (2004). Otros códigos de construcción señalan que deben emplearse un mínimo de 7 registros (FEMA P-58, 2012). Por otro lado, el ASCE 7 (2016), establece un número mínimo de 11 pares de registros, por lo cual la tendencia actual es incrementar el número de registros. Sin embargo, esto tiene algunas limitaciones (Zambrano y Frau, 2021), como por ejemplo que en

países de la región no se cuenta con bases de datos robustas que puedan abordar las diferentes zonas y las condiciones geológicas del sitio.

Además de la dificultad de reunir el número mínimo de registros compatibles con el proyecto de estudio, otra limitación es el tiempo computacional que involucra el análisis dinámico para un número grande de registros.

En este trabajo se propone la creación de un registro sintético conformado por tres acelerogramas recortados a partir de la extracción de los pulsos de velocidad. Este registro propuesto se le denomina tren de pulsos y es comparado con la respuesta de un set de tres registros en el rango elástico e inelástico.

Desarrollo

Registros seleccionados y extracción de pulsos de velocidad

Existen algunas investigaciones aceptadas en la comunidad científica internacional para identificar los registros tipo pulso (Baker, 2007), (Zhai, et al., 2013), (Zhai, et al., 2017). En este trabajo se utiliza el criterio del índice de impulsividad definido por Panella, et al. (2017), basado en la longitud desarrollada del registro de velocidad. Aquí se estudia un set de tres registros catalogados con índice de impulsividad alta, media y baja según Panella et. al (2017) y que forman parte del listado de Panella (2021). Estos tres registros serán recortados a la duración del pulso para conformar el denominado tren de pulsos (ver Tabla 1 y Figura 1).

Registro	N° Lista de Panella	No. PEER (RSN)	Event	Year	Earthquake Magnitude Mw	Hypocenter Depth (km)	EpiD (km)	Joyner-Boore Dist. (km)	ClstD (km)	PGA (g)	PGV (cm/s)	IP	IPr	Nivel de impulsividad
A	6	8119	Christchurch, New Zealand	2011	6,20	6	7,60	5,11	5,13	0,67	96,7	7,7	1	alta
B	191	879	Landers	1992	7,28	44,58	67,10	2,19	2,19	0,725	133,6	18,8	1	media
C	454	1197	Chi-Chi, Taiwan	1999	7,62	33,63	32,67	3,12	3,12	0,636	61,4	34,2	0,84	baja

Tabla 1: Registros considerados en la conformación del tren de pulsos

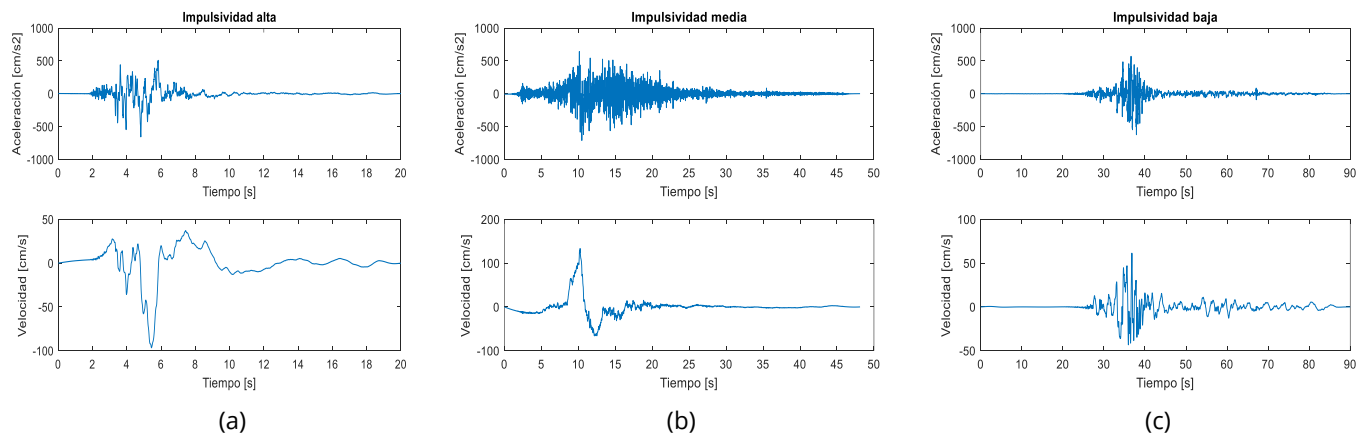


Figura 1: Historia de la aceleración y velocidad del registro. a) Registro A (Christchurch, 2011); b) Registro B (Landers, 1992); c) registro C (Chi-Chi, Taiwán, 1992)

