

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



Relación entre el factor de reducción de fuerzas sísmicas y la demanda de ductilidad para terremotos peruanos en la zona de periodos cortos.

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL

AUTOR

Luis Martin Valdivia Motta

ASESOR

Juan Alejandro Muñoz Peláez

Julio, 2021

RESUMEN

La respuesta estructural ante terremotos es compleja debido a las componentes aleatorias y al cambio de propiedades que las estructuras experimentan durante el movimiento. Para simplificar el análisis y el diseño, las normas y códigos de ingeniería tienen métodos para estimar la respuesta inelástica usando procedimientos elásticos.

Una de las simplificaciones empleadas en la norma peruana de diseño sismorresistente RNE E.030, es el cálculo de los desplazamientos inelásticos empleando un factor (αR) que multiplica al desplazamiento resultante de un análisis elástico con solicitaciones sísmicas reducidas (por R). Ambos factores (αR y R) según E030 son independientes del periodo estructural; sin embargo de acuerdo a investigaciones realizadas en otros países esto no es así para la zona de periodos cortos.

El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento de las estructuras inelásticas en la zona de periodos cortos con la finalidad de sugerir una relación entre el factor de reducción y el periodo estructural para curvas de ductilidad constante.

Se emplearon 10 registros de la región para construir espectros de ductilidad constante ($\mu= 1.5$ a 10). Con cada una de las estructuras correspondientes a estas ductilidades y en un rango de periodos de $T=0$ a $T= 3$ s se obtuvieron los factores de reducción de solicitaciones sísmicas. Luego se construyeron superficies de ajuste (μ , R y T).

Con la finalidad de contribuir a la norma peruana se han asumido factores de sobrerresistencia ($\Omega=2.5$) siguiendo las recomendaciones del ASCE7-16 y se hacen 2 sugerencias para la variación de R en periodos cortos. La primera considerando que para periodos cortos la aceleración espectral es una plataforma y no tiene caída hacia el PGA (versión actual E.030-2018); y la segunda considerando el cambio del espectro actual de la norma para incluir la caída hacia el PGA.

Para estructuras de periodo corto, entre 0 y 0.25 s, los desplazamientos calculados con estructuras inelásticas de 1GLD son de 1.62 a 6.72 veces los estimados con la norma actual para estructuras de periodo corto. Si se actualizara la norma con la rampa creciente estos desplazamientos serían de 2 hasta 8.5 veces.

Para estructuras de periodo largo, los desplazamientos calculados con estructuras inelásticas de 1GDL son 1.25 a 1.33 veces mayores a lo estimado con la norma actual.

Se presenta como resultado una expresión de ajuste de resultados que permite construir espectros de ductilidad constante, precisando que las fuerzas sísmicas que se empleen en el diseño en ningún caso serían menores a las indicadas en la norma actual.

Para mejorar la predicción de resultados de la norma se sugiere seguir estudiando la relación ya que se identificó que el valor α de la norma debería tomar el valor de 1 para estructuras con ductilidad demandada de 2 o menor y el valor de $\alpha=0.9$ para estructuras con demandas de ductilidad mayor a 2. Los valores elegidos tienen una excedencia de sólo el 5% de los casos.

En la zona de periodos cortos se sugiere continuar los estudios a una escala mayor para modificar el factor de reducción de acuerdo con la expresión propuesta en este trabajo y considerando una rampa creciente hasta el PGA. Con ello se podrá construir espectros de ductilidad constante, pero teniendo en consideración que las fuerzas sísmicas para el diseño no serían menores a los de emplear la plataforma horizontal de la norma actual.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, que me ha brindado su apoyo perenne para lograr mis metas profesionales y personales.

A todos los profesores de programa de maestría en ingeniería civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú, que me brindaron su conocimiento y experiencias.

A mi asesor Juan Alejandro Muñoz Peláez por su guía, soporte, aportes y recomendaciones durante el desarrollo de este trabajo, y por la motivación a una mejora continua.



DEDICATORIA

A mi esposa Nohely, por ser mi apoyo y compañía cuando el trabajo y los estudios coparon mi tiempo y energías, por su tolerancia y sacrificio. Mi gratitud por sus valiosas contribuciones y ayuda.

A mis padres Luis y Elsa; y mi hermana Julissa por su absoluto apoyo a través de los años, por su entrega y entera confianza.



Índice General

CAPÍTULO 1.- Introducción	1
1.1. Justificación.....	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Hipótesis	2
1.4. Alcance	3
1.5. Estado del conocimiento y práctica de ingeniería	3
1.5.1. Comportamiento de estructuras inelásticas.	3
1.5.2. Relación entre Factor de Reducción (R), ductilidad (μ) y Sobrerresistencia.	4
1.5.3. Práctica de ingeniería	8
CAPÍTULO 2.- Metodología de la Investigación.....	9
2.1. Criterios para la elección de Señales.	9
2.2. Selección de señales	10
2.3. Correcciones de Señales.	10
2.4. Modelos de comportamiento inelástico.....	12
CAPÍTULO 3.- Respuesta Inelástica de sistemas de un grado de libertad dinámica a terremotos de subducción de Perú y Chile.	15
3.1. Respuestas inelásticas.....	15
3.2. Análisis de respuestas inelásticas	17
CAPÍTULO 4.- Modelo de ajuste	29
4.1. Construcción de modelo.....	29
4.2. Ajuste estadístico de resultados	29
4.3. Comparación de resultados de la ecuación de ajuste con la norma de diseño sísmico peruana	35
4.4. Expresión Sugerida.....	67
CAPÍTULO 5.- Conclusiones y recomendaciones.	71
REFERENCIAS	72
ANEXOS	75
Anexo 1: Señales corregidas empleadas dirección EW	75
Anexo 2: Señales corregidas empleadas dirección NS.....	85
Anexo 3: Espectros elásticos e inelásticos de ductilidad constante para de Análisis EW95	
Anexo 4: Espectros elásticos e inelásticos de ductilidad constante para de Análisis NS	105
Anexo 5: Resultados y comparativo de la norma actual y las ecuaciones de ajuste, límite inferior de intervalo de confianza del 90%.	115
Anexo 6: Resultados y comparativo de la norma actual y las ecuaciones de ajuste, límite superior de intervalo de confianza del 90%.	119
Anexo 7: Resultados y comparativo de la norma actualizada con rampa decreciente	

hasta el PGA y las ecuaciones de ajuste, límite inferior de intervalo de confianza del 90%.....	123
Anexo 8: Resultados y comparativo de la norma actualizada con rampa decreciente hasta el PGA y las ecuaciones de ajuste, límite superior de intervalo de confianza del 90%.....	127
Anexo 9: Curvas de capacidad vs desplazamiento para cálculo de rigidez luego de fluencia.....	131



Índice de Tablas

Tabla 1. 1: Valores de factores de sobrerresistencia del ASCE7-16 y Factores de reducción del RNE E.030.....	7
Tabla 2.1: Listado de Registros sísmicos empleados.....	10
Tabla 4.1: Valores de coeficientes para límite inferior de superficie de ajuste.....	29
Tabla 4.2: Valores de coeficientes para límite superior de superficie de ajuste.....	30
Tabla 4.3: Factores de Reducción básico de fuerzas sísmicas Tabla N°7 de la norma RNE E0.30.....	38
Tabla 4.4: Factor de Reducción a nivel de fluencia empleando sobrerresistencia de 2.5 y los factores de reducción de la norma.....	38
Tabla 4.5: Coeficientes elegidos para expresión sugerida.	67



Índice de Figuras

Figura 1.1: Curva típica de resistencia vs desplazamiento lateral de una estructura inelástica.....	3
Figura 1.2: Curva típica de resistencia vs desplazamiento lateral indicando las demandas inelásticas para solicitaciones sísmicas.....	4
Figura 1.3: Relación Cd/R vs periodo del sistema estructural para una estructura con una ductilidad de 3 (Mahmoudi, 2009)	5
Figura 1.4: Relación Cd/R vs ductilidad del sistema estructural para una estructura de periodo 0.3 seg. (Mahmoudi, 2009)	5
Figura 1.5: Respuesta de un sistema estructural con un periodo menor al periodo de fin de plataforma del espectro (Fajfar, 2000).....	6
Figura 1.6: Respuesta de un sistema estructural con un periodo mayor al periodo de fin de plataforma del espectro (Fajfar, Marusic y Perus, 2005)	6
Figura 2.1: señal de terremoto magnitud 8.2 Mw dirección EW de 01-04-2014, Iquique, Chile. Unidades en metros y segundos. No se ha aplicado ningún filtro.	11
Figura 2.2: señal de terremoto magnitud 8.2 Mw dirección EW de 01-04-2014, Iquique, Chile. Unidades en metros y segundos. Con correcciones de línea base y filtros highpass de 0.1hz.....	12
Figura 2.3: Representación bilineal la curva capacidad de una estructura.	13
Figura 2.4: Modelo bilineal empleado de los osciladores de 1 GDL.	13
Figura 3.1: Grafico de Resultados en dirección EW para las 10 señales sísmicas.(T,R μ , μd)	15
Figura 3.2: Grafico de Resultados en dirección NS para las 10 señales sísmicas.(T, R μ , μd).....	16
Figura 3.3: Grafico de Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas.(T,R μ , μd)	16
Figura 3.4: Grafico de Resultados Promedio en dirección NS para las 10 señales sísmicas.(T,R μ , μd)	17
Figura 3.5: Gráfico para valores de $\mu d = 1.5$, se muestra $\mu d/R\Omega$ para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas.(T,R μ , μ).....	18
Figura 3.6: Gráfico para valores de $\mu d = 2$, se muestra $\mu d/R\Omega$ para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas.(T,R μ , μ).....	19
Figura 3.7: Gráfico para valores de $\mu d = 3$, se muestra $\mu d/R\Omega$ para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas.(T,R μ , μ).....	19
Figura 3.8: Gráfico para valores de $\mu d = 4$, se muestra $\mu d/R\Omega$ para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas.(T,R μ , μ).....	20
Figura 3.9: Gráfico para valores de $\mu d = 5$, se muestra $\mu d/R\Omega$ para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas.(T,R μ , μ).....	20

Figura 4.1: Gráfico en 3D para límite superior de superficie de ajuste con intervalo de confianza del 90% para dirección EW.....	31
Figura 4.2: Gráfico en 2D para límite superior de superficie de ajuste con intervalo de confianza del 90% para dirección EW.....	31
Figura 4.3: Gráfico en 3D para límite inferior de superficie de ajuste con intervalo de 90% para dirección EW.....	32
Figura 4.4: Gráfico en 2D para límite inferior de superficie de ajuste con intervalo de confianza del 90% para dirección EW.....	32
Figura 4.5: Gráfico en 3D para límite superior de superficie de ajuste con intervalo de confianza del 90% para dirección NS.....	33
Figura 4.6: Gráfico en 2D para límite superior de superficie de ajuste con intervalo de confianza del 90% para dirección NS.....	33
Figura 4.7: Gráfico en 3D para límite inferior de superficie de ajuste de intervalo de confianza del 90% para dirección NS.....	34
Figura 4.8: Gráfico en 2D para límite inferior de superficie de ajuste con intervalo de confianza del 90% para dirección NS.....	34
Figura 4.9: Espectro de la norma peruana RNE E.030	35
Figura 4.10: Espectro con pendiente de aceleración y de la norma peruana RNE E.030	36
Figura 4.11: Sobrerresistencia generada por emplear el espectro con plataforma plana de la norma peruana E.030.....	36
Figura 4.12: R la norma y μd para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.06s.....	39
Figura 4.13: R la norma y μd para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.07s.....	40
Figura 4.14: R la norma y μd para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.08s.....	40
Figura 4.15: R la norma y μd para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.10s.....	41
Figura 4.16: R la norma y μd para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.15s.....	41
Figura 4.17: R la norma y μd para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.20s.....	42
Figura 4.18: R la norma y μd para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.25s.....	42
Figura 4.19: R la norma y μd para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.30s.....	43
Figura 4.20: R la norma y μd para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.35s.....	43
Figura 4.21: R la norma y μd para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.40s.....	44
Figura 4.22: R la norma y μd para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.45s.....	44
Figura 4.23: R la norma y μd para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.50s.....	45

Figura 4.24: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.55s$	45
Figura 4.25: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.60s$	46
Figura 4.26: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.65s$	46
Figura 4.27: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.70s$	47
Figura 4.28: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.06s$	48
Figura 4.29: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.07s$	48
Figura 4.30: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.08s$	49
Figura 4.31: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.10s$	49
Figura 4.32: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.15s$	50
Figura 4.33: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.20s$	50
Figura 4.34: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.25s$	51
Figura 4.35: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.30s$	51
Figura 4.36: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.35s$	52
Figura 4.37: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.40s$	52
Figura 4.38: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.45s$	53
Figura 4.39: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.50s$	53
Figura 4.40: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.55s$	54
Figura 4.41: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.60s$	54
Figura 4.42: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.65s$	55
Figura 4.43: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.70s$	55
Figura 4.44: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R en 3D	56
Figura 4.45: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R en 2D	56

Figura 4.46: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R en 3D	57
Figura 4.47: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R en 2D	57
Figura 4.48: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.06s.....	58
Figura 4.49: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.07s.....	59
Figura 4.50: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.08s.....	59
Figura 4.51: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.10s.....	60
Figura 4.52: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.15s.....	60
Figura 4.53: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.20s.....	61
Figura 4.54: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.25s.....	61
Figura 4.55: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.30s.....	62
Figura 4.56: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.06s.....	63
Figura 4.57: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.07s.....	63
Figura 4.58: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.08s.....	64
Figura 4.59: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.10s.....	64
Figura 4.60: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.15s.....	65
Figura 4.61: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.20s.....	65

Figura 4.62: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de $T=0.25s$ 66

Figura 4.63: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de $T=0.30s$ 66

Figura 4.64: Espectro elástico ($R=1$), Espectros de ductilidad constante y espectro de la norma con pendiente constante para un R de 3, $\Omega = 2.5$ y $\alpha=1$ 68

Figura 4.65: Espectro elástico ($R=1$), Espectros de ductilidad constante y espectro de la norma con pendiente constante para un R de 4, $\Omega = 2.5$ y $\alpha=1$ 69

Figura 4.66: Espectro elástico ($R=1$), Espectros de ductilidad constante y espectro de la norma con pendiente constante para un R de 6, $\Omega = 2.5$ y $\alpha=1$ 69

Figura 4.67: Espectro elástico ($R=1$), Espectros de ductilidad constante y espectro de la norma con pendiente constante para un R de 7, $\Omega = 2.5$ y $\alpha=0.90$ 70

Figura 4.68: Espectro elástico ($R=1$), Espectros de ductilidad constante y espectro de la norma con pendiente constante para un R de 8, $\Omega = 2.5$ y $\alpha=0.90$ 70



Listado de Variables

C_d	: Factor de escalamiento de desplazamiento de diseño a desplazamiento máximo inelástico.
d_d	: Desplazamiento elástico de diseño.
d_e	: Máxima demanda de desplazamiento para una estructura elástica.
d_{imax}	: Demanda de desplazamiento inelástica.
D_i	: Desplazamiento inelástico.
d_u	: Desplazamiento máximo resistente para una estructura inelástica.
d_y	: Desplazamiento de fluencia.
K	: Rigidez estructural.
R	: Factor de Reducción de fuerzas sísmicas.
R_c	: Factor de Reducción de fuerzas sísmicas propuesto para estructuras de periodo corto.
R_{norma}	: Factor de Reducción de fuerzas sísmicas indicado en la norma peruana RNE E.030.
R_μ	: Factor de Reducción de fuerzas sísmicas a nivel de fluencia.
T	: Periodo estructural.
T_c	: Periodo de termino de plataforma de espectro.
V_e	: Fuerza cortante de máxima demanda sísmica para una estructura elástica.
V_d	: Fuerza cortante de diseño.
V_y	: Fuerza cortante de fluencia.
V_u	: Fuerza cortante máxima resistente para una estructura inelástica o fuerza de rotura.
V_{max}	: Demanda de Fuerza cortante para una estructura elástica.
Ω	: Sobrerresistencia.
Ω_{esp}	: Sobrerresistencia generada por el uso de espectros con plataforma uniforme.
μ_e	: Ductilidad máxima posible de la estructura.
μ_d	: Ductilidad demanda.
$\mu_d\ norma$: Demanda de ductilidad estimada de acuerdo a los parámetros de la norma peruana RNE E.030.

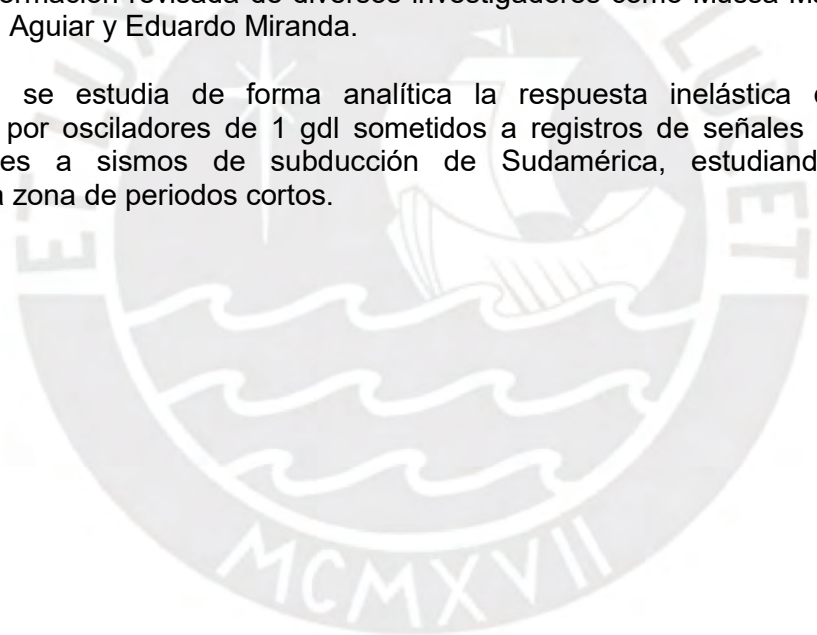
CAPÍTULO 1.- Introducción

Los edificios construidos en zonas sísmicas como el Perú deben ser capaces de resistir las sollicitaciones de terremotos importantes. Los códigos de diseño sísmico permiten reducir la demanda sísmica mediante un factor de reducción "R" considerando que la estructura entrará en régimen inelástico y disipará energía sin llegar al colapso.

En el diseño estructural se permite realizar análisis inelásticos o tiempo historia para estimar la demanda de desplazamientos, pero estos requieren un gran esfuerzo numérico y tiempo, razón por la cual las normas de diseño sismorresistente proponen métodos de diseño simples con modelos elásticos para luego estimar los desplazamientos inelásticos multiplicando los resultados de ese análisis elástico por un factor.

En particular, con la norma peruana se estiman los desplazamientos inelásticos multiplicando los resultados de un análisis elástico con fuerzas sísmicas reducidas por el factor de reducción R y un coeficiente "α". Esta consideración es bastante buena para estructuras con periodos largos sin embargo para estructuras con periodos cortos esta forma de calcular los desplazamientos inelásticos no es adecuada puesto que los desplazamientos inelásticos reales son mayores que los estimados con la metodología de la norma peruana como se indica en la información revisada de diversos investigadores como Mussa Mahmoudi, Peter Fajfar, Roberto Aguiar y Eduardo Miranda.

En esta tesis se estudia de forma analítica la respuesta inelástica de estructuras representadas por osciladores de 1 gdl sometidos a registros de señales de aceleración correspondientes a sismos de subducción de Sudamérica, estudiando con mayor detenimiento la zona de periodos cortos.



1.1. Justificación

- No hay estudios en el Perú que presenten una ecuación que describa la relación entre el factor de reducción de fuerza sísmica y la ductilidad demandada en la zona de periodos cortos.
- Existen antecedentes de estudios en otros países como Ecuador (Aguiar, 2008; Aguiar, 2017), Estados Unidos de Norte América (Miranda, 1993; Miranda & Bertero, 1994) y México (Miranda, 1995), por mencionar algunos, sobre la relación entre factor de reducción de fuerza sísmica y la ductilidad demandada donde se aprecia variaciones que dependen del periodo de la estructura.
- Además hay antecedentes de códigos de diseño donde se han incluido estas relaciones como en el código europeo, mexicano, costarricense entre otros.
- No se han estudiado aun las implicancias en la seguridad estructural de emplear el análisis propuesto por el código de diseño sísmico peruano que permite reducir la demanda sísmica para el diseño y estimar los desplazamientos inelásticos en función de un análisis elástico con un factor αR en estructuras de periodo corto.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Contribuir con la seguridad de los edificios peruanos al considerar la relación existente entre el factor de reducción y la ductilidad demandada en la zona de periodos cortos para mejorar la predicción de resultados.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar cuál es la relación existente entre la ductilidad demandada y el factor de reducción para sismos de subducción en la región peruana.
- Evaluar la seguridad estructural y las consecuencias de continuar empleando la norma peruana de diseño sismorresistente actual en la zona de periodos cortos.
- Proponer recomendaciones para una posible inclusión de la relación entre el factor de reducción (R) y ductilidad demanda en las normas peruanas.

1.3. Hipótesis

- Se puede representar la respuesta de estructuras mediante el uso de osciladores de 1 grado de libertad dinámico (1 GL).
- Usando modelos inelásticos de 1 grado de libertad y registros de terremotos de subducción es posible estudiar la relación ductilidad demandada versus factor de reducción.

- Empleando las tendencias que se obtengan de estudiar la relación entre la ductilidad demandada y el factor de reducción es posible sugerir expresiones sencillas que puedan servir de base para incorporarse en el código de diseño peruano.

1.4. Alcance

- El trabajo se desarrolla empleando registros de señales sísmicas sobre suelos buenos (S1) de acuerdo con la clasificación de la norma peruana RNE E.0.30. Estos registros son de la región Perú y Chile correspondientes a sismos de magnitudes grandes para que el contenido de frecuencias sea similar al de los sismos de diseño.
- Para evaluar las demandas de ductilidad de desplazamiento lateral y construir espectros de respuesta con los registros de señales sísmicas se emplea osciladores inelásticos de un grado de libertad lateral dinámico (1 GDL).
- Se comparan la demanda de ductilidad de acuerdo con los parámetros de la norma peruana con los resultados de la ecuación de ajuste propuesta.
- El análisis se realiza para un rango de periodos de 0 a 3 s, centrándose en la respuesta para la zona de periodos cortos entre 0 a 0.4 s.

1.5. Estado del conocimiento y práctica de ingeniería

1.5.1. Comportamiento de estructuras inelásticas.

En la práctica de ingeniería habitual es costoso diseñar estructuras que mantengan un comportamiento únicamente elástico en sismos grandes, es por ello que la filosofía de diseño está orientada a que las estructuras no colapsen y se permite que desarrollen deformaciones inelásticas, ello genera que se disipe energía del sismo como daño estructural pero evitando el colapso de la estructura. En la Figura 1.1 se muestra el esquema de una curva de capacidad típica de una estructura elástica y una inelástica, la rigidez de la estructura elástica corresponde a la rigidez secante de la curva para la estructura inelástica.

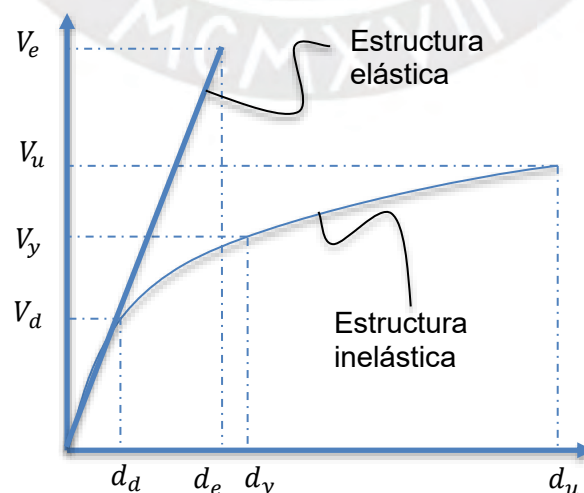


Figura 1.1: Curva típica de resistencia vs desplazamiento lateral de una estructura inelástica.

Cuando la fuerza sísmica de una estructura supera la fuerza de fluencia, la estructura se sigue deformando y disipando energía en concordancia a lo que el sismo le demande. Bajo el supuesto de diseño que la estructura no colapsa, la fuerza máxima demandada (V_{max}) es menor que la fuerza de rotura y el desplazamiento máximo inelástico demandado es menor que el desplazamiento máximo resistente.

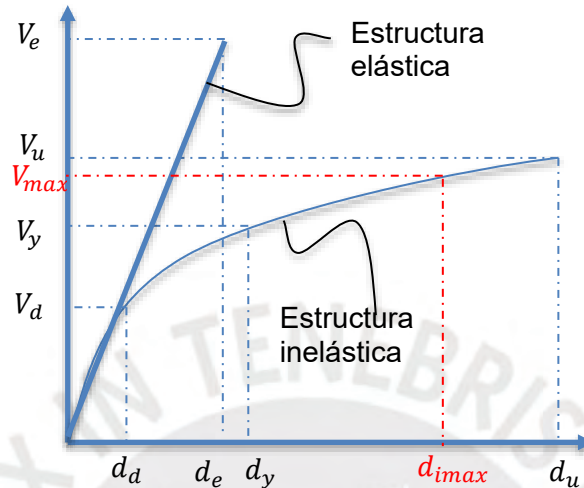


Figura 1.2: Curva típica de resistencia vs desplazamiento lateral indicando las demandas inelásticas para solicitaciones sísmicas.

Donde:

Con los parámetros indicados se definen estos términos:

$$\mu_e = \frac{d_u}{d_y} \quad \text{Eq. 1.1}$$

$$\mu_d = \frac{d_{imax}}{d_y} \quad \text{Eq. 1.2}$$

$$R = \frac{V_e}{V_d} \quad \text{Eq. 1.3}$$

$$R_\mu = \frac{V_e}{V_y} \quad \text{Eq. 1.4}$$

$$\Omega = \frac{V_y}{V_d} \quad \text{Eq. 1.5}$$

$$C_d = \frac{d_{imax}}{d_d} \quad \text{Eq. 1.6}$$

1.5.2. Relación entre Factor de Reducción (R), ductilidad (μ) y Sobrerresistencia.

Diversos investigadores han reportado que la demanda de ductilidad no tiene un comportamiento linealmente proporcional al factor de reducción R en las zonas de periodo corto. De estos investigadores podemos destacar a los 3 más importantes: E. Miranda, Mussa Mahmoudi y Peter Fajfar.

E.Miranda (1993) realizó un estudio de 264 registros de aceleración de sismos en California en suelo firme para estudiar los desplazamientos inelásticos y calcular la relación que permite estimar los máximos desplazamiento inelásticos en función de los desplazamientos elásticos

con fuerzas reducidas. De este estudio Miranda presentó una relación para predecir los desplazamientos inelásticos que depende del periodo de la estructura y de la ductilidad, generando demandas mayores para estructuras de periodos cortos (Miranda, 1993).

En la investigación de Mussa Mahmoudi (2009) se muestran los resultados en función al factor de amplificación de desplazamientos, denominado C_d en su investigación, y al cociente del factor C_d y el factor reducción de fuerzas sísmicas (R). Mahmoudi empleó en su investigación las propuestas para factores reducción de fuerza sísmica, que varían en función al periodo de la estructura, de Newmark-Hall, Riddell, Krawinkler y Miranda.

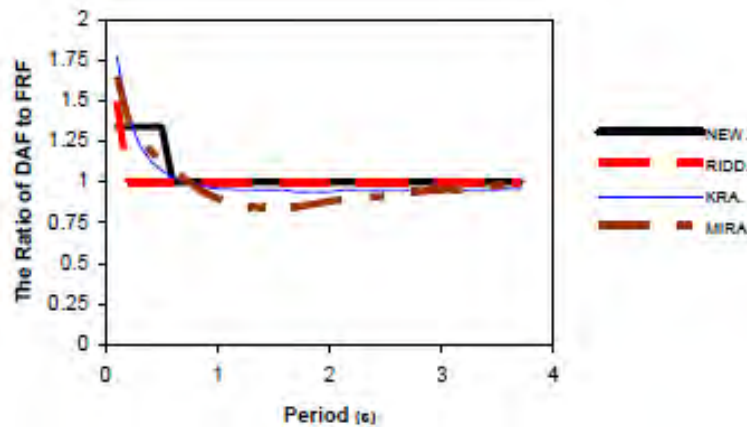


Figura 1.3: Relación C_d/R vs periodo del sistema estructural para una estructura con una ductilidad de 3 (Mahmoudi, 2009)

Mahmoudi concluye de su investigación que la relación C_d/R es mayor que 1 para estructuras de periodos cortos, menores al periodo del suelo, además el también concluyó que la demanda de ductilidad se incrementa mientras mayor sea el valor del factor de reducción empleado. Para estructuras de periodo largo la relación C_d/R es igual a 1 (Mahmoudi, 2009).

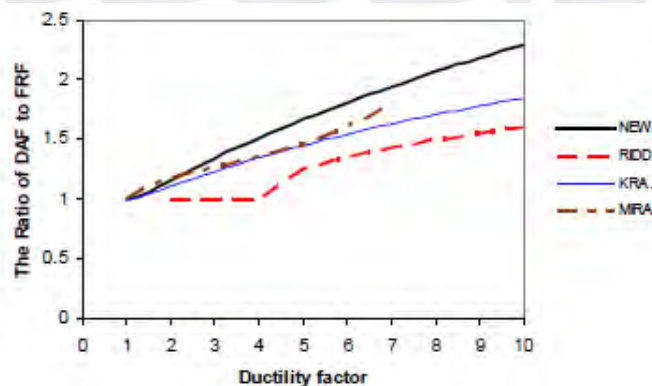


Figura 1.4: Relación C_d/R vs ductilidad del sistema estructural para una estructura de periodo 0.3 seg. (Mahmoudi, 2009)

La investigación de Petter Fajfar (2000) muestra que para estructuras con periodos menores al periodo de la plataforma del espectro, denominado " T_c " en su investigación, el desplazamiento inelástico esperado es mayor que el desplazamiento elástico calculado con la fuerza sísmica reducida multiplicado por el factor R (factor de reducción de fuerzas sísmicas sin considerar la sobrerresistencia) (Fajfar, 2000). Fajfar usa en su investigación espectros elásticos y espectros inelásticos donde calcula el desplazamiento intersectando el espectro inelástico con la curva de capacidad de la estructura, de este análisis para estructuras con periodos mayores a T_c se aprecia el desplazamiento inelástico es igual al desplazamiento

elástico multiplicado por R_{Ω} , y para periodos menores que T_c esta relación no se cumple ya que los desplazamientos inelásticos salen mayores.

Por ello Fajfar propone calcular el factor de reducción de fuerzas sísmicas en función a la ductilidad demandada (μ_d) con un valor constante de R_{Ω} para periodos largos y un valor variable de R_{Ω} que depende del periodo y de la ductilidad demandada para estructuras de periodo corto (Fajfar, 2000).

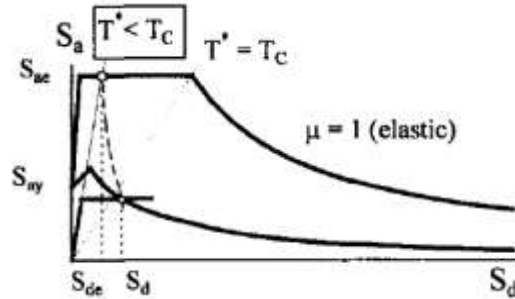


Figura 1.5: Respuesta de un sistema estructural con un periodo menor al periodo de fin de plataforma del espectro (Fajfar, 2000)

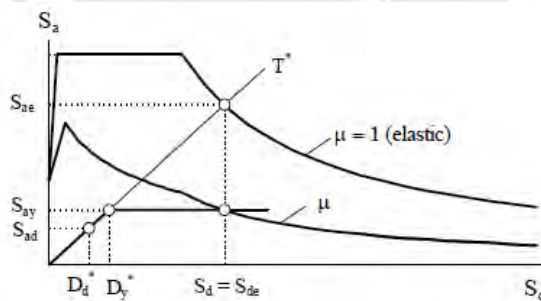


Figura 1.6: Respuesta de un sistema estructural con un periodo mayor al periodo de fin de plataforma del espectro (Fajfar, Marusic y Perus, 2005)

Por ello Fajfar propone calcular la ductilidad demandada (μ_d) en función al sistema estructural como se aprecia en las formulas Eq. 1.7 y Eq. 1.8. Se ha adaptado las variables empleadas por Fajfar a las definidas en este documento.

$$\mu_d = R_{\mu} \quad \text{para } T > T_c \quad \text{Eq. 1.7}$$

$$\mu_d = 1 + (R_{\mu} - 1) \frac{T_c}{T} \quad \text{para } T < T_c \quad \text{Eq. 1.8}$$

De acuerdo con las investigaciones de Mussa Mahmoudi, Petter Fajfar, M.EERI, E. Miranda entre otros, se concluye que el factor de amplificación de desplazamientos no es un valor constante para todos los periodos sino que depende del periodo de la estructura, en los periodos largos mayores al periodo del suelo o al periodo de la plataforma de los espectros el C_d suele ser constante sin embargo para las zonas de periodos cortos este valor no es constante sino que varía con el periodo de la estructura.

La sobre resistencia como se indica en 1.5.1 es el cociente entre la fuerza cortante de fluencia de la estructura y la fuerza cortante de diseño. Esta sobrerresistencia existe en los edificios por la forma en la que se realiza el diseño estructural que emplea factores de amplificación de fuerzas sísmicas y reducción de resistencias (Aguilar, 2017).

Los edificios se diseñan empleando los requerimientos mínimos indicados en los códigos que incluyen factores de amplificación de cargas, mayores a la unidad, de acuerdo con la naturaleza de las mismas sean de peso propio, cargas muertas, o peso temporal como cargas vivas entre otras para el diseño por resistencia y de forma similar en el diseño por esfuerzos admisibles, se dota a la estructura de una fuerza mayor a la que se espera deba resistir en su día a día. El diseño se realiza de esta forma para evitar que la estructura falle en caso se superen las cargas previstas en el diseño en condición de servicio.

En el diseño por resistencia, también se emplean factores de reducción de resistencia de los elementos estructurales, y estos valores de reducción de resistencia (ϕ en la norma peruana) dependen del material, por la variabilidad del material, y del elemento estructural, para evitar fallas frágiles o inducir a fallas dúctiles. Los valores que toma ϕ son menores que la unidad y sumados a los factores de amplificación dotan a la estructura de sobre resistencia. Adicional a lo mencionado, se tiene la redundancia de la estructura ya que no todas las rótulas plásticas ocurren en simultáneo sino que se van generando de forma progresiva en la estructura.

Todo lo mencionado respecto a las cargas de diseño amplificadas y a la reducción de resistencias durante el diseño genera la sobrerresistencia entre la fuerza de diseño (V_d) y la fuerza cortante de fluencia. El valor de sobrerresistencia de diseño puede estimarse mediante análisis de curvas de esfuerzo deformación tipo push over u otros procedimientos analíticos. De acuerdo con lo indicado en el ASCE 7-16 los valores de sobrerresistencia dependen del sistema estructural y nivel de detallado empleado en el diseño. Estos valores de sobrerresistencia están entre 2.0 y 3.0 para los sistemas estructurales similares a los de la norma peruana E0.30, en este trabajo se considera emplear un valor medio de 2.5 de forma indistinta del factor de reducción empleado y al sistema estructural o el material sea concreto o acero.

En la Tabla 1. 1 se muestran algunos valores de factores de reducción y sus correspondientes valores de sobrerresistencia de acuerdo con la normativa peruana RNE E.030 y el ASCE 7-16 que además de brindar un listado con factores de reducción proporciona valores de sobrerresistencia.

Tabla 1. 1: Valores de factores de sobrerresistencia del ASCE7-16 y Factores de reducción del RNE E.030.

Sistema resistente a fuerzas sísmicas	ASCE7-16			E.030
	R	Ω	Cd	R
Acero				
Pórticos especiales resistentes Acero a momentos (SMF)	8	3	5.5	8
Pórticos intermedios resistentes a momentos (IMF)	4.5	3	4	5
Pórticos ordinarios resistentes a momentos (OMF)	3.5	3	3	4
Pórticos especiales concéntricamente arriostrados (SCBF)	6	2	5	7
Pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados (OCBF)	3.25	2	3.25	4
Pórticos excéntricamente arriostrados (EBF)	8	2	4	8
Concreto Armado				
Pórticos Especiales	8	3	5.5	8
Pórticos Intermedios	5	3	4.5	-
Pórticos Ordinarios	3	3	2.5	-
Sistema Dual con pórticos especiales	7	2.5	5.5	7
Muros estructurales reforzados especiales	6	2.5	5	6
Muros estructurales reforzados ordinarios	5	2.5	4	-
Muros de ductilidad limitada				4

Sistema resistente a fuerzas sísmicas	ASCE7-16			E.030
	R	Ω	Cd	R
Albañilería				
Muros especiales reforzados de Albañilería	5.5	2.5	4	
Muros intermedios reforzados de Albañilería	4	2.5	4	3
Muros ordinarios reforzados de Albañilería	2	2.5	2	-
Muros detallados de albañilería simple	2	2.5	2	-
Madera	7	2.5	4.5	7

1.5.3. Práctica de ingeniería

El procedimiento de diseño sismorresistente indicado en las normas internacionales y en la peruana consiste en realizar el análisis de la estructura considerándola elástica y empleando las fuerzas sísmicas reducidas (R), luego de realizar este análisis elástico se estiman los desplazamientos inelásticos mediante un factor de amplificación de desplazamientos elásticos, "fa". Los códigos de diseño permiten emplear el factor de reducción R porque consideran que el sistema estructural podrá disipar energía de forma inelástica. El factor "fa" en la norma americana se denomina Cd, en la norma peruana se denomina αR , donde el valor de R depende del tipo sistema estructural y α toma un valor si la estructura es regular (Eq. 1. 9) y otro si es irregular (Eq. 1. 10), siendo un valor constante para cualquier periodo estructural.

La norma peruana de diseño sismorresistente RNE E.030 emplea el factor de reducción de fuerzas sísmicas R para amplificar los desplazamientos elásticos de diseño (Dd) y estimar los desplazamientos inelásticos (Di). Para estructuras regulares se emplea el 75% del factor R y para estructuras irregulares se emplea el 85% del factor R.

Para estructuras regulares: $D_i = D_e * 0.75R$ Eq. 1. 9

Para estructuras irregulares: $D_i = D_e * 0.85R$ Eq. 1. 10

De acuerdo con lo expuesto en las investigaciones mencionadas en el punto 1.5.2, en espectros con un factor de reducción constante, el factor de amplificación de desplazamientos (Cd) no es un valor constante para todos los periodos sino que varía dependiendo del periodo de la estructura. Subestimar la demanda de ductilidad de desplazamientos que tendría la estructura cuando entre en régimen inelástico podría generar mayores daños en las estructuras al tener mayores demandas de ductilidad a las previstas en el diseño.

CAPÍTULO 2.- Metodología de la Investigación

La investigación se realizó creando espectros de respuesta elásticos e inelásticos con registros de aceleración sísmicas de subducción de la región (Perú y Chile) registrados en suelo bueno (S1 de acuerdo con el código sísmico peruano). Así mismo, los espectros de respuesta se construyeron empleando osciladores de 1 grado de libertad lateral dinámico (GDL).

El procedimiento de la investigación consistió en realizar análisis de registros de señales sísmicas para elaborar espectros de respuesta de aceleraciones y desplazamientos elásticos e inelásticos de ductilidad constante con osciladores de 1 GDL inelásticos. El rango de periodos examinado fue de 0 a 3 s con mayor densidad de muestras en la zona de periodos cortos que es el rango de interés, periodos de 0 a 0.3 s. Luego se calcularon los factores de reducción de fuerzas sísmicas a nivel de fluencia asociados a cada ductilidad y periodo estudiado. Finalmente con los resultados obtenidos, con los parámetros R_{μ} , μ_d y T , se realizaron estudios de tendencia para encontrar una función que describa la relación entre el factor de reducción de fuerzas sísmicas y la ductilidad demandada.

2.1. Criterios para la elección de Señales.

Primero fue necesario elegir las señales sísmicas que se emplearían para el análisis. Se delimitó el tipo de suelo en el que se registraron las señales sísmicas al S1 de la norma peruana RNE 0.30 debido a que la mayoría de las estaciones sísmicas se encuentran en este tipo de suelo y es la información que podría recolectarse con mayor facilidad. Además, la respuesta de una estructura o de un oscilador sometido a un registro depende del contenido de frecuencias de la señal a la que está sometida es por ello que fue necesario definir y elegir las magnitudes de los sismos que se emplearían.

El contenido de frecuencias de un registro sísmico está relacionado a la magnitud del sismo, esto se debe a las propiedades mecánicas del suelo que no es un material uniforme por lo que no tiene un comportamiento lineal o elástico sino dependiente de la intensidad del movimiento sísmico. En consecuencia, mientras mayor sea la magnitud de un sismo es mayor el área de ruptura por lo que se generan interacciones entre las ondas que produce dicha ruptura por ello en el supuesto que ocurriesen 2 sismos en el mismo epicentro pero de diferente magnitud, las señales registradas no tendrían el mismo contenido de frecuencias.

Para el análisis se consideró más importante el contenido de frecuencias de la señal que el valor de la aceleración, ya que la forma de los espectros elásticos e inelásticos están dadas principalmente por el contenido de frecuencias de las señales. Es por ello que se han empleado registros de señales de sismos de gran intensidad para que el contenido de frecuencias brinde valores de respuesta similares a lo indicado en la norma peruana que está definida para sismos de periodo de retorno de 475 años con un 10% de probabilidad de excedencia, es decir sismos de magnitudes grandes.

Es importante indicar que los registros de la historia de aceleraciones se realizan en pares de componentes horizontales por ello se han investigado ambas direcciones independientemente, analizando de forma separada las componentes de las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste

2.2. Selección de señales

La cantidad de registros sísmicos peruanos de terremotos de gran intensidad es bastante corta ya que el Perú se ha instrumentado desde 1944 con el primer acelerógrafo en lima en la estación parque de la reserva (UNI, 2021) y han ocurrido desde entonces pocos sismos de magnitud mayor a 8 (Lima 1966). Es por ello que se han seleccionado los sismos peruanos registrados tienen magnitudes mayores a 7.6 (Ms) y se han complementado con sismos de Chile donde se tiene una cantidad mayor de registros sísmicos con magnitudes mayores a 7.7 Mw. Los registros chilenos tienen características y contenido de frecuencias similares a los sismos peruanos puesto que se tratan de sismos de subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana.

Tabla 2.1: Listado de Registros sísmicos empleados.

	Fecha	Magnitud	Lugar	Registro	Estación	a (cm/s ²)	a (g)
S1	1/04/2014	8.2 Mw	Iquique	Chile	20140401_234645_PB11	723.7	0.74
S2	16/09/2015	8.4 Mw	Coquimbo	Chile	20150916_225428_C110	814.0	0.83
S3	27/02/2010	8.8 Mw	Bio Bio	Chile	angol1002271 v2 corregido	960.0	0.98
S4	23/06/2001	8.4 Mw	Arequipa	Chile	Cuya	154.9	0.16
S5	14/11/2007	7.7 Mw	Tocopilla	Chile	Mejillones	411.4	0.42
S6	3/04/2014	7.7 Mw	Iquique	Chile	20140403_024315_T08A	446.1	0.45
S7	31/05/1970	7.9 Mw	Ancash	Perú	PRQ_19700531152300	105.1	0.11
S8	17/10/1966	8.1 Mw	Lima	Perú	PRQ_19661017164100	268.2	0.27
S9	15/08/2007	8 Mw	Pisco	Perú	ICA002_20070815184058	333.7	0.34
S10	3/10/1974	7.6 Ms	Lima	Perú	PRQ_19741003092100	194.2	0.20

Los 10 registros seleccionados empleados corresponden a estaciones ubicadas en suelos buenos (S1) de acuerdo a los criterios de la norma sísmica peruana, se eligió emplear registros sísmicos de estaciones con un mismo tipo de suelo para que el contenido de frecuencias sea similar y comparable entre sí. Mezclar registros sísmicos de estaciones de diferentes categorías de suelo llevaría a resultados con dispersiones mayores ya que el contenido de frecuencias no solo depende del mecanismo de formación del sismo, subducción o intraplaca, sino también del tipo de suelo donde se registran ya que algunas frecuencias se filtran y otras se amplifican. Las señales peruanas se han extraído de la Red acelerográfica del Perú (UNI; 2021) y los registros chilenos se han extraído del Centro sismológico nacional de Chile (Universidad de Chile, 2021)

2.3. Correcciones de Señales.

Las señales registradas por acelerógrafos suelen tener algunos errores propios de los equipos empleados o de alguna fuente externa (Li, Yao, Zheng, Cai & Lei, 2011). Estos errores se detectan porque al realizar la integración de los acelerogramas para obtener la historia de velocidades y/o historia de desplazamientos se identifican resultados equivocados como:

- Las magnitudes de los resultados se encuentran fuera de una escala razonable (velocidades de más de 10 m/s, o desplazamientos de varios metros) (Boore & Bommer, 2005)
- El eje central de los registros no se encuentra paralelos al eje de tiempo. (Boore & Bommer, 2005)

- La historia de velocidades no termina en valor cero. (Boore & Bommer, 2005)

Debido a que las repuestas espectrales dependen directamente del contenido de frecuencias de las señales y las amplitudes de las mismas, se ha trabajado tratando de alterar lo menos posible a los registros sísmicos. Por ello se han realizado sólo la mínima cantidad de correcciones como la corrección por línea base (lineal), para algunas señales se requirió aplicar filtros del tipo high pass Butterworth de 0.1 hz (que equivale a filtrar los periodos mayores a 10 s) o filtros del tipo band pass Butterworth entre 0.1 hz y 30 hz (filtrando las señales menores a 0.03 s y mayores a 10 s) para que los resultados de la historias de desplazamientos y velocidades obtenidas a partir de los acelerogramas corregidos brinden resultados consistentes y coherentes (Li et al., 2011; Hu & Lu, 2015; Trifunac, 1971). Estas correcciones a las señales por línea base y con los filtros mencionados se han realizado empleando el software SeismoSpect versión 2018.

En la Figura 2.1 se muestra los resultados de una señal sin procesar y sin emplear ninguna corrección, donde se aprecia que el desplazamiento del suelo es de 60 cm y no paralelo al eje de tiempo.

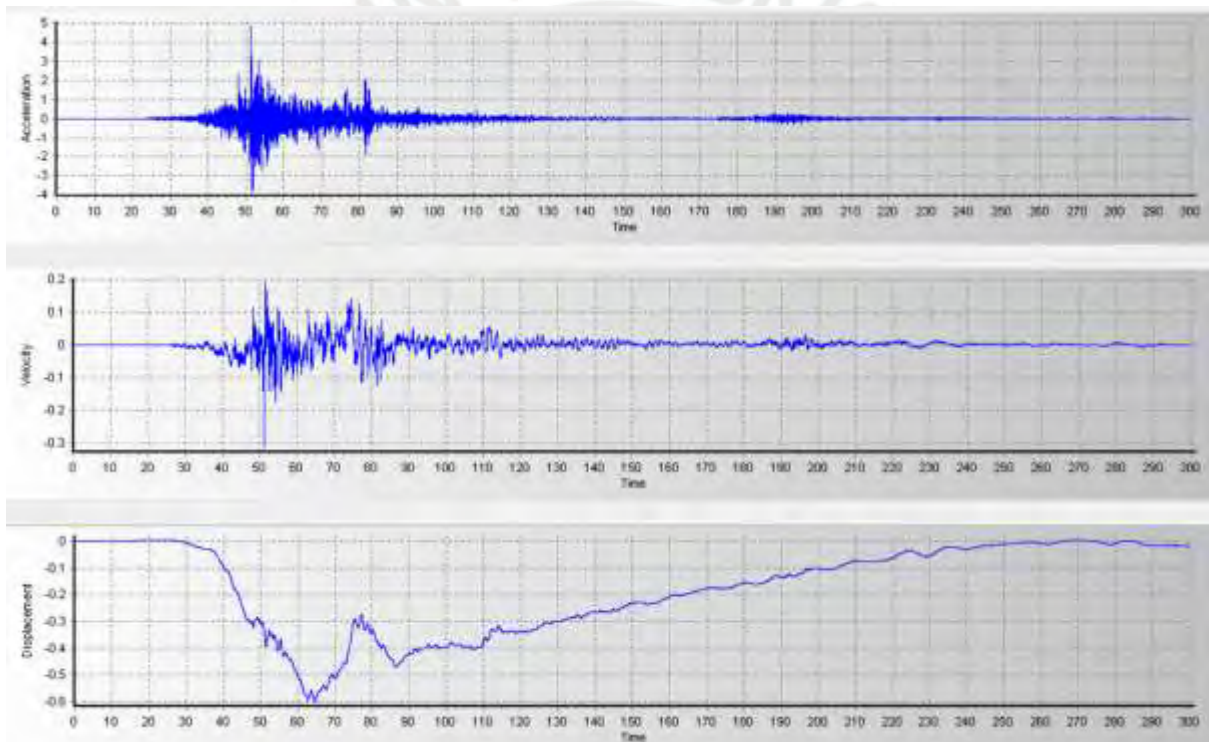


Figura 2.1: señal de terremoto magnitud 8.2 Mw dirección EW de 01-04-2014, Iquique, Chile. Unidades en metros y segundos. No se ha aplicado ningún filtro.

En la Figura 2.2 se aprecia la misma señal con corrección de línea base y un filtro highpass de 0.1 hz, donde se ve que en la historia de desplazamientos que el valor máximo antes de la corrección es de 60 cm y que luego de la corrección se ha reducido a 7.2 cm. Además se observa que el eje de la historia de desplazamientos es paralela al eje tiempo.

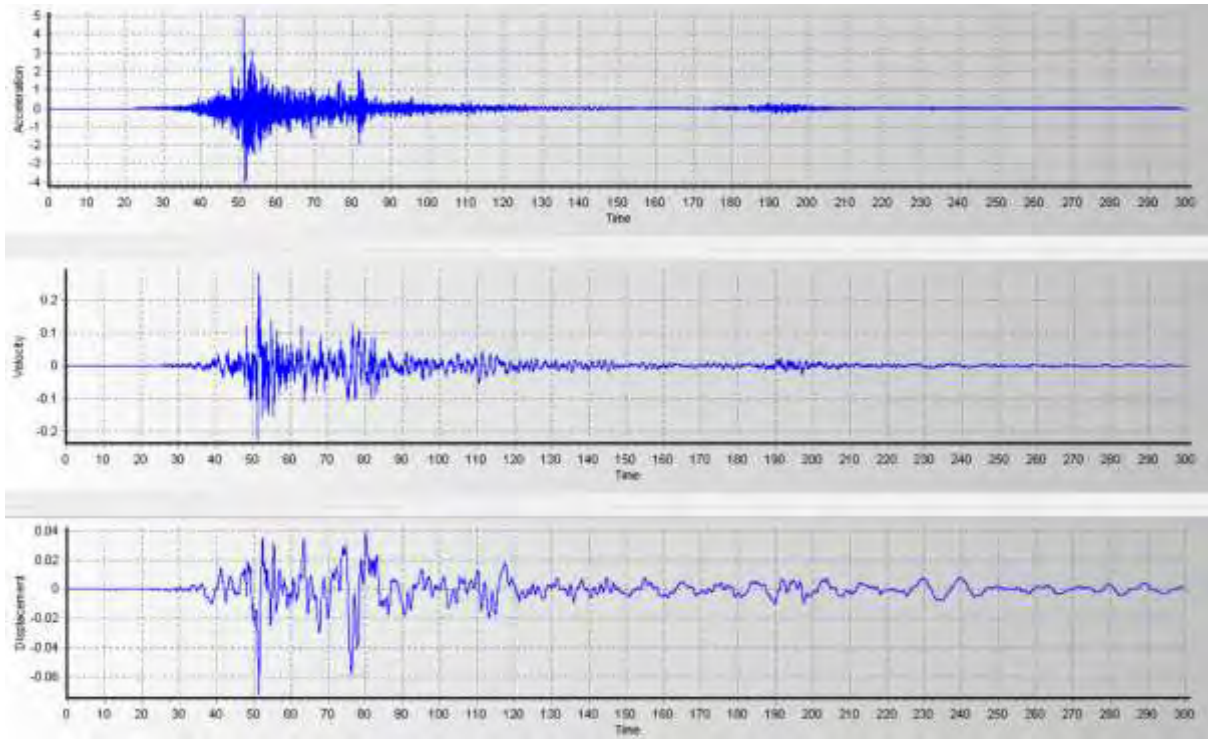


Figura 2.2: señal de terremoto magnitud 8.2 Mw dirección EW de 01-04-2014, Iquique, Chile. Unidades en metros y segundos. Con correcciones de línea base y filtros highpass de 0.1hz.

Las señales corregidas en dirección de análisis este-oeste se muestran en el Anexo 1 y en la dirección de análisis norte-sur se muestran en el Anexo 2.

2.4. Modelos de comportamiento inelástico.

Las estructuras tienen curvas de esfuerzo deformación similares a la curva mostrada en la Figura 1.1. Sin embargo trabajar con modelos no lineales es complejo e incrementa en gran medida el tiempo de cálculo. Es por ello que se emplea modelos en base a líneas que representen el comportamiento de la estructura.

Los modelos empleados pueden ser bilineales (elasto-plásticos o con una segunda pendiente), poligonales o funciones que describan la forma de la curva fuerza deformación de la estructura. Mientras más complejo sea el modelo estructural empleado mayor será el tiempo de cálculo necesario, por ello se ha optado por trabajar con modelos bilineales para representar el comportamiento de la estructura.

En la Figura 2.3 se muestra un ejemplo de representación de la curva de capacidad de una estructura con un modelo bilineal.

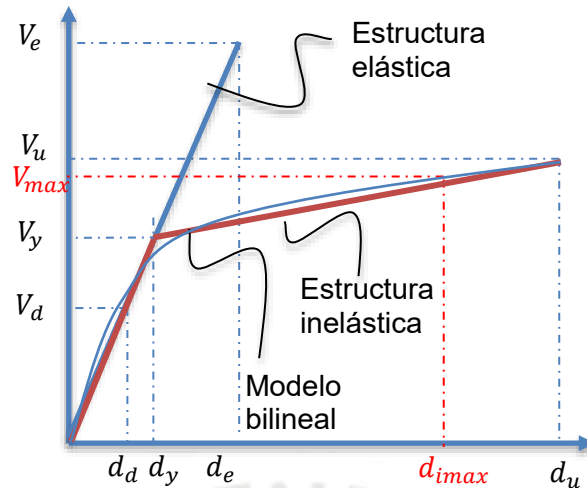


Figura 2.3: Representación bilineal la curva capacidad de una estructura.

Existen varios ajustes de modelos bilineales, el objetivo de esta tesis no es profundizar en la construcción de modelos bilineales por ello se ha trabajado con osciladores de 1 GDL sin embargo se consideró pertinente mencionar brevemente la teoría que acompaña la construcción de estos osciladores. Para una estructura real el modelo bilineal se construye considerando como primer tramo del modelo la rigidez secante y la segunda pendiente se obtiene de equivalencia de áreas de la curva capacidad vs desplazamiento, para ver ejemplos de modelos bilineales construidos sobre la base de curvas fuerza – desplazamiento lateral para diferentes tipologías estructurales ver Anexo 9. De las variables indicadas en la Figura 2.3 es importante destacar que la cortante de fluencia (V_y) no es igual a la cortante de diseño (V_d) y que el desplazamiento (d_d) correspondiente a la cortante de diseño no es igual al desplazamiento de fluencia (d_y).

En los modelos bilineales empleados se considera la rigidez inicial K hasta el valor de la fuerza cortante de fluencia y luego de este punto la rigidez decae a un 10% K como se aprecia en Figura 2.4. La rigidez del 10% K luego del punto de fluencia se consideró sobre la base de la información de estructuras de concreto armado en Chile con la información de curvas de capacidad vs desplazamiento en el portal web OPENQUAKE (2012) ver Anexo 9.

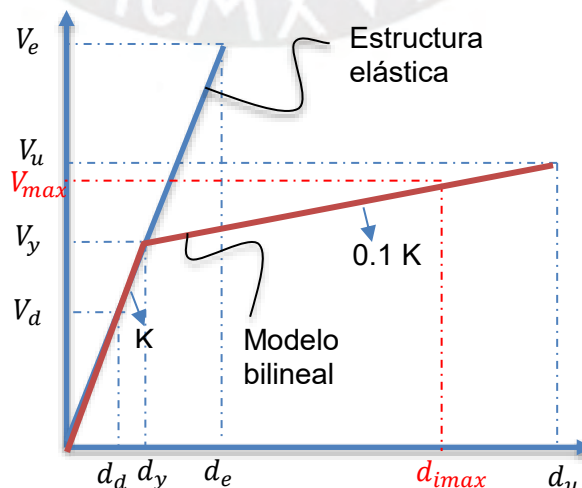


Figura 2.4: Modelo bilineal empleado de los osciladores de 1 GDL.

Donde:

$$K = V_y / d_y \quad \text{Eq. 2.1}$$

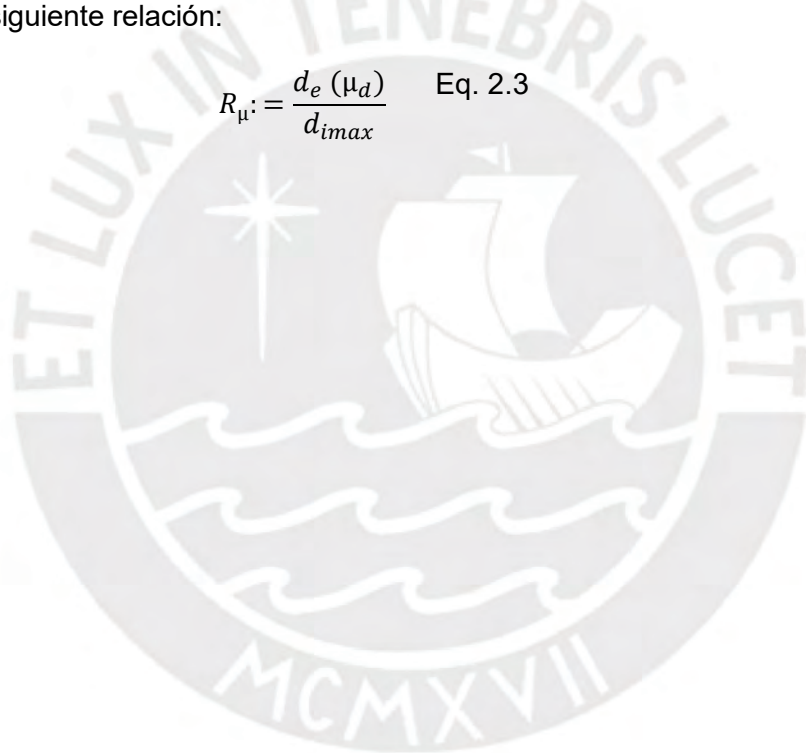
$$0.1 K = (V_u - V_y) / (d_u - d_y) \quad \text{Eq. 2.2}$$

Para el cálculo de los espectros inelásticos se ha empleado diferentes valores de rigidez K correspondientes a periodos de 0.05 s hasta 4 s de periodo, con paso de 0.05 s entre periodos estructurales.

Para la construcción de los espectros inelásticos se ha empleado el programa seismosignal 2018 generando espectros de ductilidad demandada constante con valores desde 1 a 10 y considerando la segunda pendiente con el 10% de rigidez. El programa seismosignal 2018 emplea el método de integración directa de Newmark con $\beta = 0.25$ y $\gamma = 0.5$

Con los espectros elásticos e inelásticos se ha calculado cual es el factor de reducción de fuerzas sísmicas a nivel de fluencia (R_μ) que corresponde a cada periodo analizado empleando la siguiente relación:

$$R_\mu = \frac{d_e(\mu_d)}{d_{imax}} \quad \text{Eq. 2.3}$$



CAPÍTULO 3.- Respuesta Inelástica de sistemas de un grado de libertad dinámica a terremotos de subducción de Perú y Chile.

3.1. Respuestas inelásticas.

En las Figura 3.1 y Figura 3.2 se muestran los resultados consolidados de los análisis realizados empleando espectros inelásticos para las direcciones EW y NS respectivamente. En estos gráficos se aprecia dispersión de resultados y es difícil a simple vista apreciar alguna tendencia, es por ello que se ha graficado una superficie promedio que permite apreciar que en la zona de periodos cortos existe cierta no linealidad a diferencia del resto de periodos donde se aprecia una superficie poco curvada y casi plana.

Los resultados del análisis elástico e inelástico, y de forma independiente para cada una de las señales utilizadas y para todas las ductilidades demandas elegidas para el análisis ($\mu_d = 1; 1.5; 2; 2.5; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10$) se muestran en el Anexo 3 para la dirección de análisis EW y en el Anexo 4 para la dirección de análisis NS.

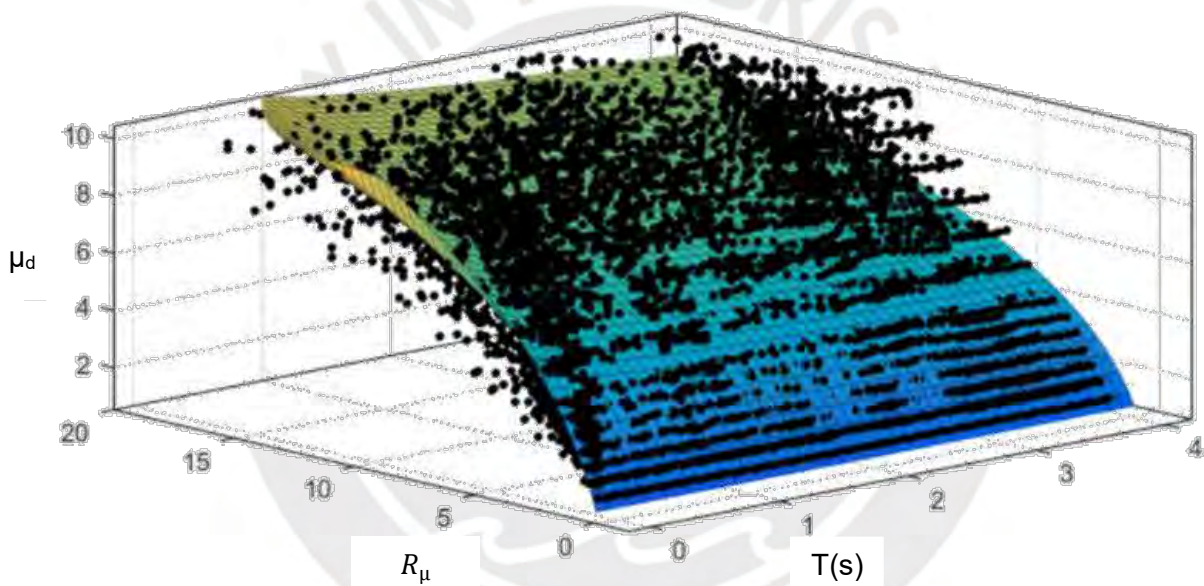


Figura 3.1: Grafico de Resultados en dirección EW para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ_d)

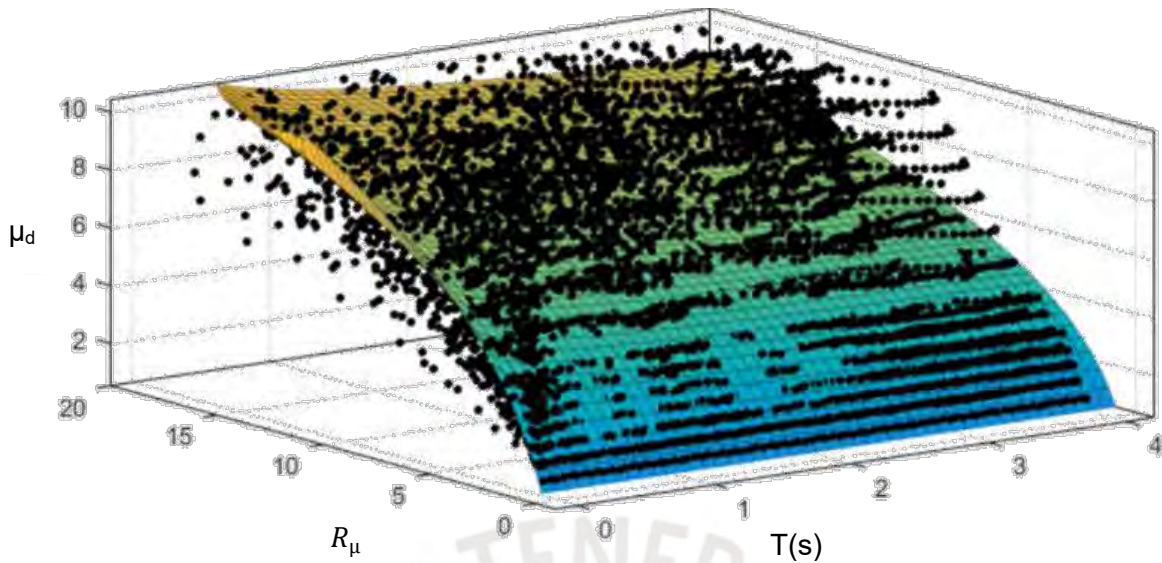


Figura 3.2: Grafico de Resultados en dirección NS para las 10 señales sísmicas.(T, R_{μ}, μ_d)

Es importante notar que cada sismo es único y esto se debe no solo a las características del suelo donde se produce el sismo sino también a la distancia, los tipos de suelo que atraviesa la señal sísmica y al tipo de suelo en donde se registra. Es por ello que se prefirió trabajar con los promedios de resultados, ya que permite se aprecien las tendencias con mayor claridad como se ve en la Figura 3.3 y Figura 3.4 donde se observa claramente que en la zona de periodos cortos existe una relación no lineal entre la ductilidad demandada y el factor de reducción R_{Ω} , mientras que para el resto de periodos puede considerarse una superficie plana, es decir con una relación lineal.

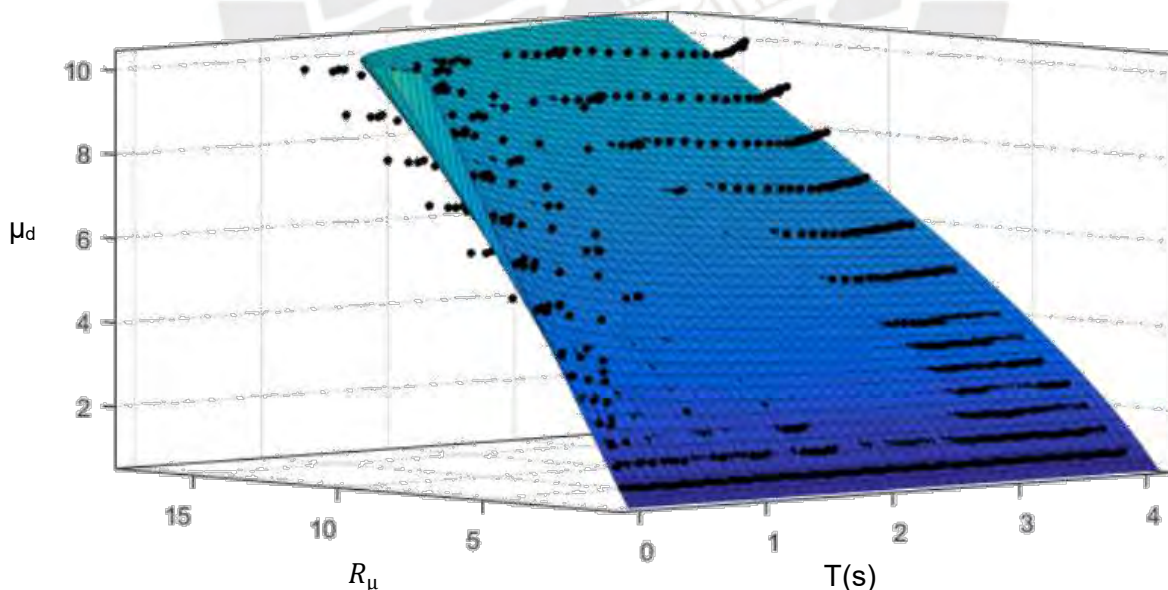


Figura 3.3: Grafico de Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas.(T, R_{μ}, μ_d)

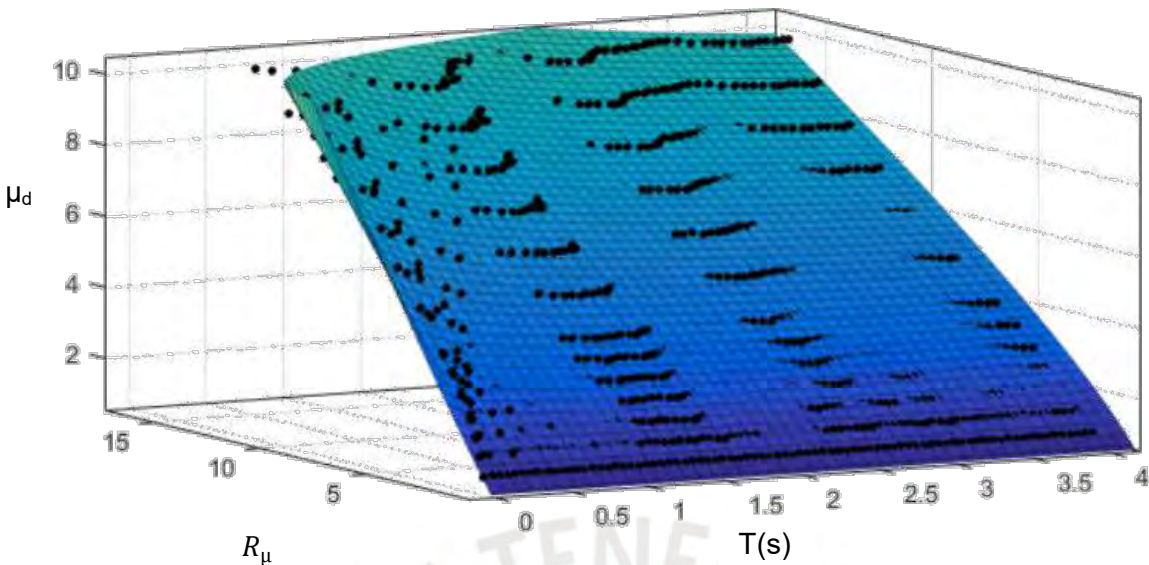


Figura 3.4: Grafico de Resultados Promedio en dirección NS para las 10 señales sísmicas. (T, R_{μ}, μ_d)

3.2. Análisis de respuestas inelásticas

Para identificar con claridad a partir de qué periodo existe una relación no lineal se ha generado gráficos de la relación constante entre la ductilidad demandada y el factor de reducción (μ_d/R_{Ω}) para cada una de las ductilidades estudiadas. Estos gráficos se muestran de la Figura 3.5 a la Figura 3.14 para la dirección de estudio EW y de la figuras Figura 3.15 a la Figura 3.24 para la dirección de estudio NS. Además, en estos gráficos se indican los resultados que tendrán sólo un 5% de probabilidad de excedencia (límite superior de intervalo de confianza del 90% considerando una distribución normal de resultados).

Considerando los resultados con un 5% de probabilidad de excedencia se infiere de los gráficos realizados lo siguiente para ambas direcciones de análisis EW y NS en relación a μ_d/R_{Ω} :

- En la zona de periodos largos la relación μ_d/R_{Ω} es igual a 1 para ductilidades demandadas menores a 2 (ver Figura 3.5, Figura 3.6, Figura 3.15 y Figura 3.16).
- En la zona de periodos largos la relación μ_d/R_{Ω} es igual a 0.9 para ductilidades demandadas mayores a 2 pero menores que 4 (ver Figura 3.7, Figura 3.8, Figura 3.17 y Figura 3.18).
- En la zona de periodos largos la relación μ_d/R_{Ω} es igual a 0.85 (ver de la Figura 3.9 a la Figura 3.14 y de la Figura 3.19 a la Figura 3.24)

Considerando los resultados con un 5% de probabilidad de excedencia se infiere de los gráficos realizados lo siguiente para la dirección de análisis EW con respecto al periodo desde el que se genera una relación μ_d/R_{Ω} mayor a 1:

- Para estructuras con ductilidades menores o iguales a 2 el periodo desde el que la relación μ_d/R_{Ω} es mayor a uno ocurre para periodos inferiores a 0.3 s (ver Figura 3.5 y Figura 3.6).
- Para estructuras con ductilidades mayores que 2 pero menores o iguales a 4 el periodo desde el que la relación μ_d/R_{Ω} es mayor a uno ocurre para periodos inferiores a 0.45 s (ver Figura 3.7 y Figura 3.8).

