

TAREA N°3 DE INGENIERÍA SÍSMICA

CIV-338

DISEÑO SÍSMICO DE SISTEMAS DE 1 GRADO DE LIBERTAD



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA



Integrantes:
Alexis Contreras R.
Cristóbal Adasme B.
(Grupo A)

Profesor:
Cristian Cruz D.



Contenido

1. Pregunta 1.....	2
Parte (I)	2
Parte (II)	4
Parte (III)	9
2. Pregunta 2.....	11
Parte (I) y (II)	11
Parte (III)	12
3. Pregunta 3.....	13
Parte (I)	13
Parte (II)	13
Parte (III)	18
Parte (IV)	19
Parte (V)	20
Parte (VI)	20
Parte (VII)	22

1. Pregunta 1

Se solicita implementar una rutina de Matlab para resolver numéricamente la ecuación de movimiento para sistemas lineales. Para la realización de esto, se implementará el método de Newmark para sistemas lineales. A partir de esta rutina se obtendrá los espectros y pseudo-espectros de aceleraciones, velocidad y desplazamientos para el registro de Tarzana utilizado en la Tarea 1.

Al estar considerando un análisis lineal, la rigidez del sistema es constante y conocida, cabe destacar que se resolverá el problema asumiendo una masa unitaria para el sistema ($m = 1$).

Parte (I)

Se sabe que para utilizar el método de Newmark la aceleración debe ser incondicionalmente estable y que la velocidad constante es estable si $\Delta t < 0.551T_n$, lo cual no se cumple para $T_n = 0$ hasta $T_n = 0.03$. Por lo que no es posible aplicar una aceleración lineal en el método para este rango de periodo.

A partir de la rutina realizada en Matlab, se obtienen los desplazamientos, velocidades y aceleraciones para todo el registro del sismo. A partir de estos valores obtenidos, se procede a calcular S_d , S_v y S_a como el máximo de cada uno para cada periodo.

A continuación, se presentan los espectros obtenidos para las cinco razones de amortiguamiento (ξ) solicitadas:

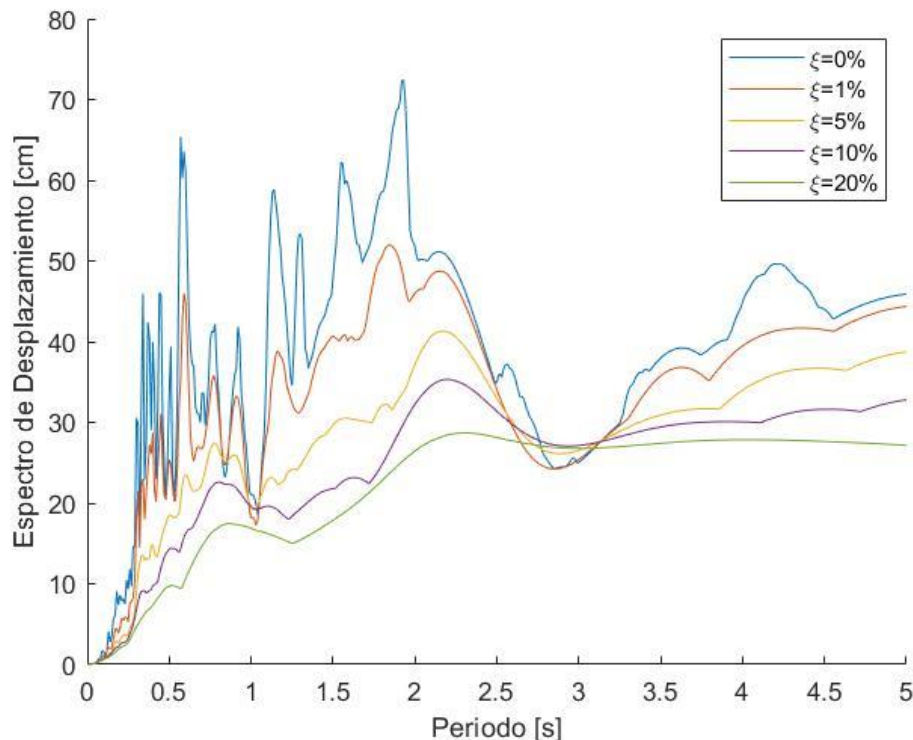


Figura 1: Espectro de desplazamientos para las razones de amortiguaciones solicitadas.

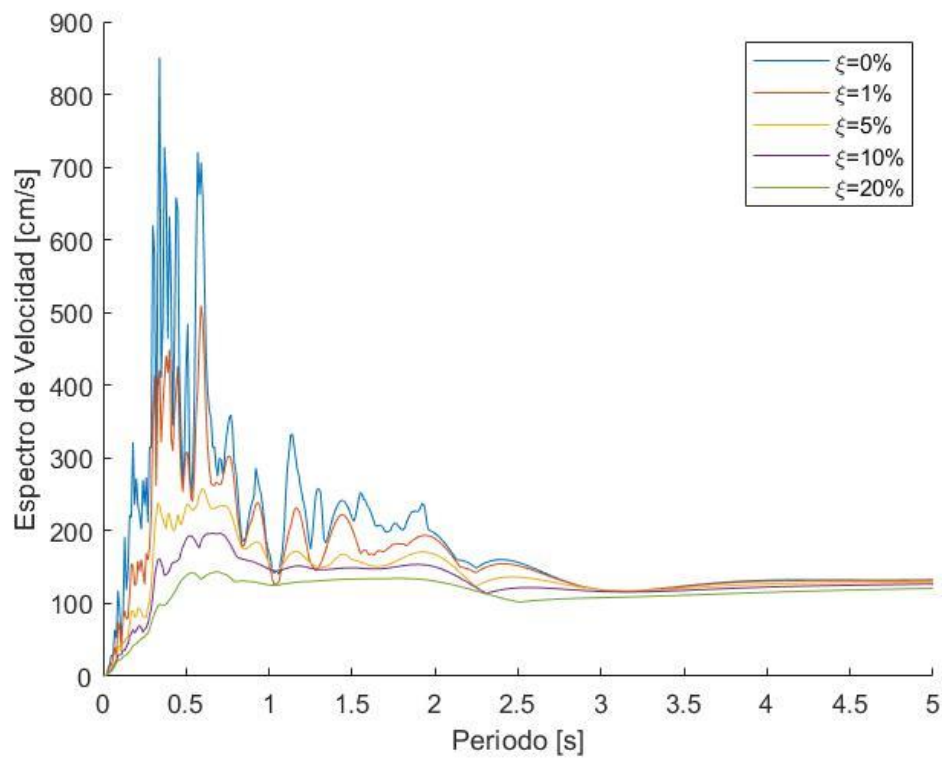


Figura 2: Espectro de velocidades para las razones de amortiguamiento solicitadas.

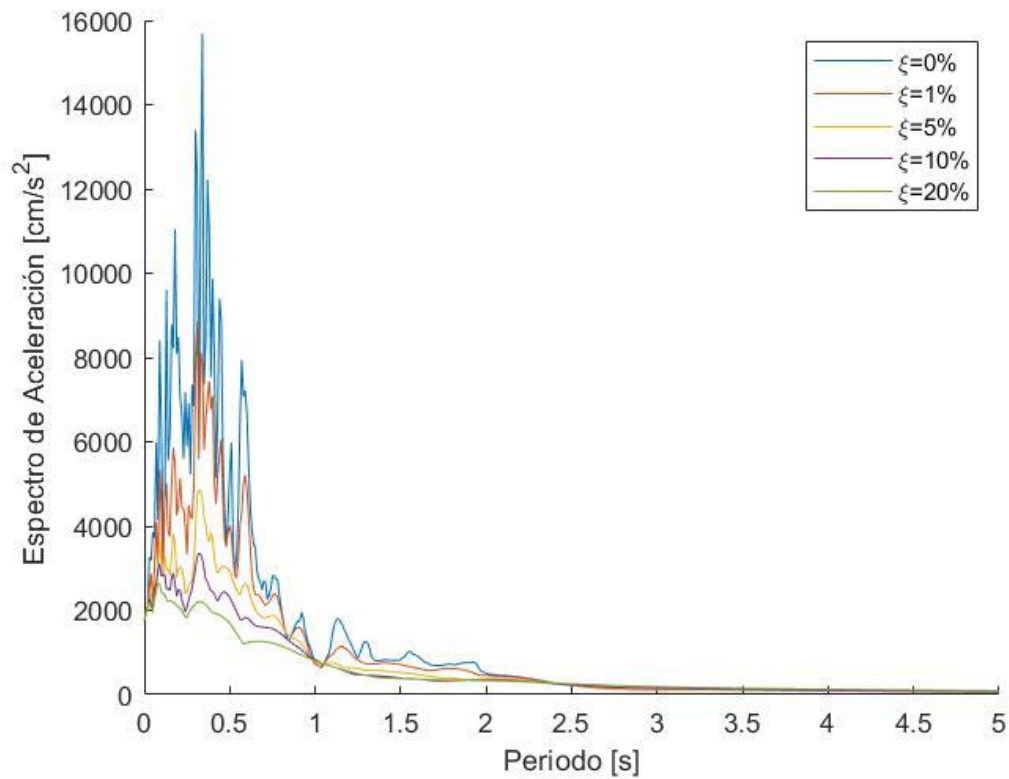


Figura 3: Espectro de aceleraciones para las razones de amortiguamiento solicitadas.