Para el procedimiento de extracción del pulso de velocidad se define el tiempo de inicio del pulso de velocidad t_{ip} y el tiempo donde termina el pulso t_{fp} . El tiempo t_{ip} se define como el punto de arranque de velocidad nula previo a que el registro de velocidad alcance el primer pulso mayor a 30cm/s. El trabajo de Panella (2021), identifica los registros impulsivos en acelerogramas con velocidades mayores a 30cm/s, al igual que en otros estudios como (Baker, 2007), (Zhai, et al., 2013), (Chang, et al., 2016) (Panella, et al., 2017), (Zhai, et al., 2017).

Finalmente, el tiempo t_{fp} es el punto donde la velocidad es nula después de haber alcanzado el último pulso de velocidad que supere 30cm/s.

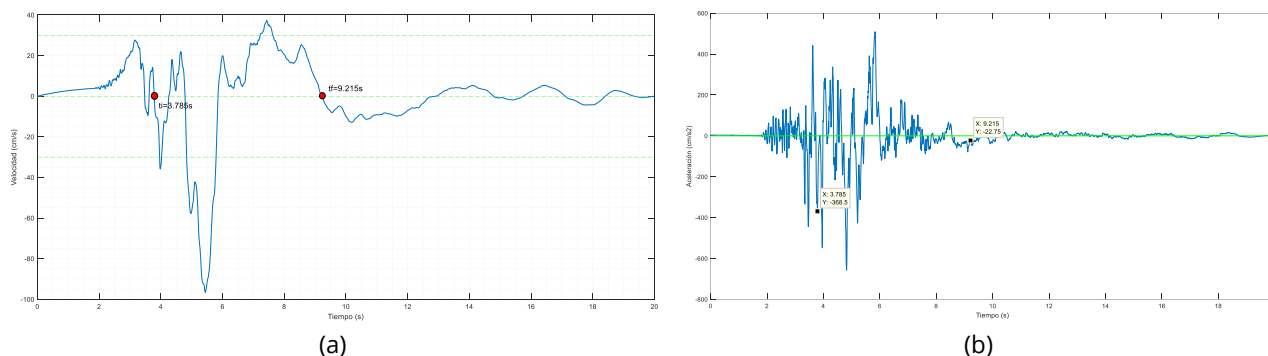


Figura 2: Definición del tiempo de inicio y fin del pulso de velocidad del registro A (Christchurch, 2011). a) Registro de velocidad; b) Registro de aceleración.

En la Figura 2a se muestra que para el tiempo de inicio del pulso $t_{ip} = 3.785s$ y fin del pulso $t_{fp} = 9.215s$ la velocidad es igual o cercana a cero. Sin embargo, para esos instantes de tiempo, la aceleración del registro no pasa por cero como se muestra en la Figura 2b. Por ello se realiza un ajuste a esos tiempos de tal manera que la aceleración sea igual o cercana a cero (ver Tabla 2 y Figura 3). La razón por la cual se realiza este ajuste es porque más adelante para el análisis en el tiempo se necesita el registro de aceleración recortado y es importante que las condiciones iniciales sean nulas.

t [s]	vel (cm/s)	acc (cm/s ²)
3.785	-0.1780	-368.4829
3.865	-10.6535	-0.0402
9.215	0.0845	-22.7505
9.550	-8.1163	0.0685

t_{ip} = inicio del pulso (reg. velocidad)

t_{ip}^* = inicio del pulso (reg. aceleración)

t_{fp} = fin del pulso (reg. velocidad)

t_{fp}^* = fin del pulso (reg. aceleración)

Tabla 2: Ajuste del tiempo de inicio y fin del pulso en la historia de aceleración - registro A

