

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Espectros inelásticos de respuesta de los registros de las
réplicas del terremoto de Pedernales, abril 2016**

Proyecto de investigación

Felipe José Loaiza Granda

Ingeniería Civil

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera Civil

Quito, 30 de mayo de 2018

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Espectros inelásticos de respuesta de los registros de las réplicas del
terremoto de Pedernales, abril 2016**

Felipe José Loaiza Granda

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Fabrizio Yépez, Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 30 de mayo de 2018

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

Nombres y apellidos:

Felipe José Loaiza Granda

Código:

107225

Cédula de Identidad:

1716383581

Lugar y fecha:

Quito, 30 de mayo de 2018

RESUMEN

Este trabajo de titulación busca calcular los espectros elásticos e inelásticos de respuesta de los registros de las réplicas del sismo del 16 de abril del 2016 ocurrido cerca de la ciudad de Pedernales. La obtención de estos espectros permitirá un mejor entendimiento de los valores de aceleración, velocidad, desplazamiento y de R , el factor de reducción de fuerza, para varios valores de ductilidad constante. Para ello, se obtuvieron los espectros de demanda de ductilidad ejecutando análisis no lineales de la respuesta dinámica de sistemas de un grado de libertad. Con estos espectros se realiza un análisis comparativo para los registros réplicas obtenidos en las ciudades de Pedernales y Esmeraldas, asumiendo que los sensores se encontraban ubicados en locaciones sobre un tipo de suelo D, de tal forma que se puedan comparar con los espectros de diseño de aceleración y desplazamiento establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015. Se logró identificar similitudes entre el evento principal y sus réplicas y se corroboró un estudio realizado por Eduardo Miranda, que busca establecer una ecuación que permita determinar el factor de reducción de fuerza R_y de ductilidad en base al tipo de suelo y periodo de vibración de la estructura.

Palabras clave: Espectros de respuesta, ductilidad, Terremoto, Pedernales, NEC 2015, Réplicas.

ABSTRACT

The research project's objective is to calculate the elastic and inelastic response spectrums from the 2016 April 16th Pedernales earthquake's aftershocks. This will allow a better understanding of the acceleration, speed, displacement and of the R factor, the so-called force reduction factor for different constant ductility values. The ductility demand spectrums were obtained through a non-linear analysis of simple degree of freedom systems; these lead to a comparative analysis between the records obtained in Pedernales and Esmeraldas cities. A D soil type was assumed in order to compare the design and acceleration spectrums established in the "Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015". Similarities between the main event and its aftershocks were identified and a comparison with a study conducted by Eduardo Miranda, which establishes an equation that determines the ductility force reduction factor R_y based on the soil type and on the structure's vibration period, was performed and corroborated.

Key word: Response Spectrum, ductility, earthquake, aftershock, Pedernales, NEC 2015.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCION.....	20
OBJETIVOS.....	21
ALCANCE.....	21
IMPORTANCIA.....	22
DESARROLLO DEL TEMA.....	23
ANTECEDENTES.....	23
REDES DE ACELEROGRAFOS DEL ECUADOR.....	24
ESPECTROS INELASTICOS DE RESPUESTA.....	30
ESPECTROS SISMICOS DE RESPUESTA.....	33
AES2-2H57.....	34
AMA1-2H57.....	40
APED-2H57.....	46
AV21-2H57.....	52
AV18-2H57.....	58
AV18-16H46.....	64
APED-16H46.....	70
AV21-16H46.....	76
AMA1-16H46.....	82
ANALISIS DE RESULTADOS.....	88
Análisis de los registros en suelo tipo D para espectros elásticos.....	90
Análisis de los registros en suelo tipo D para espectros inelásticos con ductilidad 1.5	93
Análisis de los registros en suelo tipo D para espectros inelásticos con ductilidad 2....	97
Análisis de los registros en suelo tipo D para espectros inelásticos con ductilidad 4.	101
Análisis de los registros en suelo tipo D para espectros inelásticos con ductilidad 8.	105
Análisis de los registros en suelo tipo D para espectros inelásticos de respuesta de demanda de ductilidad con R_y 2, 4 y 8.....	109
SUPERFICES DE DUCTILIDAD, R_y Y PERIODO DE VIBRACION.....	112
CONCLUSIONES.....	123
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	127
Anexos: Graficas de aceleracion vs tiempo de los registros.....	128

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución espacial de las estaciones de la RENAC y de la red OCP.....	24
Figura 2: Relación fuerza deformación de un elemento estructural de acero. (Chopra, 2014)	30
Figura 3: Curva de fuerza deformación real e idealizada (Chopra, 2014).....	31
Figura 4: Modelo de rigidez bilineal. (Chopra, 2014)	31
Figura 5: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	34
Figura 6: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	34
Figura 7: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	35
Figura 8: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	35
Figura 9: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	36
Figura 10: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AES2- 2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	36
Figura 11 Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	37
Figura 12: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	37
Figura 13: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	38
Figura 14: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AES2-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	38

Figura 15: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	39
Figura 16: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	39
Figura 17: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	40
Figura 18: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	40
Figura 19: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	41
Figura 20: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	41
Figura 21: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	42
Figura 22: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AMA1-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	42
Figura 23: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	43
Figura 24: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	43
Figura 25: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	44
Figura 26: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	44
Figura 27: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	45
Figura 28: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AMA1-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.	45

Figura 29: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	46
Figura 30: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro APED-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	46
Figura 31: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	47
Figura 32: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	47
Figura 33: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	48
Figura 34: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro APED-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	48
Figura 35: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	49
Figura 36: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro APED-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	49
Figura 37: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	50
Figura 38: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	50
Figura 39: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	51
Figura 40: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro APED-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	51
Figura 41: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	52

Figura 42: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV21-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	52
Figura 43: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	53
Figura 44: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	53
Figura 45: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	54
Figura 46: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV21-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5$	54
Figura 47: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	55
Figura 48: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV21-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	55
Figura 49: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	56
Figura 50: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	56
Figura 51: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	57
Figura 52: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV21-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5$	57
Figura 53: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV18-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	58
Figura 54: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV18-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	58

Figura 55: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	59
Figura 56: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	59
Figura 57: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	60
Figura 58: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV18-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	60
Figura 59: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	61
Figura 60: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV18-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	61
Figura 61: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	62
Figura 62: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	62
Figura 63: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	63
Figura 64: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV18-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	63
Figura 65: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	64
Figura 66: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV18-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	64
Figura 67: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	65

Figura 68: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	65
Figura 69: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	66
Figura 70: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV18-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	66
Figura 71: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	67
Figura 72: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV18-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	67
Figura 73: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	68
Figura 74: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	68
Figura 75: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	69
Figura 76: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV18-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	69
Figura 77: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	70
Figura 78: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro APED-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	70
Figura 79: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	71
Figura 80: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	71

- Figura 81: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 72
- Figura 82: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro APED-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 72
- Figura 83: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 73
- Figura 84: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro APED-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 73
- Figura 85: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 74
- Figura 86: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 74
- Figura 87: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 75
- Figura 88: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro APED-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 75
- Figura 89: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 76
- Figura 90: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV21-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 76
- Figura 91: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 77
- Figura 92: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 77
- Figura 93: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 78
- Figura 94: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV21-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$ 78

Figura 95: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	79
Figura 96: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV21-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	79
Figura 97: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	80
Figura 98: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	80
Figura 99: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	81
Figura 100: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV21-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	81
Figura 101: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	82
Figura 102: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AMA1-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	82
Figura 103: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	83
Figura 104: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	83
Figura 105: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	84
Figura 106: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AMA1-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	84
Figura 107: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	85