A partir del espectro de desplazamientos, se desprende que a menor amortiguamiento presente, mayores serán los desplazamientos máximos, cabe destacar que esto no ocurre para todo el rango de periodo analizado, ya que en los periodos de 1[s] y 3[s] aproximadamente los desplazamientos son equivalentes para las diferentes razones de amortiguamiento.

Cabe destacar, además, que para periodos bajos los gráficos poseen una forma similar, donde se observa que a medida que aumenta el periodo aumenta también la dispersión entre gráficos. Pese a que no se logra apreciar en el gráfico, teóricamente las curvas deben tender al PGD para un periodo lo suficientemente grande o infinito.

Del espectro de velocidades se puede apreciar que ocurre un fenómeno parecido al espectro de desplazamiento, donde nuevamente se tiene una mayor dispersión cercano a los valores peak y un acercamiento en los valores en los valles de los gráficos, solo que en este caso cercano al segundo valle alrededor de 3 [s] se mantienen cercanos los valores de velocidades de las curvas. Cabe mencionar que para un periodo que tienda al infinito se tiene que los espectros tienden al PGV.

Respecto al espectro de aceleraciones, como el sistema de referencia es absoluto, la aceleración de piso corresponde a la aceleración producida por el movimiento sísmico, por lo que las curvas parten desde el PGA del registro, para posteriormente tener un peak alrededor de un periodo de 0.4 [s] y luego decaer y tender a 0 conforme aumenta el periodo. Cabe destacar, que nuevamente se posee un valle para un periodo de 1[s], al igual que en los espectros anteriores, por lo que se puede concluir que si la estructura posee un periodo fundamental de 1 [s], el amortiguamiento que posea no influirá en la respuesta de la estructura.

Parte (II)

A partir de la misma rutina en Matlab, se calcula el pseudo espectro de velocidad y aceleración, como se presenta a continuación:

$$\begin{aligned}PS_v &= w_n S_d \\PS_a &= w_n^2 S_d\end{aligned}$$

Por lo que para la obtención del pseudo espectro basta con conocer la frecuencia natural y el espectro de desplazamientos. El espectro de desplazamientos fue obtenido en el inciso anterior y la frecuencia natural esta dada por:

$$w_n = \frac{2 * \pi}{T_n}$$

A partir de lo anterior, se obtienen los siguientes pseudo espectros:

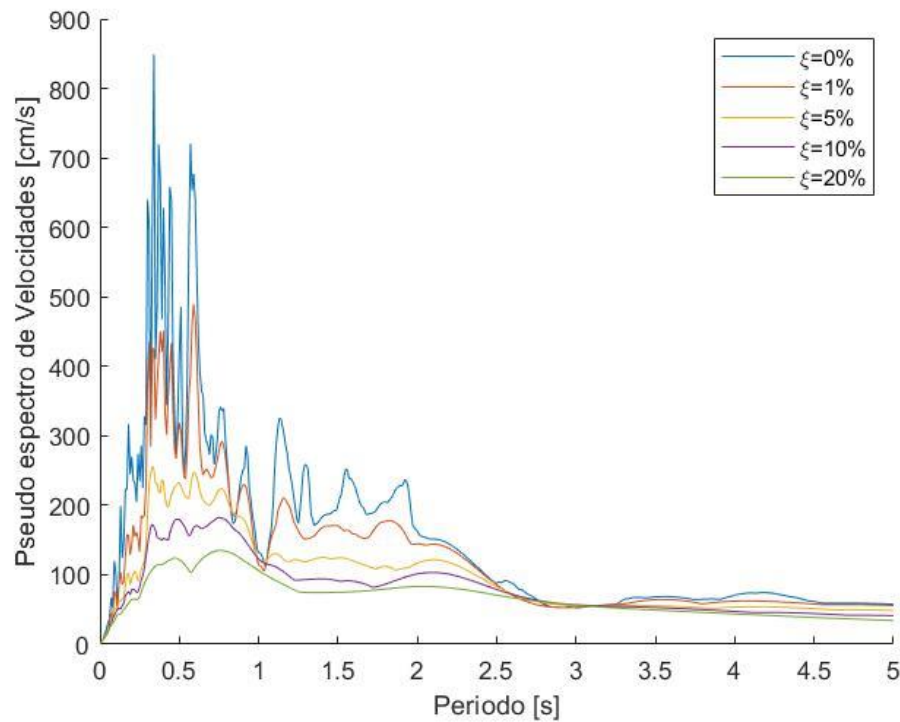


Figura 4: Pseudo espectro de velocidades para las razones de amortiguamiento solicitadas.

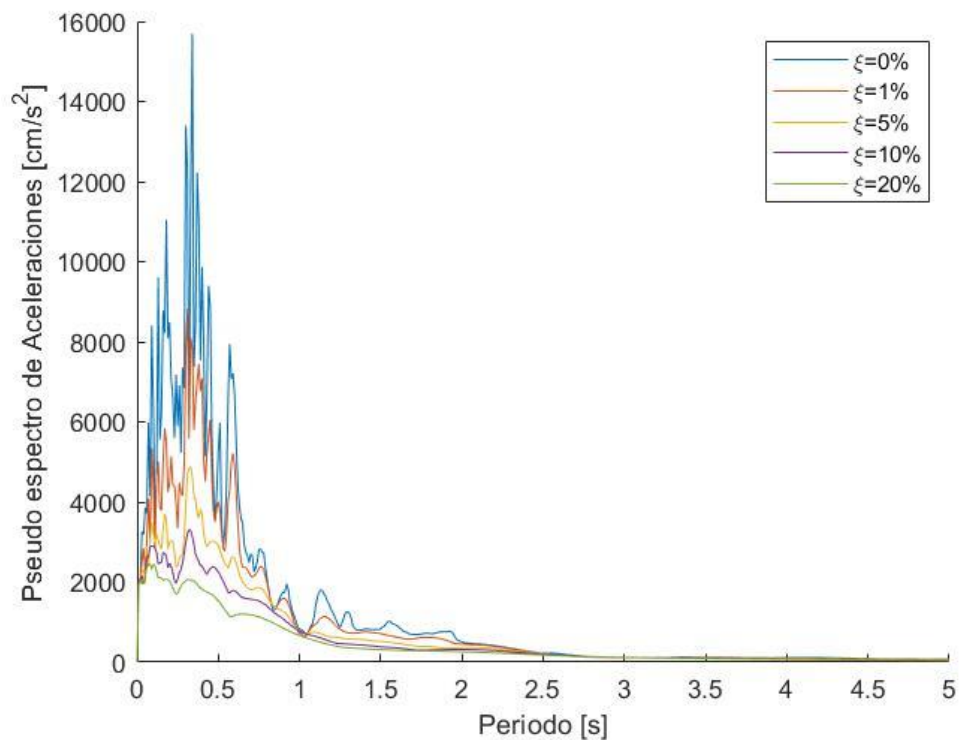


Figura 5: Pseudo espectro de aceleraciones para las razones de amortiguamiento solicitadas.

A continuación, se presenta de forma gráfica comparativa los pseudo espectros vs sus respectivos espectros para las razones de amortiguamiento de 5%, 10% y 20%:

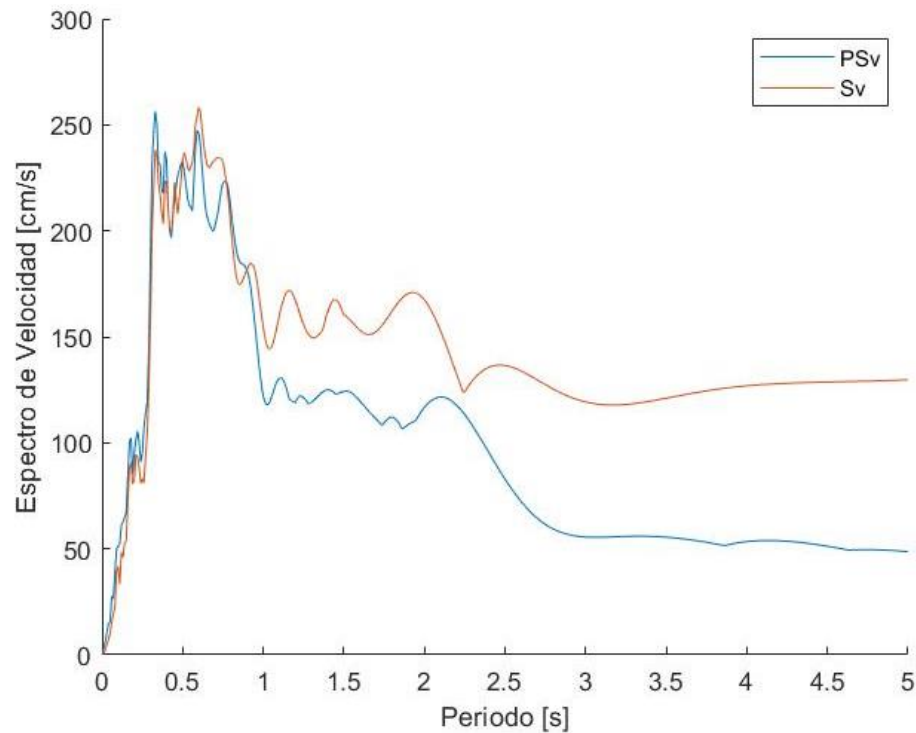


Figura 6: Pseudo espectro de velocidad vs espectro de velocidad, para una razón de amortiguamiento de 5%.