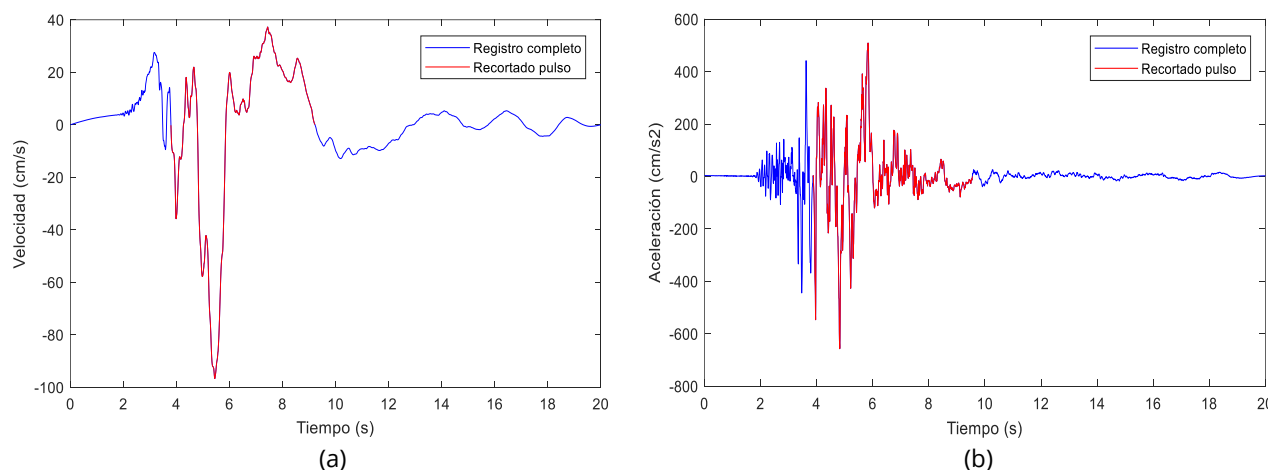


Figura 3: Registro A completo y recortado. a) Historia de velocidad; b) Historia de aceleración

Trenes de pulsos

La conformación del tren de pulsos se lo realizará con los registros A, B y C recortados a la duración del pulso. Cabe mencionar que el tiempo de inicio de pulso t_{ip} y fin de pulso t_{fp} definido en la historia de velocidad fue modificado o ajustado en función de la historia de la aceleración a los tiempos t_{ip}^* y t_{fp}^* para que la aceleración en esos instantes de tiempo sea nula. Este criterio es muy importante porque permite formar los trenes de pulsos variando el orden de los registros de tal manera que una vez finalizado el registro i empiece el registro $i+1$ con aceleración nula y después el registro $i+2$ también arranque con aceleración nula.

Se propone 4 trenes de pulsos variando el orden en la conformación: Tren ABC, Tren CBA, Tren BAC, Tren ACB.