Figura 108: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AMA1-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	85
Figura 109: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	86
Figura 110: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	86
Figura 111: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$	87
Figura 112: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AMA1-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$...	87
Figura 113: Comparación del factor R_y para sitios firmes. (Miranda, 1997).....	89
Figura 114: Espectro elástico de respuesta de aceleración normalizado para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E	90
Figura 115: Espectro elástico de respuesta de aceleración normalizado para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.....	90
Figura 116: Espectro elástico de respuesta de desplazamiento para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.....	91
Figura 117: Espectro elástico de respuesta de desplazamiento para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.	91
Figura 118: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 1.5 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.	93
Figura 119: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 1.5 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N	93
Figura 120: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 1.5 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.....	94
Figura 121: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 1.5 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.	94
Figura 122: Espectro inelástico de respuesta R_y de ductilidad 1.5 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.	95
Figura 123: Espectro inelástico de respuesta R_y de ductilidad 1.5 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.....	95

Figura 124: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.....	97
Figura 125: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.	97
Figura 126: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.....	98
Figura 127: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.	98
Figura 128: Espectro inelástico de respuesta Ry de ductilidad 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.....	99
Figura 129: Espectro inelástico de respuesta Ry de ductilidad 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.....	99
Figura 130: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.....	101
Figura 131: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.	101
Figura 132: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.....	102
Figura 133: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.	102
Figura 134: Espectro inelástico de respuesta Ry de ductilidad 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.....	103
Figura 135: Espectro inelástico de respuesta Ry de ductilidad 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.....	103
Figura 136: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.....	105
Figura 137: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.	105
Figura 138: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.....	106
Figura 139: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.....	106
Figura 140: Espectro inelástico de respuesta Ry de ductilidad 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.....	107

Figura 141: Espectro inelástico de respuesta R_y de ductilidad 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N	107
Figura 142: Espectro inelástico de respuesta de demanda ductilidad R_y 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.	109
Figura 143: Espectro inelástico de respuesta de demanda ductilidad R_y 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.....	109
Figura 144: Espectro inelástico de respuesta de demanda ductilidad R_y 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.	110
Figura 145: Espectro inelástico de respuesta de demanda ductilidad R_y 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.....	110
Figura 146: Espectro inelástico de respuesta de demanda ductilidad R_y 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.	111
Figura 147: Espectro inelástico de respuesta de demanda ductilidad R_y 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.....	111
Figura 148: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro AMA1-2H57 Componente Este.....	113
Figura 149: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro AMA1-2H57 Componente Norte.....	114
Figura 150: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro APED-2H57 componente Este	115
Figura 151: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro APED-2H57 componente Norte	116
Figura 152: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro APED-2H57 componente Este	117
Figura 153: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro APED-16H46 componente Norte	118
Figura 154: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro AV21-2H57 componente Este	119
Figura 155: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro AV21-2H57 componente Norte	120
Figura 156: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro AV21-16H46 componente Este	121
Figura 157: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro AV21-16H46 componente Nor	122

Figura 158: Promedio de factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicado en suelo tipo D componente Este.....	123
Figura 159: Promedio de factores de reducción de resistencia para acelerogafos ubicados en suelo tipo D componente Norte.....	124
Figura 160: AES2-2H57 Componente Este.....	128
Figura 161: AES2-2H57 Componente Norte.....	128
Figura 162:AMA1-2H57 Componente Este	128
Figura 163: AMA1-2H57 Componente Norte.....	128
Figura 164: APED-2H57 Componente Este.....	128
Figura 165: APED-2H57 Componente Norte.....	128
Figura 166: AV18-2H57 Componente Este.....	129
Figura 167: AV18-2H57 Componente Norte	129
Figura 168: AV21-2H57 Componente Este.....	129
Figura 169: AV21-2H57 Componente Norte	129
Figura 170:AMA1-16H46 Componente Este	129
Figura 171: AMA1-16H46 Componente Norte.....	129
Figura 172: APED-16H46 Componente Este	129
Figura 173: APED-16H46 Componente Norte.....	130
Figura 174: AV18-16H46 Componente Este.....	130
Figura 175: AV18-16H46 Componente Norte	130
Figura 176: AV21-16H46 Componente Este.....	130
Figura 177: AV21-16H46 Componente Norte	130

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Registros de réplicas descartados por aceleraciones bajas y ruido excesivo.....	25
Tabla 2: Replicas 18 de Mayo 2016 02H57.....	27
Tabla 3: Replicas 18 de mayo 2016 16H46.....	28
Tabla 4: Estaciones con el tipo de suelo, factor Z y n	88

INTRODUCCION

Al ser el Ecuador un país ubicado dentro del anillo de fuego del Pacífico, la zona con mayor sismicidad en la Tierra, es fundamental considerar el comportamiento de estructuras en general, ante las cargas dinámicas generadas en un evento sísmico. Para ayudar a comprender el comportamiento y el efecto de las cargas sísmicas sobre cualquier estructura, se han generado representaciones gráficas de la respuesta de la estructura dependiendo de su período de vibración.

Los espectros de respuesta son gráficos que permiten analizar las respuestas máximas absolutas de las estructuras ante un registro sísmico. Estos se pueden representar en función de varios parámetros como aceleración, velocidad y desplazamiento, los cuales proveen distinta información útil para el análisis y diseño de la estructura. Existen dos tipos de espectros, el inelástico y el elástico. El espectro elástico idealiza el comportamiento de la estructura, asumiendo que las deformaciones de ésta nunca superan el límite elástico. En la vida real esto no se cumple en todos los casos, ya que para obtener tal comportamiento ante sismos severos se requeriría utilizar elementos sumamente robustos, lo cual resulta muy costoso, además, desde el fraguado del hormigón (principal material de construcción en el Ecuador) se evidencian micro fisuras en la matriz del concreto. Por este motivo, para el diseño de infraestructura se utiliza el espectro inelástico de respuesta, el cual toma en cuenta deformaciones más allá del rango elástico.

El siguiente trabajo de titulación busca obtener los espectros de respuesta de las principales réplicas del sismo de Pedernales del 2016 ocurridas en el mes de Mayo, un mes después del evento principal. Además, se buscará identificar similitudes entre el evento principal y las réplicas. Finalmente se comparan los resultados con los límites establecidos por la NEC 2015. Para el desarrollo de esta investigación, se obtuvieron los registros de las

réplicas a través de la Red Nacional de Acelerógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

OBJETIVOS

- Identificar patrones entre las respuestas de estructuras sometidas a los registros de las réplicas y el evento principal.
- Calcular los espectros elásticos e inelásticos de respuesta de aceleración, velocidad, desplazamiento y de R, factor de reducción de fuerza relacionado con los espectros de ductilidad constante, además de los espectros de demanda de ductilidad a partir de los registros de las réplicas del terremoto de Pedernales.
- Comparar los resultados con los límites establecidos por la NEC 2015.

ALCANCE

Este trabajo de titulación pretende caracterizar el comportamiento de las estructuras bajo las réplicas del sismo de Pedernales ocurrido en el mes de abril del 2016; para ésto se utilizarán los espectros de respuesta no lineales de aceleración, velocidad, desplazamiento, y las relaciones entre R factor de reducción y demanda de ductilidad. Estos a su vez serán obtenidos a partir del procesamiento de los registros sísmicos, obtenidos de las estaciones del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Se escogieron las réplicas de 18 de Mayo del 2016 ya que eran las que presentaban las mayores aceleraciones; sin embargo, se analizaron más de cien registros de réplicas de las diversas estaciones del país pero debido a sus bajas aceleraciones los registros contenían mucha interferencia, lo que dificultaba su procesamiento. Con estos espectros, se pudo realizar una comparación con el evento principal

además de determinar que tanto se acercaron los registros a los límites establecidos por la NEC.