- Para estructuras con ductilidades mayores a 5 el periodo desde el que la relación μ_d/R_Ω es mayor a uno ocurre para periodos inferiores a 0.60 s (ver de la Figura 3.9 a la Figura 3.14)

Considerando los resultados con un 5% de probabilidad de excedencia se infiere de los gráficos realizados lo siguiente para la dirección de análisis NS con respecto al periodo desde el que se genera una relación μ_d/R_Ω mayor a 1:

- Para estructuras con ductilidades menores o iguales a 2 el periodo desde el que la relación μ_d/R_Ω es mayor a uno ocurre para periodos inferiores a 0.25 s y 0.30s (ver Figura 3.15 y Figura 3.16).
- Para estructuras con ductilidades mayores que 2 pero menores o iguales a 6 el periodo desde el que la relación μ_d/R_Ω es mayor a uno ocurre para periodos inferiores a 0.40 s (ver Figura 3.17 y Figura 3.18).
- Para estructuras con ductilidades mayores a 6 el periodo desde el que la relación μ_d/R_Ω es mayor a uno ocurre para periodos inferiores a 0.50 s (ver de la Figura 3.19 a la Figura 3.24)

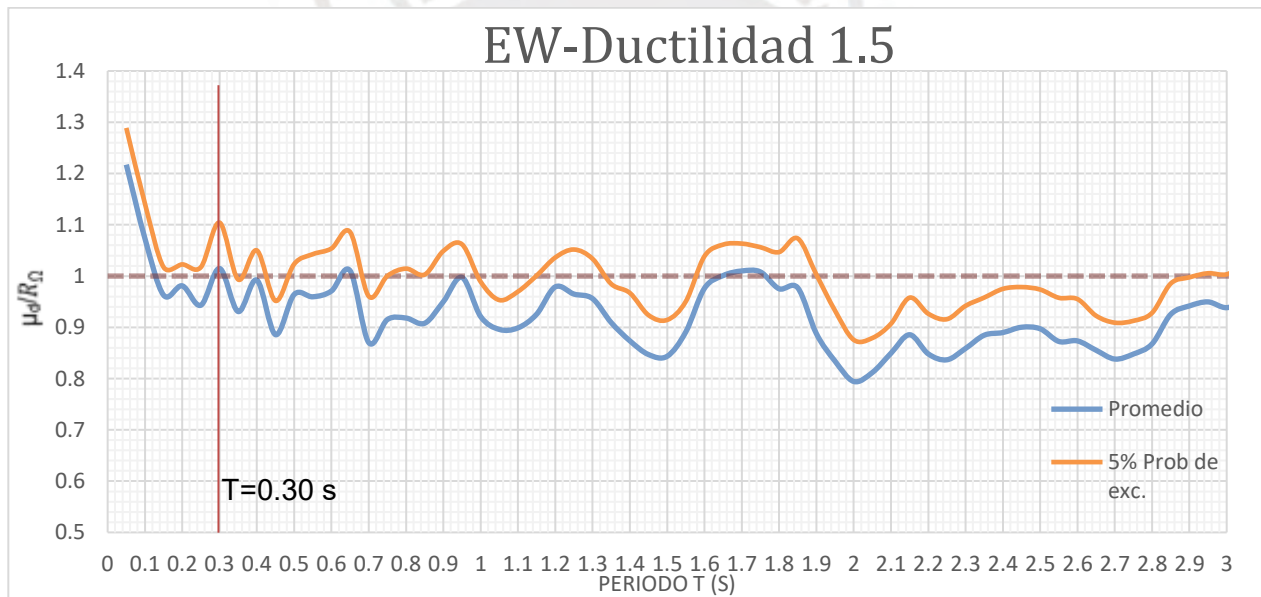


Figura 3.5: Gráfico para valores de $\mu_d = 1.5$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ , μ)

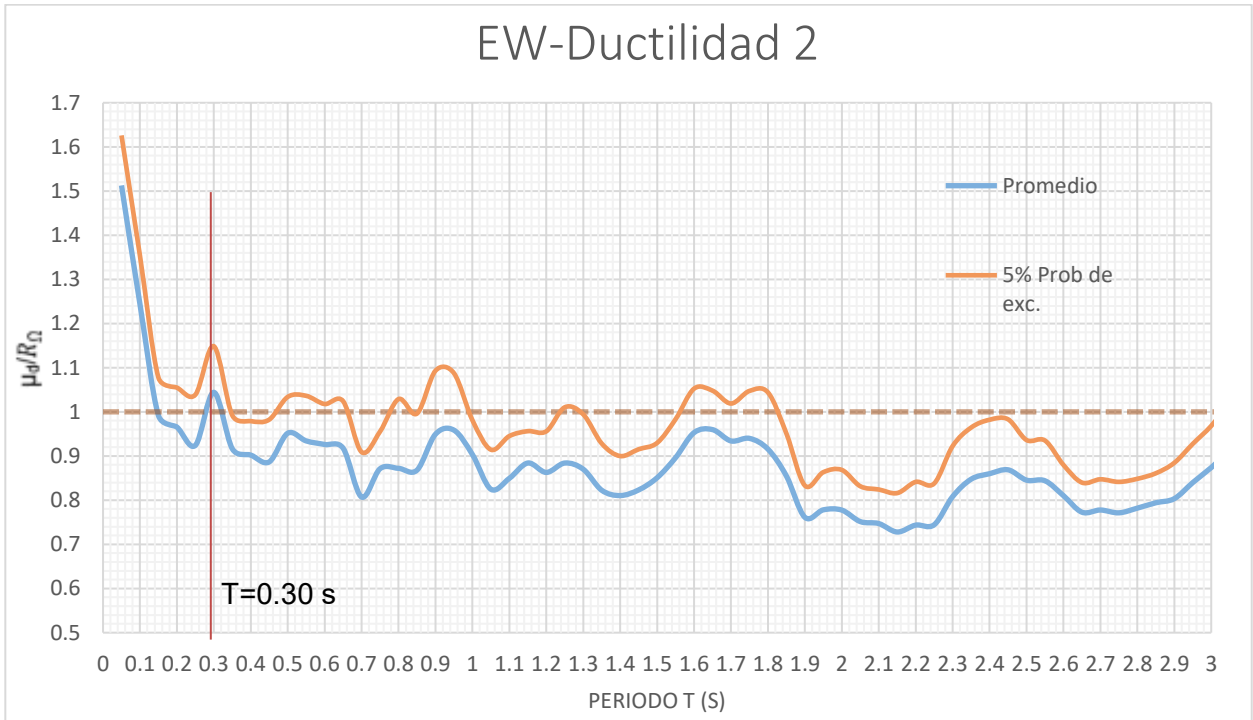


Figura 3.6: Gráfico para valores de $\mu_d = 2$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

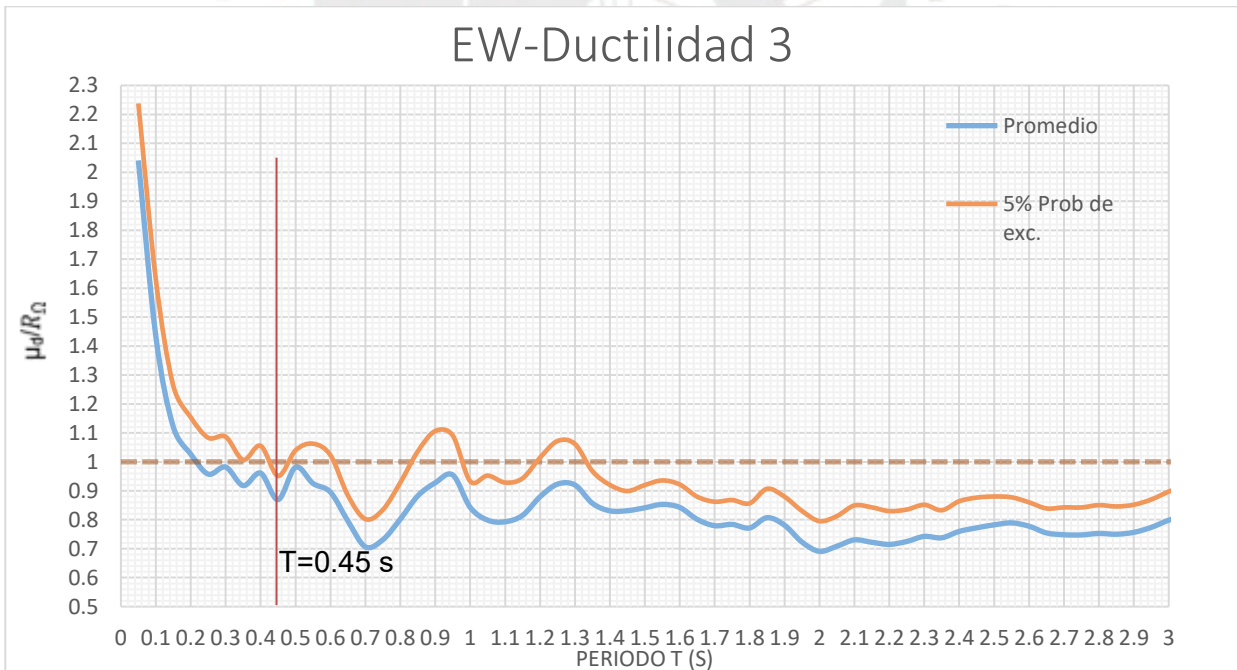


Figura 3.7: Gráfico para valores de $\mu_d = 3$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

EW-Ductilidad 4

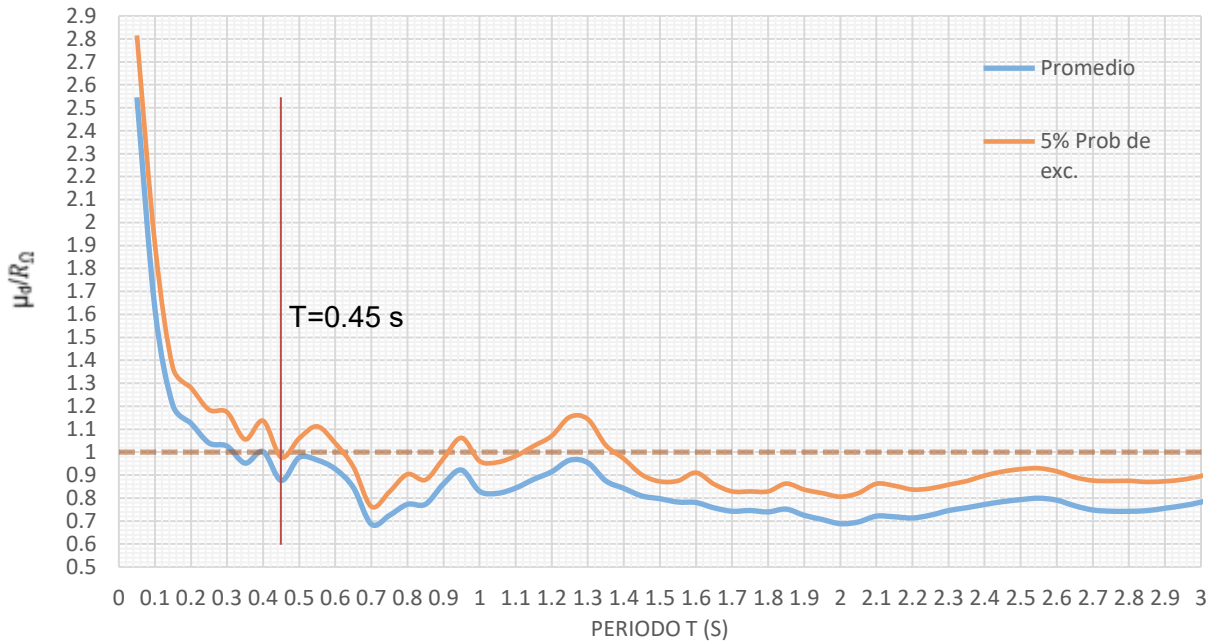


Figura 3.8: Gráfico para valores de $\mu_d = 4$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

EW-Ductilidad 5

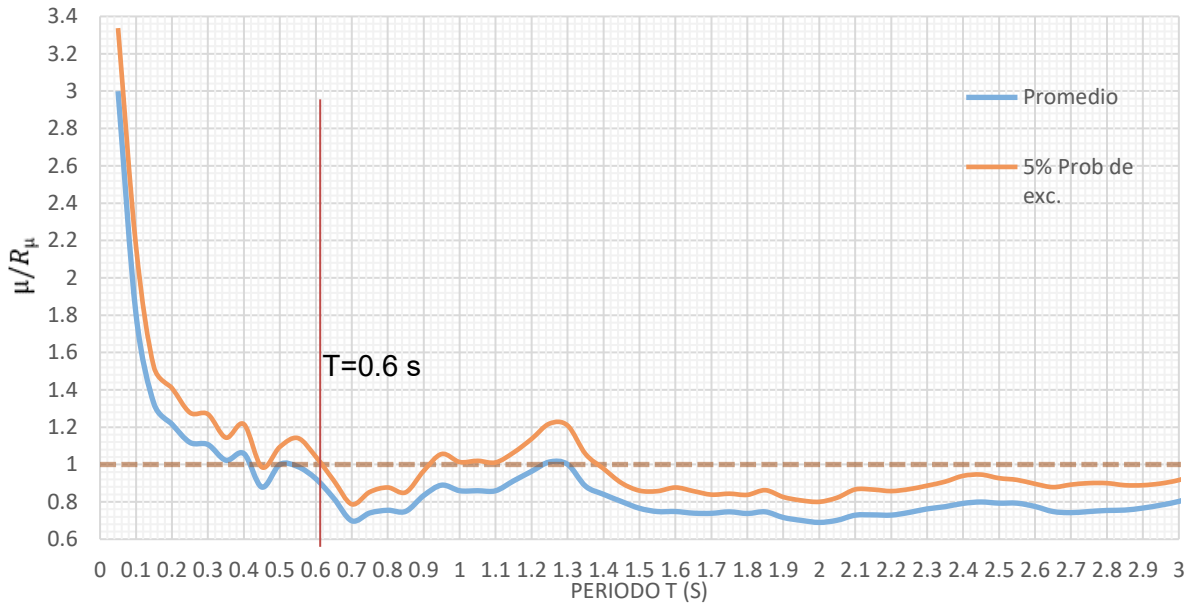


Figura 3.9: Gráfico para valores de $\mu_d = 5$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

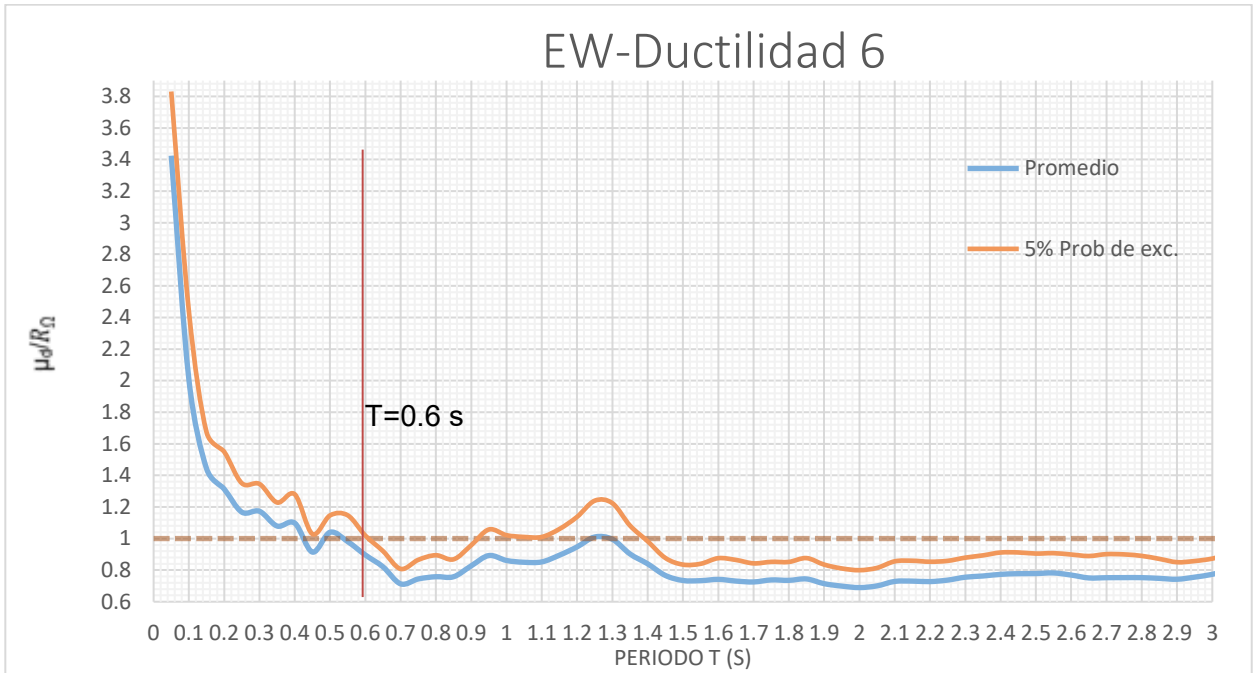


Figura 3.10: Gráfico para valores de $\mu_d = 6$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

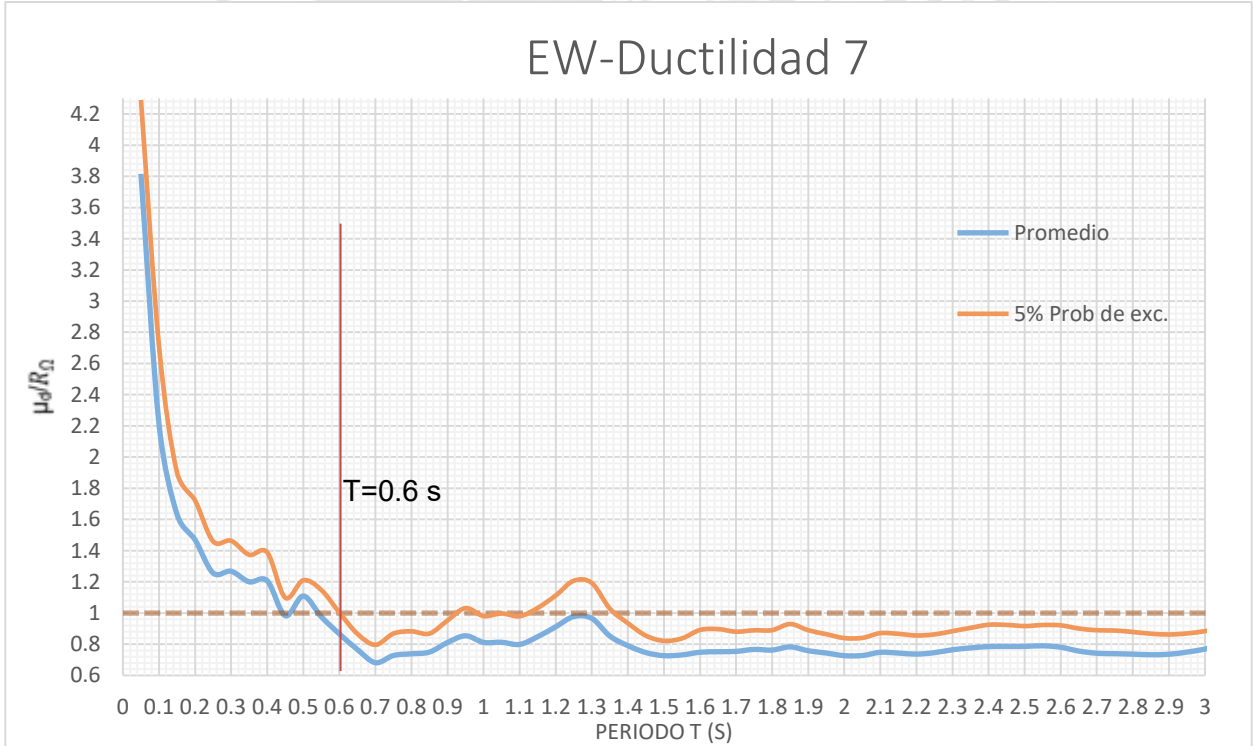


Figura 3.11: Gráfico para valores de $\mu_d = 7$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

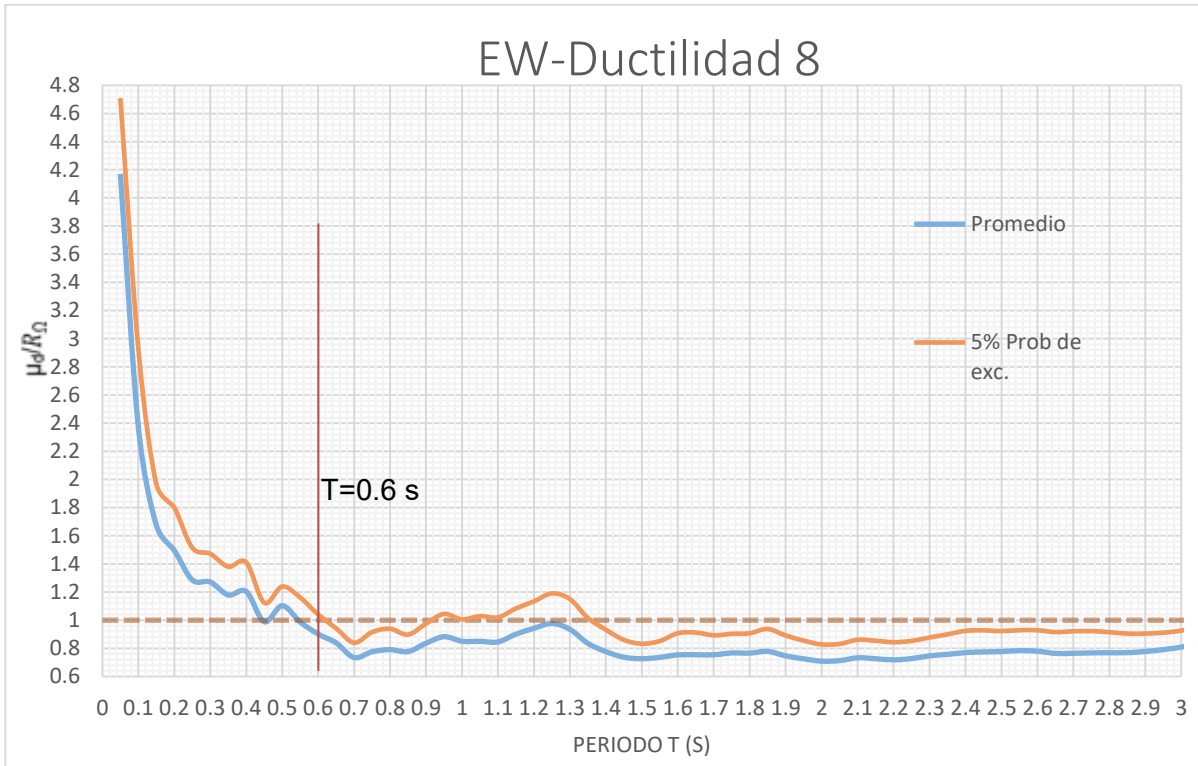


Figura 3.12: Gráfico para valores de $\mu_d = 8$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

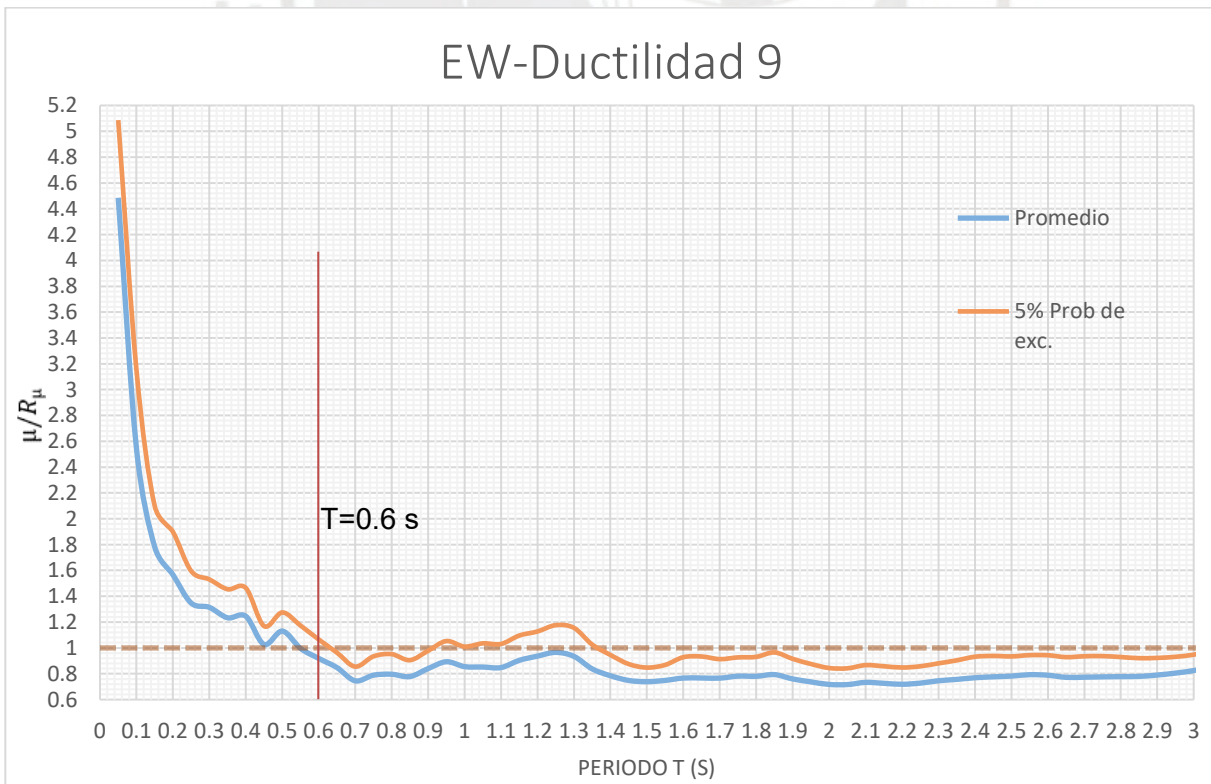


Figura 3.13: Gráfico para valores de $\mu_d = 9$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

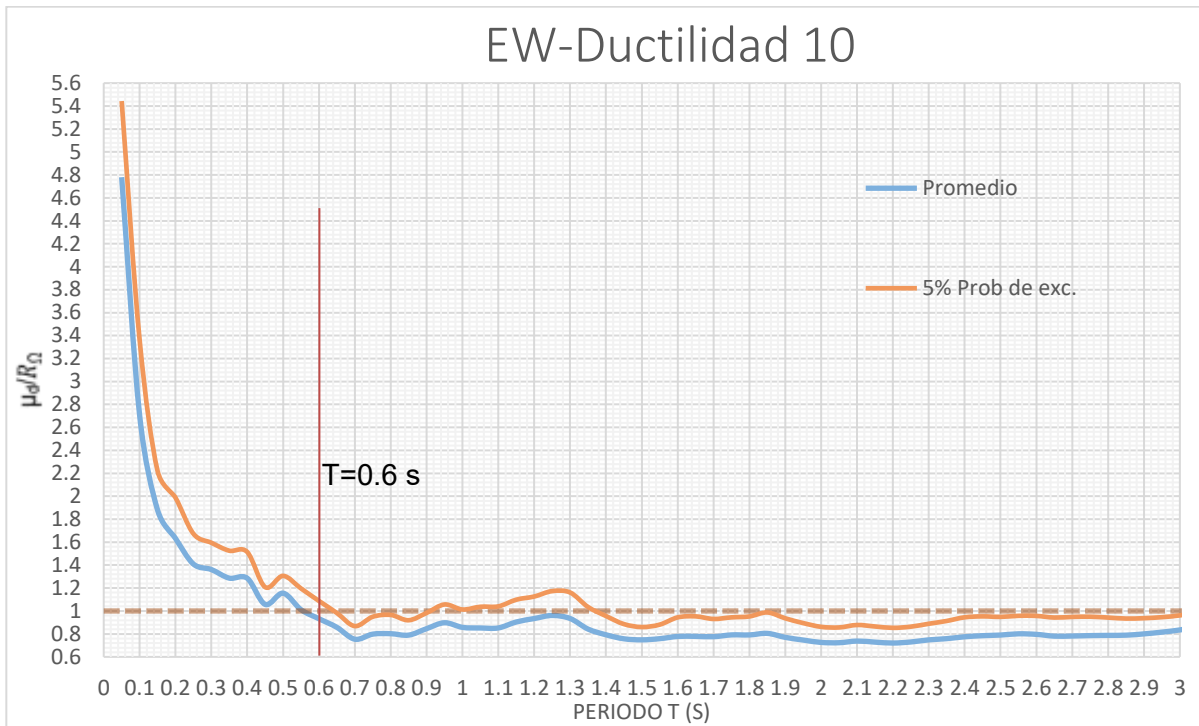


Figura 3.14: Gráfico para valores de $\mu_d = 10$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección EW para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

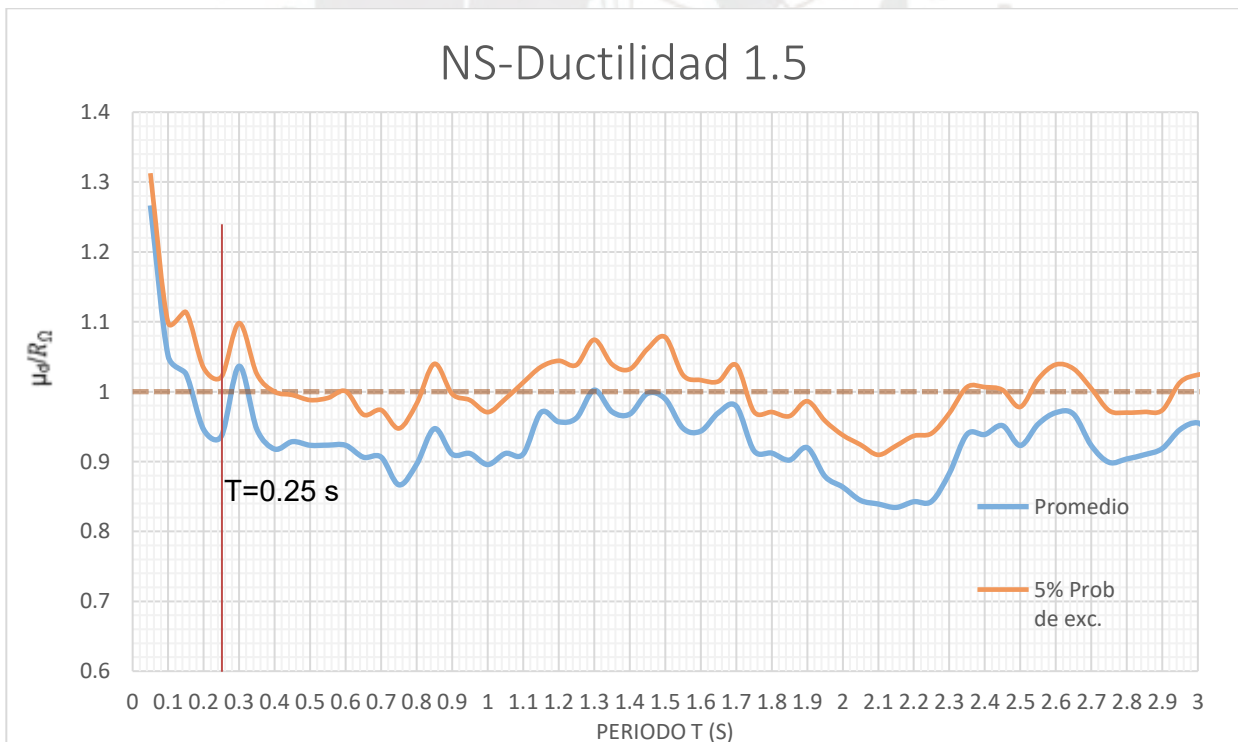


Figura 3.15: Gráfico para valores de $\mu_d = 1.5$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección NS para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

0

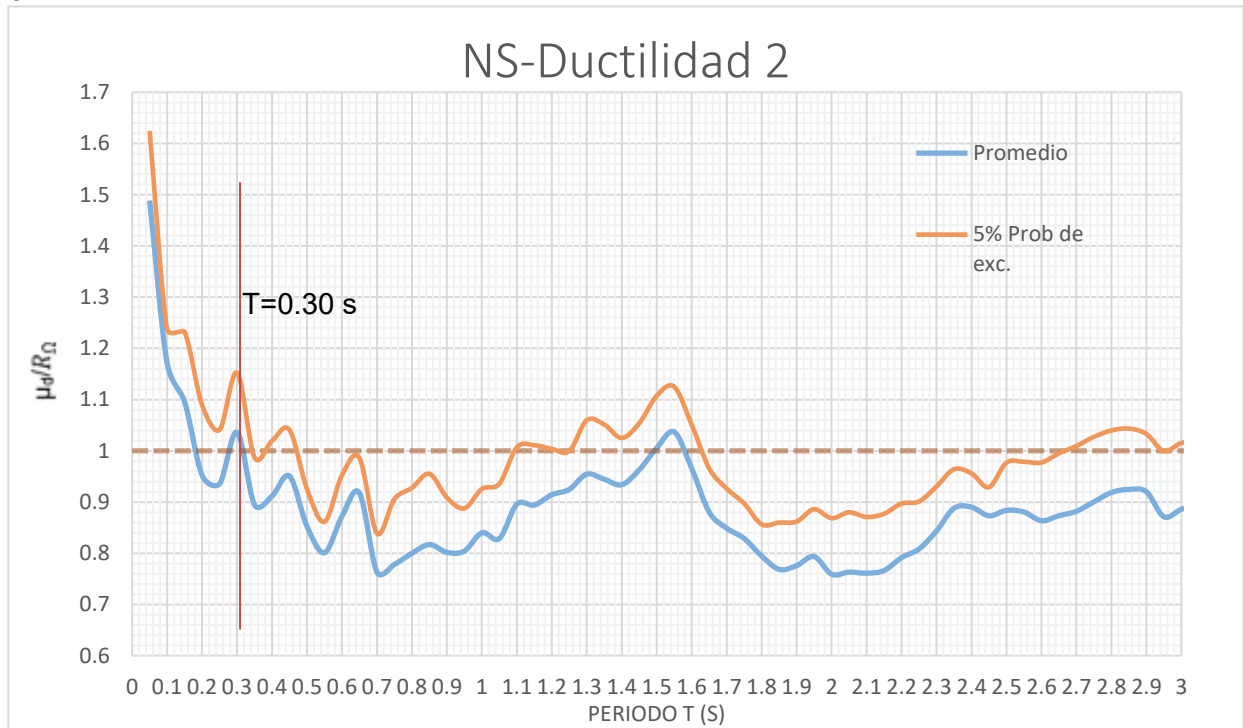


Figura 3.16: Gráfico para valores de $\mu_d = 2$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección NS para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

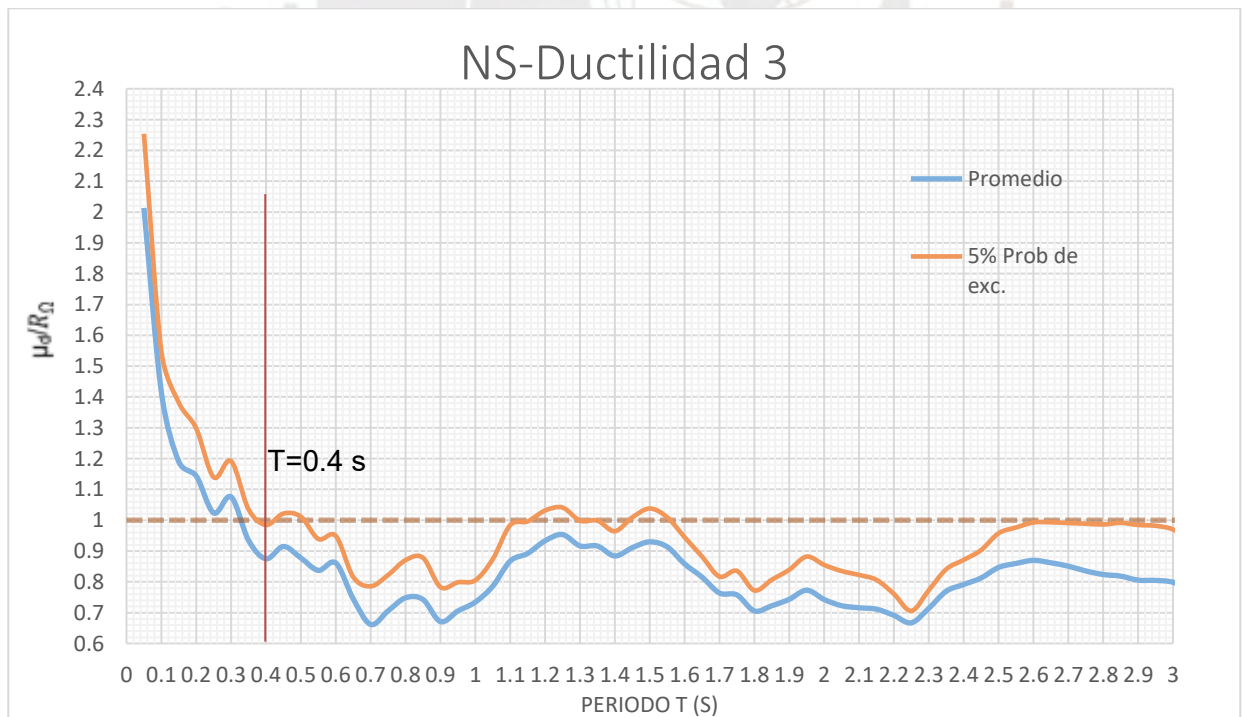


Figura 3.17: Gráfico para valores de $\mu_d = 3$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección NS para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

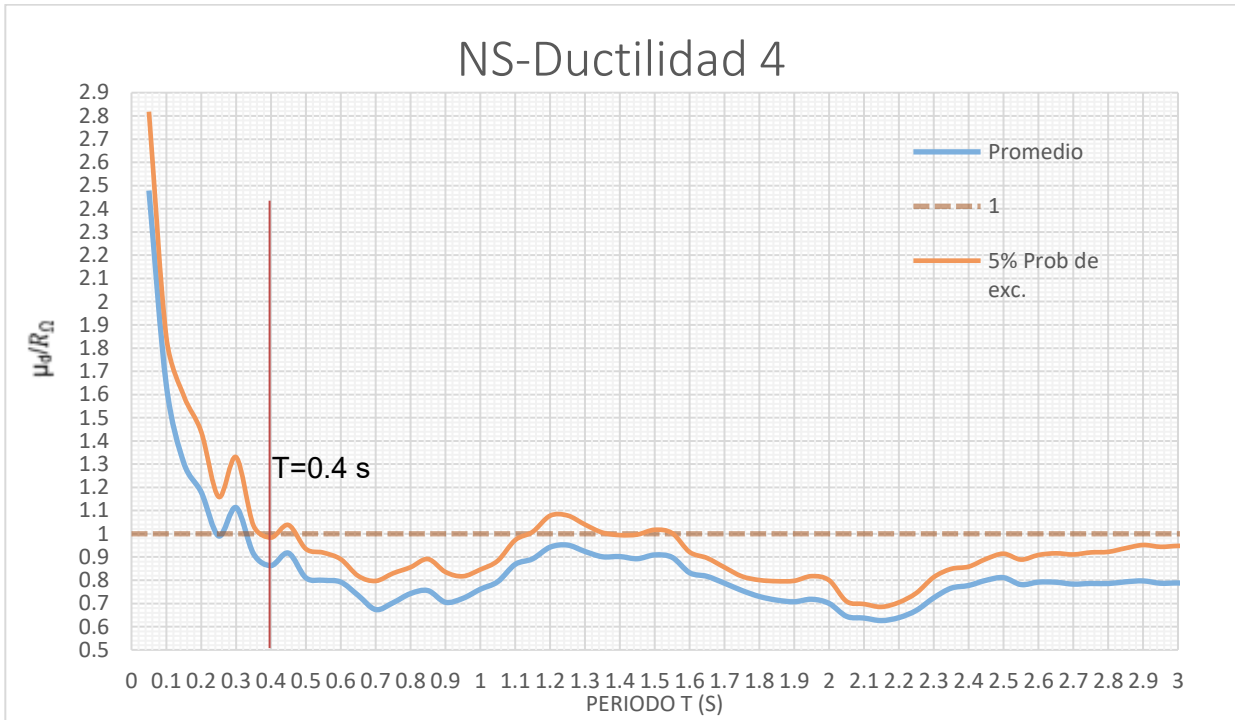


Figura 3.18: Gráfico para valores de $\mu_d = 4$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección NS para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

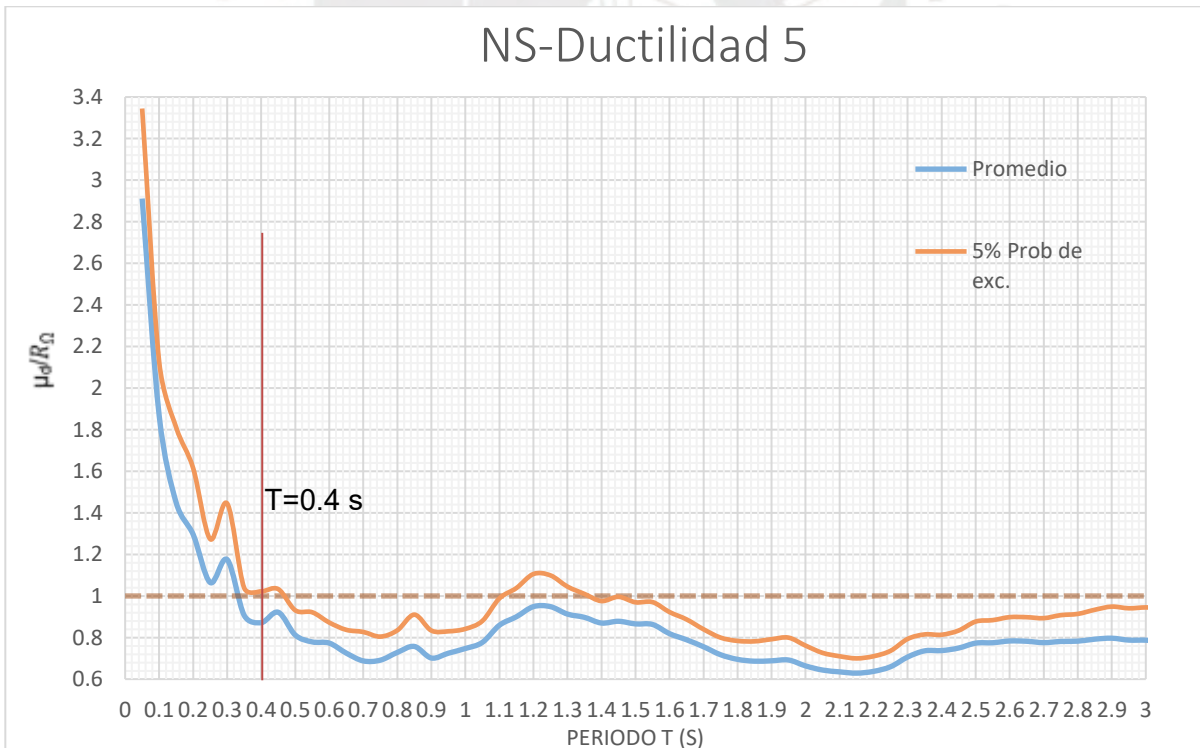


Figura 3.19: Gráfico para valores de $\mu_d = 5$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección NS para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

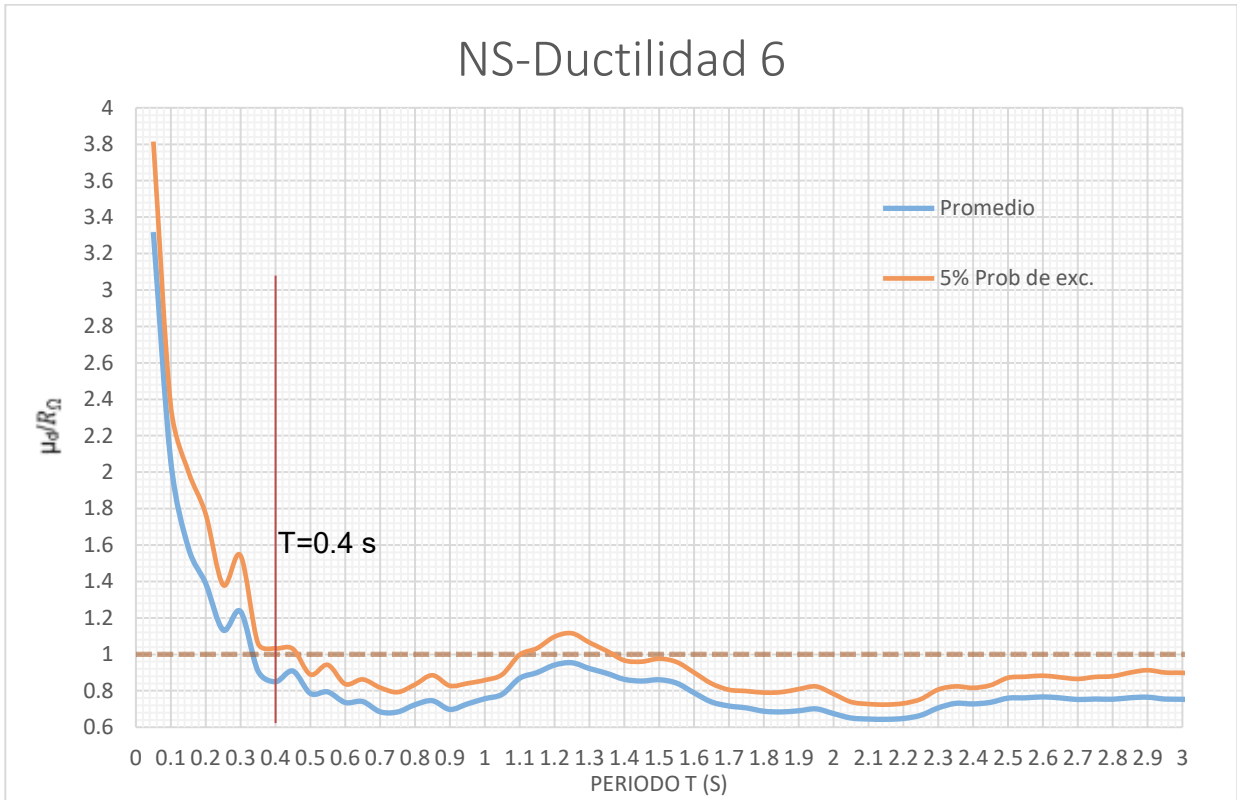


Figura 3.20: Gráfico para valores de $\mu_d = 6$, se muestra μ_d/R_0 para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección NS para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

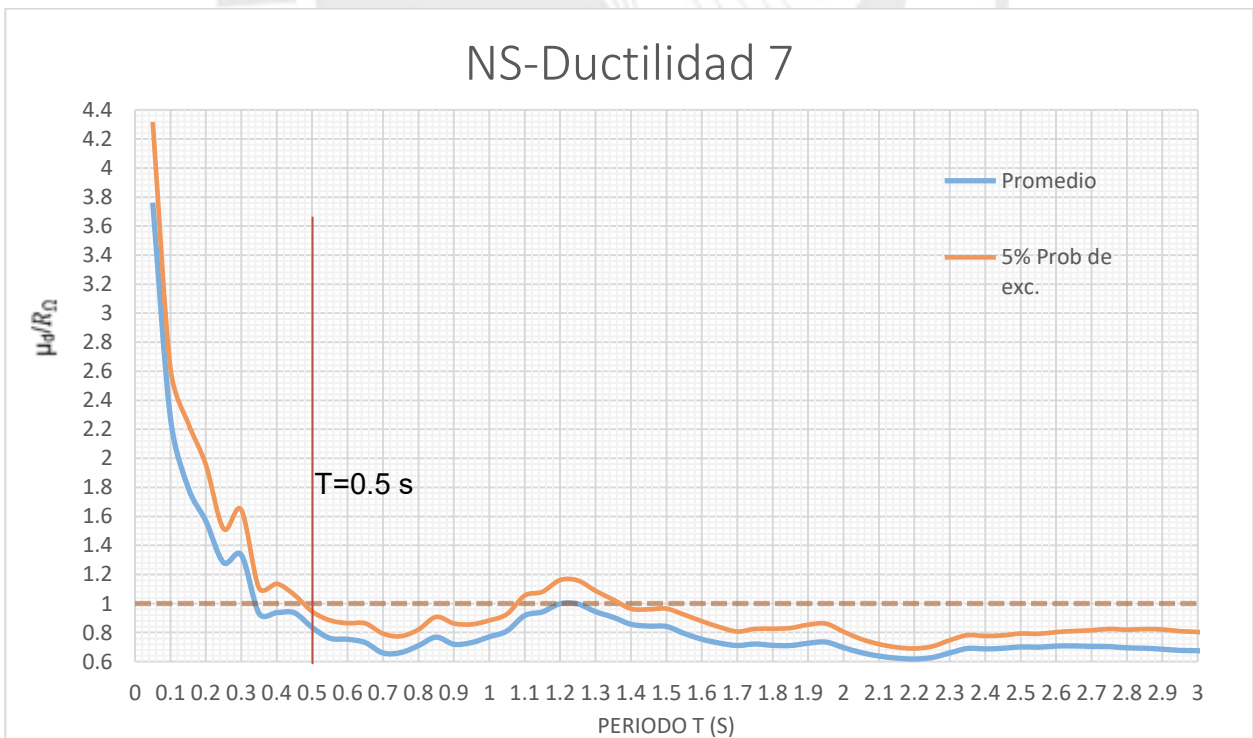


Figura 3.21: Gráfico para valores de $\mu_d = 7$, se muestra μ_d/R_0 para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección NS para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

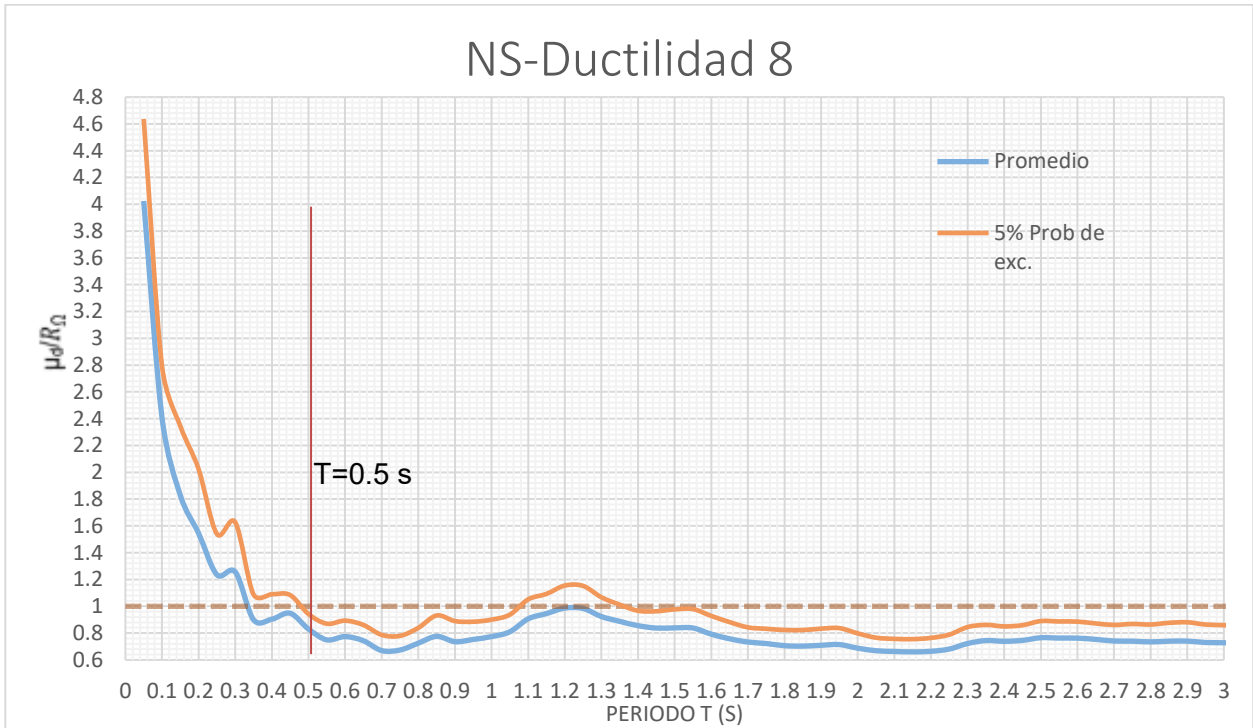


Figura 3.22: Gráfico para valores de $\mu_d = 8$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección NS para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)

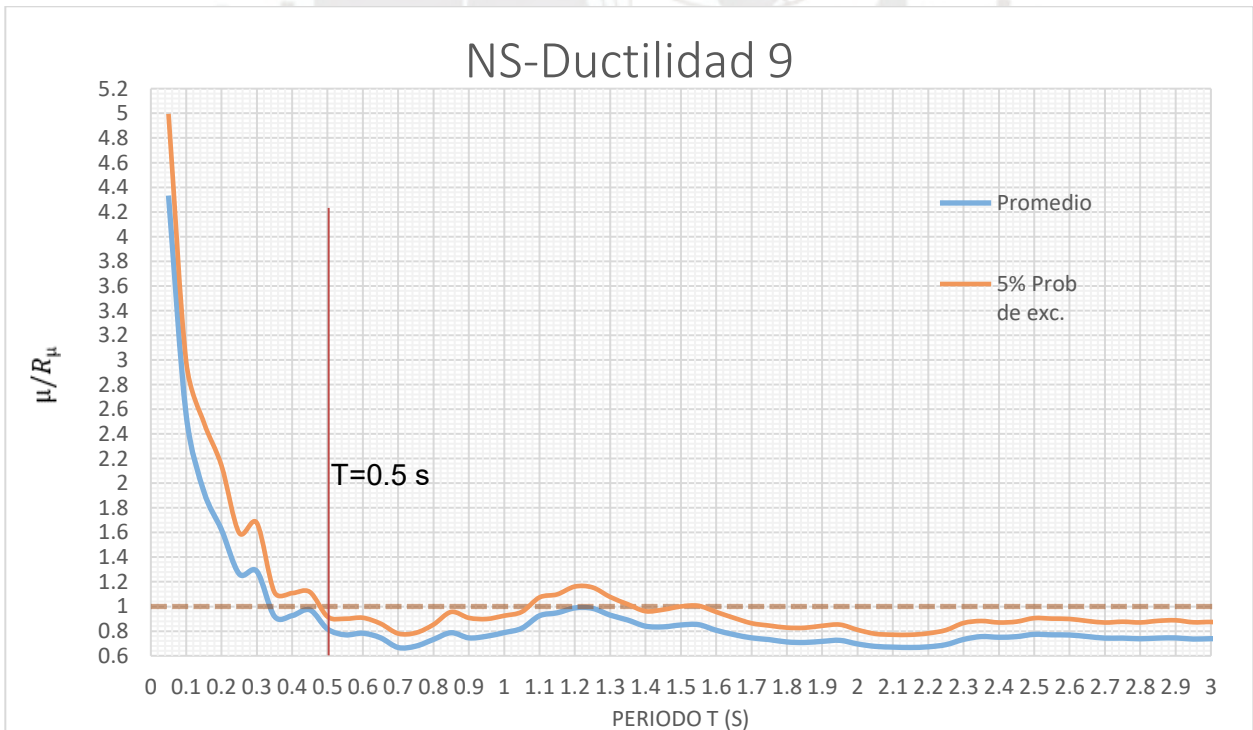


Figura 3.23: Gráfico para valores de $\mu_d = 9$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección NS para las 10 señales sísmicas. (T, R_Ω, μ)

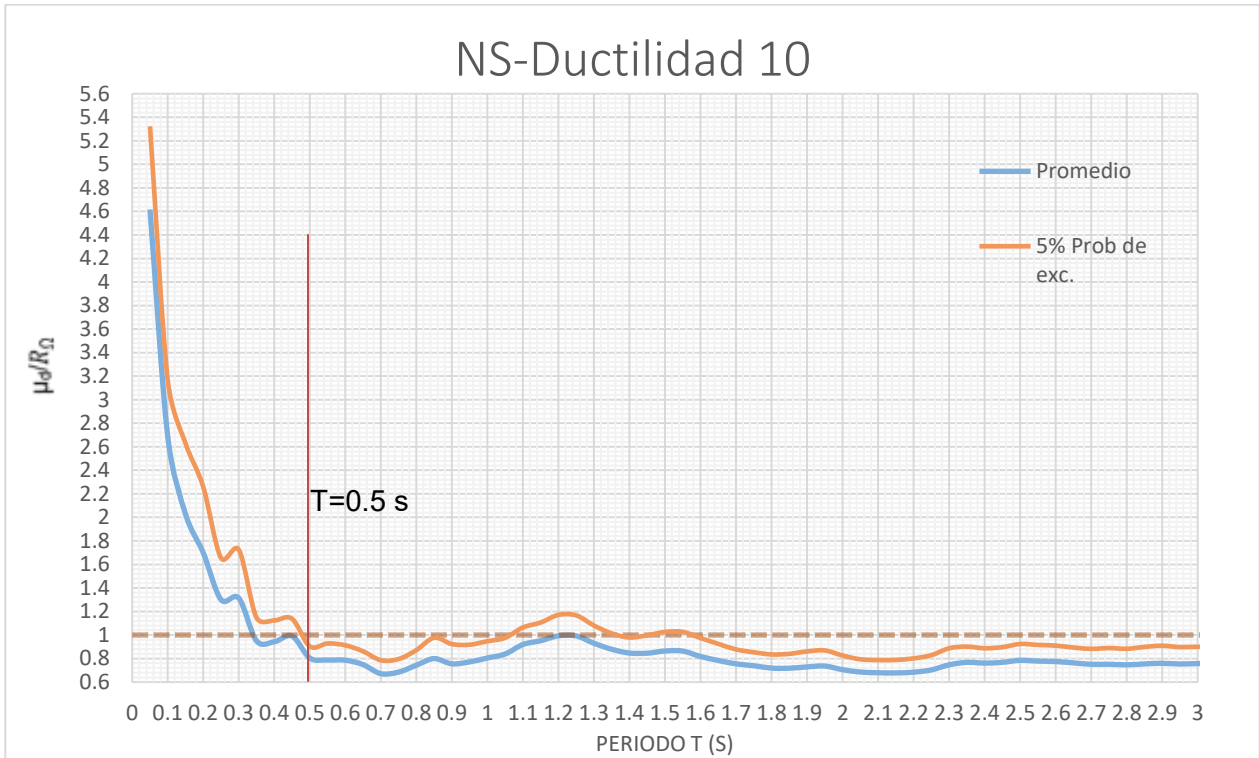
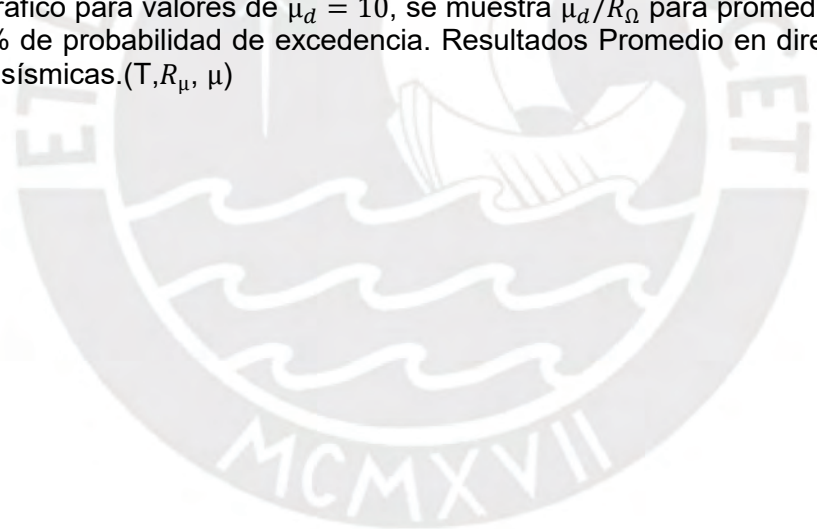


Figura 3.24: Gráfico para valores de $\mu_d = 10$, se muestra μ_d/R_Ω para promedio de señales y valores con 5% de probabilidad de excedencia. Resultados Promedio en dirección NS para las 10 señales sísmicas. (T, R_μ, μ)



CAPÍTULO 4.- Modelo de ajuste

4.1. Construcción de modelo.

Como se indica en el ítem 3.2 existe un rango de periodos para los cuales la relación entre la ductilidad y el factor de reducción tienen una relación no lineal, por ello para la elaboración del modelo se ha delimitado dicho rango de periodos de 0 a 0.30 s en el que se ha observado para ambas direcciones de análisis que la relación R_μ entre μ es no lineal y mayor que 1.

Otra variable a considerar es que obtener estructuras que tengan ductilidades máximas resistentes de 10 es poco probable para los diseños peruanos. Por ello, y aun de forma conservadora, para realizar los ajustes de curvas se ha limitado la ductilidad demanda a valores de 8.

4.2. Ajuste estadístico de resultados

Se ha considerado que los resultados del análisis efectuado para todas las señales tienen una distribución del tipo normal. Con este criterio se calculó el factor de reducción promedio y la desviación estándar de los resultados en cada punto de análisis (fijando la ductilidad y periodo) de las 10 señales para las dos direcciones de análisis, EW y NS, de forma independiente.

Con los valores promedio y la desviación estándar, para cada dirección de análisis de forma independiente, se generó dos superficies que formen un intervalo de confianza del 90%, es decir que sólo 10% de los resultados podría caer fuera del volumen generado entre estas superficies (5% por encima y 5% por debajo) y el 90% de los valores caería dentro del rango de estas 2 superficies. Luego se definió la ecuación indicada Eq. 4.1 y se calcularon los coeficientes para que la superficie generada con esta ecuación se ajuste a las superficies generadas en el análisis, ver coeficientes en Tabla 4.1 y Tabla 4.2.

La ecuación de ajuste a la superficie tiene la forma:

$$\mu_d = \alpha_1 (R_\mu)^{\beta T^\lambda} \quad \text{Eq. 4.1}$$

Tabla 4.1: Valores de coeficientes para límite inferior de superficie de ajuste.

	EW	NS
Bondad del ajuste:	89%	93%
α	0.96	0.95
β	0.49	0.44
λ	-0.46	-0.49

Tabla 4.2: Valores de coeficientes para límite superior de superficie de ajuste.

	EW	NS
Bondad del ajuste:	79%	84%
α	1.27	1.18
β	0.44	0.45
λ	-0.56	-0.61

La confiabilidad o bondad del ajuste se calculó mediante el coeficiente de determinación R-cuadrado.

En la Figura 4.1 se muestra la superficie de ajuste para el límite superior del intervalo de confianza de 90% de la dirección de análisis EW y se observa que la mayoría puntos resultantes del análisis quedan por debajo de la superficie de ajuste. La Figura 4.2 se muestran los mismos resultados pero en un gráfico plano donde los ejes son el periodo (T) y R_{μ} la ductilidad demanda se muestra en una escala de colores como isocurvas de igual ductilidad.

En la Figura 4.3 se muestra la superficie de ajuste para el límite inferior del intervalo de confianza de 90% de la dirección de análisis EW y se observa que la mayoría puntos resultantes del análisis quedan por encima de la superficie de ajuste. La Figura 4.4 se muestran los mismos resultados pero en un gráfico plano donde los ejes son el periodo (T) y R_{μ} la ductilidad demanda se muestra en una escala de colores como isocurvas de igual ductilidad.

En la Figura 4.5 se muestra la superficie de ajuste para el límite superior del intervalo de confianza de 90% para la dirección de análisis NS y se observa que la mayoría puntos resultantes del análisis quedan por debajo de la superficie de ajuste. La Figura 4.6 se muestran los mismos resultados pero en un gráfico plano donde los ejes son el periodo (T) y R_{μ} la ductilidad demanda se muestra en una escala de colores como isocurvas de igual ductilidad.

En la Figura 4.7 se muestra la superficie de ajuste para el límite inferior del intervalo de confianza de 90% para la dirección de análisis NS y se observa que la mayoría puntos resultantes del análisis quedan por encima de la superficie de ajuste. La Figura 4.8 se muestran los mismos resultados pero en un gráfico plano donde los ejes son el periodo (T) y R_{μ} la ductilidad demanda se muestra en una escala de colores como isocurvas de igual ductilidad.

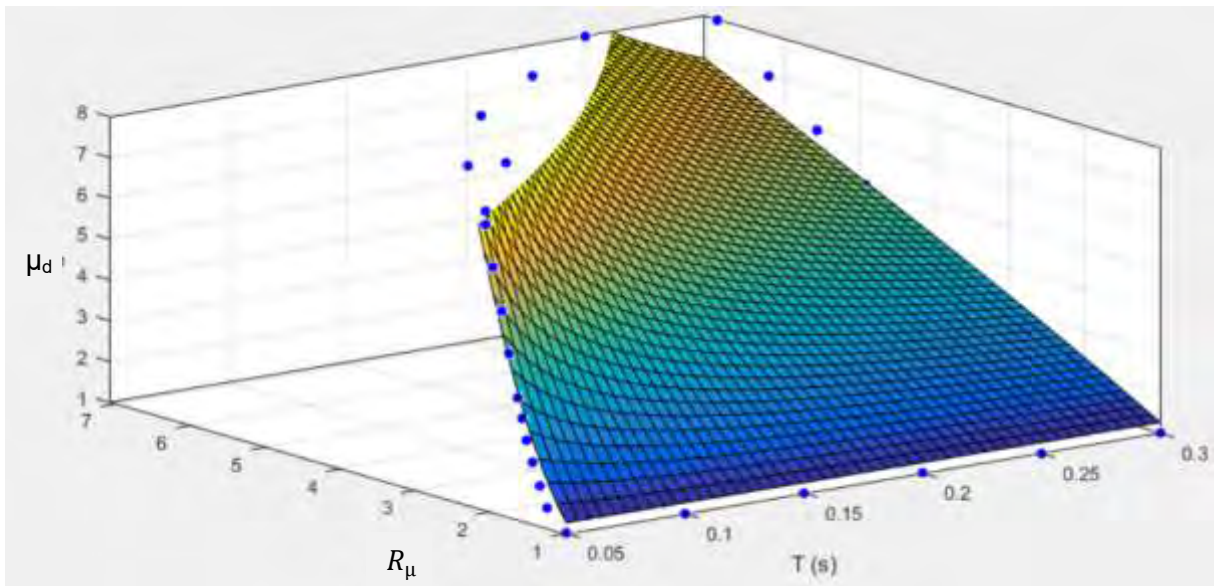


Figura 4.1: Gráfico en 3D para límite superior de superficie de ajuste con intervalo de confianza del 90% para dirección EW.

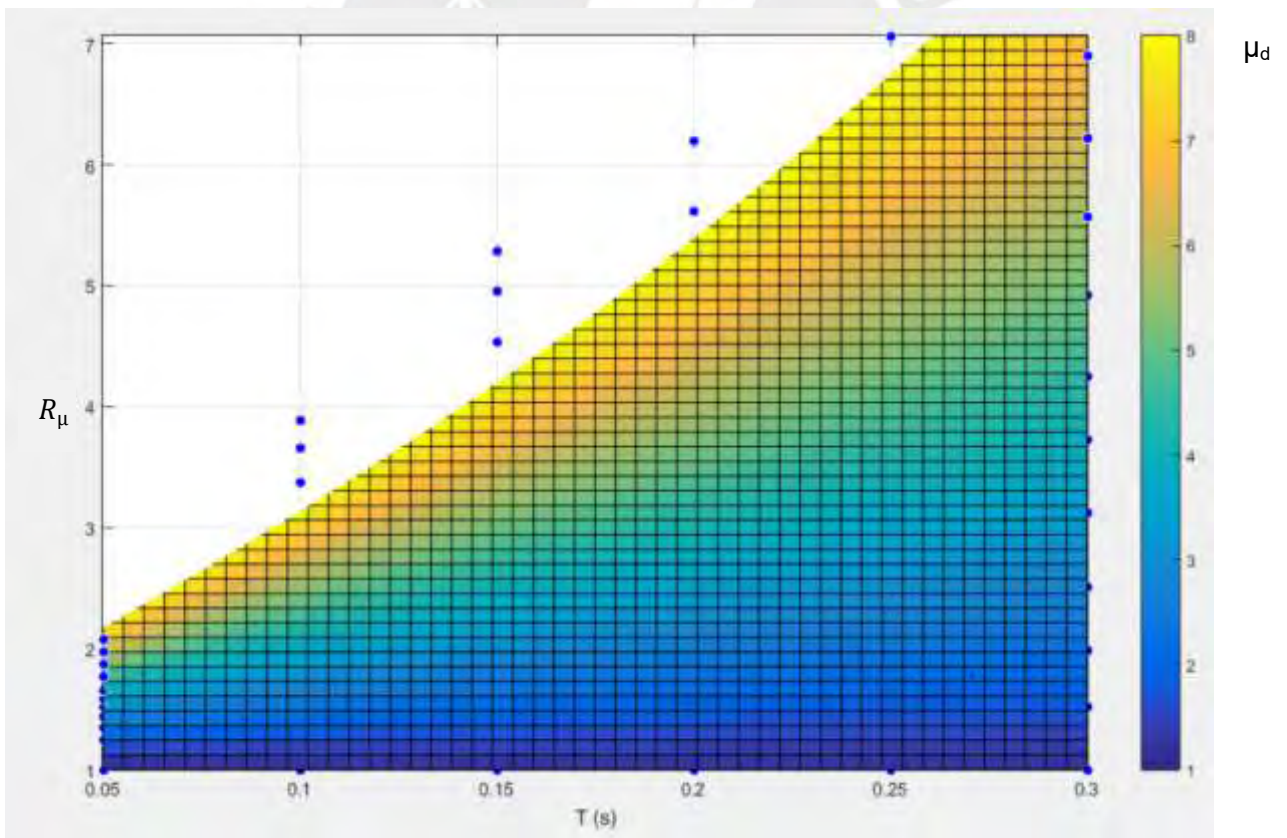


Figura 4.2: Gráfico en 2D para límite superior de superficie de ajuste con intervalo de confianza del 90% para dirección EW.

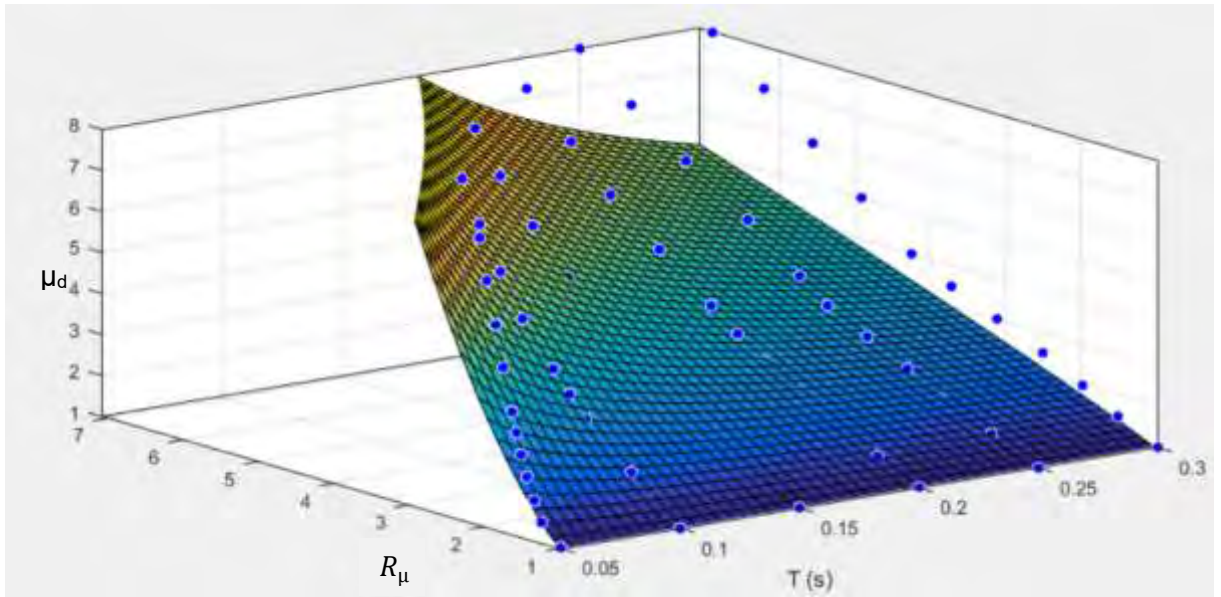


Figura 4.3: Gráfico en 3D para límite inferior de superficie de ajuste con intervalo de 90% para dirección EW.

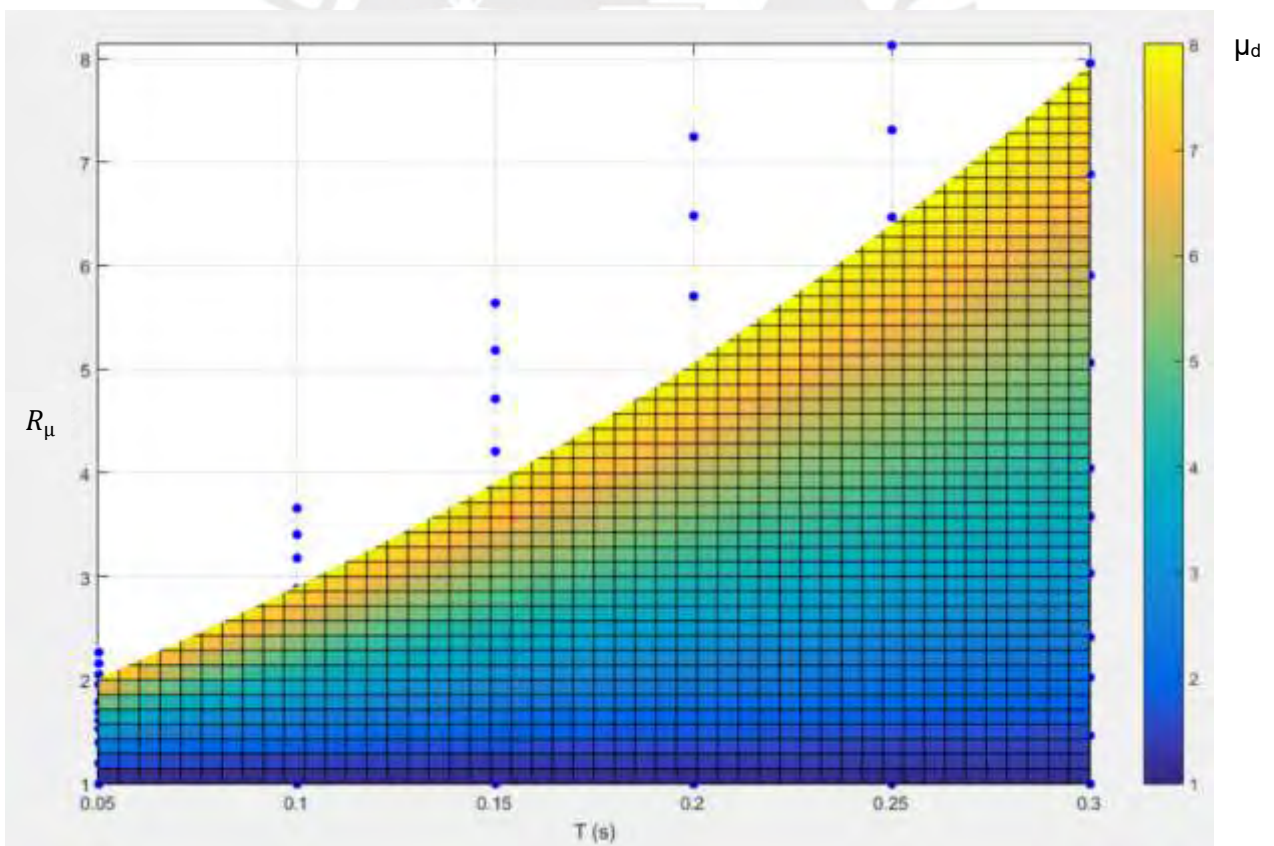


Figura 4.4: Gráfico en 2D para límite inferior de superficie de ajuste con intervalo de confianza del 90% para dirección EW.

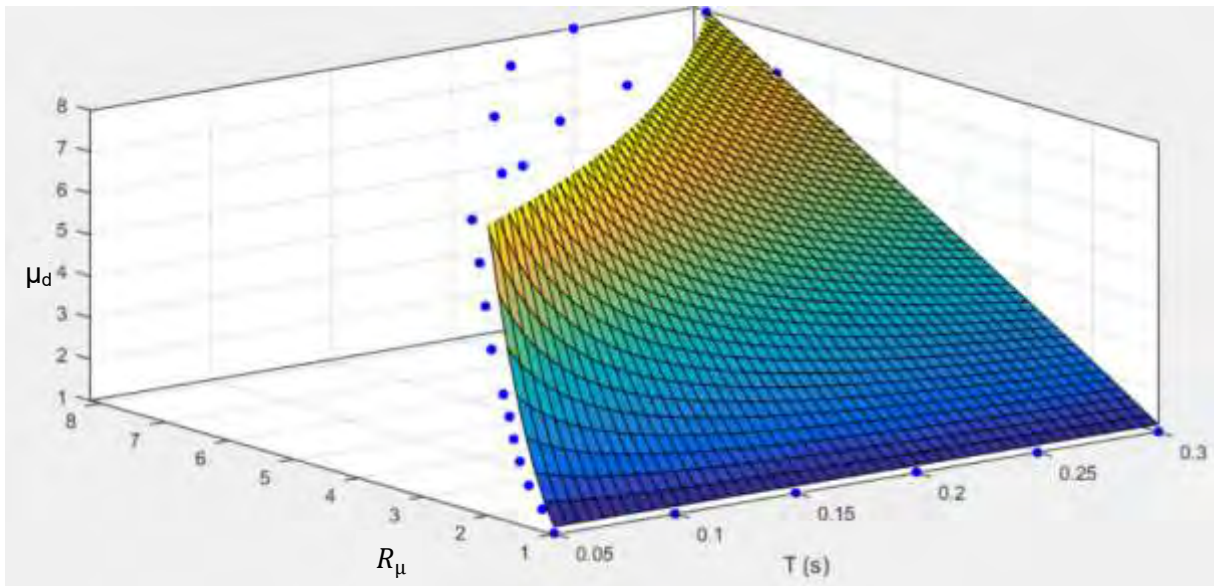


Figura 4.5: Gráfico en 3D para límite superior de superficie de ajuste con intervalo de confianza del 90% para dirección NS.

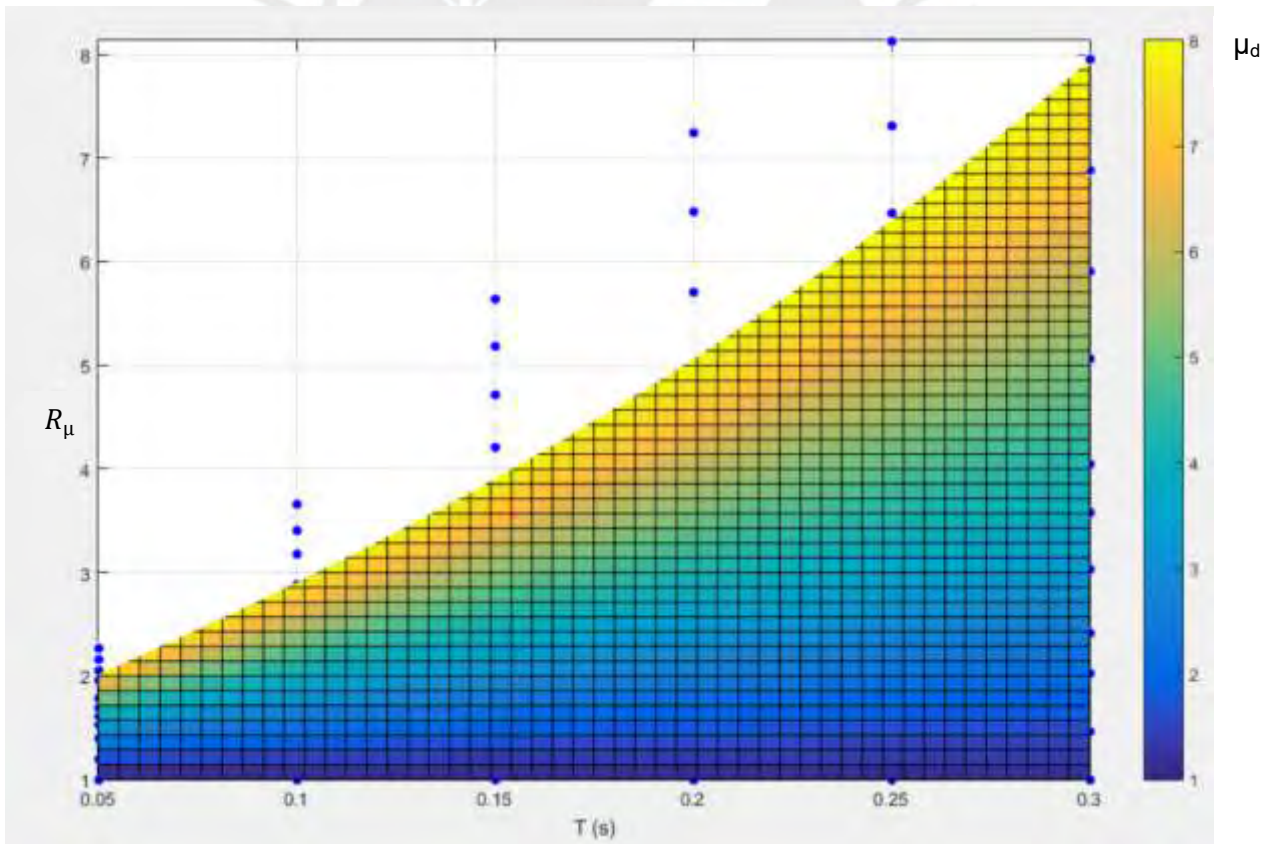


Figura 4.6: Gráfico en 2D para límite superior de superficie de ajuste con intervalo de confianza del 90% para dirección NS.

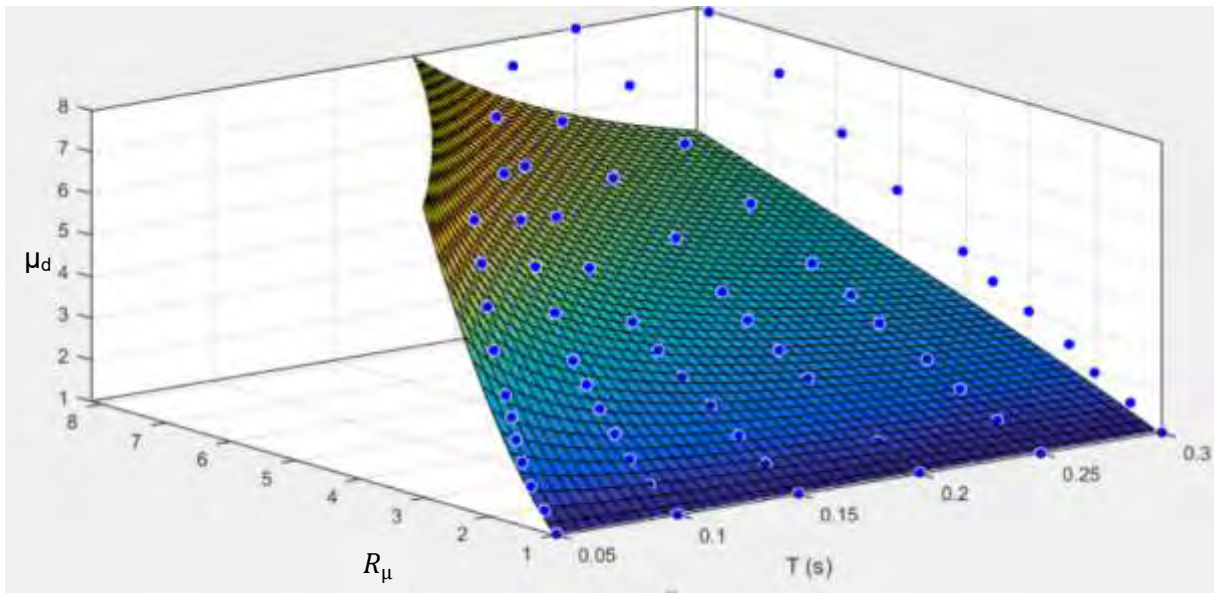


Figura 4.7: Gráfico en 3D para límite inferior de superficie de ajuste de intervalo de confianza del 90% para dirección NS.