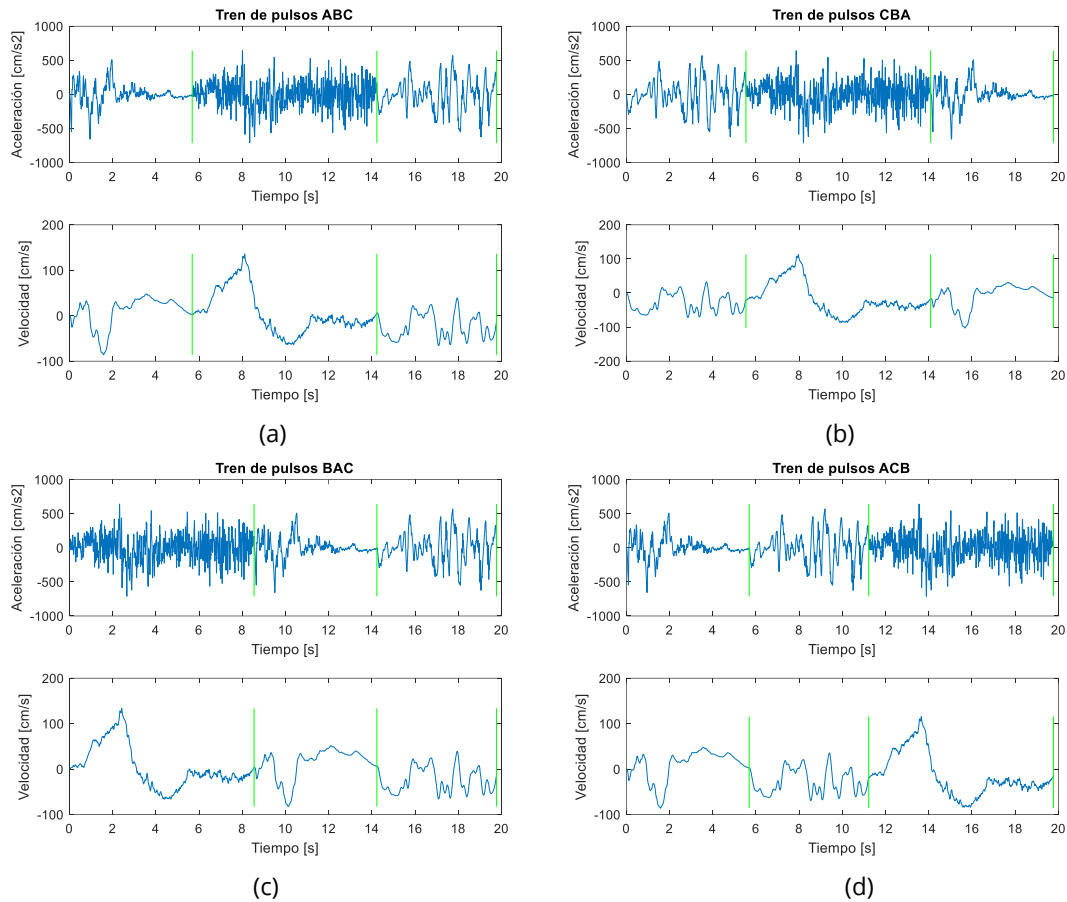


Figura 4: Conformación de trenes de pulsos variando el orden. a) Tren ABC; b) Tren CBA; c) Tren BAC; d) Tren ACB

Resultados

En esta sección se presenta los resultados de la respuesta obtenida para los trenes de pulsos en comparación con el set de tres registros. Se analiza la respuesta en el tiempo a partir del método Beta de Newmark (Chopra, 2014) y se calculan los espectros elásticos e inelásticos.

Espectros elásticos

En la Figura 5a se aprecia que los espectros de los trenes de pulso para períodos hasta 1.0s son iguales. Es decir que el orden de la conformación del tren no afecta los resultados en períodos bajos. Por otro lado, se observa que el espectro en los trenes alcanza los valores máximos de los registros individuales, es decir que se comporta como una envolvente.

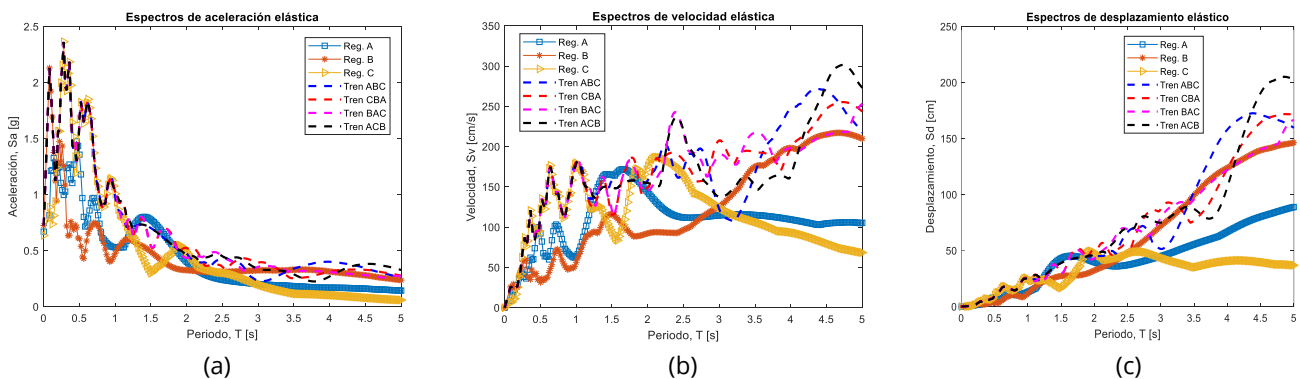


Figura 5: Espectros elásticos. a) Espectros de aceleración; b) Espectros de velocidad; c) Espectros de desplazamiento
En la Figura 5b y en la Figura 5c los espectros de los trenes se encuentra por encima de los valores registrados en los espectros de los registros individuales. Por ello también se observa el comportamiento tipo envolvente del tren para los registros individuales.