IMPORTANCIA

El sismo de Pedernales es el mayor desastre natural ocurrido en el país en el siglo 21, dejando centenares de muertos, miles de personas sin hogar, además de daños económicos que sobrepasan los miles de millones de dólares. Gran parte de la tragedia y daños causados se debieron a las malas prácticas tanto en diseño como en construcción de las infraestructuras. A pesar de la catástrofe, la tecnología actual nos permitió registrar gran cantidad de información sobre los efectos y comportamientos de este sismo, lo cual resulta muy valioso para corroborar las normas existentes y plantear posibles mejoras con la finalidad de evitar que se repita una devastación similar en el futuro. La magnitud del sismo de Pedernales fue de Mw 7.8, mientras que el mayor evento registrado hasta la fecha fue el de Esmeraldas en 1906, con una magnitud de 8.8. A pesar de que la cantidad de energía liberada en Pedernales es menor, la devastación fue mucho mayor debido a la expansión poblacional que ha experimentado el Ecuador en los últimos 100 años.

Se debe considerar que, eventualmente, sismos de magnitudes iguales o superiores podrían ocurrir y es por esta razón que se debe planificar en función de minimizar las pérdidas económicas y maximizar la preservación de vidas humanas. Gracias al proyecto “Fortalecimiento del INSTITUTO GEOFISICO Ampliación y Modernización del Servicio Nacional de Sismología y Vulcanología” financiado por la SENEKYT, entre los años 2008-2012 se instalaron varios instrumentos de alta precisión para registrar los eventos sísmicos ocurridos en el país (Instituto geofísico EPN, 2017). Durante el evento principal de Pedernales, estos instrumentos permitieron registrar aceleraciones mayores a $1g$ en ciertos puntos del territorio nacional; estos registros fueron analizados en un trabajo anterior a éste.

No obstante, las réplicas del evento principal también fueron registradas por los instrumentos y ésta información es analizada en este trabajo.

DESARROLLO DEL TEMA

ANTECEDENTES

El día 16 de abril del 2016 a las 18h58m hora local, ocurrió el sismo más devastador en la historia moderna del Ecuador, con epicentro cerca de la ciudad de Pedernales en la provincia de Manabí. El sismo tuvo un hipocentro a 21km de profundidad, por lo cual se considera un sismo superficial causado por la ruptura de una falla a causa del deslizamiento entre las placas de Nazca y la placa Sudamericana. Estas dos placas forman parte del anillo de fuego y el deslizamiento ocurre mediante el fenómeno de subducción, en el cual la placa oceánica de Nazca se introduce debajo de la placa continental Sudamericana. Estas placas suelen estar en desplazamiento constante a razón de 61mm/año. (Nikolaou, et al., 2017) Eventualmente existen regiones en las cuales se obstruye el desplazamiento ocasionando una acumulación de energía, la cual al llegar a un punto crítico se libera, causando eventos sísmicos de grandes magnitudes. A partir del evento principal, se registraron alrededor de 1,504 réplicas siendo las del 18 de mayo las más significativas, con magnitudes de hasta Mw 6.7. (Secretaria de Gestión de Riesgos, 2017)

REDES DE ACELEROGRAFOS DEL ECUADOR

El registro sísmico del Ecuador es llevado a cabo por el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, el cual, gracias a su red nacional de acelerógrafos, con más de 30 instrumentos a nivel nacional, puede con gran precisión medir y analizar las aceleraciones en diversas partes del país para un mismo evento sísmico. Los acelerógrafos son instrumentos capaces de tomar mediciones mediante sus 3 sensores ortogonales de tal forma que se registran las aceleraciones en sentido norte-sur, este-oeste y verticales. La Fig. 1 muestra las aceleraciones máximas registradas en la mencionada red luego del evento principal del 16 de Abril del 2016 en el territorio ecuatoriano. No obstante, se obtuvieron también algunos registros de los eventos réplica los cuales, después de un proceso de corrección de línea base ejecutados en el presente trabajo, se filtraron de tal manera de eliminar posibles interferencias dentro de la señal, de tal manera que los resultados sean lo más cercanos a la realidad. A pesar de estos procesos, existen registros que tienen una contaminación excesiva en su señal, razón por la cual en ocasiones tuvieron que ser descartados del análisis.

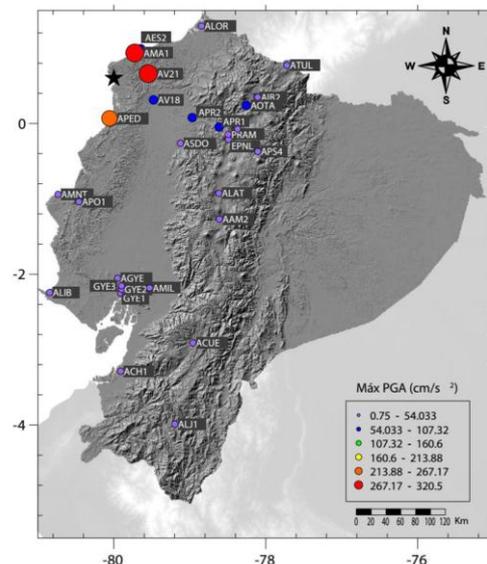


Figura 1: Distribución espacial de las estaciones de la RENAC y de la red OCP

A continuación, en la Tabla 1 se presentan los registros descartados por sus bajas aceleraciones y ruido excesivo. En la tabla se presenta las aceleraciones máximas obtenidas en el programa PRISM, las aceleraciones obtenidas del evento principal en la misma ubicación y el factor de amplificación necesario para alcanzar el mismo valor con los registros de las réplicas.

Ubicación	Día	Hora	PRISM			Aceleración Registro Inicial			Factor de Amplificación		
			Z	N-S	E-O	E	N	Z			
Esmeraldas	201	8:49:15	8.3E-03	4.4E-03	6.9E-03	0.18	-0.10	0.05	21.31	39.88	25.79
		9:33:20	3.2E-02	9.8E-03	1.9E-02	0.18	-0.10	0.05	5.52	18.05	9.49
		20:21:00	2.1E-03	1.4E-03	1.2E-03	0.18	-0.10	0.05	85.35	126.19	144.81
Manta	189	23:29:19	1.8E-03	3.7E-03	2.8E-03	-0.42	0.51	0.15	96.54	47.36	62.65
		2:04:33	7.9E-04	1.5E-03	1.6E-03	-0.42	0.51	0.15	223.63	116.23	111.81
		21:00:00	1.6E-03	5.8E-03	3.7E-03	-0.42	0.51	0.15	112.53	30.41	47.62
		21:12:00	2.4E-03	5.4E-03	4.3E-03	-0.42	0.51	0.15	72.40	32.60	41.37
		20:18:00	9.8E-03	1.8E-02	2.0E-02	-0.42	0.51	0.15	17.95	9.96	8.77
	203	6:54:00	4.4E-03	9.2E-03	9.4E-04	-0.42	0.51	0.15	40.33	19.16	187.94
Portoviejo	190	4:30:15	1.3E-03	2.8E-03	2.8E-03	-0.36	0.46	-0.12	133.84	64.01	62.21
		7:05:32	3.7E-04	7.5E-04	8.4E-04	-0.36	0.46	-0.12	477.47	235.55	210.32
		2:04:06	3.1E-03	9.6E-04	2.8E-03	-0.36	0.46	-0.12	57.55	184.03	64.24
		2:14:03	3.8E-03	1.6E-03	3.6E-03	-0.36	0.46	-0.12	46.37	113.25	48.67
		202	1:22:24	8.1E-03	4.6E-03	7.4E-03	-0.36	0.46	-0.12	21.86	38.32
	203	11:59:46	7.4E-03	2.6E-03	4.9E-03	-0.36	0.46	-0.12	23.78	68.74	36.05

Tabla 1: Registros de réplicas descartados por aceleraciones bajas y ruido excesivo.