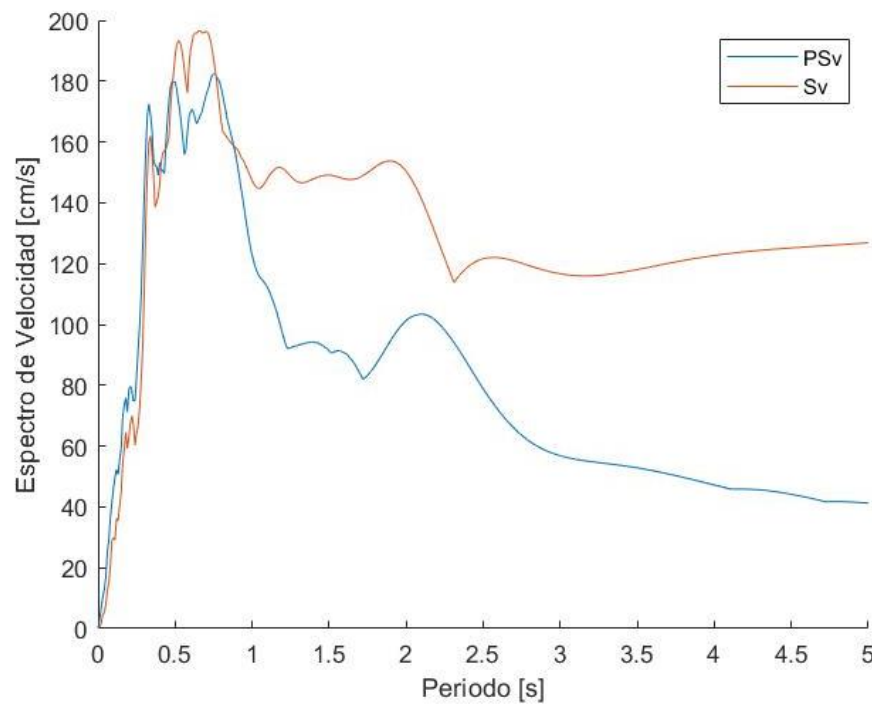


Figura 7: Pseudo espectro de velocidad vs espectro de velocidad, para una razón de amortiguamiento de 10%.

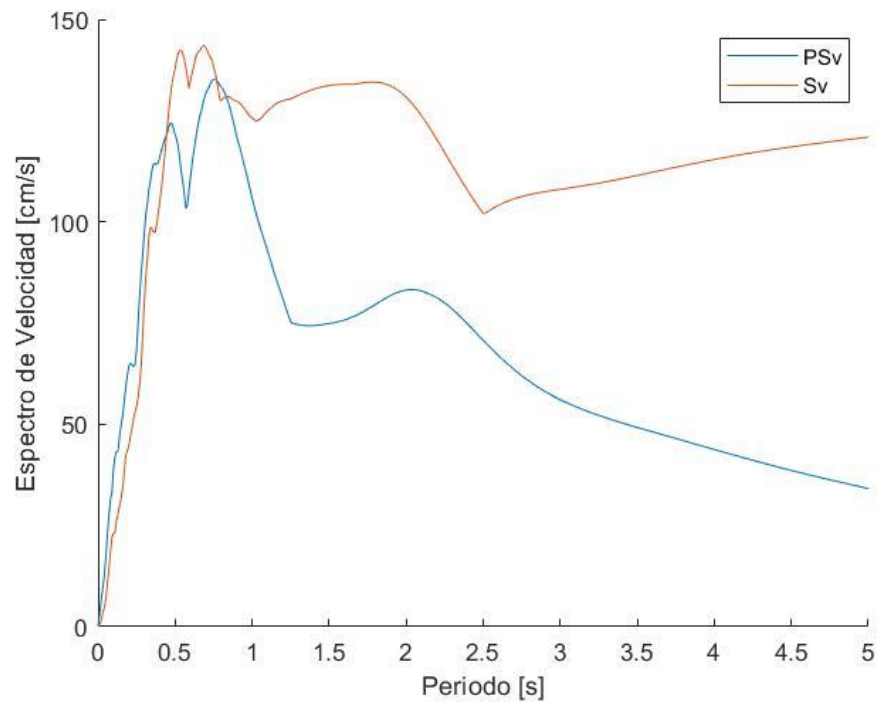


Figura 8: Pseudo espectro de velocidad vs espectro de velocidad, para una razón de amortiguamiento de 20%.

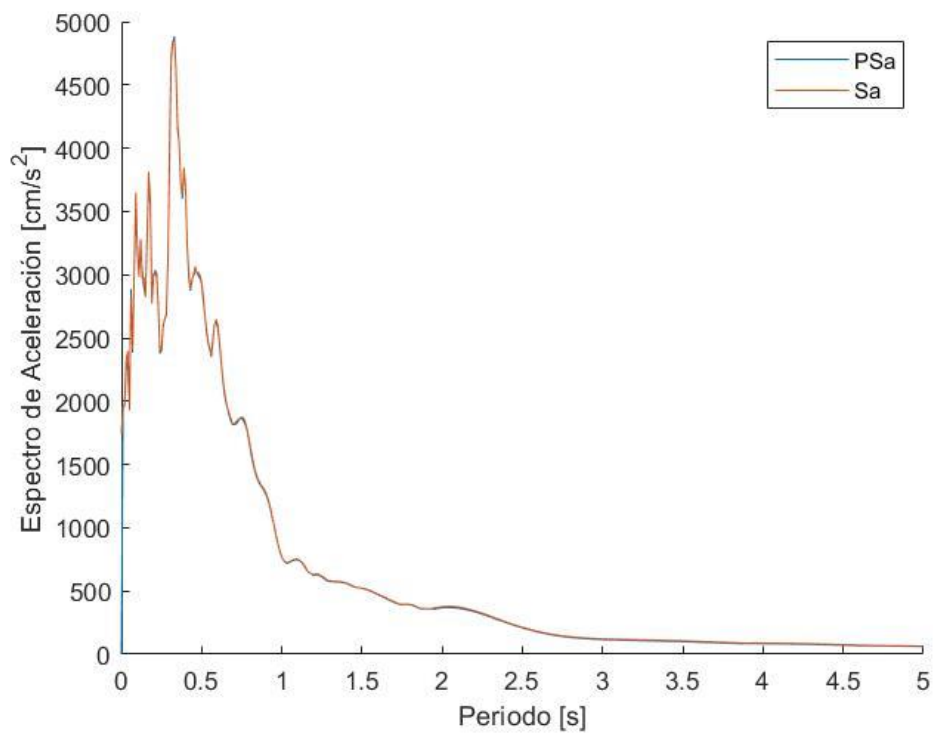


Figura 9: Pseudo espectro de aceleración vs espectro de aceleración, para una razón de amortiguamiento de 5%.

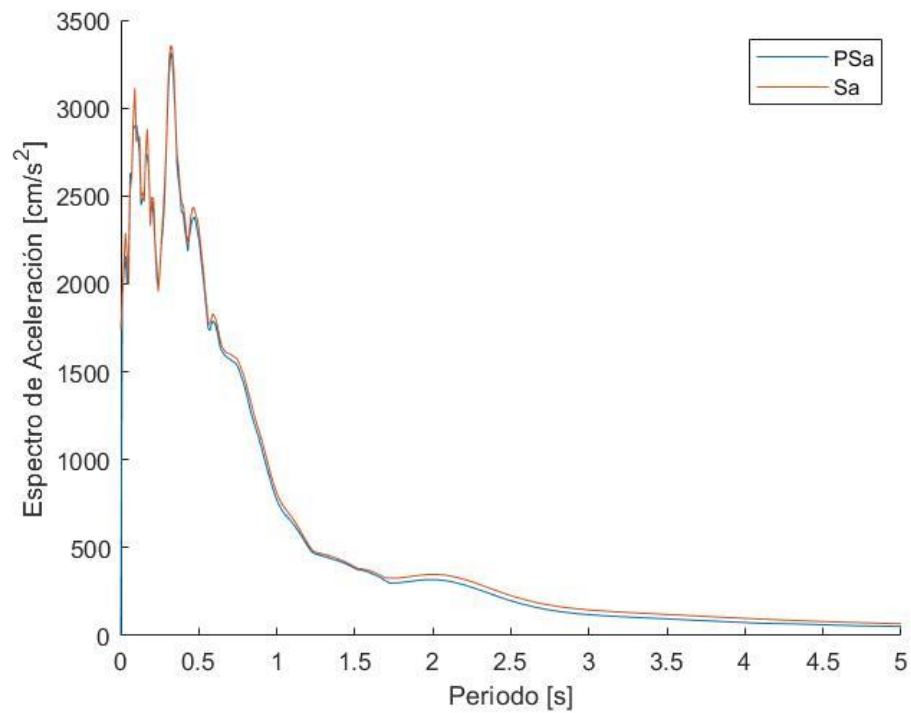


Figura 10: Pseudo espectro de aceleración vs espectro de aceleración, para una razón de amortiguamiento de 10%.