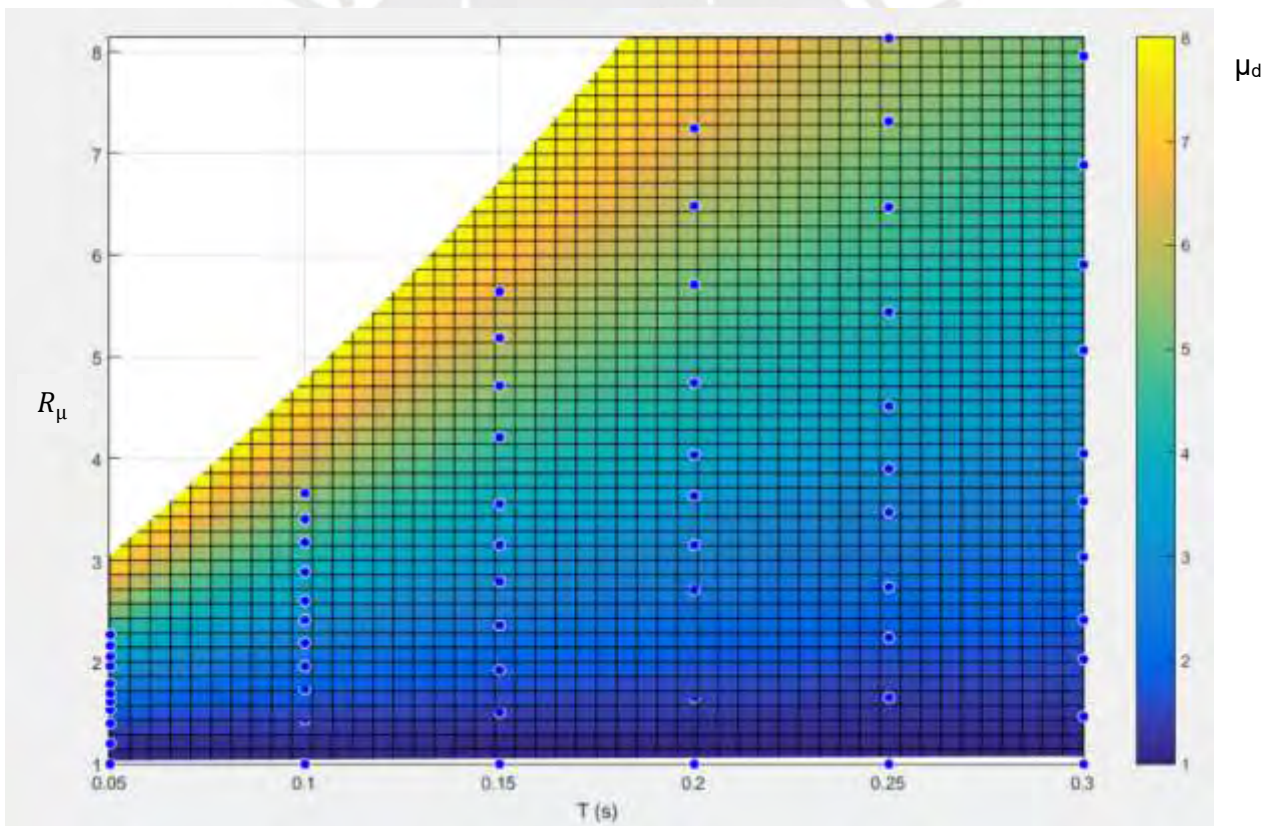


Figura 4.8: Gráfico en 2D para límite inferior de superficie de ajuste con intervalo de confianza del 90% para dirección NS.

4.3. Comparación de resultados de la ecuación de ajuste con la norma de diseño sísmico peruana

Para que sea posible comparar los resultados de la ecuación de ajuste producto del análisis realizado con los resultados de la norma peruana E.030 es necesario definir la relación existente entre el factor de reducción de fuerzas sísmicas empleado en la norma de diseño peruana (R) y el factor de reducción de fuerzas sísmicas a nivel de fluencia (R_{μ}) empleado en el análisis y para el ajuste de resultados de la investigación. Esta relación se muestra en la Eq. 4.3.

Para el diseño sísmico, la norma peruana emplea un espectro con plataforma plana, ver Figura 4.9, sin embargo la forma real de un espectro de respuesta para un registro sísmico peruano es similar al espectro de la Figura 4.10 donde la aceleración para un periodo $T=0$ inicia en el PGA de la señal empleada en el análisis. Esta plataforma del espectro genera una sobrerresistencia espectral (Ω_{esp}) en el diseño al no emplear la rampa creciente desde la aceleración del terreno desde el periodo $T=0s$, además de la sobrerresistencia estructural indicada en el ítem 1.5.2. En la Figura 4.11 se grafica la sobrerresistencia espectral que toma el valor de 2.5 para el periodo $T=0$ s y el valor de 1 para periodos mayores a $0.2 T_p$ ($0.08s$ para $T_p=0.40s$).

El espectro mostrado en la Figura 4.9 se han elaborado con las siguientes propiedades:

$Z=0.45$ g
 $U=1$
 $S=1$
 $T_p=0.4$ s
 $TL=2.5$ s
 $C= 2.5$, para $T < T_p$
 $C= 2.5 (T_p/T)$, para $T_p < T < TL$
 $C= 2.5 (TL \cdot T_p/T^2)$, para $T_p < T < TL$
 $R=1$

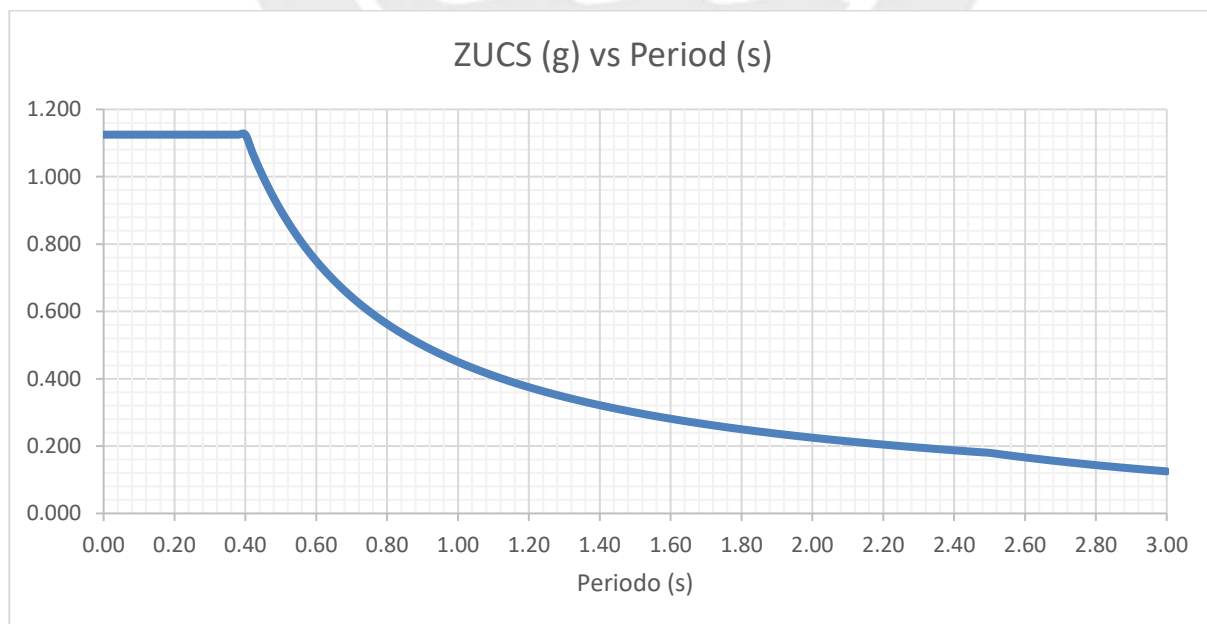


Figura 4.9: Espectro de la norma peruana RNE E.030

El espectro de forma real de la Figura 4.10 incluye la rampa creciente, desde la aceleración en el suelo donde el valor de C toma los siguientes valores:

$$C = 1 + 7.5 (T/T_p) \quad , \text{ para } 0.2T_p < T < T_p$$

$$C = 2.5 \quad , \text{ para } T < T_p$$

$$C = 2.5 (T_p/T) \quad , \text{ para } T_p < T < T_L$$

$$C = 2.5 (T_L \cdot T_p / T^2) \quad , \text{ para } T_p < T < T_L$$

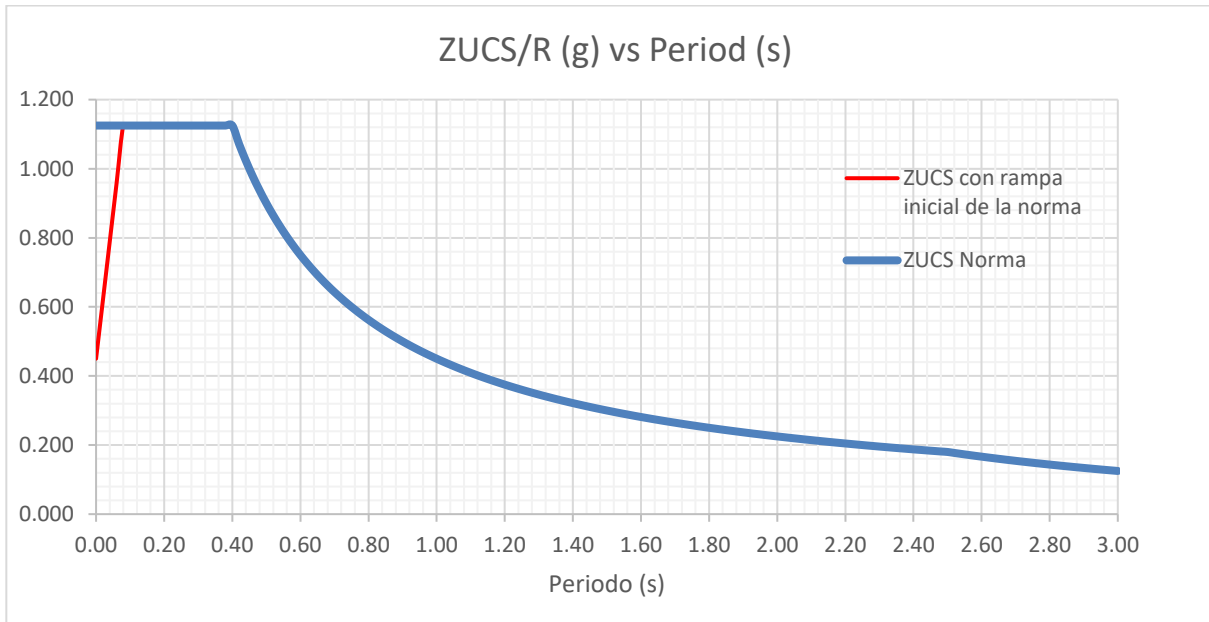


Figura 4.10: Espectro con pendiente de aceleración y de la norma peruana RNE E.030

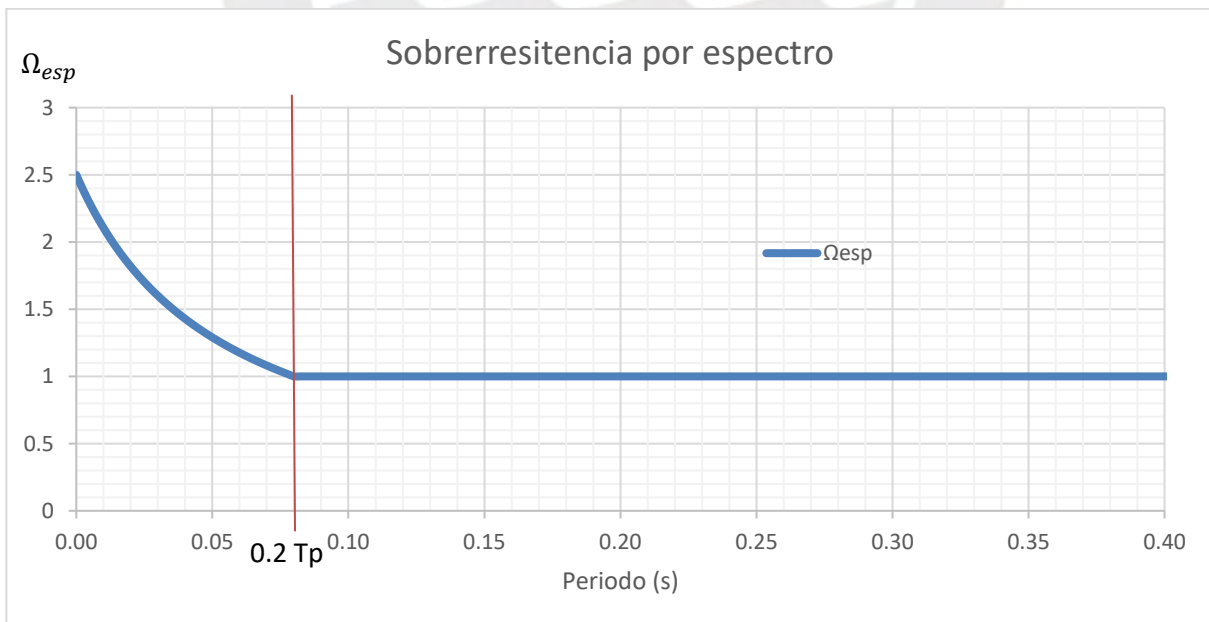


Figura 4.11: Sobre-resistencia generada por emplear el espectro con plataforma plana de la norma peruana E.030.

La ecuación para la sobrerresistencia espectral se determina de la siguiente forma:

$$\Omega_{esp} = \frac{2.5}{1 + \frac{7.5 T}{T_p}} \quad , \text{ para periodos } 0 \text{ s} < T < 0.2 T_p \quad \text{Eq. 4.2}$$

Para realizar el análisis comparativo entre los resultados de la ecuación de ajuste (Eq. 4.1) y los resultados de emplear la norma peruana es necesario definir la relación entre el R_μ y R_{norma} , que está dada por la siguiente expresión:

$$R_\mu = \frac{R_{norma}}{\Omega * \Omega_{esp}} \quad \text{Eq. 4.3}$$

Del mismo modo, con esta relación se puede estimar que la ductilidad demanda de acuerdo con la norma tendría el valor constante de:

$$\mu_{d \text{ norma}} = \frac{\alpha * R_{norma}}{\Omega * \Omega_{esp}} \quad \text{Eq. 4.4}$$

Dónde: α toma valores de 0.75 para estructuras regulares y 0.85 para estructuras irregulares de acuerdo con la norma RNE E0.30. Además, $\mu_{d \text{ norma}}$ debe ser mayor o igual que 1.

Los valores de reducción que se emplean en la norma peruana de diseño sismorresistente se eligen de acuerdo al sistema estructural empleado. Estos valores se muestran en la Tabla 4.3 y se han empleado para el análisis comparativo.

En la Eq. 4.1 se emplea el factor de reducción R_μ , es por ello que para realizar los cálculos comparativos fue necesario calcular la equivalencia de los R_{norma} a los R_μ empleando la equivalencia definida en Eq. 4.3, con una sobrerresistencia de 2.5 (Ω) como se sustenta en el ítem 1.5.2 y la sobrerresistencia espectral definida en Eq. 4.2. Los resultados de esta equivalencia se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4.3: Factores de Reducción básico de fuerzas sísmicas Tabla N°7 de la norma RNE E0.30

Sistema resistente a fuerzas sísmicas	Coefficiente Básico de Reducción R
Acero	
Pórticos especiales resistentes Acero a momentos (SMF)	8
Pórticos intermedios resistentes a momentos (IMF)	5
Pórticos ordinarios resistentes a momentos (OMF)	6
Pórticos especiales concéntricamente arriostrados (SCBF)	7
Pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados (OCBF)	4
Pórticos excéntricamente arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería	
Muros especiales reforzados de Albañilería	
Muros intermedios reforzados de Albañilería	3
Madera	7

Tabla 4.4: Factor de Reducción a nivel de fluencia empleando sobrerresistencia de 2.5 y los factores de reducción de la norma

R (norma)	Ω_{esp}		Ω	R_{μ}		
	T = 0	T > 0.2 T _p	T > 0 s	T = 0	T = 0.058s	T > 0.2 T _p
3	2.5	1	2.5	0.48	1.00	1.20
4	2.5	1	2.5	0.64	1.33	1.60
6	2.5	1	2.5	0.96	2.00	2.40
7	2.5	1	2.5	1.12	2.33	2.80
8	2.5	1	2.5	1.28	2.67	3.20

Para el análisis comparativo se consideró el uso de suelo bueno S1 de acuerdo a los criterios de la norma E0.30 y ubicando el análisis en la zona sísmica 4 de la misma norma.

Para realizar este análisis comparativo con las dos direcciones de análisis (norte-sur y este-oeste primero se fija un periodo estructural y se grafica la ductilidad demandada para cada uno de los factores de reducción elegidos que corresponden a los de la norma peruana ver Tabla 4.3. Además este análisis se realizó para las superficies de ajuste superior e inferior que forman el intervalo de confianza del 90% (límite inferior del 5%, límite superior del 95%) ver coeficientes en Tabla 4.1 y Tabla 4.2.

Si bien el ajuste de la superficie se ha realizado para el rango de periodos de 0.06 s a 0.30 s, los gráficos mostrados corresponden al rango de periodos de 0.06 s a 0.7s. Se incrementó el rango de periodos hasta 0.7s para que se aprecie con claridad a partir de cuál periodo los resultados de la norma tienen cierta similitud con los de la superficie de ajuste. De la Figura 4.12 a la Figura 4.27 se muestran los gráficos con los resultados del análisis comparativo para la dirección de análisis este-oeste mientras que de Figura 4.28 a la Figura 4.43 se muestran los gráficos con los resultados para la dirección norte- sur. En el Anexo 5 y Anexo 6 muestran

los cálculos tabulados del análisis comparativo realizado con la norma de diseño actual; en los Anexo 7 y Anexo 8 se muestran los resultados tabulados del análisis comparativo si se empleara un espectro de rampa decreciente de la plataforma hasta el PGA.

De las figuras mostradas la para la dirección de análisis EW se observa que a partir del periodo $T=0.35$ s (ver Figura 4.20) los resultados de ductilidad demanda para la norma peruana empiezan a ser similares y/o superiores a los resultados de la superficie inferior. Además a partir del periodo de 0.60 s (ver Figura 4.25) se aprecia que los resultados de ductilidad demandada para la norma empiezan a ser similares y/o superiores a los resultados de la superficie superior de ajuste.

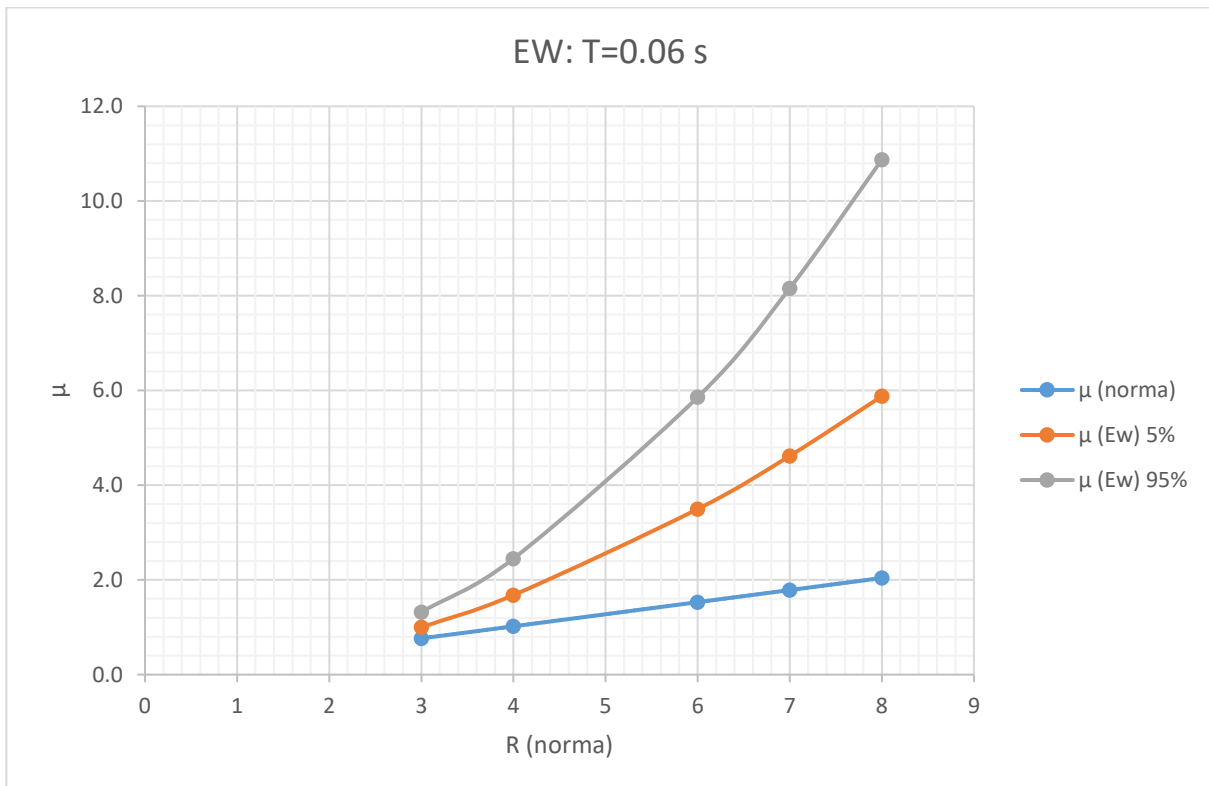


Figura 4.12: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.06$ s.

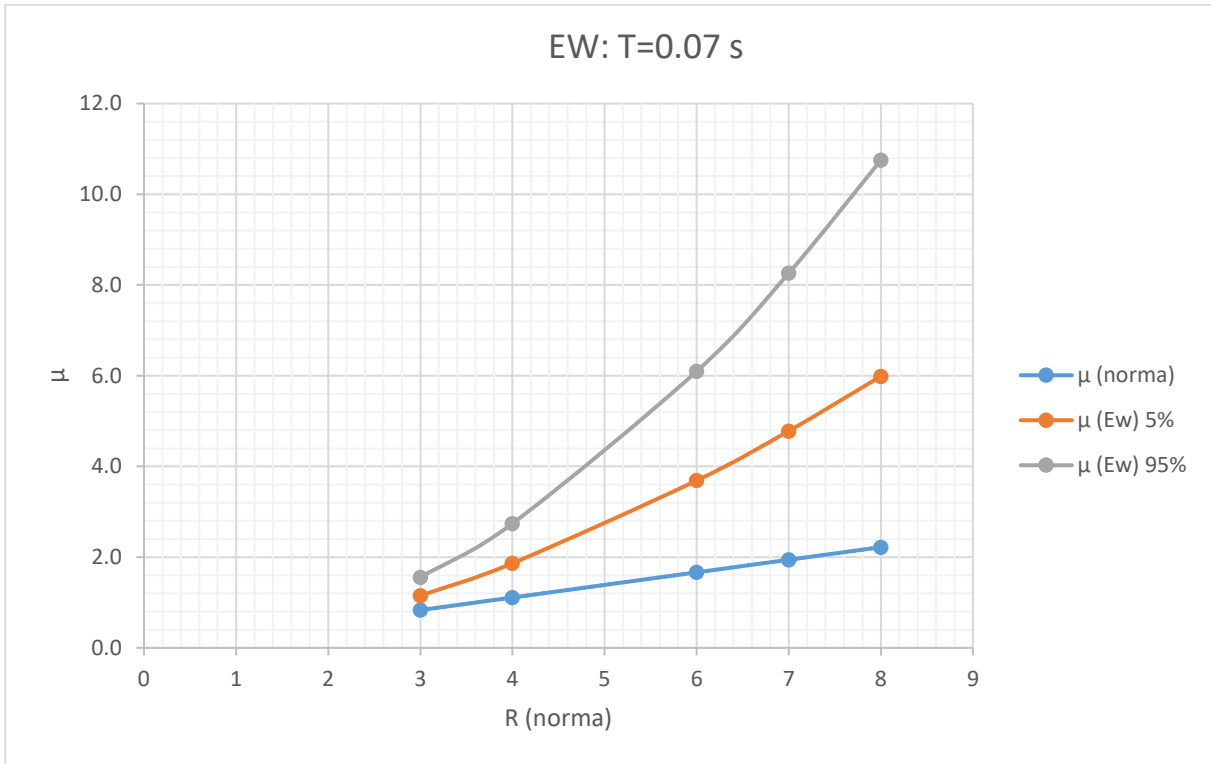


Figura 4.13: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.07$ s.

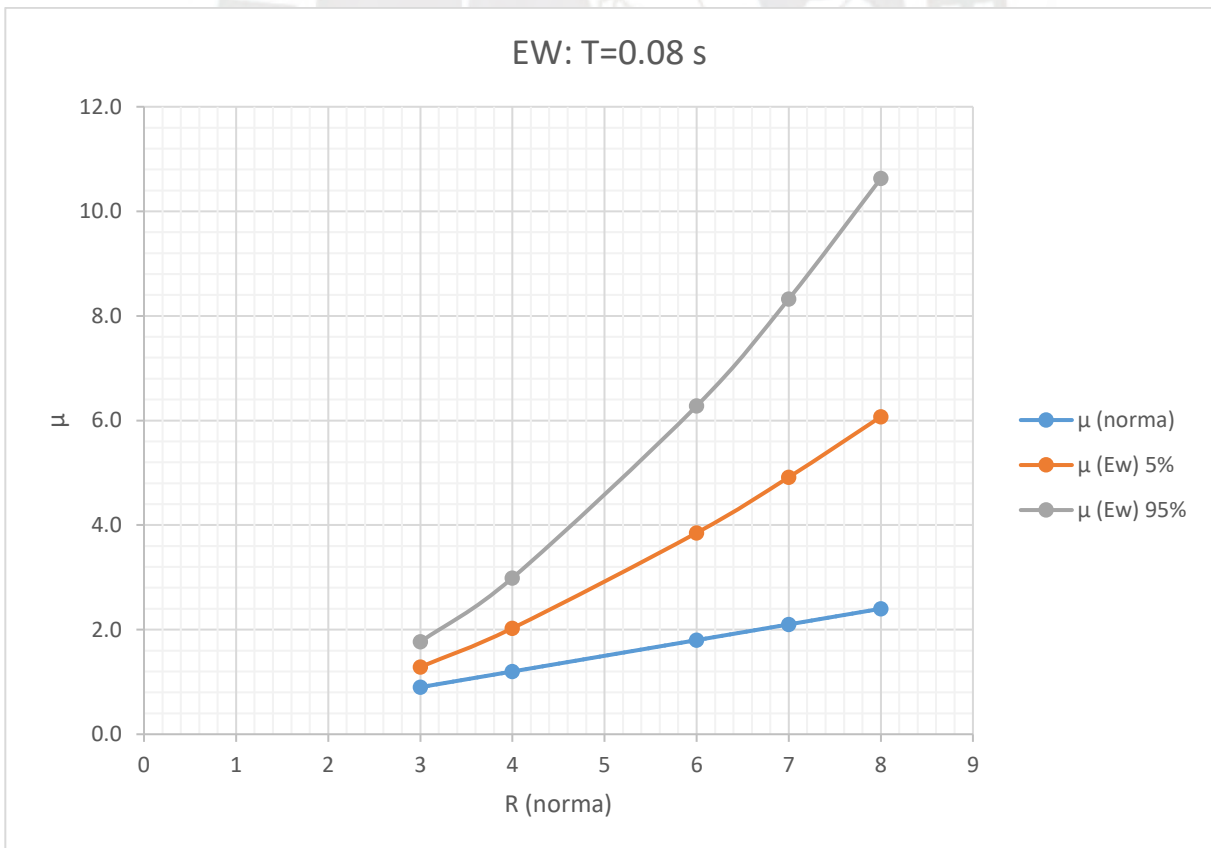


Figura 4.14: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.08$ s.

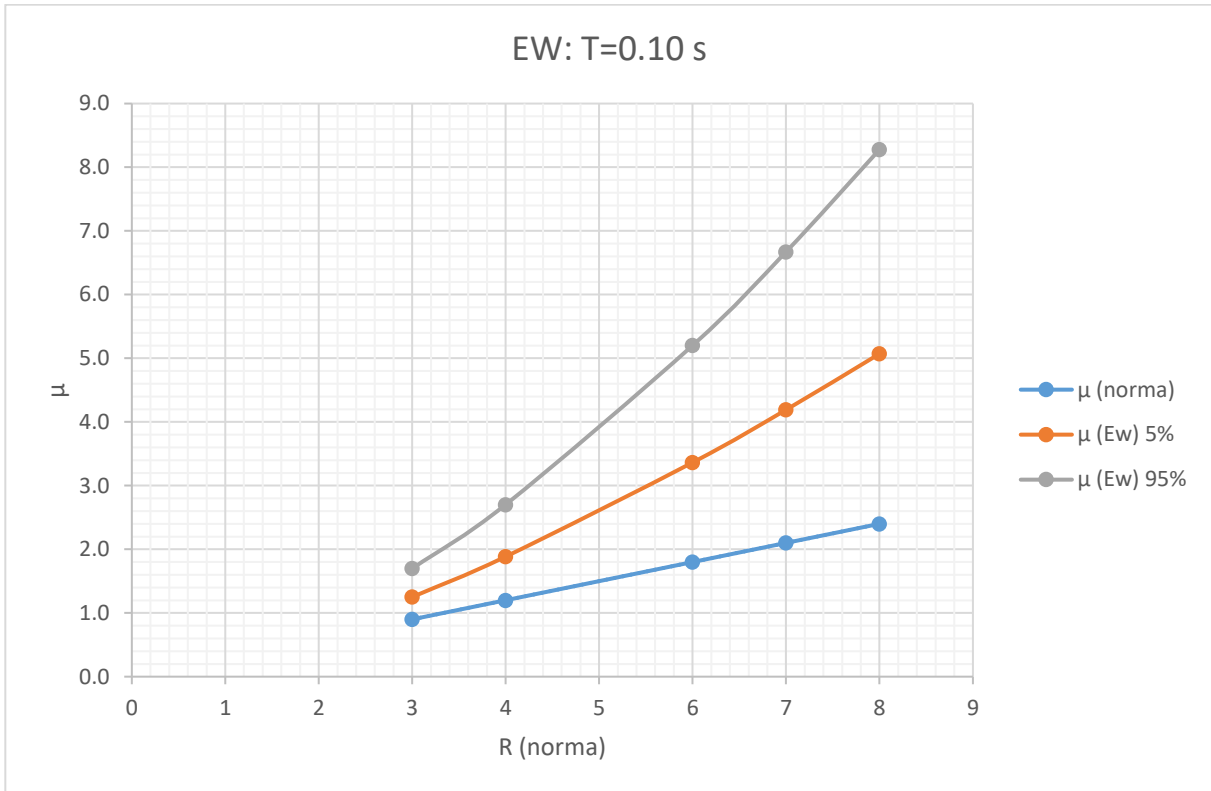


Figura 4.15: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.10$ s.

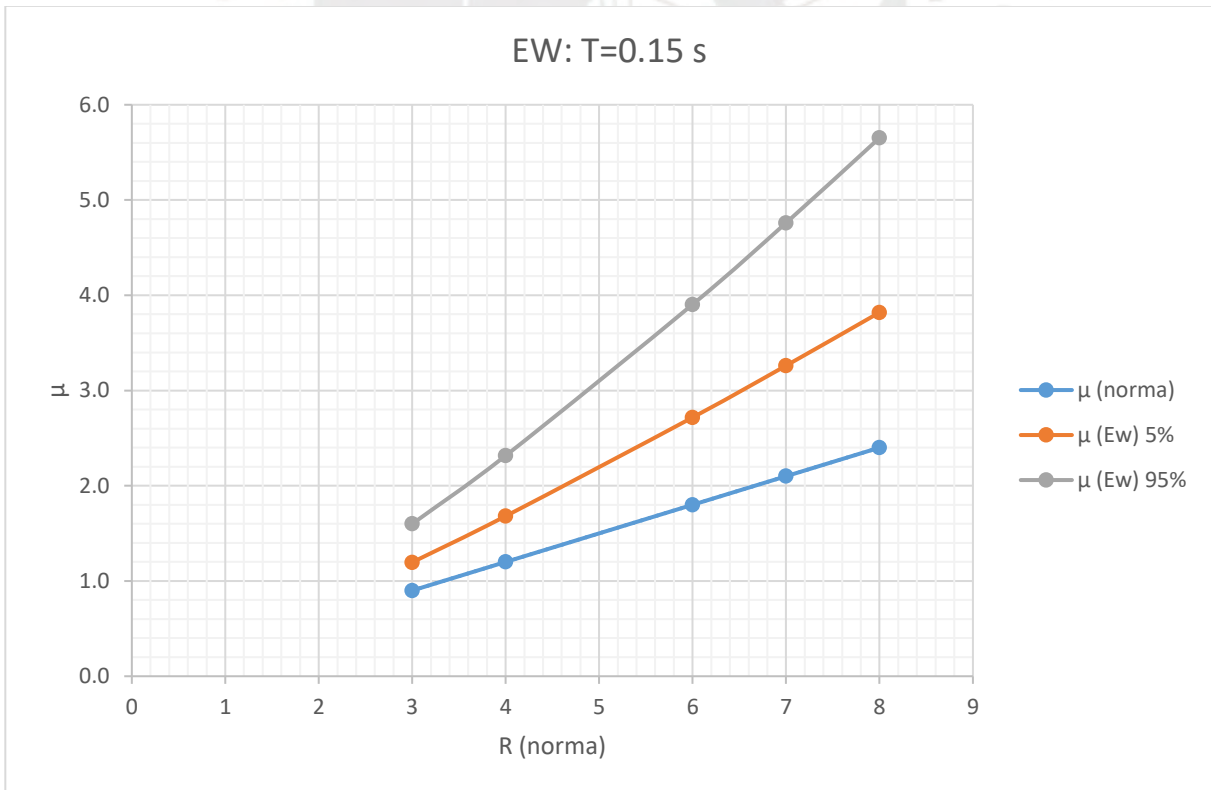


Figura 4.16: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.15$ s.

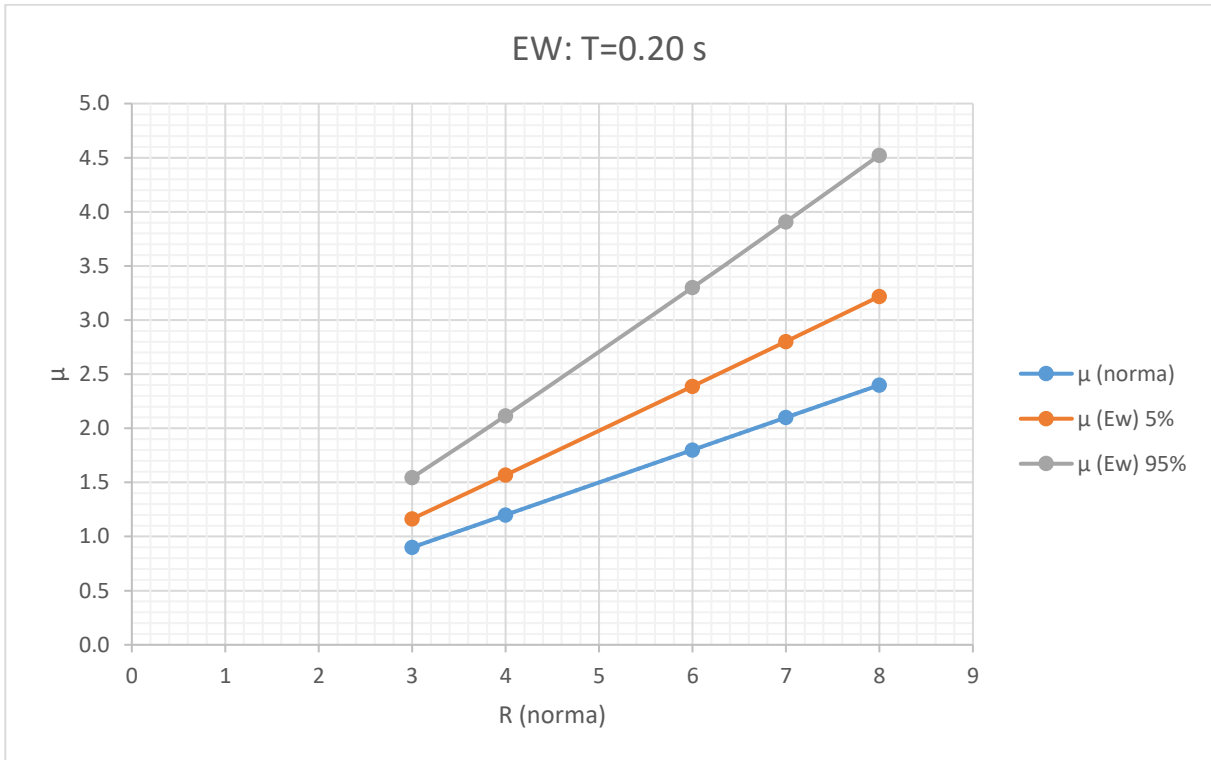


Figura 4.17: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.20s.

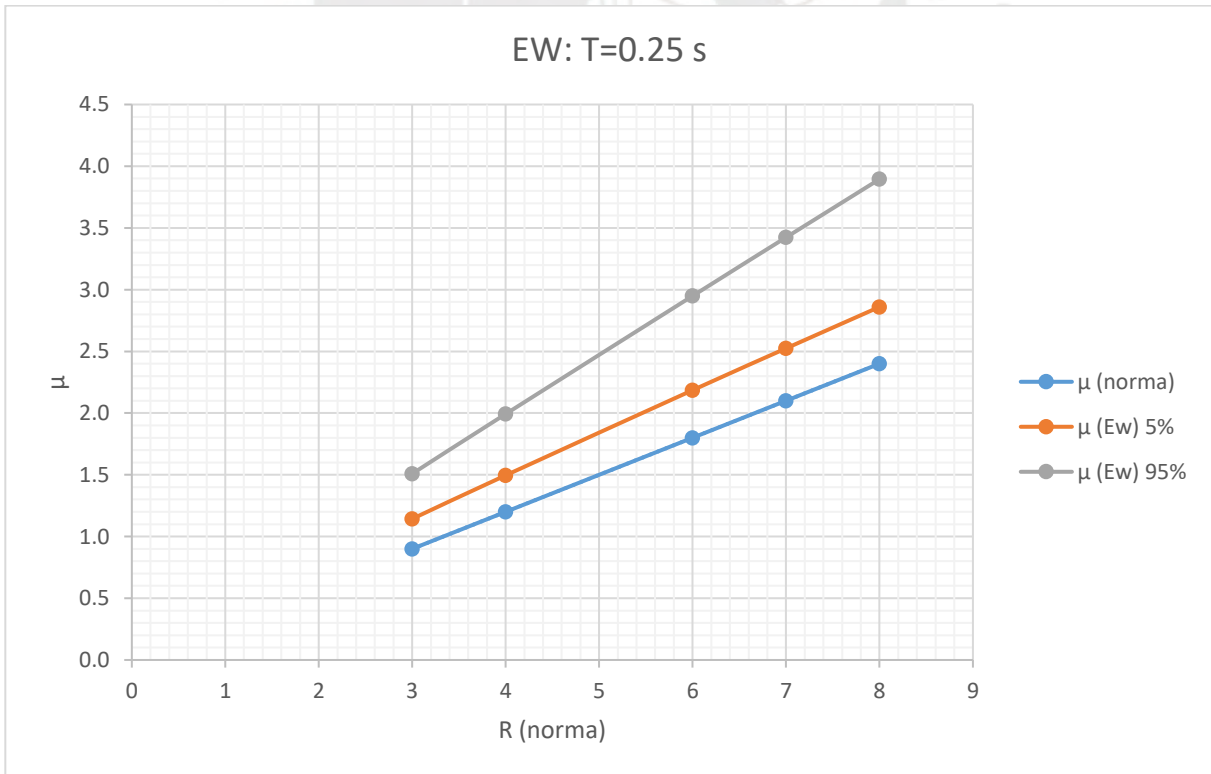


Figura 4.18: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.25s.

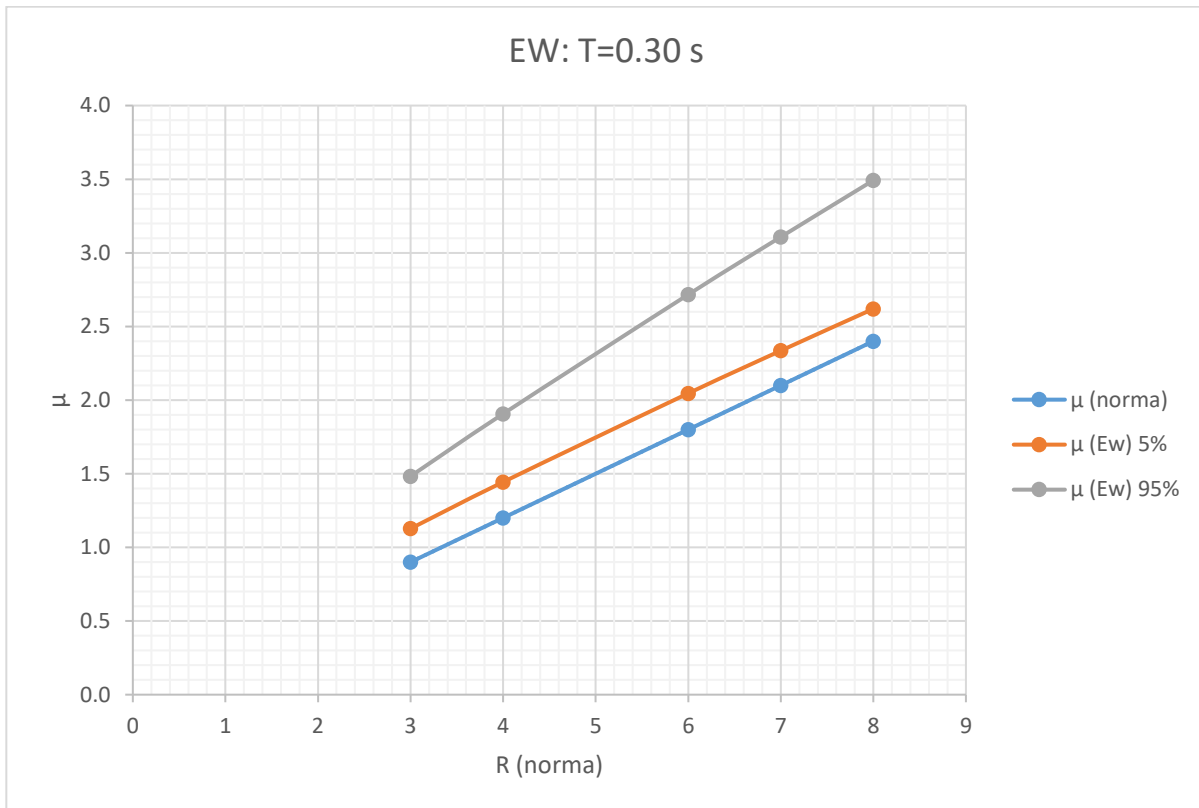


Figura 4.19: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.30s.

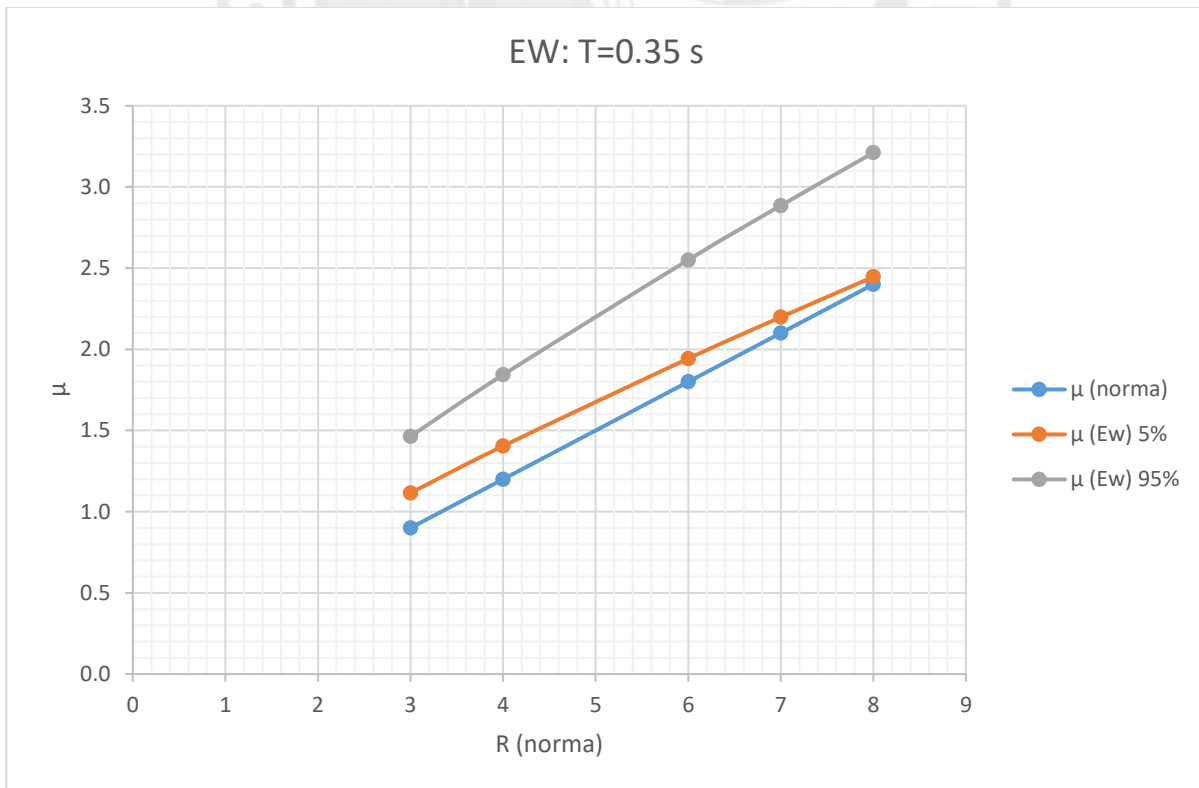


Figura 4.20: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.35s.

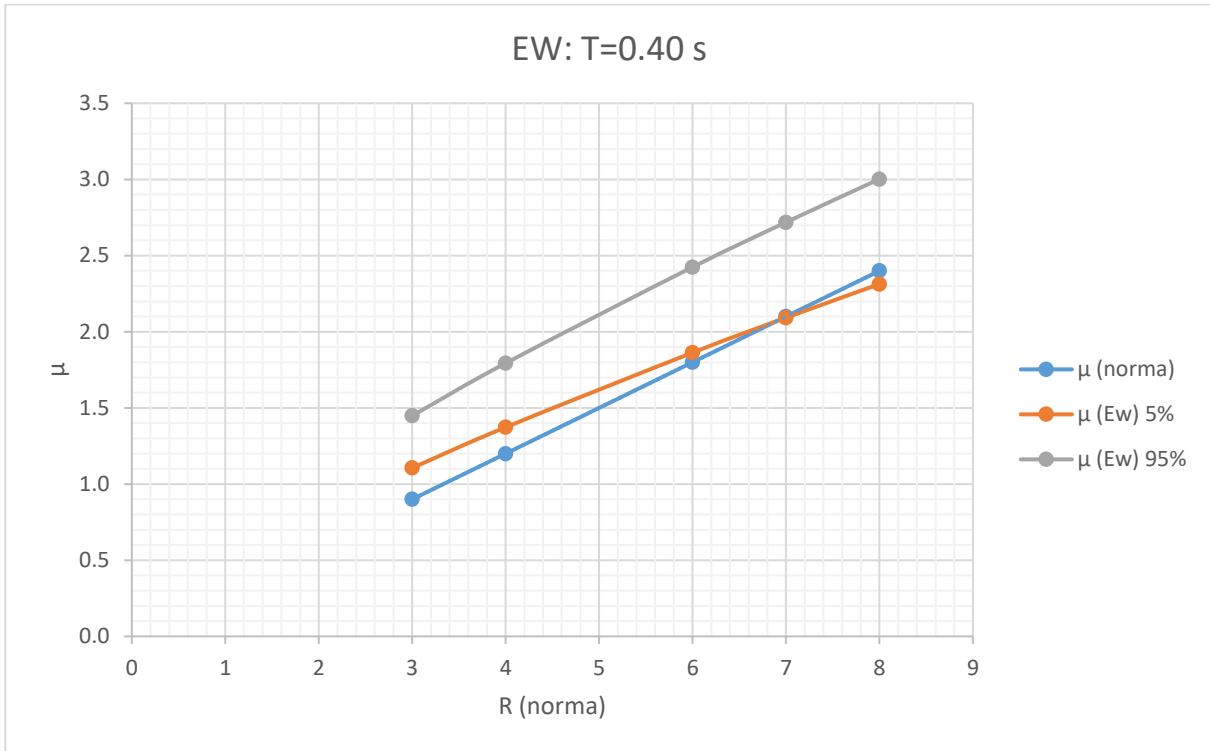


Figura 4.21: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.40s.

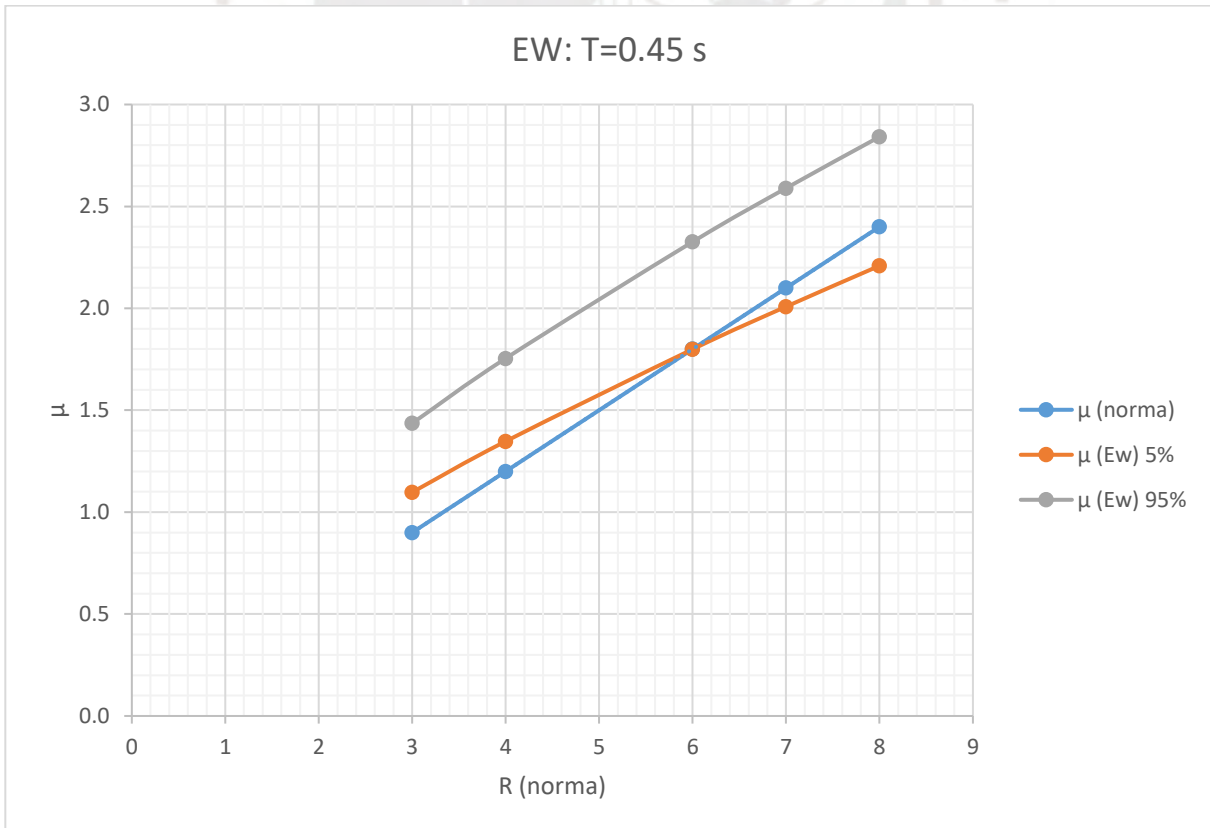


Figura 4.22: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.45s.

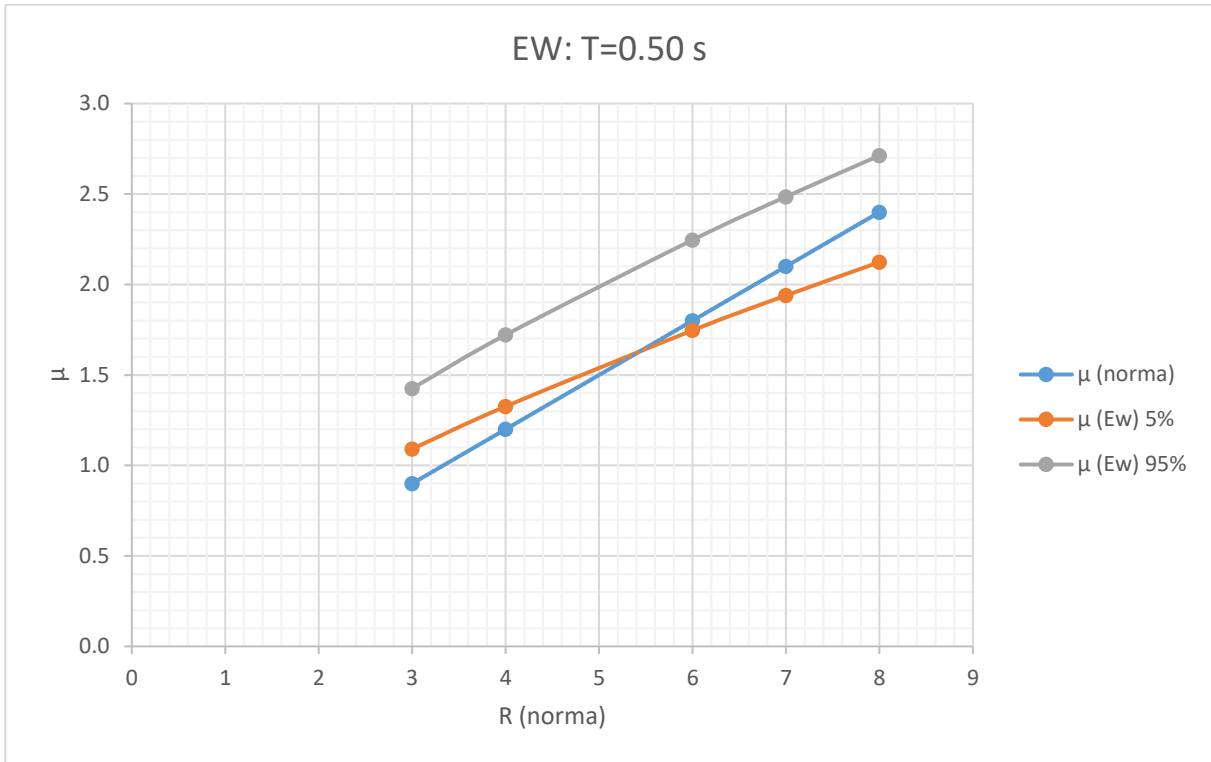


Figura 4.23: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.50s.

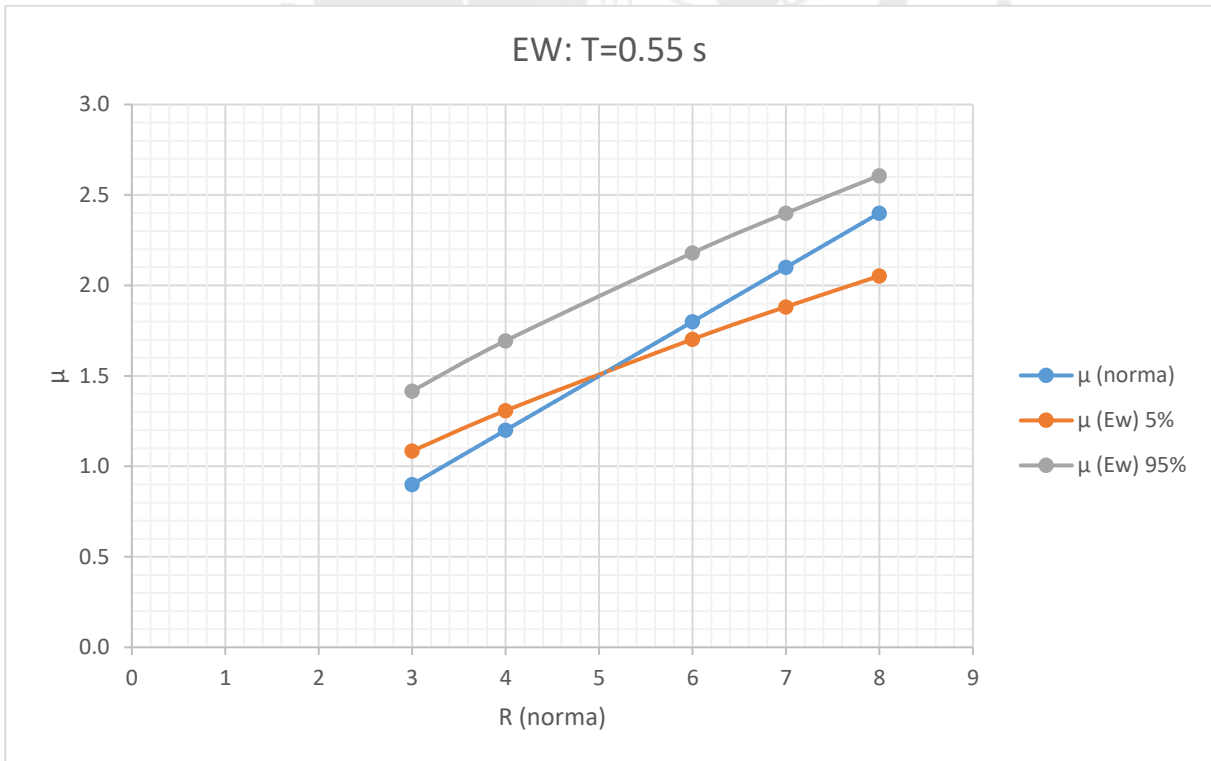


Figura 4.24: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.55s.

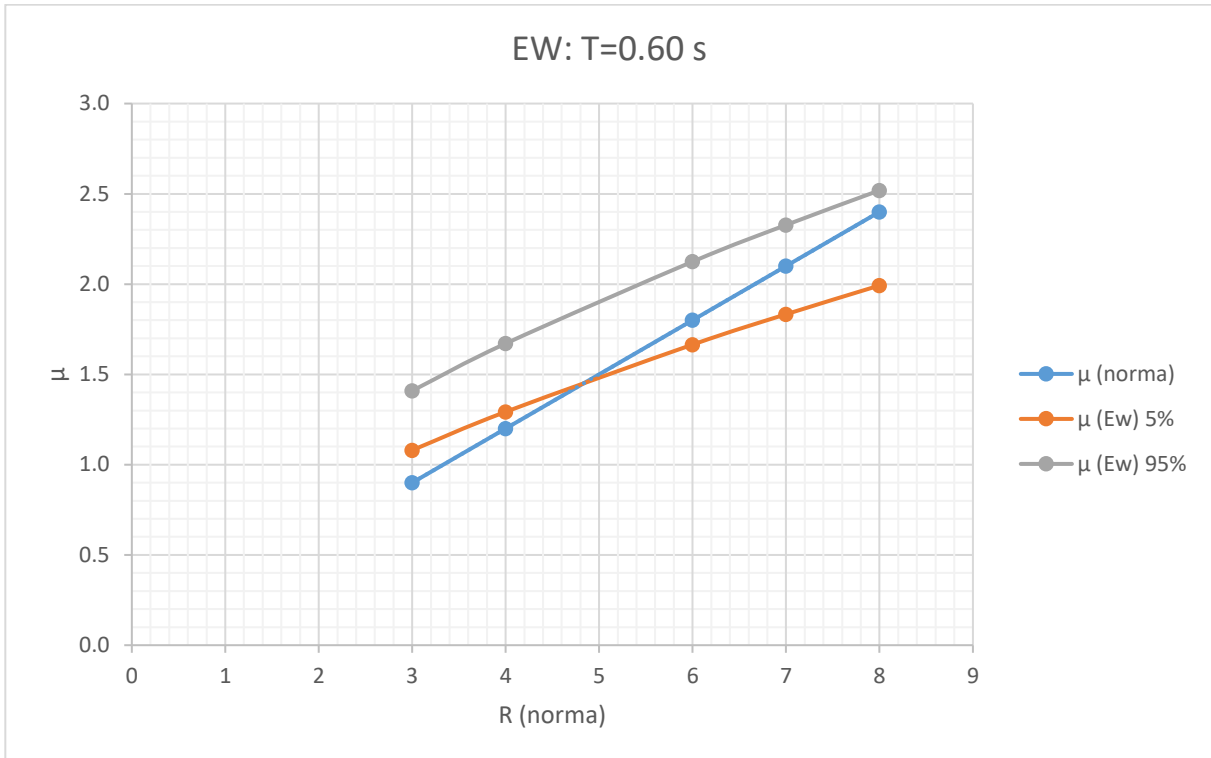


Figura 4.25: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.60s.

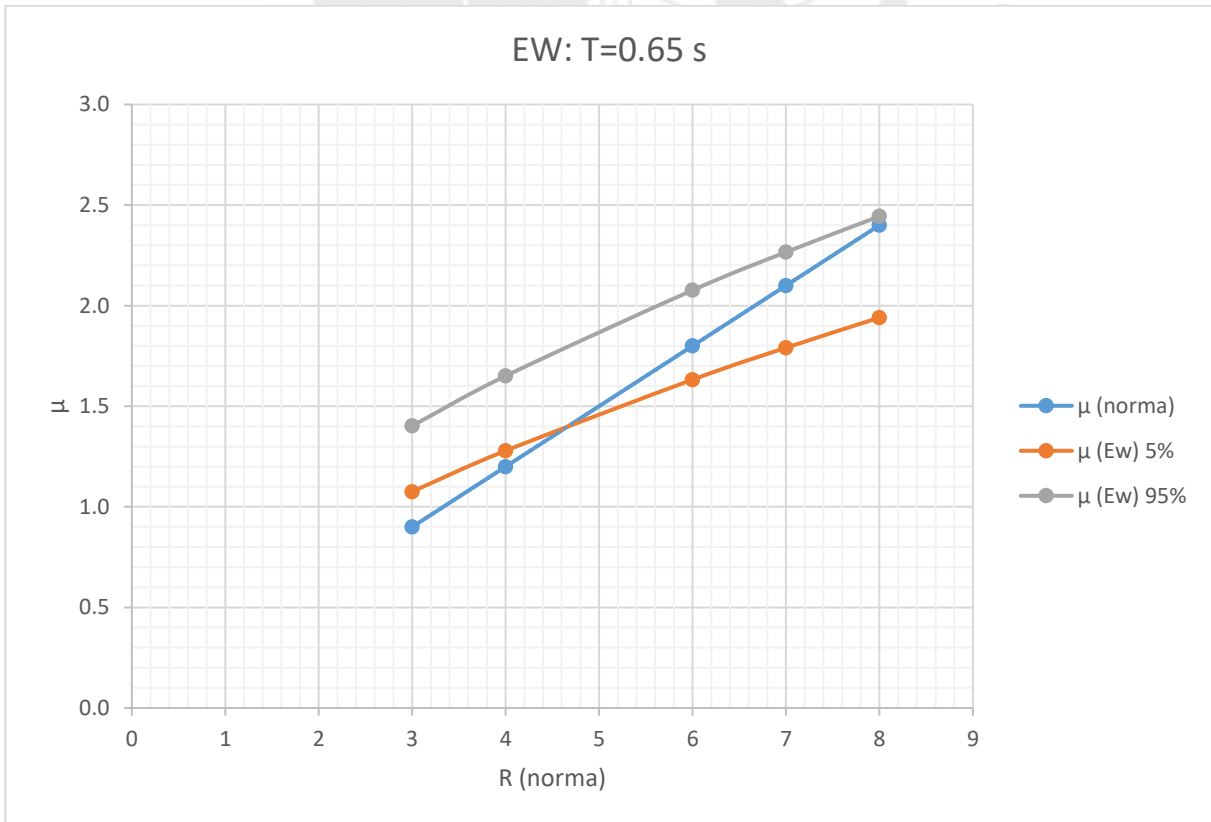


Figura 4.26: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.65s.

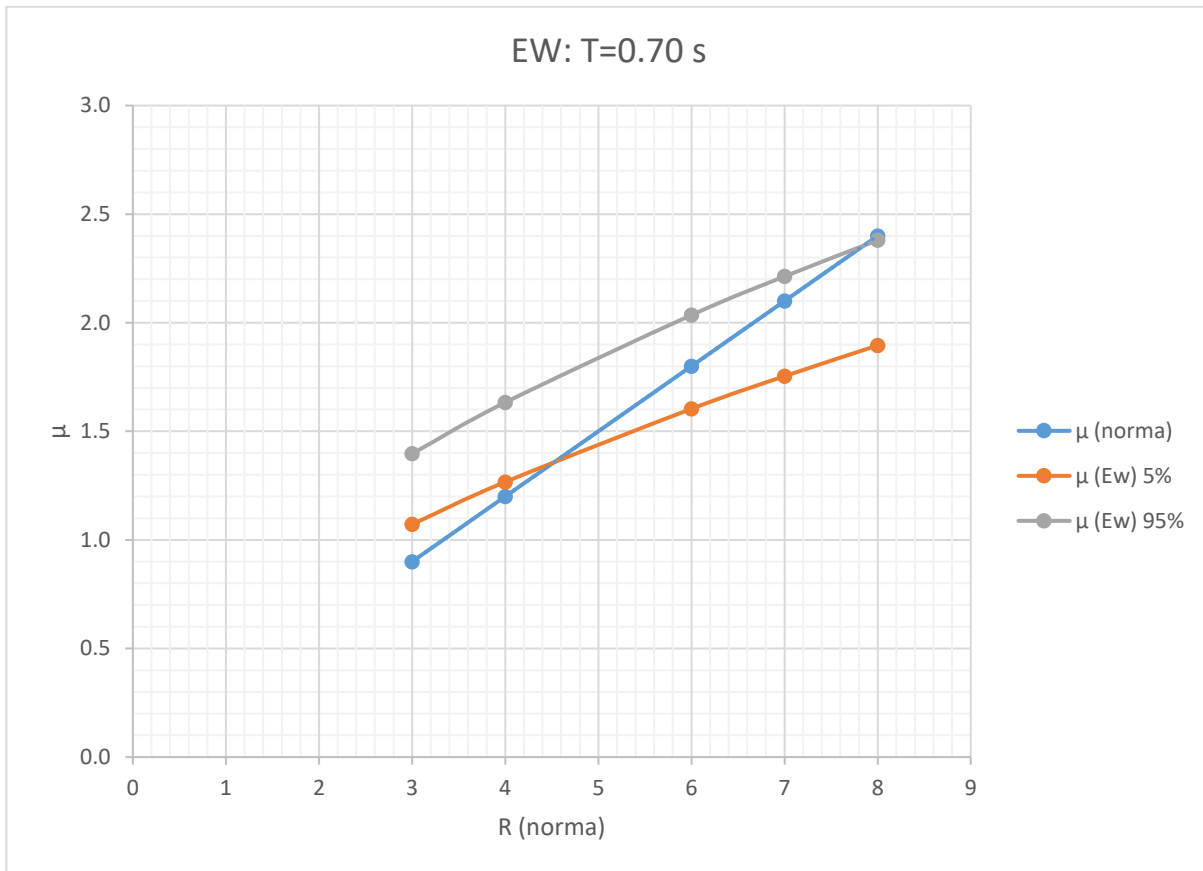


Figura 4.27: R la norma y μ_d para dirección de análisis EW, intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.70s.

De las figuras mostradas la para la dirección de análisis NS se observa que a partir del periodo T=0.30 s (ver Figura 4.20) los resultados de ductilidad demanda para la norma peruana empiezan a ser similares y/o superiores a los resultados de la superficie inferior. Además a partir del periodo de 0.60 s (ver Figura 4.42) se aprecia que los resultados de ductilidad demandada para la norma empiezan a ser similares y/o superiores a los resultados de la superficie superior de ajuste.

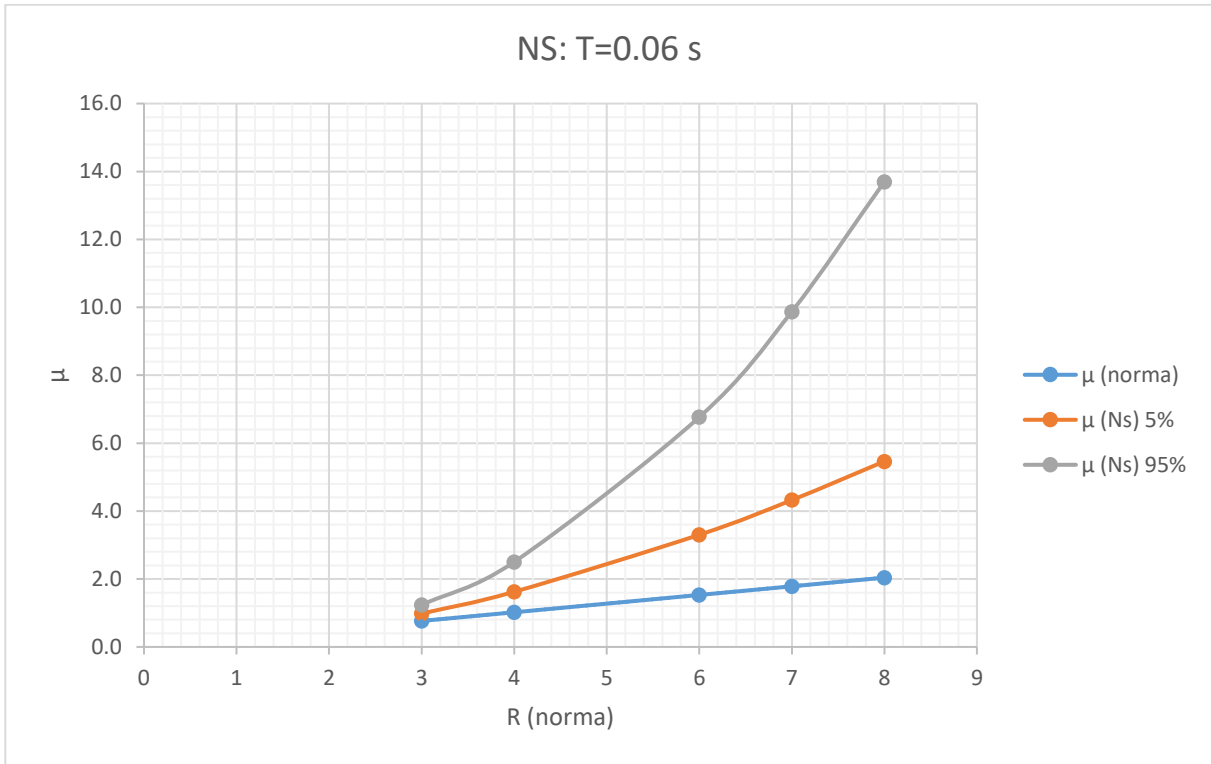


Figura 4.28: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.06s.

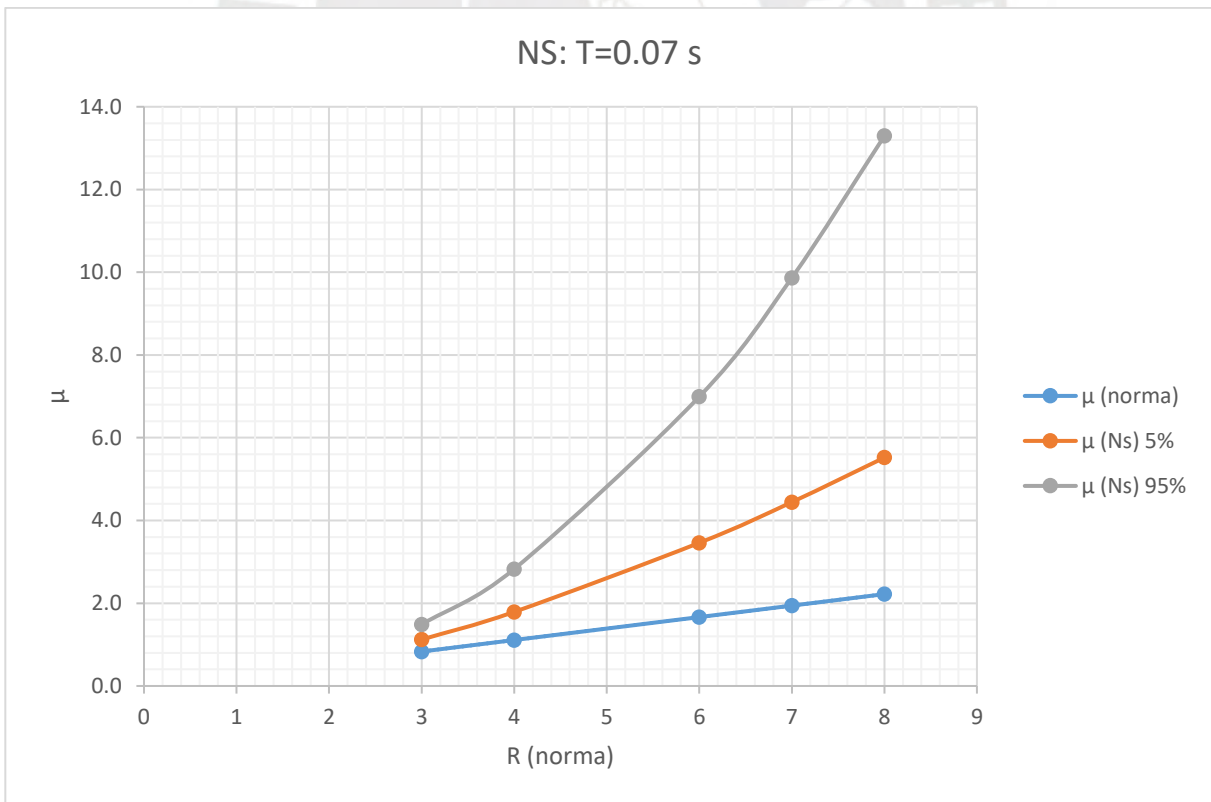


Figura 4.29: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.07s.

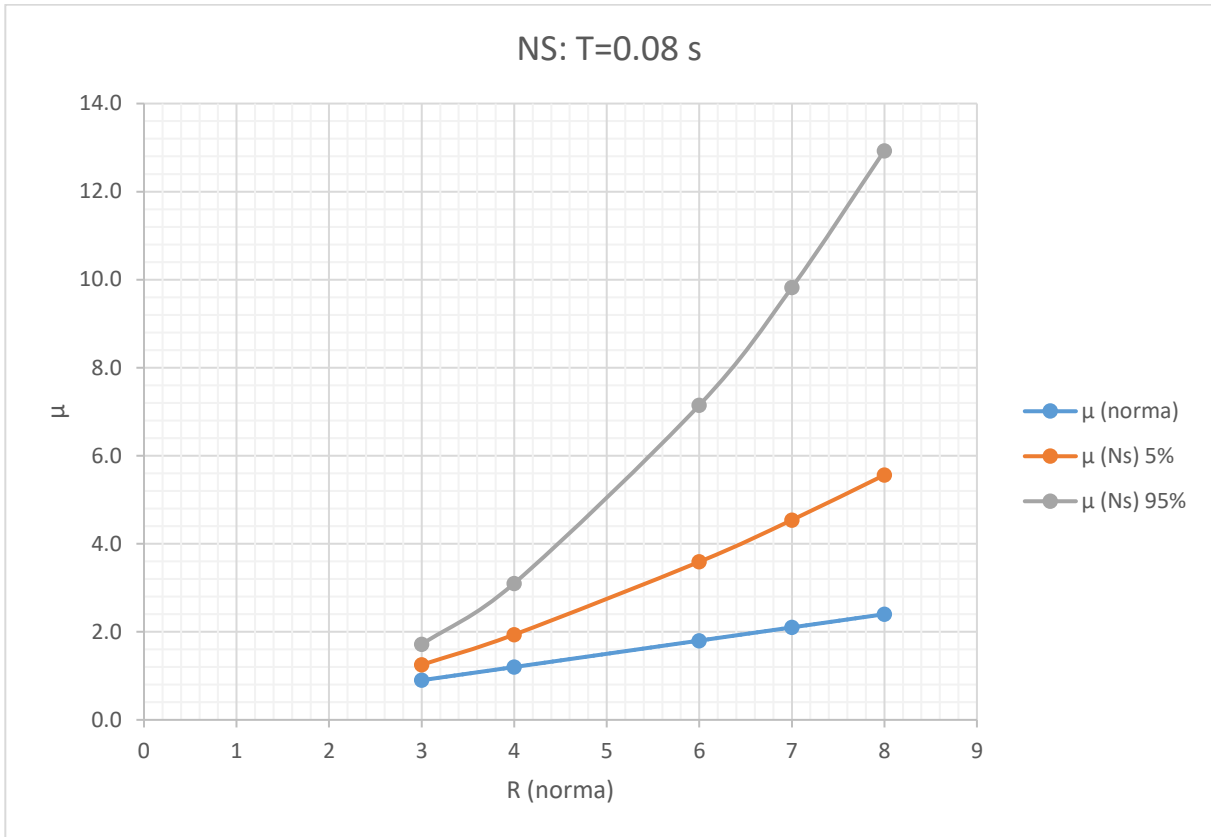


Figura 4.30: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.08s.

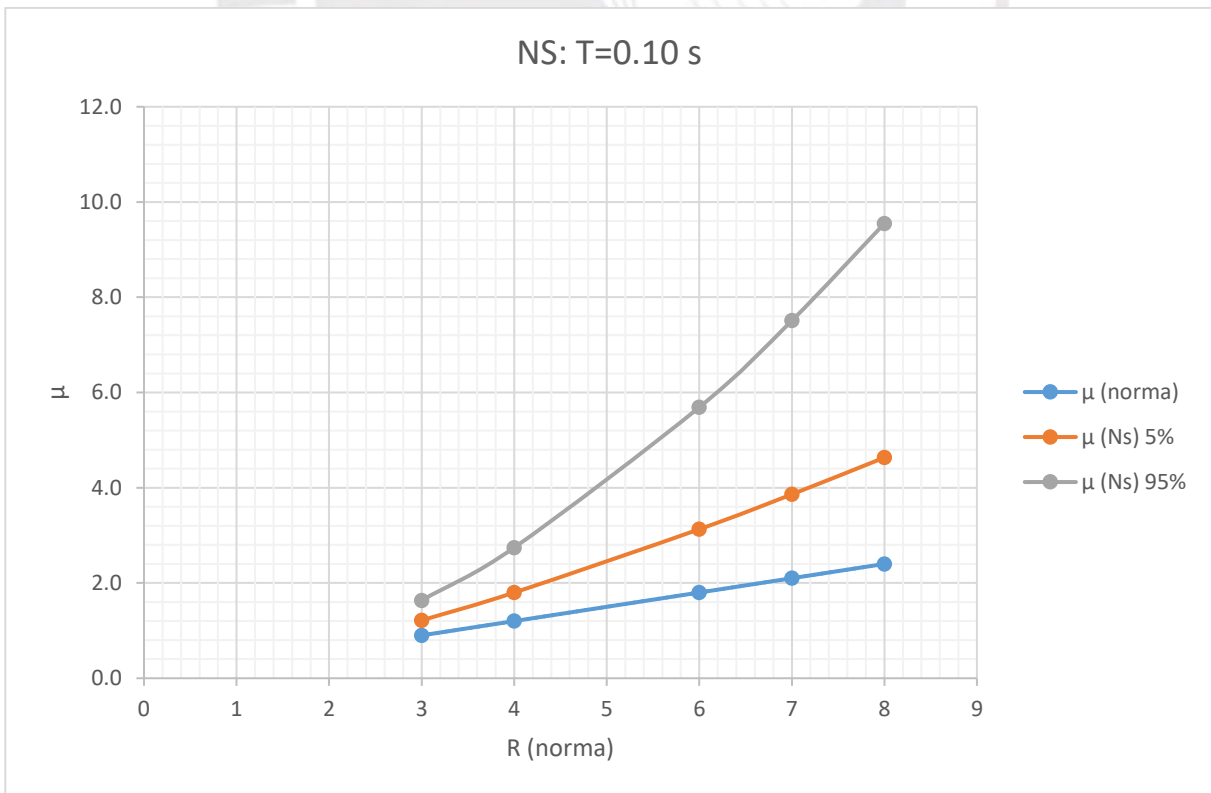


Figura 4.31: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.10s.