Se puede ver que las aceleraciones obtenidas no llegan a ser ni del 1% de la aceleración de la gravedad. Al tener aceleraciones tan bajas, lo equipos tiene dificultad a registrarlas ya que se obtienen también vibraciones del ambiente cercanas al equipo y distorsionan las lecturas. Inicialmente se buscó amplificar las lecturas de tal manera que las aceleraciones máximas

coincidan con registros del evento principal, pero los factores llegaron a valores de hasta 477.57 veces el valor original, lo cual amplificaba también su error. Por esta razón se decidió descartar este paquete de réplicas.

Los siguientes registros réplicas que se obtuvieron fueron gracias al Instituto geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Estos registros mostraron tener aceleraciones bastante más altas, lo cual facilitaba el procesamiento de los datos. Los registros representan dos eventos sísmicos captados el 18 de mayo de 2016, el primero a las 02:57 y el segundo a las 16:46. En las tablas a continuación se presentan los valores de aceleración obtenidos para los eventos en las varias estaciones del país. Entre los datos más importantes presentados está la distancia al epicentro (R_{epi}) como es de esperarse mientras más cercano al epicentro, mayores fueron las aceleraciones registradas. Para el análisis se escogió únicamente los registros en los cuales al menos una de las componentes superaba el 10% del valor de la gravedad, es decir tenía una aceleración mayor a 98.1 cm/s^2 . Estos registros se encuentran resaltados en las tablas a continuación.

RED	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	R_{epi} (km)*	PGA E (cm/s ²)	PGA N (cm/s ²)	PGA Z (cm/s ²)
OCP**	AMA1	0.94	-79.73	234	48.16	273.84	254.51	117.15
OCP**	AV21	0.66	-79.55	62	50.79	320.45	225.45	139.87
RENAC	AES2	0.99	-79.65	4	58.60	101.43	79.98	47.18
RENAC	APED	0.07	-80.06	15	59.45	247.88	151.94	49.04
OCP**	AV18	0.31	-79.48	107	66.19	104.14	78.69	40.99
OCP**	APR2	0.08	-78.97	804	128.55	88.10	93.51	34.52
RENAC	ASDO	-0.26	-79.12	615	136.63	52.01	23.54	16.22
RENAC	ALOR	1.29	-78.85	22	149.47	25.76	20.93	8.39
OCP**	APR1	-0.05	-78.61	2981	169.90	59.06	48.00	21.55
RENAC	PRAM	-0.15	-78.50	2840	186.59	15.57	12.21	7.77
RENAC	APO1	-1.04	-80.46	47	189.04	12.47	16.25	3.98
RENAC	AMNT	-0.94	-80.74	38	189.70	9.86	12.22	3.96
RENAC	EPNL	-0.21	-78.49	2813	190.30	11.42	9.08	4.77
OCP**	AV11	-0.07	-78.37	2058	195.84	7.99	13.50	8.20
RENAC	AOTA	0.24	-78.26	2529	197.86	57.67	32.55	15.16
RENAC	AIB1	0.35	-78.13	2208	210.22	28.18	19.27	10.81
RENAC	AIB2	0.35	-78.11	2298	212.28	16.65	14.53	7.18
RENAC	ALAT	-0.93	-78.62	2777	228.75	5.27	4.24	2.43
OCP**	APS4	-0.37	-78.11	2887	236.49	4.26	3.88	1.35
RENAC	ATUL	0.77	-77.72	3097	253.72	7.56	6.25	3.74
RENAC	AAM2	-1.27	-78.61	2664	258.73	4.62	4.55	2.44
RENAC	AGYE	-2.05	-79.95	30	294.93	1.40	1.18	1.03
RENAC	GYE3	-2.15	-79.90	17	306.20	5.21	5.18	1.86
RENAC	GYE2	-2.20	-79.90	11	311.09	7.26	8.15	4.16
RENAC	AMIL	-2.18	-79.53	20	313.40	3.98	2.67	1.14
RENAC	GYE1	-2.25	-79.91	7	316.94	7.24	5.85	1.57
RENAC	ALIB	-2.24	-80.85	40	329.57	1.28	1.50	1.05
RENAC	ACUE	-2.91	-78.96	2578	406.79	2.25	2.39	1.28
RENAC	ACH1	-3.29	-79.91	13	432.00	1.29	2.45	0.71
RENAC	ALJ1	-3.99	-79.20	2147	517.41	0.75	0.61	0.62

Tabla 2: Replicas 18 de Mayo 2016 02H57

RED	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	R _{epi} (km)*	PGA E (cm/s ²)	PGA N (cm/s ²)	PGA Z (cm/s ²)
RENAC	APED	0.07	-80.06	15	37.20	748.19	499.78	169.76
OCP**	AV21	0.66	-79.55	62	67.94	348.60	215.03	152.12
OCP**	AV18	0.31	-79.48	107	69.78	144.73	122.21	108.01
OCP**	AMA1	0.94	-79.73	234	72.59	120.34	113.95	55.12
RENAC	ASDO	-0.26	-79.12	615	131.10	56.01	39.44	24.99
OCP**	APR2	0.08	-78.97	804	130.80	72.45	77.22	23.53
RENAC	AES2	0.99	-79.65	4	82.80	49.87	39.04	21.95
RENAC	APO1	-1.04	-80.46	47	164.71	52.99	50.18	17.87
RENAC	AMNT	-0.94	-80.74	38	164.86	32.03	40.92	14.28
RENAC	GYE2	-2.20	-79.90	11	289.53	26.60	20.00	10.73
OCP**	APR1	-0.05	-78.61	2981	172.39	24.89	26.58	10.12
RENAC	GYE3	-2.15	-79.90	17	284.65	20.27	19.04	9.36
RENAC	AIB1	0.35	-78.13	2208	219.52	19.06	18.99	7.93
RENAC	AOTA	0.24	-78.26	2529	205.66	22.95	17.15	7.91
RENAC	ALOR	1.29	-78.85	22	170.96	12.17	16.93	7.06
RENAC	PRAM	-0.15	-78.50	2840	188.33	11.93	11.39	6.95
OCP**	AV11	-0.07	-78.37	2058	199.17	9.79	13.57	6.46
RENAC	EPNL	-0.21	-78.49	2813	191.17	6.94	8.95	4.81
RENAC	GYE1	-2.25	-79.91	7	295.32	14.43	12.81	4.35
RENAC	AGYE	-2.05	-79.95	30	273.16	6.45	5.52	4.07
RENAC	AAM2	-1.27	-78.61	2664	248.52	6.90	6.82	3.99
RENAC	AMIL	-2.18	-79.53	20	293.71	8.43	7.57	3.79
RENAC	ACUE	-2.91	-78.96	2578	389.01	5.66	5.95	3.77
RENAC	AIB2	0.35	-78.11	2298	221.63	11.65	11.75	3.46
RENAC	ALAT	-0.93	-78.62	2777	220.96	7.31	10.07	3.20
RENAC	ALIB	-2.24	-80.85	40	305.14	5.20	5.96	2.78
RENAC	ATUL	0.77	-77.72	3097	267.32	5.63	9.27	2.58
RENAC	ALJ1	-3.99	-79.20	2147	497.66	2.73	1.77	1.33
RENAC	ACH1	-3.29	-79.91	13	410.21	5.51	4.79	1.13
OCP**	APS4	-0.37	-78.11	2887	237.54	4.11	3.42	0.98