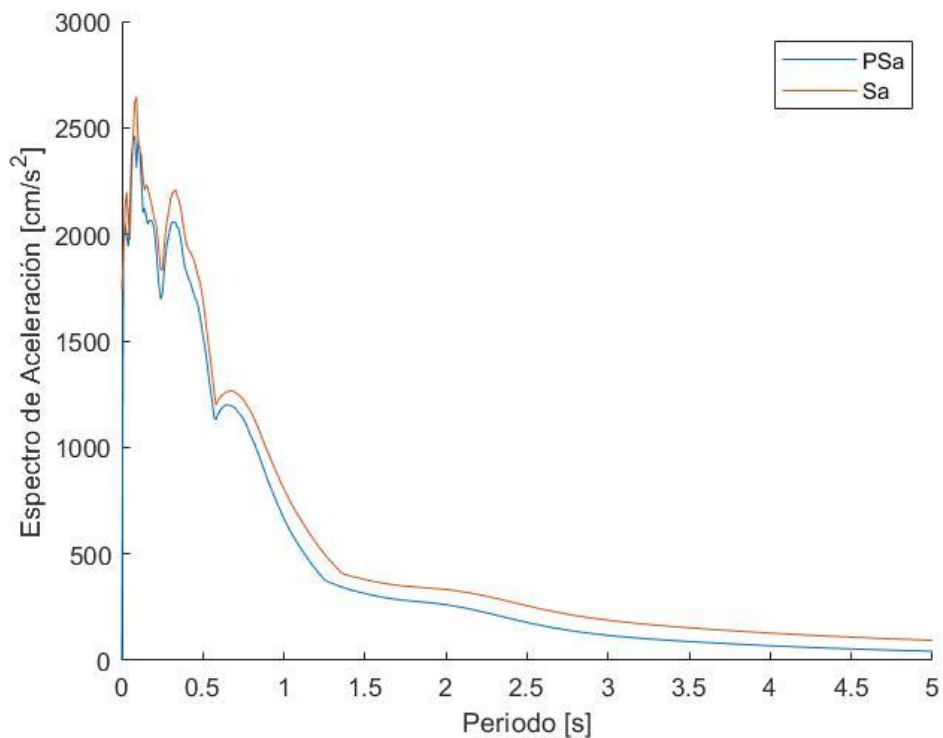


Figura 11: Pseudo espectro de aceleración vs espectro de aceleración, para una razón de amortiguamiento de 20%.

Respecto a los pseudo espectros de velocidades se puede notar que para periodos menores a 1 [s] se tiene un comportamiento parecido, lo cual calza con la teoría respectiva. Para periodos superiores a 1 [s] se visualiza que aumenta la dispersión entre las curvas, esto dado posiblemente al uso de la frecuencia natural no amortiguada en el cálculo de los pseudo espectros en vez de la frecuencia natural amortiguada, por lo que se espera que entre mayor sea la razón de amortiguamiento, mayor dispersión habrá.

Respecto a los pseudo espectros de aceleraciones, nuevamente se presenta una mayor dispersión entre las curvas para razones de amortiguamiento mayores, esto por lo expuesto anteriormente sobre el uso de la frecuencia natural no amortiguada en vez de la frecuencia natural amortiguada.

Parte (III)

A partir del registro de aceleraciones en estudio, se obtiene el espectro de aceleraciones aplicando la Transformada de Fourier. A partir del espectro de aceleraciones es posible obtener el espectro velocidad y desplazamiento. A continuación, se presentan de forma gráfica los espectros obtenidos por Fourier graficados en conjunto con los espectros obtenidos por Newmark:

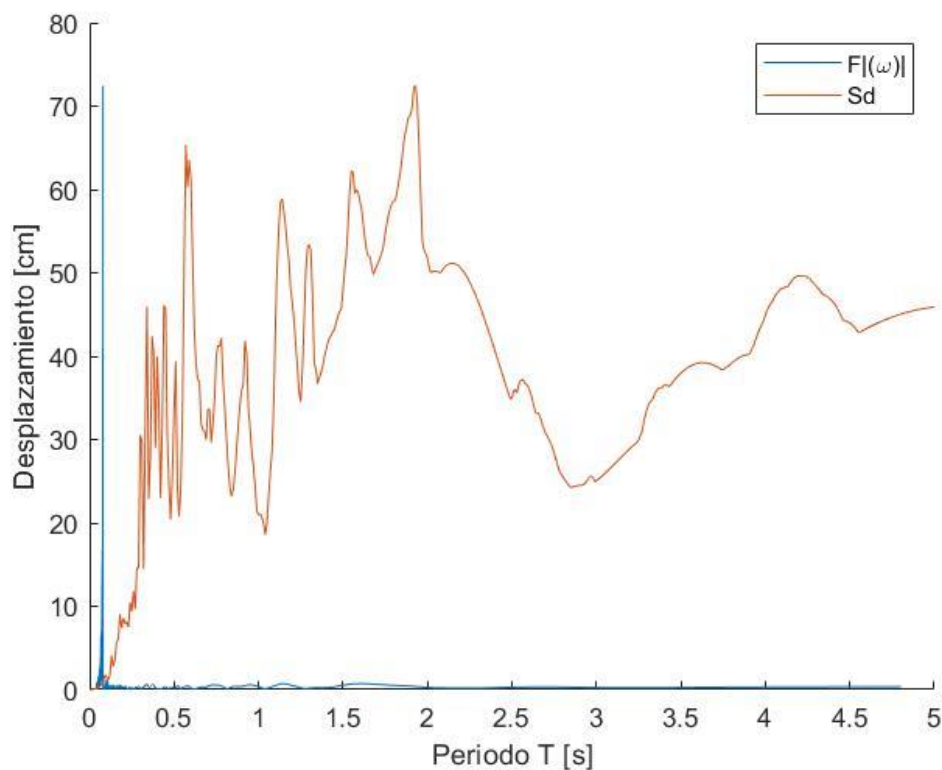


Figura 12: Espectro de desplazamiento por Fourier vs espectro de desplazamiento por Newmark.

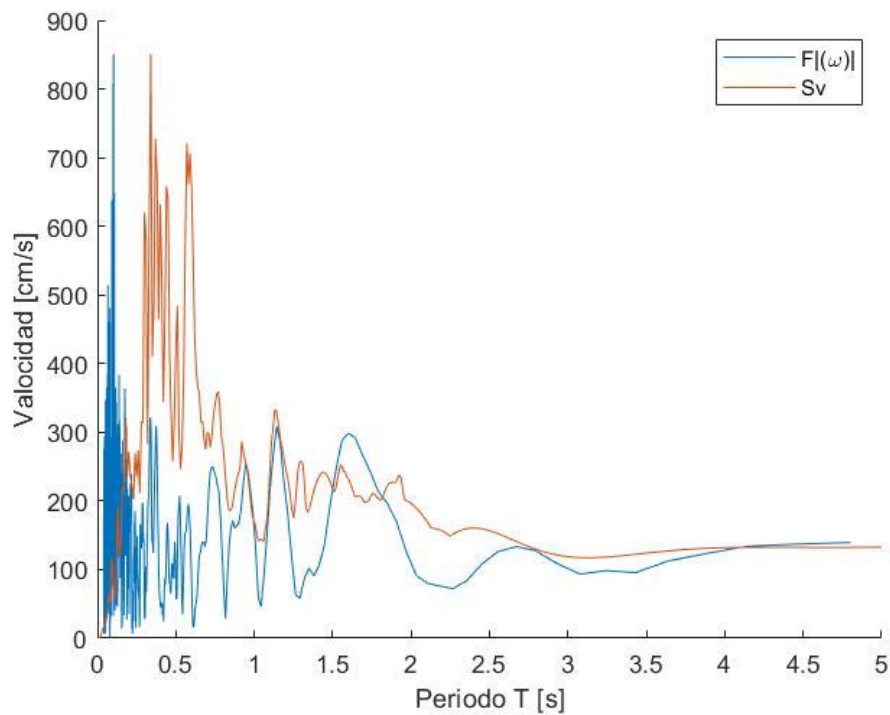


Figura 13: Espectro de velocidad por Fourier vs espectro de velocidad por Newmark.

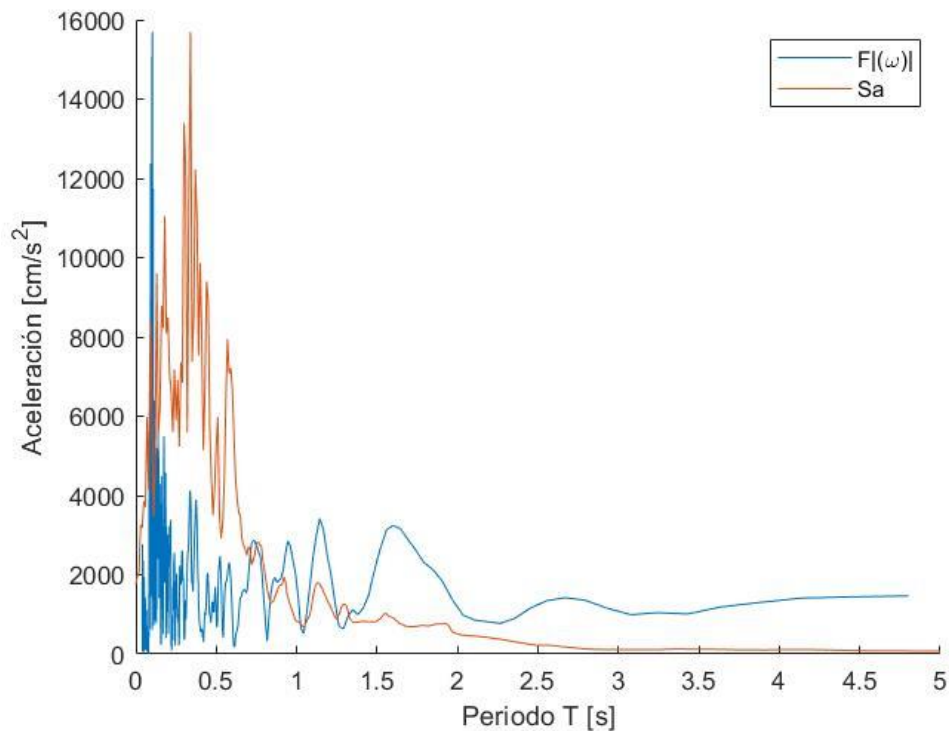


Figura 14: Espectro de aceleración por Fourier vs espectro de aceleración por Newmark.