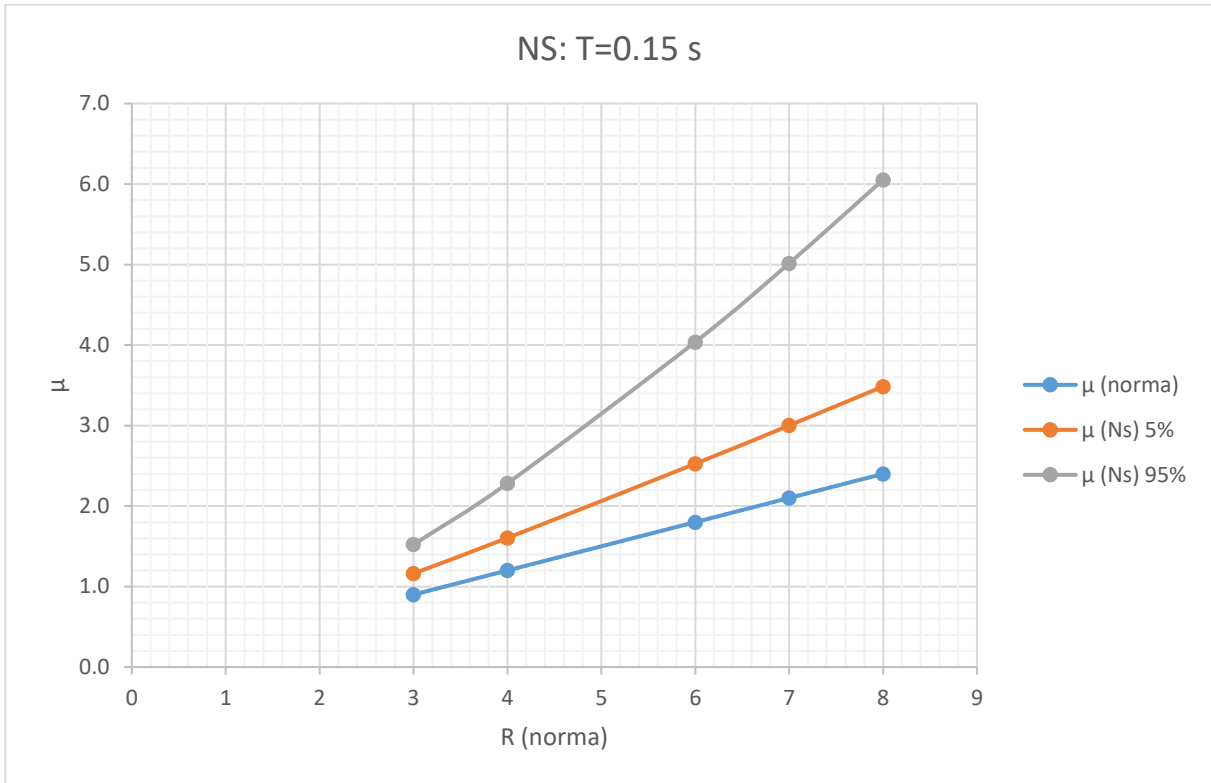


Figura 4.32: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.15s.

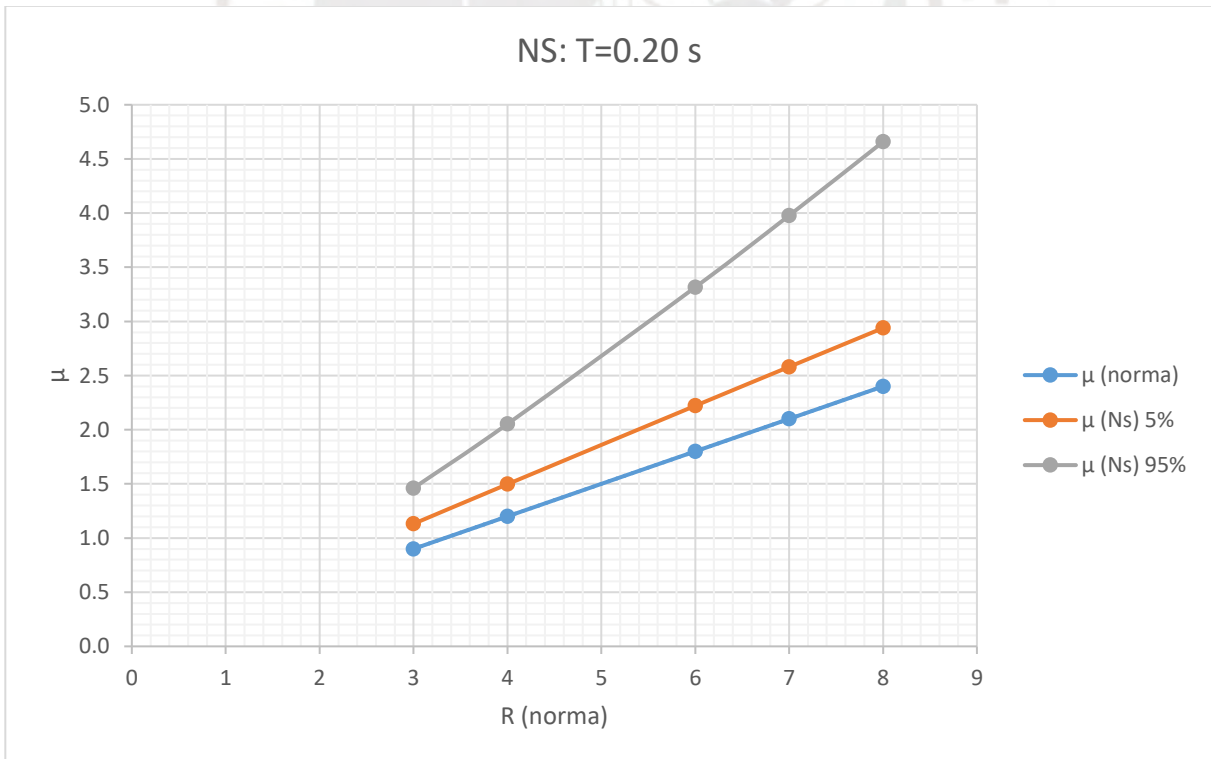


Figura 4.33: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.20s.

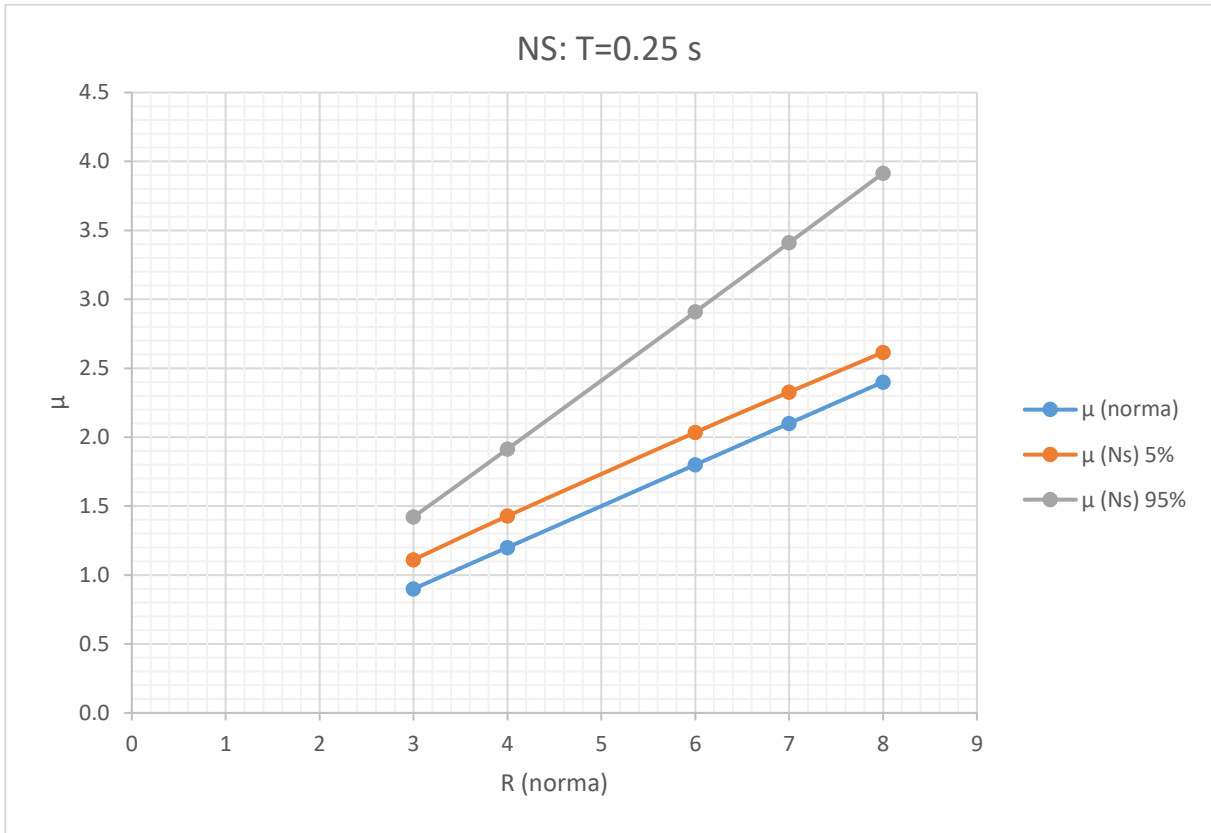


Figura 4.34: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.25$ s.

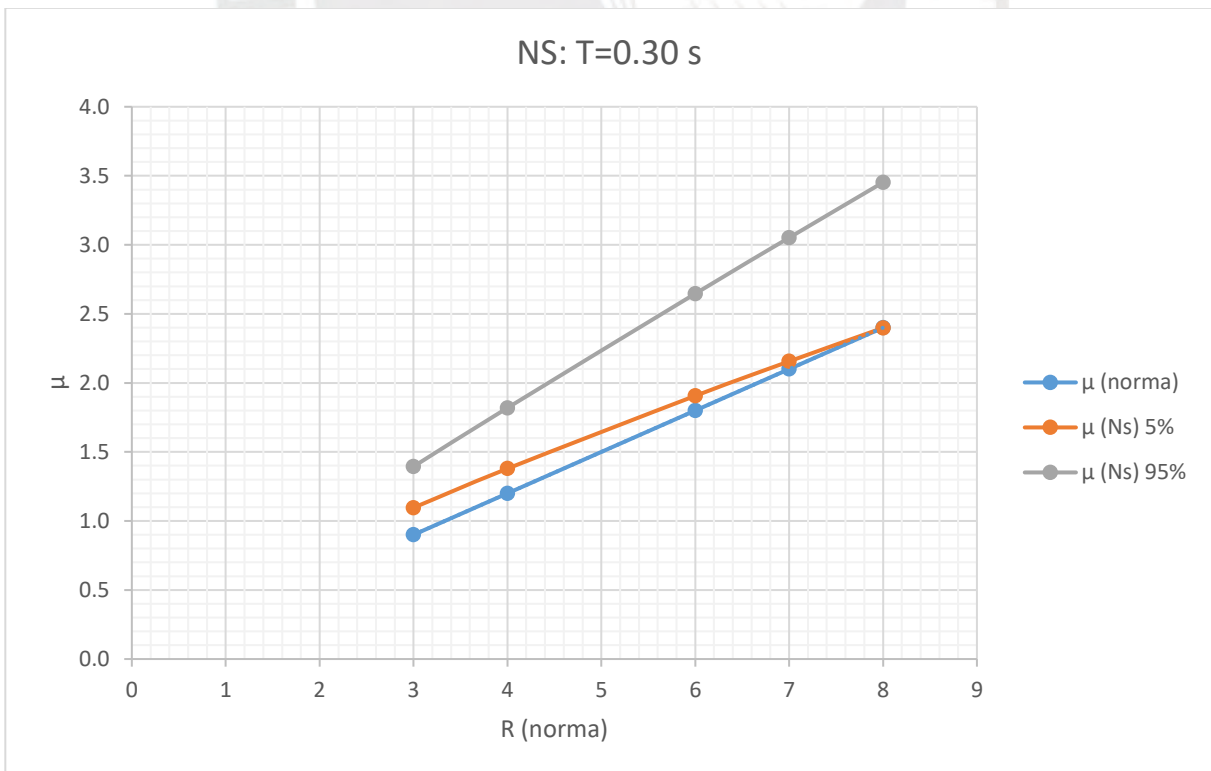


Figura 4.35: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo $T=0.30$ s.

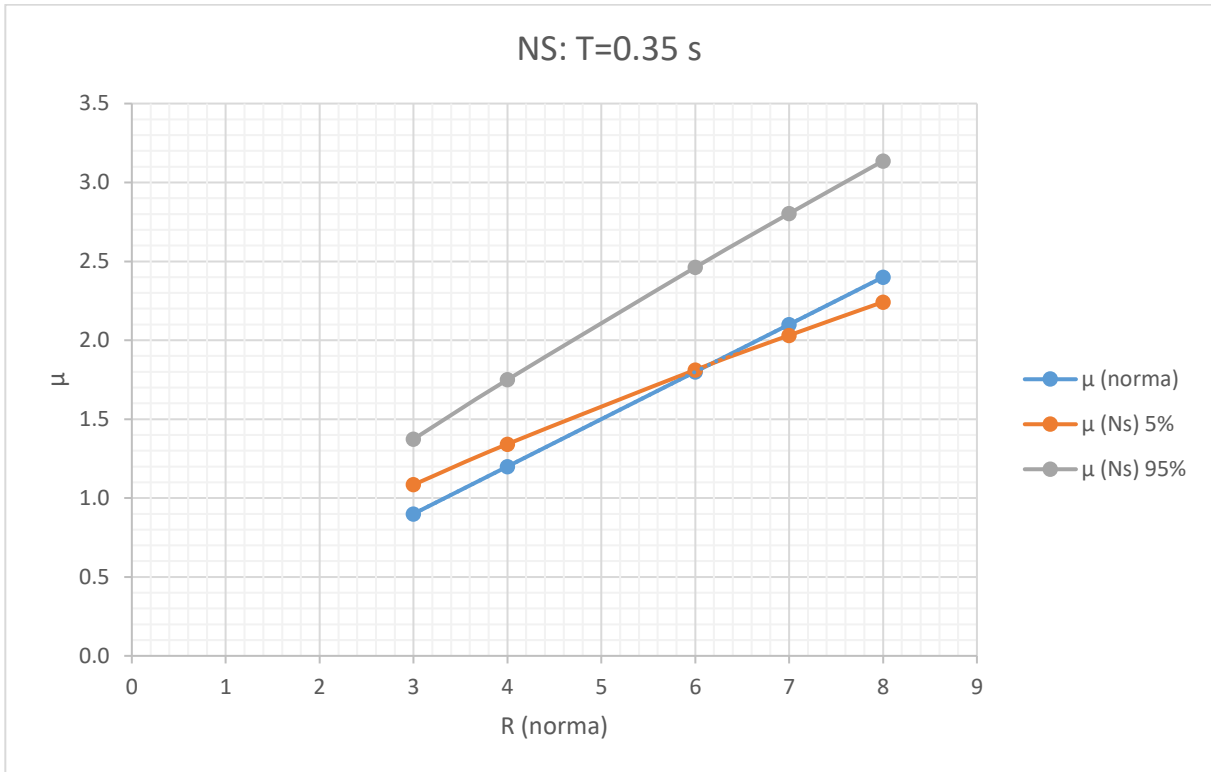


Figura 4.36: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.35s.

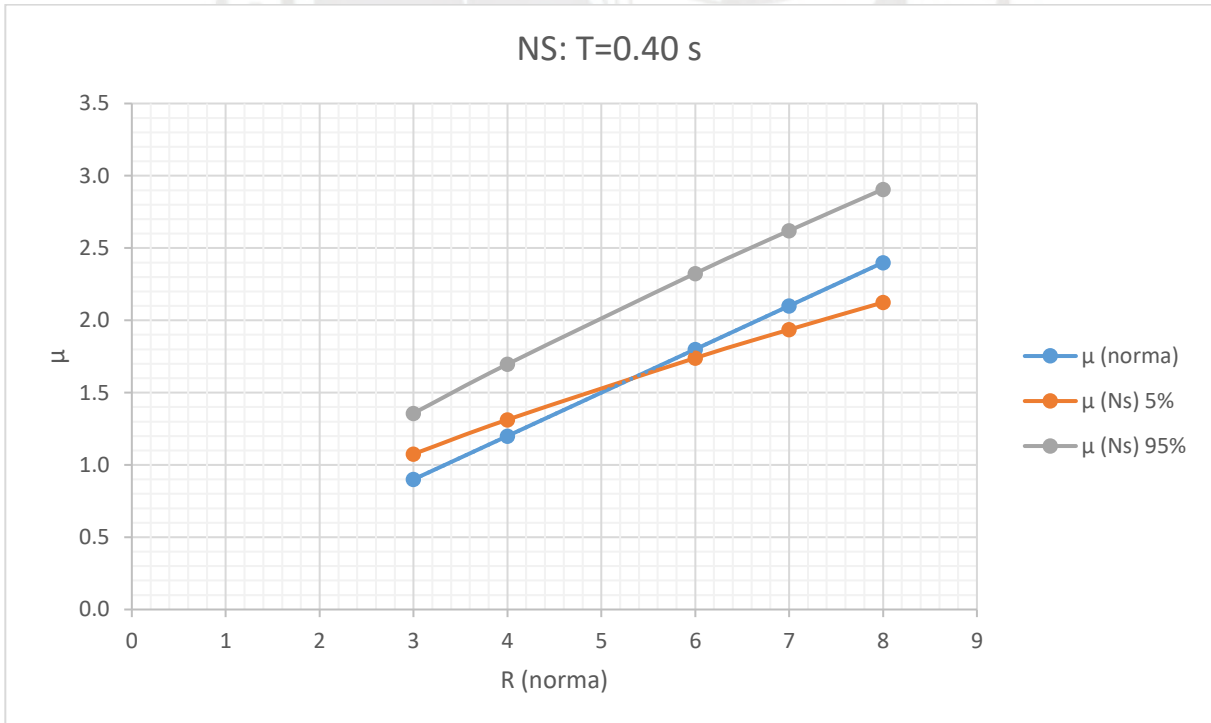


Figura 4.37: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.40s.

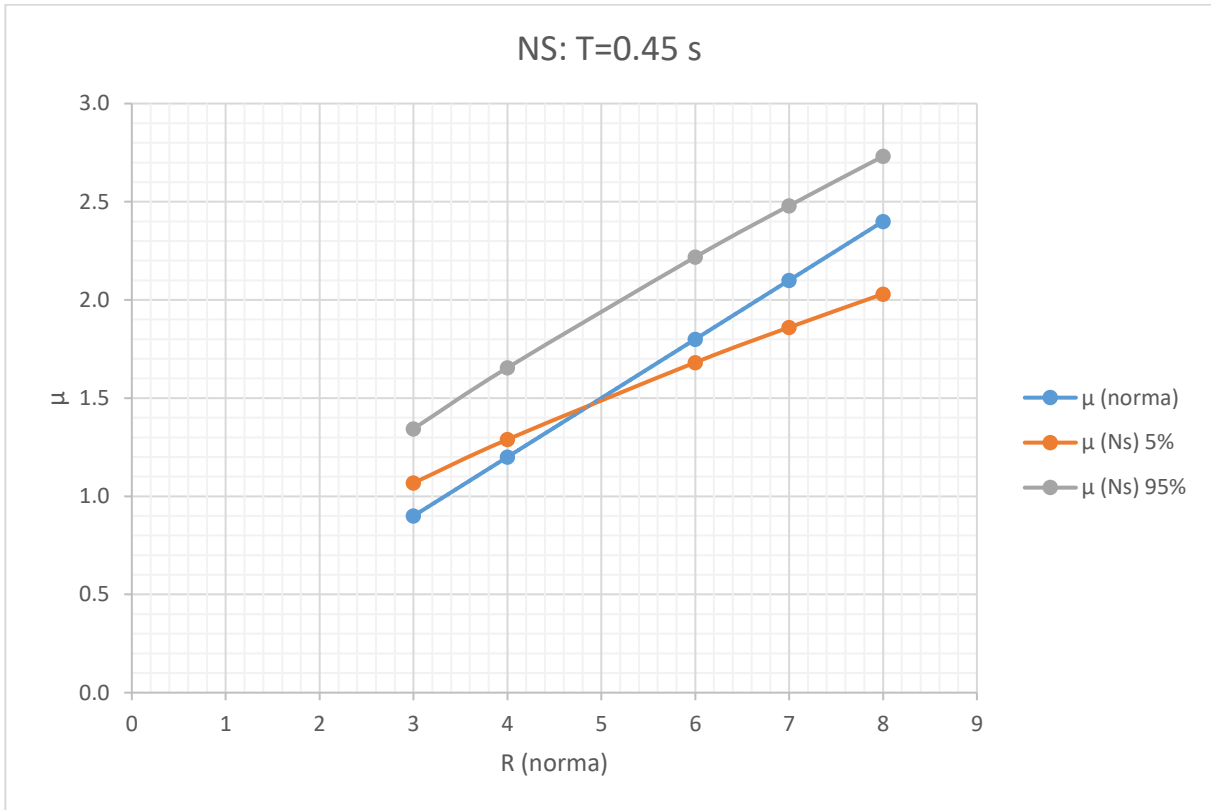


Figura 4.38: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.45s.

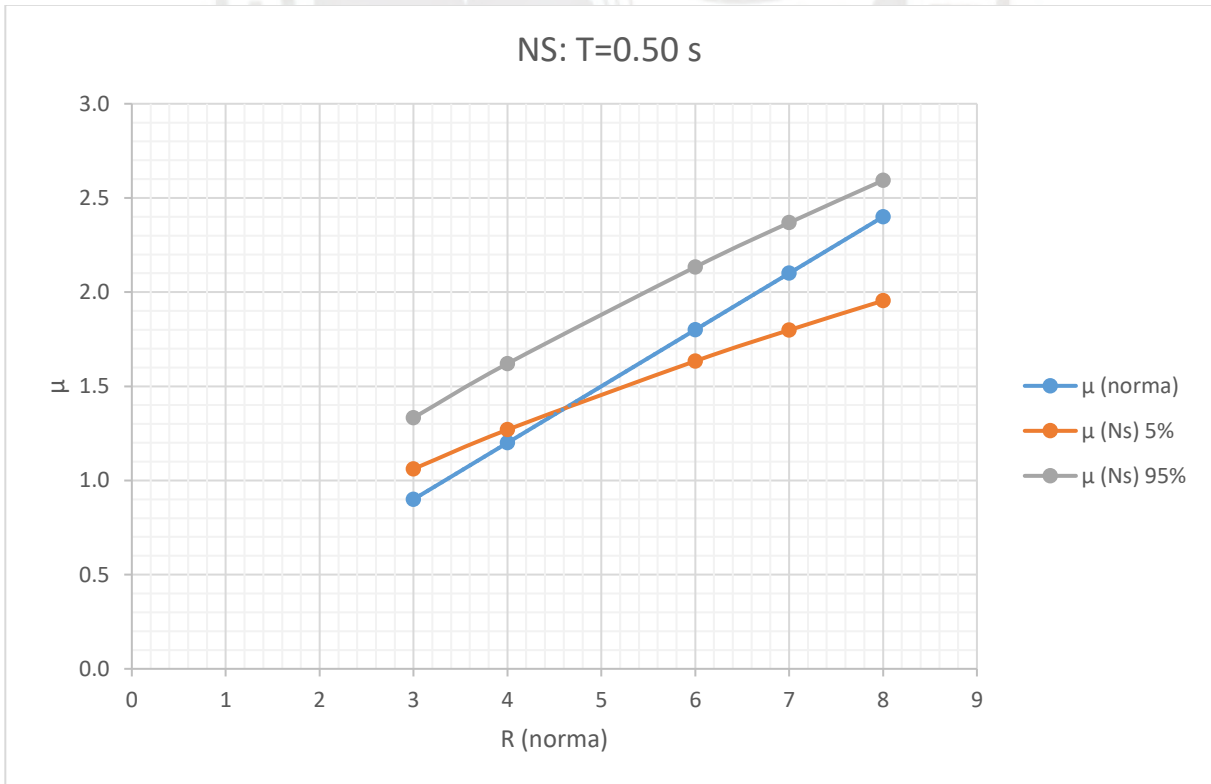


Figura 4.39: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.50s.

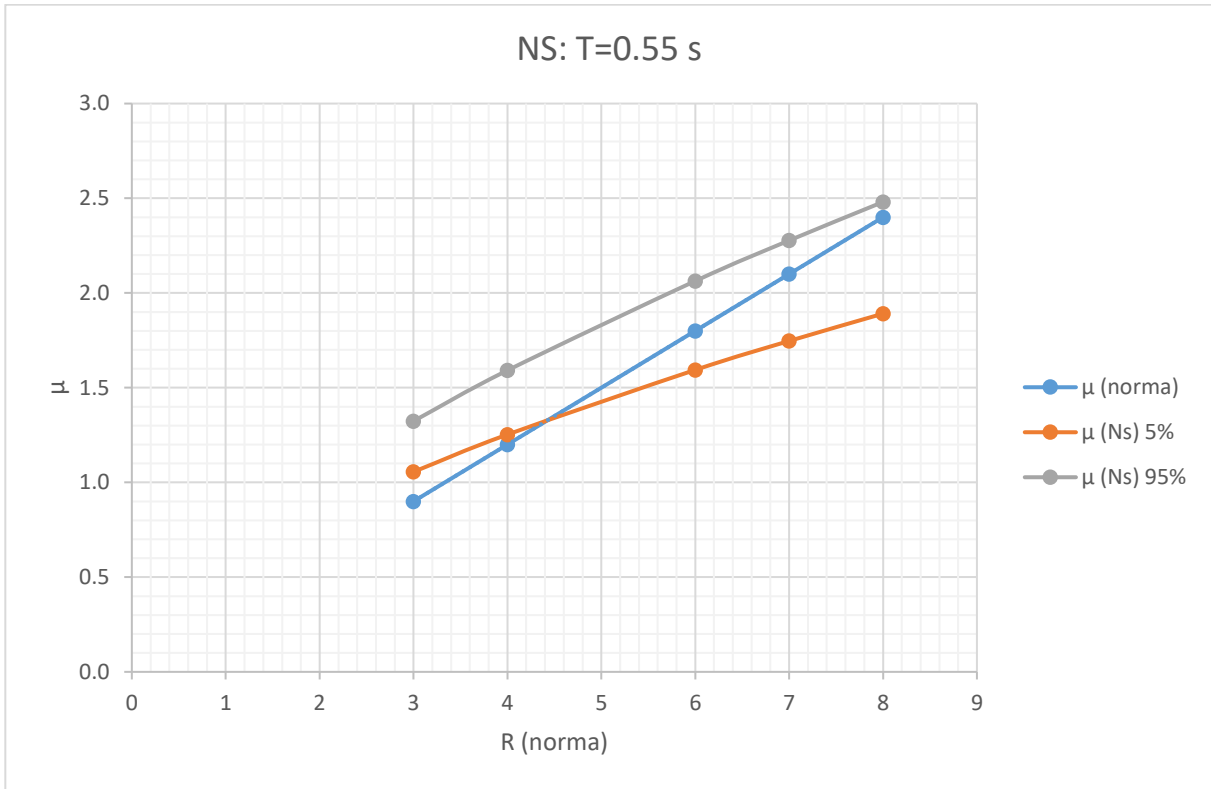


Figura 4.40: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.55s.

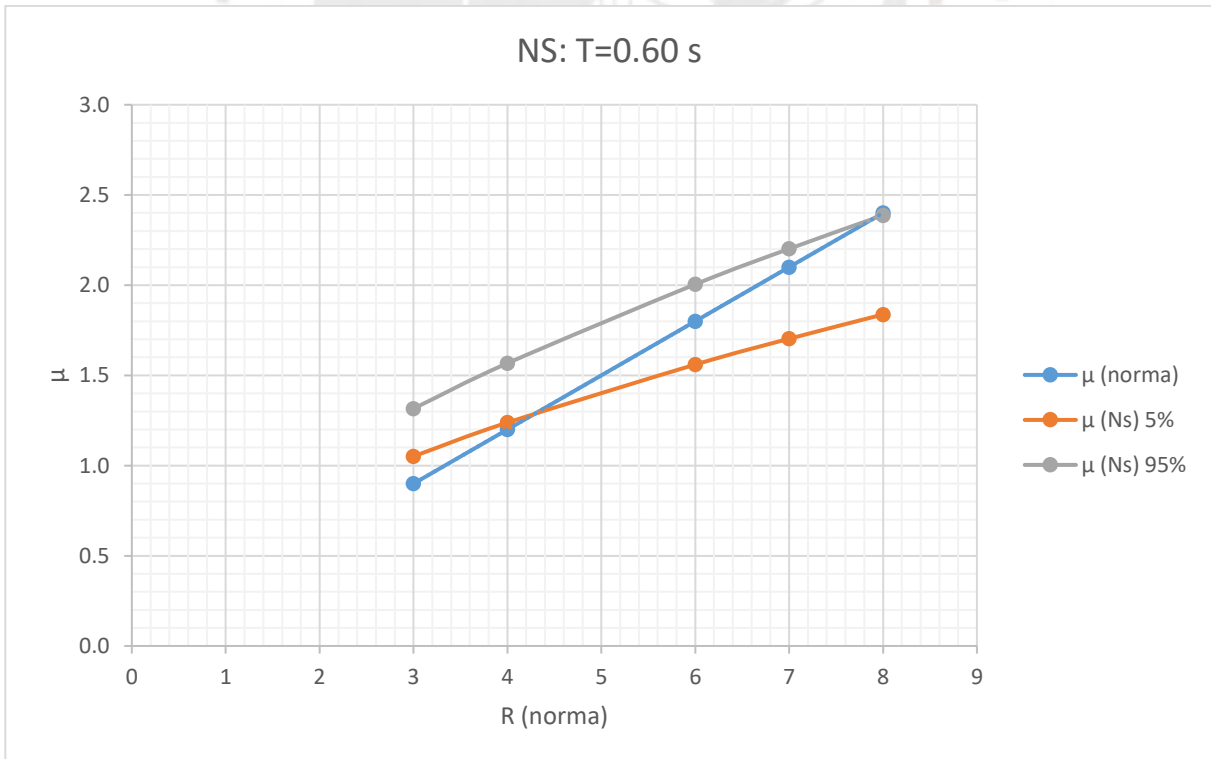


Figura 4.41: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.60s.

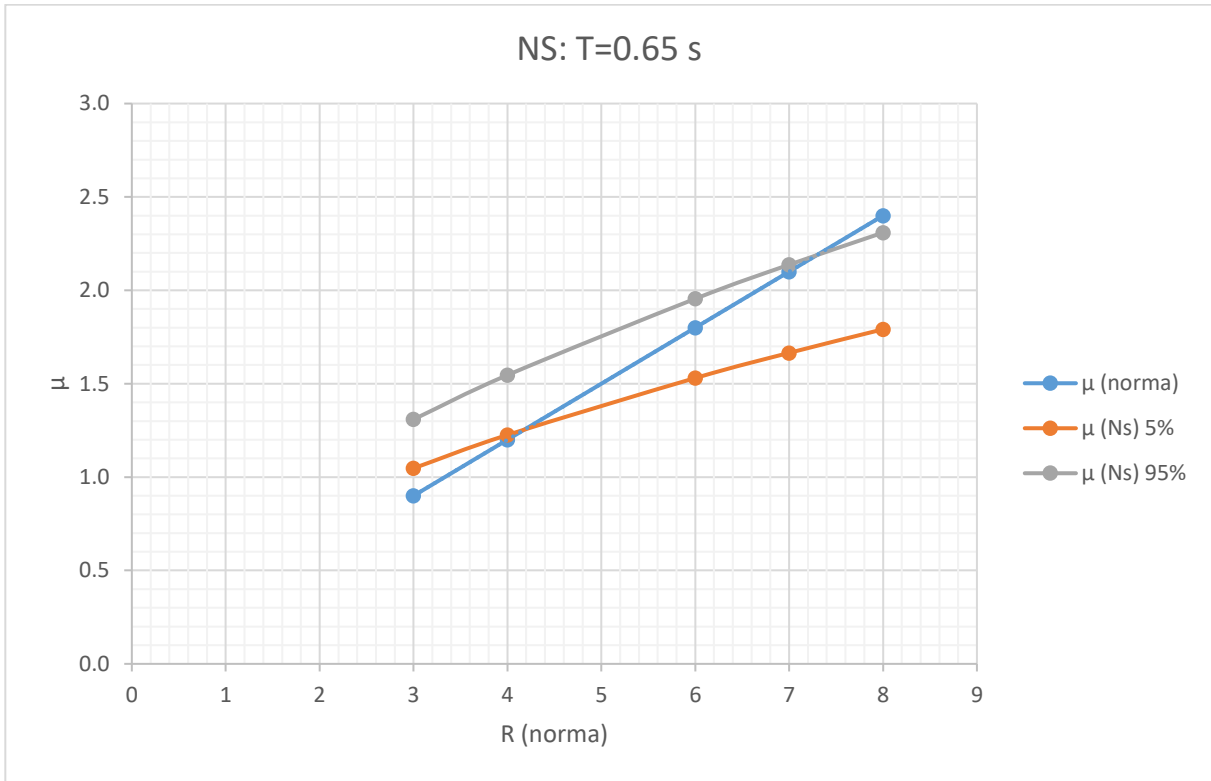


Figura 4.42: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.65s.

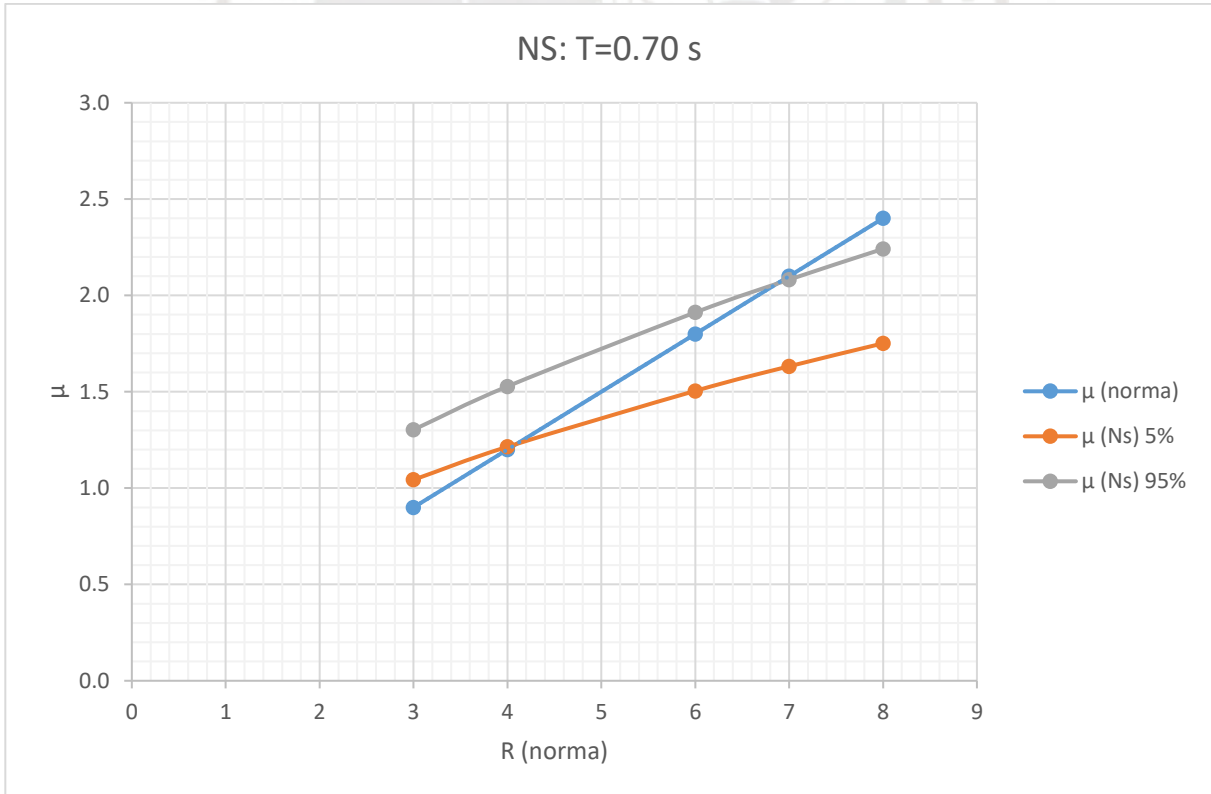


Figura 4.43: R la norma y μ_d para dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% para un periodo T=0.70s.

Para mejorar la visualización entre los resultados de la norma y de las superficies de ajuste se ha generado superficies de los cocientes entre la ductilidad demandada de la superficie de ajuste y la ductilidad de acuerdo a norma (como se define en Eq. 4.4). En las Figura 4.44 y Figura 4.45 se muestran los resultados para el análisis en la dirección EW, en la Figura 4.46 y Figura 4.47 se muestran los resultados para el análisis en la dirección NS. En ambos casos se ha empleado la superficie superior de ajuste de modo que los resultados tengan sólo un 5% de probabilidad de excedencia.

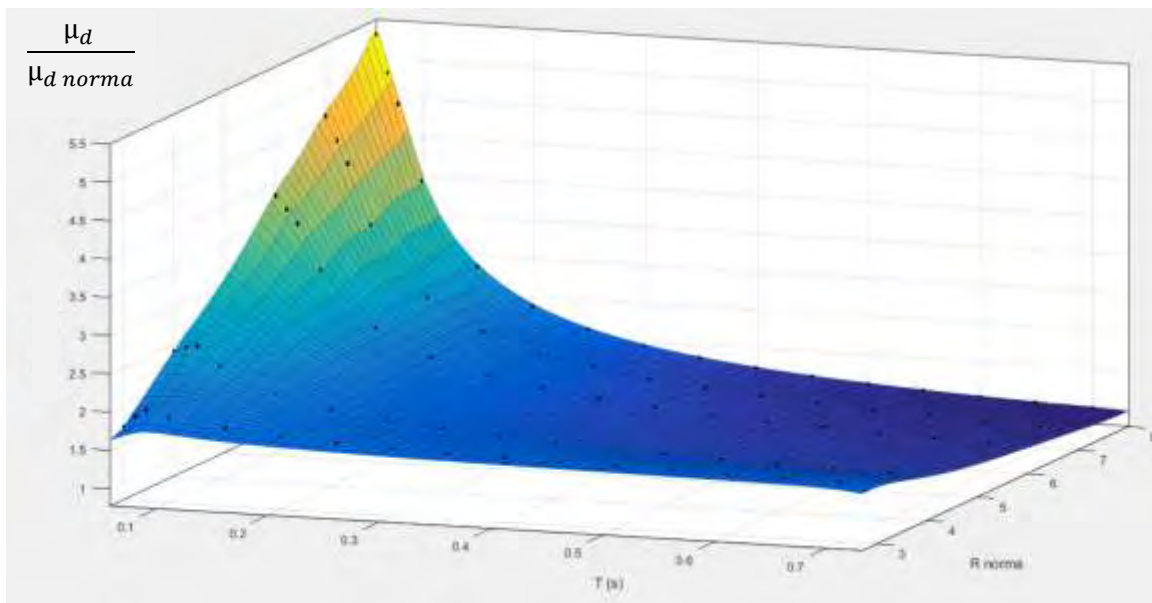


Figura 4.44: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R en 3D

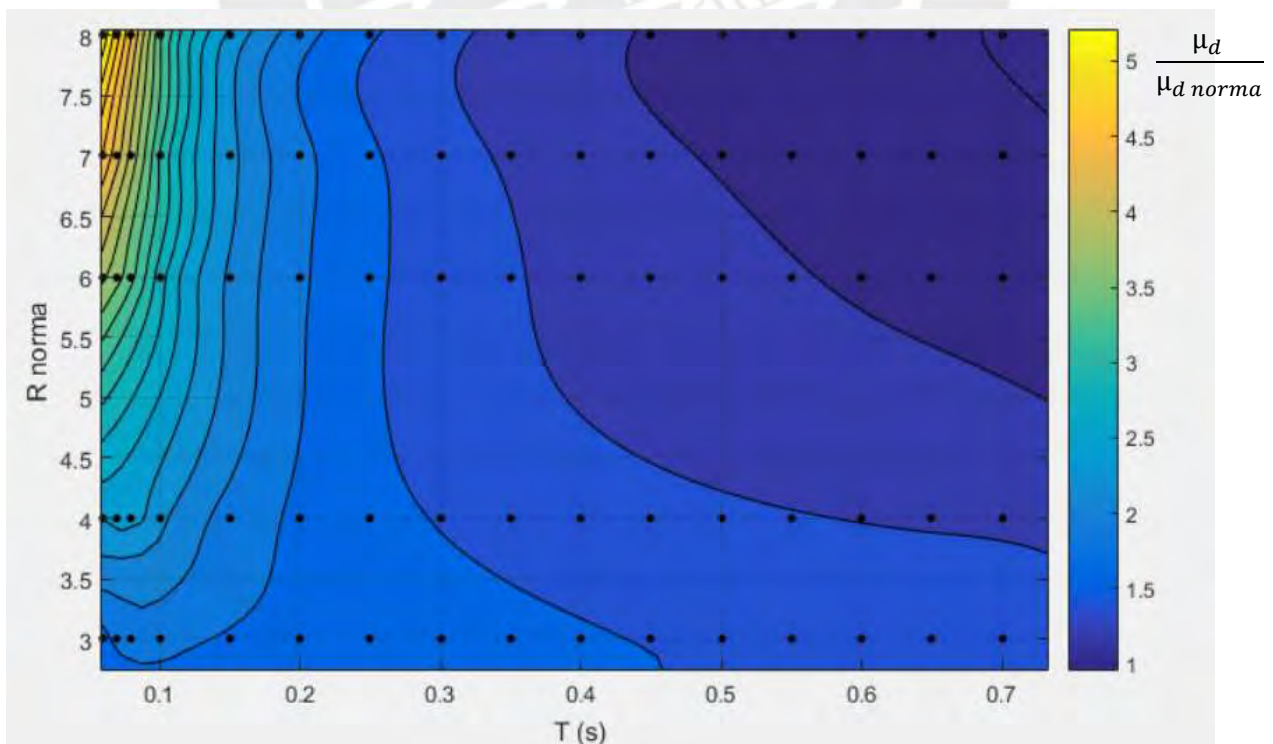


Figura 4.45: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R en 2D

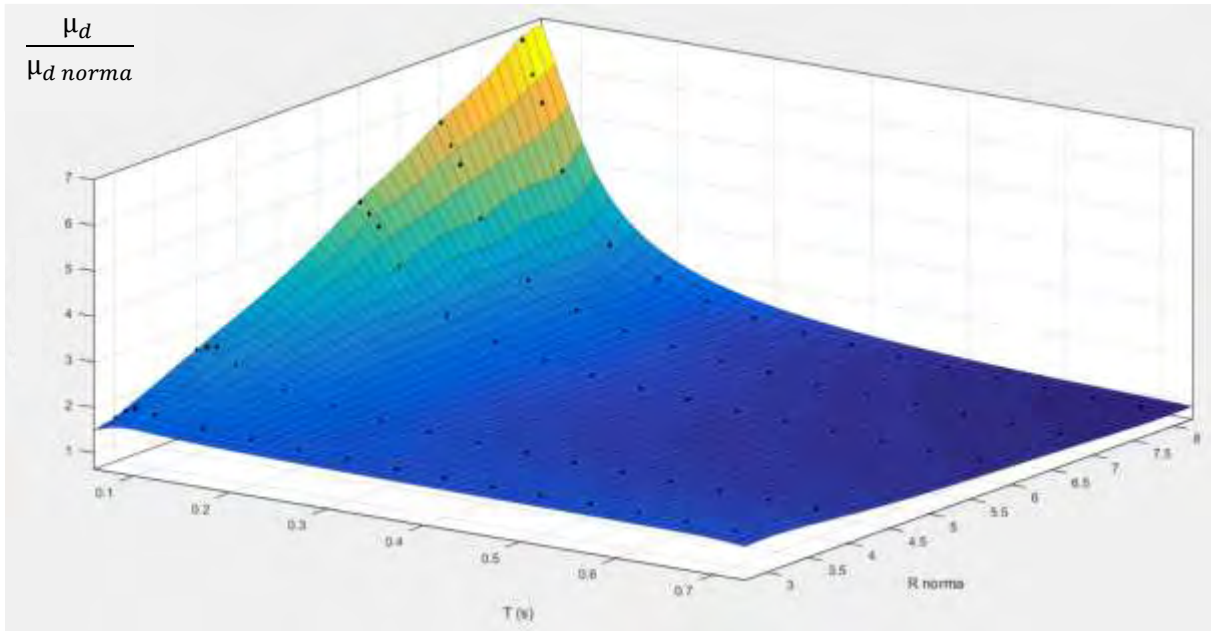


Figura 4.46: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R en 3D

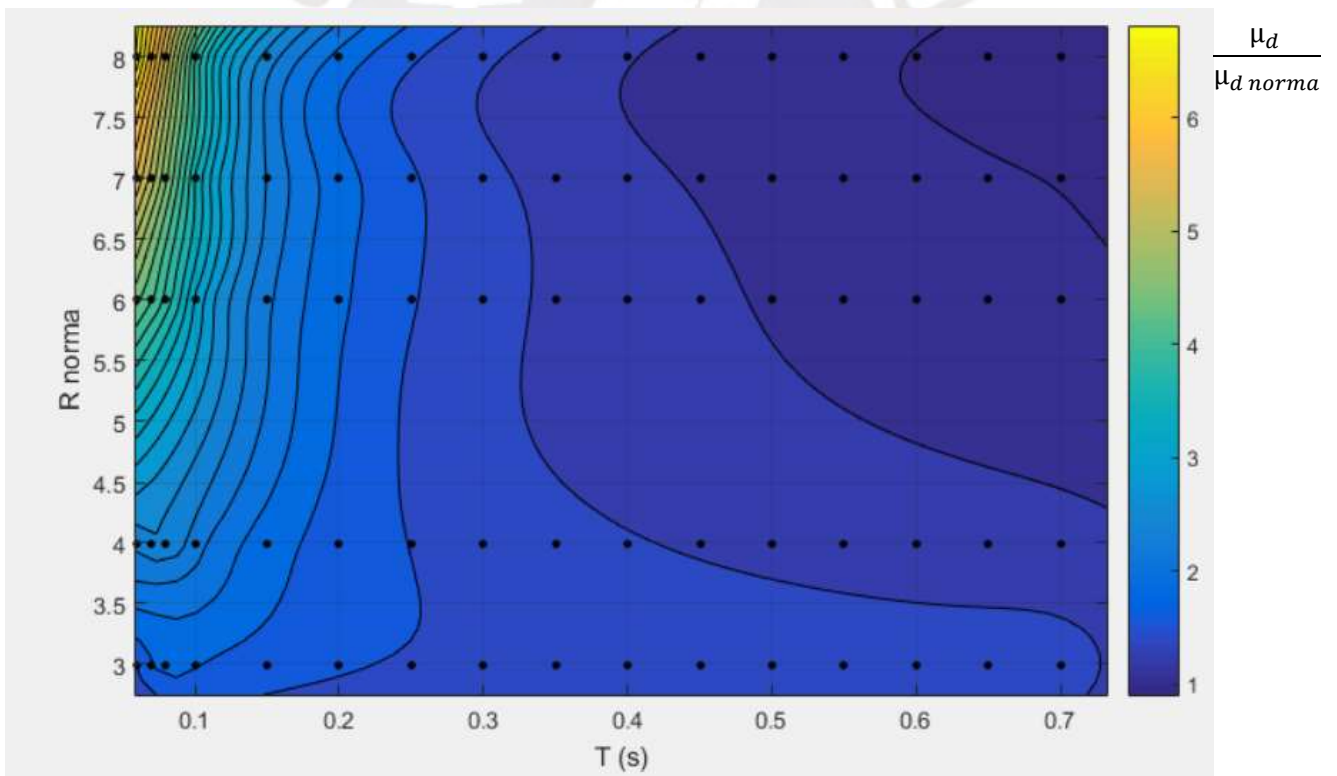


Figura 4.47: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R en 2D

En los gráficos de la Figura 4.44 a la Figura 4.47 se aprecia que el cociente de la ductilidad demanda de emplear las ecuaciones de ajuste y la ductilidad de la norma es mayor mientras más bajo es el periodo de análisis (principalmente para los periodos inferiores a 0.2 s) y también se aprecia que este cociente se incrementa mientras mayor es el factor de reducción

empleado. Para la dirección de análisis EW este cociente toma el valor máximo de 5.33 (para $T=0.06$ y R de la norma =8) mientras que para la dirección de análisis NS este cociente toma el valor máximo de 6.72 (para $T=0.06$ y R de la norma =8).

Además de los gráficos en 3D se realizaron gráficos bidimensionales para cada periodo de análisis donde se muestra el cociente de la ductilidad demandada de emplear las ecuaciones de ajuste y la ductilidad de la norma. De los gráficos presentados de la Figura 4.48 a la Figura 4.55 se aprecia con mayor claridad que la demanda de ductilidad estimada por la norma es de 1.62 a 5.43 veces menor que la ductilidad demandada esperada de acuerdo al ajuste realizado para la dirección de análisis EW. De acuerdo con los gráficos presentados de la Figura 4.56 a la Figura 4.63 se aprecia que la demanda de ductilidad estimada por la norma es de 1.62 a 6.72 veces menor que la ductilidad demandada esperada de acuerdo al ajuste realizado para la dirección de análisis NS.

Para la dirección de análisis EW se aprecia que la ductilidad demandada es mayor mientras mayor sea el factor de reducción para periodos menores a 0.25 s (ver de la Figura 4.48 a la Figura 4.54). Para el periodo de 0.30 s (límite empleado para realizar el ajuste Figura 4.55) ya se aprecia que la ductilidad demandada no se incrementa a mayor factor de reducción R .

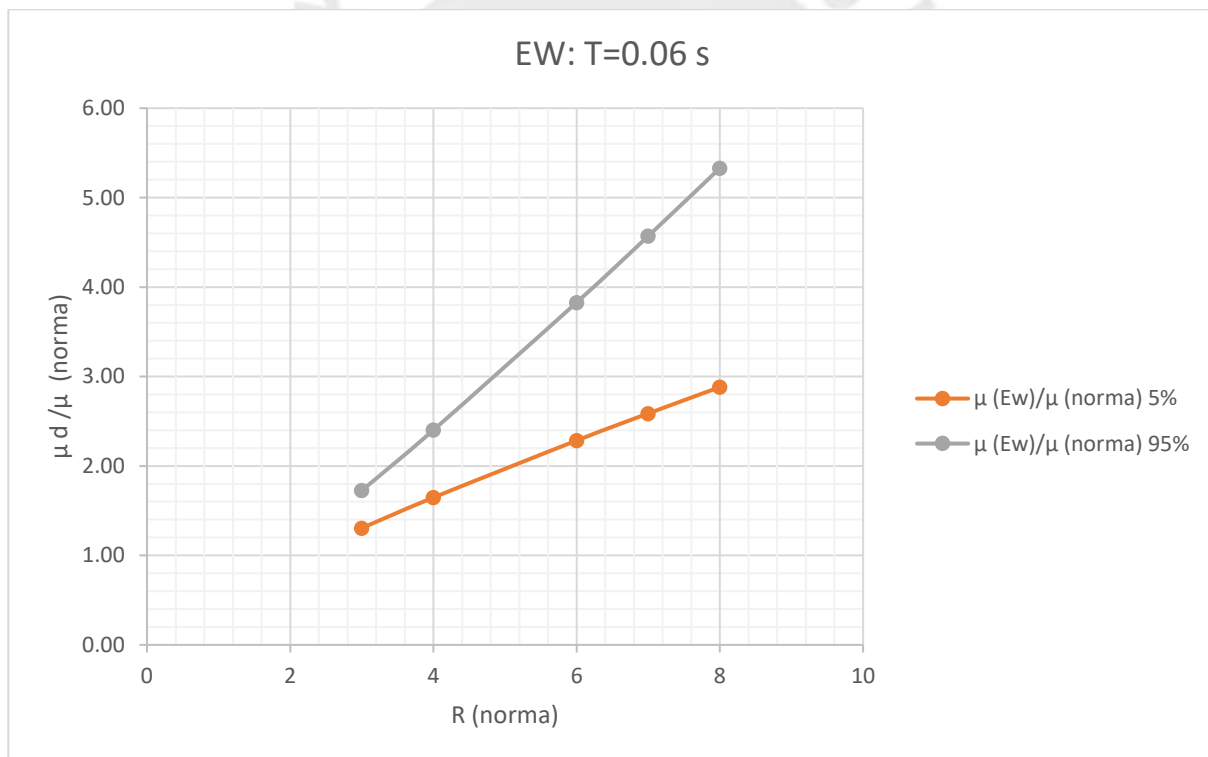


Figura 4.48: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de $T=0.06s$.

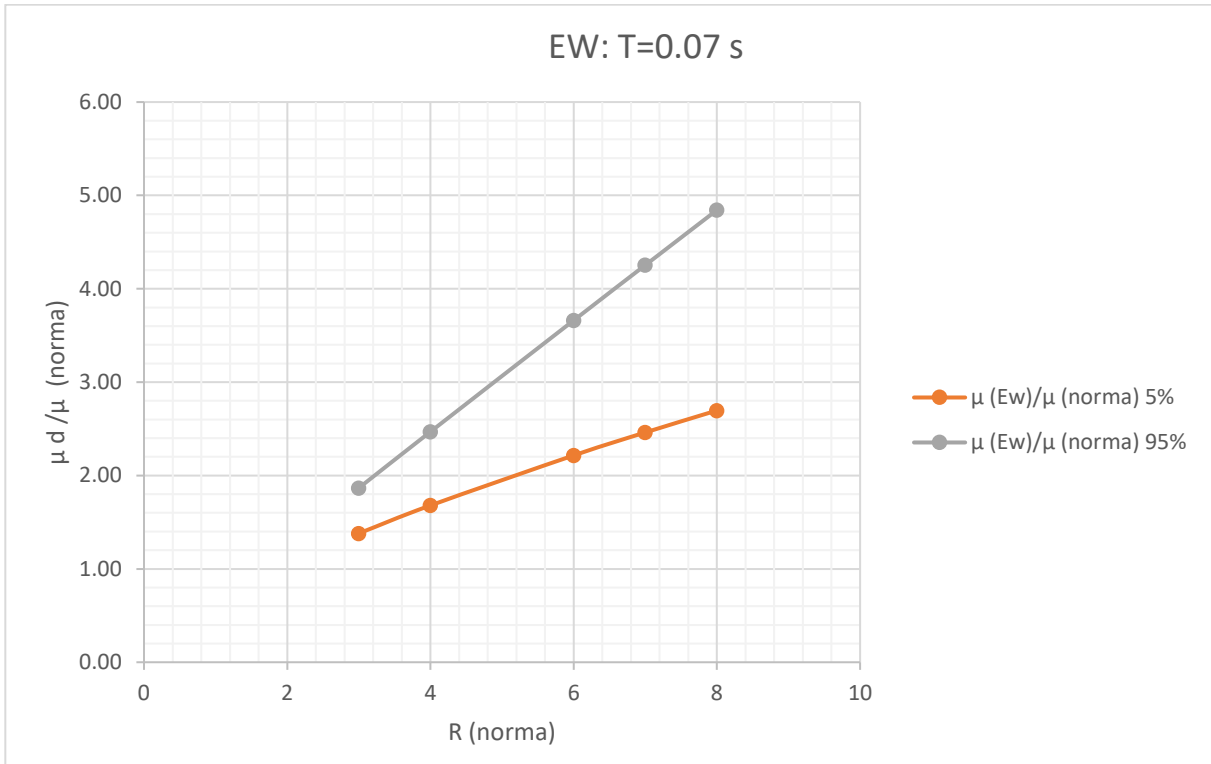


Figura 4.49: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.07s.

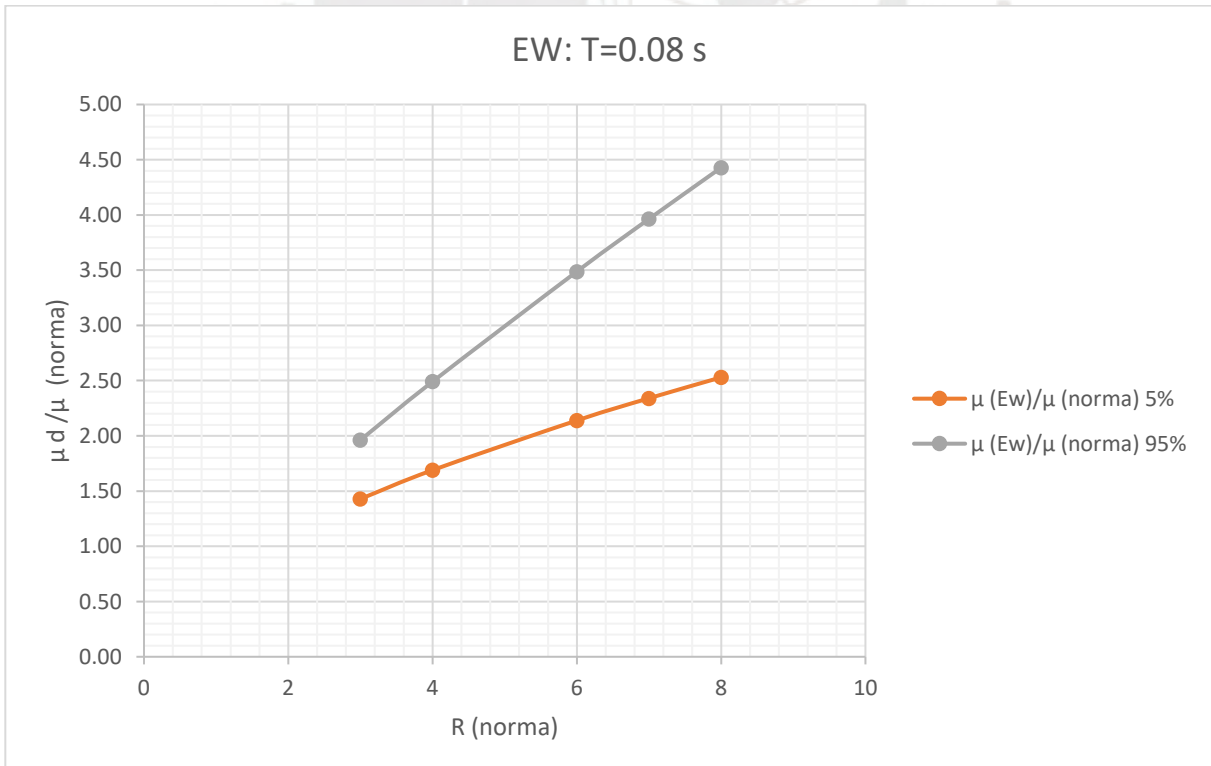


Figura 4.50: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.08s.

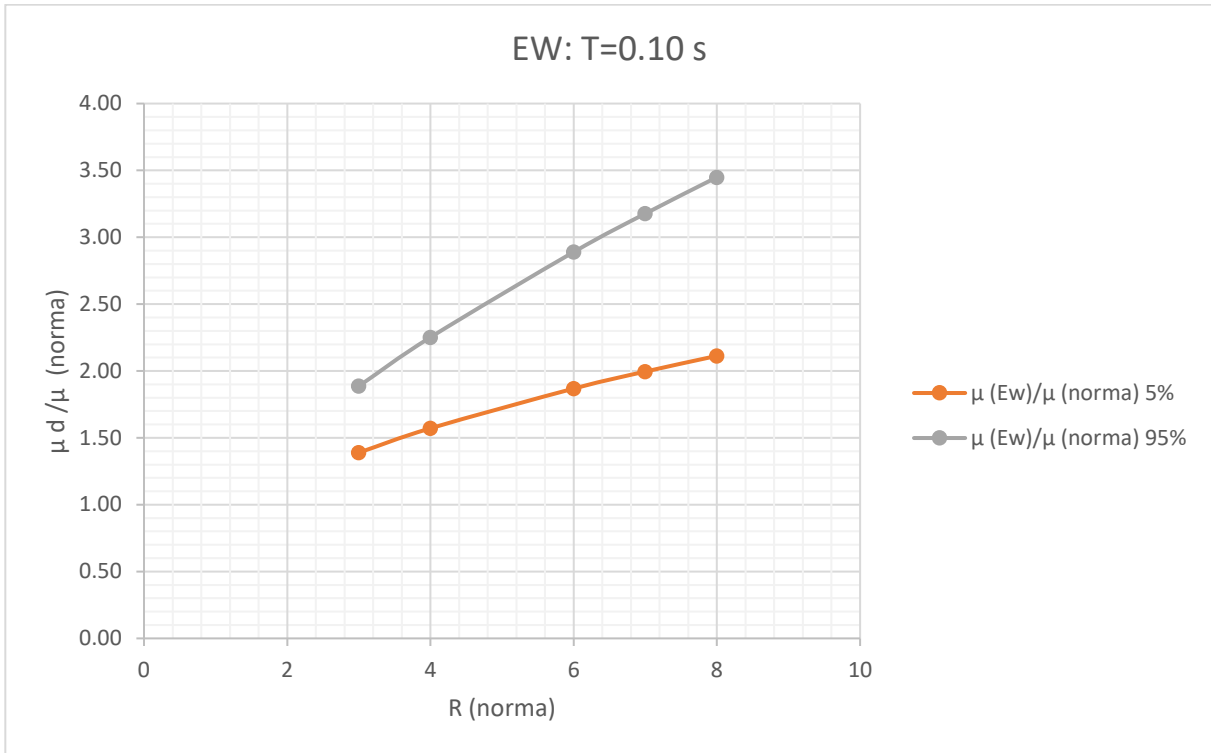


Figura 4.51: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.10s.

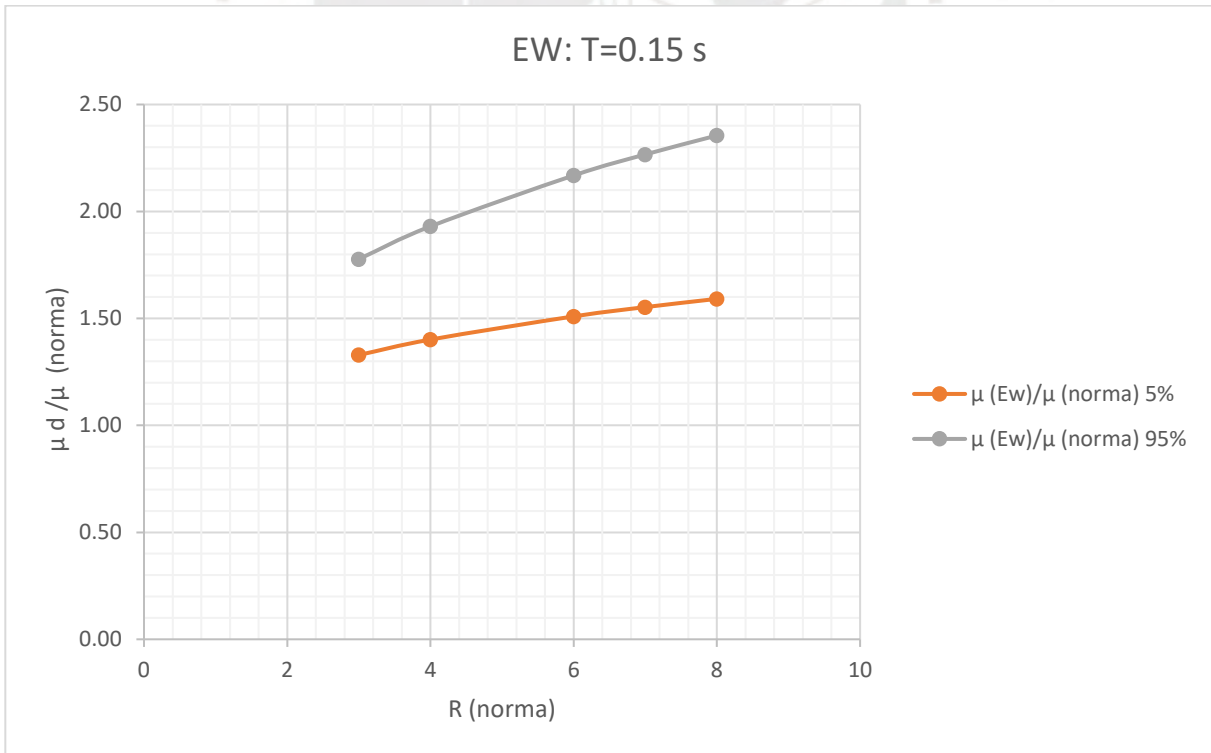


Figura 4.52: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.15s.

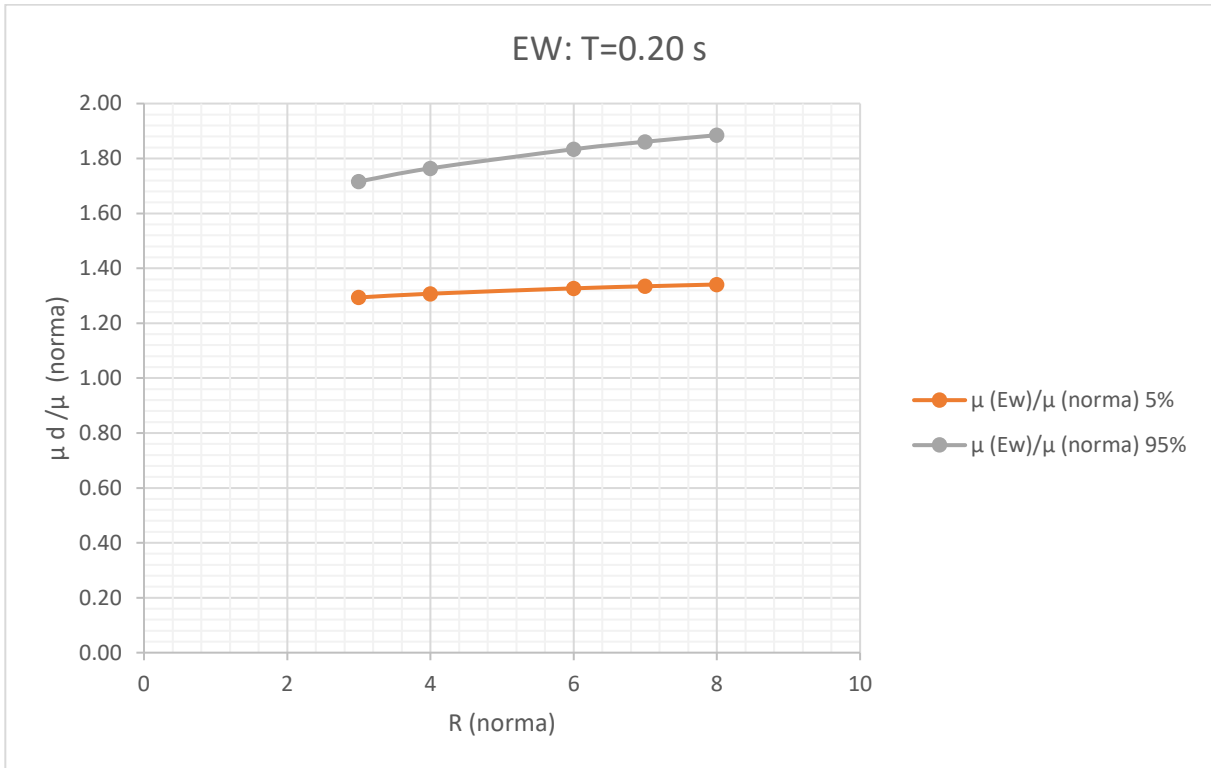


Figura 4.53: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.20s.

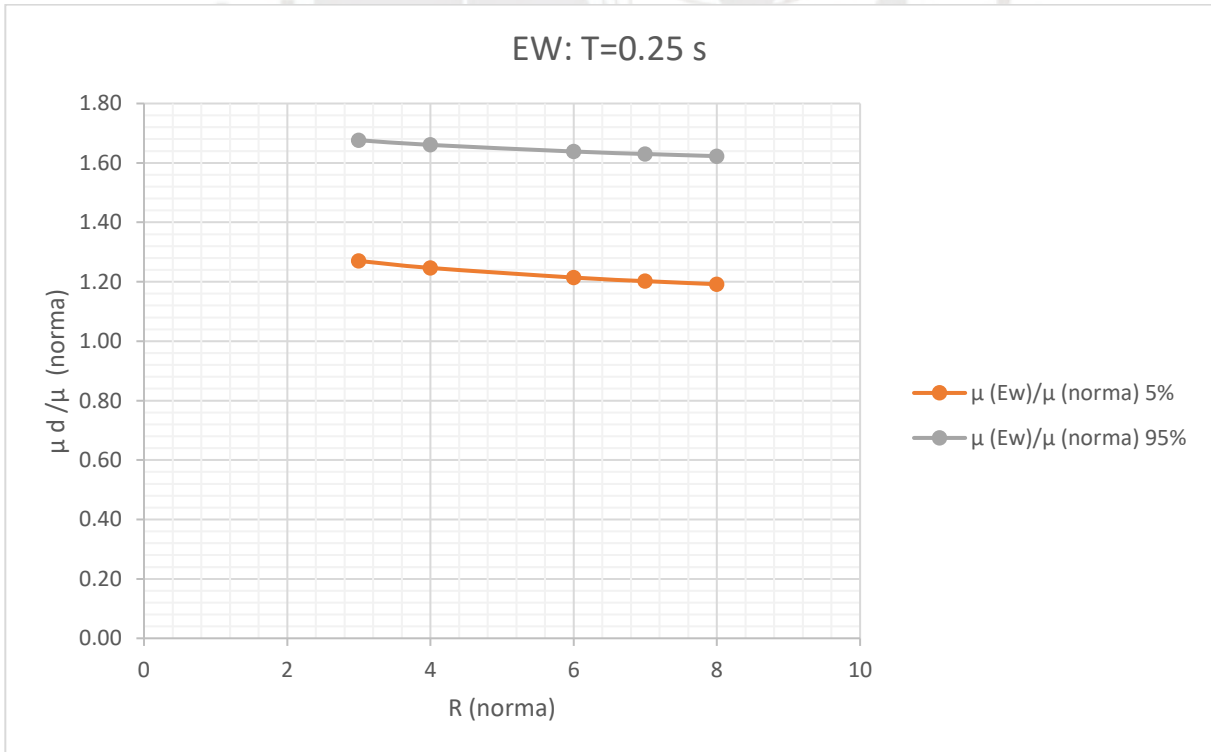


Figura 4.54: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.25s.

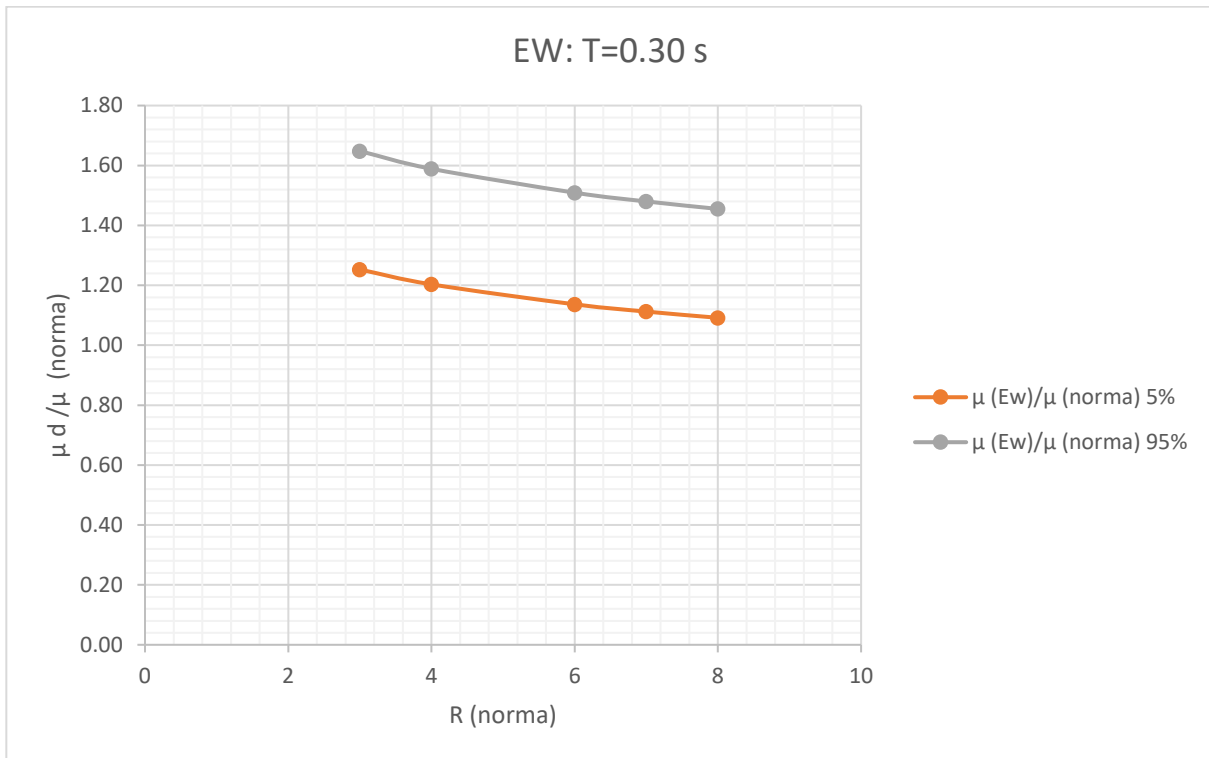


Figura 4.55: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis EW intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.30s.

Para la dirección de análisis NS se aprecia que la ductilidad demandada es mayor mientras mayor sea el factor de reducción para periodos menores a 0.25 s (ver de la Figura 4.56 a la Figura 4.62). Para el periodo de 0.30 s (límite empleado para realizar el ajuste Figura 4.63) ya se aprecia que la ductilidad demandada no se incrementa a mayor factor de reducción R.

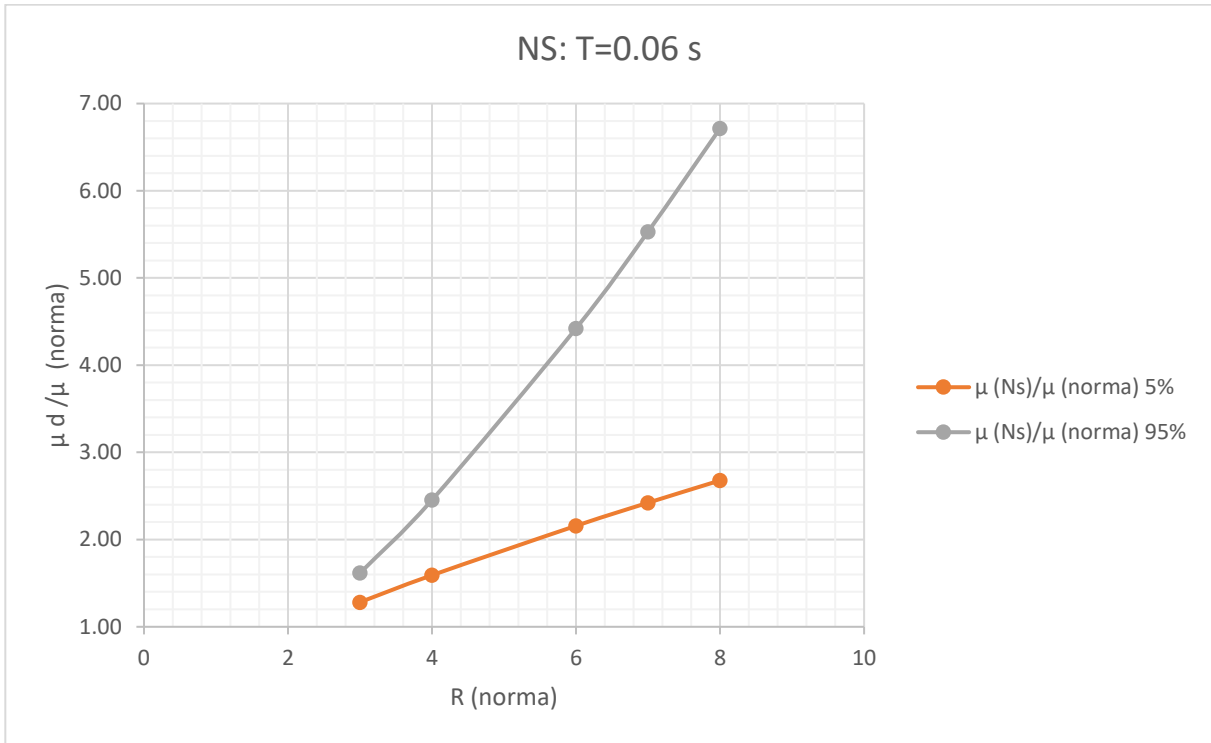


Figura 4.56: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.06s.

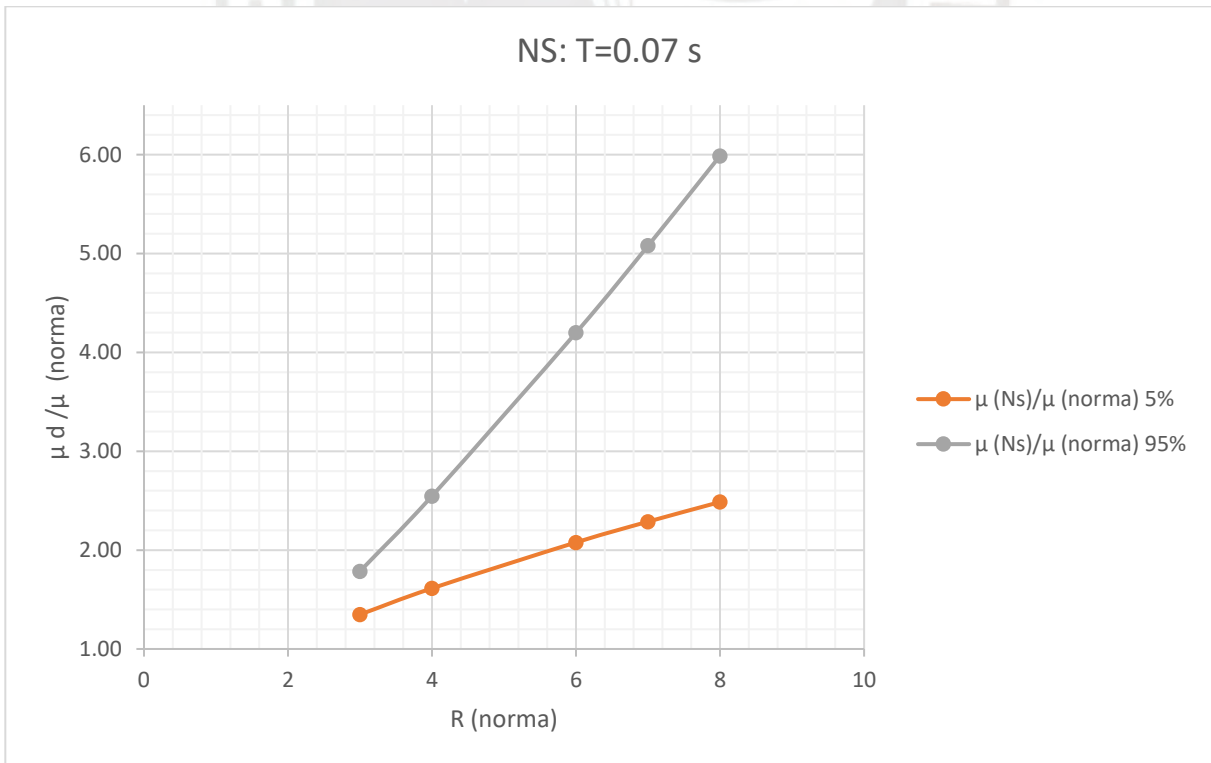


Figura 4.57: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.07s.

