

ESTUDIO Y RECOMENDACIONES DEL USO ACELEROGRAMAS PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO

**Vania Estefanía Mora Alban⁽¹⁾, Byron Simón Baque Solís⁽²⁾, Jairo José
Moreira Vivas⁽³⁾**

⁽¹⁾ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Av. Circunvalación - Vía a San Mateo Manta - Manabí - Ecuador, vania.mora@uleam.edu.ec

⁽²⁾ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Av. Circunvalación - Vía a San Mateo Manta - Manabí - Ecuador, byron.baque@uleam.edu.ec

⁽³⁾ Ingeniero Civil, Manta, jairo121220@gmail.com

Received: October 2023. Accepted: July 2024 .
Published: December 2024

ABSTRACT

This study emerges within the framework of a comprehensive project aimed at implementing strategies for sustainable architecture and urban planning on the coast of Ecuador. The imperative to progress towards earthquake-resistant structures and meet diverse performance demands in constructions has gained critical significance in recent years.

The increasing complexity of structures and the limitation of static analyses to accurately simulate dynamic behavior have prompted the adoption of more advanced approaches, such as time-step analysis. The research seeks to comprehend and quantify the impact of different methods on structural response, through a review of existing methods in performance-based design and techniques for selecting and modifying ground motion records.

The precise selection and modification of accelerogram records, accurately representing ground movements, become a crucial component of time-step analysis. The investigation focuses on the behavior of three buildings theoretically located in the city of Manta, representing archetypes of different fundamental vibration periods and various seismic types.

This study is conducted using the Matlab program and seismic records obtained from ground motion databases. The engineering response parameters of the models are meticulously analyzed, with results emphasizing the importance of the appropriate choice of the database, precise accelerogram processing, selection of seismic scenarios, as well as scaling and the number of accelerograms.

The research stands as a fundamental pillar for the development of strategies and regulations that promote sustainable construction on the coast of Ecuador. A profound understanding of soil behavior and structural response to seismic events will contribute to more robust urban and architectural planning in line with sustainability principles.

Keywords: Ecuadorian construction standard, time history analysis, selection of records, modification of records, performance-based seismic design.

ESTUDIO Y RECOMENDACIONES DEL USO ACELEROGRAMAS PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO

RESUMEN

Este estudio surge en el contexto de un proyecto integral destinado a la implementación de estrategias para la arquitectura y urbanismo sostenible en la costa del Ecuador. La necesidad de avanzar hacia estructuras sismorresistentes y el cumplimiento de diversas demandas de desempeño en construcciones han adquirido una relevancia crítica en los últimos años.

La creciente complejidad de las estructuras y la limitación de los análisis estáticos para simular con precisión su comportamiento dinámico han motivado la adopción de enfoques más avanzados, como el análisis paso a paso en el tiempo. La investigación se orienta a comprender y cuantificar el impacto de distintos métodos en la respuesta estructural, a través de la revisión de métodos existentes en el diseño basado en el desempeño y las técnicas para la selección y modificación de registros de movimientos de suelo.

La selección y modificación precisa de registros de acelerogramas, que representen con precisión los movimientos del suelo, se convierte en un componente crucial del análisis paso a paso en el tiempo. La investigación se enfoca en el comportamiento de tres edificaciones ubicadas teóricamente en la localidad de Manta, representando arquetipos de diferentes períodos fundamentales de vibración y variados tipos de sismos.

Este estudio se lleva a cabo utilizando el programa Matlab y registros sísmicos obtenidos de bases de datos de movimientos del suelo. Los parámetros de respuesta ingenieril de los modelos se analizan meticulosamente, y los resultados destacan la importancia de la elección adecuada de la base de datos, el procesamiento preciso de acelerogramas, la selección del escenario sísmico, así como el escalado y el número de acelerogramas.

La investigación se erige como un pilar fundamental para el desarrollo de estrategias y normativas que impulsen la construcción sostenible en la costa del Ecuador. La comprensión profunda del comportamiento del suelo y la respuesta estructural a eventos sísmicos contribuirá a una planificación urbanística y arquitectónica más robusta y acorde con los principios de sostenibilidad.

Palabras claves: Norma ecuatoriana de la construcción, análisis paso a paso en el tiempo, selección de registros, modificación de registros, diseño sísmico basado en el desempeño

1. INTRODUCCIÓN

Aunque la norma ecuatoriana de la construcción, la NEC-SE-DS (NEC, 2015), permite el procedimiento del análisis paso a paso en el tiempo, cabe señalar que la mayoría de las reglas que posee, fueron desarrolladas en los años 80 y estaban destinadas a realizar análisis de estructuras con aislamiento sísmico no lineal y dispositivos de disipación de energía.

Desafortunadamente, la norma ecuatoriana de la construcción, la NEC-SE-DS (NEC, 2015), brindan muy poca información para la selección y modificación de registros de terremotos. Esta situación da lugar a una serie de problemas en el diseño sísmico debido a esta naturaleza vaga y no resuelta, tales como que los ingenieros sin experiencia están abrumados por la complejidad de la situación con pérdida de juicio sobre la precisión, incluso la corrección de los análisis, después con el problema que surge debido a el tiempo y los recursos necesarios para obtener una solución razonable utilizando movimientos del suelo, el diseño se realiza con métodos elásticos y estáticos, por último, el problema que surge con las elecciones durante los análisis pueden llevar a una tergiversación completamente irrelevante de una situación de peligro mediante la selección voluntaria o involuntaria de los movimientos del suelo de entrada.

El análisis paso a paso en el tiempo no se limita a la obtención de respuestas máximas, en su lugar arroja una historia en el tiempo de respuestas estructurales que dependen del registro de acelerograma, siendo quizás la mejor opción para la estimación de las demandas de deformación. Sin embargo, la elección y combinación de los movimientos del suelo agrega una capa significativa de incertidumbre en la predicción de la respuesta de un sistema estructural que rara vez se puede abordar mediante métodos de prueba y error, incluso utilizando las poderosas computadoras de hoy, esto es debido a la aleatoriedad inherente del movimiento del suelo. Por lo tanto, requiere conocimientos avanzados y juicios de ingeniería. A su vez la norma recomienda técnicas que son lo suficientemente simples como para que se puedan aplicar de manera efectiva de acuerdo con el conocimiento de los profesionales implicados. Sin embargo, la simplicidad no debería comprometer la confiabilidad de tales procedimientos. Para lograr este objetivo, se deben desarrollar nuevos procedimientos confiables de acuerdo con el estado del arte en ingeniería sísmica. Idealmente, los procesos de selección y modificación del movimiento del suelo, cuando se combinan con métodos apropiados y compatibles de medición de respuesta, los procedimientos de evaluación deben proporcionar una representación suficientemente precisa de las demandas sísmicas en el nivel de peligro seleccionado, ni demasiado conservador ni poco conservador, y que son específicos del sitio y la estructura que se está evaluando. Para enriquecer el conocimiento sobre este tema es necesario contar con un mayor número de resultados experimentales donde se evalué la influencia del método adoptado, y este proporcione un punto de referencia sobre un diseño estructural que sea representativo de edificios convencionales construidos en diferentes regiones sísmicas de nuestro país, específicamente dentro de la localidad de Manta. Esto permitiría establecer herramientas de diseños adecuados, que ayuden, al menos en la etapa de diseño preliminar, a una transición sin problemas al diseño basado en el desempeño.

Dadas las consideraciones anteriores, el alcance de este estudio es facilitar el marco del análisis dinámico paso a paso en el tiempo a través del desarrollo de un proceso de apoyo a la decisión, que proporciona conjuntos de movimientos sísmicos precalificados que inducirán valores de respuesta de diseño (promedio) estables y, por lo tanto, confiables. Los resultados obtenidos a partir de esta investigación sirvan como datos de entrada referenciales, para su utilización en el diseño sismo resistente de edificaciones en Manta. Las limitaciones del presente trabajo se basan en variables que se considerarán constantes por fines de simplificación y variables que servirán de estudio las cuales podrían tener mayor incidencia en el análisis de la estructura propuesta, como son: el modelo matemático utilizado, la disposición geométrica, el tipo material del modelo estructural, la ubicación de la construcción y en cuanto al análisis de la estructura no se tendrá en cuenta la interacción suelo – estructura.

Como objetivo principal de la investigación esta, estudiar los criterios más importantes y actuales para la selección de los registros sísmicos para el análisis dinámico de estructuras y analizar diferentes sistemas estructurales de un grado de libertad ante múltiples escenarios sísmicos con la finalidad de estudiar de forma paramétrica la relación entre la excitación y la respuesta de la estructura.

2. METODOLOGÍA

Se recopila información bibliográfica relacionada con la selección y modificación del movimiento del suelo en base a libros, artículos y las diferentes normas como NEC 2015, FEMA P-58, FEMA 356, NIST GCR, NCHRP 428, de igual forma la obtención de acelerogramas reales, la selección de tipos de sismos aplicables a la investigación, la parametrización de los registros. Mas adelante, se presenta el fundamento teórico del análisis paso a paso en el tiempo (Tiempo-Historia) y se encuentran las respuestas máximas en las estructuras propuestas para el estudio en los edificios de cuatro, nueve y trece pisos en la ciudad de Manta. Una vez realizado el análisis paso a paso en el tiempo de la edificación se procederá a realizar una examinación entre la entrada y la salida con el fin de interpretar las posibles causas que generaron estas variaciones o similitudes entre los tipos de registros.

3. ESCENARIO SÍSMICO

La selección de registros de movimiento del suelo está relacionada con la información de los parámetros sismológicos. Dado que se pueden obtener el escenario del terremoto, el espectro objetivo y los parámetros de movimiento del suelo, los registros se pueden seleccionar preliminarmente con un límite de magnitud y distancia de falla de acuerdo con el escenario del terremoto, y luego los registros se pueden seleccionar más en función de las condiciones del sitio. Teniendo en cuenta que los códigos sísmicos generalmente no especifican la información de un escenario de terremoto, algunos autores en el Ecuador han desarrollado estudio de peligro sísmico y han determinado los terremotos de control para algunas ciudades, a continuación, se muestra un resumen.

Tabla 1. Datos de la Desagregación y Características del Terremoto de Control.

Cuidad	PGA		SA (1s)		Tipo de suelo Predominante
	Mw	Rrup(Km)	Mw	Rrup(Km)	
Esmeraldas: Sismo Interfase Sismo Cortical	7.50 6.50	30-60 0-30	7.50 6.50	30-60 0-30	C, D, E(a)
Quito: Sismo Cortical	6.25	0-30	6.25	0-30	C, D, E(b)
Guayaquil: Sismo Intraplaca profunda Sismo Cortical Sismo Interfase	7.25 6.50	60-90 0-30	7.25 6.50 6.75	60-90 0-30 60-90	B, E, F(c)
Loja: Sismo Intraplaca profunda	7.00- 7.25	60-90	7.00- 7.25	60-90	A, B, C(d)
Manta: Sismo Interfase	7.4	20-60	7.4	20-60	C, D, E(e)

Mw = Magnitud de Momento, Rrup = Distancia de ruptura

(a) Suelo obtenido por Vs30, Referencias: Chunga (2017)

(b) Suelo obtenido por Vs30, Referencias: Aguiar, Rivas-Medina, Caiza, & Quizanga (2017)

(c) Homologación suelos, Referencias: Vergara Vivas (2020)

(d) Suelo obtenido por Vs30, Referencias: Castillo Jaramillo (2013)

(e) Suelo obtenido por Vs30, Referencias: Bonifaz García & Haro Lescano (2017)

Fuente: Basado de Parra Cárdenas, y otros, 2017; Pillajo Blacio & Sáenz Vargas, 2018; Aguiar, Rivas-Medina, & Iza, 2018

Base de datos de movimientos fuerte Los registros de movimiento del suelo se pueden seleccionar de varias bases de datos que están disponibles en todo el mundo, incluidas las que se enumeran en la Tabla 2.9. Hay instituciones de investigación que mantienen y regulan redes de movimiento del suelo, distribuidos estratégicamente en diferentes regiones.

Las diferentes bases de datos tienen diferentes capacidades de búsqueda, que van desde aquellas que buscan movimientos basados en la compatibilidad con un espectro de destino (por ejemplo, la base de datos del PEER) hasta aquellas que solo pueden buscar sobre la base de la magnitud, profundidad y ubicación (por ejemplo, base de datos K-Net).

La selección de registros de movimiento del suelo está relacionada con la información de los parámetros sismológicos. Dado que se pueden obtener el escenario del terremoto, el espectro objetivo y los parámetros de movimiento del suelo, los registros se pueden seleccionar preliminarmente con un límite de magnitud y distancia de falla de acuerdo con el escenario del terremoto, y luego los registros se pueden seleccionar más en función de las condiciones del sitio. Teniendo en cuenta que los códigos sísmicos generalmente no especifican la información de un escenario de terremoto, la mayoría de los análisis dinámicos solo pueden seleccionar principalmente registros basados en la condición del sitio, el espectro de respuesta del diseño y los parámetros de movimiento del suelo especificados por los códigos. Por lo tanto, durante la recolección de registros y el establecimiento de la base de datos, los registros deben tener información sismológica más completa y se debe considerar un procesamiento razonable. Al examinar los registros, se pueden seleccionar aquellos con propiedades similares a un escenario de terremoto predeterminado y la condición del sitio. Cada registro

debe ser detallado y se debe realizar una corrección de la línea de base y un filtrado para garantizar la confiabilidad del análisis dinámico (Ye & Wang, 2011).

La línea base es la línea de aceleración cero a lo largo de un registro de acelerograma. En los acelerogramas existe un fenómeno de deriva de la línea de base, el cual significa que la línea base se aleja del eje del tiempo (Berg & Housner, 1961; Schiff & Bogdanoff, 1967). Las razones que causan la desviación de la línea de base pueden deberse a factores internos y externos, como pueden ser el ruido del instrumento, el ruido de fondo, el error de procesamiento del valor inicial y el movimiento del muelle. (Akkar & Boore, 2009, Boore, 1999, Iwan et al.1984) Aunque el error en el registro del acelerograma original puede ser muy pequeño, en el cálculo por integración de acelerograma, las desviaciones en los registros de velocidad y desplazamiento pueden ser muy grandes y poco realista, lo que puede tener un efecto significativo en el análisis dinámico (Hudson, 1979).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se presenta el análisis de las propiedades físicas de las edificaciones escogidas para ser representadas en sistema equivalente de un grado de libertad. Para verificar la viabilidad y el alcance de la implementación del uso de acelerogramas reales en el análisis dinámico paso a paso en el tiempo, tres edificios que difieren en sus períodos fundamentales han sido planteados para el estudio. Estos corresponden a edificios de 3, 9 y 13 pisos con sistema aporticado, de tal modo que se pueda comprobar la aplicabilidad de los acelerogramas reales tanto en edificaciones de períodos bajos, medios y altos. El objetivo de escoger estos tres tipos de estructuras es básicamente comparar el comportamiento de los sistemas, puesto que, como se mencionado en capítulos anteriores, el aumento del período de la estructura es una de las características más importantes en los diseños. Además, se considera como lugar de emplazamiento para cada estructura correspondiente a la ciudad de Manta de un alto peligro sísmico en el Ecuador. Debido a que solo se desea comparar los desplazamientos resultantes no se requiere un análisis detallado de la edificación. Es por ello por lo que se considera una estructura tipo porticado y regular tanto en planta como en elevación afirmando que sus componentes estructurales están distribuidos uniformemente y se conectan ortogonalmente entre sí mediante juntas rígidas.

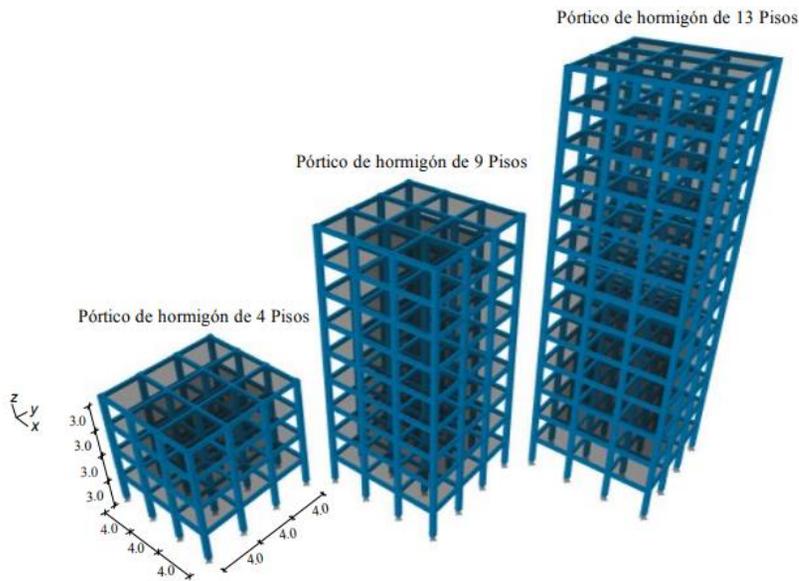


Figura 1. Casos de estudio de estructuras regulares

Inicialmente Gulkan & Sozen (1974), propusieron el uso de un amortiguador viscoso equivalente ξ_{eq} , en lugar de la ductilidad, para cuantificar el comportamiento inelástico de una estructura de concreto sometida a un sismo. También propusieron representar la estructura real de varios grados de libertad (VGDL) mediante un oscilador de un grado de libertad (1GDL) con una rigidez secante elástica equivalente k_e , para simular el comportamiento de la estructura en su estado límite.

Estos dos conceptos son la base de la estructura sustituta elástica equivalente. Según Priestley Calvi, & Kowalsky (2007), un sistema de 1GDL sustituto lineal equivalente puede usarse como una aproximación de la respuesta no lineal de una estructura de VGDL en el primer modo.