Se observa una alta dispersión entre los espectros por transformada de Fourier y los espectros por Newmark, el mejor de los tres espectros para describir el contenido de frecuencias del terremoto es el de velocidad, sobre todo para periodos altos en el rango de 0 a 5 segundos.

2. Pregunta 2

Se solicita realizar una rutina en MATLAB para calcular la respuesta tiempo-historia de sistemas de 1GDL No Lineales con un comportamiento elastoplástico perfecto (EPP), utilizando el método de Newmark No Lineal.

Los parámetros a considerar son los siguientes:

Tabla 1: Parámetros a considerar en la modelación del problema

T_n [sec]	ξ	F_y	f_0
0.5	0%	$0.125 * f_0$	$k * Sd(T_n, \xi)$

Parte (I) y (II)

Para graficar la respuesta $u(t)$ de los primeros 10 segundos del registro, se utiliza el método de Newmark No Lineal con idealización de comportamiento elastoplástico perfecto del material, también, con el método se obtiene la fuerza restitutiva y la fluencia (yield).

$$f_s = k * u(t)$$

$$yield = \begin{cases} sign(f_s), & f_s \geq F_y \\ 0, & f_s < F_y \end{cases}$$

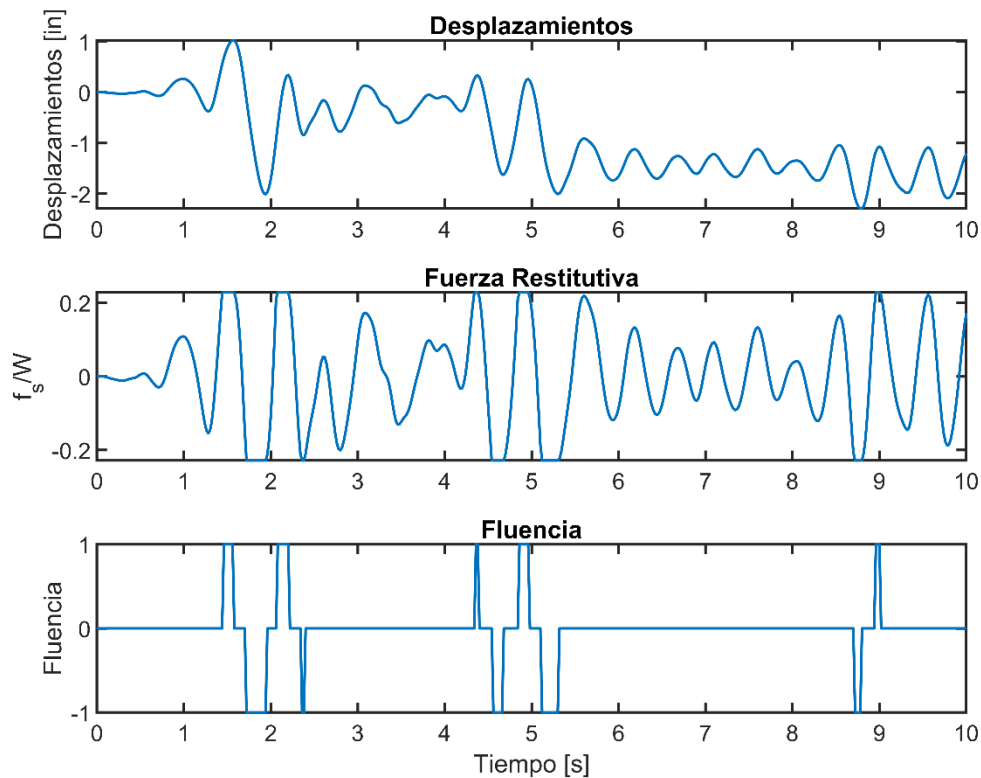


Figura 15: Subfiguras de desplazamiento, fuerza restitutiva normalizada por el peso y fluencia solicitados como se muestran en la figura del enunciado, para un rango de tiempo de 10 segundos

Parte (III)

El gráfico entre fuerza restitutiva normalizada por el peso y desplazamiento para el rango de tiempo entre 1.368 y 2.05 segundos del registro, se muestra a continuación.

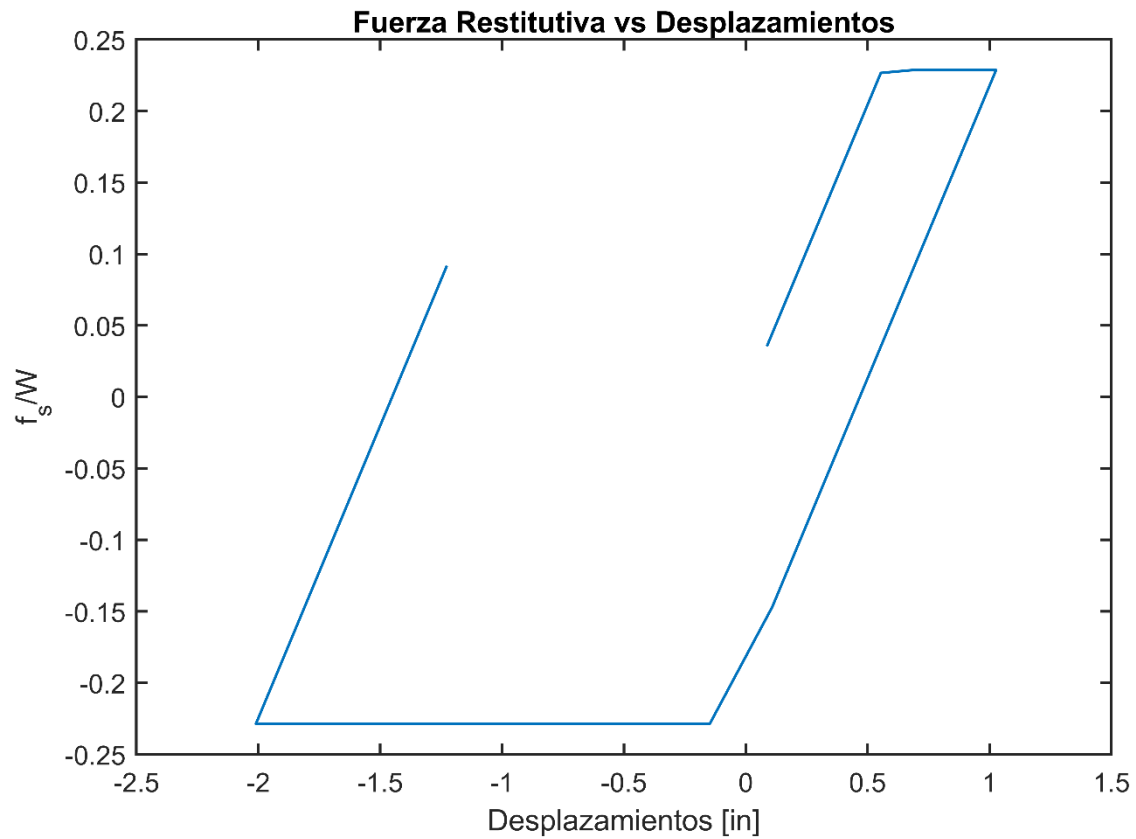


Figura 16: Fuerza Restitutiva vs Desplazamiento para el rango de tiempo solicitado

3. Pregunta 3

Se solicita evaluar el comportamiento sísmico de 3 nuevas estructuras que serán construidas en el Campus Santiago San Joaquín. Bajo el supuesto que pueden ser modeladas como sistemas de un grado de libertad, con una fracción de amortiguamiento crítico del 5% y que poseen comportamiento EPP. La primera estructura tiene 3 pisos y un periodo de 0.15 segundos, la segunda tiene 10 pisos y un periodo de 0.75 segundos y la tercera tiene 20 pisos y un periodo de 2.5 segundos.

Se solicita evaluar la demanda sísmica que tendrían estas 3 estructuras para el registro de Santiago Centro del terremoto Mw 8.8 del 27 de Febrero de 2010, registro utilizado en la tarea 1.

Parte (I)

Se solicita calcular la demanda de resistencia elástica para las tres estructuras. La cual se expresará como coeficiente sísmico de la forma:

$$C_e \approx \frac{F_e}{W} = \frac{S_a}{g}$$

Por lo que es necesario obtener primeramente el espectro del sismo. Para esto se utilizará Newmark Lineal ya que se encuentra en el rango lineal elástico. De esta forma, se obtienen los siguientes resultados para cada estructura:

Tabla 2: Tabla resumen de los valores de demanda de resistencia elástica para las tres estructuras

#Pisos de Estructura	T	C_e
3	0.15	0.49093
10	0.75	0.25128
30	2.5	0.11400

Se puede observar que, para la estructura con menor periodo, se obtiene un mayor coeficiente de demanda de resistencia elástica C_e , para los periodos mayores este coeficiente disminuye. Esto tiene implicancia directa en que las estructuras con periodos menores requieren una mayor resistencia lateral para mantenerse en el rango elástico ya que tendrán una mayor demanda (suponiendo mismo peso W).