Tabla 3: Replicas 18 de mayo 2016 16H46

Inmediatamente después de que se ha realizado y validado el cálculo, se construyeron los espectros para cada una de las estaciones utilizando aceleraciones mayores a 0.1g. Considerando que pueden existir errores a consecuencia de factores externos como ruidos, o mala manipulación de los acelerógrafos, que distorsionan los resultados generando desplazamientos y velocigramas erróneos, es necesario hacer correcciones en los acelerogramas. Se realizaron correcciones de filtrado y base lineal utilizando el software PRISM, para obtener resultados más precisos y reales. (Chiu, 1997)

PRISM utiliza un algoritmo que consiste en lo siguiente: 1) Ajuste de mínimos cuadrados en los valores de aceleración. 2) Filtrado de paso alto en los mismos valores. 3) La resta del valor inicial de la velocidad. A través de este algoritmo el software corrige los errores de línea base de los registros de aceleración obtenidos en cada una de las estaciones. Mediante el ajuste de mínimos cuadrados y la resta del valor inicial de la velocidad se pueden corregir, o al menos reducir, errores de base lineal de segundo orden o menores, mientras que el filtrado de paso alto minimiza las distorsiones ocasionadas a causa del ruido de fondo o de los instrumentos como tal. La intención de aplicar un filtro en los valores de aceleración es eliminar los errores que se generan debido a ruidos aleatorios. (Chiu, 1997).

ESPECTROS INELASTICOS DE RESPUESTA

“Las curvas de la Figura 7 representan la relación experimental fuerza deformación de un elemento estructural de acero a varias deformaciones cíclicas simulando las esperadas durante un sismo, se puede observar que las curvas no tienen un comportamiento lineal por lo tanto se considera un sistema inelástico, es decir la relación fuerza deformación depende de cuánto varia la deformación por lo tanto la fuerza restauradora definida anteriormente f_s ya no es directamente proporcional al desplazamiento ahora se define como una función implícita del desplazamiento. (Chopra, 2014)

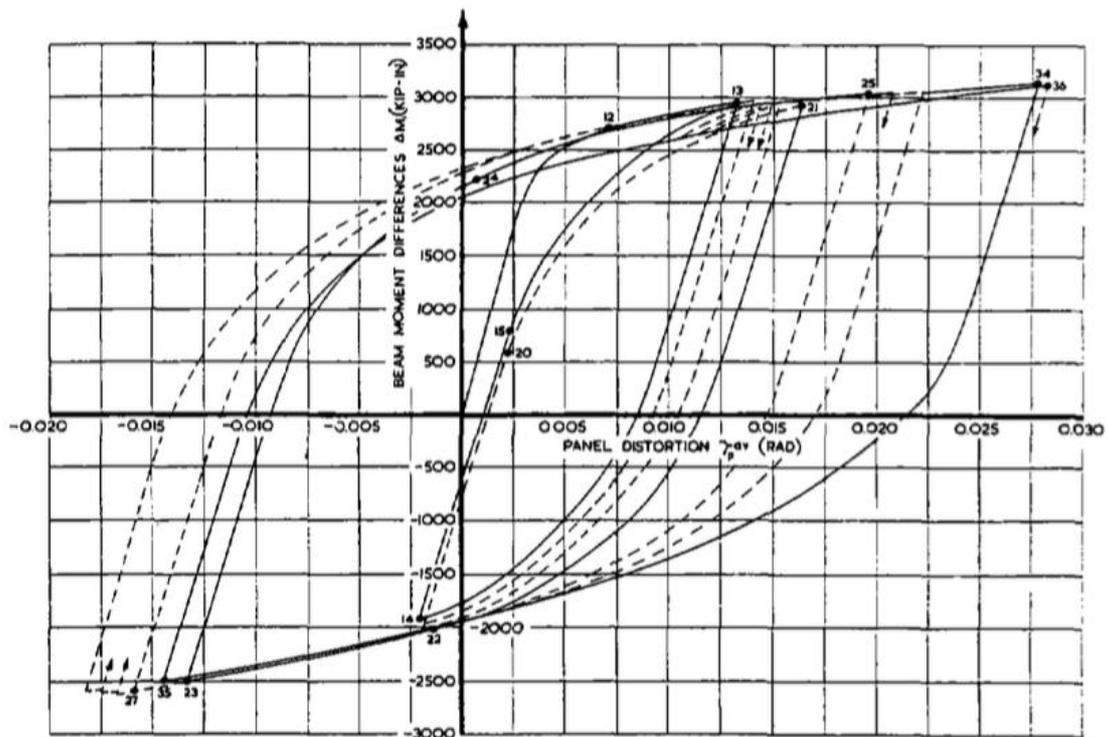


Figura 2: Relación fuerza deformación de un elemento estructural de acero. (Chopra, 2014)

Las curvas de la Figura 7 se pueden idealizar con el modelo de rigidez bilineal como se muestra en la Figura 8. El modelo de rigidez bilineal se compone de tres parámetros: el punto de fluencia, la rigidez inicial y la rigidez después de alcanzar el punto de fluencia como se puede observar en la Figura 9. (Mahin & Lin, 1983)

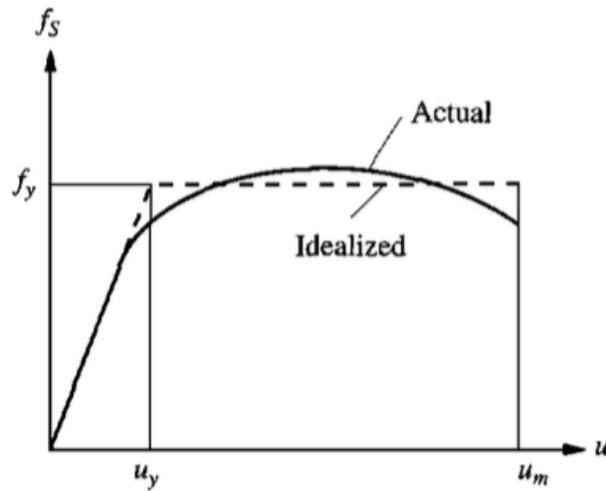


Figura 3: Curva de fuerza deformación real e idealizada (Chopra, 2014).

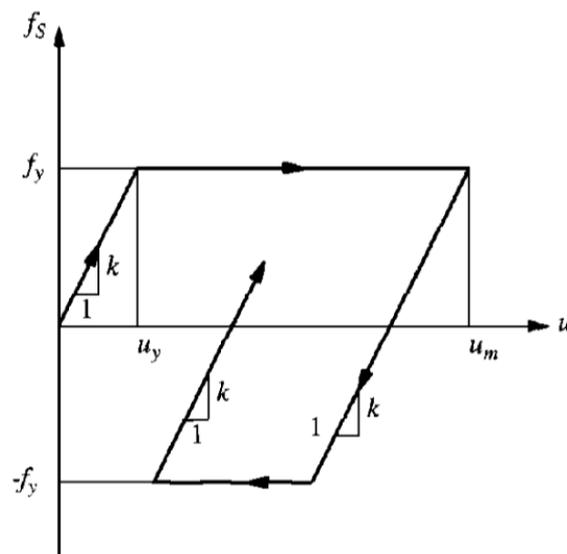


Figura 4: Modelo de rigidez bilineal. (Chopra, 2014)