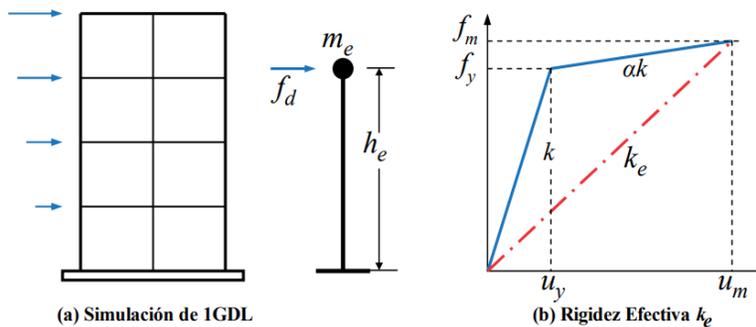


Figura 2. Estructura sustituta y rigidez efectiva Fuente: Tomada de Priestley, Calvi, & Kowalsky, 2007

El análisis exhaustivo paso a paso en el tiempo no lineal mostró que, a pesar de la simplicidad del sistema de 1GDL sustituto, reflejaba características esenciales de la respuesta no lineal de estructuras reales (Priestley, Calvi, & Kowalsky, 2007).

Tabla 2. Valores para Determinación de Vibración

Tipo de estructura	Ct	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros y mampostería estructurales	0.055	0.75

Fuente: Tomada de la NEC, 2015

Los estudios de las de condiciones de sitio revelan que los tipos de suelo para la ciudad de Manta van de desde el tipo C, D y E, siendo el el suelo tipo D más presente de los tres.

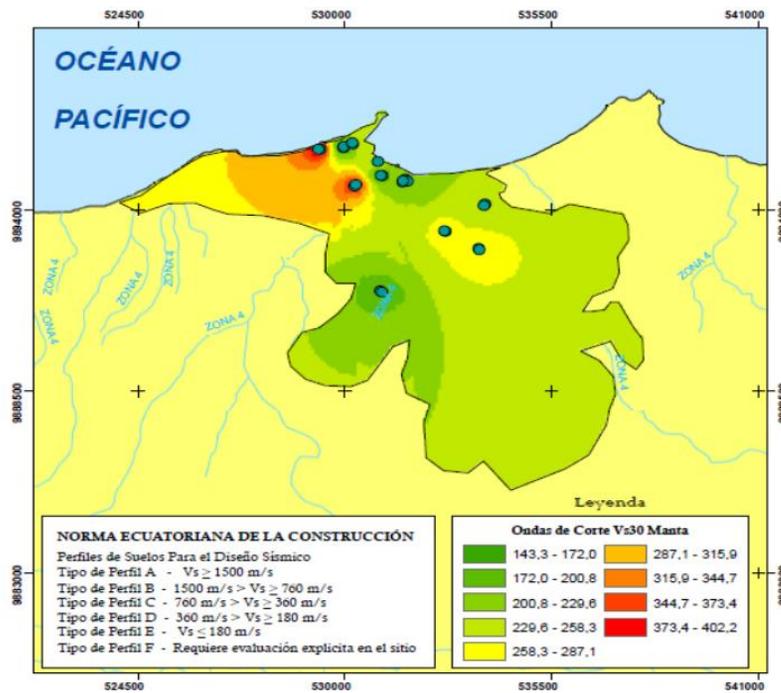


Figura 3. Mapa de ondas de corte Vs30 de la ciudad de Manta

Fuente: Tomada de Bonifaz García & Haro Lescano, 2017

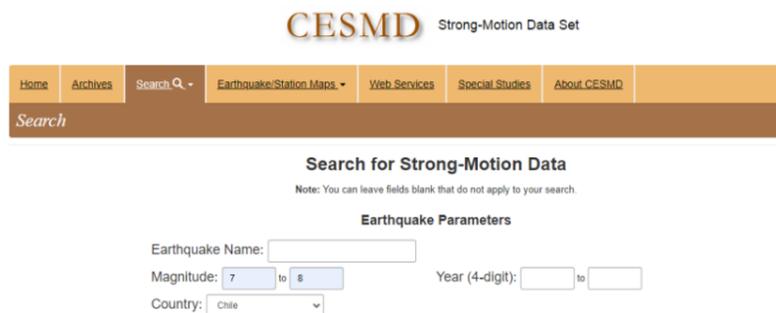
Se considerará un espectro de peligro uniforme de 475 años para la ciudad de manta, con parámetro sismológico de magnitud de momento 7.4, dejando un relajamiento ∓ 0.50 en magnitud de momento, debido que, si se relaja demasiado, los factores de escala, serian demasiado grandes y no modificarían todas propiedades del movimiento del suelo, además con una distancia de ruptura de 20 a 60 km y un relajamiento ∓ 20 para la selección.

Una estructura de 4, 9 y 13 pisos que tiene una zona sísmica de 6 para los tipos de suelo C y D se ha modelado en Matlab en sistema equivalente de un grado de libertad. Los periodos de vibración de los edificios se calcularon de forma aproximada utilizando el método 1 de la NEC (2015). Luego, se armaron dos conjuntos de movimientos del suelo el primero de 7 movimientos de suelo tipo C y

el segundo de 11 movimientos de tipos D, obtenido de diferentes bases de datos, procesados con un filtro Butterworth de paso de banda de cuarto orden a frecuencias de corte de 0.1 y 25 Hz y corregidos de línea base para el análisis. Estos movimientos de suelo se escalaron bajo minimización del error cuadrático medio, entre los espectros de movimientos SRSS de los movimientos del suelo y el espectro objetivo de peligro uniforme de 475 años de la ciudad de Manta, posteriormente para ser parametrizados por medio del software SeismoSignal (2018). Estos movimientos de suelo se importaron al Matlab para realizar un análisis no lineal paso a paso en el tiempo, se usó un factor de reducción de 6 y se examinó la respuesta sísmica, con la entrada.

Finalmente, se desarrolló un consenso para recomendaciones en la selección del movimiento de entrada y se proporcionan conocimientos sobre los aspectos de control de la selección del movimiento de entrada. En la selección de registros de movimiento fuerte que se usarán de entrada en el análisis dinámico, es importante identificar las bases de datos apropiadas que contengan registros representativos de las fuentes sísmicas que contribuyen al peligro en un sitio. La base de datos NGA-West2 (Ancheta et al. 2013) es una base de datos muy desarrollada, sin embargo, esta solo contiene movimientos sísmicos de tipo cortical. Recientemente, la base de datos de subducción de EE. UU. Para el proyecto NGA-Sub (Bozorgnia et al., 2018) aún se está desarrollando y actualmente no está disponible para su uso. Esta base de datos representa la base de datos de movimiento del suelo de subducción global más actual hasta la fecha (Bozorgnia y Stewart, 2020).

Por lo tanto, hemos identificado varias bases de datos (COSMO, 2021; CESMED, 2021; MLIT, 2021; CWB, 2021; CSN, 2021; IGPN, 2021 y KNET, 2021) como opciones adecuadas para seleccionar registros de eventos de subducción. A partir de estas bases de datos, hemos incorporado varios registros sísmicos de tipo interfase de subducción, manteniendo los parámetros sísmológico causales del sitio (es decir, magnitud, distancia, VS30) a menudo dentro de un límite razonable para poder encontrar movimientos de suelo apropiados y que puedan ser escalado de manera que coincida con los espectros objetivo.



CESMD Strong-Motion Data Set

Home Archives Search Earthquake/Station Maps Web Services Special Studies About CESMED

Search

Search for Strong-Motion Data

Note: You can leave fields blank that do not apply to your search.

Earthquake Parameters

Earthquake Name:

Magnitude: to Year (4-digit): to

Country:

Figura 4. Página web de la base dato CESMED

Fuente: Tomada de CESMED,2021

Tabla 3. Eventos sísmicos utilizados

EQ ID	País	Nombre del evento	Fecha/Hr. del event. [UTC]	Mw	Ubi. del Epicentro			Tipo de Sismo
					Lat [°]	Lon [°]	Prof. [km]	
1	Chile	Rapel	9/4/1985 [1:56:59]	7.1	-34.13	-71.62	38	Interfase
2	Japón	Tottori-kenseibu	1995-01-16 [20:46:52]	6.9	34.60	135.04	22	Interfase
3	Taiwan	Hualien	31/3/2002 [6:52:50]	7.1	24.14	122.19	14	Interfase
4	Japón	Hokkaido	2004-11-28 [18:32:14]	7.0	42.95	145.28	48	Interfase
5	Japón	Otakus	2011-03-11 [06:15:40]	7.9	36.12	141.25	43	Interfase
6	Japón	Honshu	7/4/2011 [14:32:43]	7.1	38.28	141.59	42	Interfase
7	Chile	Alto Hospicio	3/4/2014 [2:43:15]	7.6	-20.52	-70.44	28	Interfase
8	Chile	Canela Baja	16/9/2015 [23:18:35]	7.1	-31.59	-71.79	16	Interfase
9	Ecuador	Pedernales	16/04/2016 [23:58:36]	7.8	0.38	-79.92	21	Interfase
10	Nueva Zelanda	Amberley	13/11/2016 [11:02:56]	7.8	-42.74	173.05	15	Interfase
11	Chile	Valparaíso	24/4/2017 [21:38:28]	6.9	-33.09	-72.09	25	Interfase
12	Japón	Ishinomaki	20/03/2021 [09:09:43]	7.0	38.45	141.65	43	Interfase

Se pudo reunir dos conjuntos de movimientos de suelos, el primer conjunto de 7 registros de tipo de suelo C, y el segundo conjunto de 11 registros de tipo de suelo D, con un total de 18 registros de dos componentes, se hizo casi imposible reunir un conjunto de movimientos del suelo con un VS30 representativo de tipo de suelo E. Las propiedades de los terremotos que originaron los movimientos del suelo seleccionados y las estaciones de registro se presentan a continuación.

Tabla 4. Conjuntos de registros seleccionado para la ciudad de Manta

EQ ID	Reg. N°	Nombre del evento	Mw	Repi (km)	Cod. de estación	Ubi. de la estación			Vs30 [m/sec]	Tipo de suelo
						Agencia	Lat [°]	Lon [°]		
1	1	Rapel	7.1	57	LLO	DGF-DIC	- 33.6 -	-71.6	305	D
2	2	Tottori-kenseibu	7.1	44	WAKG	MLIT	34.2	135.1	195	D
3	3	Hualien	7.1	54	ILA062	CWB	24.5	121.8	544	C
	4			55	ILA065		24.5	121.8	354	D
4	5	Hokkaido	7.0	49	NEMUG	MLIT	43.3	145.6	226	D
5	6	Otakus	7.9	54	KASHU	MLIT	36.9	140.7	263	D
6	7	Honshu	7.1	50	MYG003	KNET	38.7	141.3	476	C
	8			58	MYG013		38.3	140.9	273	D
7	9	Alto Hospicio	7.6	50	T03A	CSN	- 20.2	-70.1	613	C
	10			71	T07A		20.3	-69.8	326	D
8	11	Canela Baja	7.1	78	C23O	CSN	- 31.8	-71.0	751	C
9	12	Pedernales	7.8	36	APED	IGPN	0.07	- 80.06	342	D
10	13	Amberley	7.8	20	CECS	GNS	- 42.8	173.3	385	C
	14			54	AMBC		- 43.2	172.7	307	D
11	15	Valparaíso	6.9	47	V09A	CSN	- 33.0	-71.6	212	D
	16			50	V07A		- 33.4	-71.7	549	C
12	17	Ishinomaki	7.0	21	MYG011	KNET	38.3	141.5	476	C
	18			22	MYG008		38.6	141.5	245	D

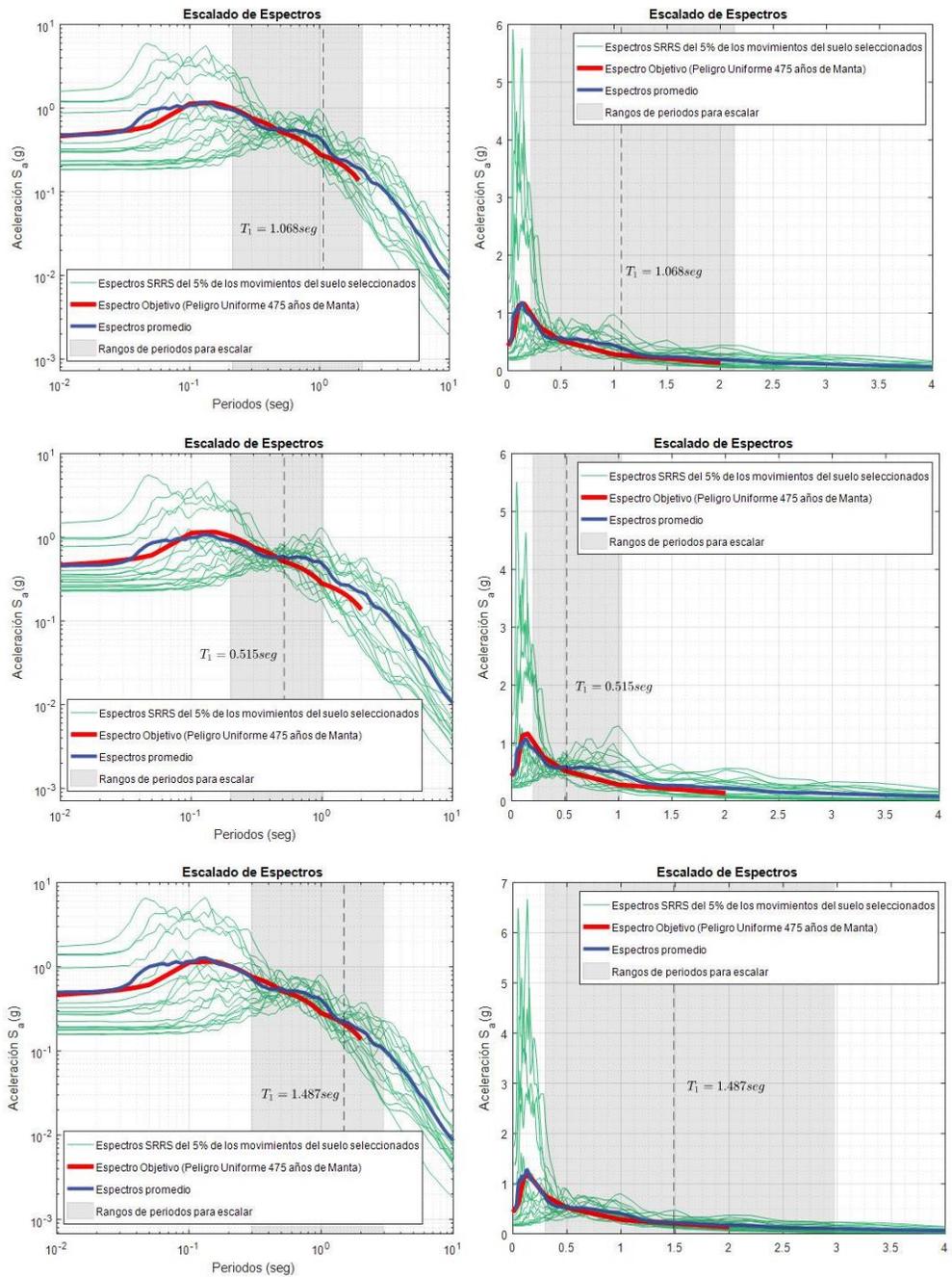


Figura 5. Primera columna, conjunto de movimientos seleccionado que se escalan con el espectro de peligro uniforme de 475 años para la ciudad de manta en escala logarítmica. Segunda columna, conjunto de movimientos seleccionado que se escalan con el espectro de peligro uniforme de 475 años para la ciudad de Manta en escala lineal.

La caracterización del movimiento fuerte se logra con mayor precisión utilizando una de combinación de parámetros de movimientos del suelo. Algunos de estos parámetros capturan una de estas características, mientras que otros reflejan dos o tres al mismo tiempo.