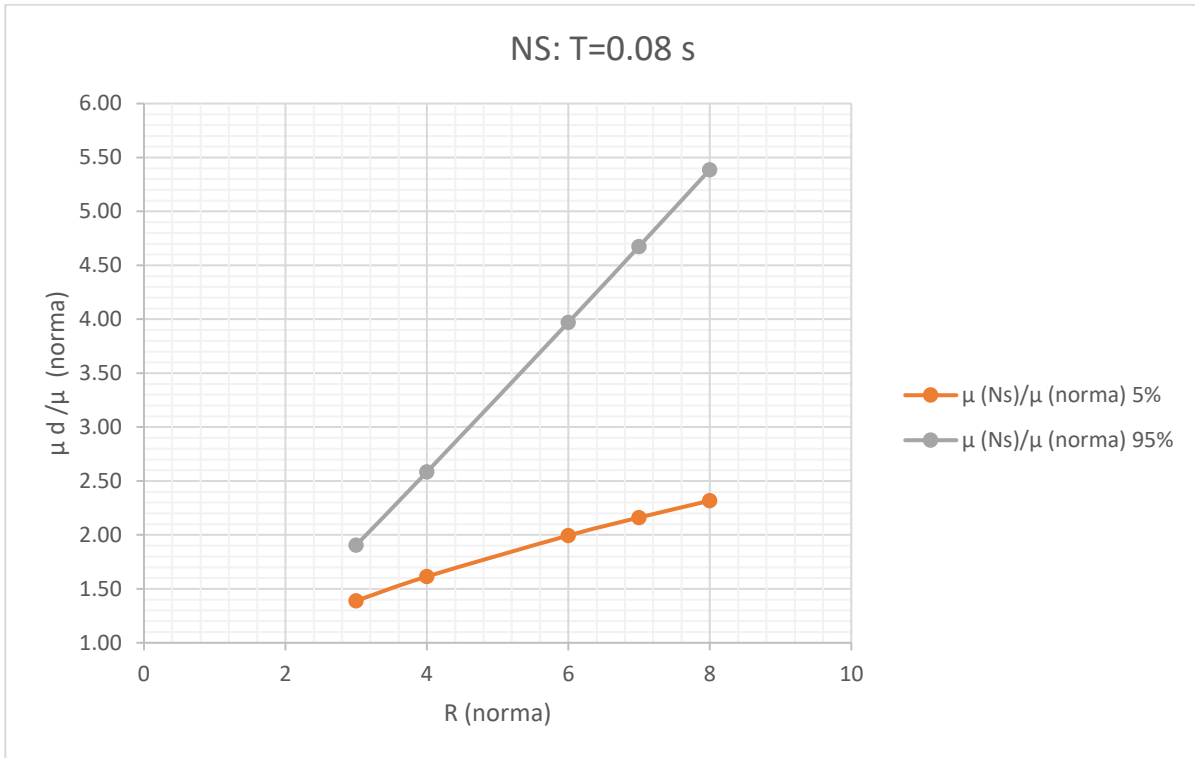


Figura 4.58: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.08s.

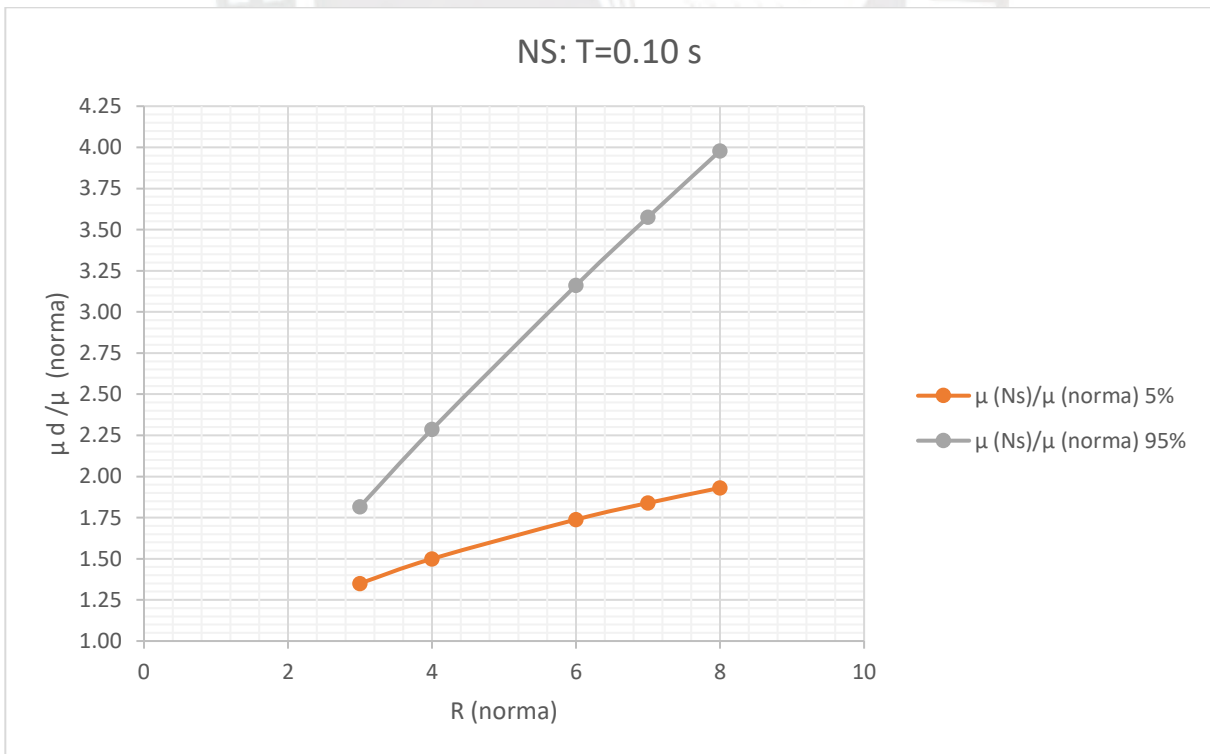


Figura 4.59: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.10s.

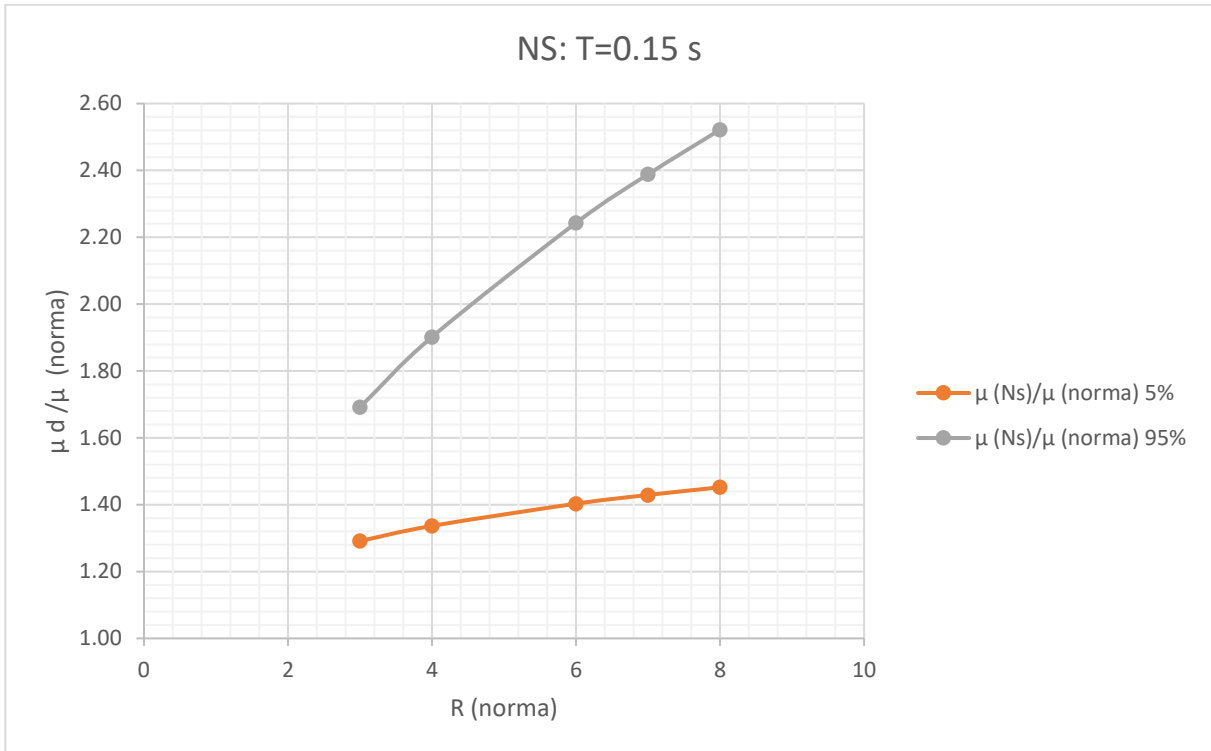


Figura 4.60: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.15s.

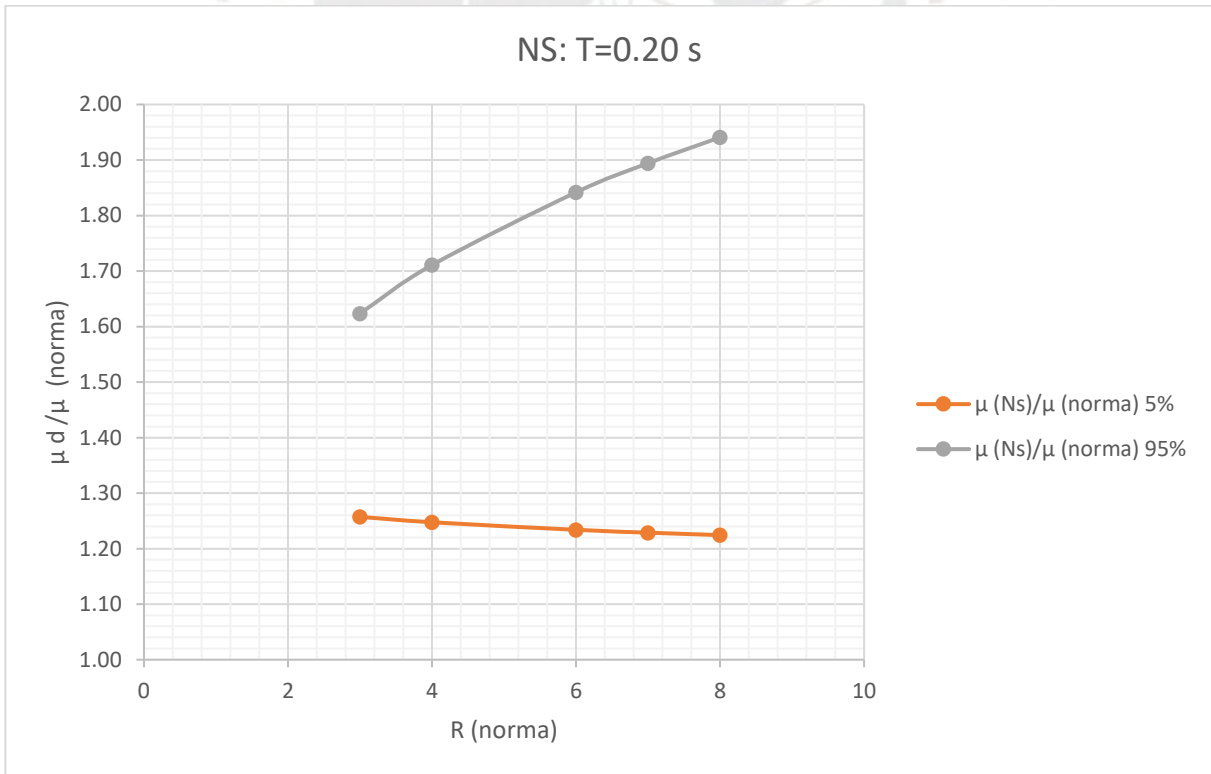


Figura 4.61: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.20s.

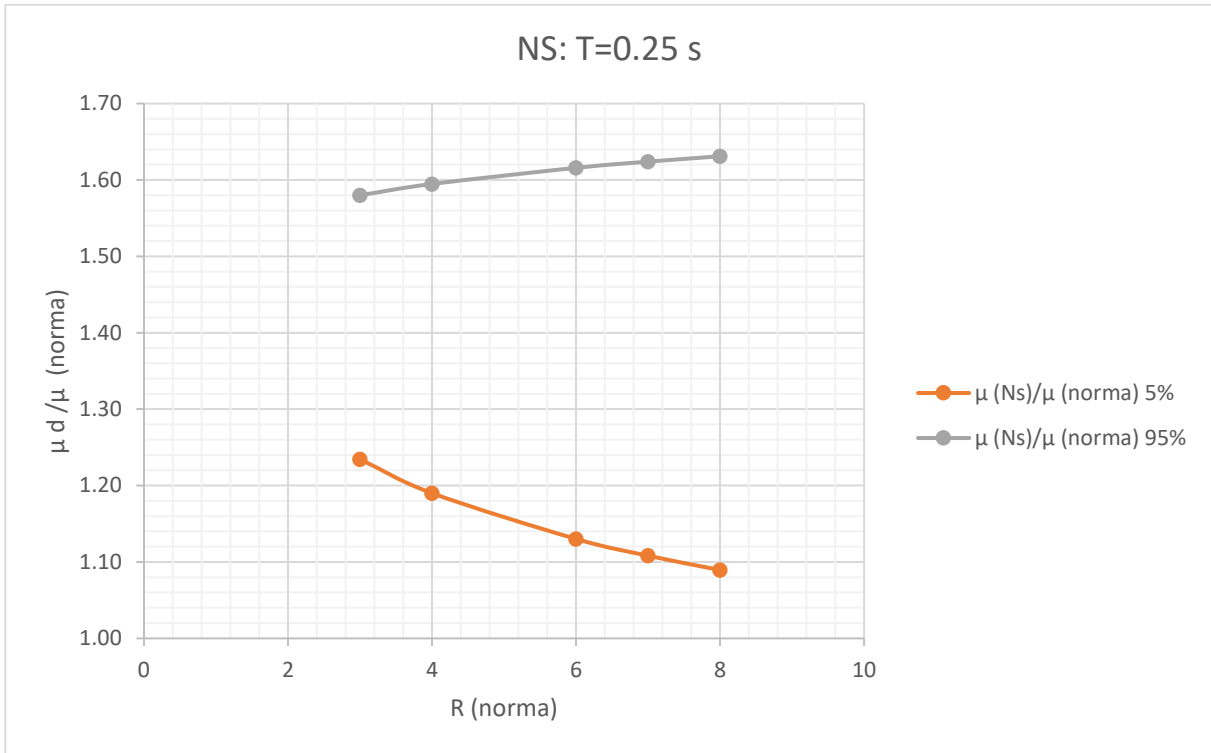


Figura 4.62: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.25s.

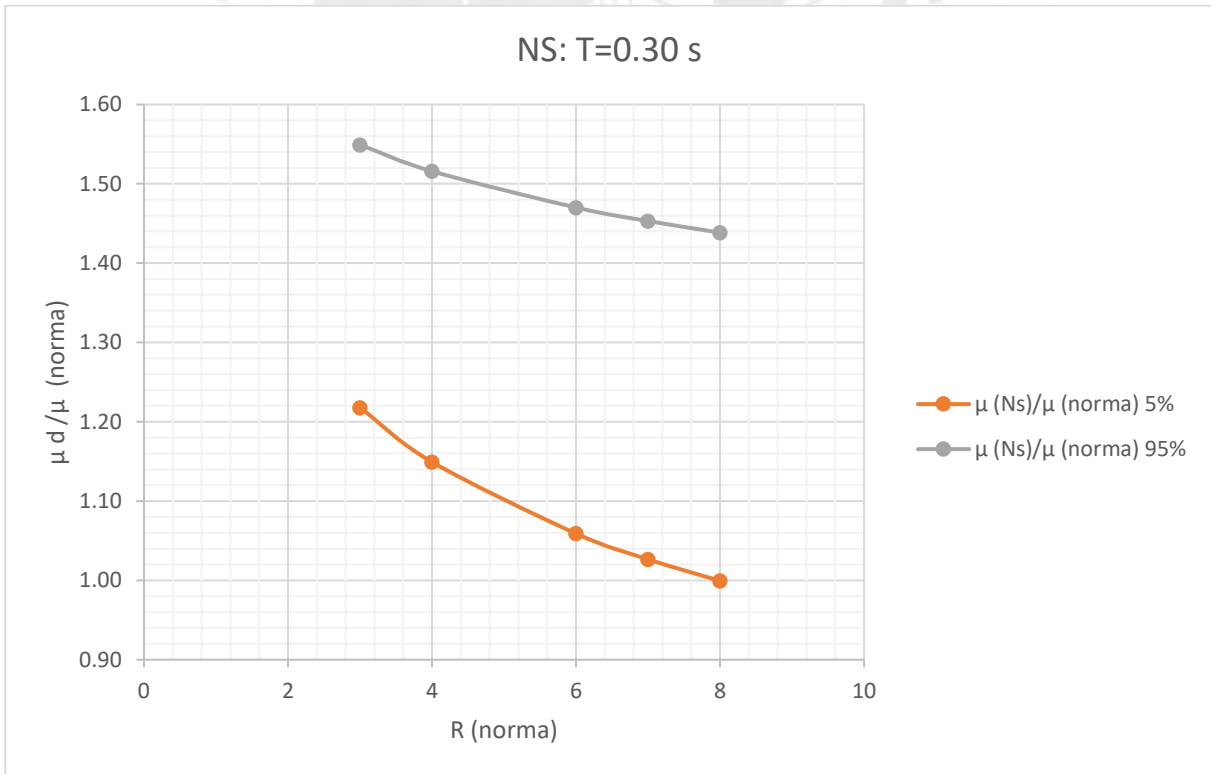


Figura 4.63: Grafico de relación entre ductilidad de la norma y ductilidad del análisis en dirección de análisis NS intervalo de confianza del 90% y R de la norma para un periodo de T=0.30s.

4.4. Expresión Sugerida.

Para el cálculo de la expresión sugerida se tienen 2 escenarios. El primero sería para el diseño con el espectro de la plataforma plana de diseño de la norma peruana (ver Figura 4.9) y el segundo escenario sería si en el diseño se emplea un espectro con rampa creciente (ver Figura 4.10).

Para el primer escenario la ductilidad demanda para los sismos peruanos en la zona de periodos cortos se expresa de esta forma:

$$\mu_d = \alpha_1 \left(\frac{R_{norma}}{\Omega * \Omega_{esp}} \right)^{\beta T^\lambda}, \text{ para } T \leq 0.25s. \quad \text{Eq. 4.5}$$

Para el segundo escenario con un espectro con pendiente creciente cuyo valor de "C" va de 1 a 2.5 para periodos entre 0 y 0.2Tp, la expresión sugerida tendrá la forma indicada a continuación ya que la Ω_{esp} toma un valor constante de 1.

$$\mu_d = \alpha_1 \left(\frac{R_{norma}}{\Omega} \right)^{\beta T^\lambda}, \text{ para } T \leq 0.25s. \quad \text{Eq. 4.6}$$

Para ambos escenarios se han elegido los coeficientes que brindan los resultados más conservadores, por ello se decidió emplear los coeficientes que corresponden a la superficie superior del ajuste en la dirección NS del análisis del intervalo de confianza del 90%. Con el uso de estos coeficientes se espera que sólo el 5% de los resultados de ductilidad demandada excedan de los valores calculados con las expresiones sugeridas. Además de acuerdo con la Tabla 4.4 para los R_{norma} los valores de R_μ son menores a 3.2 por lo que de acuerdo a lo indicado en el ítem 3.2 el rango de periodos desde los cuales el cociente μ_d/R_Ω es mayor a 1 va desde el periodo $T=0.25s$ al periodo $T=0.4$ s para la dirección de análisis NS por lo que conservadoramente se eligió el periodo $T=0.25$ s como el límite para la ecuación de ajuste propuesta.

Tabla 4.5: Coeficientes elegidos para expresión sugerida.

	NS
α	1.18
β	0.45
λ	-0.61

La metodología de diseño convencional emplea el coeficiente R_{norma} como valor de entrada y no la ductilidad demandada. Por ello, para que las expresiones propuestas sean prácticas y aplicables se han reordenado de modo que se obtengan los nuevos factores de reducción para la zona de periodos cortos (R_c) en función de la ductilidad demandada definida en la ecuación Eq. 4.4. El emplear el factor de reducción R_c generaría la construcción de espectros de ductilidad constante.

De los dos escenarios planteados se eligió y reordenado la ecuación del segundo escenario (Eq. 4.6) que brinda factores de reducción menores y por ende mayores fuerzas de diseño. En Eq. 4.7 se muestra la Eq. 4.6 reordenada.

$$R_c = \Omega \left(\frac{\mu_d}{1.18} \right)^{\frac{T^{0.61}}{0.45}} \quad \text{Eq. 4.7}$$

Donde R_c es el factor de reducción de fuerzas sísmicas que reemplazaría el valor actual R_{norma} en la zona de periodos cortos. Reemplazando la Eq. 4.4 en la Eq. 4.7 y con los coeficientes de la Tabla 4.5 se obtiene:

$$R_c = \Omega \left(\frac{\alpha R_{norma}}{1.18 \Omega} \right)^{\frac{T^{0.61}}{0.45}}, \frac{\alpha R_{norma}}{\Omega} > 1 \text{ y } T < 0.25 \text{ s} \quad \text{Eq. 4.8}$$

La Eq. 4.8 está definida hasta el periodo $T=0.25$ s, para evitar saltos abruptos en el espectro se ha considerado generar una pendiente desde el valor espectral con R_c para $t=0.25$ hasta el valor de T_p . Con esta consideración y con la Eq. 4.8 se han construido espectros de ductilidad constante ver Figura 4.64 a la Figura 4.67.

De la evaluación de la ductilidad demandada en la zona de periodos largos realizada en el ítem 3.2 se encontró que el factor α indicado en la norma debería ajustarse como se indica en las ecuaciones Eq. 4.9 y Eq. 4.10 para tener una probabilidad de excedencia de sólo el 5% de los casos. Teniendo en cuenta los valores de R_μ de la relación con los factores de reducción R_{norma} indicados en la Tabla 4.4 se definen los valores de α :

$$\alpha = \mu_d / R_\mu = 1 ; \text{ para } R_{norma} \leq 6 \quad \text{Eq. 4.9}$$

$$\alpha = \mu_d / R_\mu = 0.9 ; \text{ para } R_{norma} > 7 \quad \text{Eq. 4.10}$$

Se han construido los espectros de ductilidad constante para los R_{norma} descritos en la Tabla 4.4 ver de la Figura 4.64 a la Figura 4.68. En la Figura 4.64 y Figura 4.65 se muestran los espectros para valores de R_{norma} de 3 y 4 respectivamente, en estos espectros se aprecia en la zona inicial de estos espectros de ductilidad constante que los valores de aceleración espectral son menores a los que se indica en la plataforma de diseño actual de la norma, en estos casos deberá considerarse como mínimo el valor de aceleración espectral de la norma actual. Para el resto de espectros de ductilidad constante construidos con valores de R_{norma} de 6, 7 y 8 (Figura 4.66, Figura 4.67 y Figura 4.68 respectivamente) se aprecia que todos los valores de aceleración son mayores a los del espectros con la norma actual.

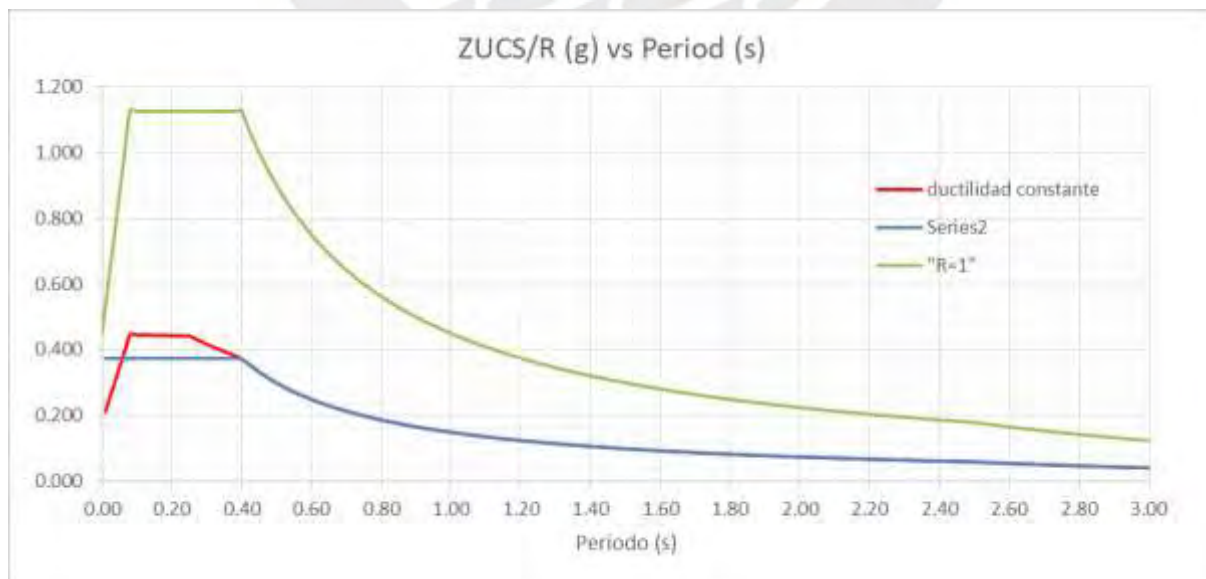


Figura 4.64: Espectro elástico ($R=1$), Espectros de ductilidad constante y espectro de la norma con pendiente constante para un R de 3, $\Omega = 2.5$ y $\alpha=1$.

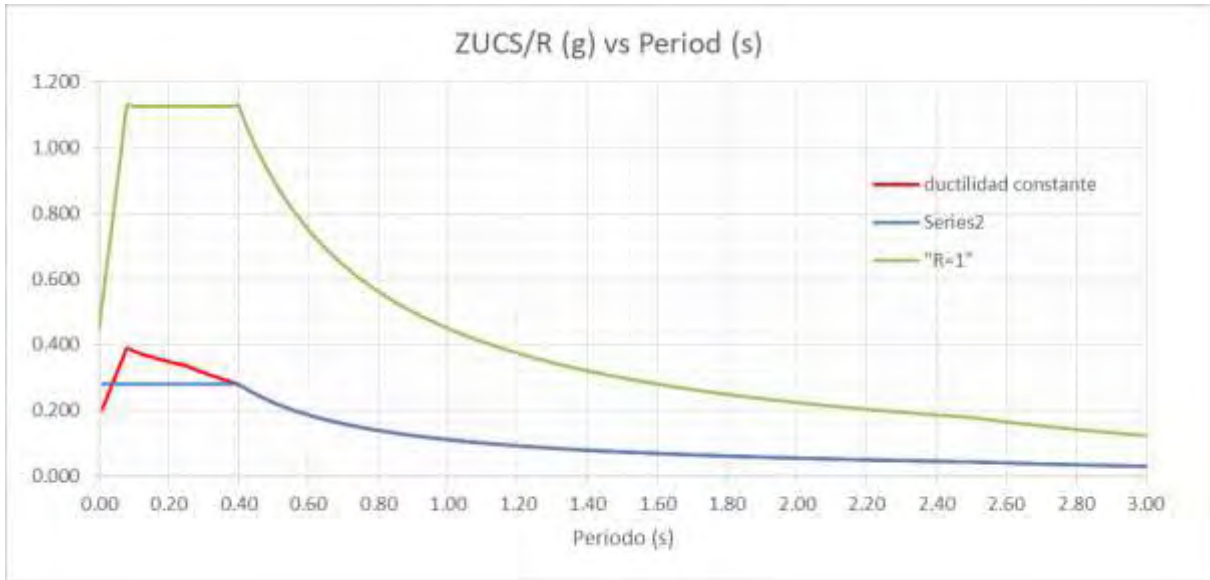


Figura 4.65: Espectro elástico ($R=1$), Espectros de ductilidad constante y espectro de la norma con pendiente constante para un R de 4, $\Omega = 2.5$ y $\alpha=1$.

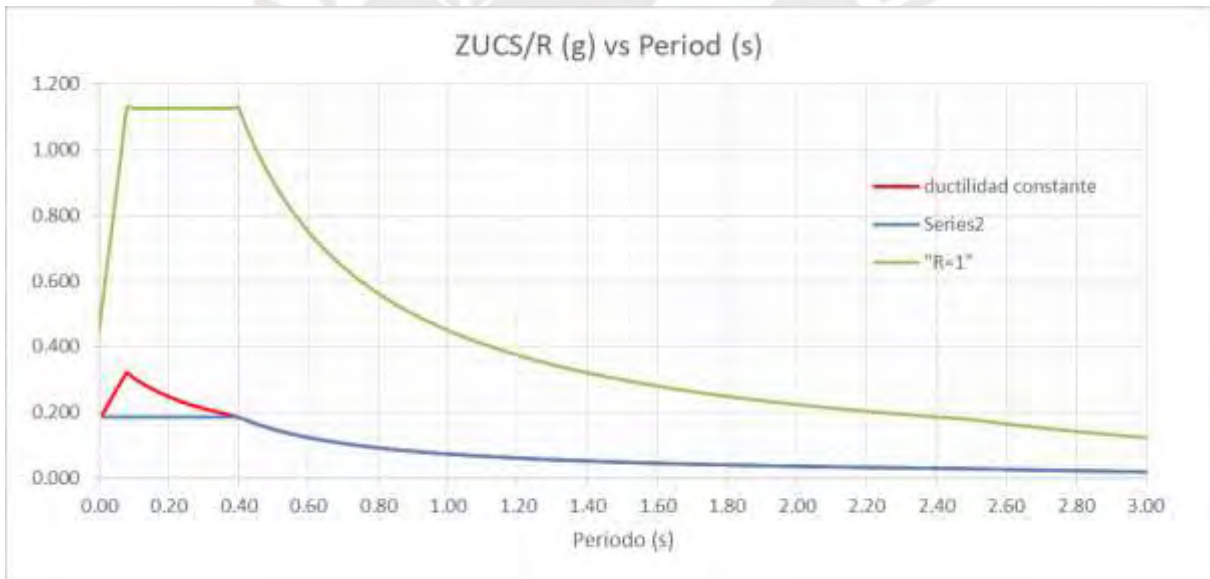


Figura 4.66: Espectro elástico ($R=1$), Espectros de ductilidad constante y espectro de la norma con pendiente constante para un R de 6, $\Omega = 2.5$ y $\alpha=1$.

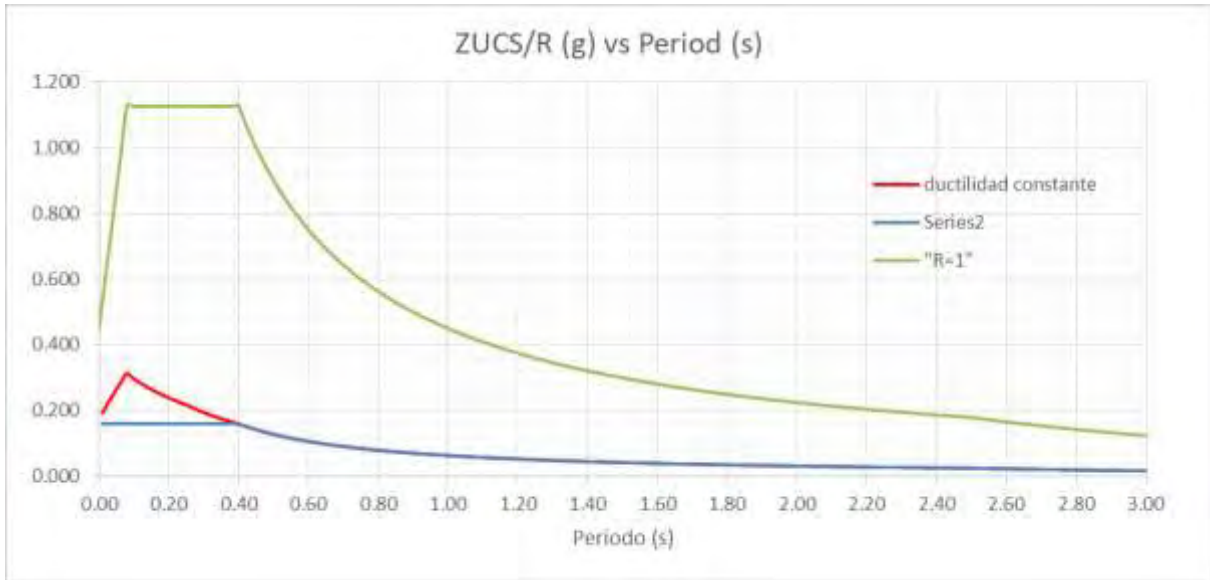


Figura 4.67: Espectro elástico ($R=1$), Espectros de ductilidad constante y espectro de la norma con pendiente constante para un R de 7, $\Omega = 2.5$ y $\alpha=0.90$.

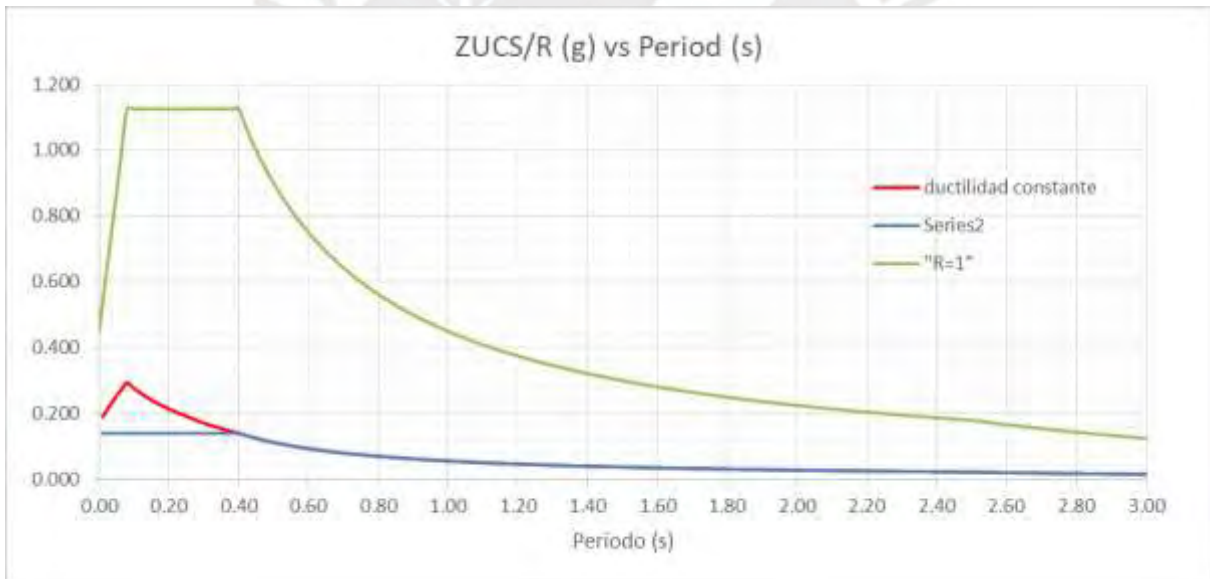


Figura 4.68: Espectro elástico ($R=1$), Espectros de ductilidad constante y espectro de la norma con pendiente constante para un R de 8, $\Omega = 2.5$ y $\alpha=0.90$.

Cabe añadir que es necesario que el valor de sobrerresistencia (Ω) sea validado con investigaciones posteriores que indiquen los resultados esperados para las estructuras de acuerdo a la realidad peruana. Adicionalmente se requiere observar que ocurre para las estructuras en otros tipos de terreno tipo S2, S3 y S4.

CAPÍTULO 5.- Conclusiones y recomendaciones.

1. Emplear la norma peruana en el diseño estructural para estructuras de periodo corto, entre 0 y 0.25 s, subestima los desplazamientos si los comparamos con calculados empleando estructuras inelásticas de 1GLD. Los desplazamientos inelásticos, así como ductilidad demanda, son de 1.62 a 6.72 veces los estimados con la norma actual para estructuras de periodo corto. Al ser estructuras de periodo corto sus desplazamientos son pequeños (del orden de los 2 cm) por lo que la separación o junta sísmica mínima propuesta en la norma peruana sigue siendo suficiente para garantizar la seguridad. Sin embargo sería necesario evaluar que las estructuras tengan la capacidad de desarrollar la ductilidad demandada.
2. Es necesario implementar el uso de espectros de ductilidad constante en nuestra norma para que todas las estructuras, sin importar cuál sea su periodo, tengan la misma seguridad estructural en cuanto a ductilidad demanda. Para ello es necesario emplear la expresión como la propuesta en el CAPITULO 4 con R_c (factor de reducción para periodos cortos) variable en función del periodo de la estructura y el factor de reducción convencional R de la norma peruana. (Eq. 4.8)
3. Para estructuras de periodo largo la metodología de diseño de la norma peruana está subestimando los desplazamientos inelásticos. Los desplazamientos inelásticos, de acuerdo a la norma peruana, se calculan multiplicando los resultados del análisis elástico por $0.75R$ o $0.85R$ sin embargo de acuerdo a lo indicado en el ítem 3.2 y el ítem 4.4 se deberían multiplicar por 1 para valores de R menores a 6 y por 0.9 para valores de R mayores a 7.
4. Se recomienda investigar los valores de sobrerresistencia de las estructuras peruanas con la finalidad de obtener valores representativos que mejoren la predicción de los resultados para los diferentes sistemas estructurales peruanos.
5. Es recomendable realizar una investigación similar para otros tipos de suelo (S2 y S3 de acuerdo con la norma peruana E.030) de modo que se verifiquen los coeficientes calculados en esta tesis son aplicables o si requieren ser modificados dependiendo del tipo de suelo analizado.

REFERENCIAS

- Mahmoudi, M. (2009). Determining the Maximum Lateral Displacement Due to Sever Earthquakes without Using Nonlinear Analysis. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 38. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/242524243_Determining_the_Maximum_Lateral_Displacement_Due_to_Sevel_Earthquakes_without_Using_Nonlinear_Analysis
- Fajfar, P. (2000). Un método de análisis no lineal para el diseño sísmico basado en el rendimiento. *Espectros de terremotos*, 16 (3), 573–592. <https://doi.org/10.1193/1.1586128>
- Fajfar, P., Marusic, D. & Perus, I. (2005). *The extension of the N2 Method to Asimetric buildings*. Recuperado de <http://eventos.iingen.unam.mx/SimposioLE/Documentos/Fajfar.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Diseño sismorresistente (Resolución Ministerial 355-2018-VIVIENDA). <https://drive.google.com/file/d/1g7suGFfURyqny2z7yaVpCuzvCndZP4/view?usp=sharing>
- Miranda, E. (1993) Evaluation of site dependent Elastic Seismic Design Spectra. *Journal of Structural Engineering*. Vol. 119. N° 5: 1319 – 1338. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1993\)119:5\(1319\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:5(1319))
- Miranda, E. & Bertero, V. (1994). Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake-Resistant Design. *Earthquake Spectra*. doi: 10.1193 / 1.1585778
- Miranda, E. (1995), Observaciones a los Criterios de Diseño Sísmico del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. *Revista de Ingeniería Sísmica, SMIS*, No. 50, pp.15-30. doi: 10.18867/ris.50.264
- Aguiar, R. (2008). Propuestas sobre el factor de reducción de resistencia por ductilidad y aplicación para el ecuador. *Boletín Técnico*, 46(1), 49-69. Recuperado el 28 de mayo

de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2008000100004&lng=es&tlng=es.

Aguiar, R. (2017) *Factor de reducción de las fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado sin muros de corte Monografías de Ingeniería Sísmica*. Monografías de ingeniería Sísmica. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/28502/MIS58.pdf>

American Society of Civil engineers (2016). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. <https://www.asce.org/asce-7/>

Li, H., Yao, Y., Zheng, S., Cai, Y. & Lei, D. (2011). Baseline correction for digital strong-motion records by using the pre-event portion. *Geodesy and Geodynamics*. 2, 43-46. doi: 10.3724 / SP.J.1246.2011.00043.

Hu, G. & Lu, T. (2015). Review on Baseline Correction of Strong-Motion Accelerogram. *Revista Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Vol. 3, núm. 6, 309-314. doi: 10.11648 / j.ijsts.20150306.16

Trifunac, Mihailo D. (1971) Corrección de línea base cero de acelerogramas de movimiento fuerte. *Boletín de la Sociedad Sismológica de América*, 61 (5), 1201-1211. Recuperado de <https://resolver.caltech.edu/CaltechAUTHORS:20140826-131547732>

Boore, D. & Bommer, J. (2005). Processing of strong-motion accelerograms: Needs, options and consequences. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 25. 93-115. doi: 10.1016 / j.soildyn.2004.10.007.

OPENQUAKE. (2012) Caracterización de la vulnerabilidad sísmica utilizando curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño para algunas tipologías estructurales de hormigón armado. Recuperado de: <https://platform.openquake.org/vulnerability/view>

Universidad Nacional de Ingeniería. (2021). *Red acelerográfica Perú*. Recuperado de <http://www.red-acelerografica-peru.uni.edu.pe/es/page/history>

Universidad de Chile. (2021). *Centro sismológico nacional*. Recuperado de <http://evtdb.csn.uchile.cl>

SOFWARE

Software: Seismosignal [Software] (2018). Recuperado de

<https://seismosoft.com/products/seismosignal/>

Matlab R2015a (Versión 8.5.0.197613) [Software]. (2015)Recuperado de

<https://la.mathworks.com/>

Software: SeismoSpect [Software] (2018). Recuperado de

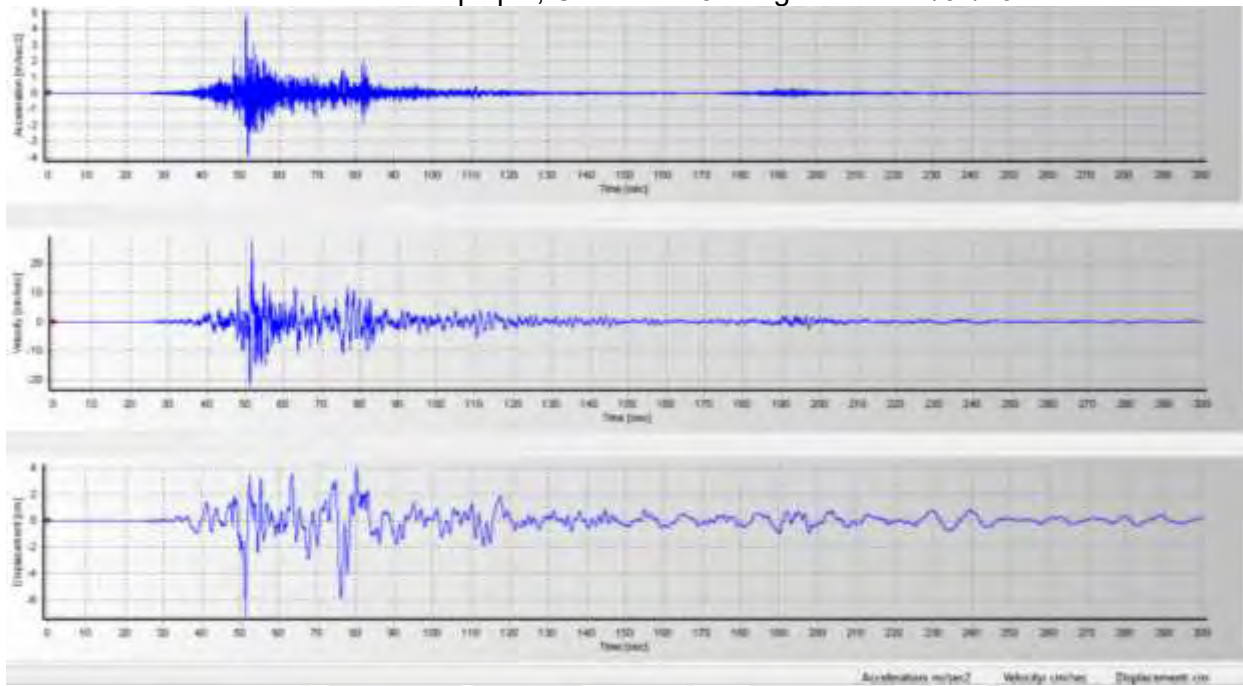
<https://seismosoft.com/products/seismospect/>



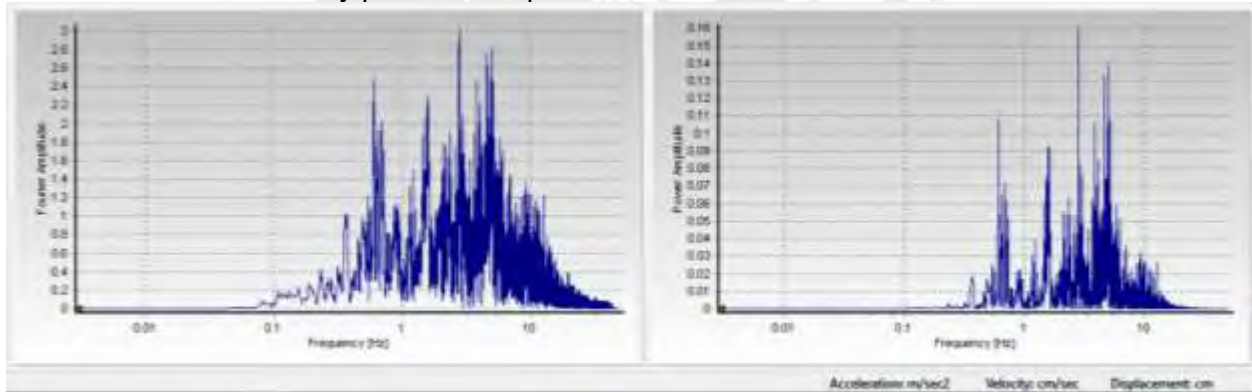
ANEXOS

Anexo 1: Señales corregidas empleadas dirección EW

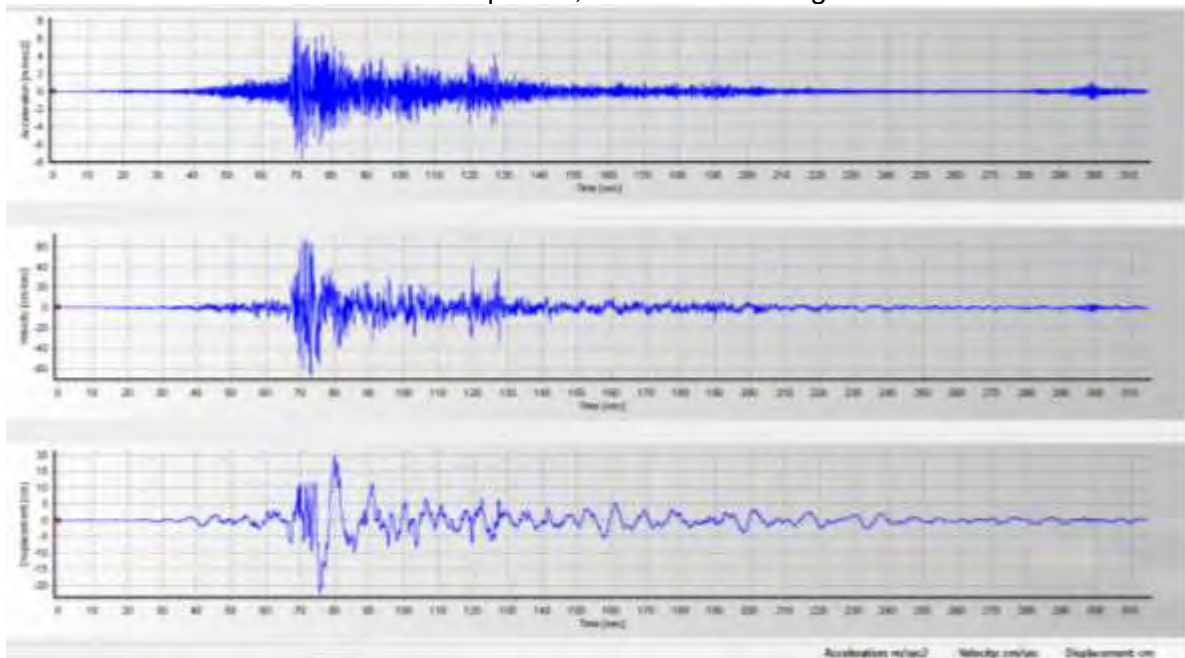
Señal S1: Señal de terremoto en Iquique, Chile. Mw=8.2 registrado el 1/04/2014



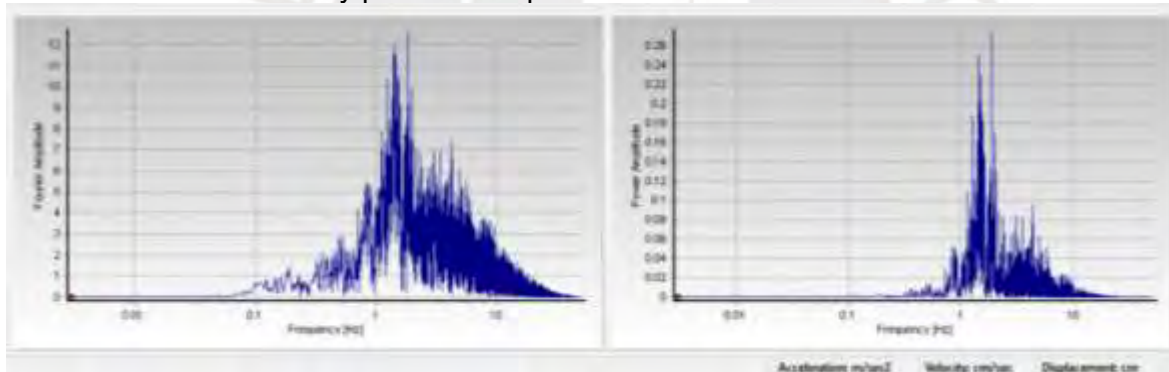
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S1



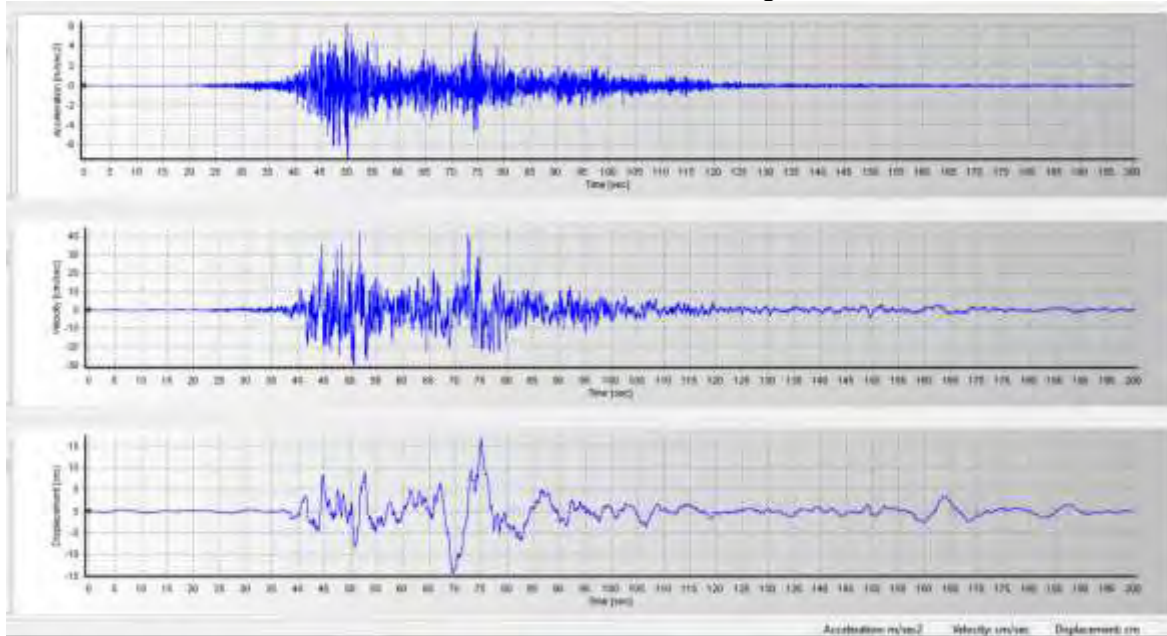
Señal S2: Señal de terremoto en Coquimbo, Chile. Mw=8.4 registrado el 16/09/2015.



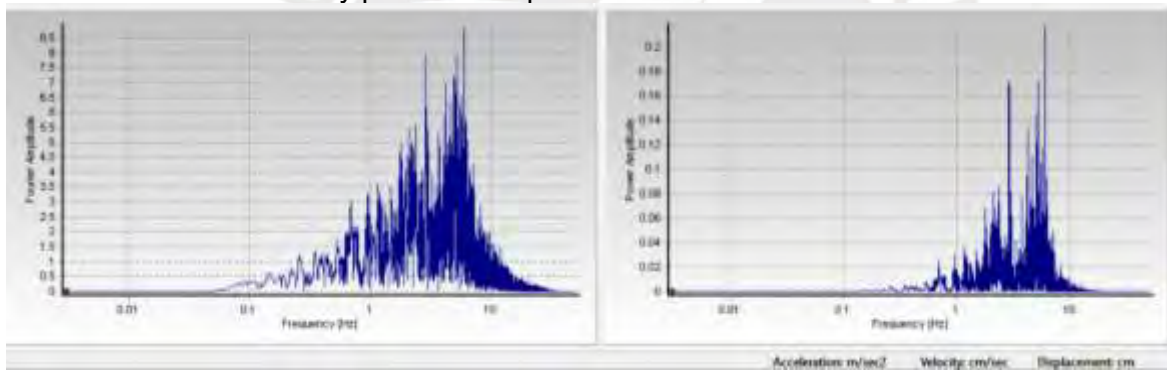
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S2



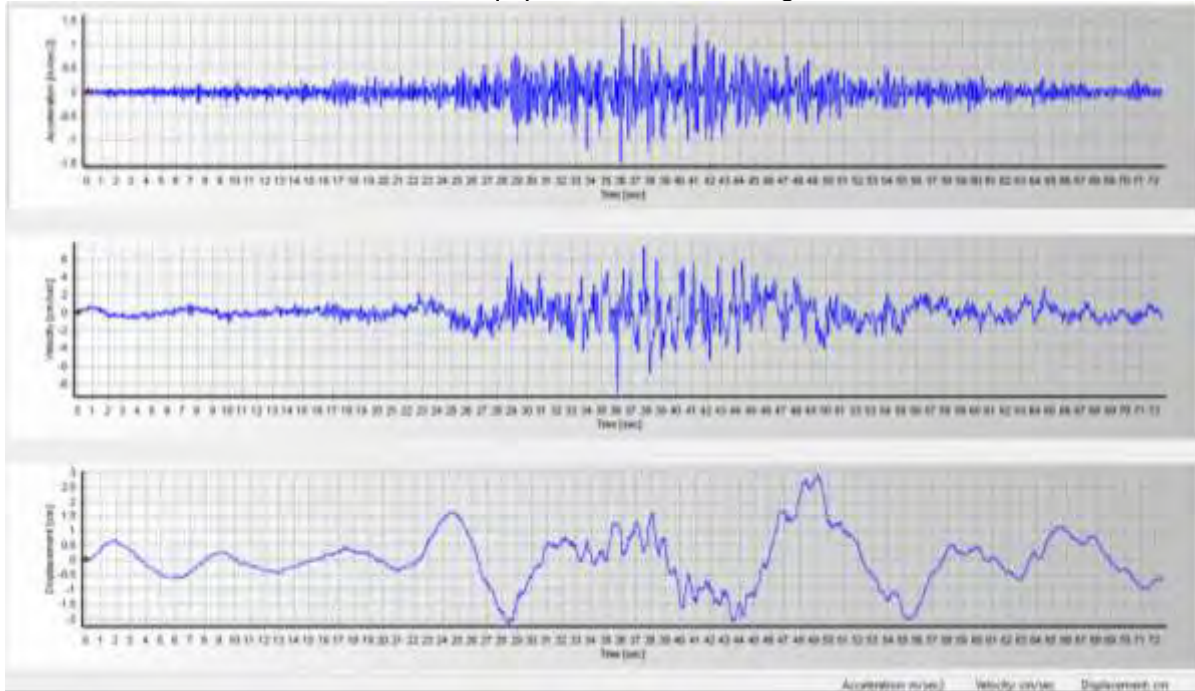
Señal S3: Señal de terremoto en Bio Bio, Chile. Mw 8.8 registrado el 27/02/2010.



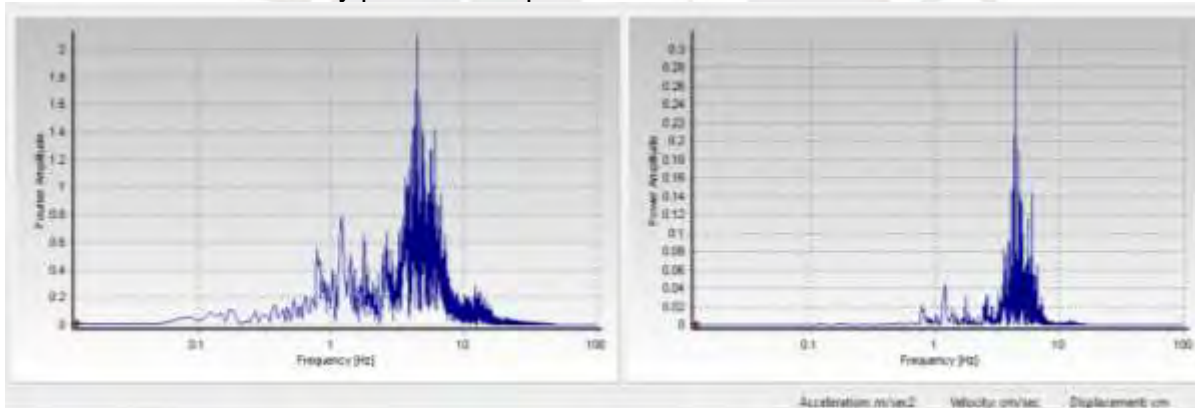
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S3



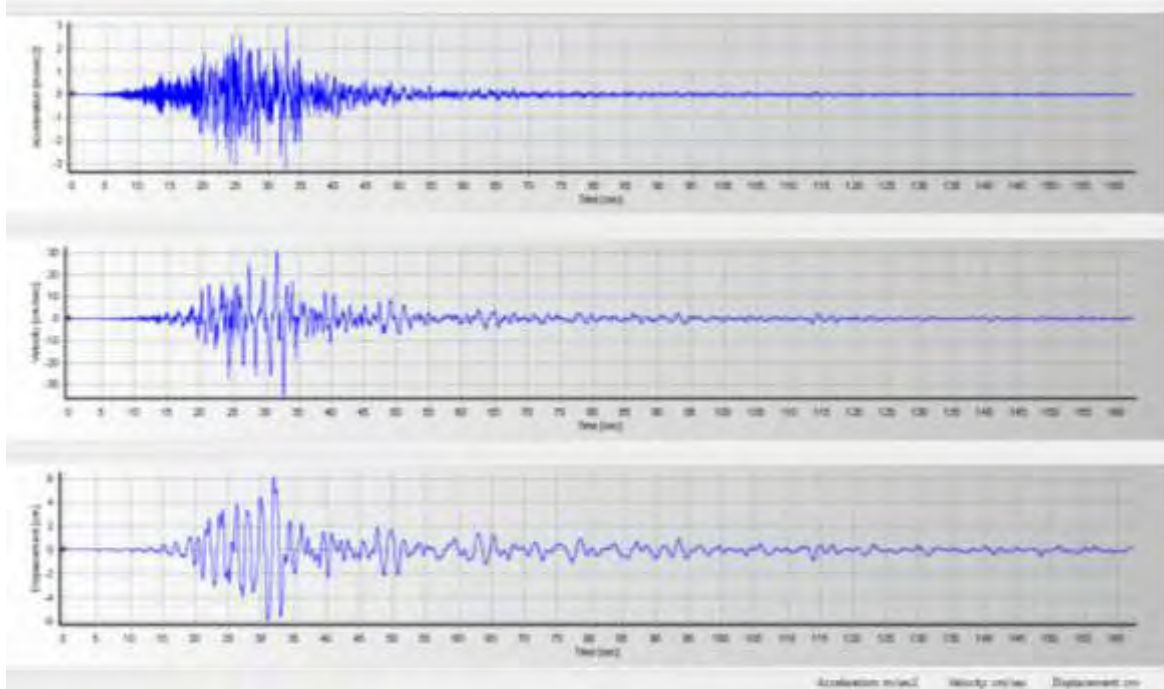
Señal S4: Señal de terremoto en Arequipa, Perú. Mw 8.8 registrado en Chile el 27/02/2010.



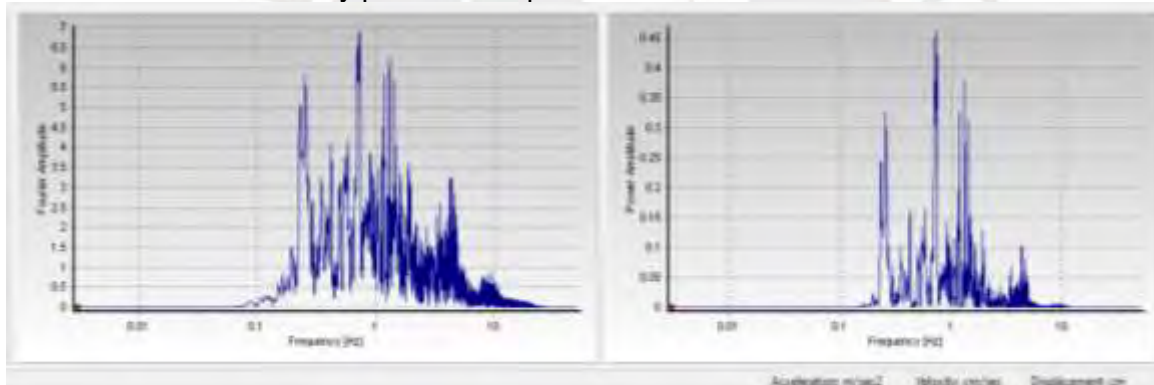
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S4



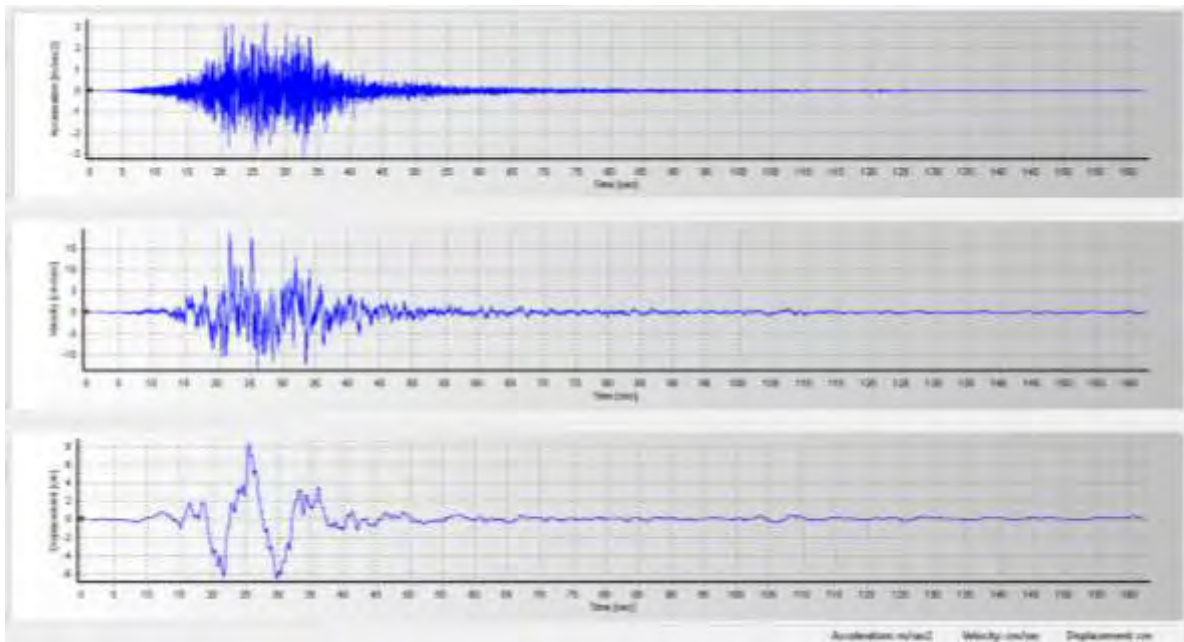
Señal S5: Señal de terremoto en Tocopilla, Chile. Mw 7.7 registrado el 14/11/2007.



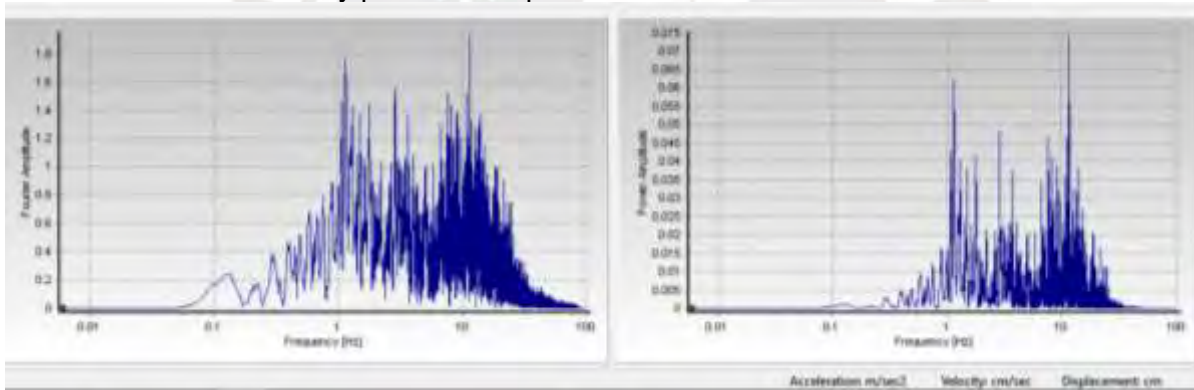
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S5



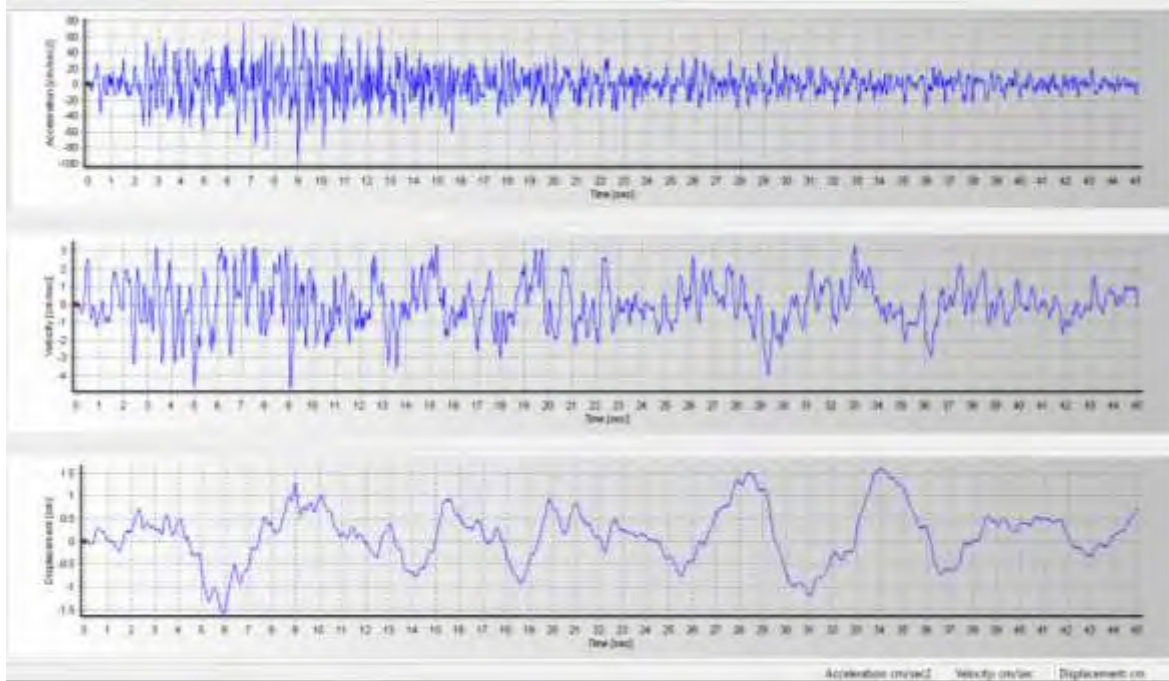
Señal S6: Señal de terremoto en Iquique, Chile. Mw 7.7 registrado el 03/04/2014.



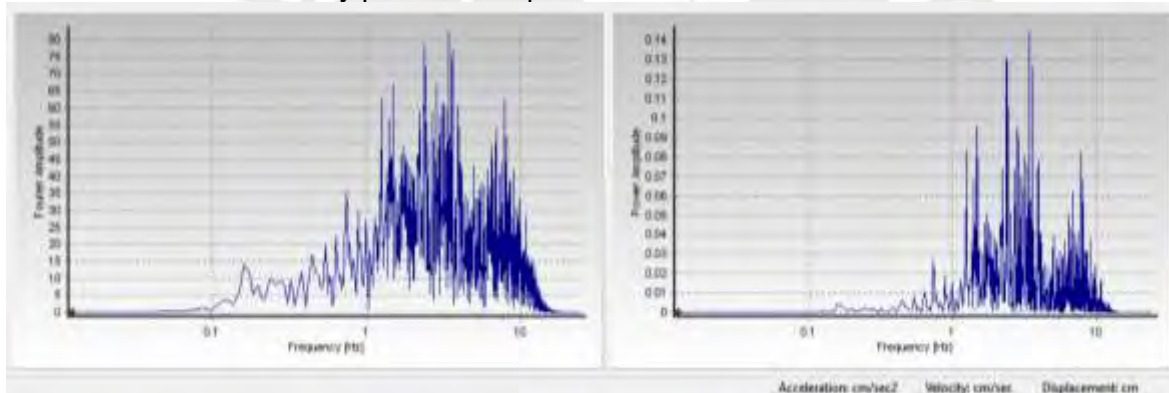
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S6



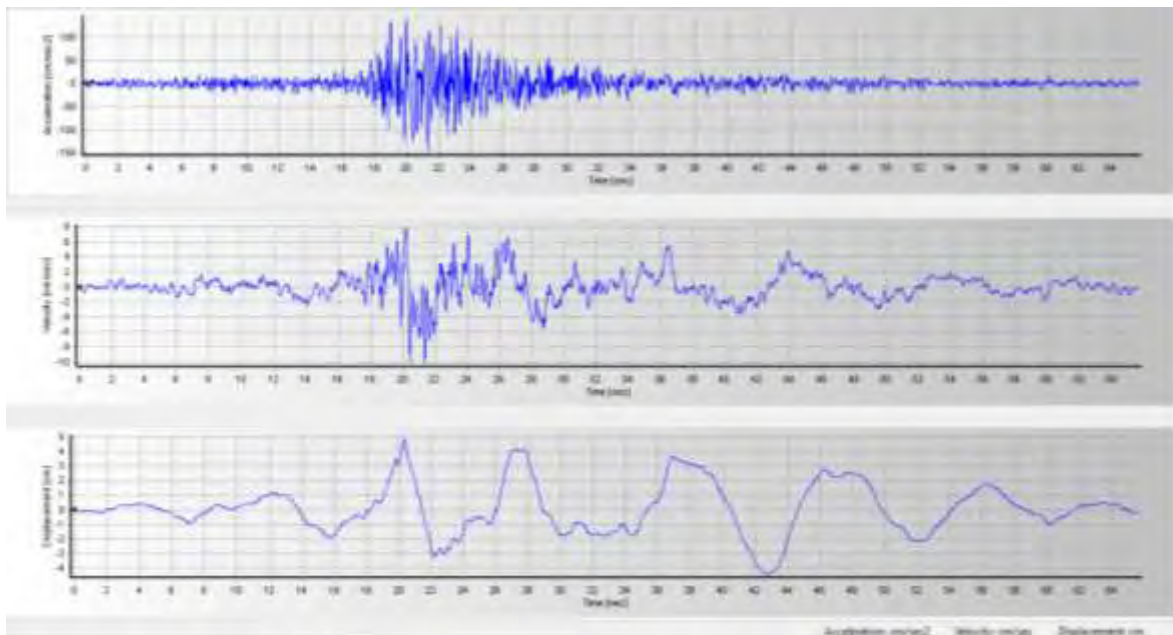
Señal S7: Señal de terremoto en Ancash, Perú. Mw 7.9 registrado el 31/05/1970.



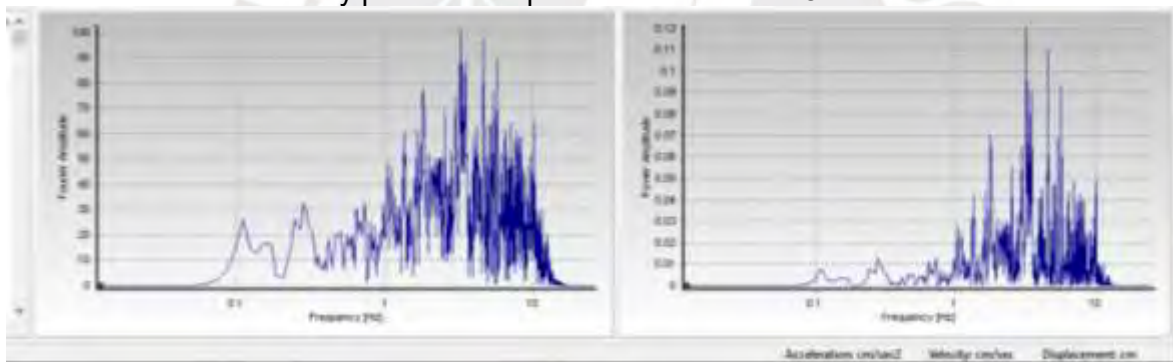
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S7



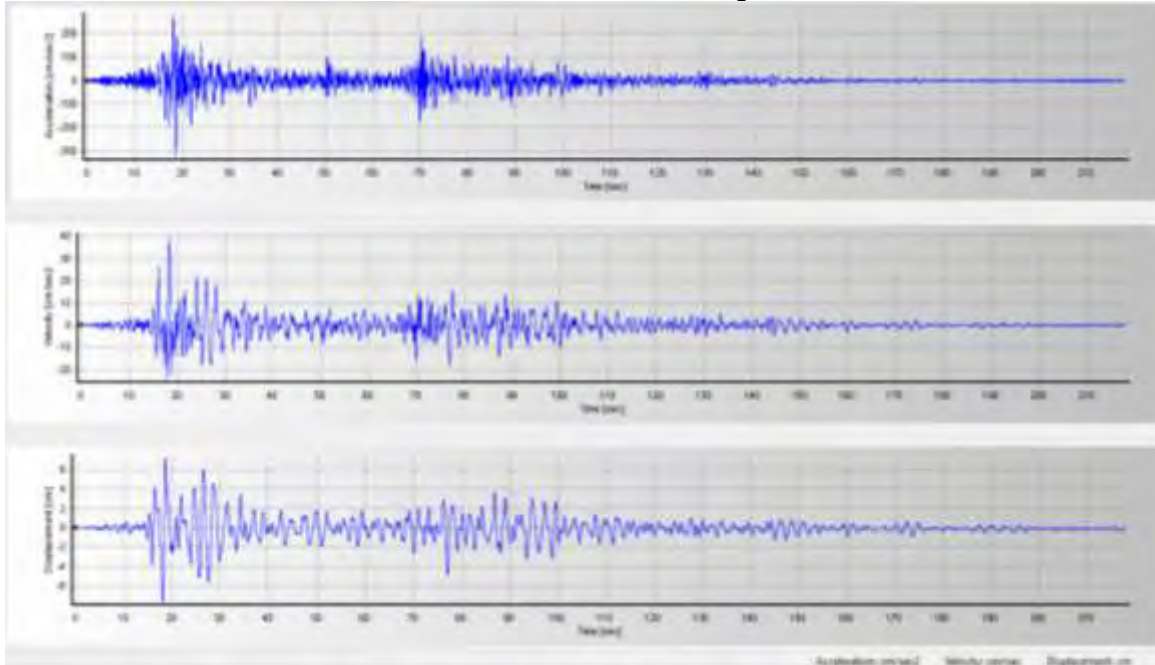
Señal S8: Señal de terremoto en Lima, Perú. Mw 8.1 registrado el 17/10/1966.



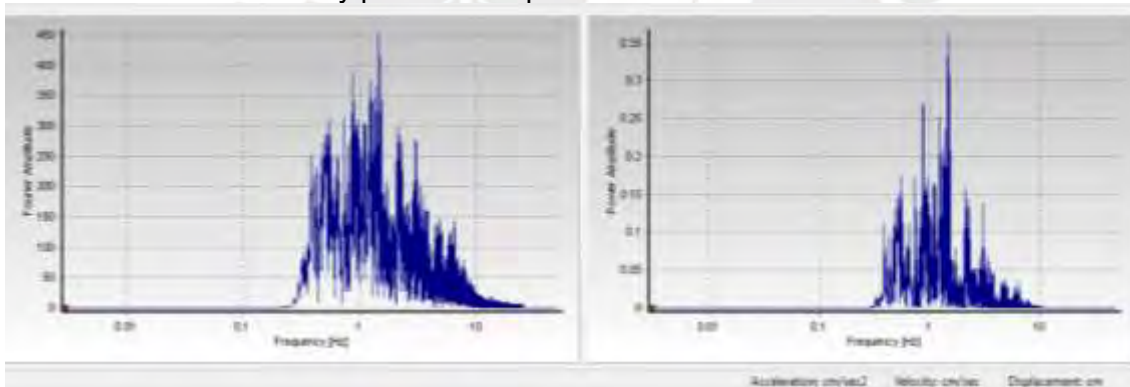
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S8



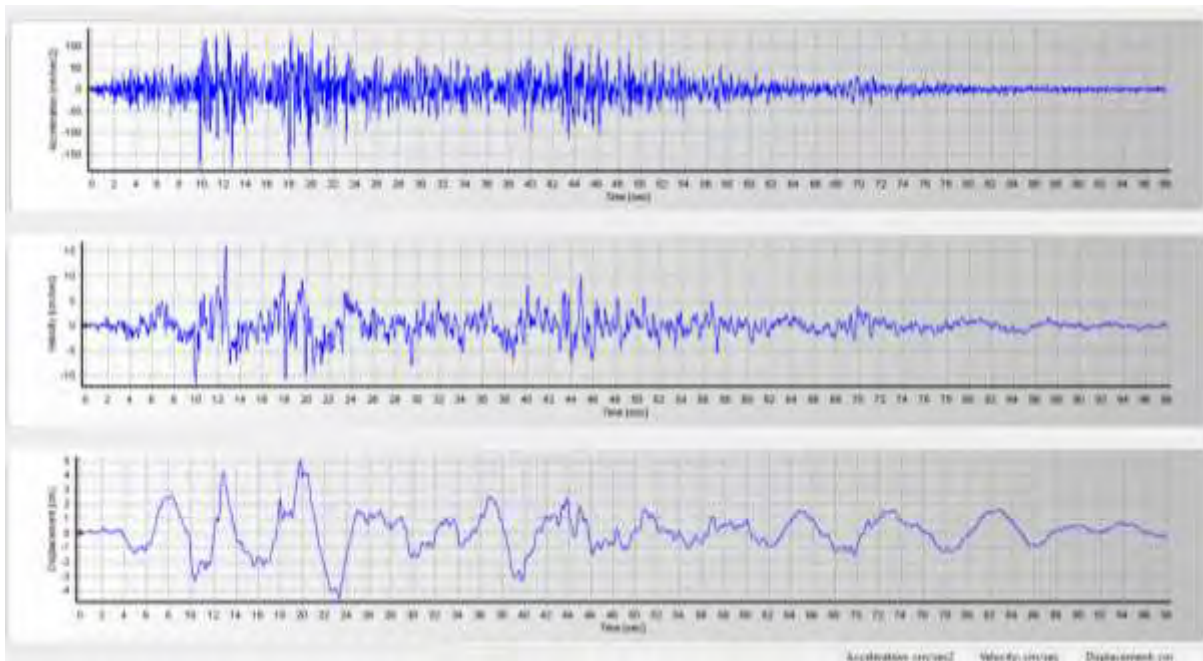
Señal S9: Señal de terremoto en Pisco, Perú. Mw 8.0 registrado el 15/08/2007.