Parte (II)

Se solicita diseñar las tres estructuras utilizando un factor de reducción de la respuesta $R = 6$. Para la determinación del comportamiento de la estructura es necesario tener el coeficiente de demanda sísmica elástico, si se considera un comportamiento tipo EPP, se puede aplicar el método de Newmark No Lineal presentado en la pregunta 2, el cual entrega el registro de desplazamiento, velocidad y aceleración producida. Para aquello, se tiene que obtener el limite de fluencia, el cual esta dado por:

$$F_y = C_y \cdot W$$
$$C_y = \frac{C_e}{R}$$

La ductilidad de desplazamiento se obtendrá a partir de la siguiente expresión:

$$\mu = \frac{\max\{|u(t)|\}}{u_y}$$

A partir del registro de desplazamientos, se puede obtener el valor máximo de este y el valor de fluencia en función la rigidez del sistema, la cual, en este caso, está dada por:

$$k = \frac{4\pi^2}{T^2}$$

A continuación, se presentan de forma grafica los resultados obtenidos al reemplazar y desarrollar las ecuaciones descritas:

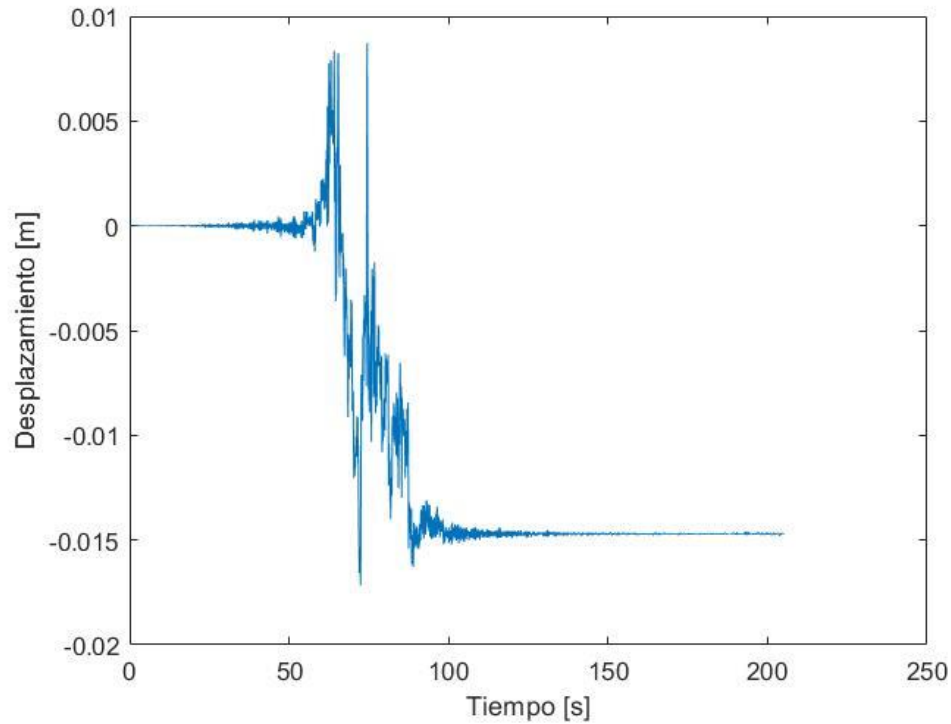


Figura 17: Desplazamiento relativo vs tiempo para la estructura 1 con un periodo de $T = 0.15$ [s].

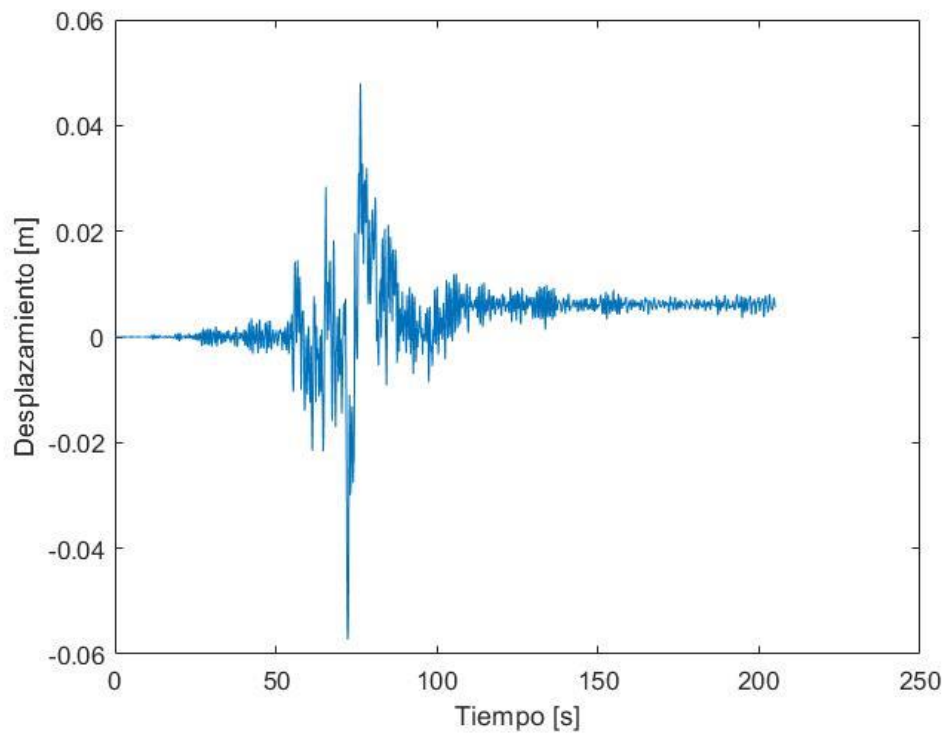


Figura 18: Desplazamiento relativo vs tiempo para la estructura 2 con un periodo de $T = 0.75$ [s].

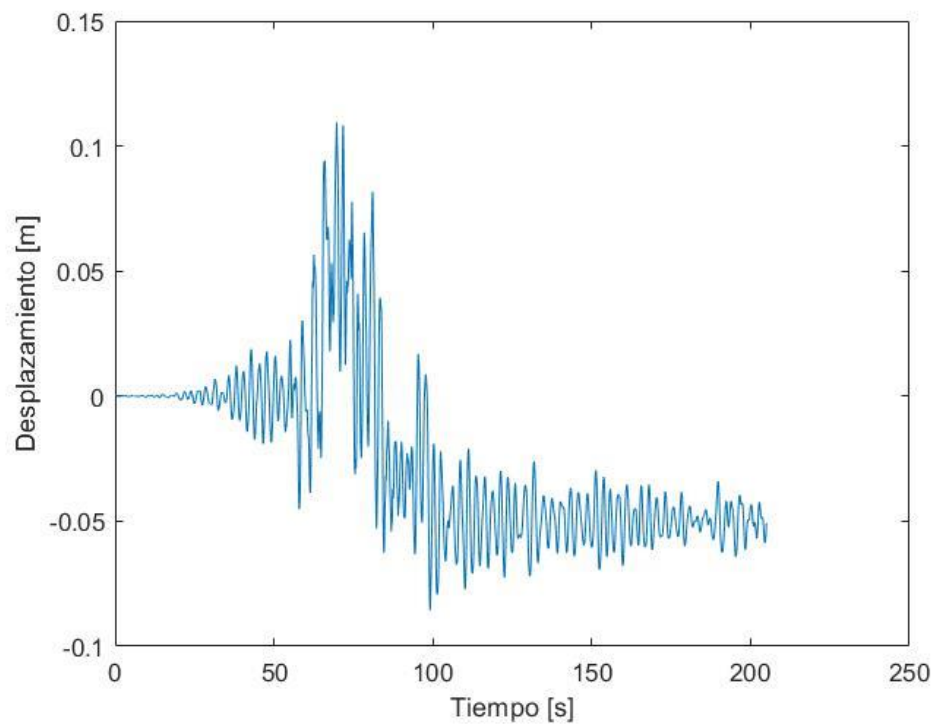


Figura 19: Desplazamiento relativo vs tiempo para la estructura 3 con un periodo de $T = 2.5$ [s].