Tabla 5. Parámetros y características del movimiento del suelo

Parámetros del movimiento del suelo	Característica del movimiento del suelo			
	Amplitud	Contenido de frecuencia	Duración	Energía
PGA	x			
CAV	x			x
a_{rms}	x	x	x	
AI			x	x
DS 5-95			x	

Tabla 6. Parámetros de movimientos del suelo del conjunto tipo C escalado a un periodo 0.515

Reg N°	Nombre del Registro	mse	sf	PGA [g]	CAV [cm/s]	a_{rms} [g]	AI [m/s]	DS 5-95 [seg]	Tipo de suelo
3	Hualien ILA062 E-W	0.14	1.16	0.20	848.38	0.02	0.74	12.50	C
3	Hualien ILA062 N-S	0.14	1.16	0.27	867.82	0.02	0.78	13.11	C
7	Honshu MYG003 E-W	0.35	0.73	0.56	3163.51	0.05	6.57	22.45	C
7	Honshu MYG003 N-S	0.35	0.73	0.47	2559.16	0.04	4.29	23.69	C
9	Alto Hospicio T03A E-W	0.45	0.84	0.24	6165.02	0.02	5.35	101.84	C
9	Alto Hospicio T03A N-S	0.45	0.84	0.21	5750.60	0.02	4.38	117.70	C
11	Canela Baja E-W	0.15	0.43	0.17	2973.97	0.01	1.34	92.80	C
11	Canela Baja N-S	0.15	0.43	0.29	4127.59	0.02	3.22	72.80	C
13	Amberley AMBC E-W	0.13	3.21	0.93	11543.43	0.13	40.53	79.74	C
13	Amberley AMBC N-S	0.13	3.21	0.89	10486.41	0.12	34.24	79.00	C
15	Valparaíso V07A E-W	0.58	1.65	0.24	4555.34	0.02	3.89	62.38	C
15	Valparaíso V07A N-S	0.58	1.65	0.25	4802.45	0.02	3.93	67.30	C
17	Ishinomaki MYG008 E-W	0.14	1.87	0.79	2154.19	0.06	5.86	10.68	C
17	Ishinomaki MYG008 N-S	0.14	1.87	0.91	2289.56	0.06	6.07	11.62	C

Tabla 7. Parámetros de movimientos del suelo del conjunto tipo D escalado a un periodo 0.515

Reg N°	Nombre del Registro	mse	sf	PGA [g]	CAV [cm/s]	a_{rms} [g]	AI [m/s]	DS 5-95 [seg]	Tipo de suelo
1	Rapel E-W	0.34	1.23	0.21	2432.91	0.02	1.50	67.18	D
1	Rapel N-S	0.34	1.23	0.29	3511.98	0.04	3.78	52.88	D
2	Tottori-ken-seibu E-W	0.12	1.96	0.22	1346.95	0.02	1.06	26.64	D
2	Tottori-ken-seibu N-S	0.12	1.96	0.31	1408.20	0.03	1.29	23.19	D
4	Hualien ILA065 E-W	0.02	1.58	0.26	966.88	0.03	0.93	14.95	D
4	Hualien ILA065 N-S	0.02	1.58	0.33	1055.99	0.03	1.12	14.21	D
5	Hokkaido E-W	0.10	1.75	0.47	1576.92	0.03	2.23	16.29	D
5	Hokkaido N-S	0.10	1.75	0.43	1392.73	0.03	1.79	16.56	D
6	Otakus E-W	0.05	1.67	0.29	2762.72	0.01	1.61	89.61	D
6	Otakus N-S	0.05	1.67	0.23	2623.95	0.01	1.22	96.31	D
8	Honshu MYG013 E-W	0.13	0.32	0.32	1025.96	0.02	1.13	10.58	D
8	Honshu MYG013 N-S	0.13	0.32	0.18	810.34	0.02	0.58	16.72	D
10	Alto Hospicio T07A E-W	0.32	0.49	0.28	5434.98	0.02	4.86	75.12	D
10	Alto Hospicio T07A N-S	0.32	0.49	0.17	4676.43	0.01	3.20	89.40	D
12	Pedernales E-W	0.11	0.23	0.31	1693.46	0.02	1.52	28.79	D
12	Pedernales N-S	0.11	0.23	0.19	1393.53	0.02	1.00	29.97	D
14	Amberley CECS E-W	0.04	0.72	0.05	682.70	0.01	0.13	91.38	D
14	Amberley CECS N-S	0.04	0.72	0.05	686.40	0.01	0.13	92.12	D
16	Valparaíso V09A E-W	0.33	1.47	0.22	3574.80	0.01	2.32	71.90	D
16	Valparaíso V09A N-S	0.33	1.47	0.31	4521.91	0.01	4.12	56.00	D
18	Ishinomaki MYG011 E-W	0.10	1.86	0.52	2679.69	0.04	5.08	20.89	D
18	Ishinomaki MYG011 N-S	0.10	1.86	0.53	2908.41	0.05	6.14	21.52	D

Tabla 8. Parámetros de movimientos del suelo del conjunto tipo C escalado a un periodo 1.068

Reg N°	Nombre del Registro	mse	sf	PGA [g]	CAV [cm/s]	a_{rms} [g]	AI [m/s]	DS 5-95 [seg]	Tipo de suelo
3	Hualien ILA062 E-W	0.16	1.13	0.19	826.80	0.02	0.71	12.50	C
3	Hualien ILA062 N-S	0.16	1.13	0.26	845.75	0.02	0.74	13.11	C
7	Honshu MYG003 E-W	0.33	1.14	0.88	4938.91	0.07	16.01	22.45	C
7	Honshu MYG003 N-S	0.33	1.14	0.74	3995.39	0.06	10.46	23.69	C
9	Alto Hospicio T03A E-W	0.35	0.54	0.16	3947.27	0.01	2.19	101.84	C
9	Alto Hospicio T03A N-S	0.35	0.54	0.13	3681.93	0.01	1.79	117.70	C
11	Canela Baja E-W	0.16	0.27	0.10	1862.64	0.01	0.53	92.80	C
11	Canela Baja N-S	0.16	0.27	0.18	2585.16	0.01	1.26	72.80	C
13	Amberley AMBC E-W	0.24	2.08	0.60	7481.49	0.08	17.03	79.74	C
13	Amberley AMBC N-S	0.24	2.08	0.58	6796.41	0.08	14.38	79.00	C
15	Valparaíso V07A E-W	0.62	0.92	0.13	2537.50	0.01	1.21	62.38	C
15	Valparaíso V07A N-S	0.62	0.92	0.14	2675.15	0.01	1.22	67.30	C
17	Ishinomaki MYG008 E-W	0.23	2.95	1.25	3393.03	0.09	14.54	10.68	C
17	Ishinomaki MYG008 N-S	0.23	2.95	1.43	3606.25	0.09	15.05	11.62	C

Tabla 9. Parámetros de movimientos del suelo del conjunto tipo D escalado a un periodo 1.068

Reg N°	Nombre del Registro	mse	sf	PGA [g]	CAV [cm/s]	arms [g]	AI [m/s]	DS 5-95 [seg]	Tipo de suelo
1	Rapel E-W	0.32	0.73	0.12	1440.65	0.01	0.53	67.18	D
1	Rapel N-S	0.32	0.73	0.17	2079.62	0.02	1.32	52.88	D
2	Tottori-ken-seibu E-W	0.20	1.52	0.17	1043.01	0.02	0.64	26.64	D
2	Tottori-ken-seibu N-S	0.20	1.52	0.24	1090.43	0.02	0.77	23.19	D
4	Hualien ILA065 E-W	0.13	1.76	0.29	1076.93	0.03	1.15	14.95	D
4	Hualien ILA065 N-S	0.13	1.76	0.37	1176.18	0.03	1.39	14.21	D
5	Hokkaido E-W	0.10	2.33	0.62	2104.47	0.05	3.96	16.29	D
5	Hokkaido N-S	0.10	2.33	0.58	1858.65	0.04	3.20	16.56	D
6	Otakus E-W	0.09	1.36	0.24	2256.09	0.01	1.07	89.61	D
6	Otakus N-S	0.09	1.36	0.19	2142.76	0.01	0.82	96.31	D
8	Honshu MYG013 E-W	0.10	0.26	0.26	834.70	0.02	0.75	10.58	D
8	Honshu MYG013 N-S	0.10	0.26	0.15	659.29	0.01	0.38	16.72	D
10	Alto Hospicio T07A E-W	0.37	0.27	0.16	3010.30	0.01	1.49	75.12	D
10	Alto Hospicio T07A N-S	0.37	0.27	0.09	2590.16	0.01	0.98	89.40	D
12	Pedernales E-W	0.12	0.23	0.31	1722.97	0.02	1.57	28.79	D
12	Pedernales N-S	0.12	0.23	0.19	1417.81	0.02	1.03	29.97	D
14	Amberley CECS E-W	0.03	0.58	0.04	548.96	0.01	0.08	91.38	D
14	Amberley CECS N-S	0.03	0.58	0.04	551.93	0.01	0.09	92.12	D
16	Valparaíso V09A E-W	0.33	0.87	0.13	2120.50	0.01	0.82	71.90	D
16	Valparaíso V09A N-S	0.33	0.87	0.18	2682.31	0.01	1.45	56.00	D
18	Ishinomaki MYG011 E-W	0.08	2.40	0.68	3459.60	0.06	8.47	20.89	D
18	Ishinomaki MYG011 N-S	0.08	2.40	0.69	3754.90	0.06	10.24	21.52	D

Tabla 10. Parámetros de movimientos del suelo del conjunto tipo C escalado a un periodo 1.487

Reg N°	Nombre del Registro	mse	sf	PGA [g]	CAV [cm/s]	arms [g]	AI [m/s]	DS 5-95 [seg]	Tipo de suelo
3	Hualien ILA062 E-W	0.19	1.14	0.19	831.11	0.02	0.71	12.50	C
3	Hualien ILA062 N-S	0.19	1.14	0.26	850.16	0.02	0.74	13.11	C
7	Honshu MYG003 E-W	0.18	1.36	1.05	5893.07	0.09	22.80	22.45	C
7	Honshu MYG003 N-S	0.18	1.36	0.88	4767.27	0.07	14.90	23.69	C
9	Alto Hospicio T03A E-W	0.25	0.46	0.13	3383.40	0.01	1.61	101.84	C
9	Alto Hospicio T03A N-S	0.25	0.46	0.11	3155.97	0.01	1.32	117.70	C
11	Canela Baja N-S	0.08	0.24	0.16	2290.87	0.01	0.99	72.80	C
11	Canela Baja E-W	0.08	0.24	0.09	1650.60	0.01	0.41	92.80	C
13	Amberley AMBC N-S	0.19	1.86	0.52	6082.82	0.07	11.52	79.00	C
13	Amberley AMBC E-W	0.19	1.86	0.54	6695.96	0.07	13.64	79.74	C
15	Valparaíso V07A E-W	0.47	0.75	0.11	2084.45	0.01	0.81	62.38	C
15	Valparaíso V07A N-S	0.47	0.75	0.11	2197.52	0.01	0.82	67.30	C
17	Ishinomaki MYG008 E-W	0.16	3.36	1.42	3857.10	0.10	18.79	10.68	C
17	Ishinomaki MYG008 N-S	0.16	3.36	1.63	4099.48	0.10	19.45	11.62	C

Tabla 11. Parámetros de movimientos del suelo del conjunto tipo D escalado a un periodo 1.487

Reg N°	Nombre del Registro	mse	sf	PGA [g]	CAV [cm/s]	arms [g]	AI [m/s]	DS 5-95 [seg]	Tipo de suelo
1	Rapel N-S	0.18	0.62	0.14	1757.45	0.02	0.95	52.88	D
1	Rapel E-W	0.18	0.62	0.10	1217.47	0.01	0.38	67.18	D
2	Tottori-ken-seibu N-S	0.16	1.36	0.22	979.81	0.02	0.62	23.19	D
2	Tottori-ken-seibu E-W	0.16	1.36	0.15	937.19	0.02	0.51	26.64	D
4	Hualien ILA065 N-S	0.14	1.82	0.38	1217.59	0.03	1.48	14.21	D
4	Hualien ILA065 E-W	0.14	1.82	0.30	1114.85	0.03	1.23	14.95	D
5	Hokkaido E-W	0.04	2.57	0.69	2321.84	0.05	4.83	16.29	D
5	Hokkaido N-S	0.04	2.57	0.64	2050.63	0.05	3.89	16.56	D
6	Otakus E-W	0.08	1.30	0.23	2156.84	0.01	0.98	89.61	D
6	Otakus N-S	0.08	1.30	0.18	2048.50	0.01	0.75	96.31	D
8	Honshu MYG013 E-W	0.08	0.24	0.24	772.56	0.02	0.64	10.58	D
8	Honshu MYG013 N-S	0.08	0.24	0.14	610.20	0.01	0.33	16.72	D
10	Alto Hospicio T07A E-W	0.25	0.23	0.13	2554.70	0.01	1.07	75.12	D
10	Alto Hospicio T07A N-S	0.25	0.23	0.08	2198.15	0.01	0.71	89.40	D
12	Pedernales E-W	0.13	0.23	0.30	1672.27	0.02	1.48	28.79	D
12	Pedernales N-S	0.13	0.23	0.19	1376.09	0.02	0.97	29.97	D
14	Amberley CECS E-W	0.02	0.56	0.04	528.26	0.01	0.08	91.38	D
14	Amberley CECS N-S	0.02	0.56	0.04	531.13	0.01	0.08	92.12	D
16	Valparaíso V09A N-S	0.23	0.75	0.16	2306.50	0.01	1.07	56.00	D
16	Valparaíso V09A E-W	0.23	0.75	0.11	1823.40	0.01	0.60	71.90	D
18	Ishinomaki MYG011 E-W	0.04	2.64	0.74	3795.77	0.06	10.19	20.89	D
18	Ishinomaki MYG011 N-S	0.04	2.64	0.76	4119.76	0.07	12.32	21.52	D

Tabla 12. Resumen de parámetros de movimiento del suelo de tipo C

Periodo de Vibración	PGA (g)	CAV(cm/s)	Arms (g)	AI (m/s)	DS 5-95 (seg)
T=0.515	0.37	4449.10	0.04	8.66	54.83
T=1.068	0.48	3512.41	0.04	6.94	54.83
T=1.487	0.52	3417.13	0.04	7.75	54.83

Tabla 13. Resumen de parámetros de movimiento del suelo de tipo D

Periodo de Vibración	PGA (g)	CAV(cm/s)	Arms (g)	AI (m/s)	DS 5-95 (seg)
T=0.515	0.28	2234.90	0.02	2.12	46.46
T=1.068	0.27	1801.01	0.02	1.92	46.46
T=1.487	0.27	1731.41	0.02	2.05	46.46

5. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se calcularon parámetros de respuesta en el tiempo, de los diferentes conjuntos y tipos de estructuras. Parámetros respuesta máxima elástica e inelástica, ductilidad, y numero de incursiones en el rango no lineal de fluencia. Se asumió $R\mu = 6$