El modelo bilineal de rigidez como se mencionó antes depende del punto de fluencia como en la figura 9 la fuerza f_y fuerza de fluencia, a la vez se define la resistencia a la fluencia normalizada \bar{f}_y . R_y es el factor de reducción de resistencia a la fluencia. Por lo tanto, para los sistemas elásticos R_y es igual 1.

$$\bar{f}_y = \frac{f_y}{f_o} = \frac{u_y}{u_o}$$

En donde f_o y u_o son la fuerza restauradora y la deformación inducida por el sismo en el sistema elástico. El factor R_y se define como el inverso de la resistencia a la fluencia normalizada. (Chopra, 2014). Ahora se obtiene el factor de ductilidad, la ductilidad se define como la relación entre el desplazamiento máximo de la curva inelástica u_m y el desplazamiento en la curva elástica relacionado con la fuerza de fluencia u_o . (Paz, 2009)

$$\mu = \frac{u_m}{u_o}$$

Para el sistema inelástico la ecuación que describe el movimiento es la misma que la descrita en la sección anterior con excepción de la fuerza restaurada. (Cheikh, Moussa, Zerzour, & Mehani, 2012) La ecuación dividida para la masa es:

$$\ddot{u} + 2\xi\omega_n\dot{u} + \omega_n^2 u_y \bar{f}_s(u) = -\ddot{u}_g(t)$$

La ecuación dada se puede reescribir en términos de ductilidad $\mu(t) = u(t)/u_y$ si se reemplaza $u(t) = u_y\mu(t)$ de igual forma con la velocidad y la aceleración obteniendo así

$$\ddot{\mu} + 2\xi\omega_n\dot{\mu} + \omega_n^2 \bar{f}_s(\mu) = -\omega_n^2 \frac{\ddot{u}_g(t)}{a_y}$$

Para construir los espectros inelásticos de respuesta se debe iniciar definiendo la aceleración del terreno la cual proviene de los acelerógrafos, se determina el periodo y el amortiguamiento de la estructura idealizada de un grado de libertad, se determina el desplazamiento del espectro elástico u_o por lo tanto se tiene la fuerza elástica $f_o = ku_o$ y a partir de la ecuación de movimiento expresada en el párrafo anterior se determina la deformación del sisma inelástico para una ductilidad constante y la resistencia a la fluencia a partir de $f_y = \bar{f}_y f_o$ fijando $\bar{f}_y < 1$. Determinando así las ordenadas espectrales de aceleración, velocidad, desplazamiento y R_y . (Chopra, 2014)” (Silva, 2017)

ESPECTROS SISMICOS DE RESPUESTA

Para los nueve registros seleccionados anteriormente se realizan los espectros elásticos e inelásticos de respuesta de aceleración, velocidad, desplazamiento, R-factor de reducción de fuerza y F_y para ductilidades constantes, además de los espectros inelásticos de respuesta para demanda de ductilidad para los valores de $R = 2, 4$ y 8 .