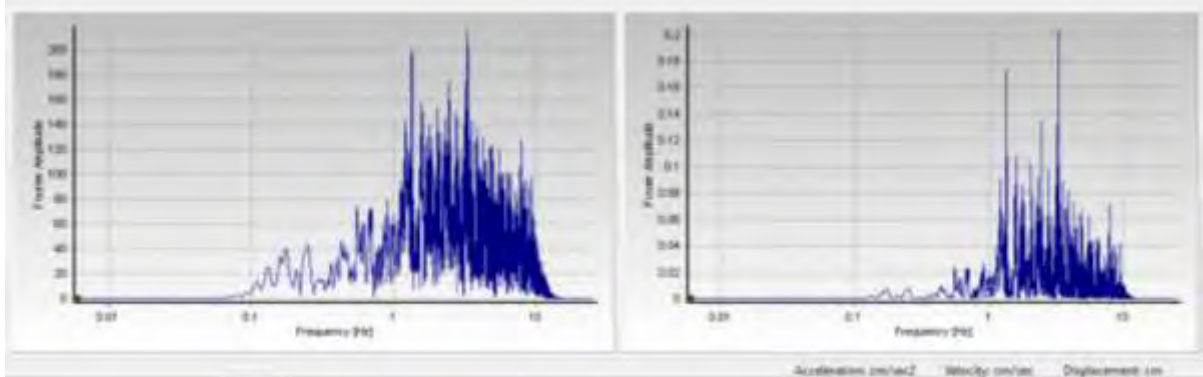
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S9



Señal S10: Señal de terremoto en lima, Chile. Ms 7.6 registrado el 03/10/1974.

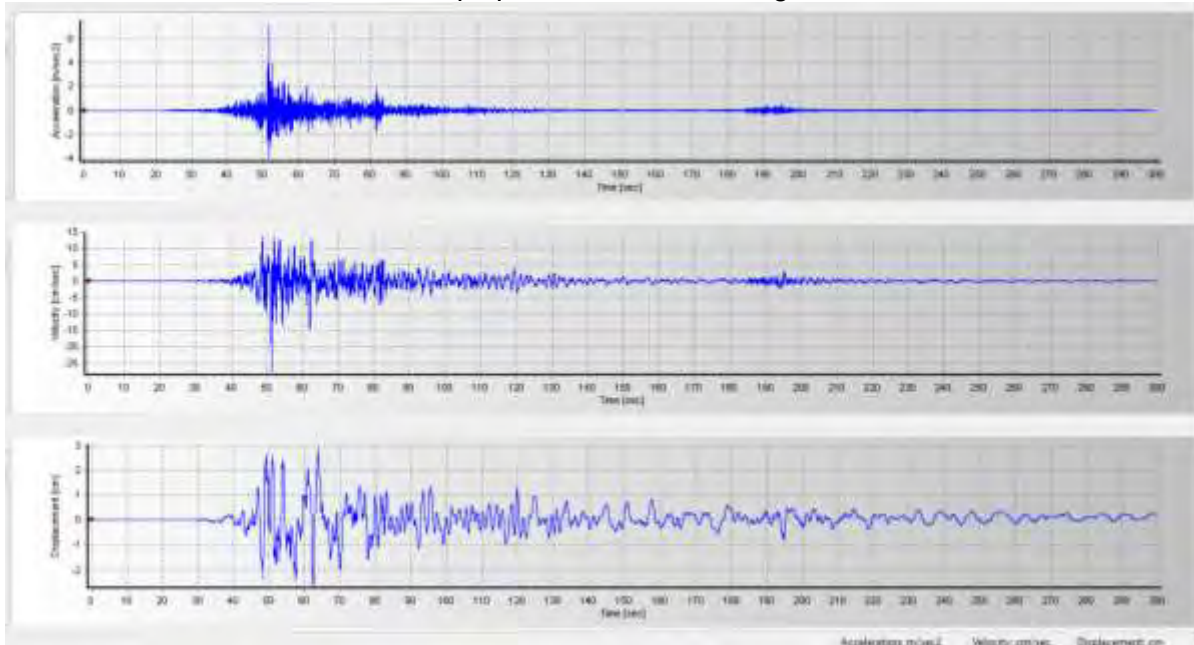


Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S10

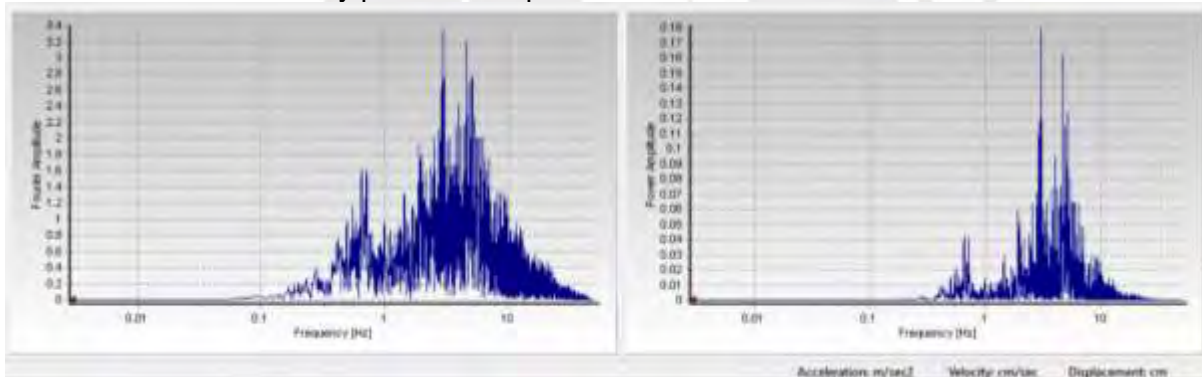


Anexo 2: Señales corregidas empleadas dirección NS

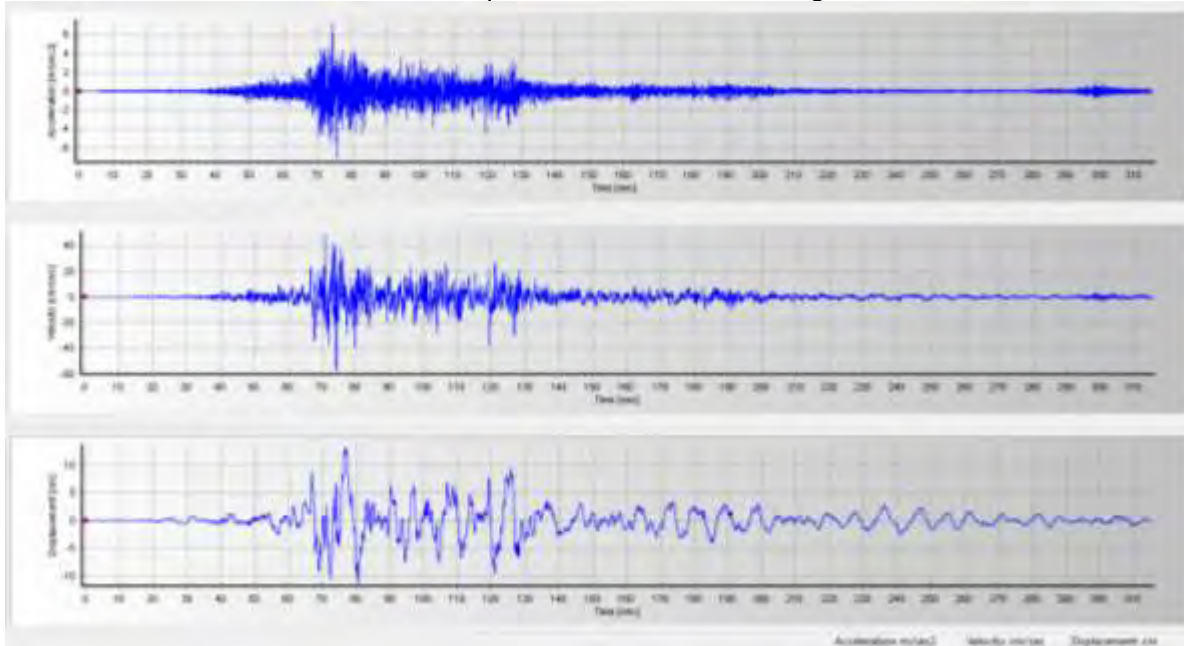
Señal S1: Señal de terremoto en Iquique, Chile. Mw=8.2 registrado el 1/04/2014



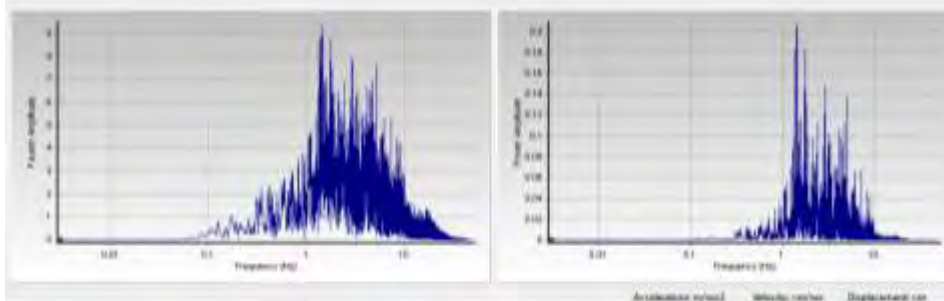
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S3



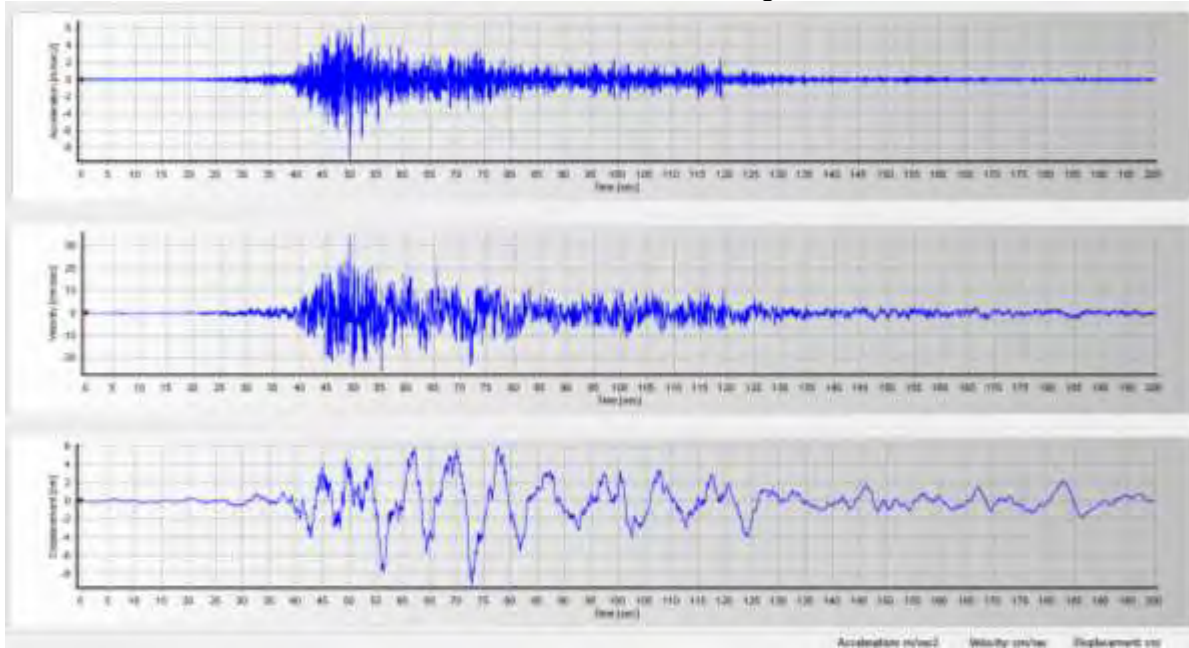
Señal S2: Señal de terremoto en Coquimbo, Chile. Mw=8.4 registrado el 16/09/2015.



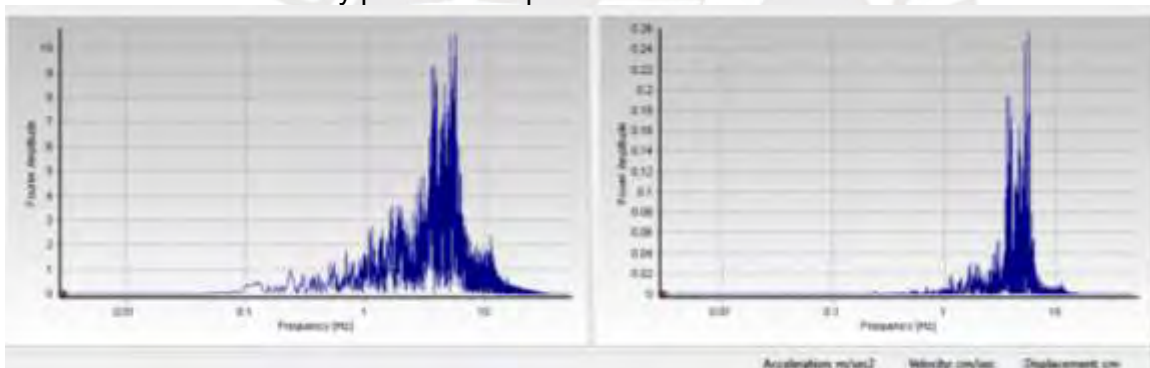
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S2



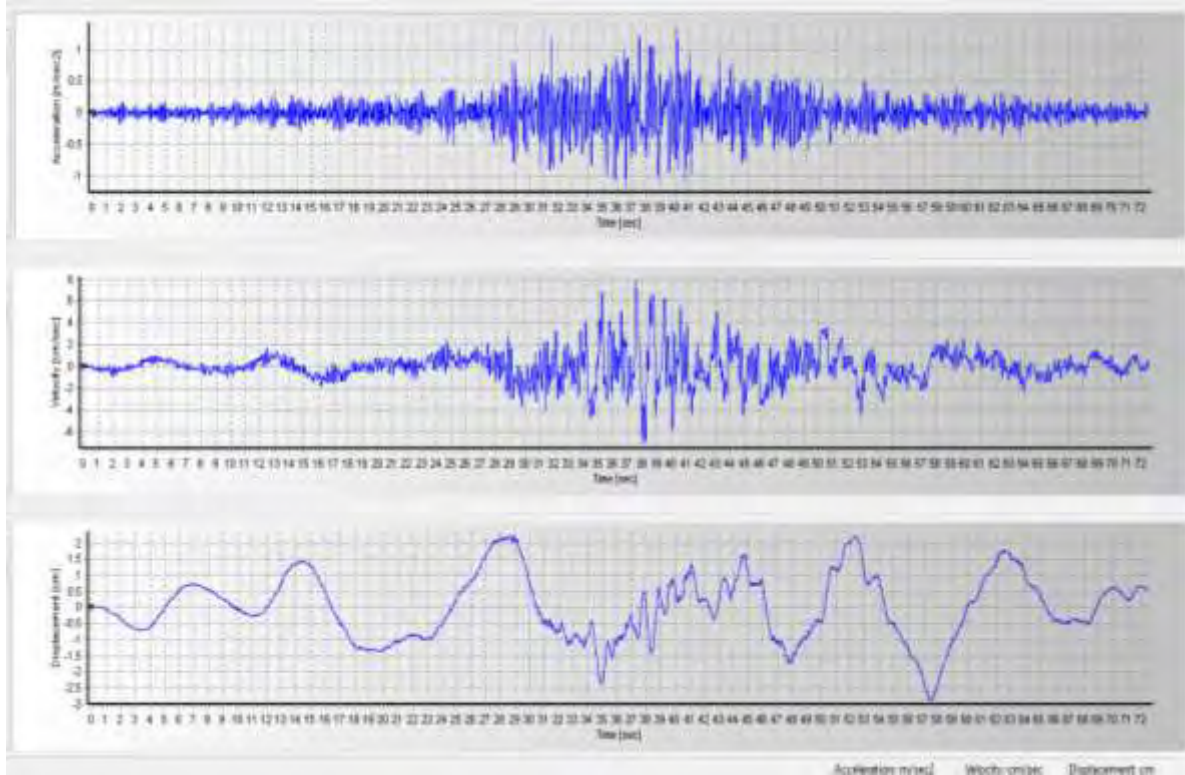
Señal S3: Señal de terremoto en Bio Bio, Chile. Mw 8.8 registrado el 27/02/2010.



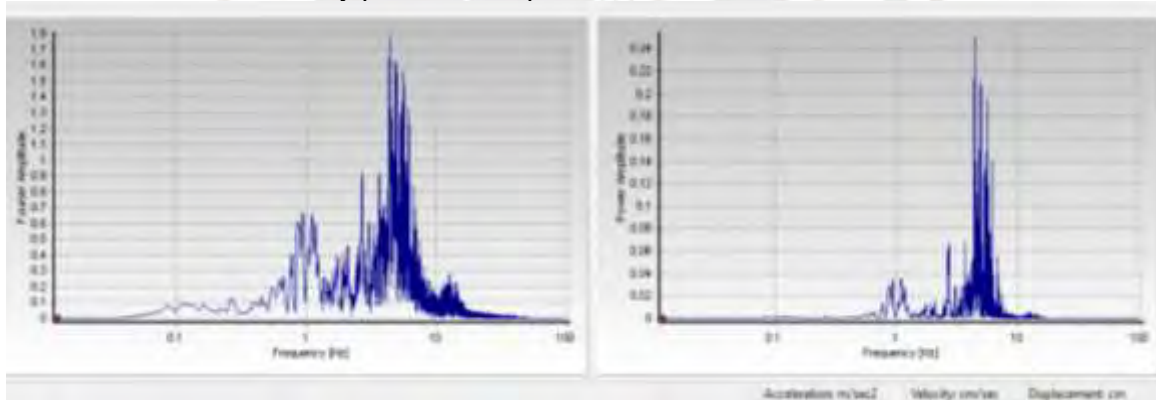
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S2



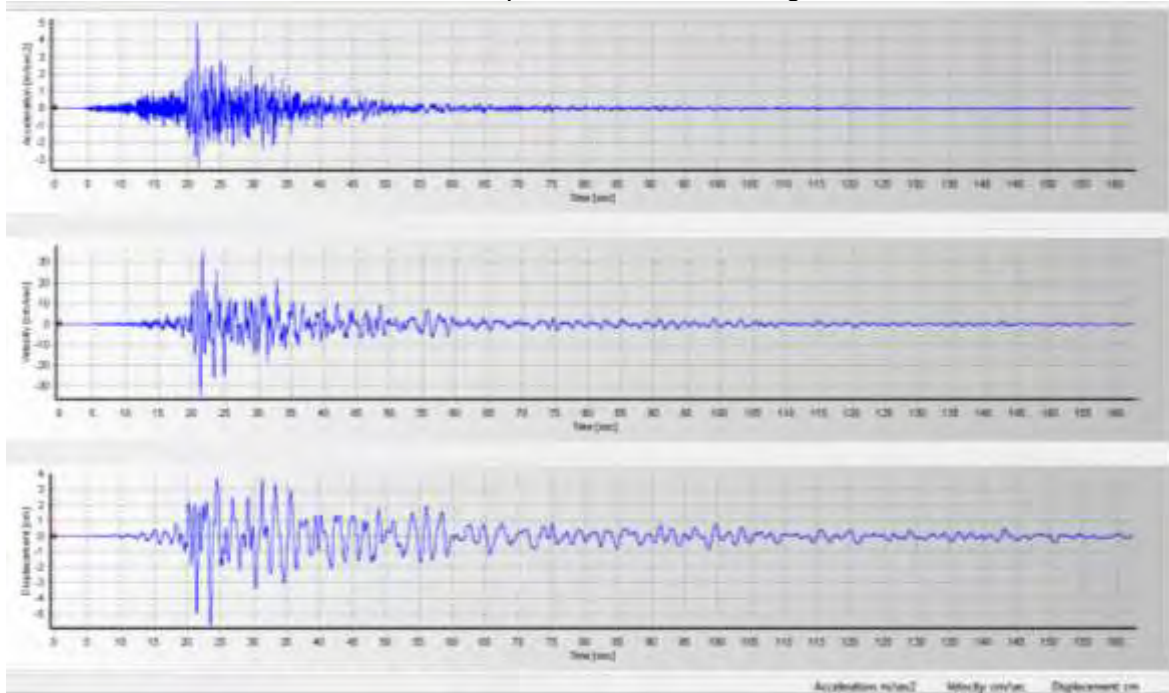
Señal S4: Señal de terremoto en Arequipa, Perú. Mw 8.8 registrado en Chile el 27/02/2010.



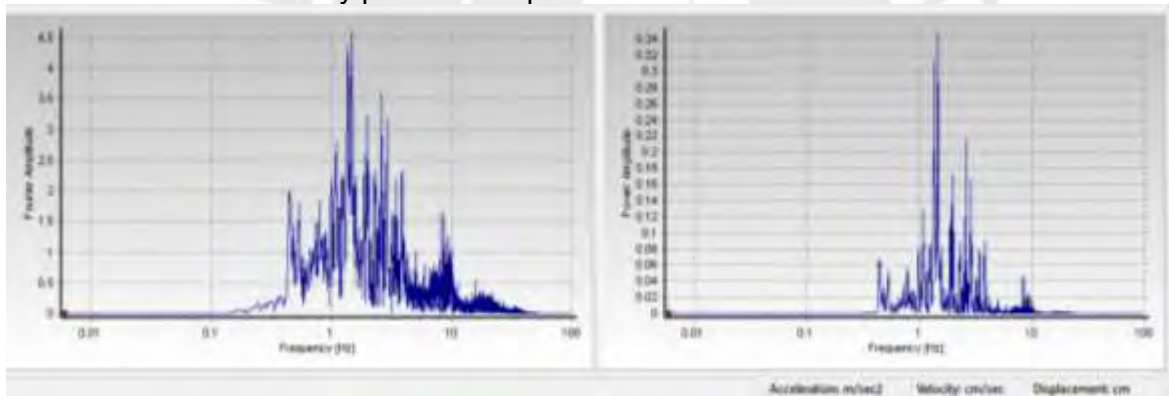
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S4



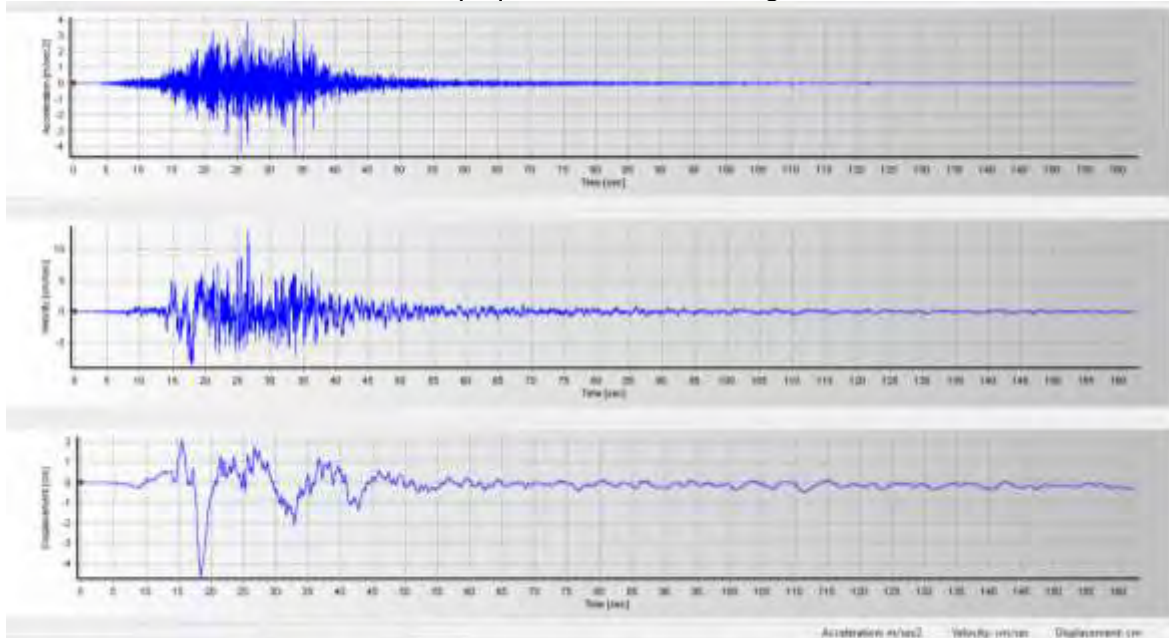
Señal S5: Señal de terremoto en Tocopilla, Chile. Mw 7.7 registrado el 14/11/2007.



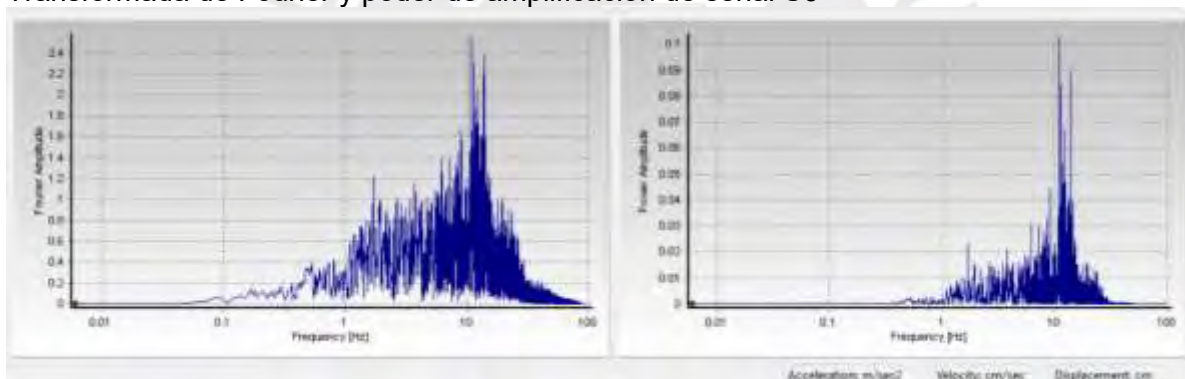
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S5



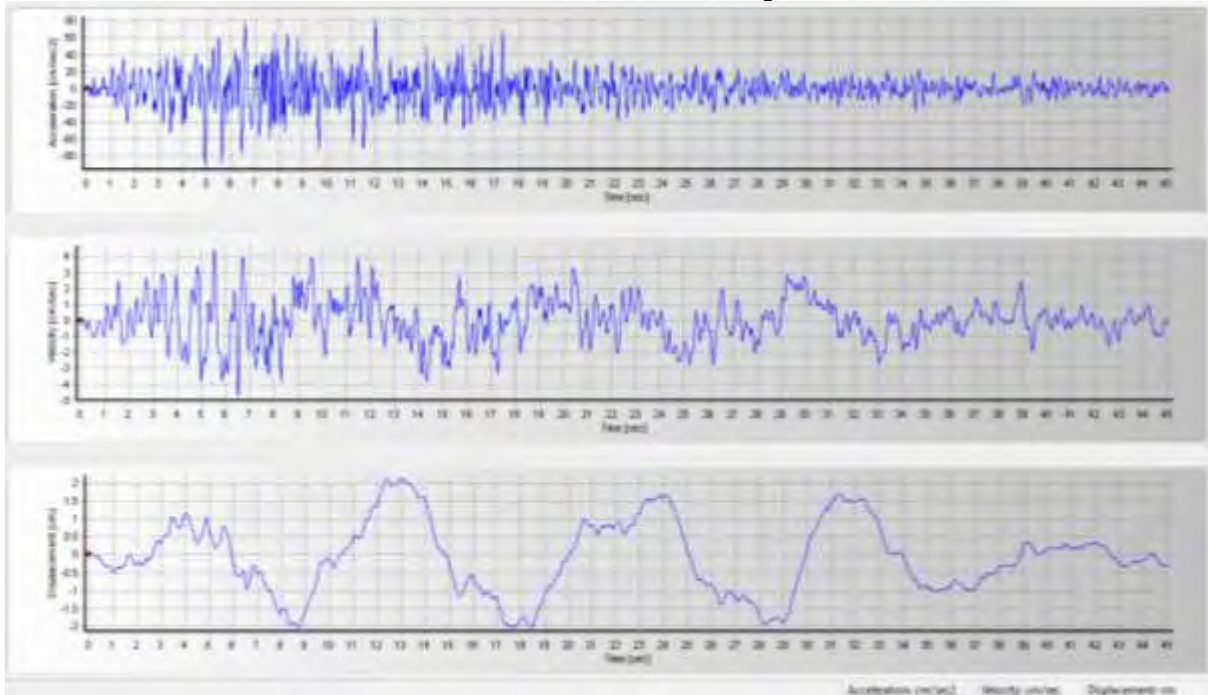
Señal S6: Señal de terremoto en Iquique, Chile. Mw 7.7 registrado el 03/04/2014.



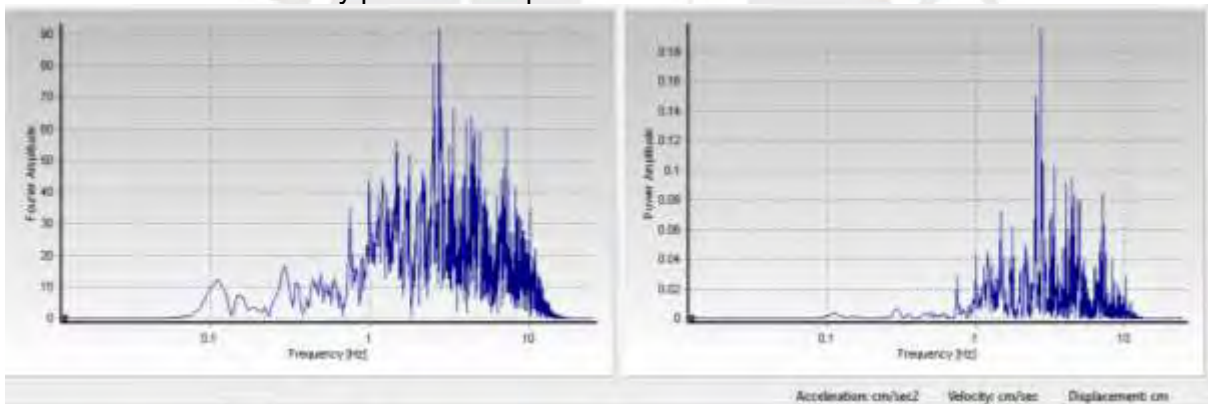
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S6



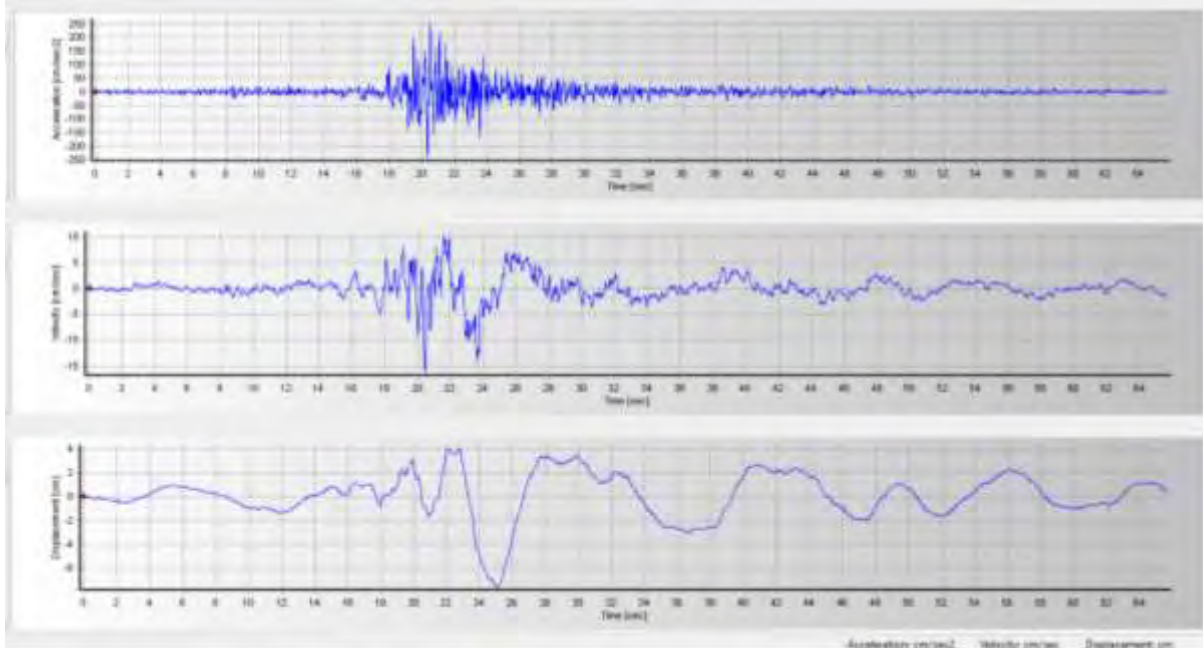
Señal S7: Señal de terremoto en Ancash, Perú. Mw 7.9 registrado el 31/05/1970.



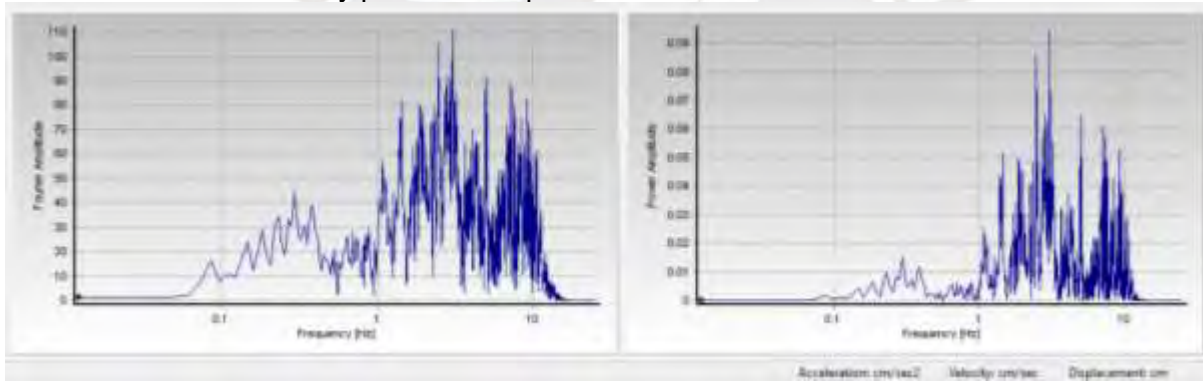
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S7



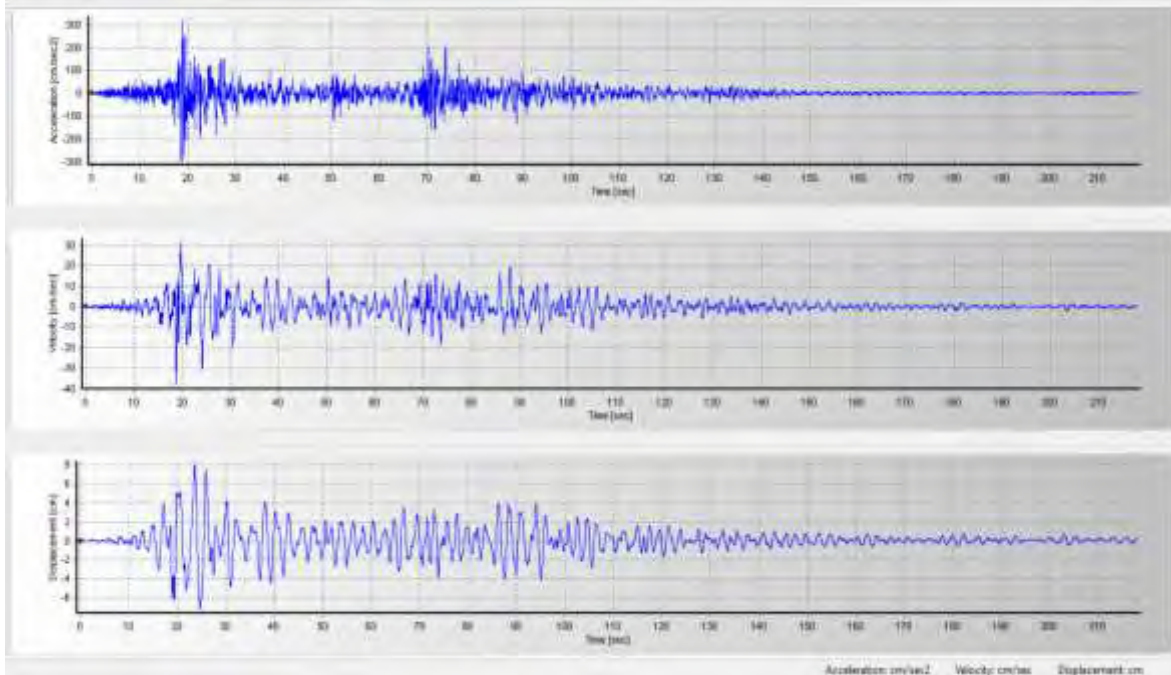
Señal S8: Señal de terremoto en Lima, Perú. Mw 8.1 registrado el 17/10/1966.



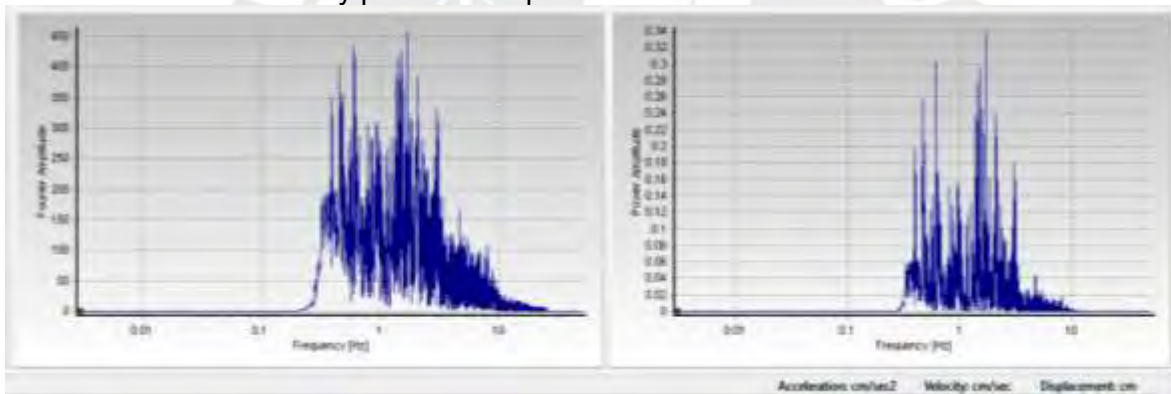
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S8



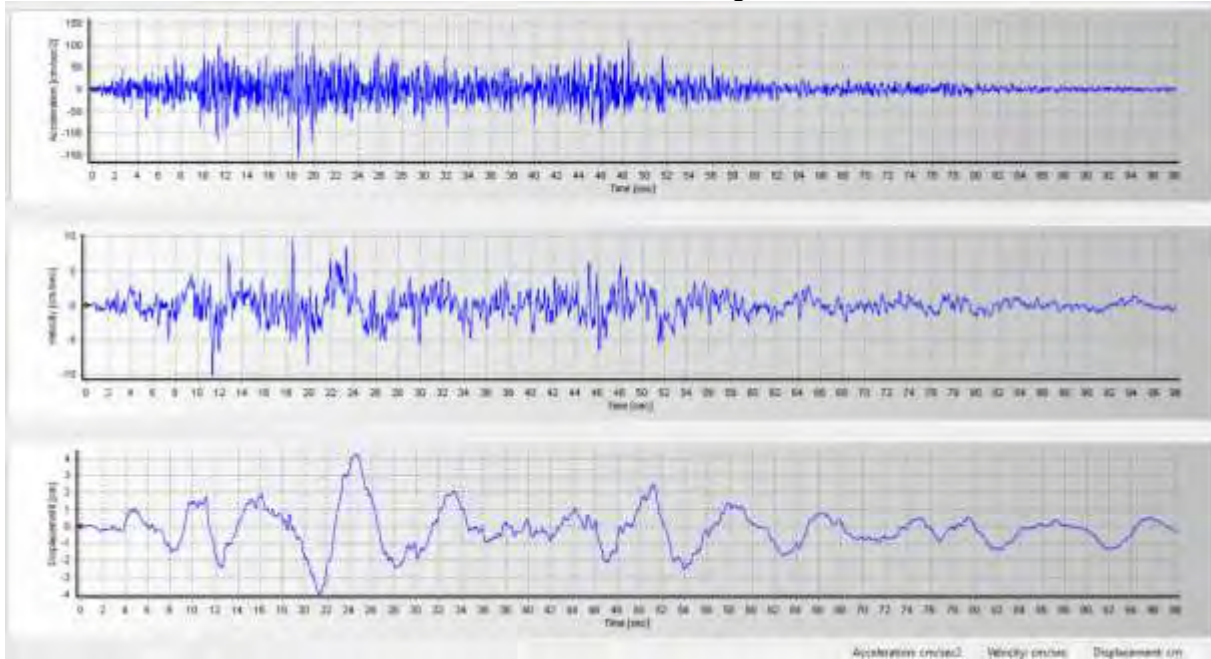
Señal S9: Señal de terremoto en Pisco, Perú. Mw 8.0 registrado el 15/08/2007.



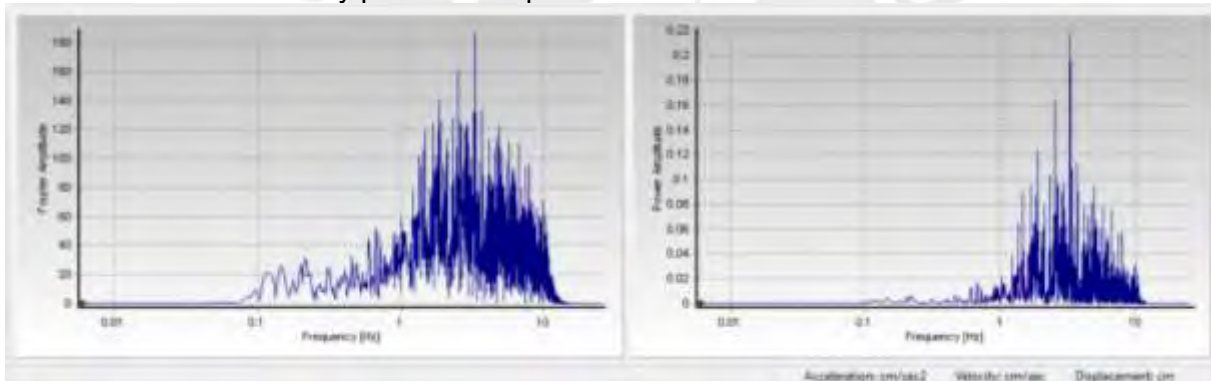
Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S9



Señal S10: Señal de terremoto en lima, Chile. Ms 7.6 registrado el 03/10/1974.

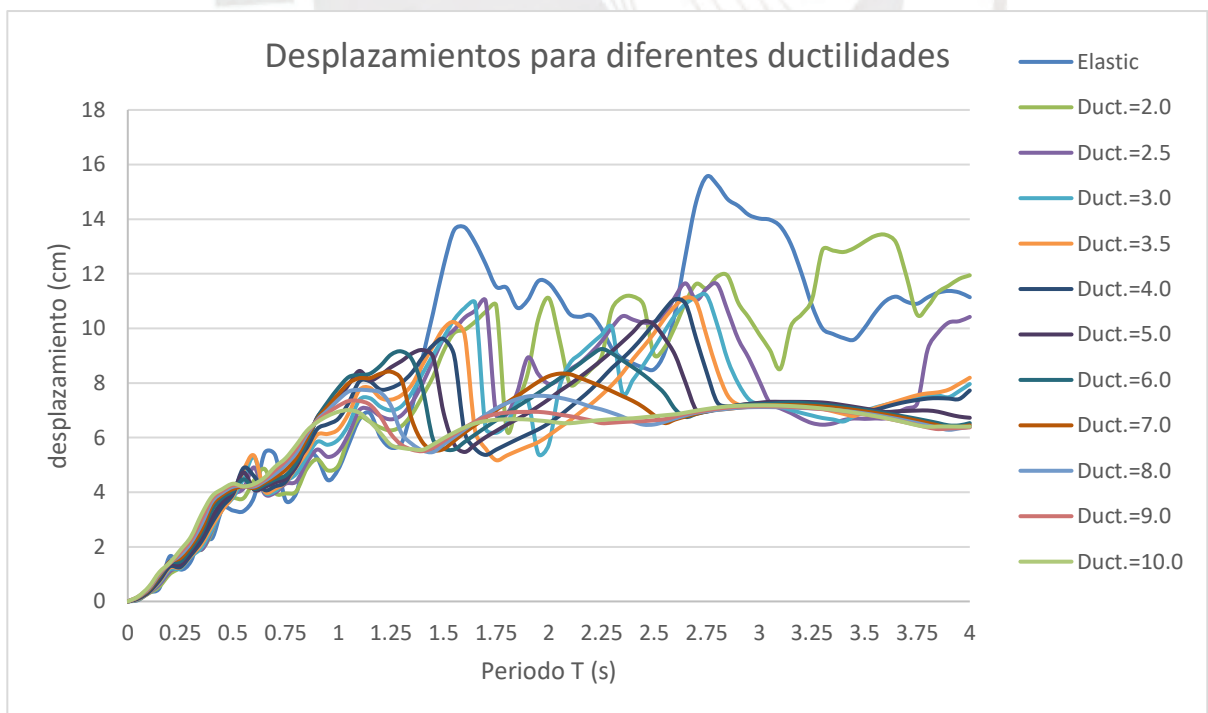
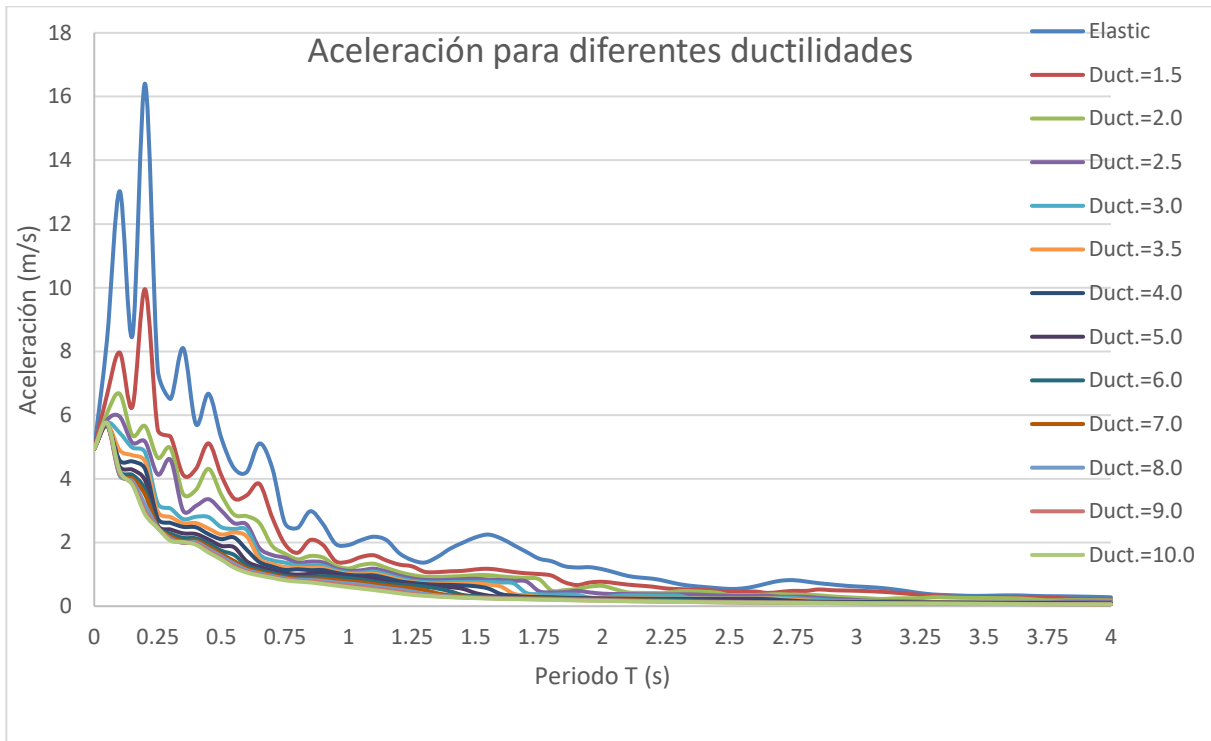


Transformada de Fourier y poder de amplificación de señal S10

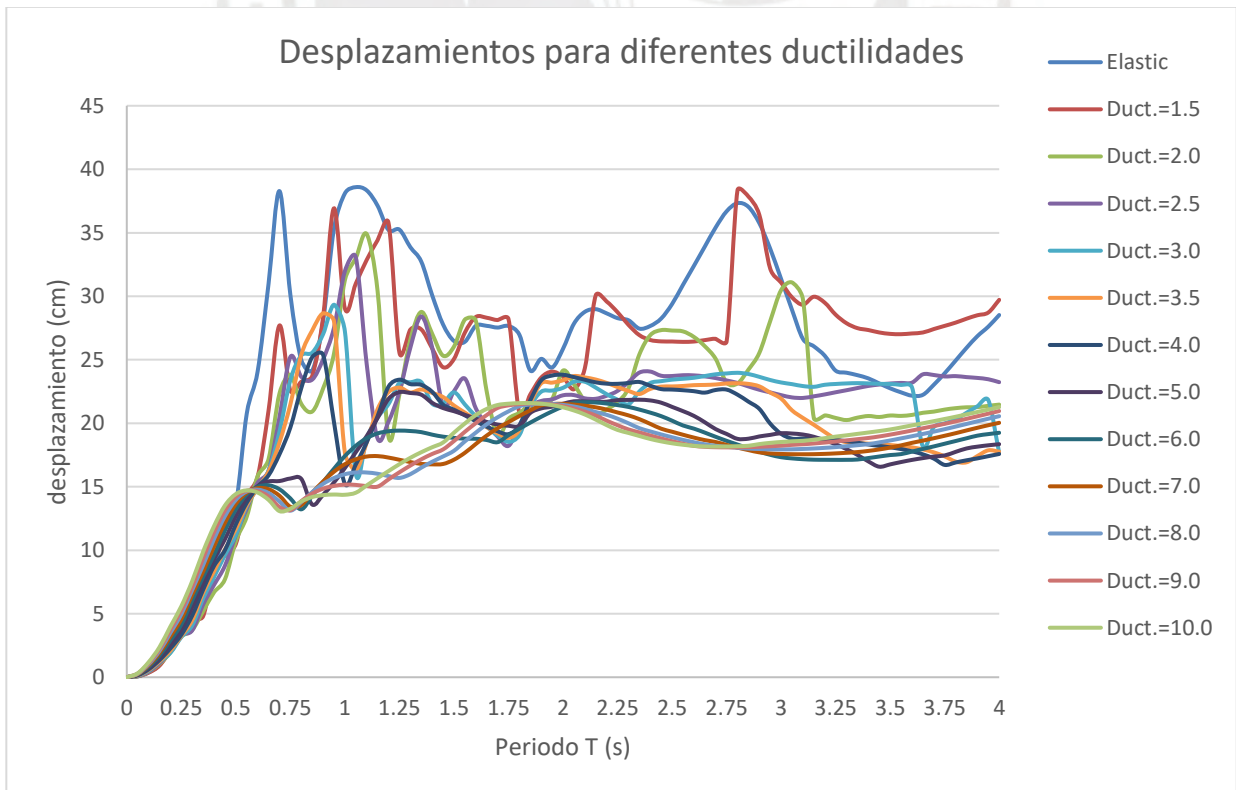
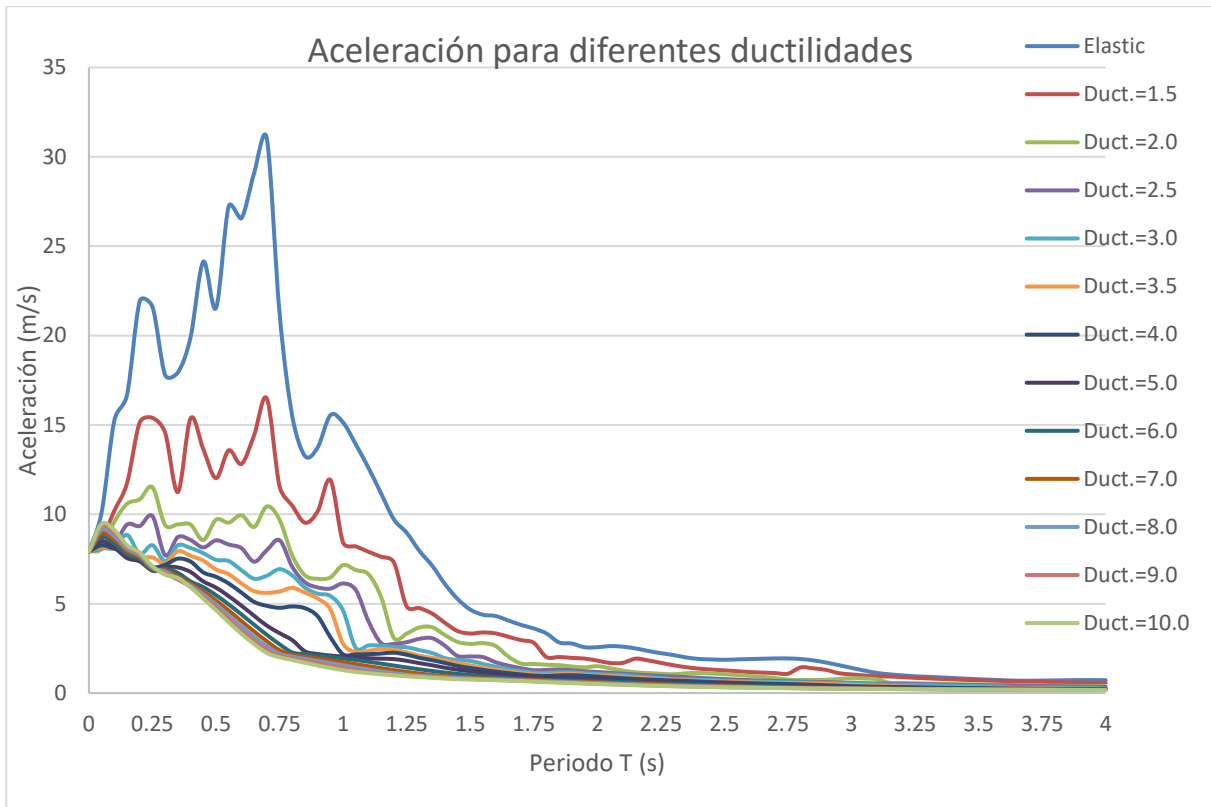


Anexo 3: Espectros elásticos e inelásticos de ductilidad constante para de Análisis EW

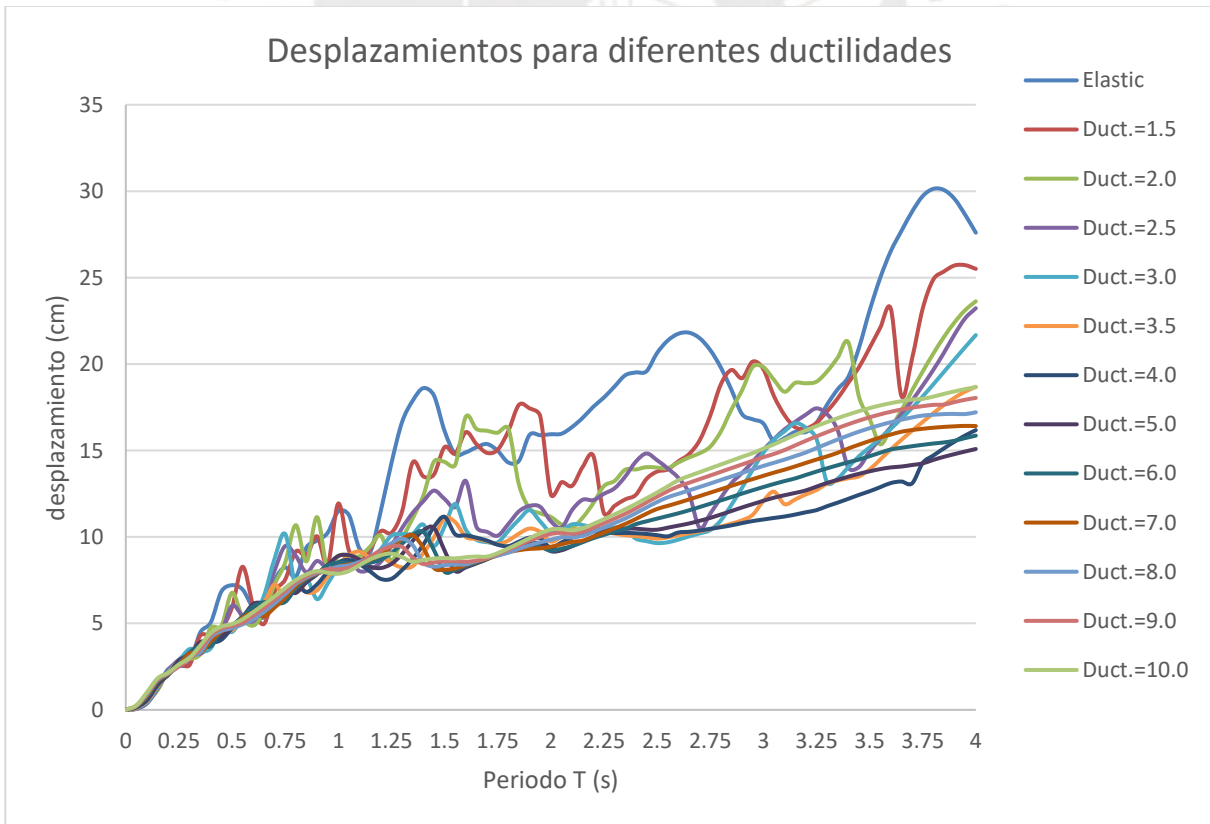
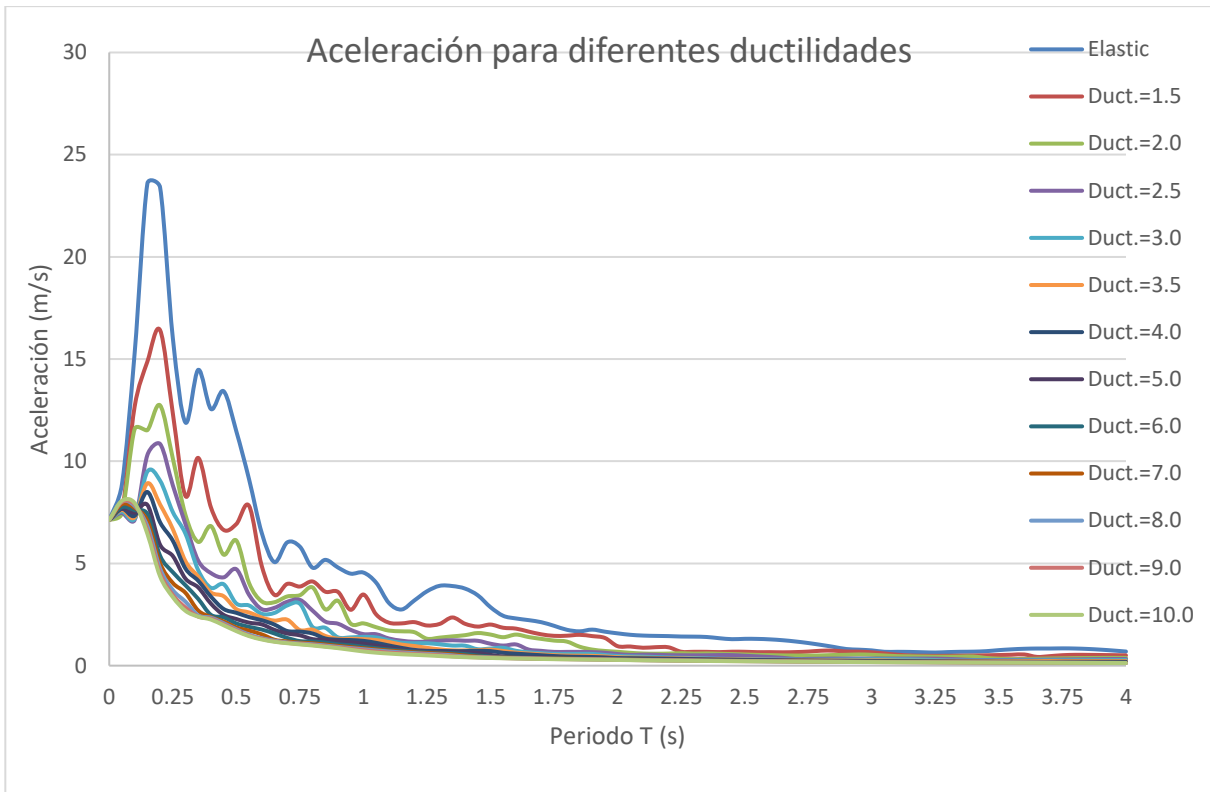
Sismo S1



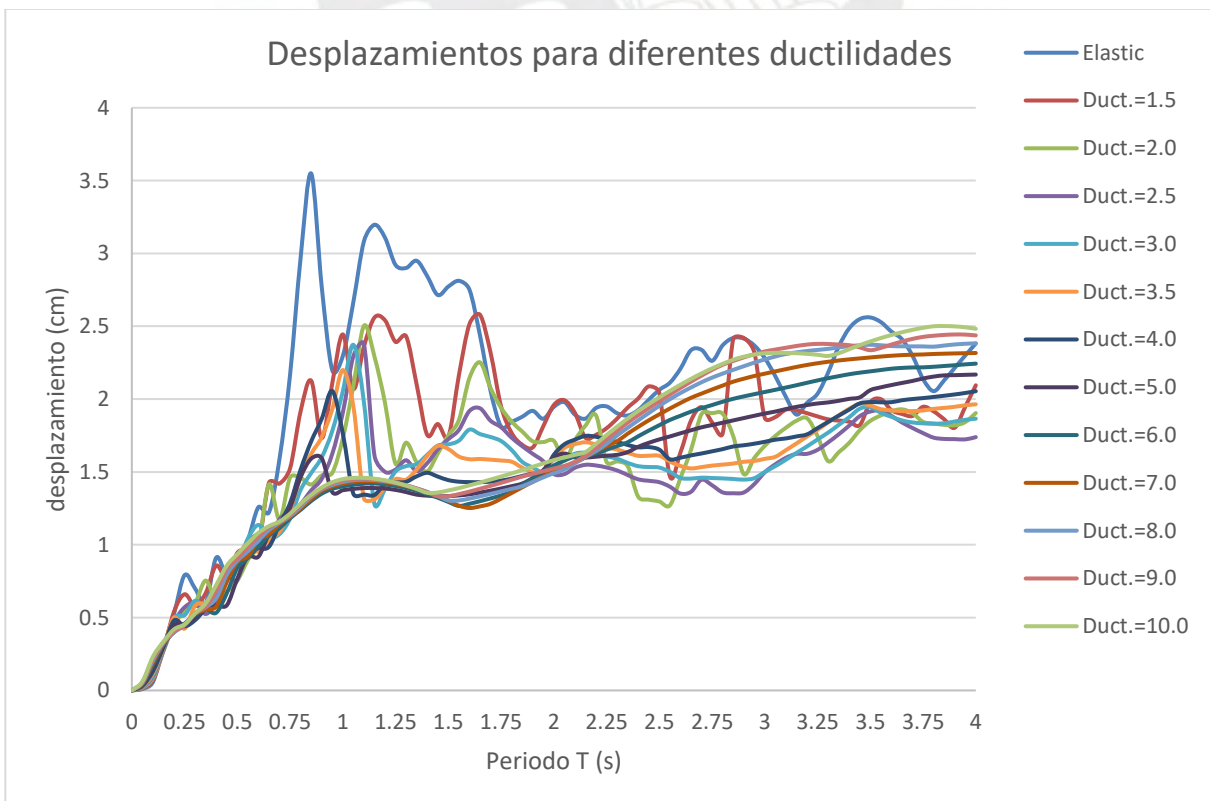
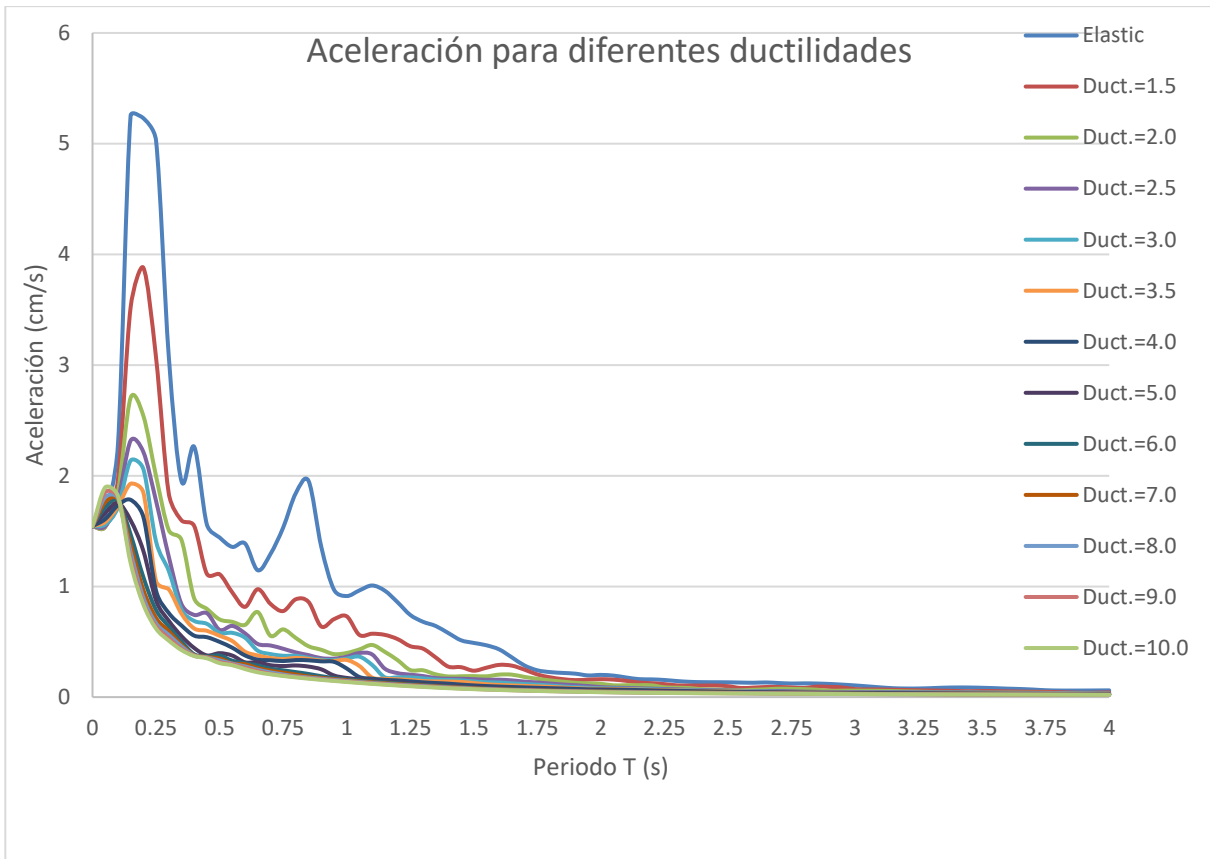
Sismo S2



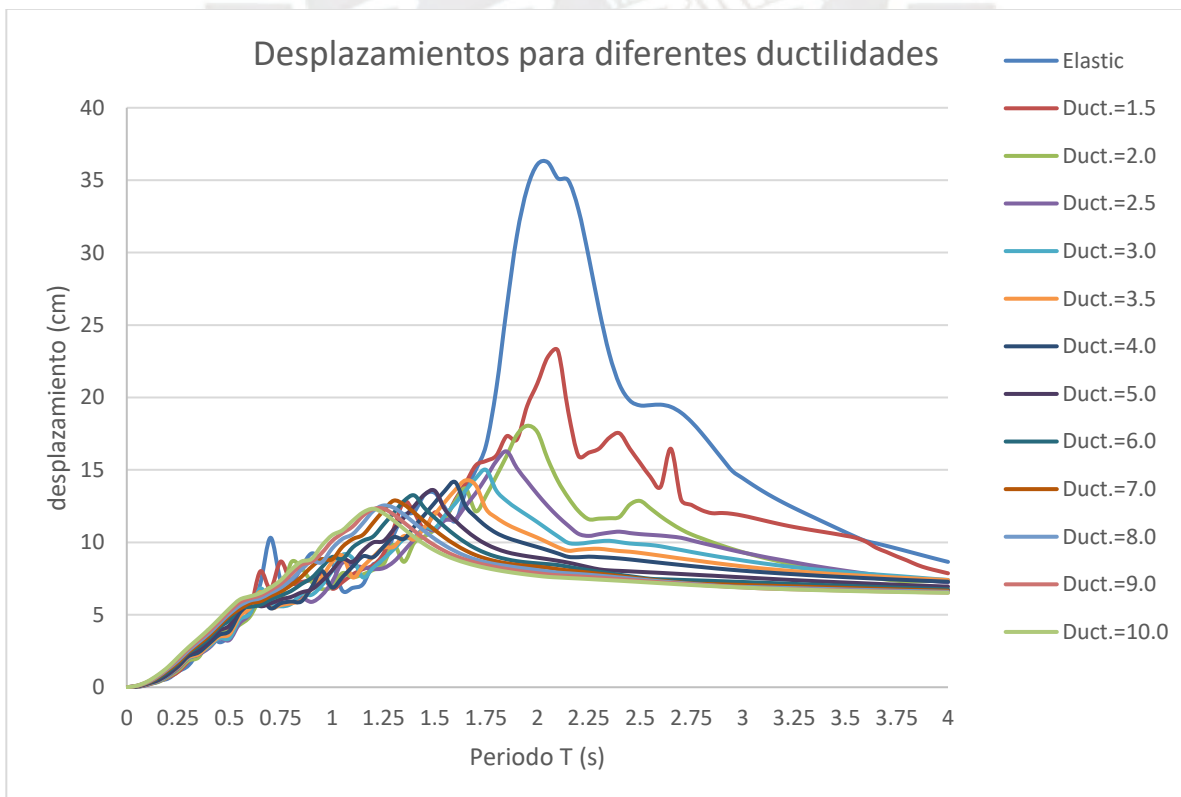
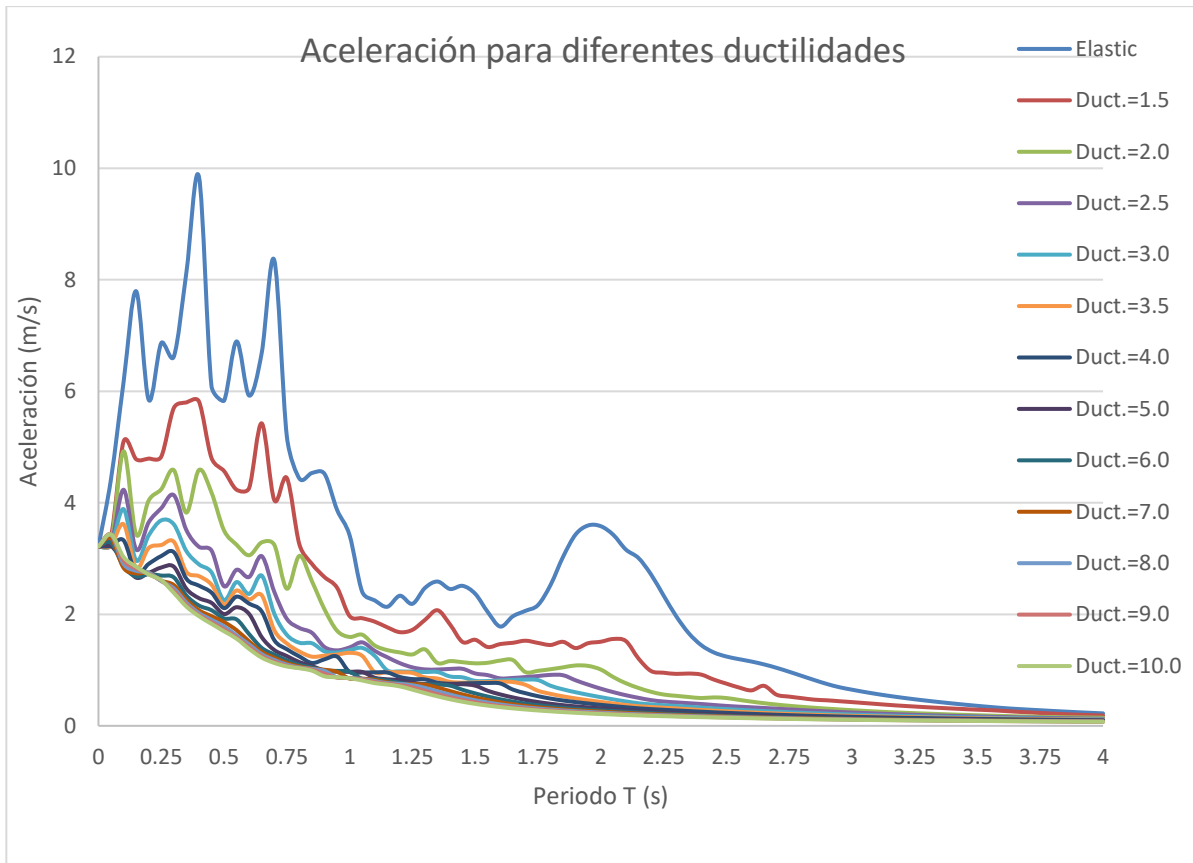
Sismo S3



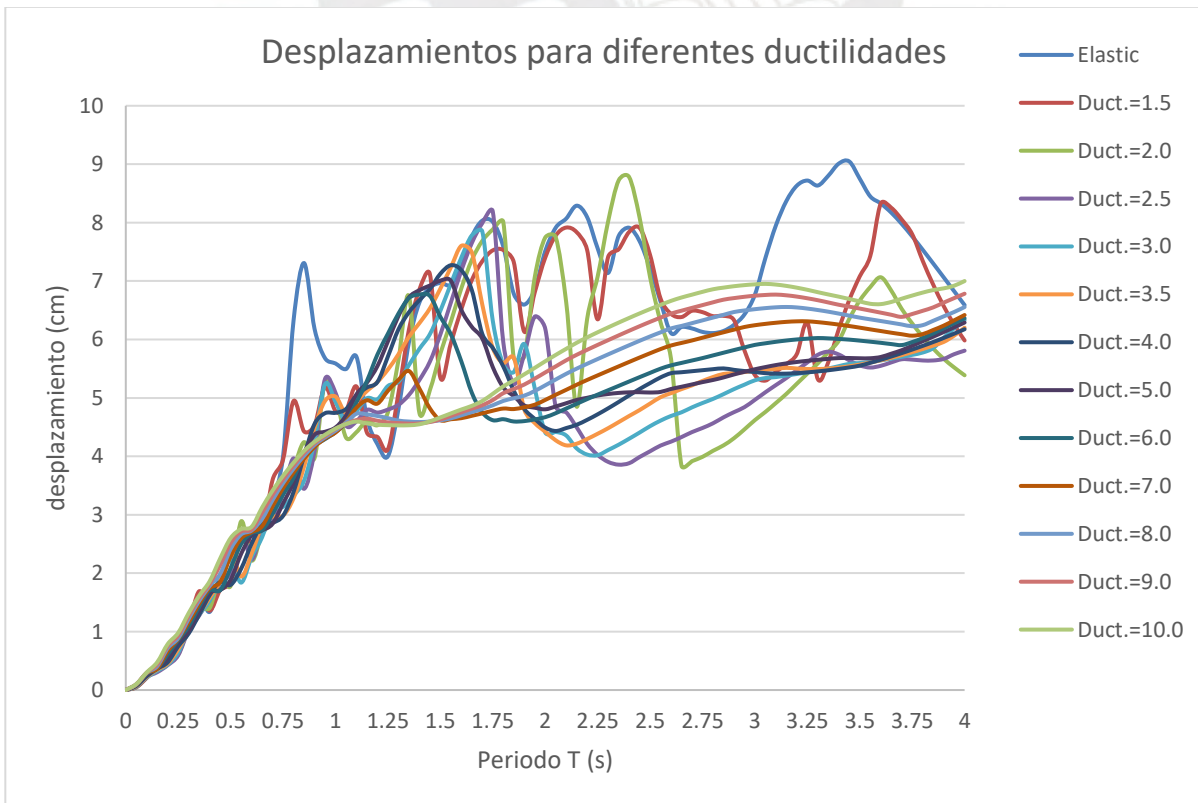
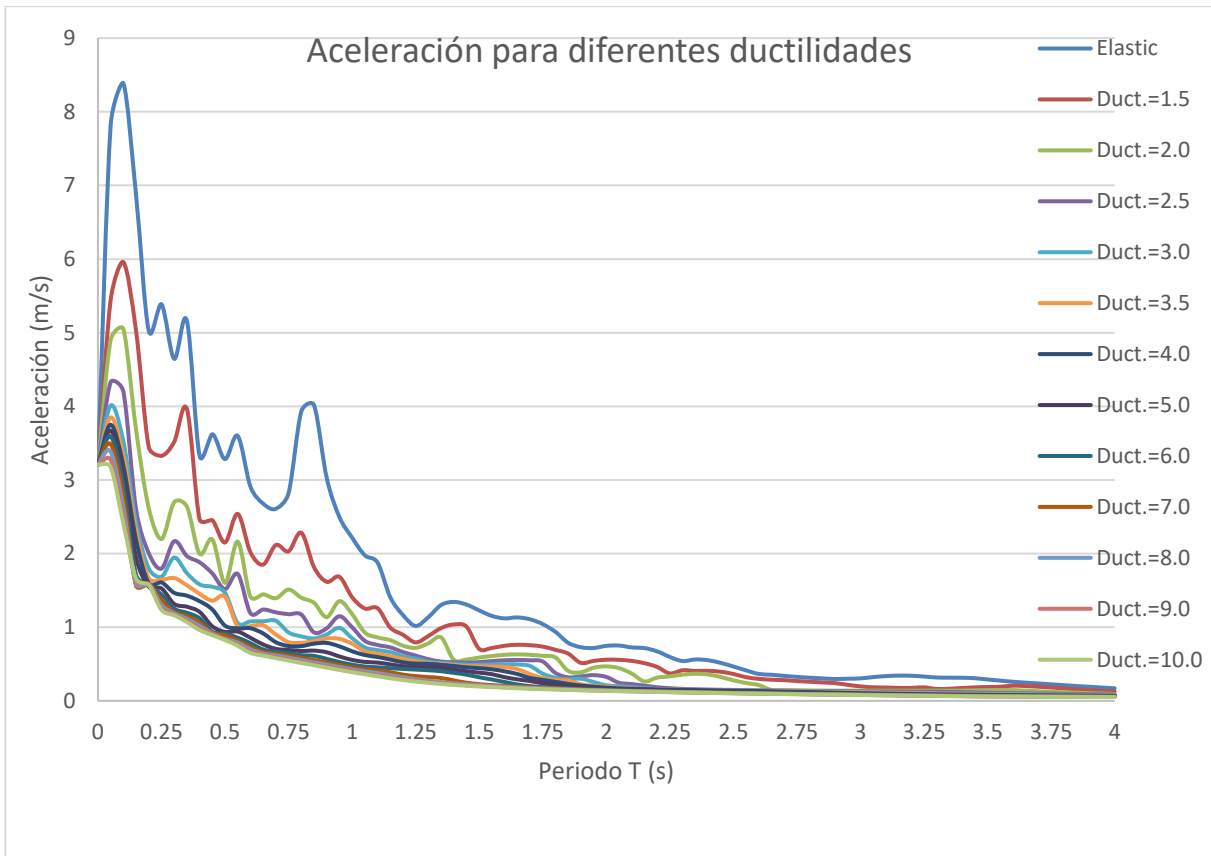
Sismo S4