$$f_y = f_e / R\mu$$

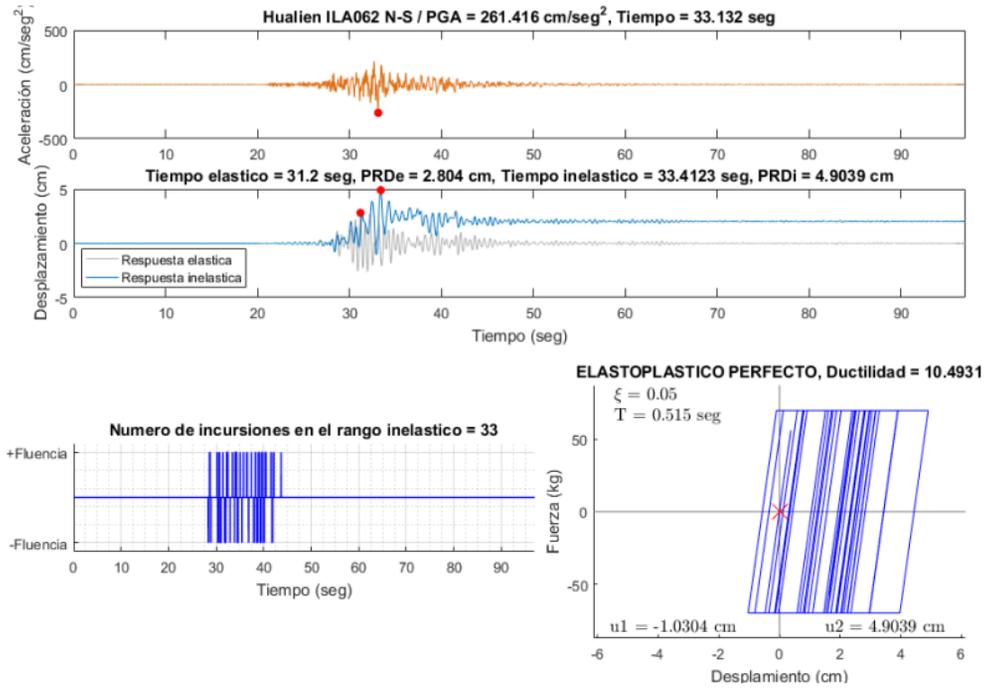


Figura 6. Respuesta en el tiempo de Hualiean N-S periodo de 0.515 segundos

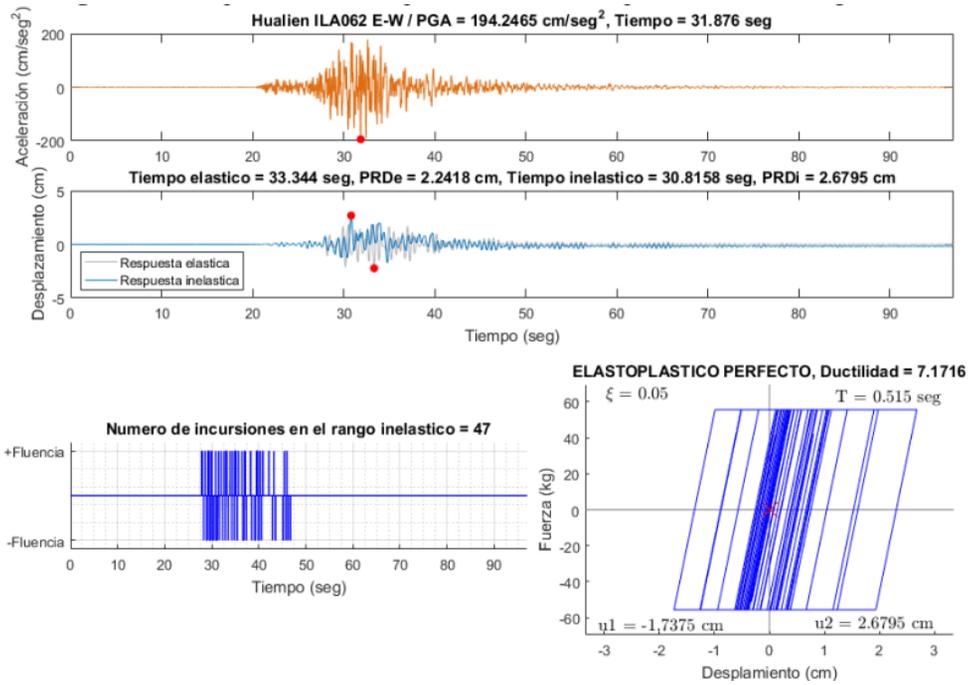


Figura 7. Respuesta en el tiempo de Hualiean E-W periodo de 0.515 segundos

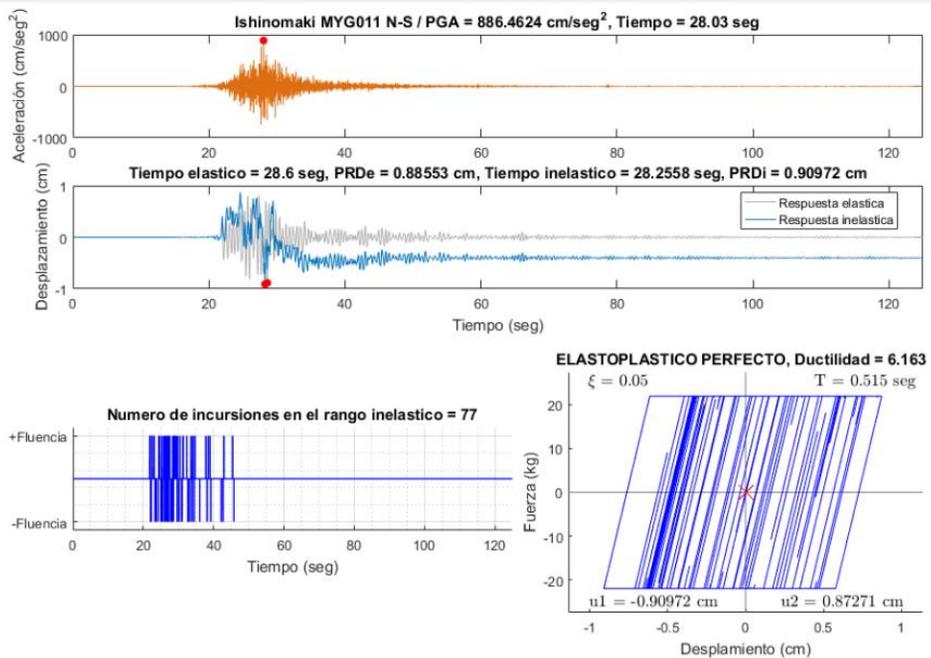


Figura 8. Respuesta en el tiempo de Ishinomaki N-S periodo de 0.515 segundos

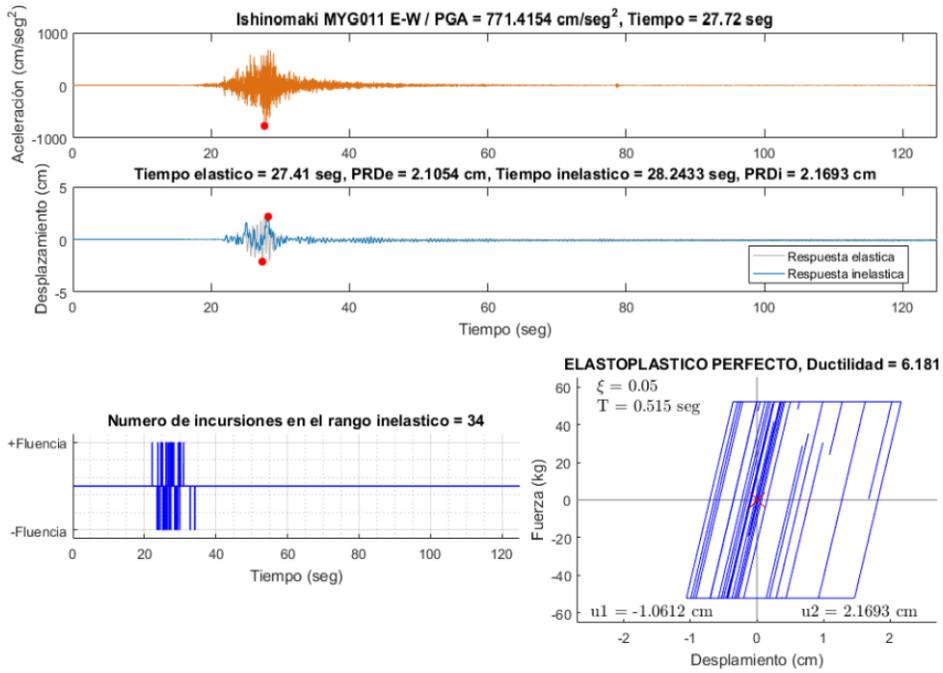


Figura 9. Respuesta en el tiempo de Ishinomaki E-W periodo de 0.515 segundos

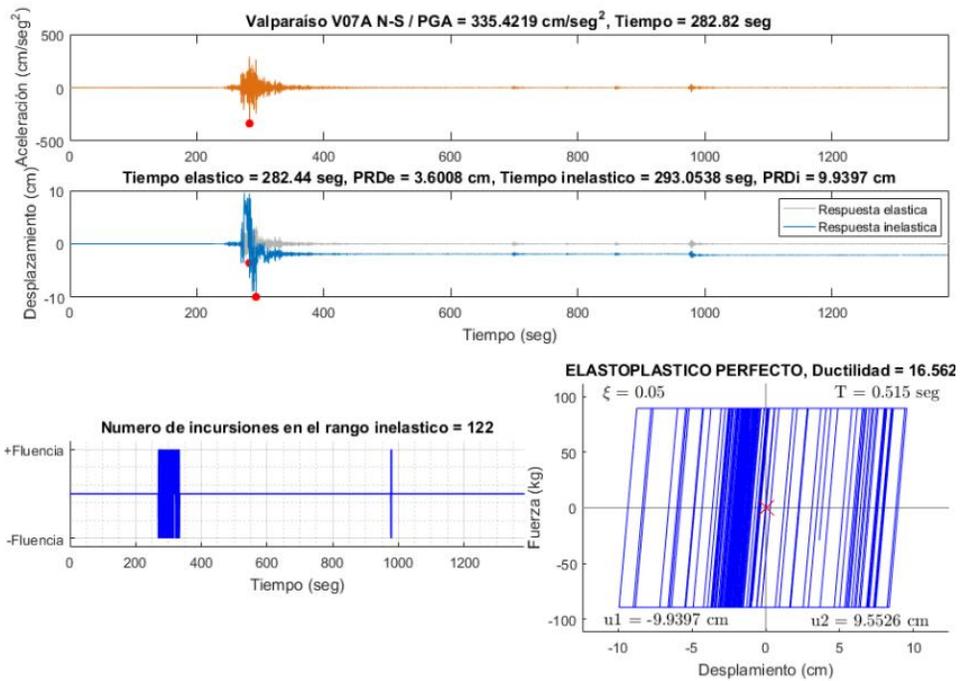


Figura 10. Respuesta en el tiempo de Valparaiso N-S periodo de 0.515 segundos

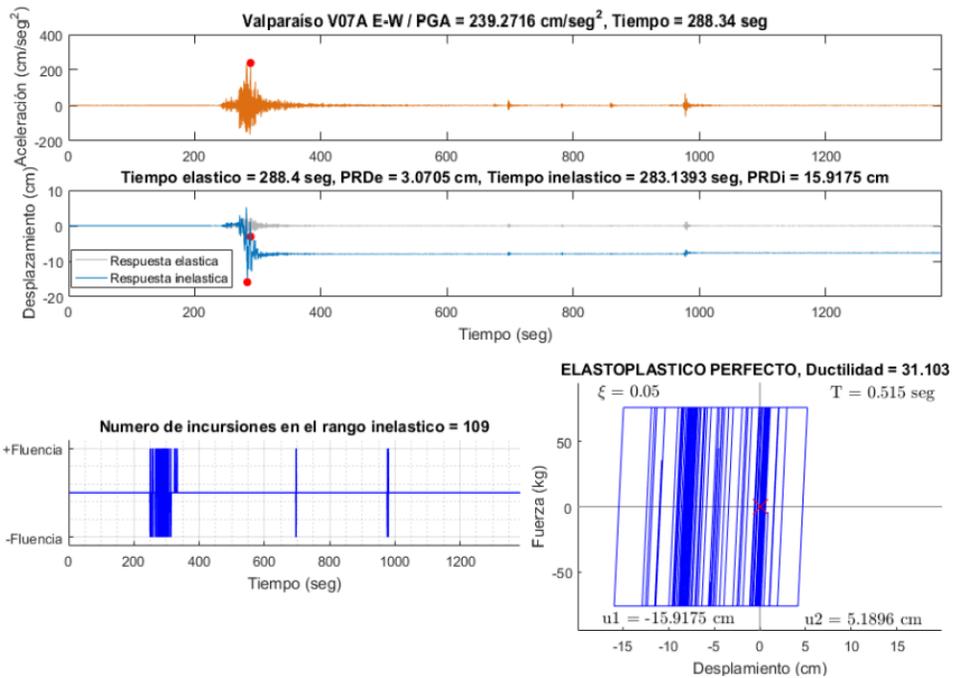


Figura 11. Respuesta en el tiempo de Valparaíso E-W periodo de 0.515 segundos

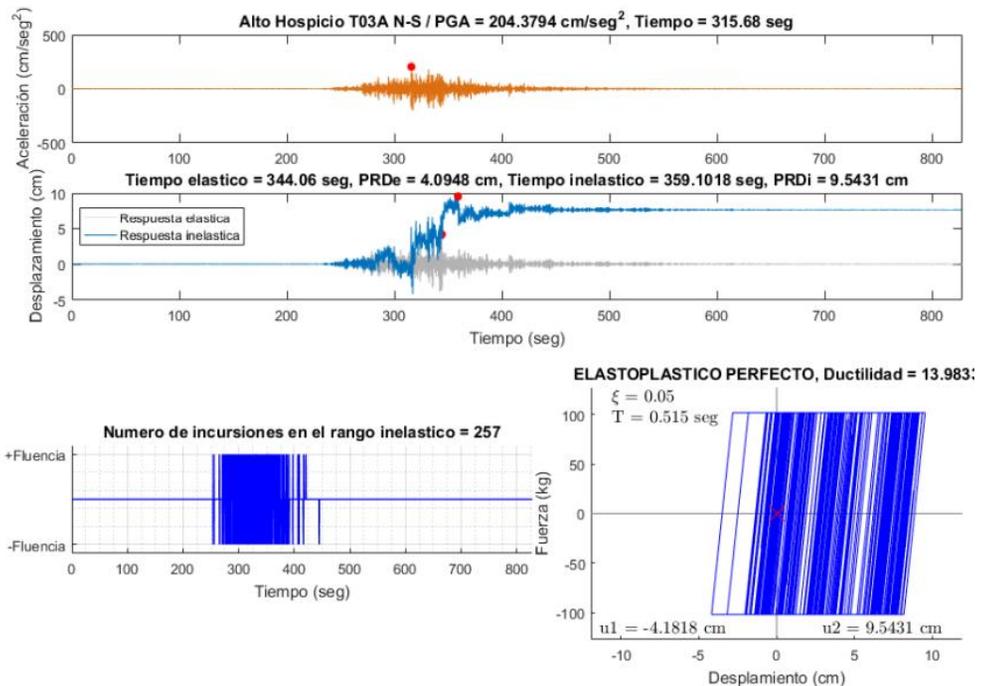


Figura 12. Respuesta en el tiempo de Alto Hospicio N-S periodo de 0.515 segundos

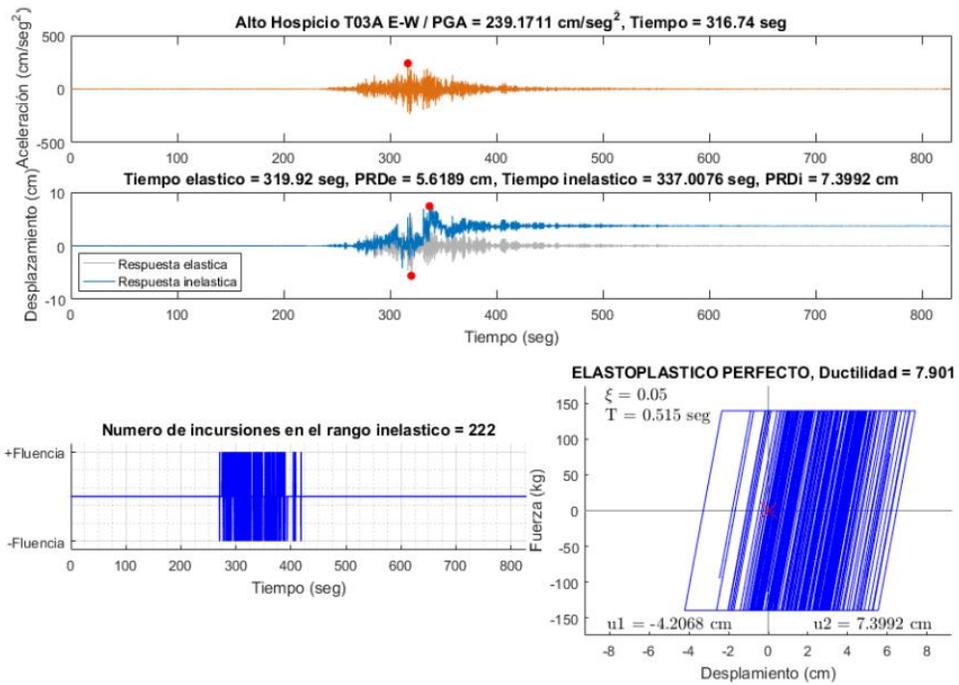


Figura 13. Respuesta en el tiempo de Alto Hospicio E-W periodo de 0.515 segundos

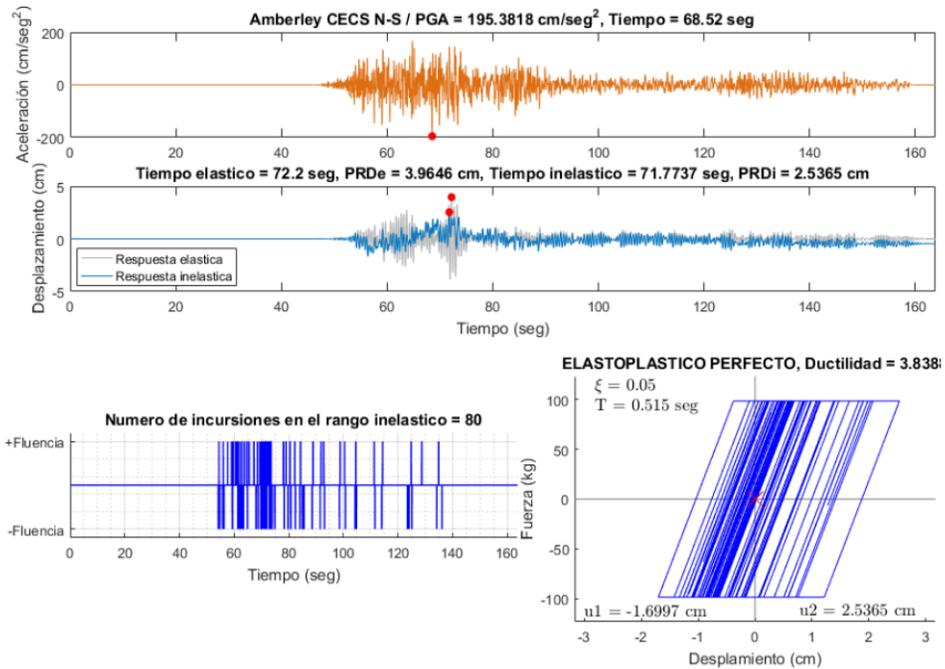


Figura 14. Respuesta en el tiempo de Amberley N-S periodo de 0.515 segundos

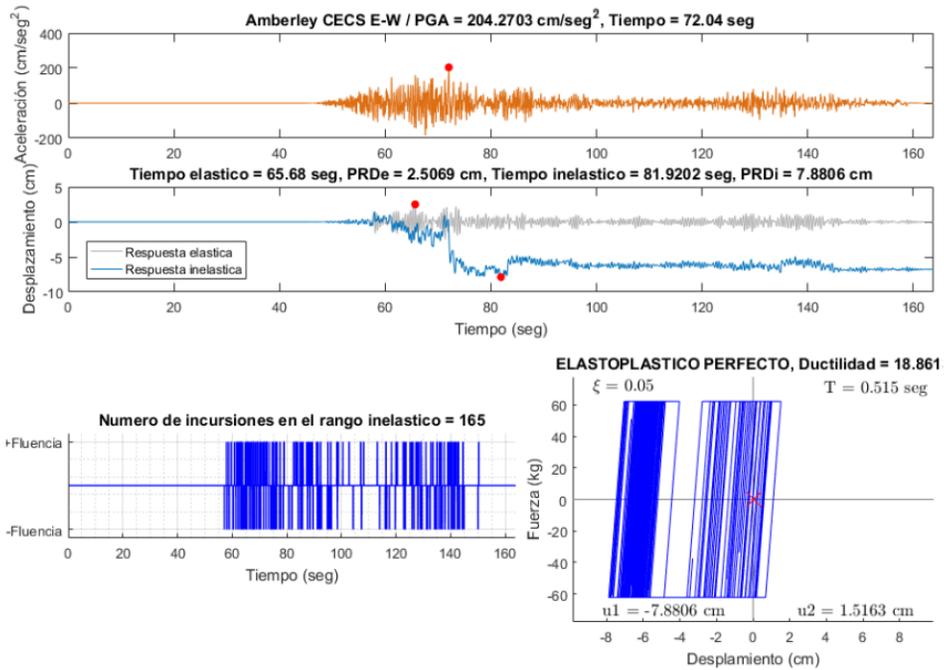


Figura 15. Respuesta en el tiempo de Amberley E-W periodo de 0.515 segundos

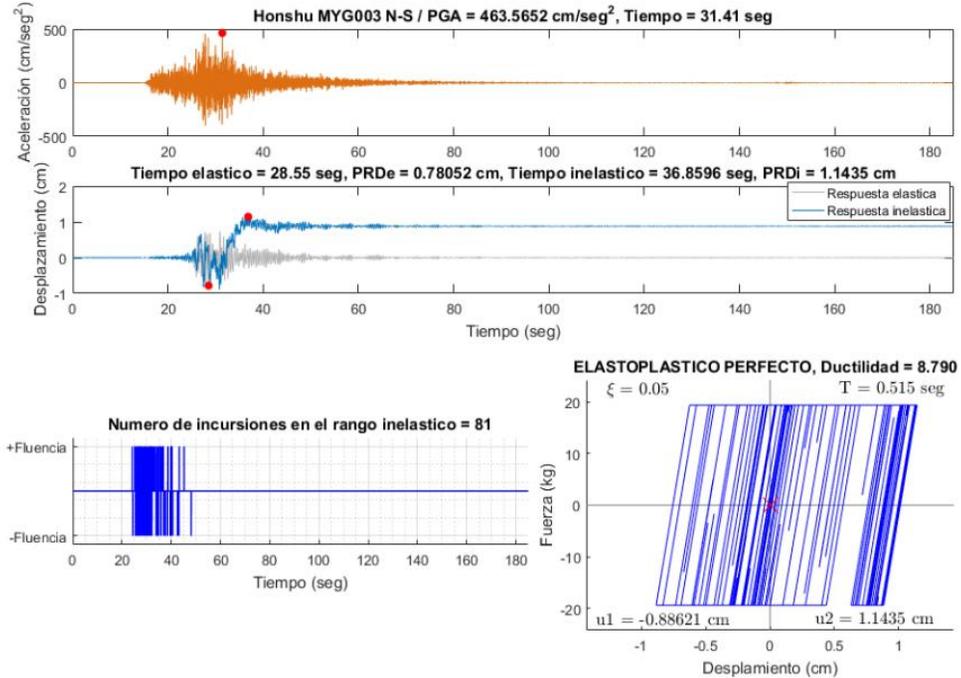


Figura 16. Respuesta en el tiempo de Honshu N-S periodo de 0.515 segundos

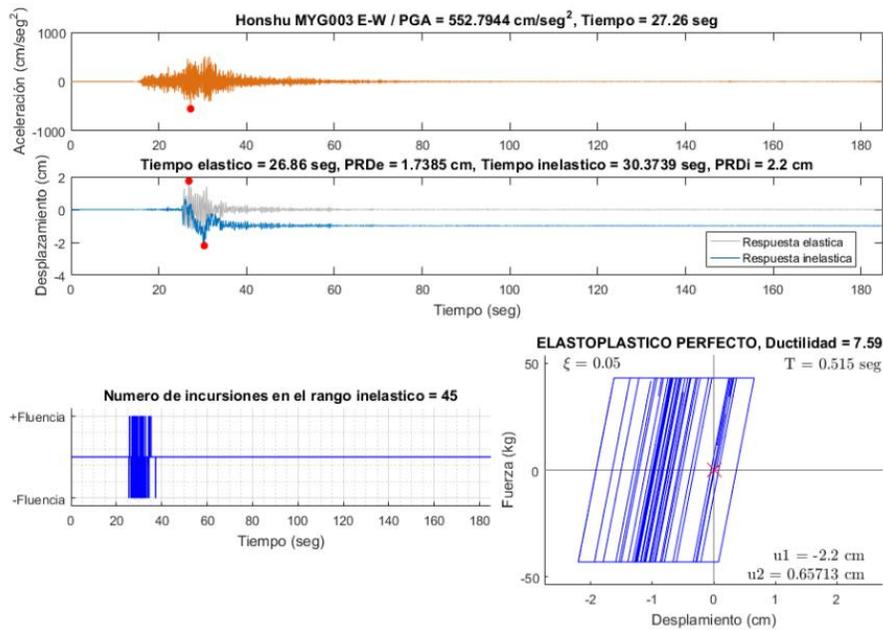


Figura 17. Respuesta en el tiempo de Honshu E-W periodo de 0.515 segundos.

Tabla 14. Parámetros de respuesta en el tiempo del conjunto tipo C escalado a un periodo 0.515

Reg N°	Nombre del Registro	PGA [cm/seg ²]	Tiempo de PGA [seg]	PDR e [cm /seg ²]	Tiempo de PDR e [seg]	PDR i [cm /seg ²]	Tiempo de PGA [seg]	Ductilidad	N° fluencia	Tipo de suelo
3	Hualien ILA062 E-W	194.25	31.88	2.24	33.34	2.68	30.82	7.17	47	C
3	Hualien ILA062 N-S	261.42	33.13	2.80	31.20	4.90	33.41	10.49	33	C
7	Honshu MYG003 E-W	552.79	27.26	1.74	26.86	2.20	30.37	7.59	45	C
7	Honshu MYG003 N-S	463.57	31.41	0.78	28.55	1.14	36.86	8.79	81	C
9	Alto Hospicio T03A E-W	239.17	4	5.62	2	7.40	1	7.90	222	C
9	Alto Hospicio T03A N-S	204.38	8	4.09	6	9.54	0	13.98	257	C
11	Canela Baja E-W	162.49	4	2.62	8	5.71	4	13.10	155	C
11	Canela Baja N-S	287.56	8	4.77	6	9	1	12.81	96	C
13	Amberley AMBC E-W	207.06	79.26	2.49	79.38	0	79.78	31.38	162	C
13	Amberley AMBC N-S	239.12	71.92	2.24	65.64	4	72.25	27.12	153	C
15	Valparaíso V07A E-W	239.27	4	3.07	0	2	4	31.10	109	C
15	Valparaíso V07A N-S	335.42	2	3.60	4	9.94	5	16.56	122	C
17	Ishinomaki MYG008 E-W	517.07	26.90	1.31	28.92	2.05	30.62	9.43	70	C
17	Ishinomaki MYG008 N-S	526.71	30.44	1.25	24.13	1.43	24.66	6.86	75	C

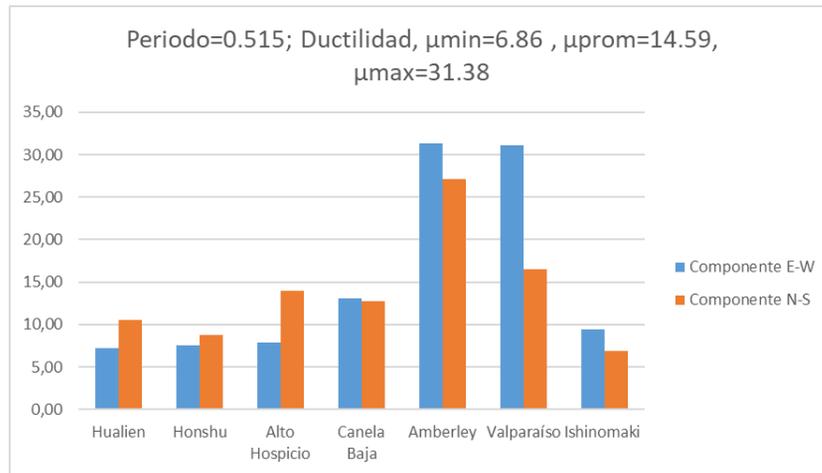


Figura 18. Ductilidad promedio del conjunto tipo C escalado a un periodo 0.515

Tabla 15. Parámetros de respuesta en el tiempo del conjunto tipo D escalado a un periodo 0.515

Reg N°	Nombre del Registro	PGA [cm/seg ²]	Tiempo de PGA [seg]	PDR e [cm/seg ²]	Tiempo de PDR e [seg]	PDR i [cm/seg ²]	Tiempo de PGA [seg]	Ductilidad	N° fluencia	Tipo de suelo
1	Rapel E-W	203.90	33.86	2.81	34.66	4.88	45.12	10.44	94	D
1	Rapel N-S	281.66	34.16	4.09	34.34	15.1	35.39	22.13	76	D
2	Tottori-ken-seibu E-W	215.29	18.88	2.27	16.62	5.97	16.93	15.74	45	D
2	Tottori-ken-seibu N-S	308.57	19.64	4.44	20.65	3.50	29.21	4.73	32	D
4	Hualien ILA065 E-W	256.91	31.90	3.23	34.52	2.72	33.99	5.05	45	D
4	Hualien ILA065 N-S	321.80	31.99	3.29	31.16	2.28	31.55	4.15	36	D
5	Hokkaido E-W	458.07	18.14	1.83	18.23	2.16	17.99	7.09	29	D
5	Hokkaido N-S	424.65	19.90	1.57	18.48	1.39	17.78	5.29	38	D
6	Otakus E-W	285.76	37.65	3.94	37.82	6.89	123.6	10.49	67	D
6	Otakus N-S	225.07	38.79	4.26	39.11	6.48	124.0	9.12	66	D
8	Honshu MYG013 E-W	309.54	32.47	3.75	33.11	4.55	35.94	7.29	36	D
8	Honshu MYG013 N-S	177.03	33.89	2.66	34.27	5.62	37.11	12.68	31	D
10	Alto Hospicio T07A E-W	279.27	311.8	4.76	312.3	2.1	312.2	30.25	122	D