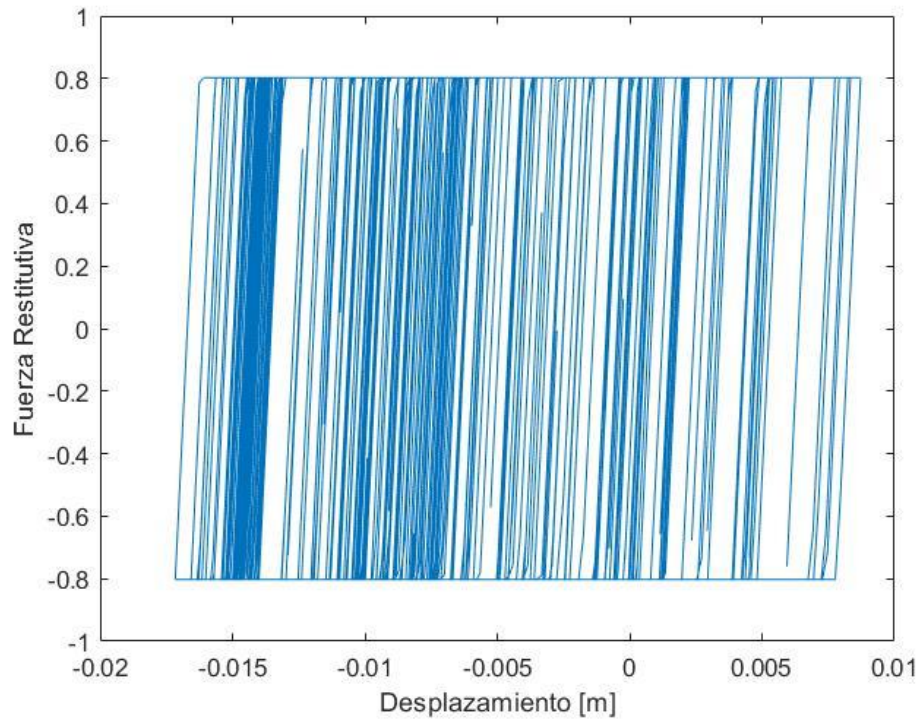


Figura 20: Curvas de histéresis para la estructura 1 con un periodo de $T = 0.15$ [s].

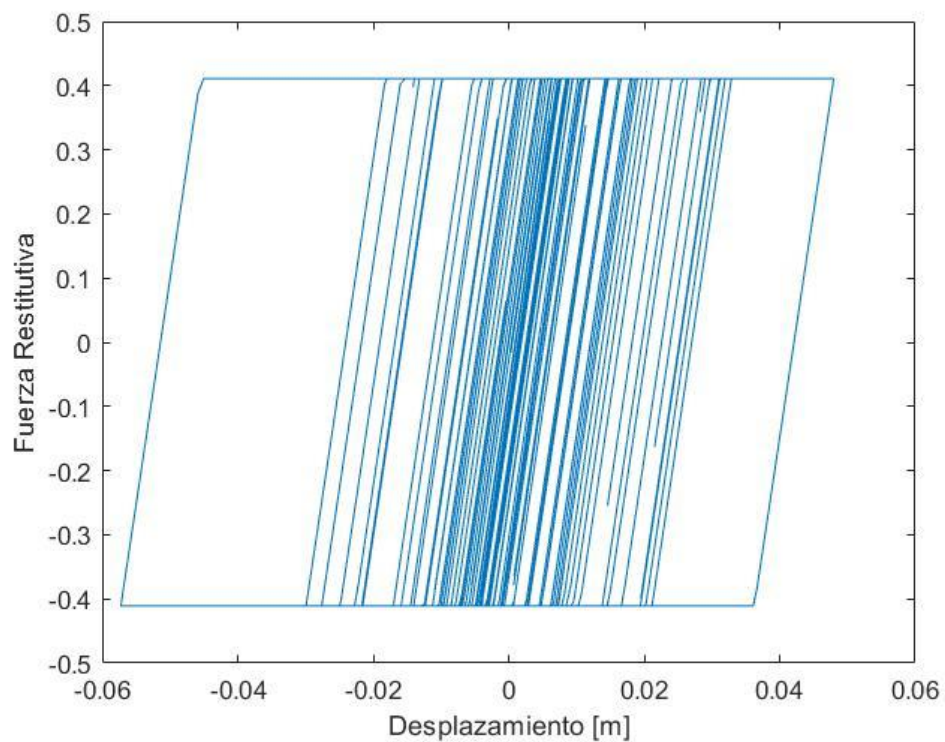


Figura 21: Curvas de histéresis para la estructura 2 con un periodo de $T = 0.75$ [s].

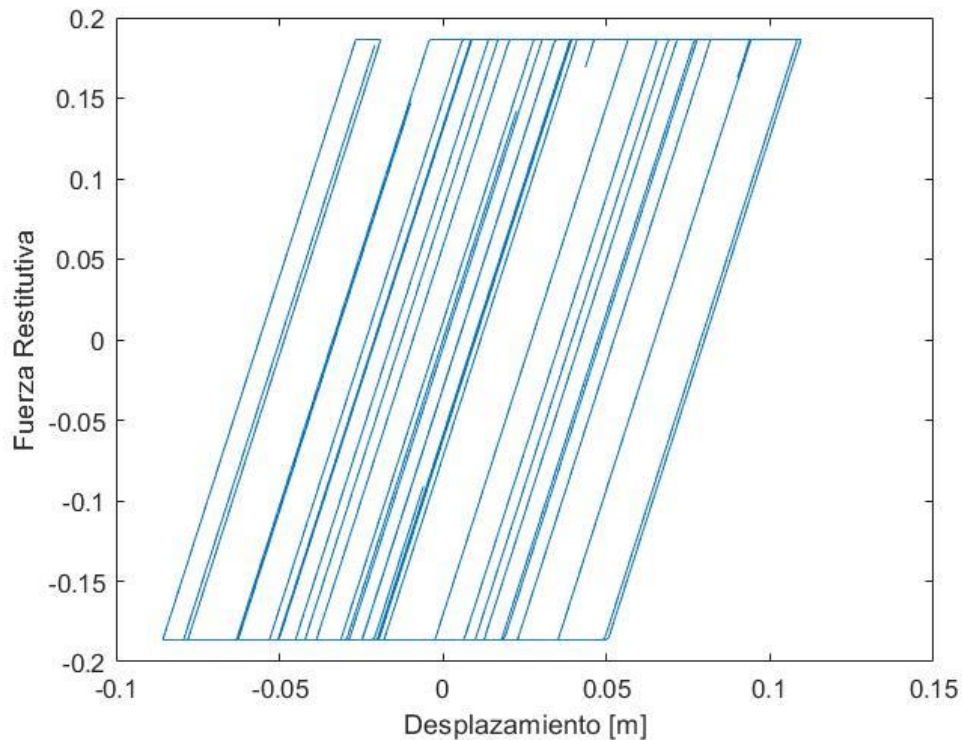


Figura 22: Curvas de histéresis para la estructura 3 con un periodo de $T = 2.5$ [s].

A continuación, se presentan los coeficientes sísmicos inelásticos para cada estructura:

Tabla 3 Coeficientes de demanda sísmica inelástica

T	C_{yII}
0.15	0.081821
0.75	0.041879
2.5	0.019

A continuación, se presentan los coeficientes de ductilidad de desplazamientos (μ) obtenidos para cada estructura:

Tabla 44: Demanda de ductilidad de desplazamientos μ

#Pisos de Estructura	T	μ
3	0.15	37.514
10	0.75	9.7805
30	2.5	3.7098

Respecto a los desplazamientos en el tiempo, las estructuras tienen un mayor desplazamiento mientras el periodo es mayor, esto se debe a que son más dúctiles. Sin embargo, el comportamiento histérico es al revés, mientras menor el periodo mayor es la fuerza resistente que experimentan las estructuras. La ductilidad se observa que mientras mayor es el periodo, menor es la demanda de ductilidad lo que se traduce en que serán las estructuras de periodos grandes las que menos incursionarán en el rango plástico.

Notar que las estructuras con mayor fuerza restitutiva incursionan menos en el rango plástico.

Finalmente, se observa que, al menos para este registro y periodos de las estructuras, hubo más ciclos de histéresis para las estructuras más rígidas (de periodos bajos).

Parte (III)

Se solicita obtener la relación entre el coeficiente de resistencia lateral (C_y) y la demanda de ductilidad de desplazamientos μ .

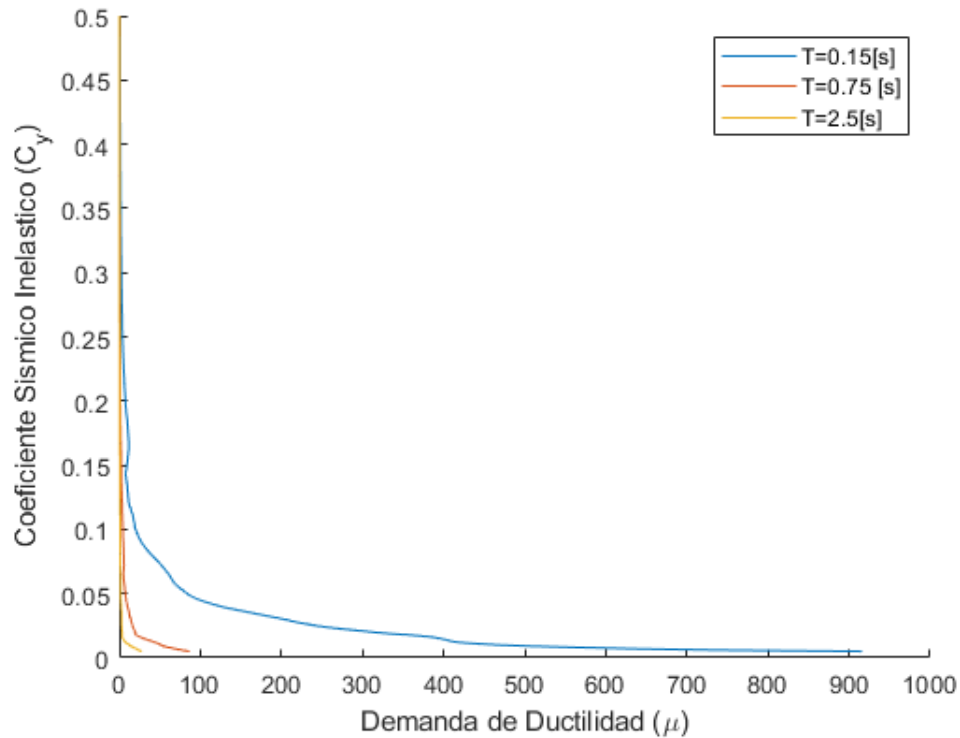


Figura 23: Coeficiente sísmico Inelástico en Función de la Demanda de Ductilidad para las tres estructuras con todo el dominio