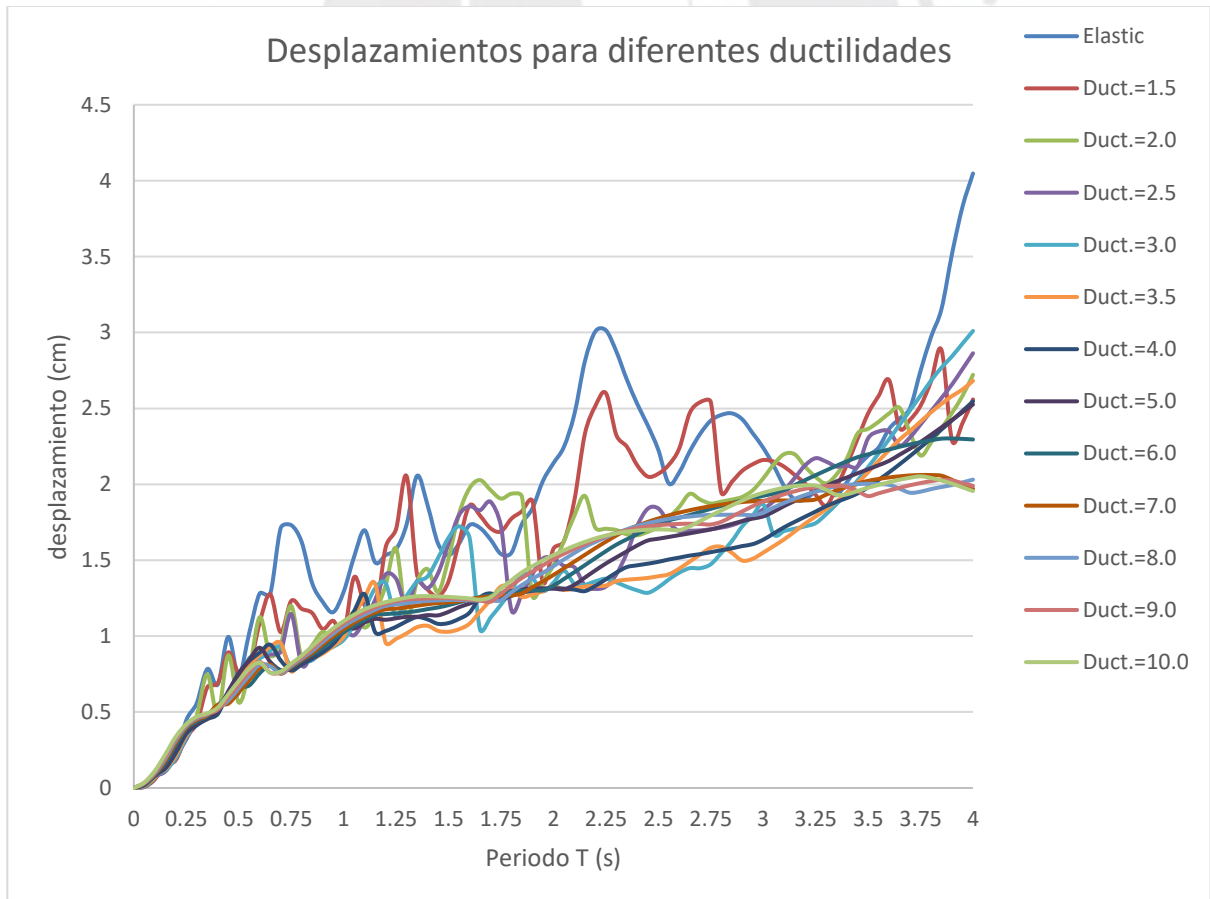
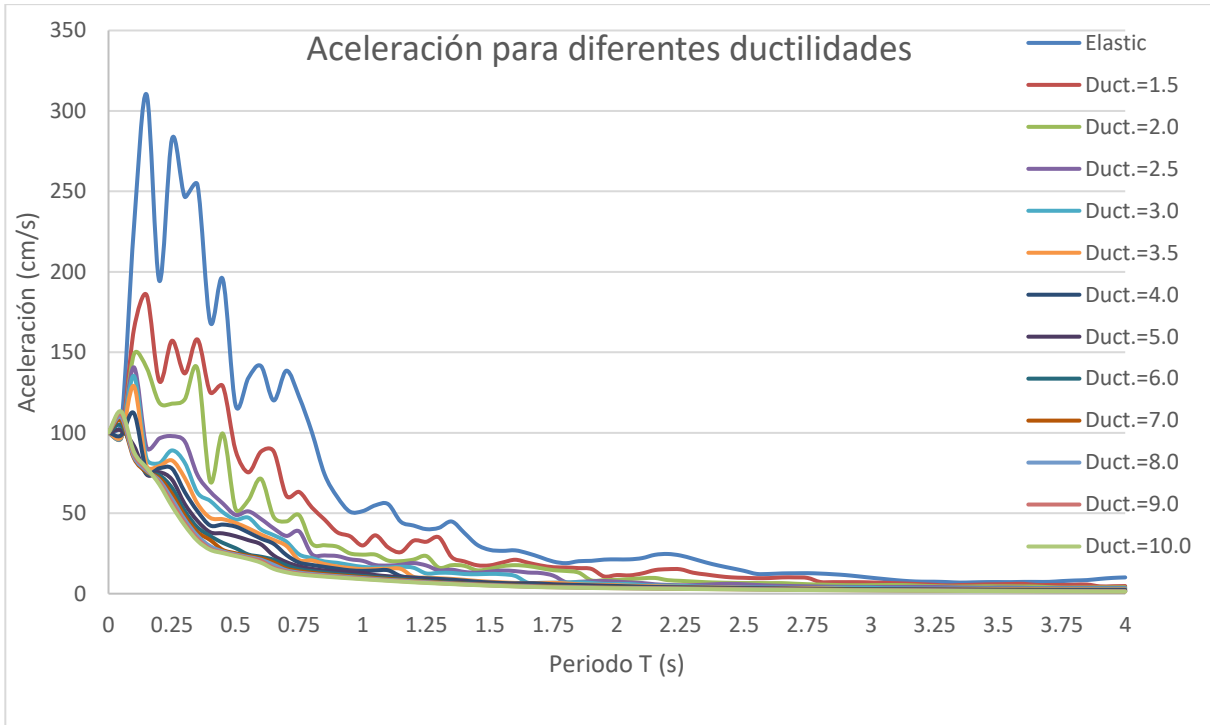
Sismo S5



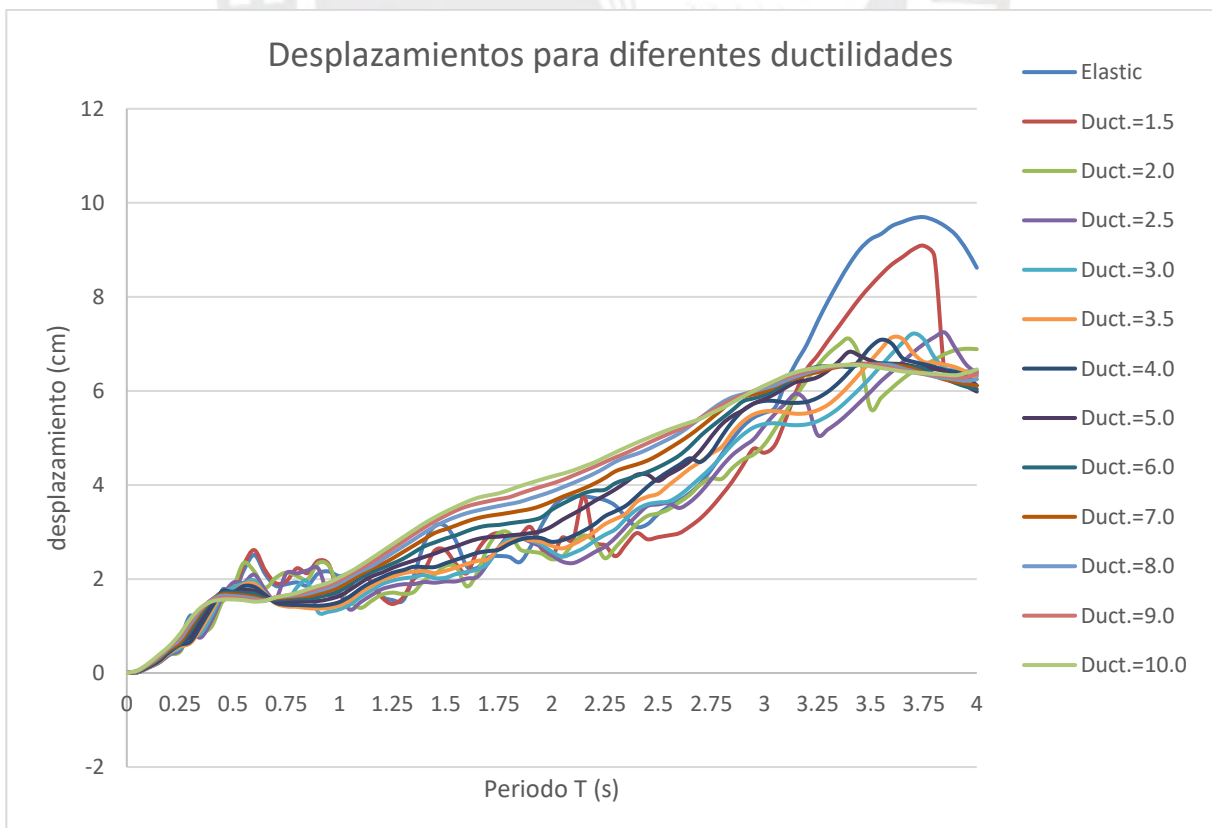
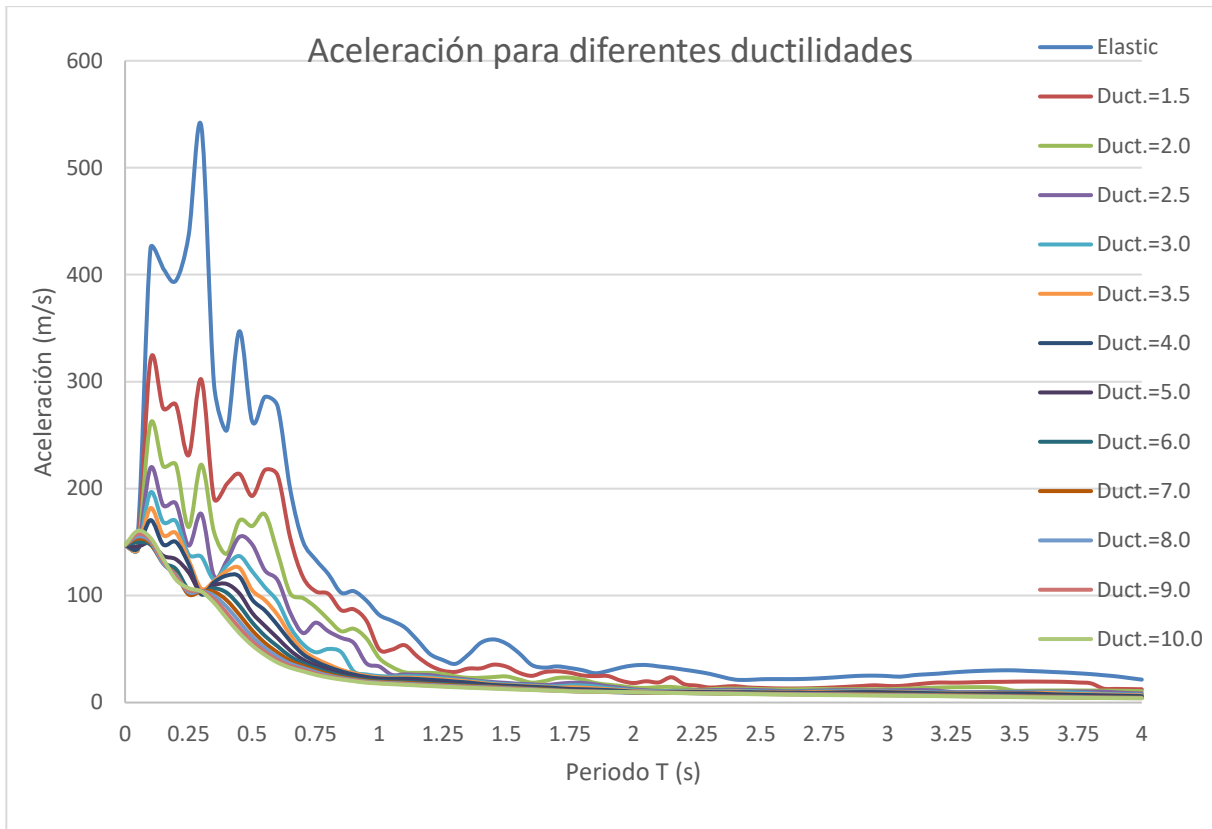
Sismo S6



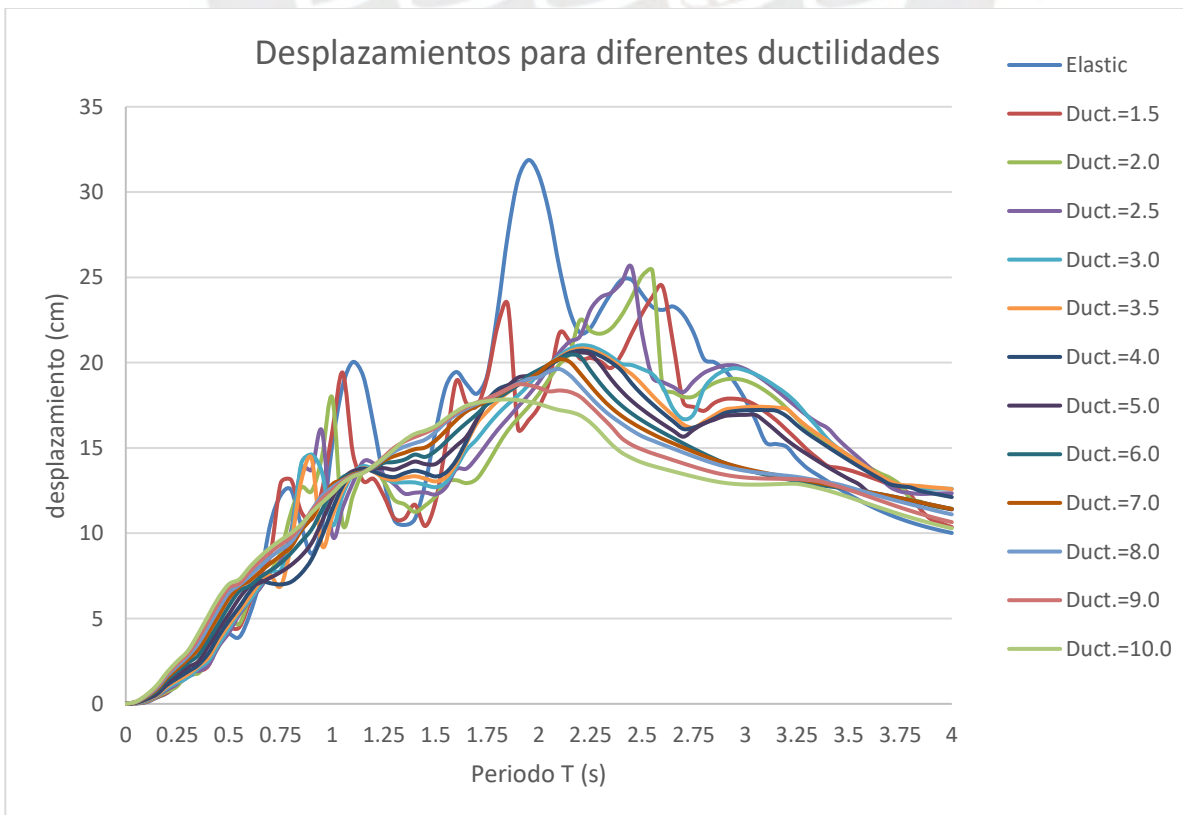
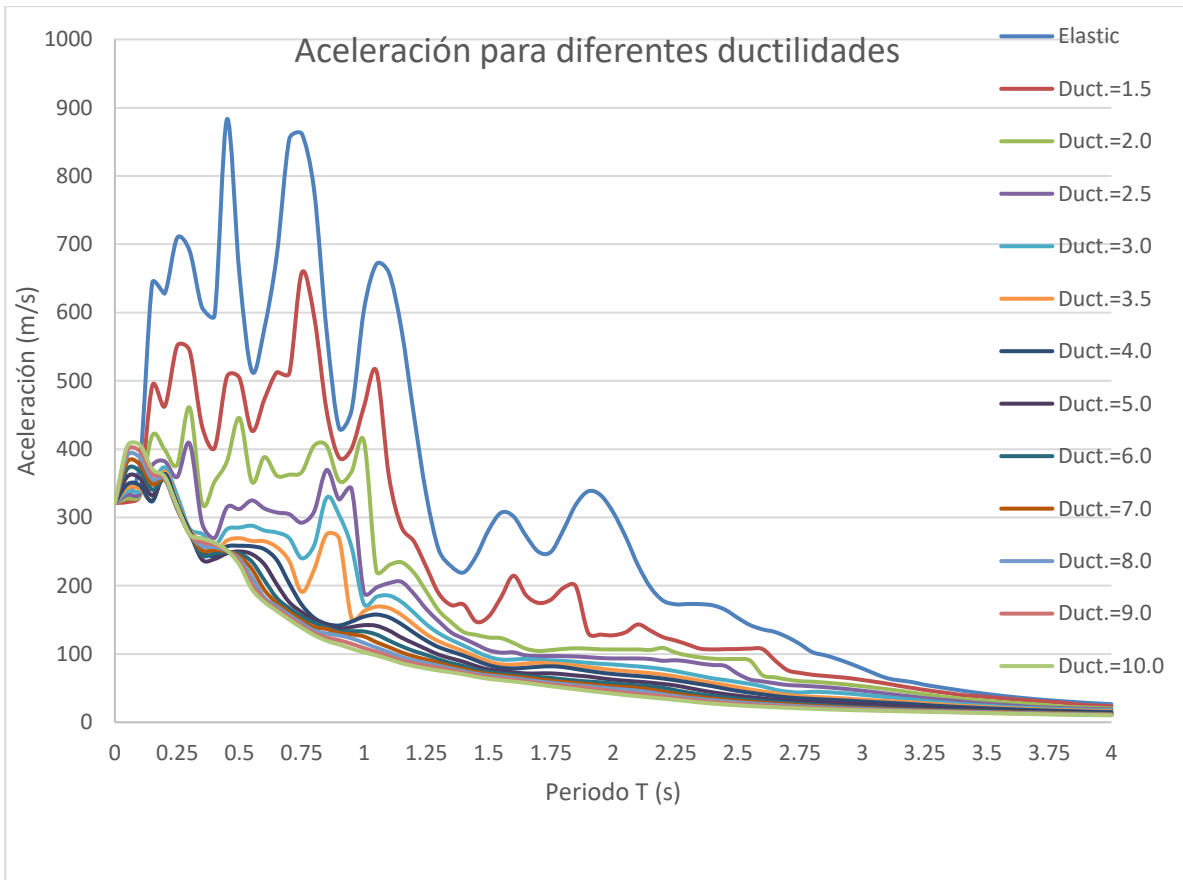
Sismo S7



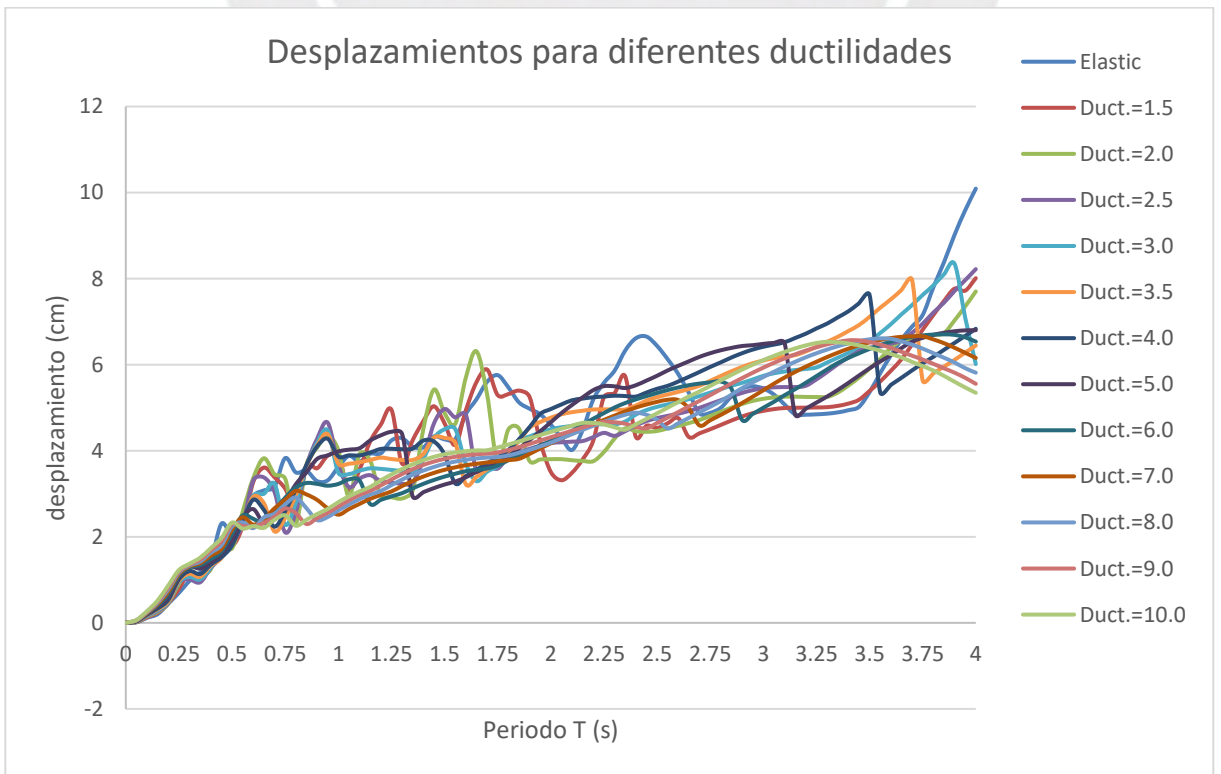
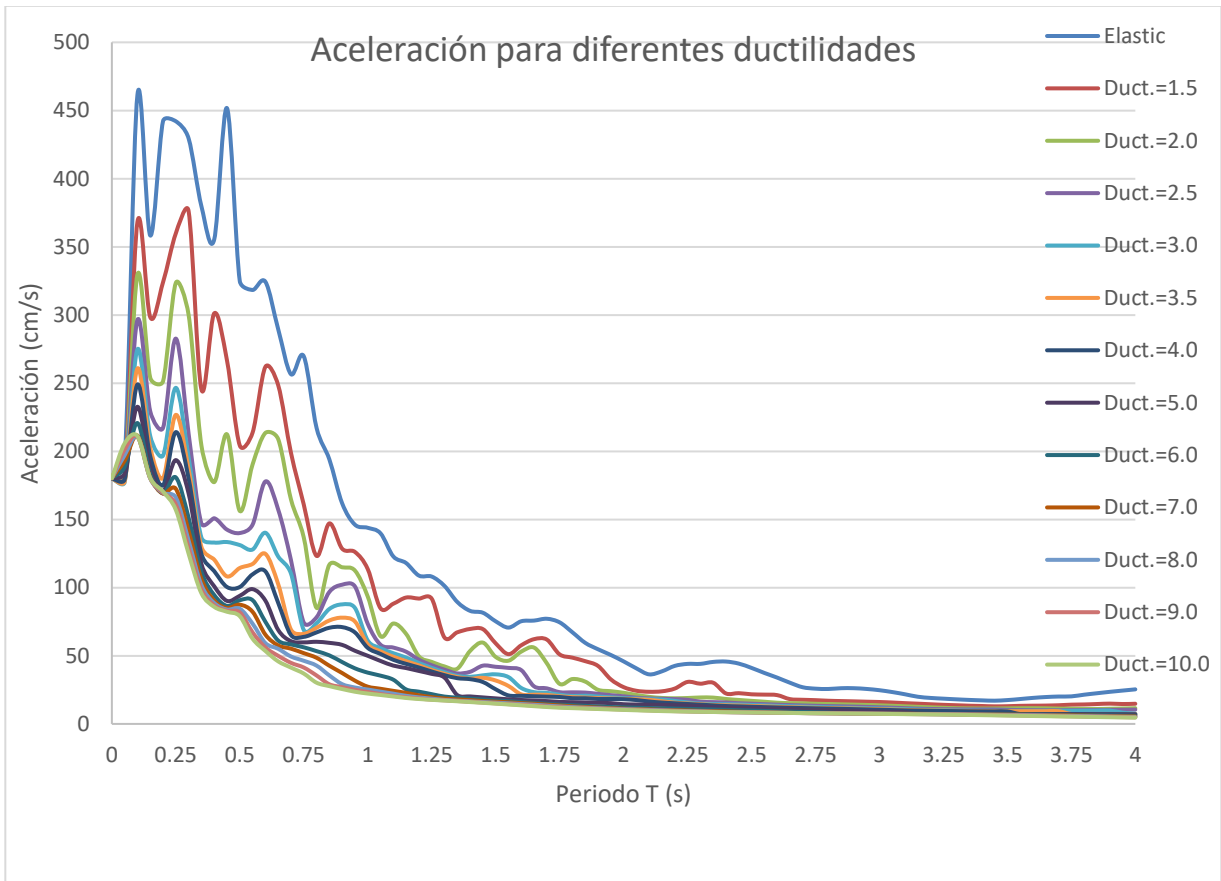
Sismo S8



Sismo S9

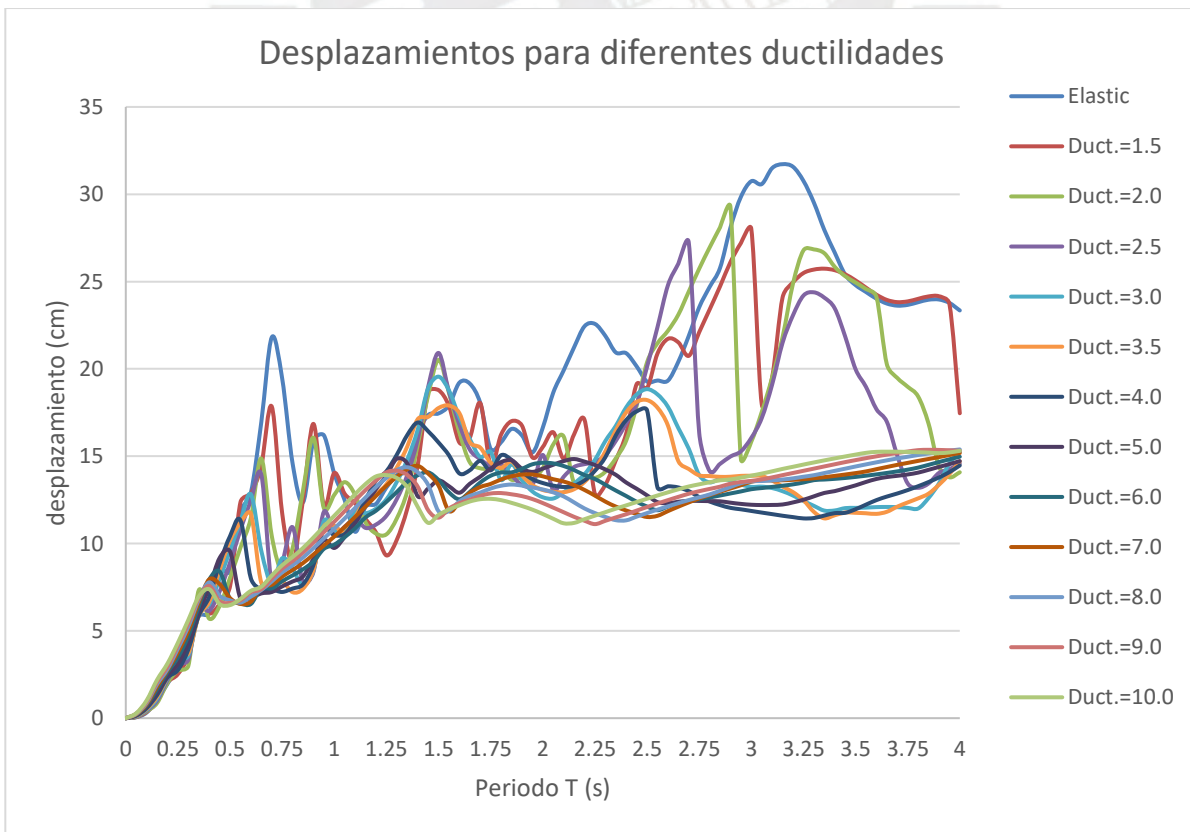
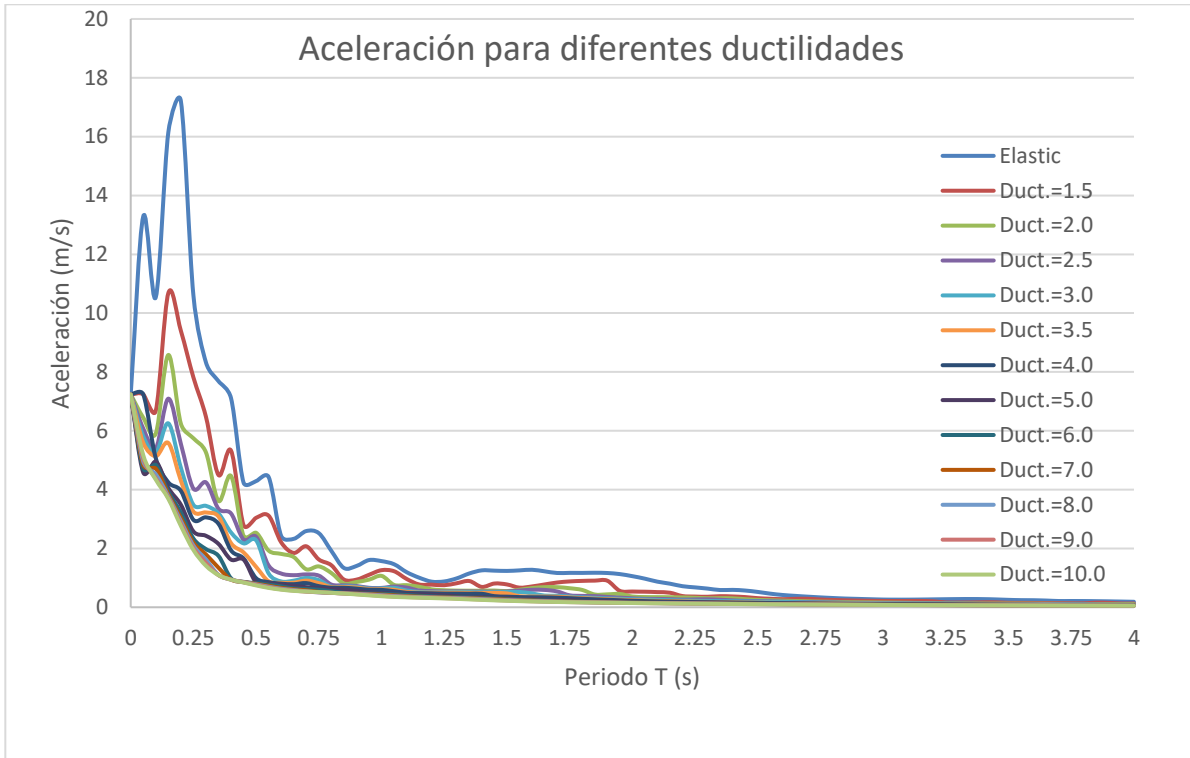


Sismo S10

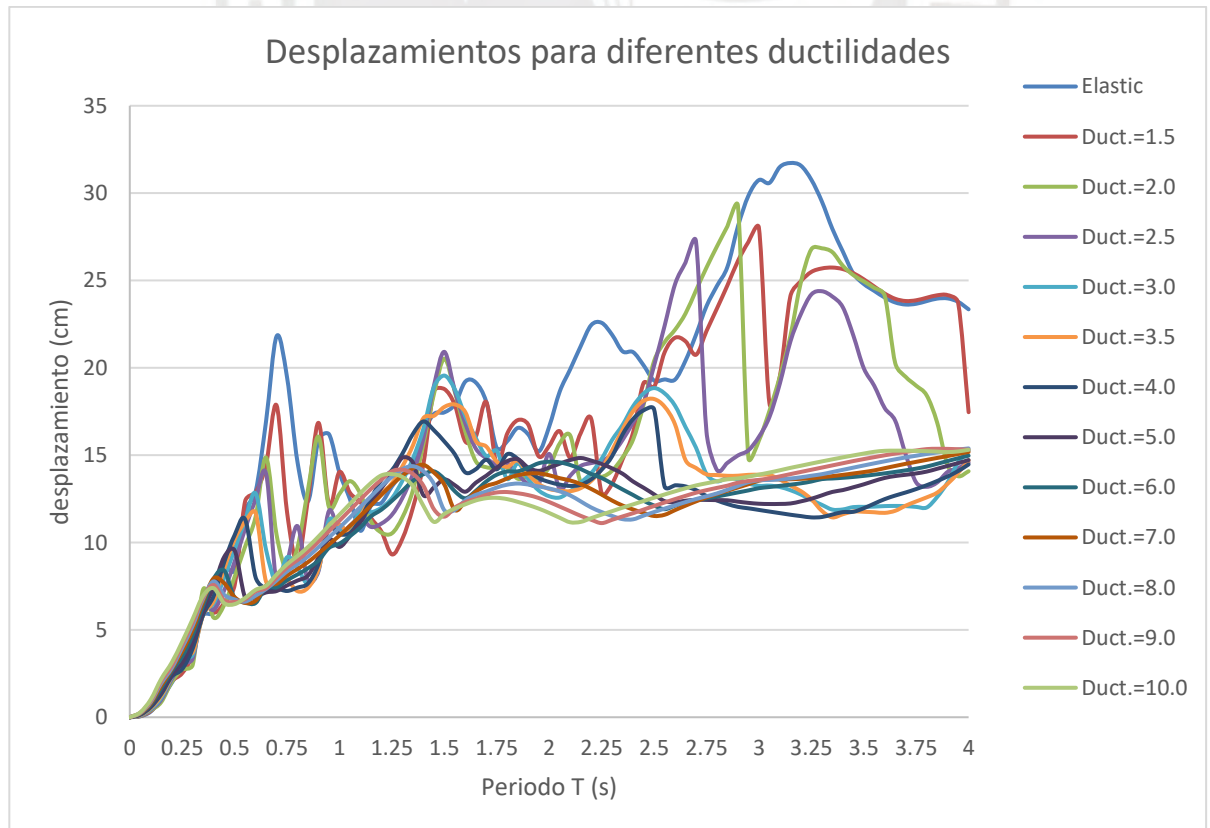
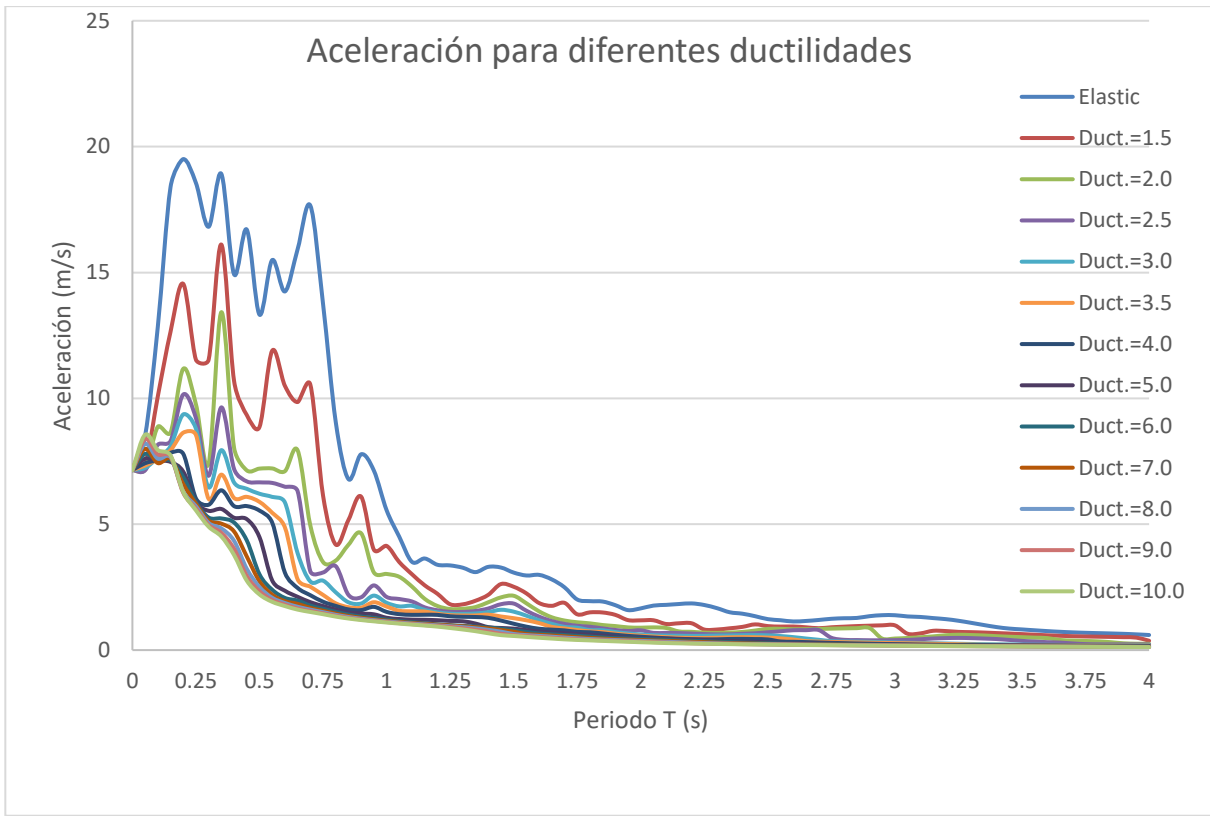


Anexo 4: Espectros elásticos e inelásticos de ductilidad constante para de Análisis NS

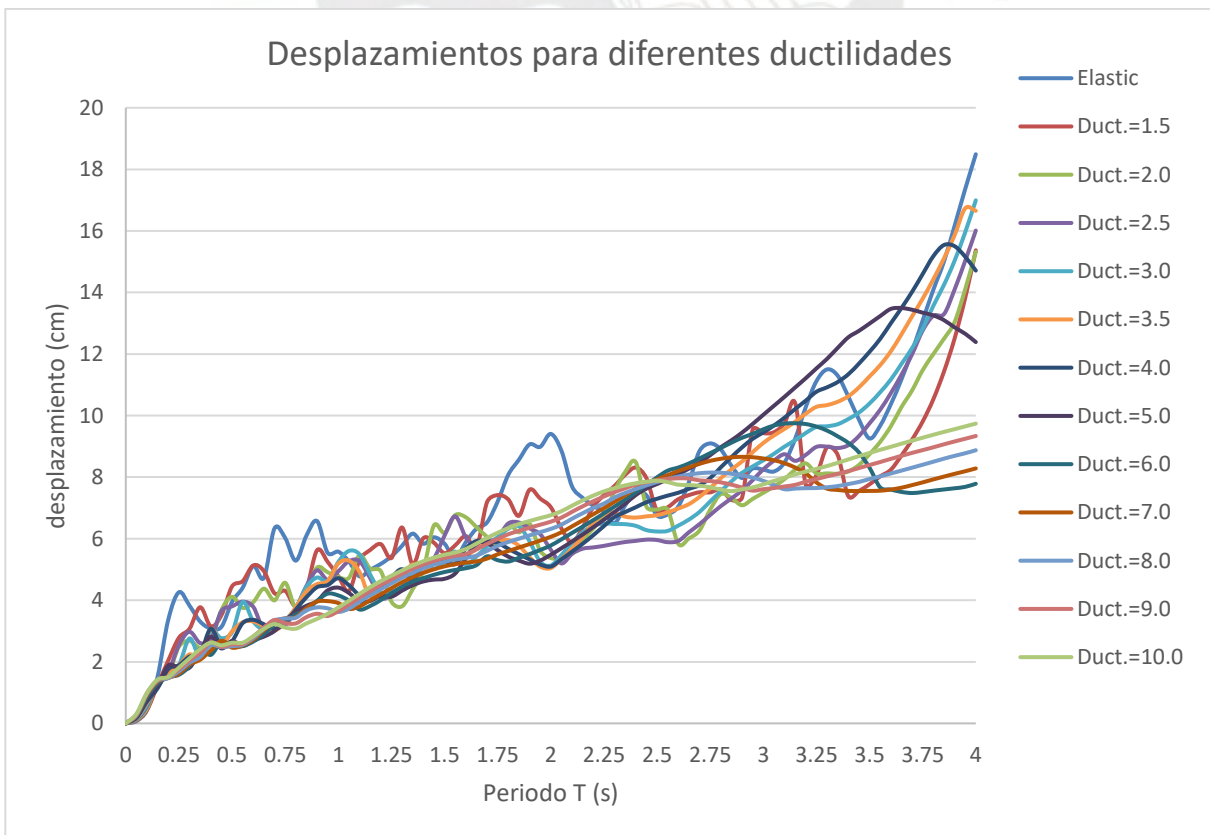
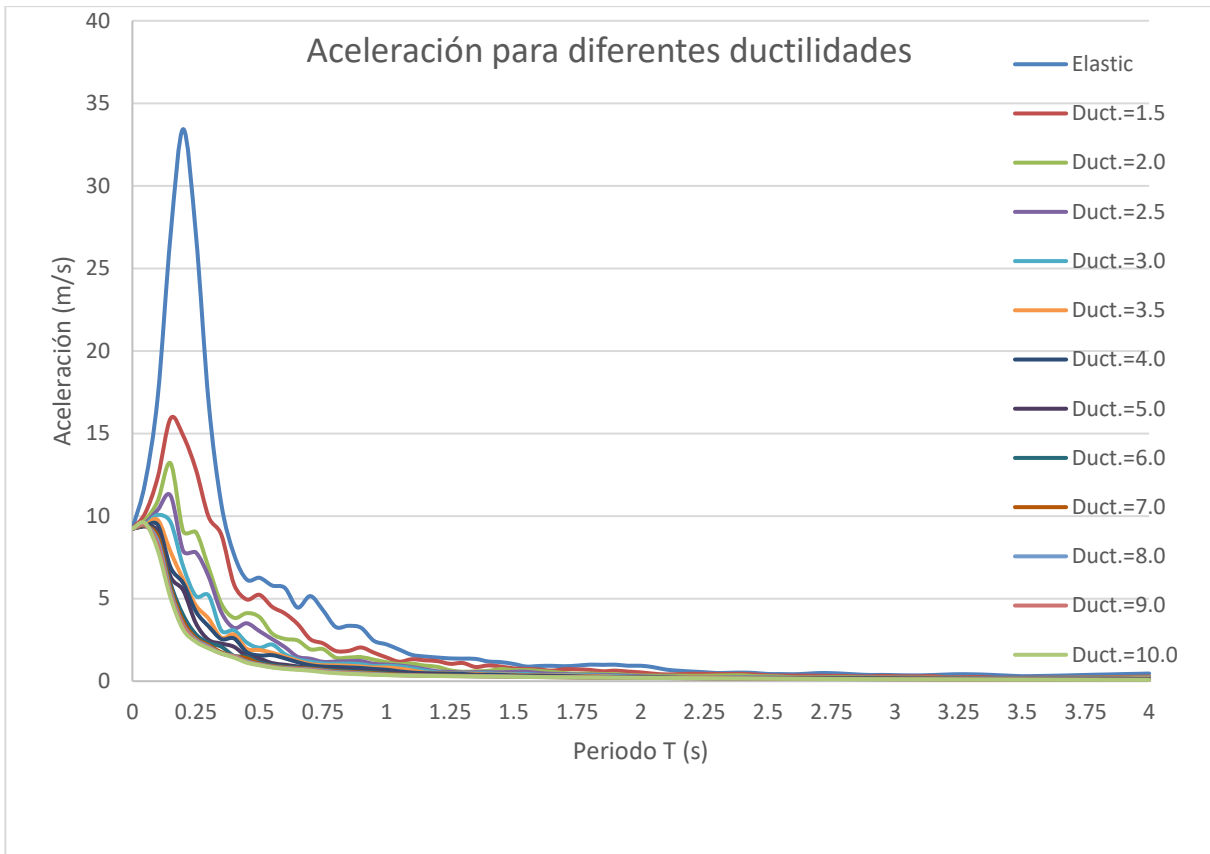
Sismo S1



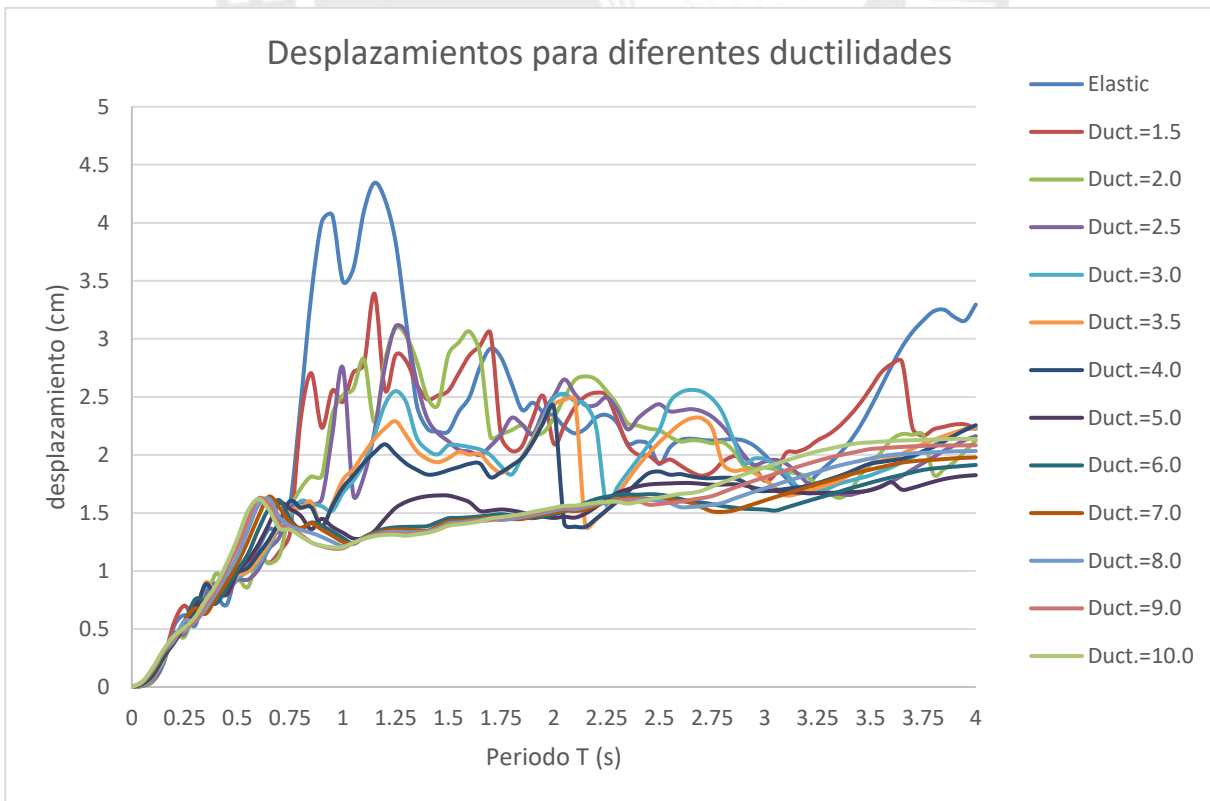
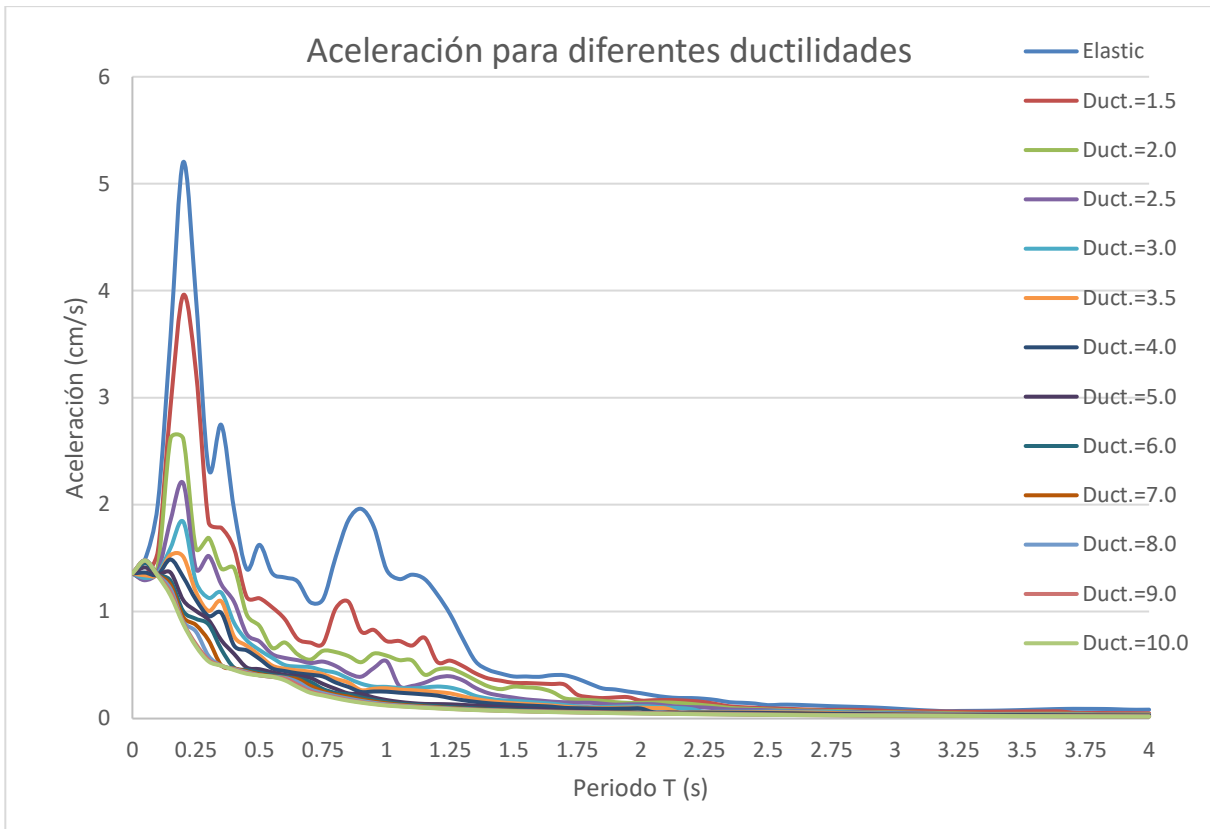
Sismo S2



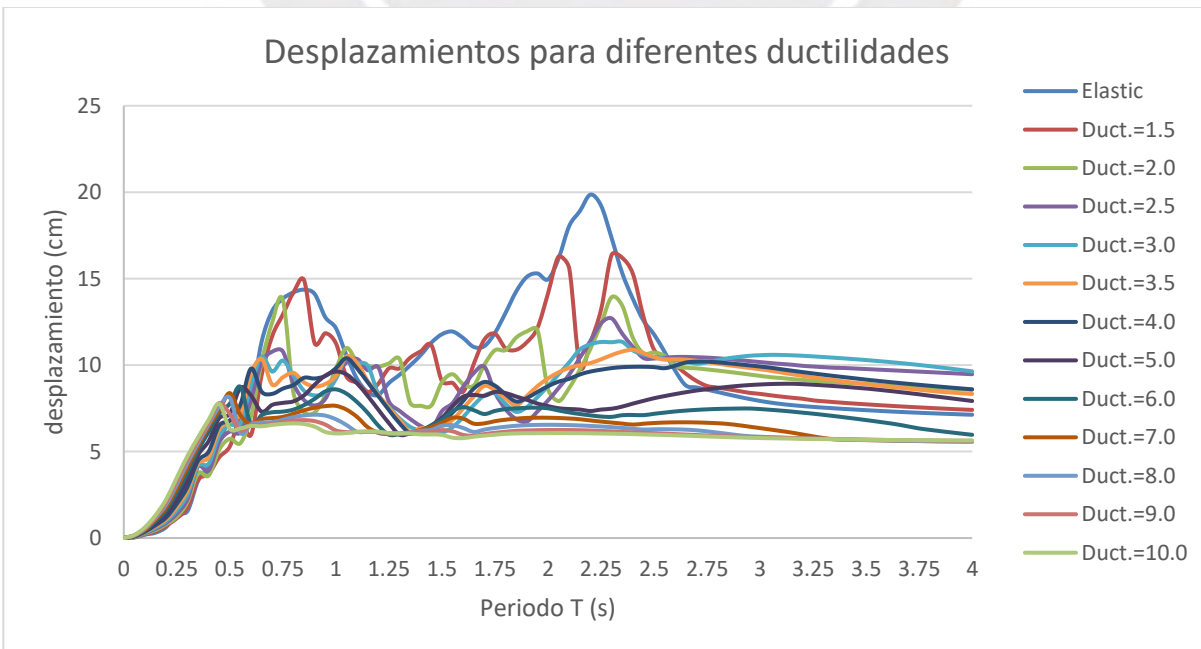
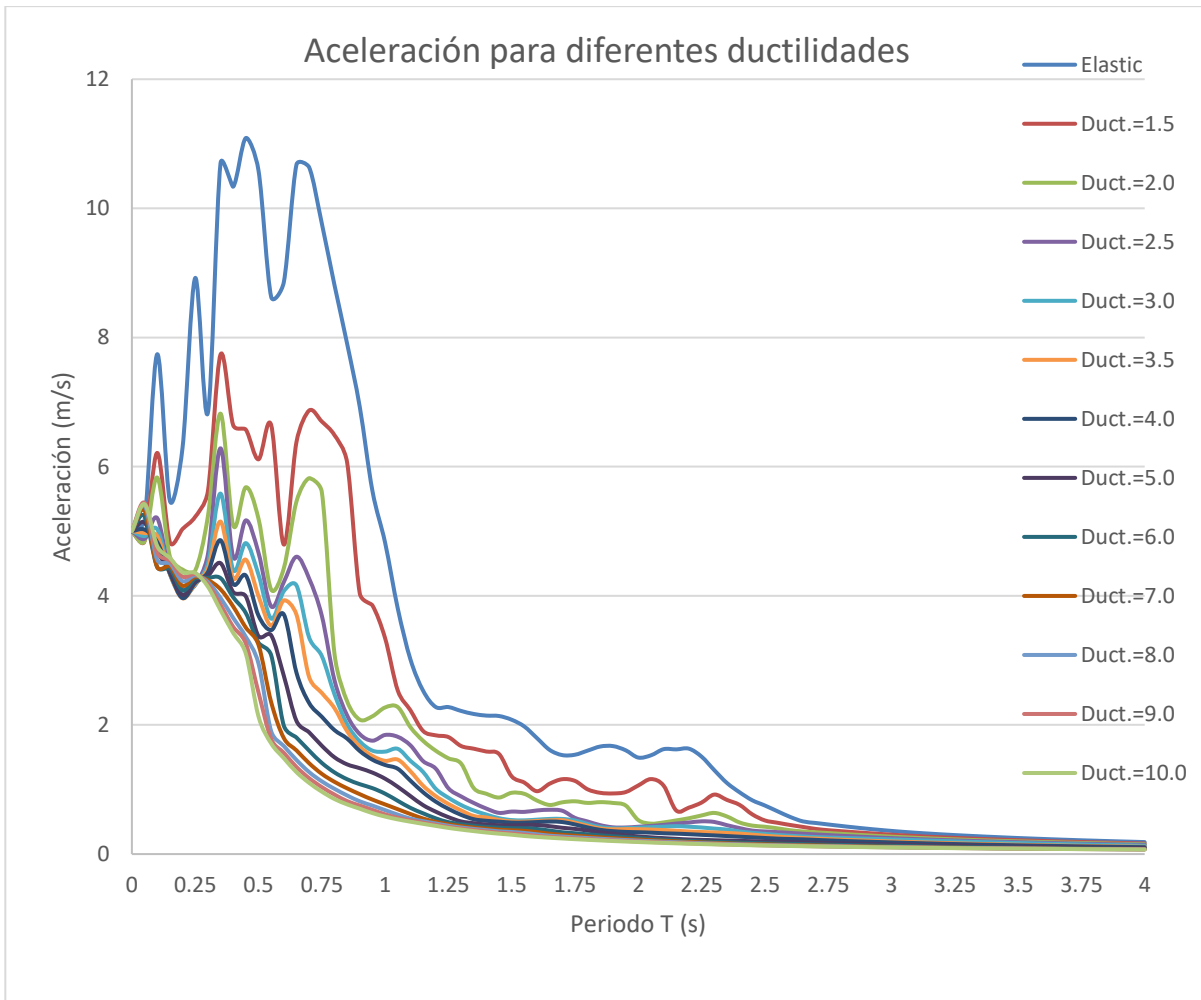
Sismo S3



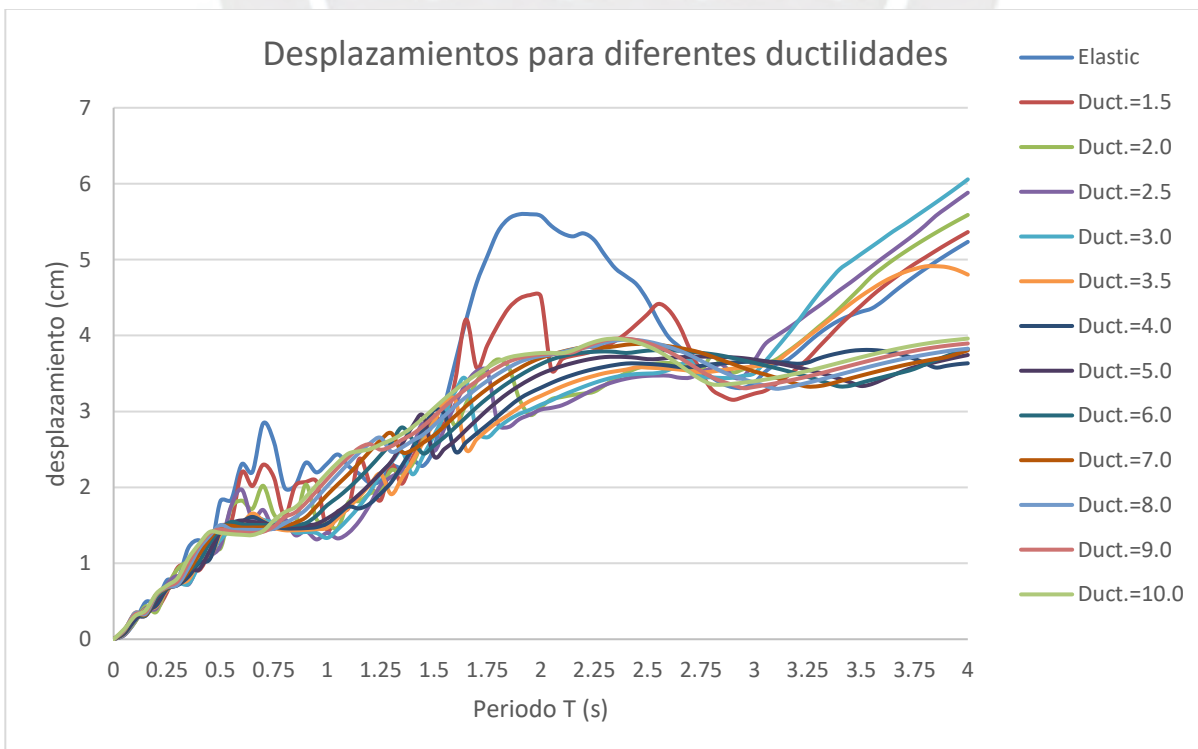
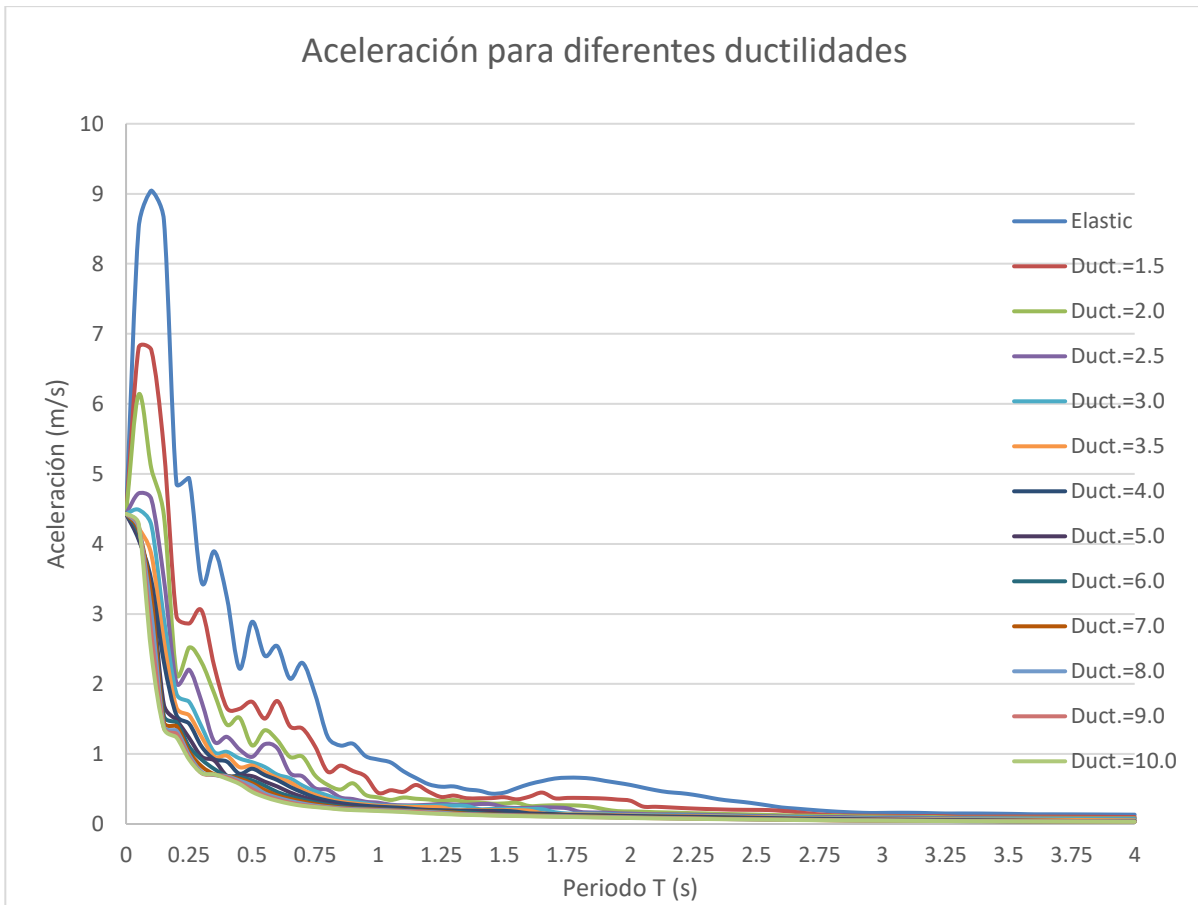
Sismo S4



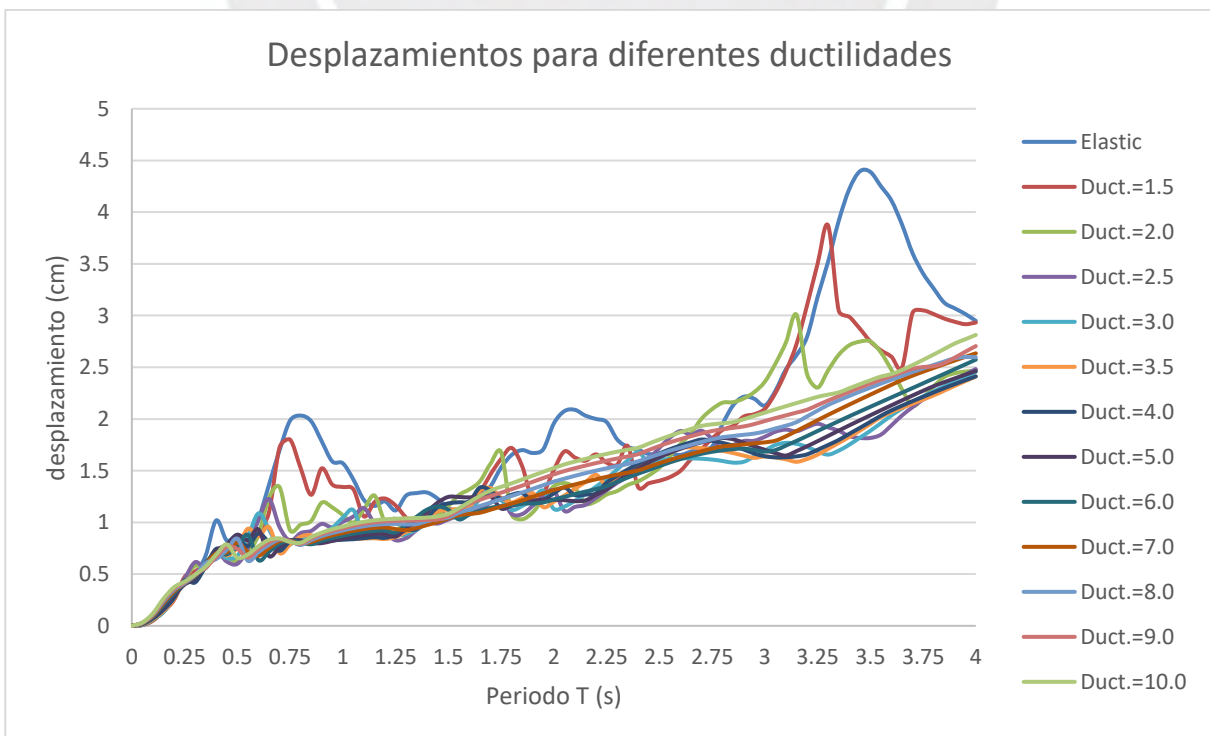
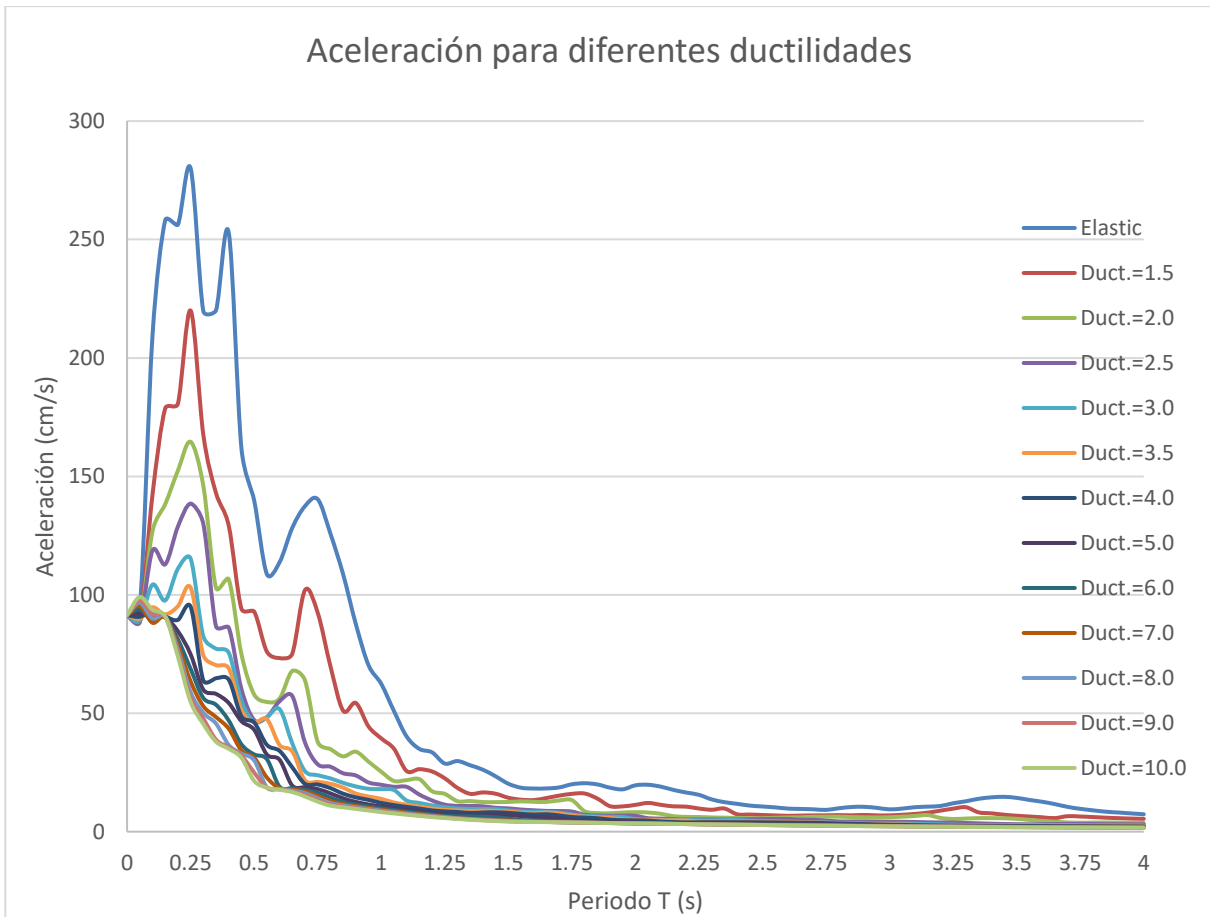
Sismo S5



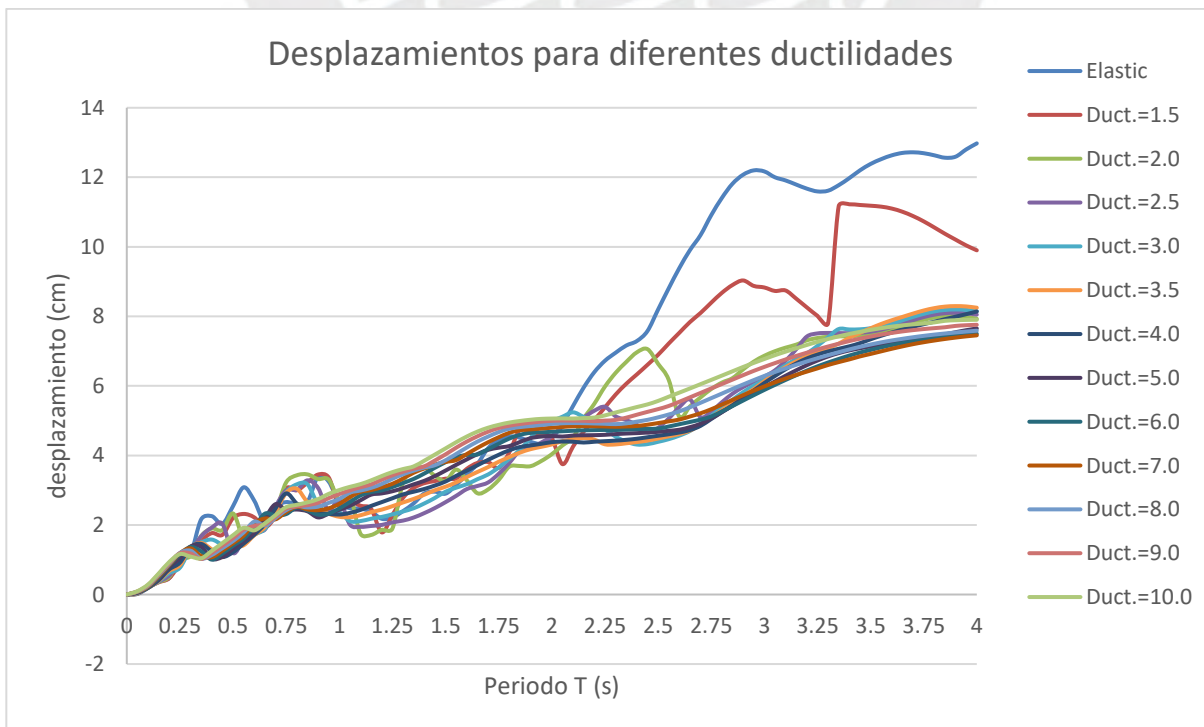
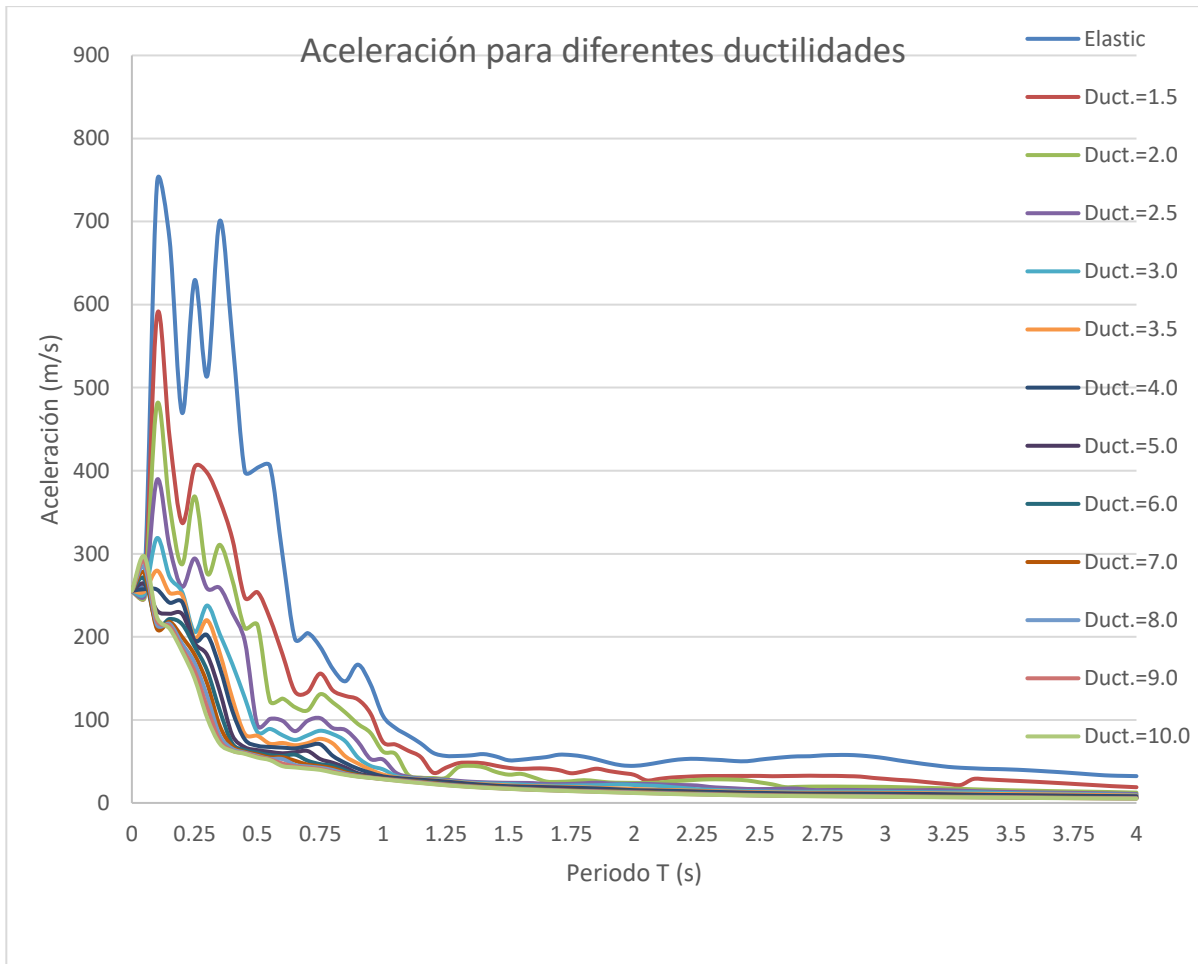
Sismo S6



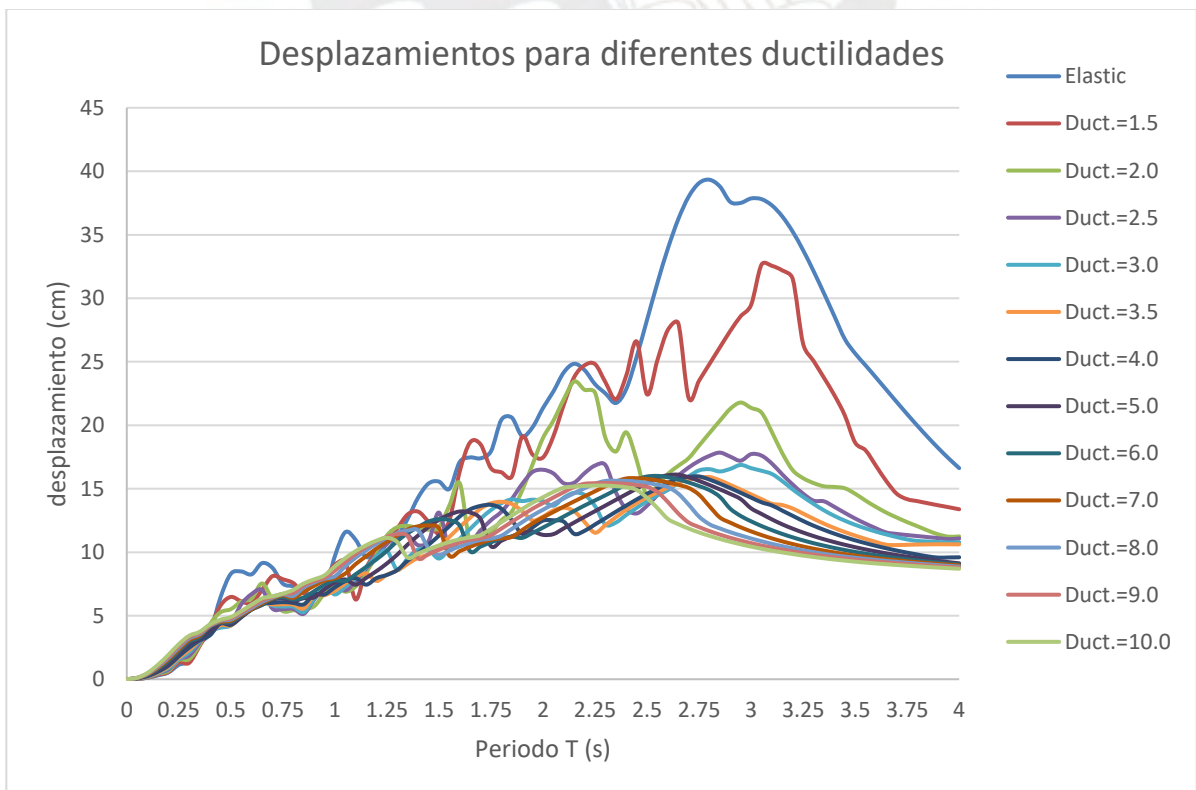
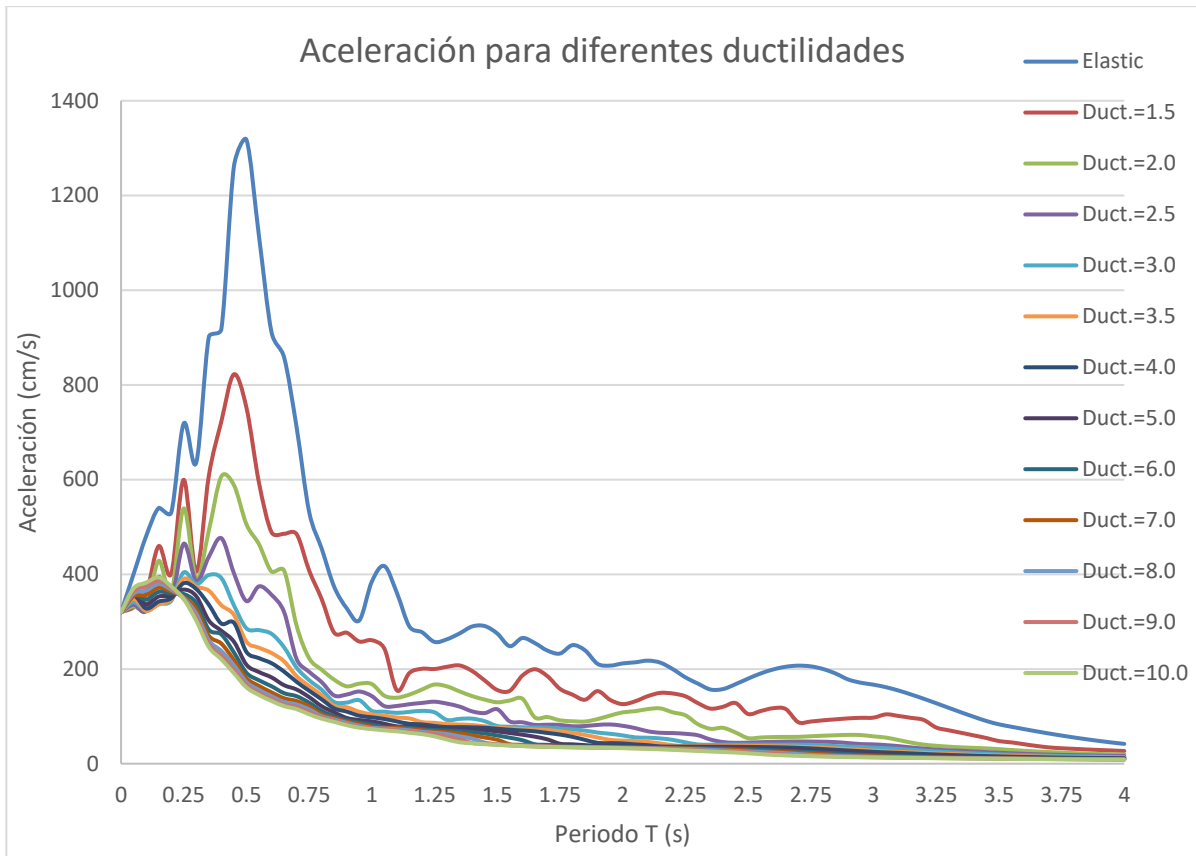
Sismo S7



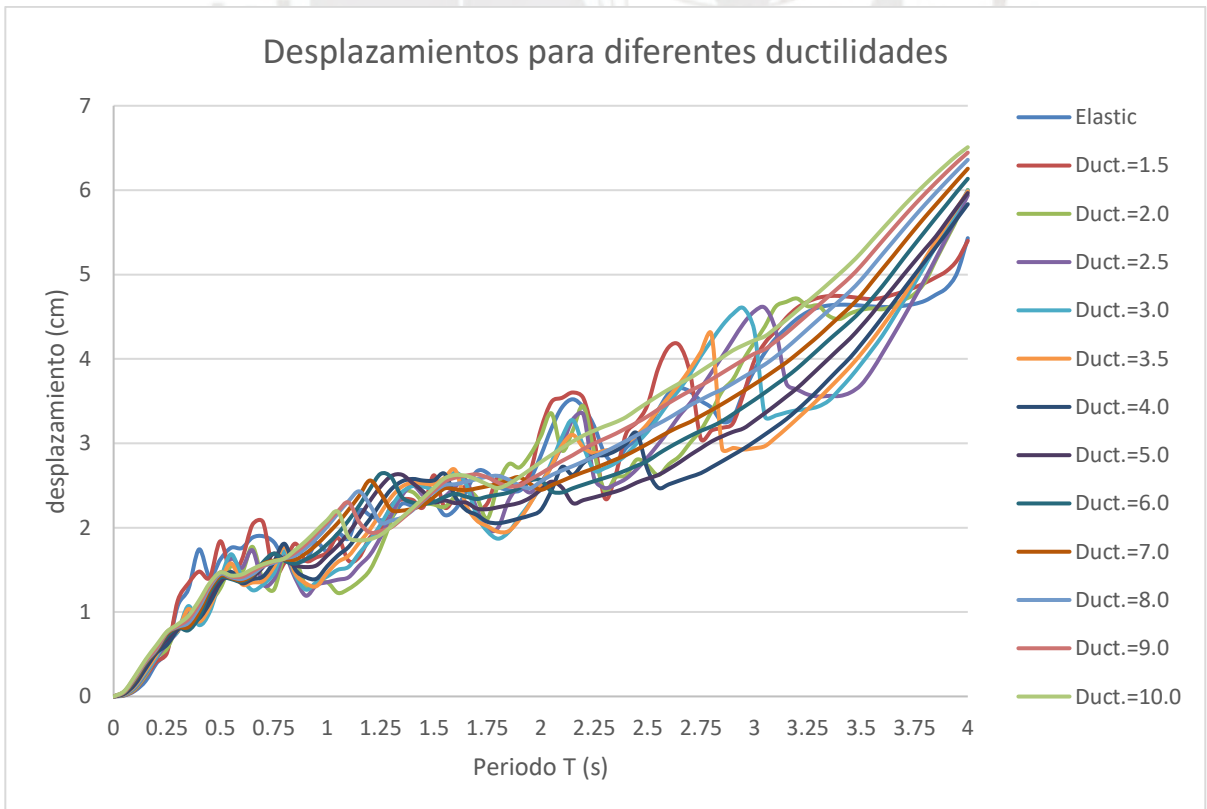
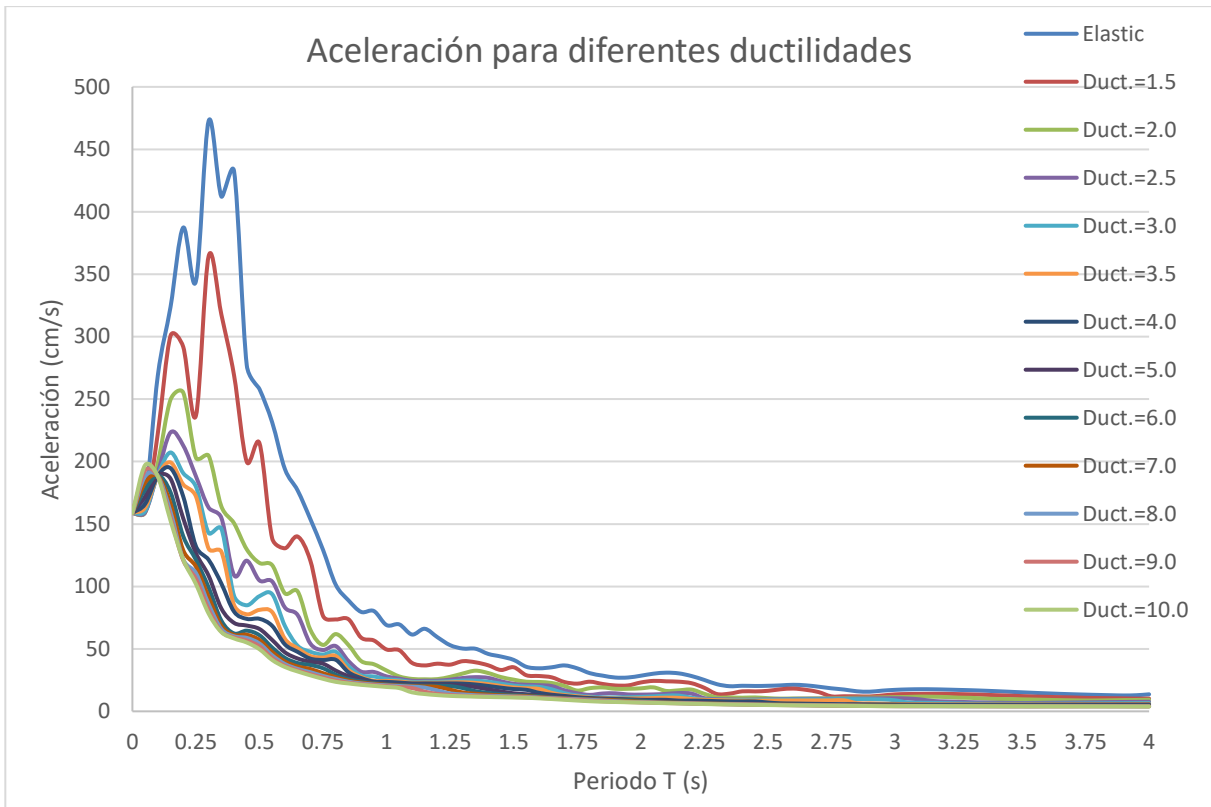
Sismo S8



Sismo S9



Sismo S10



Anexo 5: Resultados y comparativo de la norma actual y las ecuaciones de ajuste, límite inferior de intervalo de confianza del 90%.