10	Alto Hospicio T07A N-S	168.12	311.8	3.73	320.9	6	310.7	15.39	127	D
12	Pedernales E-W	301.63	7.35	4.05	8.77	4.56	8.97	6.77	72	D
12	Pedernales N-S	185.69	5.90	3.42	8.84	3.37	34.46	5.90	74	D
14	Amberley CECS E-W	204.27	72.04	2.51	65.68	7.88	81.92	18.86	165	D

14	Amberley CECS N-S	195.38	68.52	3.96	72.20	2.54	71.77	3.84	80	D
16	Valparaíso V09A E-W	211.89	276.1	0	281.5	17.9	285.8	29.73	95	D
16	Valparaíso V09A N-S	219.40	282.5	0	282.9	5.46	279.5	6.20	102	D
18	Ishinomaki MYG011 E-W	771.42	27.72	2.11	27.41	2.17	28.24	6.18	34	D
18	Ishinomaki MYG011 N-S	886.46	28.03	0.89	28.60	0.91	28.26	6.16	77	D

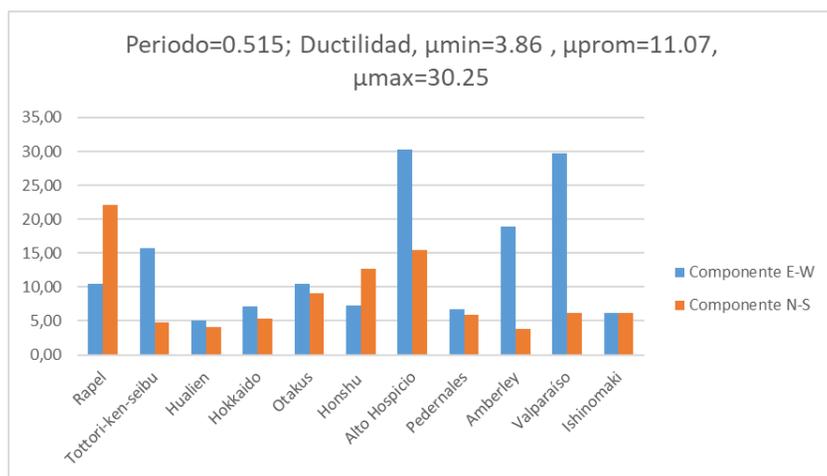


Figura 19. Ductilidad promedio del conjunto tipo D escalado a un periodo 0.515

Tabla 16. Parámetros de respuesta en el tiempo del conjunto tipo C escalado a un periodo 1.068

Reg N°	Nombre del Registro	PGA [cm/seg ²]	Tiempo de PGA [seg]	PDR e [cm/seg ²]	Tiempo de PDR e [seg]	PDR i [cm/seg ²]	Tiempo de PGA [seg]	Ductilidad	N° fluencia	Tipo de suelo
3	Hualien ILA062 E-W	189.31	31.88	4.92	35.17	3.22	34.85	3.92	23	C
3	Hualien ILA062 N-S	254.77	33.13	10.25	34.42	5.54	33.03	3.24	17	C
7	Honshu MYG003 E-W	863.03	27.26	5.02	26.72	2.95	26.33	3.52	22	C
7	Honshu MYG003 N-S	723.72	31.41	3.93	27.81	5.02	35.24	7.66	33	C
9	Alto Hospicio T03A E-W	153.13	316.74	14.07	319.72	13.63	337.99	5.81	66	C
9	Alto Hospicio T03A N-S	130.86	315.68	12.45	317.50	7.63	317.09	3.68	80	C
11	Canela Baja E-W	101.77	297.64	6.99	297.84	6.53	301.41	5.60	53	C
11	Canela Baja N-S	180.10	295.88	9.78	280.16	14.59	295.86	8.95	35	C
13	Amberley AMBC E-W	134.20	79.26	7.23	80.12	15.23	79.83	12.64	81	C
13	Amberley AMBC N-S	154.98	71.92	10.01	78.26	11.41	84.33	6.84	49	C

15	Valparaíso V07A E-W	133.28	288.34	15.86	283.64	12.64	289.88	4.78	37	C
15	Valparaíso V07A N-S	186.84	282.82	19.51	283.18	13.95	284.19	4.29	38	C
17	Ishinomaki MYG008 E-W	814.43	26.90	4.14	31.29	6.19	30.85	8.96	35	C
17	Ishinomaki MYG008 N-S	829.60	30.44	3.06	31.38	2.01	24.23	3.95	65	C

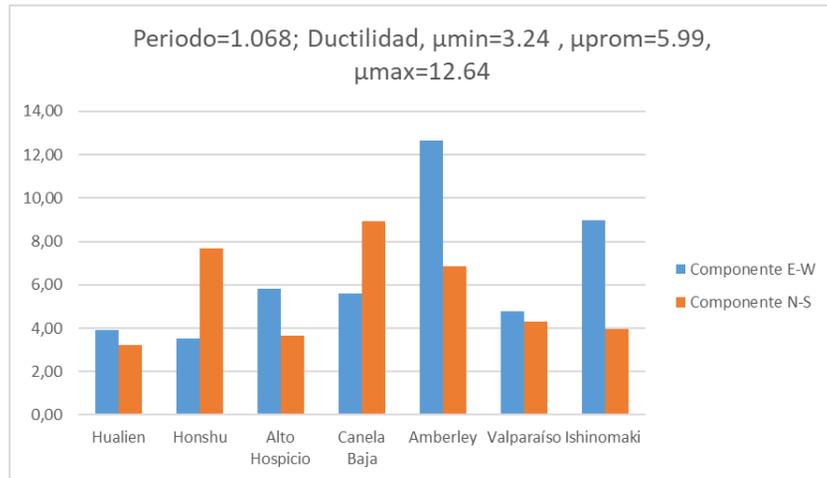


Figura 20. Ductilidad promedio del conjunto tipo C escalado a un periodo 1.068

Tabla 17. Parámetros de respuesta en el tiempo del conjunto tipo D escalado a un periodo 1.068

Reg N°	Nombre del Registro	PGA [cm/seg ²]	Tiempo de PGA [seg]	PDR e [cm/seg ²]	Tiempo de PDR e [seg]	PDR i [cm/seg ²]	Tiempo de PGA [seg]	Ductilidad	N° fluencia	Tipo de suelo
1	Rapel E-W	120.74	33.86	6.65	55.74	11.11	59.05	10.02	73	D
1	Rapel N-S	166.79	34.16	14.57	34.54	16.26	72.34	6.69	41	D
2	Tottori-ken-seibu E-W	166.71	18.88	7.66	17.30	17.96	31.35	14.07	26	D
2	Tottori-ken-seibu N-S	238.94	19.64	6.01	24.30	6.39	29.17	6.38	47	D
4	Hualien ILA065 E-W	286.15	31.90	3.86	34.80	2.99	34.02	4.64	30	D
4	Hualien ILA065 N-S	358.43	31.99	6.42	31.66	4.81	32.01	4.49	20	D
5	Hokkaido E-W	611.32	18.14	5.28	19.60	4.01	18.01	4.56	21	D
5	Hokkaido N-S	566.71	19.90	3.41	20.48	4.80	19.08	8.44	28	D
6	Otakus E-W	233.35	37.65	4.12	37.13	19.29	48.78	28.09	47	D
6	Otakus N-S	183.80	38.79	3.09	37.81	21.05	57.86	40.80	76	D
8	Honshu MYG013 E-W	251.84	32.47	8.46	36.40	7.50	35.37	5.32	20	D
8	Honshu MYG013 N-S	144.03	33.89	6.59	36.76	7.10	36.39	6.47	18	D
10	Alto Hospicio T07A E-W	154.68	311.84	10.98	312.20	21.95	355.31	11.99	42	D

10	Alto Hospicio T07A N-S	93.12	311.86	9.57	315.48	7.09	359.61	4.44	56	D
12	Pedernales E-W	306.89	7.35	6.58	13.12	3.83	44.89	3.49	61	D
12	Pedernales N-S	188.92	5.90	3.16	8.38	2.65	19.89	5.03	68	D
14	Amberley CECS E-W	164.25	72.04	5.30	61.14	6.53	71.25	7.39	98	D
14	Amberley CECS N-S	157.11	68.52	6.35	74.22	6.14	74.46	5.79	59	D
16	Valparaíso V09A E-W	125.69	276.10	13.22	279.60	14.36	300.25	6.52	51	D
16	Valparaíso V09A N-S	130.15	282.50	7.08	282.48	11.23	305.52	9.52	73	D
18	Ishinomaki MYG011 E-W	995.93	27.72	5.65	28.73	8.42	28.36	8.94	19	D
18	Ishinomaki MYG011 N-S	1144.46	28.03	2.70	28.24	5.83	28.60	12.99	38	D