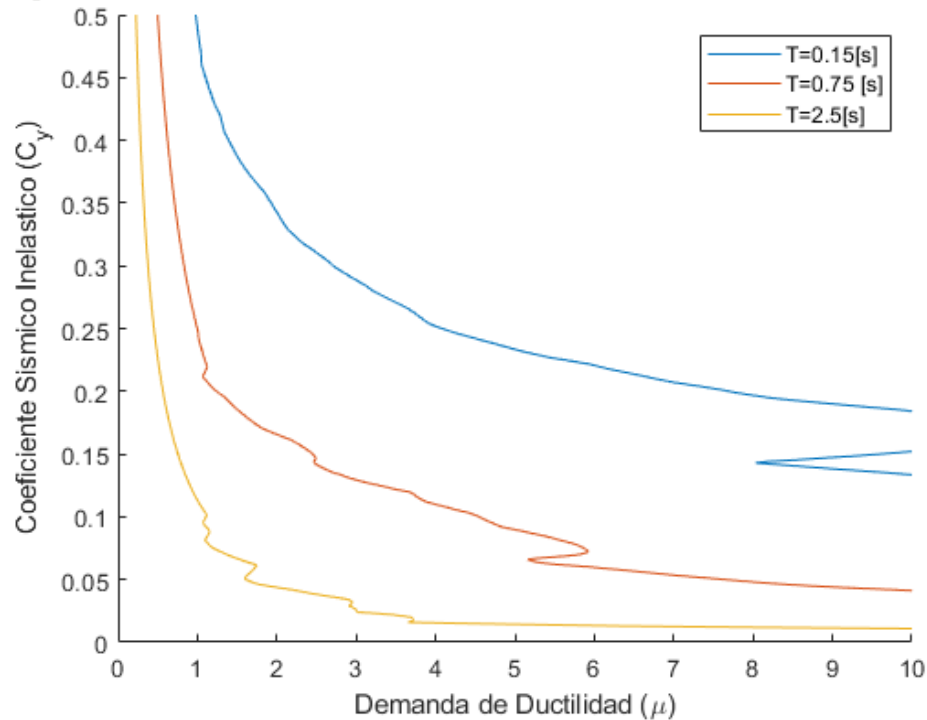


Figura 24: Coeficiente Sísmico Inelástico en función de la Demanda de Ductilidad para las tres estructuras con un dominio acotado para poder observar las demandas de ductilidad bajas

Se aprecia que, para las estructuras de periodo menor, el coeficiente sísmico disminuye a una menor tasa mientras aumenta la demanda de ductilidad (la curva está más arriba) y también se aprecia que C_y aumenta mucho para bajas demandas de ductilidad. También se aprecia que varias veces, hay demandas de ductilidad que tienen dos o más coeficientes sísmicos inelásticos.

Parte (IV)

Se solicita calcular el valor de la demanda sísmica inelástica de modo de evitar que la demanda de ductilidad de desplazamientos μ sea mayor que 4.

Hay que notar que siempre se busca en los C_y mínimos, de haber una demanda de ductilidad con dos o más C_y . Los mejor es elegir C_y altos para limitar la ductilidad, los resultados son los siguientes.

Tabla 55: Coeficiente Sísmica Inelástico para cada Periodo.

T [sec]	C_y
0.15	0.252
0.75	0.11
2.5	0.016

Parte (V)

Se solicita calcular para cada estructura la demanda sísmica inelástica aproximada asociada a una ductilidad $\mu = 4$ a partir de la demanda elástica calculada en la parte (I) de este problema.

$$F_y = C_y W$$

$$C_y = C_e / R_\mu$$

La ecuación propuesta por Miranda (1993) para el Factor de Reducción de la Respuesta es la siguiente:

$$R_\mu = \frac{\mu - 1}{\Phi} + 1 \geq 1$$

Considerando un sitio aluvial

$$\Phi = 1 + \frac{1}{12T - \mu T} - \frac{2}{5T} \exp[-2(\ln(T) - 1/5)^2]$$

Tabla 66: Resultados utilizando las ecuaciones de Miranda 1993

T [sec]	Φ	R_μ	C_y	F_y
0.15	1.8329	2.6367	0.18619	1.8265
0.75	0.83522	4.5919	0.054722	0.53682
2.5	0.99266	4.022	0.028343	0.27804

Comparando con los resultados de la pregunta 4

Tabla 77: Comparación entre resultados para el coeficiente sísmico inelástico de pregunta 4 y 5

$C_{y\text{Pregunta4}}$	$C_{y\text{miranda}}$	$\Delta\text{diferencia}$
0.252	0.18619	0.06581
0.11	0.054722	0.055278
0.016	0.028343	-0.012343

Se aprecian grandes diferencias entre 35, 100 y 43 %, el método de obtener C_y utilizando Miranda 1993 es más directo, sin embargo, es menos preciso.

Parte (VI)

Se solicita determinar la demanda sísmica para las tres estructuras según la Norma Chilena para el diseño sísmico de edificios NCh 433 Of.1996 Mod.2012. Considerando que los tres edificios corresponden a edificios de muros de corte de hormigón armado. Se solicita tanto la demanda elástica como la demanda inelástica. El suelo es tipo C

La demanda sísmica se obtiene de la siguiente forma según normativa:

$$V_d = \frac{I}{R} \frac{S_a}{g} W$$

Espectro de diseño según NCh433 Of.1996 Mod.2012

$$S_a = \frac{S * A_0 \alpha}{R^* / I}$$

Para determinar la importancia I , se requiere conocer la categoría del Edificio, en este caso, al ser una estructura de Universidad, es **categoría III**, Para determinar la aceleración efectiva se requiere la zona sísmica donde se ubicarán las estructuras, que, al ser en Santiago, San Joaquín, es **Zona Sísmica 2**. Se sabe de antemano que el suelo es **Tipo C**. Dado lo anterior, se tienen los siguientes parámetros

Tabla 88: Parámetros para calcular las ecuaciones de la norma

S	T0 [sec]	T' [sec]	n	p
1.05	0.4	0.45	1.40	1.6

El factor de amplificación α se calcula para cada estructura con la siguiente ecuación

$$\alpha = \frac{1 + 4.5 \left(\frac{Tn}{T_0} \right)^p}{1 + \left(\frac{Tn}{T_0} \right)^3}$$

El factor de Reducción R^* se determina de la siguiente manera:

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0.10T_0 + \frac{T^*}{R_0}}$$

Donde R_0 de acuerdo con sección 5.7 (luego tabla 5.1) es 11 (Muro de hormigón armado), notar que R es 7, también cabe destacar que al ser una estructura simplificada de un grado de libertad $T^* = Tn$

Para determinar el coeficiente sísmico se utiliza la siguiente fórmula del punto 6.3.2.1 (No C_y ya que este es de diseño).

$$C = \frac{2.75SA_0}{gR} \left(\frac{T'}{T^*} \right)^n$$

Teniendo todos los parámetros, se obtiene la demanda sísmica V_d para cada estructura

Tabla 99: Resultados de demanda sísmica inelástica, elástica, desplazamiento y coeficiente sísmico de diseño

T [sec]	V_d	V_e	u [m]	C
0.15	0.56797	0.56797	0.022216	0.57612
0.75	0.12391	0.12391	0.073902	0.060528
2.5	0.01447	0.01447	0.07786	0.011218

Parte (VII)

A continuación, se muestra la tabla resumen de los coeficientes sísmicos inelásticos:

Tabla 1010: Tabla resumen de los coeficientes sísmicos desarrollados en el informe

T	C_{yII}	C_{yIV}	C_{yV}	C_{yVI}
0.15	0.081821	0.252	0.18619	0.57612
0.75	0.041879	0.11	0.054722	0.060528
2.5	0.019	0.016	0.028343	0.011218

Donde:

C_{yII} : Análisis tiempo historia no lineal para $R = 6$

C_{yIV} : Análisis tiempo historia no lineal para $\mu = 4$

C_{yV} : Método simplificado Miranda (1993)

C_{yVI} : Norma sísmica (de diseño)

Se destaca que el coeficiente sísmico de la norma es mayor a todos ya que es para diseño lo cual debe ser el más exigente. También que, para todos los casos, el coeficiente disminuye a medida que aumenta el periodo.

A continuación, se muestra la tabla resumen de los desplazamientos máximos

Tabla 1111: Tabla resumen de los desplazamientos máximos desarrollados en el informe

T	$\max(u_{IV})$ [m]	$\max(u_{VI})$ [m]
0.15	0.0056277	0.02216
0.75	0.061455	0.073902
2.5	0.090767	0.07786

Se aprecia que utilizando el método de la pregunta 4 se obtienen menores desplazamientos máximos que utilizando el método de la pregunta 5 pero solo para periodos bajos, para el periodo de 2.5, se obtiene lo contrario, es decir, un desplazamiento máximo mayor utilizando el método de la pregunta 5 en comparación con el método de la pregunta 4.