T	R	Ω	Ω (espectro)	μ (norma)	$R\mu$	μ (Ew)	μ (Ns)	μ (Ew)/ μ (norma)	μ (Ns)/ μ (norma)
0.06	3	2.5	1.176	0.77	1.02	1.00	0.98	1.306	1.282
0.07	3	2.5	1.081	0.83	1.11	1.15	1.12	1.380	1.348
0.08	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.29	1.25	1.429	1.389
0.1	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.25	1.22	1.389	1.350
0.15	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.20	1.16	1.329	1.291
0.2	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.16	1.13	1.294	1.257
0.25	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.14	1.11	1.270	1.234
0.30	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.13	1.10	1.253	1.218
0.35	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.12	1.08	1.239	1.205
0.40	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.11	1.08	1.229	1.195
0.45	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.10	1.07	1.220	1.186
0.50	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.09	1.06	1.212	1.179
0.55	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.09	1.06	1.206	1.173
0.60	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.08	1.05	1.200	1.168
0.65	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.08	1.05	1.195	1.163
0.70	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.07	1.04	1.191	1.159
0.06	4	2.5	1.176	1.02	1.36	1.68	1.62	1.647	1.592
0.07	4	2.5	1.081	1.11	1.48	1.86	1.79	1.680	1.614
0.08	4	2.5	1.000	1.20	1.60	2.03	1.94	1.690	1.614
0.1	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.89	1.80	1.571	1.500
0.15	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.68	1.60	1.401	1.337
0.2	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.57	1.50	1.307	1.248
0.25	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.50	1.43	1.247	1.190
0.30	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.44	1.38	1.203	1.149
0.35	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.40	1.34	1.170	1.118
0.40	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.37	1.31	1.144	1.094
0.45	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.35	1.29	1.123	1.074
0.50	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.33	1.27	1.105	1.058
0.55	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.31	1.25	1.090	1.044
0.60	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.29	1.24	1.077	1.032
0.65	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.28	1.23	1.066	1.021
0.70	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.27	1.21	1.056	1.012

T	R	Ω	Ω (espectro)	μ (norma)	$R\mu$	μ (Ew)	μ (Ns)	μ (Ew)/ μ (norma)	μ (Ns)/ μ (norma)
0.06	6	2.5	1.176	1.53	2.04	3.50	3.30	2.285	2.158
0.07	6	2.5	1.081	1.67	2.22	3.69	3.46	2.215	2.078
0.08	6	2.5	1.000	1.80	2.40	3.85	3.59	2.140	1.995
0.1	6	2.5	1.000	1.80	2.40	3.36	3.13	1.868	1.738
0.15	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.72	2.53	1.509	1.403
0.2	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.39	2.22	1.327	1.234
0.25	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.19	2.03	1.214	1.130
0.30	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.05	1.91	1.137	1.059
0.35	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.94	1.81	1.079	1.007
0.40	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.86	1.74	1.035	0.966
0.45	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.80	1.68	1.000	0.934
0.50	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.75	1.63	0.970	0.908
0.55	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.70	1.59	0.946	0.885
0.60	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.66	1.56	0.925	0.867
0.65	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.63	1.53	0.907	0.850
0.70	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.60	1.50	0.891	0.836
0.06	7	2.5	1.176	1.79	2.38	4.62	4.32	2.587	2.423
0.07	7	2.5	1.081	1.94	2.59	4.78	4.44	2.461	2.288
0.08	7	2.5	1.000	2.10	2.80	4.92	4.54	2.341	2.162
0.1	7	2.5	1.000	2.10	2.80	4.19	3.86	1.996	1.839
0.15	7	2.5	1.000	2.10	2.80	3.26	3.00	1.553	1.429
0.2	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.80	2.58	1.334	1.229
0.25	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.52	2.33	1.202	1.108
0.30	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.34	2.16	1.112	1.027
0.35	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.20	2.03	1.047	0.967
0.40	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.09	1.94	0.996	0.922
0.45	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.01	1.86	0.956	0.886
0.50	7	2.5	1.000	2.10	2.80	1.94	1.80	0.924	0.856
0.55	7	2.5	1.000	2.10	2.80	1.88	1.75	0.896	0.832
0.60	7	2.5	1.000	2.10	2.80	1.83	1.70	0.873	0.811
0.65	7	2.5	1.000	2.10	2.80	1.79	1.67	0.853	0.793
0.70	7	2.5	1.000	2.10	2.80	1.75	1.63	0.835	0.777
0.06	8	2.5	1.176	2.04	2.72	5.88	5.46	2.882	2.678
0.07	8	2.5	1.081	2.22	2.96	5.99	5.52	2.696	2.487
0.08	8	2.5	1.000	2.40	3.20	6.07	5.56	2.530	2.317
0.1	8	2.5	1.000	2.40	3.20	5.07	4.63	2.113	1.931
0.15	8	2.5	1.000	2.40	3.20	3.82	3.49	1.591	1.452
0.2	8	2.5	1.000	2.40	3.20	3.22	2.94	1.341	1.224
0.25	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.86	2.61	1.192	1.090
0.30	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.62	2.40	1.092	0.999
0.35	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.45	2.24	1.019	0.934
0.40	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.31	2.12	0.964	0.885
0.45	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.21	2.03	0.920	0.846
0.50	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.12	1.95	0.885	0.814
0.55	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.05	1.89	0.855	0.788
0.60	8	2.5	1.000	2.40	3.20	1.99	1.84	0.830	0.766
0.65	8	2.5	1.000	2.40	3.20	1.94	1.79	0.809	0.746
0.70	8	2.5	1.000	2.40	3.20	1.90	1.75	0.790	0.730

T	R	Sa (g)	Sa/R (g)	Sd (cm)	0.75 Sd* R	dy (cm)	d i (Ew)	d i (Ns)	d i (Ew)/di (norm)	d i (Ns)/ di (norma)
0.06	3	1.125	0.375	0.03	0.08	0.10	0.10	0.10	1.31	1.28
0.07	3	1.13	0.375	0.05	0.10	0.12	0.14	0.14	1.38	1.35
0.08	3	1.13	0.375	0.06	0.13	0.15	0.19	0.19	1.43	1.39
0.1	3	1.125	0.375	0.09	0.21	0.23	0.29	0.28	1.39	1.35
0.15	3	1.13	0.375	0.21	0.47	0.52	0.63	0.61	1.33	1.29
0.2	3	1.125	0.375	0.37	0.84	0.93	1.09	1.05	1.29	1.26
0.25	3	1.125	0.375	0.58	1.31	1.46	1.66	1.62	1.27	1.23
0.30	3	1.125	0.375	0.84	1.89	2.10	2.36	2.30	1.25	1.22
0.35	3	1.125	0.375	1.14	2.57	2.85	3.18	3.10	1.24	1.21
0.40	3	1.125	0.375	1.49	3.35	3.73	4.12	4.01	1.23	1.19
0.45	3	1.125	0.375	1.89	4.25	4.72	5.18	5.04	1.22	1.19
0.50	3	1.125	0.375	2.33	5.24	5.82	6.35	6.18	1.21	1.18
0.55	3	1.125	0.375	2.82	6.34	7.05	7.65	7.44	1.21	1.17
0.60	3	1.125	0.375	3.35	7.55	8.39	9.06	8.82	1.20	1.17
0.65	3	1.125	0.375	3.94	8.86	9.84	10.59	10.31	1.20	1.16
0.70	3	1.13	0.375	4.57	10.27	11.42	12.23	11.91	1.19	1.16
0.06	4	1.125	0.281	0.03	0.08	0.07	0.12	0.12	1.65	1.59
0.07	4	1.13	0.281	0.03	0.10	0.09	0.17	0.17	1.68	1.61
0.08	4	1.13	0.281	0.04	0.13	0.11	0.23	0.22	1.69	1.61
0.1	4	1.125	0.281	0.07	0.21	0.17	0.33	0.31	1.57	1.50
0.15	4	1.13	0.281	0.16	0.47	0.39	0.66	0.63	1.40	1.34
0.2	4	1.125	0.281	0.28	0.84	0.70	1.10	1.05	1.31	1.25
0.25	4	1.125	0.281	0.44	1.31	1.09	1.63	1.56	1.25	1.19
0.30	4	1.125	0.281	0.63	1.89	1.57	2.27	2.17	1.20	1.15
0.35	4	1.125	0.281	0.86	2.57	2.14	3.01	2.87	1.17	1.12
0.40	4	1.125	0.281	1.12	3.35	2.80	3.84	3.67	1.14	1.09
0.45	4	1.125	0.281	1.42	4.25	3.54	4.77	4.56	1.12	1.07
0.50	4	1.125	0.281	1.75	5.24	4.37	5.79	5.55	1.11	1.06
0.55	4	1.125	0.281	2.11	6.34	5.29	6.91	6.62	1.09	1.04
0.60	4	1.125	0.281	2.52	7.55	6.29	8.13	7.79	1.08	1.03
0.65	4	1.125	0.281	2.95	8.86	7.38	9.44	9.05	1.07	1.02
0.70	4	1.13	0.281	3.42	10.27	8.56	10.85	10.40	1.06	1.01

T	R	Sa (g)	Sa/R (g)	Sd (cm)	0.75 Sd* R	dy (cm)	d i (Ew)	d i (Ns)	d i (Ew)/di (norm)	d i (Ns)/ di (norma)
0.06	6	1.125	0.188	0.02	0.08	0.05	0.17	0.16	2.28	2.16
0.07	6	1.13	0.188	0.02	0.10	0.06	0.23	0.21	2.22	2.08
0.08	6	1.13	0.188	0.03	0.13	0.07	0.29	0.27	2.14	1.99
0.1	6	1.125	0.188	0.05	0.21	0.12	0.39	0.36	1.87	1.74
0.15	6	1.13	0.188	0.10	0.47	0.26	0.71	0.66	1.51	1.40
0.2	6	1.125	0.188	0.19	0.84	0.47	1.11	1.03	1.33	1.23
0.25	6	1.125	0.188	0.29	1.31	0.73	1.59	1.48	1.21	1.13
0.30	6	1.125	0.188	0.42	1.89	1.05	2.14	2.00	1.14	1.06
0.35	6	1.125	0.188	0.57	2.57	1.43	2.77	2.59	1.08	1.01
0.40	6	1.125	0.188	0.75	3.35	1.86	3.47	3.24	1.04	0.97
0.45	6	1.125	0.188	0.94	4.25	2.36	4.24	3.97	1.00	0.93
0.50	6	1.125	0.188	1.16	5.24	2.91	5.09	4.76	0.97	0.91
0.55	6	1.125	0.188	1.41	6.34	3.52	6.00	5.62	0.95	0.89
0.60	6	1.125	0.188	1.68	7.55	4.19	6.98	6.54	0.92	0.87
0.65	6	1.125	0.188	1.97	8.86	4.92	8.03	7.53	0.91	0.85
0.70	6	1.13	0.188	2.28	10.27	5.71	9.15	8.59	0.89	0.84
0.06	7	1.125	0.161	0.01	0.08	0.04	0.20	0.18	2.59	2.42
0.07	7	1.13	0.161	0.02	0.10	0.05	0.25	0.24	2.46	2.29
0.08	7	1.13	0.161	0.03	0.13	0.06	0.31	0.29	2.34	2.16
0.1	7	1.125	0.161	0.04	0.21	0.10	0.42	0.39	2.00	1.84
0.15	7	1.13	0.161	0.09	0.47	0.22	0.73	0.67	1.55	1.43
0.2	7	1.125	0.161	0.16	0.84	0.40	1.12	1.03	1.33	1.23
0.25	7	1.125	0.161	0.25	1.31	0.62	1.58	1.45	1.20	1.11
0.30	7	1.125	0.161	0.36	1.89	0.90	2.10	1.94	1.11	1.03
0.35	7	1.125	0.161	0.49	2.57	1.22	2.69	2.48	1.05	0.97
0.40	7	1.125	0.161	0.64	3.35	1.60	3.34	3.09	1.00	0.92
0.45	7	1.125	0.161	0.81	4.25	2.02	4.06	3.76	0.96	0.89
0.50	7	1.125	0.161	1.00	5.24	2.50	4.84	4.49	0.92	0.86
0.55	7	1.125	0.161	1.21	6.34	3.02	5.68	5.28	0.90	0.83
0.60	7	1.125	0.161	1.44	7.55	3.59	6.59	6.12	0.87	0.81
0.65	7	1.125	0.161	1.69	8.86	4.22	7.55	7.02	0.85	0.79
0.70	7	1.13	0.161	1.96	10.27	4.89	8.58	7.98	0.84	0.78
0.06	8	1.125	0.141	0.01	0.08	0.04	0.22	0.20	2.88	2.68
0.07	8	1.13	0.141	0.02	0.10	0.05	0.28	0.26	2.70	2.49
0.08	8	1.13	0.141	0.02	0.13	0.06	0.34	0.31	2.53	2.32
0.1	8	1.125	0.141	0.03	0.21	0.09	0.44	0.40	2.11	1.93
0.15	8	1.13	0.141	0.08	0.47	0.20	0.75	0.69	1.59	1.45
0.2	8	1.125	0.141	0.14	0.84	0.35	1.12	1.03	1.34	1.22
0.25	8	1.125	0.141	0.22	1.31	0.55	1.56	1.43	1.19	1.09
0.30	8	1.125	0.141	0.31	1.89	0.79	2.06	1.89	1.09	1.00
0.35	8	1.125	0.141	0.43	2.57	1.07	2.62	2.40	1.02	0.93
0.40	8	1.125	0.141	0.56	3.35	1.40	3.23	2.97	0.96	0.88
0.45	8	1.125	0.141	0.71	4.25	1.77	3.91	3.59	0.92	0.85
0.50	8	1.125	0.141	0.87	5.24	2.18	4.64	4.27	0.88	0.81
0.55	8	1.125	0.141	1.06	6.34	2.64	5.42	5.00	0.86	0.79
0.60	8	1.125	0.141	1.26	7.55	3.14	6.27	5.78	0.83	0.77
0.65	8	1.125	0.141	1.48	8.86	3.69	7.16	6.61	0.81	0.75
0.70	8	1.13	0.141	1.71	10.27	4.28	8.11	7.50	0.79	0.73

Anexo 6: Resultados y comparativo de la norma actual y las ecuaciones de ajuste, límite superior de intervalo de confianza del 90%.

T	R	Ω	Ω (espectro)	μ (norma)	$R\mu$	μ (Ew)	μ (Ns)	μ (Ew)/ μ (norma)	μ (Ns)/ μ (norma)
0.06	3	2.5	1.176	0.77	1.02	1.32	1.24	1.726	1.616
0.07	3	2.5	1.081	0.83	1.11	1.55	1.49	1.867	1.786
0.08	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.77	1.71	1.962	1.905
0.1	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.70	1.64	1.887	1.817
0.15	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.60	1.52	1.777	1.692
0.2	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.54	1.46	1.716	1.624
0.25	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.51	1.42	1.677	1.580
0.30	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.48	1.39	1.648	1.549
0.35	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.46	1.37	1.627	1.526
0.40	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.45	1.36	1.609	1.508
0.45	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.44	1.34	1.596	1.493
0.50	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.43	1.33	1.584	1.481
0.55	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.42	1.32	1.574	1.471
0.60	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.41	1.32	1.566	1.462
0.65	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.40	1.31	1.558	1.454
0.70	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.40	1.30	1.552	1.448
0.06	4	2.5	1.176	1.02	1.36	2.45	2.50	2.402	2.455
0.07	4	2.5	1.081	1.11	1.48	2.74	2.83	2.469	2.547
0.08	4	2.5	1.000	1.20	1.60	2.99	3.10	2.491	2.584
0.1	4	2.5	1.000	1.20	1.60	2.70	2.74	2.252	2.287
0.15	4	2.5	1.000	1.20	1.60	2.32	2.28	1.930	1.902
0.2	4	2.5	1.000	1.20	1.60	2.12	2.05	1.764	1.711
0.25	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.99	1.91	1.661	1.595
0.30	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.91	1.82	1.589	1.516
0.35	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.84	1.75	1.536	1.458
0.40	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.79	1.70	1.495	1.414
0.45	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.75	1.65	1.462	1.379
0.50	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.72	1.62	1.435	1.350
0.55	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.69	1.59	1.412	1.326
0.60	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.67	1.57	1.392	1.306
0.65	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.65	1.55	1.376	1.288
0.70	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.63	1.53	1.361	1.273

T	R	Ω	Ω (espectro)	μ (norma)	$R\mu$	μ (Ew)	μ (Ns)	μ (Ew)/ μ (norma)	μ (Ns)/ μ (norma)
0.06	6	2.5	1.176	1.53	2.04	5.86	6.77	3.828	4.422
0.07	6	2.5	1.081	1.67	2.22	6.10	6.99	3.662	4.200
0.08	6	2.5	1.000	1.80	2.40	6.28	7.15	3.488	3.972
0.1	6	2.5	1.000	1.80	2.40	5.20	5.69	2.890	3.162
0.15	6	2.5	1.000	1.80	2.40	3.90	4.04	2.168	2.243
0.2	6	2.5	1.000	1.80	2.40	3.30	3.32	1.834	1.842
0.25	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.95	2.91	1.638	1.616
0.30	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.72	2.65	1.509	1.470
0.35	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.55	2.46	1.417	1.368
0.40	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.42	2.32	1.347	1.292
0.45	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.33	2.22	1.292	1.232
0.50	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.25	2.13	1.248	1.185
0.55	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.18	2.06	1.211	1.146
0.60	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.12	2.00	1.180	1.114
0.65	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.08	1.95	1.154	1.086
0.70	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.04	1.91	1.131	1.062
0.06	7	2.5	1.176	1.79	2.38	8.16	9.87	4.571	5.532
0.07	7	2.5	1.081	1.94	2.59	8.26	9.87	4.253	5.079
0.08	7	2.5	1.000	2.10	2.80	8.32	9.82	3.964	4.676
0.1	7	2.5	1.000	2.10	2.80	6.67	7.51	3.177	3.576
0.15	7	2.5	1.000	2.10	2.80	4.76	5.02	2.266	2.388
0.2	7	2.5	1.000	2.10	2.80	3.91	3.98	1.861	1.894
0.25	7	2.5	1.000	2.10	2.80	3.42	3.41	1.630	1.624
0.30	7	2.5	1.000	2.10	2.80	3.11	3.05	1.480	1.453
0.35	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.89	2.80	1.374	1.335
0.40	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.72	2.62	1.295	1.248
0.45	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.59	2.48	1.233	1.181
0.50	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.49	2.37	1.183	1.128
0.55	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.40	2.28	1.143	1.084
0.60	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.33	2.20	1.108	1.048
0.65	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.27	2.14	1.079	1.018
0.70	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.21	2.08	1.054	0.991
0.06	8	2.5	1.176	2.04	2.72	10.87	13.70	5.329	6.715
0.07	8	2.5	1.081	2.22	2.96	10.75	13.29	4.843	5.988
0.08	8	2.5	1.000	2.40	3.20	10.63	12.93	4.428	5.387
0.1	8	2.5	1.000	2.40	3.20	8.28	9.55	3.449	3.979
0.15	8	2.5	1.000	2.40	3.20	5.65	6.05	2.355	2.522
0.2	8	2.5	1.000	2.40	3.20	4.52	4.66	1.885	1.941
0.25	8	2.5	1.000	2.40	3.20	3.89	3.91	1.623	1.631
0.30	8	2.5	1.000	2.40	3.20	3.49	3.45	1.455	1.438
0.35	8	2.5	1.000	2.40	3.20	3.21	3.14	1.338	1.307
0.40	8	2.5	1.000	2.40	3.20	3.00	2.91	1.251	1.211
0.45	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.84	2.73	1.184	1.138
0.50	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.71	2.59	1.130	1.080
0.55	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.61	2.48	1.086	1.034
0.60	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.52	2.39	1.050	0.995
0.65	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.44	2.31	1.018	0.962
0.70	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.38	2.24	0.992	0.934

T	R	Sa (g)	Sa/R (g)	Sd (cm)	0.75 Sd* R	dy (cm)	d i (Ew)	d i (Ns)	d i (Ew)/di (norm)	d i (Ns)/ di (norma)
0.06	3	1.125	0.375	0.03	0.08	0.08	0.11	0.10	1.47	1.37
0.07	3	1.13	0.375	0.05	0.10	0.11	0.18	0.17	1.73	1.65
0.08	3	1.13	0.375	0.06	0.13	0.15	0.26	0.26	1.96	1.91
0.1	3	1.125	0.375	0.09	0.21	0.23	0.40	0.38	1.89	1.82
0.15	3	1.13	0.375	0.21	0.47	0.52	0.84	0.80	1.78	1.69
0.2	3	1.125	0.375	0.37	0.84	0.93	1.44	1.36	1.72	1.62
0.25	3	1.125	0.375	0.58	1.31	1.46	2.20	2.07	1.68	1.58
0.30	3	1.125	0.375	0.84	1.89	2.10	3.11	2.92	1.65	1.55
0.35	3	1.125	0.375	1.14	2.57	2.85	4.18	3.92	1.63	1.53
0.40	3	1.125	0.375	1.49	3.35	3.73	5.40	5.06	1.61	1.51
0.45	3	1.125	0.375	1.89	4.25	4.72	6.77	6.34	1.60	1.49
0.50	3	1.125	0.375	2.33	5.24	5.82	8.30	7.76	1.58	1.48
0.55	3	1.125	0.375	2.82	6.34	7.05	9.98	9.33	1.57	1.47
0.60	3	1.125	0.375	3.35	7.55	8.39	11.82	11.04	1.57	1.46
0.65	3	1.125	0.375	3.94	8.86	9.84	13.80	12.88	1.56	1.45
0.70	3	1.13	0.375	4.57	10.27	11.42	15.94	14.87	1.55	1.45
0.06	4	1.125	0.281	0.03	0.08	0.06	0.15	0.16	2.04	2.09
0.07	4	1.13	0.281	0.03	0.10	0.09	0.23	0.24	2.28	2.36
0.08	4	1.13	0.281	0.04	0.13	0.11	0.33	0.35	2.49	2.58
0.1	4	1.125	0.281	0.07	0.21	0.17	0.47	0.48	2.25	2.29
0.15	4	1.13	0.281	0.16	0.47	0.39	0.91	0.90	1.93	1.90
0.2	4	1.125	0.281	0.28	0.84	0.70	1.48	1.43	1.76	1.71
0.25	4	1.125	0.281	0.44	1.31	1.09	2.18	2.09	1.66	1.59
0.30	4	1.125	0.281	0.63	1.89	1.57	3.00	2.86	1.59	1.52
0.35	4	1.125	0.281	0.86	2.57	2.14	3.94	3.75	1.54	1.46
0.40	4	1.125	0.281	1.12	3.35	2.80	5.01	4.74	1.49	1.41
0.45	4	1.125	0.281	1.42	4.25	3.54	6.21	5.85	1.46	1.38
0.50	4	1.125	0.281	1.75	5.24	4.37	7.52	7.08	1.43	1.35
0.55	4	1.125	0.281	2.11	6.34	5.29	8.96	8.41	1.41	1.33
0.60	4	1.125	0.281	2.52	7.55	6.29	10.51	9.86	1.39	1.31
0.65	4	1.125	0.281	2.95	8.86	7.38	12.19	11.41	1.38	1.29
0.70	4	1.13	0.281	3.42	10.27	8.56	13.98	13.08	1.36	1.27

T	R	Sa (g)	Sa/R (g)	Sd (cm)	0.75 Sd* R	dy (cm)	d i (Ew)	d i (Ns)	d i (Ew)/di (norm)	d i (Ns)/ di (norma)
0.06	6	1.125	0.188	0.02	0.08	0.04	0.25	0.28	3.25	3.76
0.07	6	1.13	0.188	0.02	0.10	0.06	0.35	0.40	3.39	3.88
0.08	6	1.13	0.188	0.03	0.13	0.07	0.47	0.53	3.49	3.97
0.1	6	1.125	0.188	0.05	0.21	0.12	0.61	0.66	2.89	3.16
0.15	6	1.13	0.188	0.10	0.47	0.26	1.02	1.06	2.17	2.24
0.2	6	1.125	0.188	0.19	0.84	0.47	1.54	1.54	1.83	1.84
0.25	6	1.125	0.188	0.29	1.31	0.73	2.15	2.12	1.64	1.62
0.30	6	1.125	0.188	0.42	1.89	1.05	2.85	2.77	1.51	1.47
0.35	6	1.125	0.188	0.57	2.57	1.43	3.64	3.51	1.42	1.37
0.40	6	1.125	0.188	0.75	3.35	1.86	4.52	4.33	1.35	1.29
0.45	6	1.125	0.188	0.94	4.25	2.36	5.49	5.23	1.29	1.23
0.50	6	1.125	0.188	1.16	5.24	2.91	6.54	6.21	1.25	1.19
0.55	6	1.125	0.188	1.41	6.34	3.52	7.68	7.27	1.21	1.15
0.60	6	1.125	0.188	1.68	7.55	4.19	8.91	8.41	1.18	1.11
0.65	6	1.125	0.188	1.97	8.86	4.92	10.22	9.62	1.15	1.09
0.70	6	1.13	0.188	2.28	10.27	5.71	11.62	10.91	1.13	1.06
0.06	7	1.125	0.161	0.01	0.08	0.04	0.29	0.35	3.89	4.70
0.07	7	1.13	0.161	0.02	0.10	0.05	0.40	0.48	3.93	4.70
0.08	7	1.13	0.161	0.03	0.13	0.06	0.53	0.63	3.96	4.68
0.1	7	1.125	0.161	0.04	0.21	0.10	0.67	0.75	3.18	3.58
0.15	7	1.13	0.161	0.09	0.47	0.22	1.07	1.13	2.27	2.39
0.2	7	1.125	0.161	0.16	0.84	0.40	1.56	1.59	1.86	1.89
0.25	7	1.125	0.161	0.25	1.31	0.62	2.14	2.13	1.63	1.62
0.30	7	1.125	0.161	0.36	1.89	0.90	2.79	2.74	1.48	1.45
0.35	7	1.125	0.161	0.49	2.57	1.22	3.53	3.43	1.37	1.33
0.40	7	1.125	0.161	0.64	3.35	1.60	4.34	4.19	1.29	1.25
0.45	7	1.125	0.161	0.81	4.25	2.02	5.23	5.01	1.23	1.18
0.50	7	1.125	0.161	1.00	5.24	2.50	6.20	5.91	1.18	1.13
0.55	7	1.125	0.161	1.21	6.34	3.02	7.25	6.88	1.14	1.08
0.60	7	1.125	0.161	1.44	7.55	3.59	8.37	7.91	1.11	1.05
0.65	7	1.125	0.161	1.69	8.86	4.22	9.56	9.02	1.08	1.02
0.70	7	1.13	0.161	1.96	10.27	4.89	10.83	10.19	1.05	0.99
0.06	8	1.125	0.141	0.01	0.08	0.03	0.34	0.43	4.53	5.71
0.07	8	1.13	0.141	0.02	0.10	0.04	0.46	0.57	4.48	5.54
0.08	8	1.13	0.141	0.02	0.13	0.06	0.59	0.72	4.43	5.39
0.1	8	1.125	0.141	0.03	0.21	0.09	0.72	0.83	3.45	3.98
0.15	8	1.13	0.141	0.08	0.47	0.20	1.11	1.19	2.36	2.52
0.2	8	1.125	0.141	0.14	0.84	0.35	1.58	1.63	1.88	1.94
0.25	8	1.125	0.141	0.22	1.31	0.55	2.13	2.14	1.62	1.63
0.30	8	1.125	0.141	0.31	1.89	0.79	2.75	2.71	1.46	1.44
0.35	8	1.125	0.141	0.43	2.57	1.07	3.44	3.36	1.34	1.31
0.40	8	1.125	0.141	0.56	3.35	1.40	4.20	4.06	1.25	1.21
0.45	8	1.125	0.141	0.71	4.25	1.77	5.03	4.83	1.18	1.14
0.50	8	1.125	0.141	0.87	5.24	2.18	5.92	5.66	1.13	1.08
0.55	8	1.125	0.141	1.06	6.34	2.64	6.89	6.56	1.09	1.03
0.60	8	1.125	0.141	1.26	7.55	3.14	7.92	7.51	1.05	0.99
0.65	8	1.125	0.141	1.48	8.86	3.69	9.02	8.52	1.02	0.96
0.70	8	1.13	0.141	1.71	10.27	4.28	10.19	9.60	0.99	0.93

Anexo 7: Resultados y comparativo de la norma actualizada con rampa decreciente hasta el PGA y las ecuaciones de ajuste, límite inferior de intervalo de confianza del 90%.

T	R	Ω	Ω (espectro)	μ (norma)	$R\mu$	μ (Ew)	μ (Ns)	μ (Ew)/ μ (norma)	μ (Ns)/ μ (norma)
0.06	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.34	1.30	1.489	1.449
0.07	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.31	1.27	1.456	1.416
0.08	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.29	1.25	1.429	1.389
0.1	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.25	1.22	1.389	1.350
0.15	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.20	1.16	1.329	1.291
0.2	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.16	1.13	1.294	1.257
0.25	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.14	1.11	1.270	1.234
0.30	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.13	1.10	1.253	1.218
0.35	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.12	1.08	1.239	1.205
0.40	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.11	1.08	1.229	1.195
0.45	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.10	1.07	1.220	1.186
0.50	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.09	1.06	1.212	1.179
0.55	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.09	1.06	1.206	1.173
0.60	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.08	1.05	1.200	1.168
0.65	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.08	1.05	1.195	1.163
0.70	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.07	1.04	1.191	1.159
0.06	4	2.5	1.000	1.20	1.60	2.25	2.16	1.878	1.798
0.07	4	2.5	1.000	1.20	1.60	2.13	2.03	1.772	1.694
0.08	4	2.5	1.000	1.20	1.60	2.03	1.94	1.690	1.614
0.1	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.89	1.80	1.571	1.500
0.15	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.68	1.60	1.401	1.337
0.2	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.57	1.50	1.307	1.248
0.25	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.50	1.43	1.247	1.190
0.30	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.44	1.38	1.203	1.149
0.35	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.40	1.34	1.170	1.118
0.40	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.37	1.31	1.144	1.094
0.45	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.35	1.29	1.123	1.074
0.50	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.33	1.27	1.105	1.058
0.55	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.31	1.25	1.090	1.044
0.60	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.29	1.24	1.077	1.032
0.65	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.28	1.23	1.066	1.021
0.70	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.27	1.21	1.056	1.012

T	R	Ω	Ω (espectro)	μ (norma)	$R\mu$	μ (Ew)	μ (Ns)	μ (Ew)/ μ (norma)	μ (Ns)/ μ (norma)
0.06	6	2.5	1.000	1.80	2.40	4.69	4.39	2.605	2.438
0.07	6	2.5	1.000	1.80	2.40	4.21	3.93	2.337	2.182
0.08	6	2.5	1.000	1.80	2.40	3.85	3.59	2.140	1.995
0.1	6	2.5	1.000	1.80	2.40	3.36	3.13	1.868	1.738
0.15	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.72	2.53	1.509	1.403
0.2	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.39	2.22	1.327	1.234
0.25	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.19	2.03	1.214	1.130
0.30	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.05	1.91	1.137	1.059
0.35	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.94	1.81	1.079	1.007
0.40	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.86	1.74	1.035	0.966
0.45	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.80	1.68	1.000	0.934
0.50	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.75	1.63	0.970	0.908
0.55	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.70	1.59	0.946	0.885
0.60	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.66	1.56	0.925	0.867
0.65	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.63	1.53	0.907	0.850
0.70	6	2.5	1.000	1.80	2.40	1.60	1.50	0.891	0.836
0.06	7	2.5	1.000	2.10	2.80	6.19	5.75	2.950	2.737
0.07	7	2.5	1.000	2.10	2.80	5.45	5.04	2.596	2.402
0.08	7	2.5	1.000	2.10	2.80	4.92	4.54	2.341	2.162
0.1	7	2.5	1.000	2.10	2.80	4.19	3.86	1.996	1.839
0.15	7	2.5	1.000	2.10	2.80	3.26	3.00	1.553	1.429
0.2	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.80	2.58	1.334	1.229
0.25	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.52	2.33	1.202	1.108
0.30	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.34	2.16	1.112	1.027
0.35	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.20	2.03	1.047	0.967
0.40	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.09	1.94	0.996	0.922
0.45	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.01	1.86	0.956	0.886
0.50	7	2.5	1.000	2.10	2.80	1.94	1.80	0.924	0.856
0.55	7	2.5	1.000	2.10	2.80	1.88	1.75	0.896	0.832
0.60	7	2.5	1.000	2.10	2.80	1.83	1.70	0.873	0.811
0.65	7	2.5	1.000	2.10	2.80	1.79	1.67	0.853	0.793
0.70	7	2.5	1.000	2.10	2.80	1.75	1.63	0.835	0.777
0.06	8	2.5	1.000	2.40	3.20	7.88	7.26	3.285	3.026
0.07	8	2.5	1.000	2.40	3.20	6.83	6.27	2.844	2.611
0.08	8	2.5	1.000	2.40	3.20	6.07	5.56	2.530	2.317
0.1	8	2.5	1.000	2.40	3.20	5.07	4.63	2.113	1.931
0.15	8	2.5	1.000	2.40	3.20	3.82	3.49	1.591	1.452
0.2	8	2.5	1.000	2.40	3.20	3.22	2.94	1.341	1.224
0.25	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.86	2.61	1.192	1.090
0.30	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.62	2.40	1.092	0.999
0.35	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.45	2.24	1.019	0.934
0.40	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.31	2.12	0.964	0.885
0.45	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.21	2.03	0.920	0.846
0.50	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.12	1.95	0.885	0.814
0.55	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.05	1.89	0.855	0.788
0.60	8	2.5	1.000	2.40	3.20	1.99	1.84	0.830	0.766
0.65	8	2.5	1.000	2.40	3.20	1.94	1.79	0.809	0.746
0.70	8	2.5	1.000	2.40	3.20	1.90	1.75	0.790	0.730

T	R	Sa (g)	Sa/R (g)	Sd (cm)	0.75 Sd* R	Dy (cm)	d i (Ew)	d i (Ns)	d i (Ew)/di (norm)	d i (Ns)/ di (norma)
0.06	3	0.956	0.319	0.03	0.06	0.07	0.10	0.09	1.49	1.45
0.07	3	1.041	0.347	0.04	0.10	0.11	0.14	0.13	1.46	1.42
0.08	3	1.125	0.375	0.06	0.13	0.15	0.19	0.19	1.43	1.39
0.1	3	1.125	0.375	0.09	0.21	0.23	0.29	0.28	1.39	1.35
0.15	3	1.125	0.375	0.21	0.47	0.52	0.63	0.61	1.33	1.29
0.2	3	1.125	0.375	0.37	0.84	0.93	1.09	1.05	1.29	1.26
0.25	3	1.125	0.375	0.58	1.31	1.46	1.66	1.62	1.27	1.23
0.30	3	1.125	0.375	0.84	1.89	2.10	2.36	2.30	1.25	1.22
0.35	3	1.125	0.375	1.14	2.57	2.85	3.18	3.10	1.24	1.21
0.40	3	1.125	0.375	1.49	3.35	3.73	4.12	4.01	1.23	1.19
0.45	3	1.125	0.375	1.89	4.25	4.72	5.18	5.04	1.22	1.19
0.50	3	1.125	0.375	2.33	5.24	5.82	6.35	6.18	1.21	1.18
0.55	3	1.125	0.375	2.82	6.34	7.05	7.65	7.44	1.21	1.17
0.60	3	1.125	0.375	3.35	7.55	8.39	9.06	8.82	1.20	1.17
0.65	3	1.125	0.375	3.94	8.86	9.84	10.59	10.31	1.20	1.16
0.70	3	1.125	0.375	4.57	10.27	11.42	12.23	11.91	1.19	1.16
0.06	4	0.956	0.239	0.02	0.06	0.05	0.12	0.12	1.88	1.80
0.07	4	1.041	0.260	0.03	0.10	0.08	0.17	0.16	1.77	1.69
0.08	4	1.125	0.281	0.04	0.13	0.11	0.23	0.22	1.69	1.61
0.1	4	1.125	0.281	0.07	0.21	0.17	0.33	0.31	1.57	1.50
0.15	4	1.125	0.281	0.16	0.47	0.39	0.66	0.63	1.40	1.34
0.2	4	1.125	0.281	0.28	0.84	0.70	1.10	1.05	1.31	1.25
0.25	4	1.125	0.281	0.44	1.31	1.09	1.63	1.56	1.25	1.19
0.30	4	1.125	0.281	0.63	1.89	1.57	2.27	2.17	1.20	1.15
0.35	4	1.125	0.281	0.86	2.57	2.14	3.01	2.87	1.17	1.12
0.40	4	1.125	0.281	1.12	3.35	2.80	3.84	3.67	1.14	1.09
0.45	4	1.125	0.281	1.42	4.25	3.54	4.77	4.56	1.12	1.07
0.50	4	1.125	0.281	1.75	5.24	4.37	5.79	5.55	1.11	1.06
0.55	4	1.125	0.281	2.11	6.34	5.29	6.91	6.62	1.09	1.04
0.60	4	1.125	0.281	2.52	7.55	6.29	8.13	7.79	1.08	1.03
0.65	4	1.125	0.281	2.95	8.86	7.38	9.44	9.05	1.07	1.02
0.70	4	1.125	0.281	3.42	10.27	8.56	10.85	10.40	1.06	1.01

T	R	Sa (g)	Sa/R (g)	Sd (cm)	0.75 Sd* R	Dy (cm)	d i (Ew)	d i (Ns)	d i (Ew)/di (norm)	d i (Ns)/ di (norma)
0.06	6	0.956	0.159	0.01	0.06	0.04	0.17	0.16	2.60	2.44
0.07	6	1.041	0.173	0.02	0.10	0.05	0.22	0.21	2.34	2.18
0.08	6	1.125	0.188	0.03	0.13	0.07	0.29	0.27	2.14	1.99
0.1	6	1.125	0.188	0.05	0.21	0.12	0.39	0.36	1.87	1.74
0.15	6	1.125	0.188	0.10	0.47	0.26	0.71	0.66	1.51	1.40
0.2	6	1.125	0.188	0.19	0.84	0.47	1.11	1.03	1.33	1.23
0.25	6	1.125	0.188	0.29	1.31	0.73	1.59	1.48	1.21	1.13
0.30	6	1.125	0.188	0.42	1.89	1.05	2.14	2.00	1.14	1.06
0.35	6	1.125	0.188	0.57	2.57	1.43	2.77	2.59	1.08	1.01
0.40	6	1.125	0.188	0.75	3.35	1.86	3.47	3.24	1.04	0.97
0.45	6	1.125	0.188	0.94	4.25	2.36	4.24	3.97	1.00	0.93
0.50	6	1.125	0.188	1.16	5.24	2.91	5.09	4.76	0.97	0.91
0.55	6	1.125	0.188	1.41	6.34	3.52	6.00	5.62	0.95	0.89
0.60	6	1.125	0.188	1.68	7.55	4.19	6.98	6.54	0.92	0.87
0.65	6	1.125	0.188	1.97	8.86	4.92	8.03	7.53	0.91	0.85
0.70	6	1.125	0.188	2.28	10.27	5.71	9.15	8.59	0.89	0.84
0.06	7	0.956	0.137	0.01	0.06	0.03	0.19	0.18	2.95	2.74
0.07	7	1.041	0.149	0.02	0.10	0.05	0.25	0.23	2.60	2.40
0.08	7	1.125	0.161	0.03	0.13	0.06	0.31	0.29	2.34	2.16
0.1	7	1.125	0.161	0.04	0.21	0.10	0.42	0.39	2.00	1.84
0.15	7	1.125	0.161	0.09	0.47	0.22	0.73	0.67	1.55	1.43
0.2	7	1.125	0.161	0.16	0.84	0.40	1.12	1.03	1.33	1.23
0.25	7	1.125	0.161	0.25	1.31	0.62	1.58	1.45	1.20	1.11
0.30	7	1.125	0.161	0.36	1.89	0.90	2.10	1.94	1.11	1.03
0.35	7	1.125	0.161	0.49	2.57	1.22	2.69	2.48	1.05	0.97
0.40	7	1.125	0.161	0.64	3.35	1.60	3.34	3.09	1.00	0.92
0.45	7	1.125	0.161	0.81	4.25	2.02	4.06	3.76	0.96	0.89
0.50	7	1.125	0.161	1.00	5.24	2.50	4.84	4.49	0.92	0.86
0.55	7	1.125	0.161	1.21	6.34	3.02	5.68	5.28	0.90	0.83
0.60	7	1.125	0.161	1.44	7.55	3.59	6.59	6.12	0.87	0.81
0.65	7	1.125	0.161	1.69	8.86	4.22	7.55	7.02	0.85	0.79
0.70	7	1.125	0.161	1.96	10.27	4.89	8.58	7.98	0.84	0.78
0.06	8	0.956	0.120	0.01	0.06	0.03	0.21	0.19	3.29	3.03
0.07	8	1.041	0.130	0.02	0.10	0.04	0.27	0.25	2.84	2.61
0.08	8	1.125	0.141	0.02	0.13	0.06	0.34	0.31	2.53	2.32
0.1	8	1.125	0.141	0.03	0.21	0.09	0.44	0.40	2.11	1.93
0.15	8	1.125	0.141	0.08	0.47	0.20	0.75	0.69	1.59	1.45
0.2	8	1.125	0.141	0.14	0.84	0.35	1.12	1.03	1.34	1.22
0.25	8	1.125	0.141	0.22	1.31	0.55	1.56	1.43	1.19	1.09
0.30	8	1.125	0.141	0.31	1.89	0.79	2.06	1.89	1.09	1.00
0.35	8	1.125	0.141	0.43	2.57	1.07	2.62	2.40	1.02	0.93
0.40	8	1.125	0.141	0.56	3.35	1.40	3.23	2.97	0.96	0.88
0.45	8	1.125	0.141	0.71	4.25	1.77	3.91	3.59	0.92	0.85
0.50	8	1.125	0.141	0.87	5.24	2.18	4.64	4.27	0.88	0.81
0.55	8	1.125	0.141	1.06	6.34	2.64	5.42	5.00	0.86	0.79
0.60	8	1.125	0.141	1.26	7.55	3.14	6.27	5.78	0.83	0.77
0.65	8	1.125	0.141	1.48	8.86	3.69	7.16	6.61	0.81	0.75
0.70	8	1.125	0.141	1.71	10.27	4.28	8.11	7.50	0.79	0.73

Anexo 8: Resultados y comparativo de la norma actualizada con
rampa decreciente hasta el PGA y las ecuaciones de ajuste, límite
superior de intervalo de confianza del 90%.

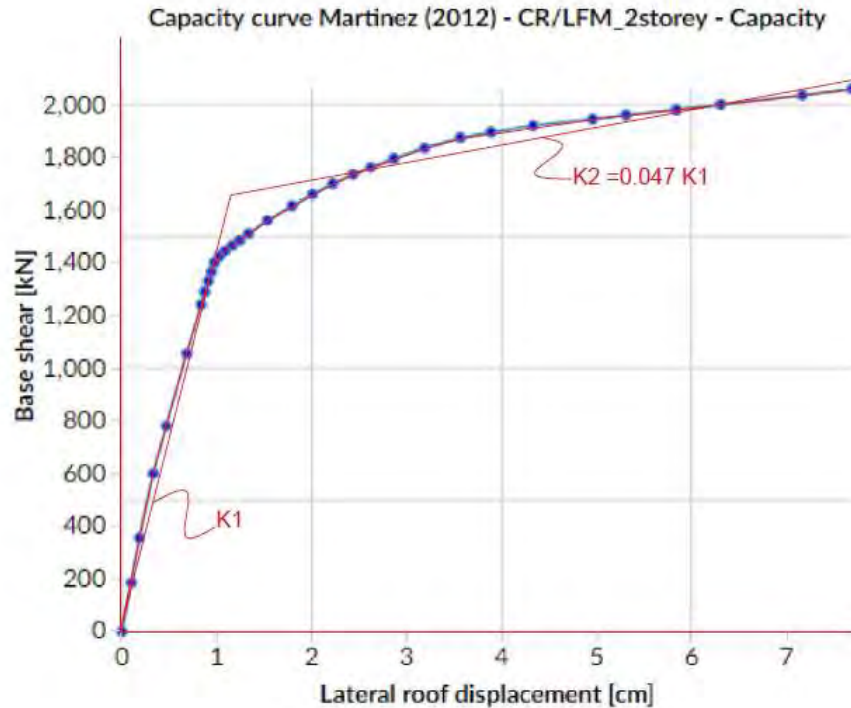
T	R	Ω	Ω (espectro)	μ (norma)	R_μ	μ (Ew)	μ (Ns)	μ (Ew)/ μ (norma)	μ (Ns)/ μ (norma)
0.06	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.87	1.84	2.080	2.047
0.07	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.81	1.77	2.014	1.967
0.08	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.77	1.71	1.962	1.905
0.1	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.70	1.64	1.887	1.817
0.15	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.60	1.52	1.777	1.692
0.2	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.54	1.46	1.716	1.624
0.25	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.51	1.42	1.677	1.580
0.30	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.48	1.39	1.648	1.549
0.35	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.46	1.37	1.627	1.526
0.40	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.45	1.36	1.609	1.508
0.45	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.44	1.34	1.596	1.493
0.50	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.43	1.33	1.584	1.481
0.55	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.42	1.32	1.574	1.471
0.60	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.41	1.32	1.566	1.462
0.65	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.40	1.31	1.558	1.454
0.70	3	2.5	1.000	0.90	1.20	1.40	1.30	1.552	1.448
0.06	4	2.5	1.000	1.20	1.60	3.47	3.73	2.895	3.108
0.07	4	2.5	1.000	1.20	1.60	3.20	3.37	2.663	2.804
0.08	4	2.5	1.000	1.20	1.60	2.99	3.10	2.491	2.584
0.1	4	2.5	1.000	1.20	1.60	2.70	2.74	2.252	2.287
0.15	4	2.5	1.000	1.20	1.60	2.32	2.28	1.930	1.902
0.2	4	2.5	1.000	1.20	1.60	2.12	2.05	1.764	1.711
0.25	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.99	1.91	1.661	1.595
0.30	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.91	1.82	1.589	1.516
0.35	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.84	1.75	1.536	1.458
0.40	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.79	1.70	1.495	1.414
0.45	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.75	1.65	1.462	1.379
0.50	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.72	1.62	1.435	1.350
0.55	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.69	1.59	1.412	1.326
0.60	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.67	1.57	1.392	1.306
0.65	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.65	1.55	1.376	1.288
0.70	4	2.5	1.000	1.20	1.60	1.63	1.53	1.361	1.273

T	R	Ω	Ω (espectro)	μ (norma)	$R\mu$	μ (Ew)	μ (Ns)	μ (Ew)/ μ (norma)	μ (Ns)/ μ (norma)
0.06	6	2.5	1.000	1.80	2.40	8.31	10.08	4.615	5.599
0.07	6	2.5	1.000	1.80	2.40	7.11	8.32	3.950	4.623
0.08	6	2.5	1.000	1.80	2.40	6.28	7.15	3.488	3.972
0.1	6	2.5	1.000	1.80	2.40	5.20	5.69	2.890	3.162
0.15	6	2.5	1.000	1.80	2.40	3.90	4.04	2.168	2.243
0.2	6	2.5	1.000	1.80	2.40	3.30	3.32	1.834	1.842
0.25	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.95	2.91	1.638	1.616
0.30	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.72	2.65	1.509	1.470
0.35	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.55	2.46	1.417	1.368
0.40	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.42	2.32	1.347	1.292
0.45	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.33	2.22	1.292	1.232
0.50	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.25	2.13	1.248	1.185
0.55	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.18	2.06	1.211	1.146
0.60	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.12	2.00	1.180	1.114
0.65	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.08	1.95	1.154	1.086
0.70	6	2.5	1.000	1.80	2.40	2.04	1.91	1.131	1.062
0.06	7	2.5	1.000	2.10	2.80	11.57	14.71	5.510	7.004
0.07	7	2.5	1.000	2.10	2.80	9.64	11.74	4.588	5.591
0.08	7	2.5	1.000	2.10	2.80	8.32	9.82	3.964	4.676
0.1	7	2.5	1.000	2.10	2.80	6.67	7.51	3.177	3.576
0.15	7	2.5	1.000	2.10	2.80	4.76	5.02	2.266	2.388
0.2	7	2.5	1.000	2.10	2.80	3.91	3.98	1.861	1.894
0.25	7	2.5	1.000	2.10	2.80	3.42	3.41	1.630	1.624
0.30	7	2.5	1.000	2.10	2.80	3.11	3.05	1.480	1.453
0.35	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.89	2.80	1.374	1.335
0.40	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.72	2.62	1.295	1.248
0.45	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.59	2.48	1.233	1.181
0.50	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.49	2.37	1.183	1.128
0.55	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.40	2.28	1.143	1.084
0.60	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.33	2.20	1.108	1.048
0.65	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.27	2.14	1.079	1.018
0.70	7	2.5	1.000	2.10	2.80	2.21	2.08	1.054	0.991
0.06	8	2.5	1.000	2.40	3.20	15.42	20.41	6.424	8.502
0.07	8	2.5	1.000	2.40	3.20	12.54	15.82	5.224	6.592
0.08	8	2.5	1.000	2.40	3.20	10.63	12.93	4.428	5.387
0.1	8	2.5	1.000	2.40	3.20	8.28	9.55	3.449	3.979
0.15	8	2.5	1.000	2.40	3.20	5.65	6.05	2.355	2.522
0.2	8	2.5	1.000	2.40	3.20	4.52	4.66	1.885	1.941
0.25	8	2.5	1.000	2.40	3.20	3.89	3.91	1.623	1.631
0.30	8	2.5	1.000	2.40	3.20	3.49	3.45	1.455	1.438
0.35	8	2.5	1.000	2.40	3.20	3.21	3.14	1.338	1.307
0.40	8	2.5	1.000	2.40	3.20	3.00	2.91	1.251	1.211
0.45	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.84	2.73	1.184	1.138
0.50	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.71	2.59	1.130	1.080
0.55	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.61	2.48	1.086	1.034
0.60	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.52	2.39	1.050	0.995
0.65	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.44	2.31	1.018	0.962
0.70	8	2.5	1.000	2.40	3.20	2.38	2.24	0.992	0.934

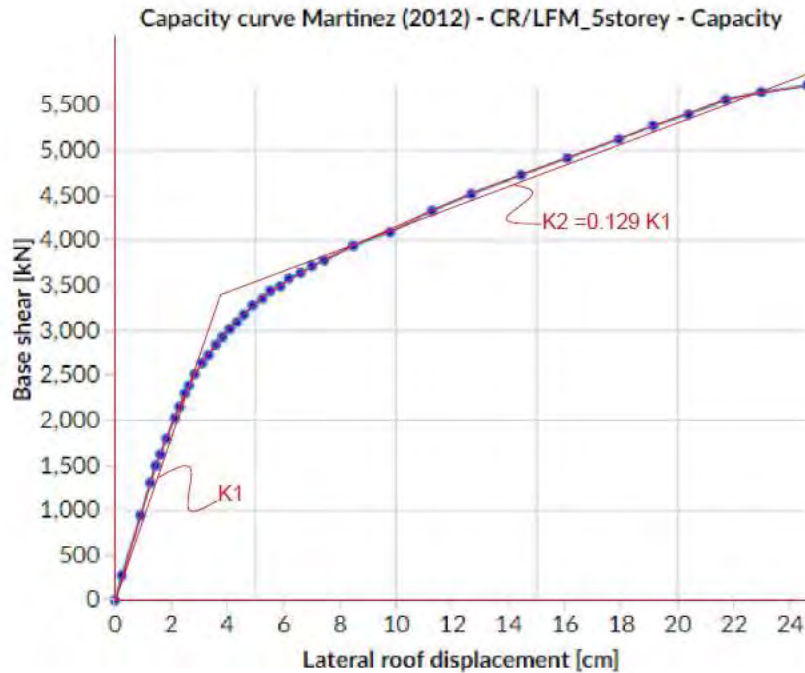
T	R	Sa (g)	Sa/R (g)	Sd (cm)	0.75 Sd* R	Dy (cm)	d i (Ew)	d i (Ns)	d i (Ew)/di (norm)	d i (Ns)/ di (norma)
0.06	3	0.956	0.319	0.03	0.06	0.07	0.13	0.13	2.08	2.05
0.07	3	1.041	0.347	0.04	0.10	0.11	0.19	0.19	2.01	1.97
0.08	3	1.125	0.375	0.06	0.13	0.15	0.26	0.26	1.96	1.91
0.1	3	1.125	0.375	0.09	0.21	0.23	0.40	0.38	1.89	1.82
0.15	3	1.125	0.375	0.21	0.47	0.52	0.84	0.80	1.78	1.69
0.2	3	1.125	0.375	0.37	0.84	0.93	1.44	1.36	1.72	1.62
0.25	3	1.125	0.375	0.58	1.31	1.46	2.20	2.07	1.68	1.58
0.30	3	1.125	0.375	0.84	1.89	2.10	3.11	2.92	1.65	1.55
0.35	3	1.125	0.375	1.14	2.57	2.85	4.18	3.92	1.63	1.53
0.40	3	1.125	0.375	1.49	3.35	3.73	5.40	5.06	1.61	1.51
0.45	3	1.125	0.375	1.89	4.25	4.72	6.77	6.34	1.60	1.49
0.50	3	1.125	0.375	2.33	5.24	5.82	8.30	7.76	1.58	1.48
0.55	3	1.125	0.375	2.82	6.34	7.05	9.98	9.33	1.57	1.47
0.60	3	1.125	0.375	3.35	7.55	8.39	11.82	11.04	1.57	1.46
0.65	3	1.125	0.375	3.94	8.86	9.84	13.80	12.88	1.56	1.45
0.70	3	1.125	0.375	4.57	10.27	11.42	15.94	14.87	1.55	1.45
0.06	4	0.956	0.239	0.02	0.06	0.05	0.19	0.20	2.90	3.11
0.07	4	1.041	0.260	0.03	0.10	0.08	0.25	0.27	2.66	2.80
0.08	4	1.125	0.281	0.04	0.13	0.11	0.33	0.35	2.49	2.58
0.1	4	1.125	0.281	0.07	0.21	0.17	0.47	0.48	2.25	2.29
0.15	4	1.125	0.281	0.16	0.47	0.39	0.91	0.90	1.93	1.90
0.2	4	1.125	0.281	0.28	0.84	0.70	1.48	1.43	1.76	1.71
0.25	4	1.125	0.281	0.44	1.31	1.09	2.18	2.09	1.66	1.59
0.30	4	1.125	0.281	0.63	1.89	1.57	3.00	2.86	1.59	1.52
0.35	4	1.125	0.281	0.86	2.57	2.14	3.94	3.75	1.54	1.46
0.40	4	1.125	0.281	1.12	3.35	2.80	5.01	4.74	1.49	1.41
0.45	4	1.125	0.281	1.42	4.25	3.54	6.21	5.85	1.46	1.38
0.50	4	1.125	0.281	1.75	5.24	4.37	7.52	7.08	1.43	1.35
0.55	4	1.125	0.281	2.11	6.34	5.29	8.96	8.41	1.41	1.33
0.60	4	1.125	0.281	2.52	7.55	6.29	10.51	9.86	1.39	1.31
0.65	4	1.125	0.281	2.95	8.86	7.38	12.19	11.41	1.38	1.29
0.70	4	1.125	0.281	3.42	10.27	8.56	13.98	13.08	1.36	1.27

T	R	Sa (g)	Sa/R (g)	Sd (cm)	0.75 Sd* R	Dy (cm)	d i (Ew)	d i (Ns)	d i (Ew)/di (norm)	d i (Ns)/ di (norma)
0.06	6	0.956	0.159	0.01	0.06	0.04	0.30	0.36	4.61	5.60
0.07	6	1.041	0.173	0.02	0.10	0.05	0.38	0.44	3.95	4.62
0.08	6	1.125	0.188	0.03	0.13	0.07	0.47	0.53	3.49	3.97
0.1	6	1.125	0.188	0.05	0.21	0.12	0.61	0.66	2.89	3.16
0.15	6	1.125	0.188	0.10	0.47	0.26	1.02	1.06	2.17	2.24
0.2	6	1.125	0.188	0.19	0.84	0.47	1.54	1.54	1.83	1.84
0.25	6	1.125	0.188	0.29	1.31	0.73	2.15	2.12	1.64	1.62
0.30	6	1.125	0.188	0.42	1.89	1.05	2.85	2.77	1.51	1.47
0.35	6	1.125	0.188	0.57	2.57	1.43	3.64	3.51	1.42	1.37
0.40	6	1.125	0.188	0.75	3.35	1.86	4.52	4.33	1.35	1.29
0.45	6	1.125	0.188	0.94	4.25	2.36	5.49	5.23	1.29	1.23
0.50	6	1.125	0.188	1.16	5.24	2.91	6.54	6.21	1.25	1.19
0.55	6	1.125	0.188	1.41	6.34	3.52	7.68	7.27	1.21	1.15
0.60	6	1.125	0.188	1.68	7.55	4.19	8.91	8.41	1.18	1.11
0.65	6	1.125	0.188	1.97	8.86	4.92	10.22	9.62	1.15	1.09
0.70	6	1.125	0.188	2.28	10.27	5.71	11.62	10.91	1.13	1.06
0.06	7	0.956	0.137	0.01	0.06	0.03	0.35	0.45	5.51	7.00
0.07	7	1.041	0.149	0.02	0.10	0.05	0.44	0.53	4.59	5.59
0.08	7	1.125	0.161	0.03	0.13	0.06	0.53	0.63	3.96	4.68
0.1	7	1.125	0.161	0.04	0.21	0.10	0.67	0.75	3.18	3.58
0.15	7	1.125	0.161	0.09	0.47	0.22	1.07	1.13	2.27	2.39
0.2	7	1.125	0.161	0.16	0.84	0.40	1.56	1.59	1.86	1.89
0.25	7	1.125	0.161	0.25	1.31	0.62	2.14	2.13	1.63	1.62
0.30	7	1.125	0.161	0.36	1.89	0.90	2.79	2.74	1.48	1.45
0.35	7	1.125	0.161	0.49	2.57	1.22	3.53	3.43	1.37	1.33
0.40	7	1.125	0.161	0.64	3.35	1.60	4.34	4.19	1.29	1.25
0.45	7	1.125	0.161	0.81	4.25	2.02	5.23	5.01	1.23	1.18
0.50	7	1.125	0.161	1.00	5.24	2.50	6.20	5.91	1.18	1.13
0.55	7	1.125	0.161	1.21	6.34	3.02	7.25	6.88	1.14	1.08
0.60	7	1.125	0.161	1.44	7.55	3.59	8.37	7.91	1.11	1.05
0.65	7	1.125	0.161	1.69	8.86	4.22	9.56	9.02	1.08	1.02
0.70	7	1.125	0.161	1.96	10.27	4.89	10.83	10.19	1.05	0.99
0.06	8	0.956	0.120	0.01	0.06	0.03	0.41	0.55	6.42	8.50
0.07	8	1.041	0.130	0.02	0.10	0.04	0.50	0.63	5.22	6.59
0.08	8	1.125	0.141	0.02	0.13	0.06	0.59	0.72	4.43	5.39
0.1	8	1.125	0.141	0.03	0.21	0.09	0.72	0.83	3.45	3.98
0.15	8	1.125	0.141	0.08	0.47	0.20	1.11	1.19	2.36	2.52
0.2	8	1.125	0.141	0.14	0.84	0.35	1.58	1.63	1.88	1.94
0.25	8	1.125	0.141	0.22	1.31	0.55	2.13	2.14	1.62	1.63
0.30	8	1.125	0.141	0.31	1.89	0.79	2.75	2.71	1.46	1.44
0.35	8	1.125	0.141	0.43	2.57	1.07	3.44	3.36	1.34	1.31
0.40	8	1.125	0.141	0.56	3.35	1.40	4.20	4.06	1.25	1.21
0.45	8	1.125	0.141	0.71	4.25	1.77	5.03	4.83	1.18	1.14
0.50	8	1.125	0.141	0.87	5.24	2.18	5.92	5.66	1.13	1.08
0.55	8	1.125	0.141	1.06	6.34	2.64	6.89	6.56	1.09	1.03
0.60	8	1.125	0.141	1.26	7.55	3.14	7.92	7.51	1.05	0.99
0.65	8	1.125	0.141	1.48	8.86	3.69	9.02	8.52	1.02	0.96
0.70	8	1.125	0.141	1.71	10.27	4.28	10.19	9.60	0.99	0.93

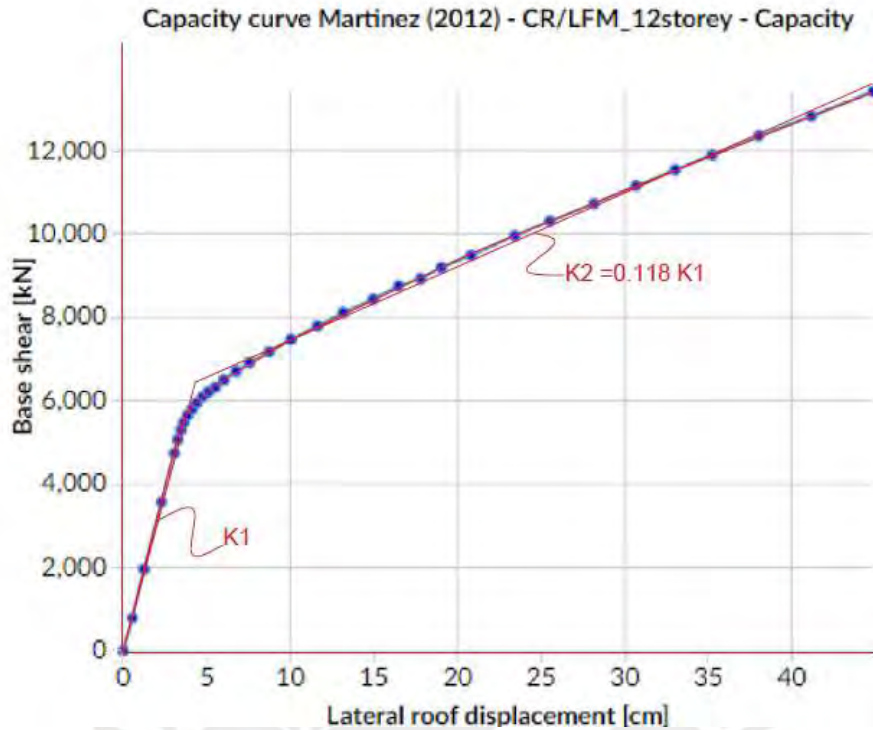
Anexo 9: Curvas de capacidad vs desplazamiento para cálculo de rigidez luego de fluencia



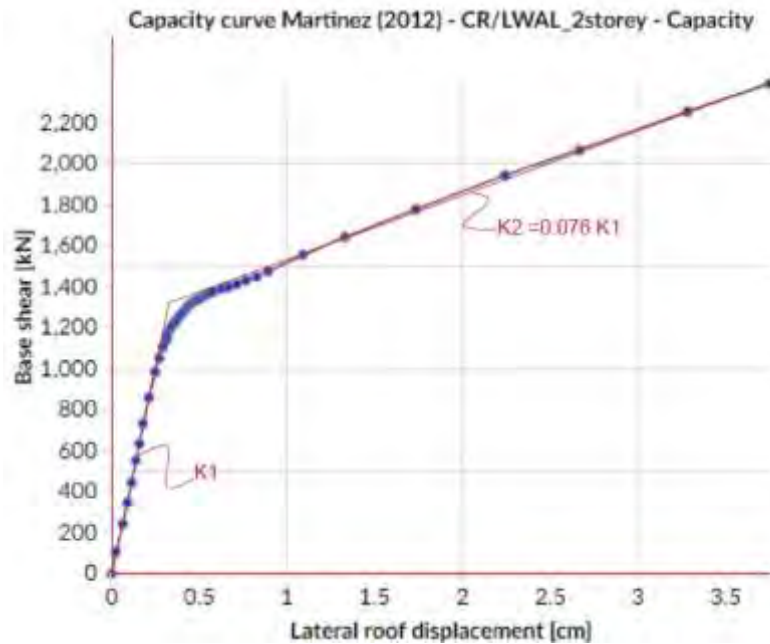
Curva de fuerza vs desplazamiento para un edificio de 2 pisos con sistema estructural de pórticos, con vigas y columnas de concreto armado. Fuente: Openquake. 2012. Recuperado de: <https://platform.openquake.org/vulnerability/view/174>



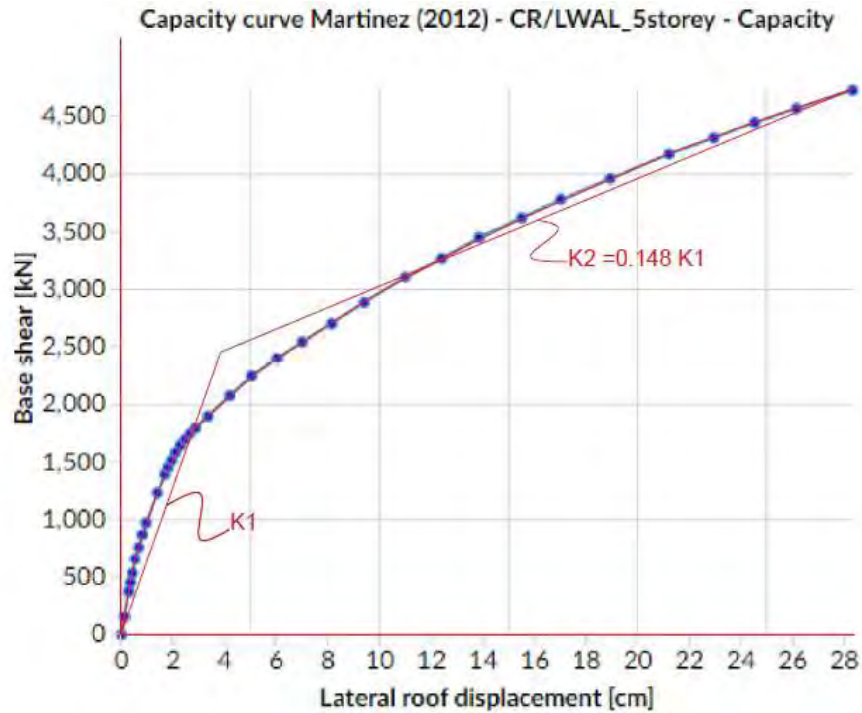
Curva de fuerza vs desplazamiento para un edificio de 5 pisos con sistema estructural de pórticos, con vigas y columnas de concreto armado. Fuente: Openquake. 2012. Recuperado de: <https://platform.openquake.org/vulnerability/view/175>



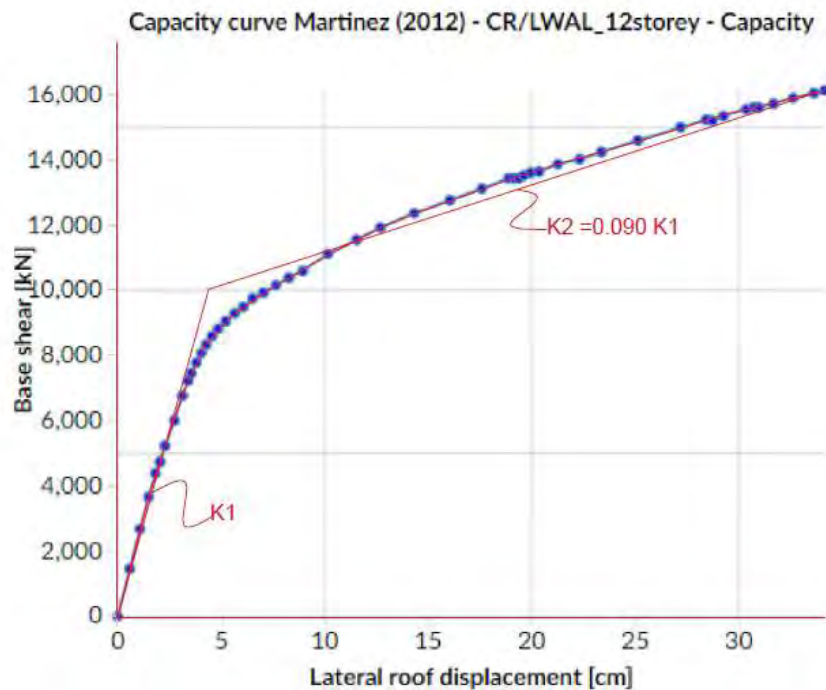
Curva de fuerza vs desplazamiento para un edificio de 12 pisos con sistema estructural de pórticos, con vigas y columnas de concreto armado. Fuente: Openquake. 2012. Recuperado de: <https://platform.openquake.org/vulnerability/view/176>



Curva de fuerza vs desplazamiento para un edificio de 2 pisos con sistema estructural de muros de corte, con vigas y muros de concreto armado. Fuente: Openquake. 2012. Recuperado de: <https://platform.openquake.org/vulnerability/view/177>



Curva de fuerza vs desplazamiento para un edificio de 5 pisos con sistema estructural de muros de corte, con vigas y muros de concreto armado. Fuente: Openquake. 2012. Recuperado de: <https://platform.openquake.org/vulnerability/view/178>



Curva de fuerza vs desplazamiento para un edificio de 12 pisos con sistema estructural de muros de corte, con vigas y muros de concreto armado. Fuente: Openquake. 2012. Recuperado de: <https://platform.openquake.org/vulnerability/view/179>