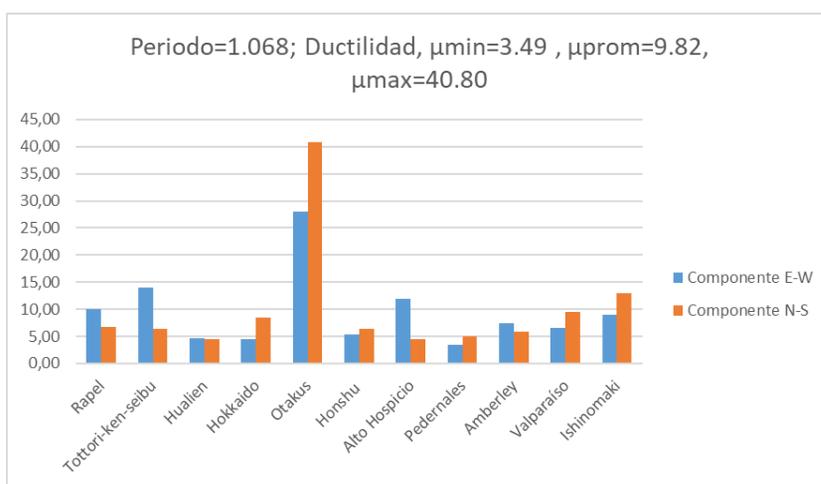


Figura 21. Ductilidad promedio del conjunto tipo D escalado a un periodo 1.068

Tabla 18. Parámetros de respuesta en el tiempo del conjunto tipo C escalado a un periodo 1.487

Reg N°	Nombre del Registro	PGA [cm/seg ²]	Tiempo de PGA [seg]	PDR e [cm/seg ²]	Tiempo de PDR e [seg]	PDR i [cm/seg ²]	Tiempo de PDR i [seg]	Tiempo de PGA [seg]	Ductilidad	N° fluencia	Tipo de suelo
3	Hualien ILA062 E-W	190.29	31.88	3.65	39.90	5.22	39.53	8.58	43	C	
3	Hualien ILA062 N-S	256.09	33.13	6.75	32.23	5.05	33.06	4.49	21	C	
7	Honshu MYG003 E-W	1029.76	27.26	6.58	28.24	3.89	26.34	3.55	31	C	
7	Honshu MYG003 N-S	863.54	31.41	5.79	28.92	5.67	41.01	5.88	36	C	
9	Alto Hospicio T03A E-W	131.26	316.74	8.32	301.78	21.59	350.41	15.56	110	C	
9	Alto Hospicio T03A N-S	112.16	315.68	6.78	336.30	12.32	377.17	10.91	115	C	
11	Canela Baja E-W	90.19	297.64	7.53	281.96	12.47	289.29	9.94	34	C	
11	Canela Baja N-S	159.60	295.88	13.32	279.82	18.24	297.73	8.22	27	C	

13	Amberley AMBC E-W	120.11	79.26	15.44	80.40	19.88	79.89	7.72	53	C
13	Amberley AMBC N-S	138.71	71.92	12.21	82.04	20.56	79.52	10.10	59	C
15	Valparaíso V07A E-W	109.49	288.34	12.07	287.96	14.77	287.62	7.34	32	C
15	Valparaíso V07A N-S	153.48	282.82	10.50	290.62	22.19	287.33	12.68	51	C
17	Ishinomaki MYG008 E-W	925.82	26.90	4.75	31.44	8.56	31.06	10.82	37	C
17	Ishinomaki MYG008 N-S	943.07	30.44	3.69	31.60	2.52	24.23	4.10	65	C

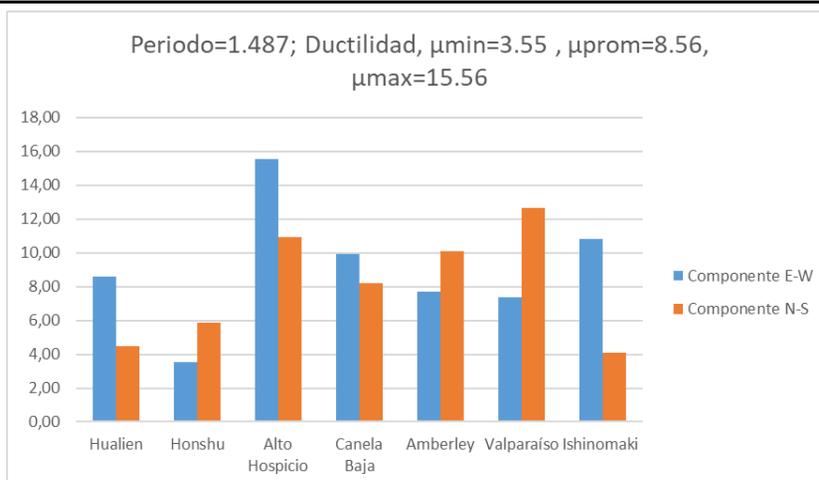


Figura 22. Ductilidad promedio del conjunto tipo C escalado a un periodo 1.487

Tabla 19. Parámetros de respuesta en el tiempo del conjunto tipo D escalado a un periodo 1.487

Reg N°	Nombre del Registro	PGA [cm/seg ²]	Tiempo de PGA [seg]	PDR e [cm/seg ²]	Tiempo de PDR e [seg]	PDR i [cm/seg ²]	Tiempo de PGA [seg]	Ductilidad	N° fluencia	Tipo de suelo
1	Rapel E-W	102.03	33.86	7.41	47.00	14.41	43.58	11.67	84	D
1	Rapel N-S	140.95	34.16	10.05	47.18	12.95	34.09	7.73	68	D
2	Tottori-ken-seibu E-W	149.79	18.88	15.72	21.15	14.57	29.73	5.56	30	D
2	Tottori-ken-seibu N-S	214.70	19.64	20.64	29.70	8.37	29.16	2.43	21	D
4	Hualien ILA065 E-W	296.23	31.90	4.58	34.47	4.27	37.02	5.58	25	D
4	Hualien ILA065 N-S	371.05	31.99	6.22	31.40	7.65	32.00	7.38	23	D
5	Hokkaido E-W	674.46	18.14	5.58	19.24	5.84	18.22	6.28	25	D
5	Hokkaido N-S	625.24	19.90	6.51	19.89	5.82	17.92	5.36	15	D
6	Otakus E-W	223.09	37.65	10.27	50.94	16.12	41.09	9.42	41	D
6	Otakus N-S	175.71	38.79	7.90	45.04	15.68	57.89	11.91	47	D
8	Honshu MYG013 E-W	233.09	32.47	7.07	36.02	6.96	46.87	5.91	29	D
8	Honshu MYG013 N-S	133.31	33.89	4.80	40.25	2.69	41.47	3.36	28	D

10	Alto Hospicio T07A E-W	131.27	311.84	12.88	306.72	20.95	318.38	9.76	64	D
10	Alto Hospicio T07A N-S	79.03	311.86	6.87	307.68	12.23	307.37	10.67	77	D
12	Pedernales E-W	297.85	7.35	6.05	14.87	6.58	21.49	6.52	66	D
12	Pedernales N-S	183.36	5.90	3.01	12.88	4.86	39.20	9.70	80	D
14	Amberley CECS E-W	158.06	72.04	7.51	72.88	4.25	71.32	3.40	72	D
14	Amberley CECS N-S	151.18	68.52	5.82	80.26	7.87	75.17	8.12	85	D
16	Valparaíso V09A E-W	108.08	276.10	11.44	286.54	16.08	308.54	8.44	41	D
16	Valparaíso V09A N-S	111.91	282.50	7.98	284.02	26.65	310.40	20.05	64	D
18	Ishinomaki MYG011 E-W	1092.71	27.72	12.04	28.85	11.26	28.36	5.62	11	D
18	Ishinomaki MYG011 N-S	1255.67	28.03	5.18	29.87	4.50	28.60	5.21	18	D

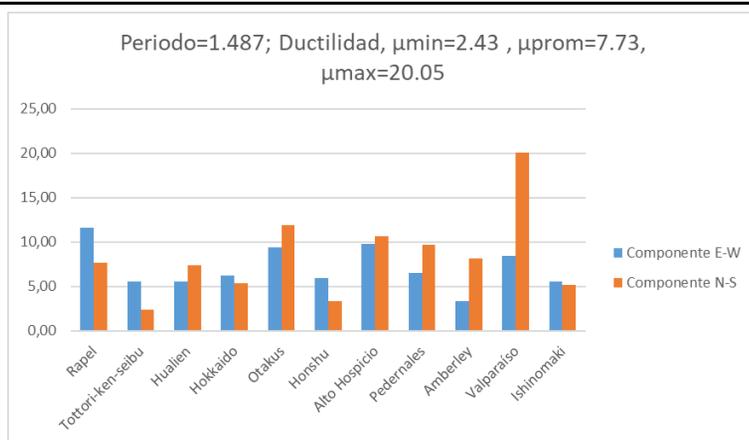


Figura 23. Ductilidad promedio del conjunto tipo D escalado a un periodo 1.487

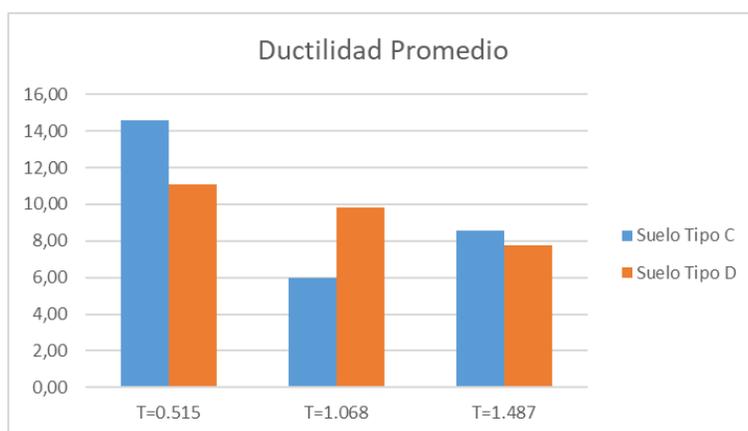


Figura 24. Resumen promedio de la ductilidad entre periodo de vibración tipo de suelo

6. CONCLUSIONES

- Selección de registro

La selección de registro puede ser una etapa tardada, cuando las bases de datos que se utiliza no son muy sofisticadas. Base de datos que no incluyan filtros de registro a base de parámetros sismológico y que no incluya funciones con la compatibilidad con un espectro de destino, implicaría que toda la selección se haga de forma manual. Afortunadamente este problema solo se da para sismo de fuente de interfase e intraplaca, que pronto será solucionado por el proyecto NGA-Sub (Bozorgnia et al., 2018). El análisis paso a paso en el tiempo tiene futuro con el rol que juegan las bases de datos, ya que estas facilitan los movimientos de suelo utilizados por los ingenieros.

- Característica de los movimientos del suelo

Se pudo observar que el escalado de amplitud no modifica el contenido de frecuencia del movimiento del suelo, ni la duración significativa, en cambio, su energía y amplitud si fueron modificadas.

- Procesamiento de acelerogramas

En los registros que no fueron procesado por la respectiva base de datos, se aplicó un filtro estándar Butterworth de paso de banda de cuarto orden a frecuencias de corte de 0.1 a 25 Hz y corrección de línea base. Con el resultado se pudo observar, que el filtro es efectivo en ciertos casos. Pero en ciertos movimientos aumenta mucho su contenido de energía, lo que afecta a su espectro y respuesta en el tiempo.

- Escalado

Siendo estricto con los parámetros sismológico, el factor de escala nunca fue superado por 4, que el factor mínimo recomendado por el ASCE 7-16 (2016), esto implicaría que entre más estricto se sea con los parámetros sismológico, la modificación de los registros sería mínima.

- Respuesta estructural

Utilizando un factor de reducción de 6, se pudo observar en los resultados, que casi todas las estructuras superaron la ductilidad de 7, siendo la más afectada, la edificación de 4 plantas. Los resultados también reflejaron, que los efectos amplificadores del suelo se vieron más definidos en el conjunto de 11 registros. Además, los efectos negativos de los filtros en los procesamientos de acelerogramas, se vieron reflejada en la respuesta de esos acelerogramas, afectando la respuesta promedio, por otro lado, se pudo observar que los que no fueron afectado, respetaron un promedio con poca desviación

7. RECOMENDACIONES

- Procesamiento de acelerogramas

Es una parte fundamental, ya que todo registro de movimiento del suelo no corregido adecuadamente implicaría una investigación profunda de su correcto procesamiento, lo que no sería práctico para el ingeniero. Se recomendaría que los registros estén certificados por sismólogo o corregirlo en base a investigaciones científicas sobre esos registros a utilizar, debido a que se necesita conocimientos profundos. Otra recomendación, es que solo se utilice para ingenieros en ejercicio, registros que provenga de base de datos de movimientos fuerte que estén corregido con metodología actuales, como el filtrado de ventanas presente en la base de NGA-West2 (Ancheta et al. 2013).

- Selección basada en escenarios

La desagregación del peligro permite una estimación adecuada de los sismos predominante en un sitio de interés, permitiendo que la selección arroje resultados confiables para el análisis y estas sean consistentes con las normas, además el disponer de las fuentes sismogénicas que contribuye mayormente al peligro, de un sitio de interés permite que la coincidencia espectral sea más rápida, cuando tu espectro objetivo es un espectro de peligro uniforme.

- Magnitud

Como lo han demostrado numerosos autores la magnitud tiene una fuerte influencia en la forma espectral y duración. También, relajar mucho este parámetro, hace que los factores de escala, sean muy grandes, y el problema con esto, es que el escalado de amplitud como mencionaron Baker (2007) y Luco & Bazzurro (2007), no modifica todas las características del movimiento del suelo, como el contenido de frecuencia que cambian con la intensidad. Además, la forma espectral se usa como representación de la forma de onda, aun cuando el escalado de amplitud consiga una forma espectral cercana con factores de escala demasiado grande, la entrada sigue siendo el registro que puede introducir sesgo.

- Distancia

La distancia parece ser un parámetro de menor importancia que puede ser compensada con el escalado de amplitud, sin embargo, cuando esta aumenta demasiado afecta la forma espectral.

- Condiciones de sitio

Es un parámetro que influye en la forma espectral, y esta se ve reflejada como efecto amplificador en los registros

11. REFERENCIAS

Aguiar, R., Rivas-Medina, A., Caiza, P., & Quizanga, D. (2017). Control spectra for Quito. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(3), 397-407. doi:<https://doi.org/10.5194/nhess-17-397-2017>

Ahdi, SK, Mazzoni, S., Kishida, T., Wang, P., Nweke, CC, Kuehn, NM, ... y Bozorgnia, Y. (2020). Características de ingeniería de los movimientos del suelo registrados en la secuencia del terremoto de Ridgecrest de 2019. *Boletín de la Sociedad Sismológica de América*, 110 (4), 1474-1494.

Ahdi, SK, Sadiq, S., Ilhan, O., Bozorgnia, Y., Hashash, YM, Kwak, DY, ... y Stewart, JP (2018). Desarrollo de una base de datos del perfil de velocidad de ondas de corte de la comunidad de Estados Unidos. En *Ingeniería Geotécnica Sísmica y Dinámica de Suelos V* (págs. 330-339). Reston, VA: Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles.

Ancheta, TD, Darragh, RB, Stewart, JP, Seyhan, E., Silva, WJ, Chiou, BSJ, ... y Donahue, JL (2014). Base de datos NGA-West2. *Espectros de terremotos*, 30 (3), 989-1005.

Berg, G. V., & Housner, G. W. (1961). Integrated velocity and displacement of strong earthquake ground motion. 51(2), 175-189.

Bonifaz García, H., & Haro Lescano, J. (2017). Tipos de perfil de suelo para diseño sísmico en Manta, Portoviejo, Chone y Bahía de Caráquez ciudades afectadas por el sismo del 16 Abril del 2016. In *Proceedings of the Third Annual*

State-of-the-Art in Civil Engineering Structures and Materials. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador and Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE.

Boore, D. M., & Akkar, S. (2003). Effect of causal and acausal filters on elastic and inelastic response spectra. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 32(11), 1729-1748. doi:<https://doi.org/10.1002/eqe.299>

Castillo Jaramillo, D. I. (2013). Peligro Sísmico de la cuenca de Loja-Ecuador. [Tesis de Grado, Universidad Católica de Loja]. Obtenido de http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8324/1/Castillo_Jaramillo_Diego_Israel.pdf

Chunga, K. (2017). Estudio de microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de Esmeraldas según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (Report No. KC-16). Geoestudios S.A. doi:<http://doi.org/10.13140/RG.2.2.30181.65769>

Hudson, D. E. (1979). Reading and interpreting strong motion accelerograms (Vol. 2). Earthquake Engineering Research Institute

Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). (2015). NEC-SE-DS: Peligro sísmico, diseño sismo resistente. Dirección de Comunicación Social, MIDUV. Obtenido de <https://bit.ly/2ZPkpOq>

Priestley, M. J., Calvi, G. M., & Kowalsky, M. J. (2007). Displacement-based seismic design of structures. Pavia, Italy: IUSS Press.

Schiff, A., & Bogdanoff, J. L. (1967). Analysis of current methods of interpreting strongmotion accelerograms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 57(5), 857-874.