En cuanto a los espectros de velocidad y desplazamiento elástico al igual que los espectros de aceleración, los trenes de pulso proporcionan resultados similares entre ellos hasta períodos de 1.0s. Para períodos comprendidos de 1.0s a 2.0s la respuesta entre los trenes no son iguales, pero guardan una similitud considerable. La diferencia entre ellos comienza a notarse para períodos más altos.

Espectros inelásticos

En este apartado se muestran los espectros de desplazamientos inelásticos para diferentes factores de resistencia a la cedencia $R_y = f_0/f_y$ igual a 2, 4, 6 y 8. Donde f_0 es la resistencia máxima elástica y f_y es la resistencia a la cedencia. Para la respuesta no lineal se considera un comportamiento elastoplástico y la respuesta se calcula a partir del método Beta de Newmark (Chopra, 2014).

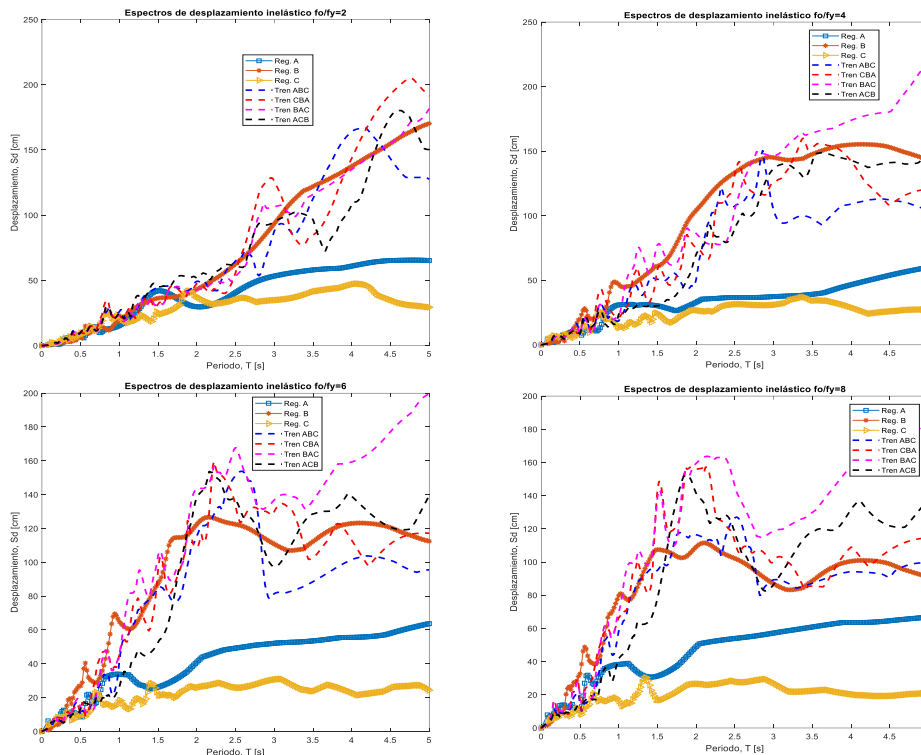


Figura 6: Espectros inelásticos para diferentes valores de resistencia a la cedencia $R_y=f_0/f_y$

En los espectros inelásticos se observa que el registro B proporciona los mayores desplazamientos en comparación con los registros A y C. Para una resistencia a la cedencia $f_0/f_y=2$, los registros A, B y C guardan relación hasta períodos de 2.0s, pero a partir de allí el registro B comienza a obtener desplazamientos más altos. Para la resistencia a la cedencia $f_0/f_y=4$, el registro B se aleja de los registros A y C a partir de períodos de 0.7s. A medida que se aumenta la resistencia a la cedencia a 6 y 8, el registro B empieza a tener picos mayores para períodos más bajos en alrededor de 0.4s y 0.3s, respectivamente.