AES2-2H57

Componente Este-Oeste

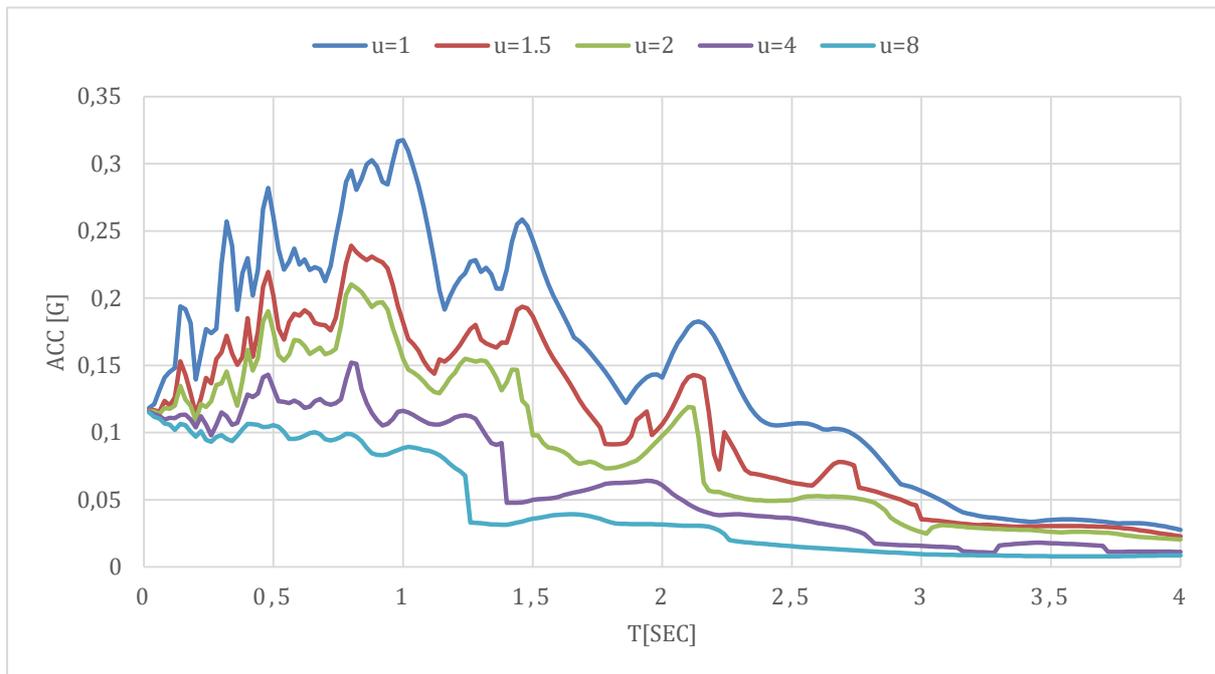


Figura 5: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

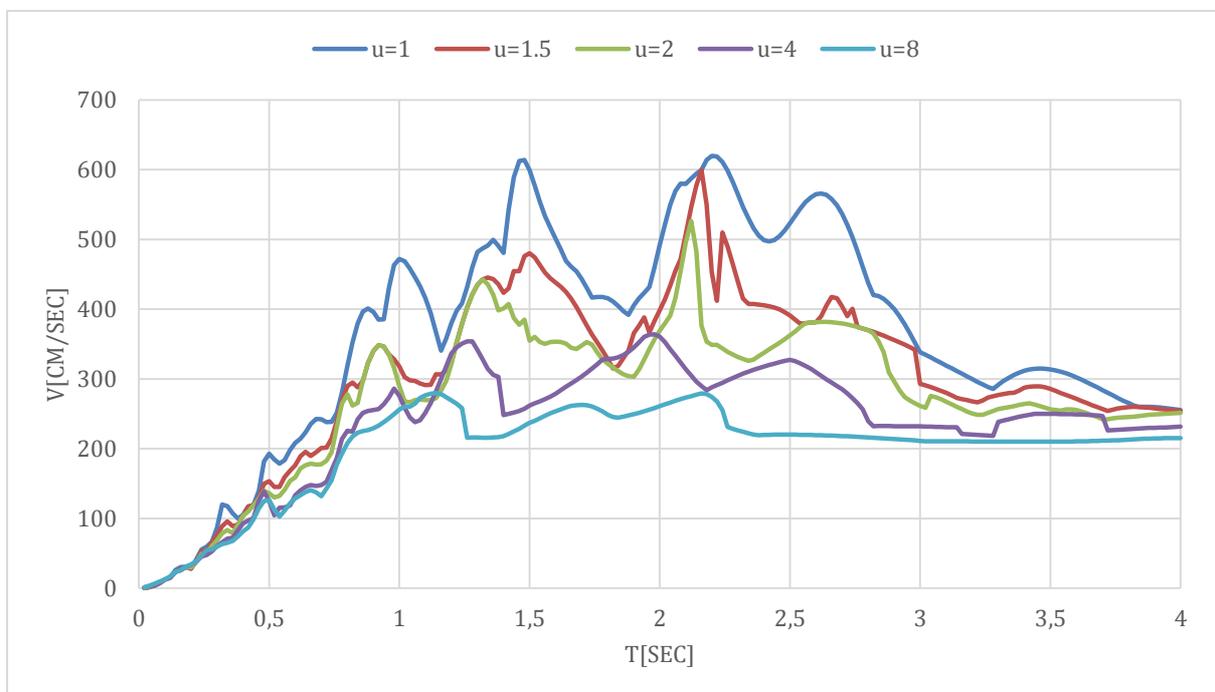


Figura 6: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

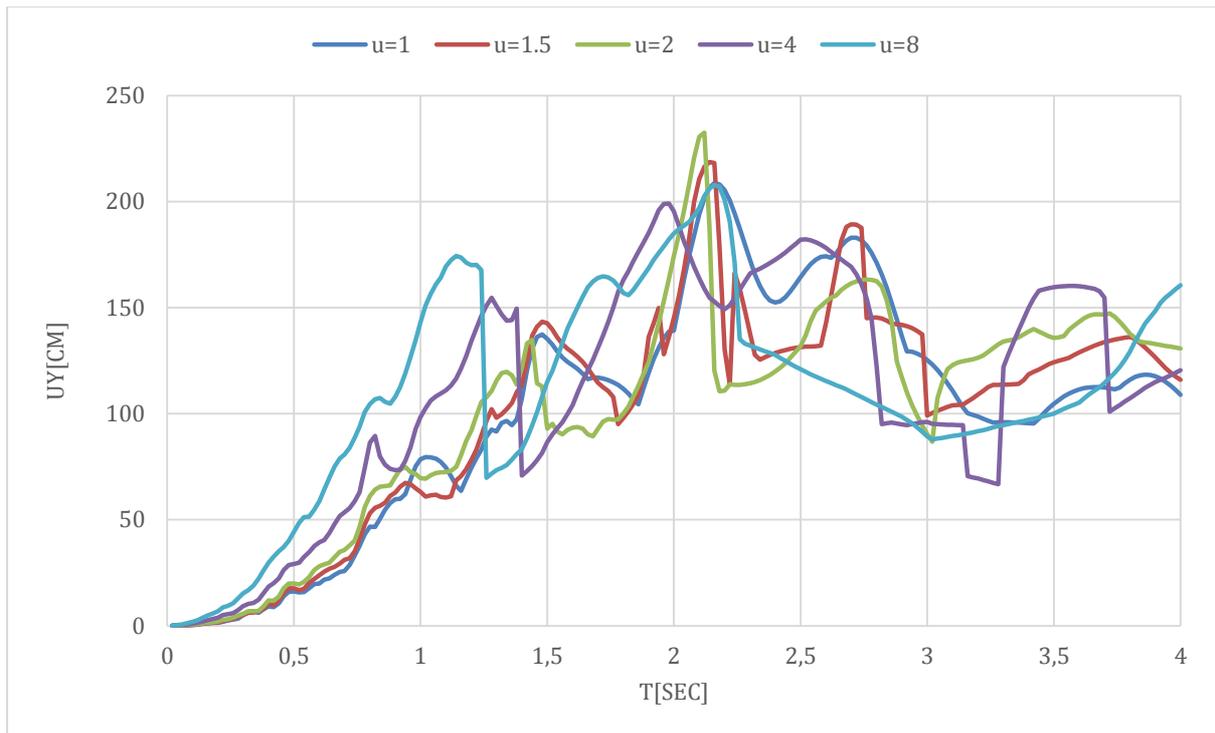


Figura 7: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

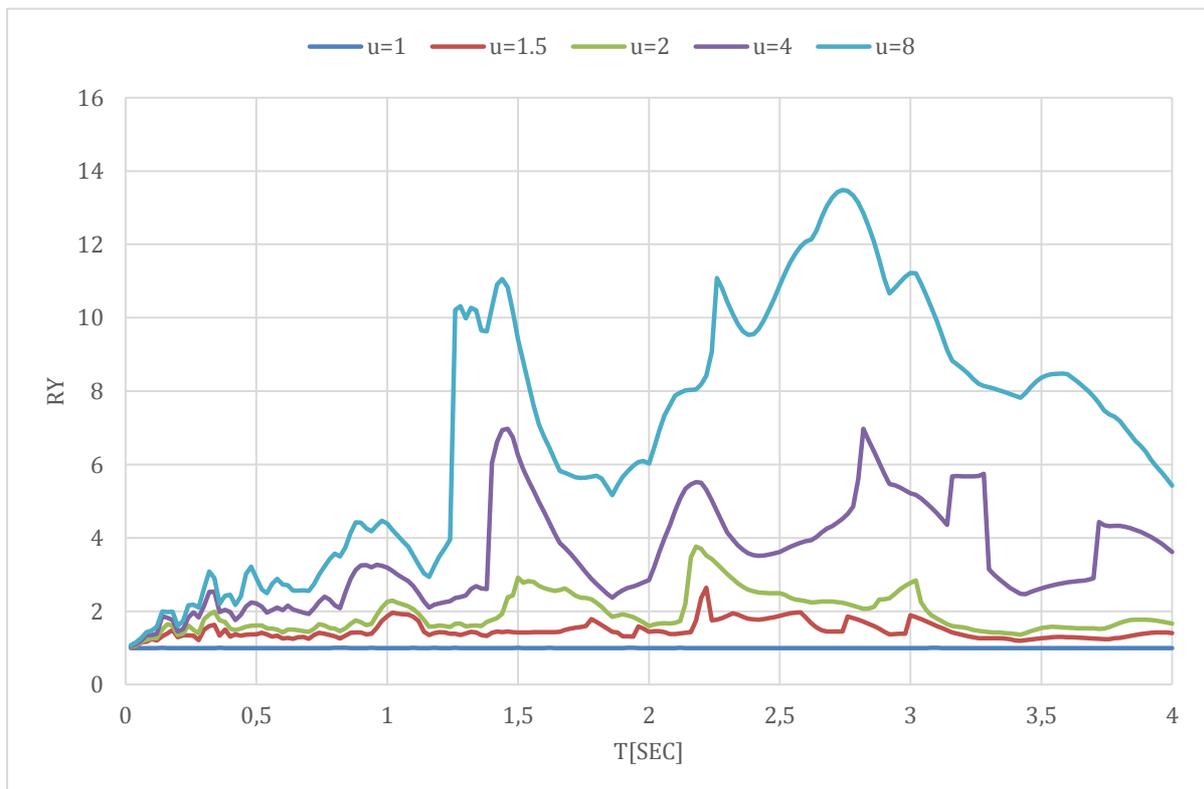