Vergara Vivas, J. A. (2020). Desempeño de edificios especiales durante sismos en Ecuador-caso de estudio escuelas y centros de educación en la provincia de Manabí. [Tesis de Grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14423>

Ye, X., & Wang, D. (2011). Selection of real earthquake accelerograms for structural dynamic analysis and energy evaluation. *Science China technological sciences*, 54(11), 2878-2885. doi:<https://doi.org/10.1007/s11431-011-4541-7>

12. ANEXOS

Programas de Matlab desarrollados

```

function [Sa,T,To,Tc]=espectro_DS_NEC15(ZS,PS,RS,DT,Tmax,grafico)
% Función para el calculo del espectro de diseño de aceleración segun
% la NEC 2015
%
% Datos de entrada      Descripción
% -----
%
% ZS                    : Código de la zona sísmica
%
% -----
%                      ZS      Valor Z
% -----
%                      1      0.15g
%                      2      0.25g
%                      3      0.30g
%                      4      0.35g
%                      5      0.40g
%                      6      ≥0.50g
% -----
%
% PS                    : Código del perfil del subsuelo
%
% -----
%                      PS      Tipo de
%                               perfil de suelo
% -----
%                      1      A
%                      2      B
%                      3      C
%                      4      D
%                      5      E
% -----
%
% RS                    : Código de Región
%
% -----
%                      RS      Región del
%                               Ecuador
% -----
%                      1      Provincias de la Costa
%                               (excepto Esmeraldas)
%                      2      Provincias de la Sierra,
%                               Esmeraldas y Galápagos
%                      3      Provincias del Oriente
% -----
%
% DT                    : Paso o intervalo de periodo
% Tmax                  : Período máximo para el espectro de diseño
% grafico               : Código para presentar gráfico, grafico=1 si desea
%                          mostrar grafico
%
% Datos de salida      Descripción
% -----
%
% Sa                    : Aceleraciones espectral normalizada expresado
%                          como fracción de la aceleración de la gravedad g
%
% T                     : Vector de periodo del espectro
%
% To                    : Período donde comienza acender la rama
%                          del espectro
%
% Tc                    : Período donde comienza a decender la rama
%                          del espectro
%
% -----CODIGO PRINCIPAL----- %%
T=(0:DT:Tmax)';Sa=zeros(length(T),1);
CFa=[0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9;1 1 1 1 1;1.4 1.3 1.25 1.23 1.2 1.18;
1.6 1.4 1.3 1.25 1.2 1.12;1.8 1.4 1.25 1.1 1.0 0.85];

```

```

CFd=[0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9;1 1 1 1 1 1;1.36 1.28 1.19 1.15 1.11 1.06;
1.62 1.45 1.36 1.28 1.19 1.11; 2.1 1.75 1.7 1.65 1.6 1.5];
CFs=[0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75;0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75;
0.85 0.94 1.02 1.06 1.11 1.23;1.02 1.06 1.11 1.19 1.28 1.40;
1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0];
Fa=CFa(PS,ZS);Fd=CFd(PS,ZS);Fs=CFs(PS,ZS);
To=0.1*Fs*(Fd/Fa); Tc=0.55*Fs*(Fd/Fa);
if PS==1 | PS==2 | PS==3 | PS==4;r=1; elseif PS==5;r=1.5; end
if RS==1; eta=1.8; elseif RS==2; eta=2.48; elseif RS==3; eta=2.6; end
if ZS==1; z=0.15; elseif ZS==2; z=0.2; elseif ZS==3; z=0.3;
elseif ZS==4; z=0.35;elseif ZS==5; z=0.4;elseif ZS==6; z=0.5; end
for i=1:length(T)
    if T(i) <= To
        Sa(i)=z*Fa*(1+(eta-1)*(T(i)/To));
    elseif T(i) > To & T(i) <= Tc
        Sa(i)=eta*z*Fa;
    elseif T(i) > Tc
        Sa(i)=eta*z*Fa*(Tc/T(i))^r;
    end
end
end
%% -----GRAFICOS----- %%
if grafico==1
plot(T,Sa*1.5);xlim([0 T(length(T))]);xlabel('Periodo T(seg)');
ylabel('Aceleración Espectral Sa(g)');
title(['Espectro de Diseño']);grid on; grid minor;
end
end

```

```

function [acorr,vcorr,dcorr,Ca,Cv,Cd,t]=corr_de_linea_base(a,dt,k,grafico)
% Programa para integración de acelerogramas
%.....Datos.de.entrada.....
% a      Es la serie temporal de aceleración del suelo
%        que se registra o sintetiza (cm/s2).
% dt     Es el intervalo de tiempo integral
% k      Es numero del grado de polinomio
%.....Reporta.....
% acorr  Es la serie temporal de aceleración corregida
% vcorr  Es la serie temporal de velocidad corregida
% dcorr  Es la serie temporal de desplazamiento corregida
% Ca     Son los coeficientes del polinomio de Aceleración
% Cv     Son los coeficientes del polinomio de Velocidad
% Cd     Son los coeficientes del polinomio de Desplazamiento
% t      Es la serie de tiempo (s).
% Presentar Grafico                                grafico = 1
n=length(a); % número de puntos del acelerograma
t=linspace(0,((n*dt)-dt),n)'; % serie de tiempo
gr=0;
[v,d,t]=integracion_acelerograma(a,dt,gr);
%% Modelo Polinómico de Aceleración
if k==0
    Ca=sum(a)/n;
    Ea(1:n)=Ca;
    Ea=Ea';
elseif k>0
    for j=0:k
        T(:,j+1)=t.^(j);
    end
    Ca=(T'*T)\T'*a;
    Ea=T*Ca;
end
acorr=a-Ea;
[vcorr,dcorr,t]=integracion_acelerograma(acorr,dt,gr);
%% Modelo Polinómico de Velocidad
Ev=v-vcorr;
for j=0:k+1
    T(:,j+1)=t.^(j);
end
Cv=(T'*T)\T'*Ev;
%% Modelo Polinómico de Desplazamiento
Ed=d-dcorr;
for j=0:k+2
    T(:,j+1)=t.^(j);
end
Cd=(T'*T)\T'*Ed;

%% GRAFICOS
if grafico==1
    %% Posiciones y colores de los graficos
    pos1=[0.05 0.71 0.7 0.25]; pos4=[0.78 0.71 0.2 0.25];
    pos2=[0.05 0.39 0.7 0.25]; pos5=[0.78 0.39 0.2 0.25];
    pos3=[0.05 0.07 0.7 0.25]; pos6=[0.78 0.07 0.2 0.25];
    azul=[0 0.4470 0.7410];
    plomo=[0.7 0.7 0.7];
    %% Grafico 1 Aceleración original y Corregida
    subplot('Position',pos1)
    plot(t,a,'color',plomo)
    ylabel('Aceleración (cm/seg^2)'); xlabel('Tiempo (seg)');
    hold on

```

```
plot(t,acorr,'color',azul)
legend('original','corregido')
%% Grafico 2 Velocidad original y Corregida
subplot('Position',pos2)
plot(t,v,'color',plomo)
ylabel('Velocidad (cm/seg)'); xlabel('Tiempo (seg)');
hold on
plot(t,vcorr,'color',azul)
legend('original','corregido')
%% Grafico 3 Desplazamiento original y Corregida
subplot('Position',pos3)
plot(t,d,'color',plomo)
ylabel('Desplazamiento (cm)'); xlabel('Tiempo (seg)');
hold on
plot(t,dcorr,'color',azul)
legend('original','corregido')
%% Grafico 4 Linea base de Aceleración
subplot('Position',pos4)
plot(t,Ea,'color','r')
title('Linea Base de Aceleración')
%% Grafico 5 Linea base de Velocidad
subplot('Position',pos5)
plot(t,Ev,'color','r')
title('Linea Base de Velocidad')
%% Grafico 6 Linea base de Desplazamiento
subplot('Position',pos6)
plot(t,Ed,'color','r')
title('Linea Base de Desplazamiento')
end
return
```

```

function [PRAe, PRVe, PRDe, ae, ve, ue]=respuesta_elastica(ag,zeda,Wn,m,...
    uo,vo,dt,beta,gamma,grafico)
% Función para el calculo de la respuesta lineal paso a paso en el tiempo
% por el método Beta de Newmark para sistemas de un grado de libertad

%   Datos de entrada      Descripción
%   -----
%   ag                    : Vector de acelerograma del registro de entrada
%   zeda                  : Razón de amortiguamiento
%   Wn                    : Frecuencia natural del sistema
%   m                     : Masa del sistema
%   uo                    : Desplazamiento inicial
%   vo                    : Velocidad inicial
%   dt                    : Paso o intervalo de tiempo
%   beta                  : Parámetro de integración que representa un tipo
%                           de variación supuesta de aceleración en un
%                           intervalo de tiempo dado, para el caso de una
%                           familia de aceleración escalonada beta=1/8, de
%                           aceleración lineal beta=1/6 y aceleración
%                           constante beta=1/4
%   gamma                 : Parámetro de integración de precisión donde se
%                           recomienda gamma=1/2
%   grafico               : Código para presentar gráfico, grafico=1 si desea
%                           mostrar grafico

%   Datos de salida      Descripción
%   -----
%   PRAe                  : Respuesta máxima elástica de aceleración
%   PRVe                  : Respuesta máxima elástica de velocidad
%   PRDe                  : Respuesta máxima elástica de desplazamiento
%   ae                    : Respuesta paso a paso de aceleración elástica
%   ve                    : Respuesta paso a paso de velocidad elástica
%   ue                    : Respuesta paso a paso de desplazamiento elástico

%% -----CODIGO PRINCIPAL----- %%
n=length(ag); t=(0:dt:(n-1)*dt)'; ue=zeros(length(ag),1);
ve=zeros(length(ag),1); ae=zeros(length(ag),1); fs=zeros(length(ag),1);
ko=(Wn^2)*m;c=2*zeda*sqrt(ko*m);
%% SOLUCIÓN NUMÉRICA DE LA ECUACION DE MOVIMIENTO PARA UN SISTEMA LINEAL
% Determinación de las condiciones Iniciales
ue(1)=uo; ve(1)=vo; ae(1)=-m*ag(1)-c*ve(1)-ko*ue(1); fs(1)=ko*ue(1);
% Calculo de las Constantes de Beta Newmark
a1=(m/(beta*dt^2))+((gamma*c)/(beta*dt));
a2=(m/(beta*dt))+((gamma/beta)-1)*c;
a3=((1/(2*beta))-1)*m+(dt*((gamma/(2*beta))-1)*c);
ke=ko+a1;
% Cálculos para cada paso de tiempo
for i=1:length(ag)-1
    fe=-m*ag(i+1)+a1*ue(i)+a2*ve(i)+a3*ae(i);
    ue(i+1)=fe/ke;
    du=(ue(i+1)-ue(i));
    ve(i+1)=ve(i)+((gamma*du)/(beta*dt))-((gamma*ve(i))/beta)+(dt...
        *ae(i)*(1-(gamma/(2*beta))));
    ae(i+1)=(du/(beta*dt^2))-((ve(i)/(beta*dt))-((1/(2*beta))-1)*ae(i));
    fs(i+1)=fs(i)+ko*du;
end

```

```

% Verificacion de estabilidad del metodo
T=(2*pi)/Wn;
if (dt/T)>(1/(pi*sqrt(2)))*(1/sqrt(gamma-2*beta))
disp 'El metodo no es estable se requiere un paso de tiempo dt mas corto';
end
%% Calculo de Aceleracion maxima, Respuestas Maximas e instante de tiempo
PGA=0; PRAe=0; PRVe=0; PRDe=0;
for j=1:n
    if abs(ag(j))>PGA
        PGA=abs(ag(j));
        nag=j;
    end
    if abs(ae(j))>PRAe
        PRAe=abs(ae(j));
        na=j;
    end
    if abs(ve(j))>PRVe
        PRVe=abs(ve(j));
        nv=j;
    end
    if abs(ue(j))>PRDe
        PRDe=abs(ue(j));
        nu=j;
    end
end
%% Repuesta de la energia paso a paso en el tiempo
fk=ae*m; fd=c*ve; fr=fs+fk+fd; Es1=cumtrapz(ue, fs);
Ek1=cumtrapz(ue, fk); Ed1=cumtrapz(ue, fd);
%% -----GRAFICOS----- %%
if grafico==1
    %% GRAFICO DE LA RESPUESTA ENERGETICA
    figure(1)
    Y = [Ed1; Es1; Ek1]'; h=area(t, Y, 'EdgeAlpha', .3, 'LineWidth', 0.01);
    set(gca, 'Layer', 'top'); set(h(1), 'FaceColor', [1 0.753 0])
    set(h(2), 'FaceColor', [0.439 0.678 0.278]);
    set(h(3), 'FaceColor', [.357 0.608 0.835])
    legend({'Energia disipada', 'Energia de deformación', 'Energia cinetica'},...
        'Location', 'northwest')
    ylabel('Energia (kg-cm)'); xlabel('Tiempo (seg)');
    xlim([0 t(n)]); ylim([0 max(ylim)]); grid on; grid minor; colormap summer
    title(['Respuesta de la energia paso a paso en el tiempo']);
    %% GRAFICOS DE RESPUESTA MAXIMA
    figure(2)
    %% Gafico de aceleracion del Suelo
    subplot('Position', [0.05 0.77 0.93 0.18])
    plot(t, ag, 'color', [0.87 0.43 0.07]); hold on
    plot(t(nag), ag(nag), 'o', 'MarkerEdgeColor', 'r', 'markersize', 8)
    txtPGA1='PGA = '; txtPGA2=num2str(PGA); txtPGA3=' $cm/seg^{2}$';
    txtPGA4=cellstr([txtPGA1 txtPGA2 txtPGA3]);
    txtPGAT1='T = '; txtPGAT2=num2str(t(nag)); txtPGAT3=' $seg$';
    txtPGAT4=cellstr([txtPGAT1 txtPGAT2 txtPGAT3]);
    ylabel('Aceleración (cm/seg^2)'); xlim([0 t(n)]);
    text(t(nag)+(max(t)*0.02), ag(nag), txtPGA4, 'Interpreter',...
        'Latex', 'FontSize', 12, 'Color', 'r', 'HorizontalAlignment',...
        'left', 'VerticalAlignment', 'bottom')
    text(t(nag)+(max(t)*0.02), ag(nag), txtPGAT4, 'Interpreter', 'Latex',...
        'FontSize', 12, 'Color', 'r', 'HorizontalAlignment', 'left',...
        'VerticalAlignment', 'top')
    title(['Amortiguamiento \xi = ', num2str(zeda),...
        ' y Periodo T=', num2str(T), ' segundos']); grid on; grid minor
    %% Grafico de respuesta de aceleracion
    subplot('Position', [0.05 0.54 0.93 0.18]); plot(t, ae); hold on
    plot(t(na), ae(na), 'o', 'MarkerEdgeColor', 'r', 'markersize', 8)
    txtPRAE1='PRA = '; txtPRAE2=num2str(PRAe); txtPRAE3=' $cm/seg^{2}$';
    txtPRAE4=cellstr([txtPRAE1 txtPRAE2 txtPRAE3]);

```

```

txtPRAET1='T = '; txtPRAET2=num2str(t(na)); txtPRAET3=' $seg$';
txtPRAET4=cellstr([txtPRAET1 txtPRAET2 txtPRAET3]);
ylabel('Aceleración (cm/seg^2)');xlim([0 t(n)]);
text(t(na)+(max(t)*0.02), ae(na), txtPRAE4, 'Interpreter',...
'Latex', 'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment',...
'left','VerticalAlignment', 'bottom')
text(t(na)+(max(t)*0.02), ae(na), txtPRAET4, 'Interpreter', 'Latex',...
'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment', 'left',...
'VerticalAlignment', 'top'); grid on; grid minor
%% Grafico de respuesta de velocidad
subplot('Position',[0.05 0.31 0.93 0.18]); plot(t,ve); hold on
plot(t(nv),ve(nv),'o','MarkerEdgeColor','r','markersize',8)
txtPRVE1='PRV = '; txtPRVE2=num2str(PRVE); txtPRVE3=' $cm/seg$';
txtPRVE4=cellstr([txtPRVE1 txtPRVE2 txtPRVE3]);
txtPRVET1='T = '; txtPRVET2=num2str(t(nv)); txtPRVET3=' $seg$';
txtPRVET4=cellstr([txtPRVET1 txtPRVET2 txtPRVET3]);
ylabel('Velocidad (cm/seg)');xlim([0 t(n)]);
text(t(nv)+(max(t)*0.02), ve(nv), txtPRVE4, 'Interpreter',...
'Latex', 'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment',...
'left','VerticalAlignment', 'bottom')
text(t(nv)+(max(t)*0.02), ve(nv), txtPRVET4, 'Interpreter', 'Latex',...
'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment', 'left',...
'VerticalAlignment', 'top'); grid on; grid minor
%% Grafico de respuesta de desplazamiento
subplot('Position',[0.05 0.08 0.93 0.18]); plot(t,ue); hold on
plot(t(nu),ue(nu),'o','MarkerEdgeColor','r','markersize',8)
txtPRDE1='PRD = '; txtPRDE2=num2str(PRDE); txtPRDE3=' $cm$';
txtPRDE4=cellstr([txtPRDE1 txtPRDE2 txtPRDE3]);
txtPRDET1='T = '; txtPRDET2=num2str(t(nu)); txtPRDET3=' $seg$';
txtPRDET4=cellstr([txtPRDET1 txtPRDET2 txtPRDET3]);
ylabel('Desplazamiento (cm)'); xlabel('Tiempo (seg)');xlim([0 t(n)]);
text(t(nu)+(max(t)*0.02), ue(nu), txtPRDE4, 'Interpreter',...
'Latex', 'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment',...
'left','VerticalAlignment', 'bottom')
text(t(nu)+(max(t)*0.02), ue(nu), txtPRDET4, 'Interpreter', 'Latex',...
'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment', 'left',...
'VerticalAlignment', 'top'); grid on; grid minor
%% GRAFICO FUERZA DESPLAZAMIENTO
figure(3)
lx1=round((-max(abs(ue))*0.25)-(max(abs(ue))),0);
lx2=round((max(abs(ue))*0.25)+(max(abs(ue))),0);
ly1=round((-max(abs(fs))*0.25)-(max(abs(fs))),0);
ly2=round((max(abs(fs))*0.25)+(max(abs(fs))),0);
line([lx1;lx2],[0;0],'color',[0.5 0.5 0.5]);
line([0;0],[ly1;ly2],'color',[0.5 0.5 0.5]);
ylabel('Fuerza (kg)');xlabel('Desplamiento (cm)');
pnx=(8*lx1)/9;pnx=(5*ly2)/6;
txtNW1=['T = ' num2str(T) ' segundos']; txtNW2=['$\xi = $ ' num2str(zeda)];
txtNE1=['u1 = ' num2str(min(ue)) ' cm'];
txtNE2=['u2 = ' num2str(max(ue)) ' cm'];
text(pnx, pny, txtNW1, 'Interpreter','Latex', 'FontSize', 12,...
'VerticalAlignment','top', 'HorizontalAlignment','left')
text(pnx, pny, txtNW2, 'Interpreter','Latex', 'FontSize', 12,...
'VerticalAlignment','bottom', 'HorizontalAlignment','left')
text(-pnx,-pny, txtNE1, 'Interpreter','Latex', 'FontSize', 12,...
'VerticalAlignment','bottom', 'HorizontalAlignment','right')
text(-pnx,-pny, txtNE2, 'Interpreter','Latex', 'FontSize', 12,...
'VerticalAlignment','top', 'HorizontalAlignment','right')
hold on; plot(ue,fs,'color','b'); hold on
plot(ue(1),fs(1),'x','MarkerEdgeColor','r','markersize',15)
axis([lx1 lx2 ly1 ly2]); title({'ELASTICO'});
end
end