En cuanto a los trenes de pulso, los espectros inelásticos al igual que los espectros elásticos capturan las respuestas máximas de los registros individuales, es decir se constituye como una envolvente de los registros A, B y C. Aunque no en todos los períodos los trenes de pulsos se encuentran por encima del set de 3 registros. En efecto para $f_0/f_y=4$, los espectros del registro B son mayores a los espectros de los trenes de pulso para períodos a partir de 2.0s. Por otro lado, se aprecia que cuando se aumenta la resistencia a la cedencia a 6 y 8, la respuesta de los trenes de pulso más bien se encuentra igual o por encima del registro B.

Uno de los aspectos destacados es que el orden de los pulsos no tiene un impacto significativo en la respuesta elástica. No obstante, en la respuesta inelástica, el orden de los pulsos podría influir de manera notable. Los espectros inelásticos para las relaciones $f_0/f_y=4, 6$ y 8 muestran que, a partir de períodos de 3.0 segundos, el tren de pulsos más crítico es el BAC. Esta diferencia podría deberse a que el registro B, dentro del conjunto, es el más

crítico. Dado que el tren de pulsos comienza con el pulso B, esto podría llevar al sistema a experimentar incursiones no lineales de manera anticipada.

Conclusiones

Se ha presentado una propuesta de trenes de pulsos obtenidos a partir de los pulsos extraídos a los registros A, B y C. Se han conformado 4 diferentes trenes de pulsos según el orden de configuración ABC, CBA, BAC, ACB. Se nota que el orden de la conformación de los pulsos no afecta los resultados en la respuesta elástica. Sin embargo, en la respuesta inelástica existen diferencias según el orden de conformación de los trenes de pulso. Principalmente esa diferencia se aprecia cuando se incrementa el factor de reducción de resistencia a la cedencia y para períodos altos mayores de 3.0s.

Dentro del set de acelerogramas, en este caso el registro B es el que experimenta mayores respuestas en comparación con los registros A y C. Pero los trenes de pulsos proporcionan resultados tipo envolvente con respecto al set de registros, garantizando el cálculo de la máxima respuesta en la mayoría de los períodos. No obstante, existen zonas de períodos en donde el registro B proporciona resultados mayores que los trenes de pulsos.

Finalmente se concluye que, en futuros trabajos se puede calcular la respuesta elástica e inelástica con otros trenes de pulsos con la finalidad de capturar los picos máximos en todos los períodos de vibración. También se puede analizar no solo las respuestas máximas obtenidas en los espectros sino la respuesta paso a paso para garantizar que los trenes de pulso permitan obtener resultados fiables a los de un set de registros, pero en un tiempo computacional considerablemente menor.

Referencias

- American Society of Civil Engineers. (2010). Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE Standard ASCE/SEI-7-10). American Society of Civil Engineers.
- American Society of Civil Engineers. (2016). Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE Standard ASCE/SEI-7-16). American Society of Civil Engineers.
- Baker, J. W. (2007). Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(5), 1486-1501.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de estructuras* (4^a ed.). Pearson Education.
- Federal Emergency Management Agency. (2012). NEHRP seismic performance assessment of buildings: Volume 1—Methodology (FEMA P-58-1). Washington, DC.
- NEC. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción: Capítulo Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente (NEC-SE-DS, 2015). Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Panella, D. S., Tornello, M. E., & Frau, C. D. (2017). A simple and intuitive procedure to identify pulse-like ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 94, 234-243.
- Panella, D. S. (2021). Identificación y evaluación de registros impulsivos cercanos a falla [Tesis de doctorado, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza].
- Standards New Zealand. (2004). Structural design actions. Part 5: Earthquake actions New Zealand (NZS 1170.5). Standards New Zealand.
- Uniform Building Code (1997). Structural Engineering Design Provisions. International Conference of Building Officials.
- Zambrano, A., & Frau, C. (2021). Requerimientos de acelerogramas para el análisis dinámico en el tiempo. En XI EnIDI Proceedings (pp. 60-67). Mendoza, Argentina.
- Zhai, C., Chang, Z., Li, S., Chen, Z., Xie, L. (2013). Quantitative Identification of Near-Fault Pulse-Like Ground Motions Based on Energy. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(5), 2591-2603.
- Zhai, C., Li, C., Sashi, K. & Wen, W. (2017). An efficient algorithm for identifying pulse-like ground motions based on significant velocity half-cycles. *Earthquake Engineering Structural Dynamics*. 47 (3), 757-771.