```

```

function [PRA, PRV, PRD, a, v, u]=respuesta_inelastica(ag, fy, alfa, zeda, Wn, m, ...
    uo, vo, dt, beta, gamma, grafico)
% Función para el calculo de la respuesta lineal paso a paso en el tiempo
% por el método Beta de Newmark para sistemas de un grado de libertad

% Datos de entrada      Descripción
% -----
%      ag                : Vector de acelerograma del registro de entrada
%      fy                : Fuerza de fluencia
%      alfa              : La razón de rigidez post-elástica
%      zeda              : Razón de amortiguamiento
%      Wn                : Frecuencia natural del sistema
%      m                 : Masa del sistema
%      uo                : Desplazamiento inicial
%      vo                : Velocidad inicial
%      dt                : Paso o intervalo de tiempo
%      beta              : Parámetro de integración que representa un tipo
%                        de variación supuesta de aceleración en un
%                        intervalo de tiempo dado, para el caso de una
%                        familia de aceleración escalonada beta=1/8, de
%                        aceleración lineal beta=1/6 y aceleración
%                        constante beta=1/4
%      gamma             : Parámetro de integración de precisión donde se
%                        recomienda gamma=1/2
%      grafico           : Código para presentar gráfico, grafico=1 si desea
%                        mostrar grafico

% Datos de salida      Descripción
% -----
%      PRA              : Respuesta máxima de aceleración
%      PRV              : Respuesta máxima de velocidad
%      PRD              : Respuesta máxima de desplazamiento
%      a                : Respuesta paso a paso de aceleración
%      v                : Respuesta paso a paso de velocidad
%      u                : Respuesta paso a paso de desplazamiento
%% -----CODIGO PRINCIPAL----- %%
n=length(ag); t=(0:dt:(n-1)*dt)'; u=zeros(length(ag),1);
v=zeros(length(ag),1); a=zeros(length(ag),1); fs=zeros(length(ag),1);
ko=(Wn^2)*m; c=2*zeda*sqrt(ko*m); KEY=zeros(length(ag),1); uy=fy/ko;
%% SOLUCIÓN NUMÉRICA DE LA ECUACION DE MOVIMIENTO PARA UN SISTEMA LINEAL
% Determinación de las condiciones Iniciales
u(1)=uo; v(1)=vo; a(1)=-m*ag(1)-c*v(1)-ko*u(1); fs(1)=ko*u(1);
% Calculo de las Constantes de Beta Newmark
a1=(m/(beta*dt^2))+((gamma*c)/(beta*dt));
a2=(m/(beta*dt))+((gamma/beta)-1)*c;
a3=(((1/(2*beta))-1)*m)+(dt*((gamma/(2*beta))-1)*c);
for i=1:length(ag)-1
    ju=u(i+1);
    jfs=fs(i);
    jkT=ko;

```

```

jf=-m*ag(i+1)+a1*u(i)+a2*v(i)+a3*a(i);
jR=jf-jfs-a1*ju;
while abs(jR)>=10^-8
    jKT=jKT+a1;
    jdu=jR/jKT;
    ju=ju+jdu;
    jfs=fs(i)+ko*(ju-u(i));
    jfyt=alfa*ko*(ju-uy)+fy; % Fluencia (positiva)
    jfyc=alfa*ko*(ju+uy)-fy; % Fluencia (negativa)
    if jfs>=jfyt
        jfs=jfyt;
        jkT=alfa*ko;
        KEY(i)=1;
    elseif jfs<=jfyc
        jfs=jfyc;
        jkT=alfa*ko;
        KEY(i)=-1;
    else
        KEY(i)=0;
    end
    jR=jf-jfs-a1*ju;
end
u(i+1)=ju;
du=u(i+1)-u(i);
v(i+1)=v(i)+((gamma*du)/(beta*dt))-((gamma*v(i))/beta)+(dt...
    *a(i)*(1-(gamma/(2*beta))));
a(i+1)=(du/(beta*dt^2))-(v(i)/(beta*dt))-((1/(2*beta))-1)*a(i);
fs(i+1)=jfs;
end
% Verificacion de estabilidad del metodo
T=(2*pi)/Wn; fm=max(abs(fs));
if (dt/T)>((1/(pi*sqrt(2)))*(1/sqrt(gamma-2*beta)))
disp 'El metodo no es estable se requiere un paso de tiempo dt mas corto';
end
%% Calculo de Aceleración maxima, Respuestas Maximas e instante de tiempo
PGA=0; PRA=0; PRV=0; PRD=0;
for j=1:n
    if abs(ag(j))>PGA
        PGA=abs(ag(j));
        nag=j;
    end
    if abs(a(j))>PRA
        PRA=abs(a(j));
        na=j;
    end
    if abs(v(j))>PRV
        PRV=abs(v(j));
        nv=j;
    end
    if abs(u(j))>PRD
        PRD=abs(u(j));
        nu=j;
    end
end
%% Repuesta de la energía paso a paso en el tiempo
Es2=(fs.^2)/(2*ko);fk=a*m; fd=c*v; fr=fs+fk+fd; Eh1=cumtrapz(u,fs);
Ek1=cumtrapz(u,fk); Ed1=cumtrapz(u,fd); Eh2=Eh1-Es2;
%% Calculo de la aceleración equivalente de fluencia y el Coeficiente
% sismico de Fluencia
ay=fy/m; Cy=fy/(m*9.81);
%% -----GRAFICOS----- %%
if grafico==1
    %% GRAFICO DE LA RESPUESTA ENERGETICA
    figure(1)
    Y = [Ed1';Eh2';Es2';Ek1']; h=area(t,Y,'EdgeAlpha',.3,'LineWidth',0.01);

```

```

set(gca,'Layer','top'); set(h(1),'FaceColor',[1 0.753 0])
set(h(2),'FaceColor',[0.824 0.082 0.012]);
set(h(3),'FaceColor',[0.439 0.678 0.278]);
set(h(4),'FaceColor',[.357 0.608 0.835]);
legend({'Energia disipada','Energia histeretica',...
'Energia de deformación','Energia cinetica'},'Location','northwest')
ylabel('Energia (kg-cm)');xlabel('Tiempo (seg)');
xlim([0 t(n)]);ylim([0 max(ylim)]);grid on; grid minor; colormap summer
title(['Respuesta de la energía paso a paso en el tiempo']);
%% GRAFICOS DE RESPUESTA MAXIMA
figure(2)
%% Gafico de aceleracion del Suelo
subplot('Position',[0.05 0.77 0.93 0.18])
plot(t,ag,'color',[0.87 0.43 0.07]); hold on
plot(t(nag),ag(nag),'o','MarkerEdgeColor','r','markersize',8)
txtPGA1='PGA = '; txtPGA2=num2str(PGA); txtPGA3=' $cm/seg^{2}$';
txtPGA4=cellstr([txtPGA1 txtPGA2 txtPGA3]);
txtPGAT1='T = '; txtPGAT2=num2str(t(nag)); txtPGAT3=' $seg$';
txtPGAT4=cellstr([txtPGAT1 txtPGAT2 txtPGAT3]);
ylabel('Aceleración (cm/seg^2)');xlim([0 t(n)]);
text(t(nag)+(max(t)*0.02), ag(nag), txtPGA4, 'Interpreter',...
'Latex', 'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment',...
'left','VerticalAlignment', 'bottom')
text(t(nag)+(max(t)*0.02), ag(nag), txtPGAT4, 'Interpreter', 'Latex',...
'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment', 'left',...
'VerticalAlignment', 'top')
title(['Amortiguamiento \xi = ',num2str(zeda),...
'y Periodo T=',num2str(T),' segundos']);grid on; grid minor
%% Grafico de respuesta de aceleracion
subplot('Position',[0.05 0.54 0.93 0.18]); plot(t,a);hold on
plot(t(na),a(na),'o','MarkerEdgeColor','r','markersize',8)
txtPRA1='PRA = '; txtPRA2=num2str(PRA); txtPRA3=' $cm/seg^{2}$';
txtPRA4=cellstr([txtPRA1 txtPRA2 txtPRA3]);
txtPRAT1='T = '; txtPRAT2=num2str(t(na)); txtPRAT3=' $seg$';
txtPRAT4=cellstr([txtPRAT1 txtPRAT2 txtPRAT3]);
ylabel('Aceleración (cm/seg^2)');xlim([0 t(n)]);
text(t(na)+(max(t)*0.02), a(na), txtPRA4, 'Interpreter',...
'Latex', 'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment',...
'left','VerticalAlignment', 'bottom')
text(t(na)+(max(t)*0.02), a(na), txtPRAT4, 'Interpreter', 'Latex',...
'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment', 'left',...
'VerticalAlignment', 'top'); grid on; grid minor
%% Grafico de respuesta de velocidad
subplot('Position',[0.05 0.31 0.93 0.18]); plot(t,v); hold on
plot(t(nv),v(nv),'o','MarkerEdgeColor','r','markersize',8)
txtPRV1='PRV = '; txtPRV2=num2str(PRV); txtPRV3=' $cm/seg$';
txtPRV4=cellstr([txtPRV1 txtPRV2 txtPRV3]);
txtPRVT1='T = '; txtPRVT2=num2str(t(nv)); txtPRVT3=' $seg$';
txtPRVT4=cellstr([txtPRVT1 txtPRVT2 txtPRVT3]);
ylabel('Velocidad (cm/seg)');xlim([0 t(n)]);
text(t(nv)+(max(t)*0.02), v(nv), txtPRV4, 'Interpreter',...
'Latex', 'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment',...
'left','VerticalAlignment', 'bottom')
text(t(nv)+(max(t)*0.02), v(nv), txtPRVT4, 'Interpreter', 'Latex',...
'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment', 'left',...
'VerticalAlignment', 'top'); grid on; grid minor
%% Grafico de respuesta de desplazamiento
subplot('Position',[0.05 0.08 0.93 0.18]); plot(t,u); hold on
plot(t(nu),u(nu),'o','MarkerEdgeColor','r','markersize',8)
txtPRD1='PRD = '; txtPRD2=num2str(PRD); txtPRD3=' $cm$';
txtPRD4=cellstr([txtPRD1 txtPRD2 txtPRD3]);
txtPRDT1='T = '; txtPRDT2=num2str(t(nu)); txtPRDT3=' $seg$';
txtPRDT4=cellstr([txtPRDT1 txtPRDT2 txtPRDT3]);xlim([0 t(n)]);
ylabel('Desplazamiento (cm)'); xlabel('Tiempo (seg)');
text(t(nu)+(max(t)*0.02), u(nu), txtPRD4, 'Interpreter',...

```

```

'Latex', 'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment',...
'left','VerticalAlignment', 'bottom')
text(t(nu)+(max(t)*0.02), u(nu), txtPRDT4, 'Interpreter', 'Latex',...
'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment', 'left',...
'VerticalAlignment', 'top'); grid on; grid minor
%% GRAFICOS DE EFECTOS DE FLUENCIA
figure(3)
%% Grafico de respuesta de desplazamiento
subplot('Position',[0.1 0.68 0.88 0.25]); plot(t,u); hold on
plot(t(nu),u(nu),'o','MarkerEdgeColor','r','markersize',8)
xlim([0 t(n)]);ylabel('Desplazamiento (cm)');
text(t(nu)+(max(t)*0.02), u(nu), txtPRD4, 'Interpreter',...
'Latex', 'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment',...
'left','VerticalAlignment', 'bottom')
text(t(nu)+(max(t)*0.02), u(nu), txtPRDT4, 'Interpreter', 'Latex',...
'FontSize', 12, 'Color', 'r','HorizontalAlignment', 'left',...
'VerticalAlignment', 'top'); grid on; grid minor
title(['Histeresis para ay=',num2str(ay),' , Cy=',num2str(Cy),' y T=',...
num2str(T),' seg'])
%% Grafico de respuesta de deformación
subplot('Position',[0.1 0.38 0.88 0.25]);yyaxis left
fm=max(abs(fs));line([t(1);t(n)], [0;0], 'color','k');
line([t(1);t(n)], [fy;fy], 'color',[0.85 0.32 0.09]);
line([t(1);t(n)], [-fy;-fy], 'color',[0.85 0.32 0.09]);
line([t(1);t(n)], [fm;fm], 'color','r');
line([t(1);t(n)], [-fm;-fm], 'color','r');
hold on;plot(t,fs, 'color','b');grid on; grid minor;xlim([0 t(n)]);
sryt = sprintf('fy = %s %s',num2str(round(fy,3)), 'kg');
sryc = sprintf('fy = %s %s',num2str(round(-fy,3)), 'kg');
srmt = sprintf('fm = %s %s',num2str(round(fm,3)), 'kg');
srmc = sprintf('fm = %s %s',num2str(round(-fm,3)), 'kg');
litm=[min(ylim) max(ylim)];ylabel('Fuerza (kg)');
if fm>fy
set(gca, 'YTick', [-fm -fy fy fm], 'YTickLabel', str2mat(srmc, sryc, sryt, srmt));
else
set(gca, 'YTick', [-fy fy ], 'YTickLabel', str2mat(sryc, sryt));
end
yyaxis right;ylim(litm);
%% Grafico de respuesta de fluencia
subplot('Position',[0.1 0.08 0.88 0.25]);
line([t(1);t(n)], [0;0], 'color','k');hold on;ylim([-1.2 1.2]);
plot(t,KEY, 'color','b','LineWidth',1);grid on; grid minor;xlim([0 t(n)]);
set(gca, 'YTick', [-1 1], 'YTickLabel', str2mat('-Fluencia', '+Fluencia'));
xlabel('Tiempo (seg)');
%% GRAFICO FUERZA DESPLAZAMIENTO
figure(4)
lx1=round((-max(abs(u))*0.25)-(max(abs(u))),0);
lx2=round((max(abs(u))*0.25)+(max(abs(u))),0);
ly1=round((-max(abs(fs))*0.25)-(max(abs(fs))),0);
ly2=round((max(abs(fs))*0.25)+(max(abs(fs))),0);
line([lx1;lx2], [0;0], 'color',[0.5 0.5 0.5]);
line([0;0], [ly1;ly2], 'color',[0.5 0.5 0.5]);
ylabel('Fuerza (kg)');xlabel('Desplamiento (cm)');
pnx=(8*lx1)/9;pny=(5*ly2)/6;
txtNW1=['T = ' num2str(T) ' seg']; txtNW2=['\xi = $ ' num2str(zeda)];
txtNE1=['u1 = ' num2str(min(u)) ' cm'];
txtNE2=['u2 = ' num2str(max(u)) ' cm'];
text(pnx, pny, txtNW1, 'Interpreter', 'Latex', 'FontSize', 12,...
'VerticalAlignment', 'top', 'HorizontalAlignment', 'left')
text(pnx, pny, txtNW2, 'Interpreter', 'Latex', 'FontSize', 12,...
'VerticalAlignment', 'bottom', 'HorizontalAlignment', 'left')
text(-pnx, -pny, txtNE1, 'Interpreter', 'Latex', 'FontSize', 12,...
'VerticalAlignment', 'bottom', 'HorizontalAlignment', 'right')
text(-pnx, -pny, txtNE2, 'Interpreter', 'Latex', 'FontSize', 12,...
'VerticalAlignment', 'top', 'HorizontalAlignment', 'right')

```

```
hold on; plot(u,fs,'color','b'); hold on
plot(u(1),fs(1),'X','MarkerEdgeColor','r','markersize',15)
axis([lx1 lx2 ly1 ly2]);
if fm>fy
title(['BILINEAL']);
elseif fm==fy
title(['ELASTOPLASTICO PERFECTO']);
else
title(['ELASTICO']);
end
end
end
```