Figura 8: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

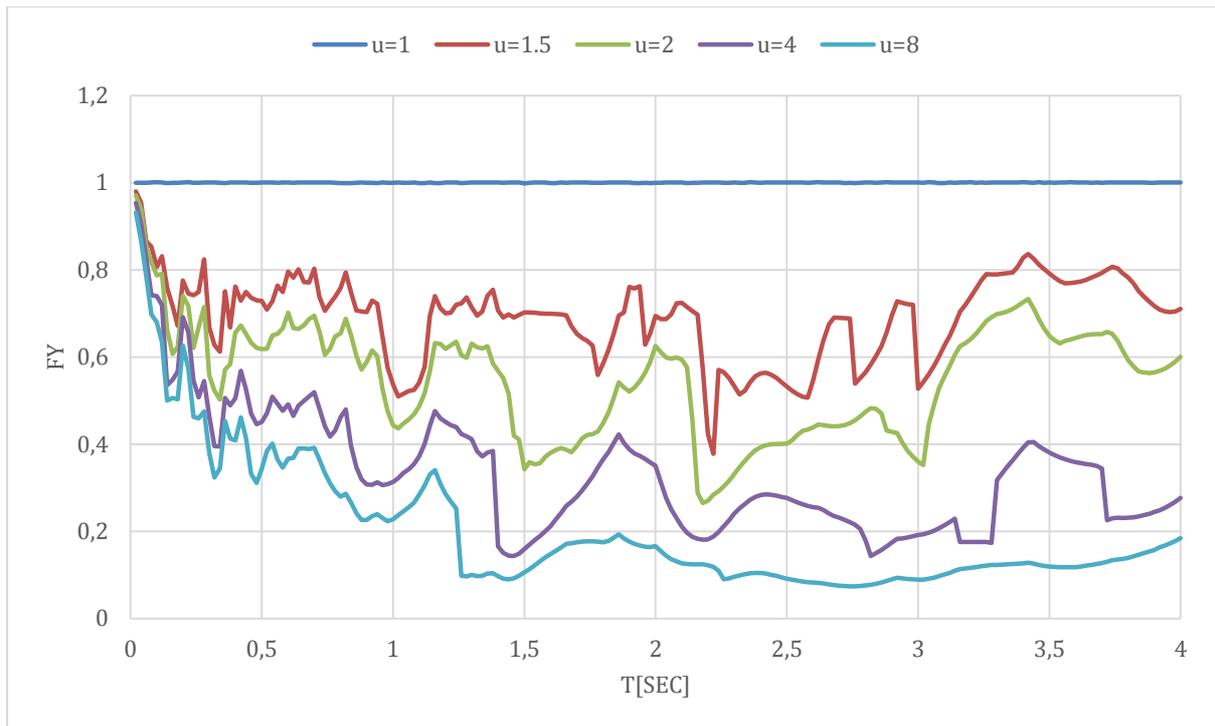


Figura 9: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

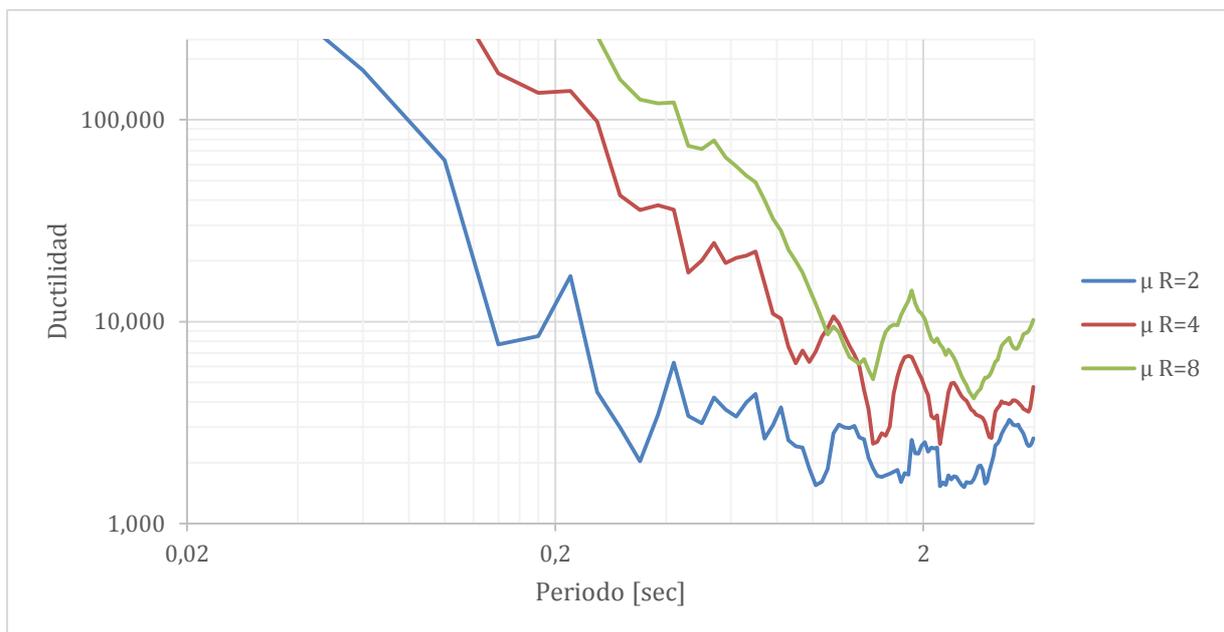


Figura 10: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

Componente Norte-Sur

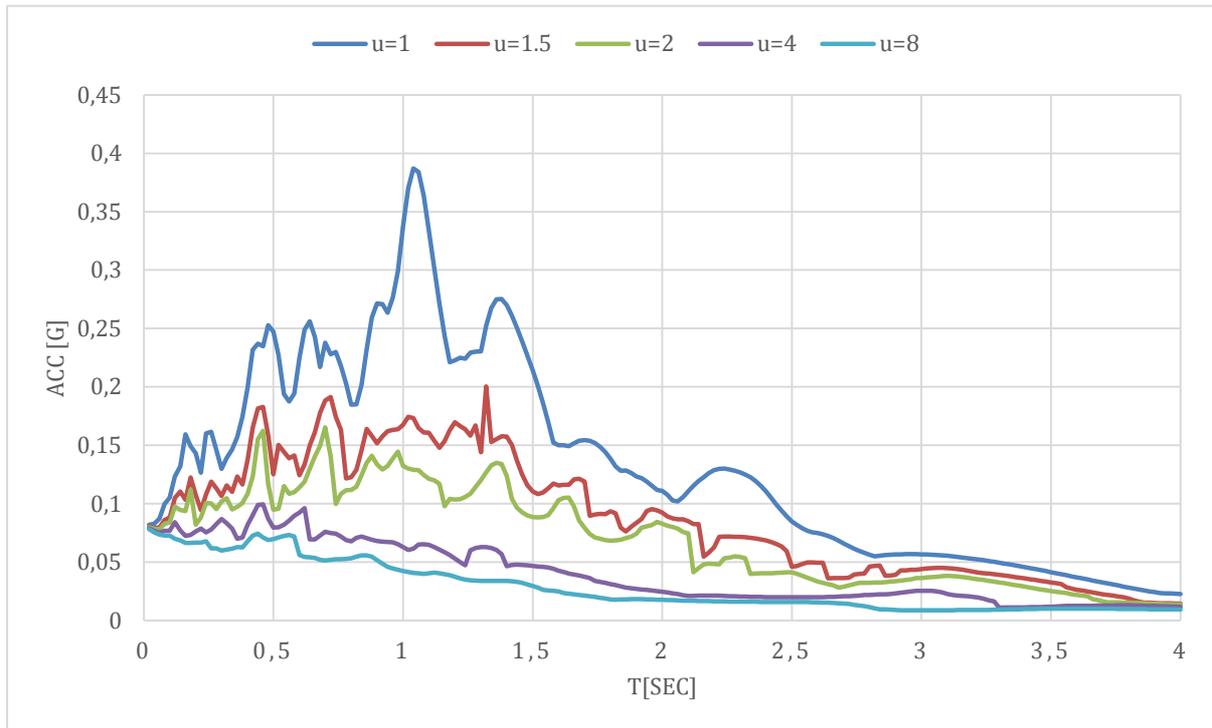


Figura 11 Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$

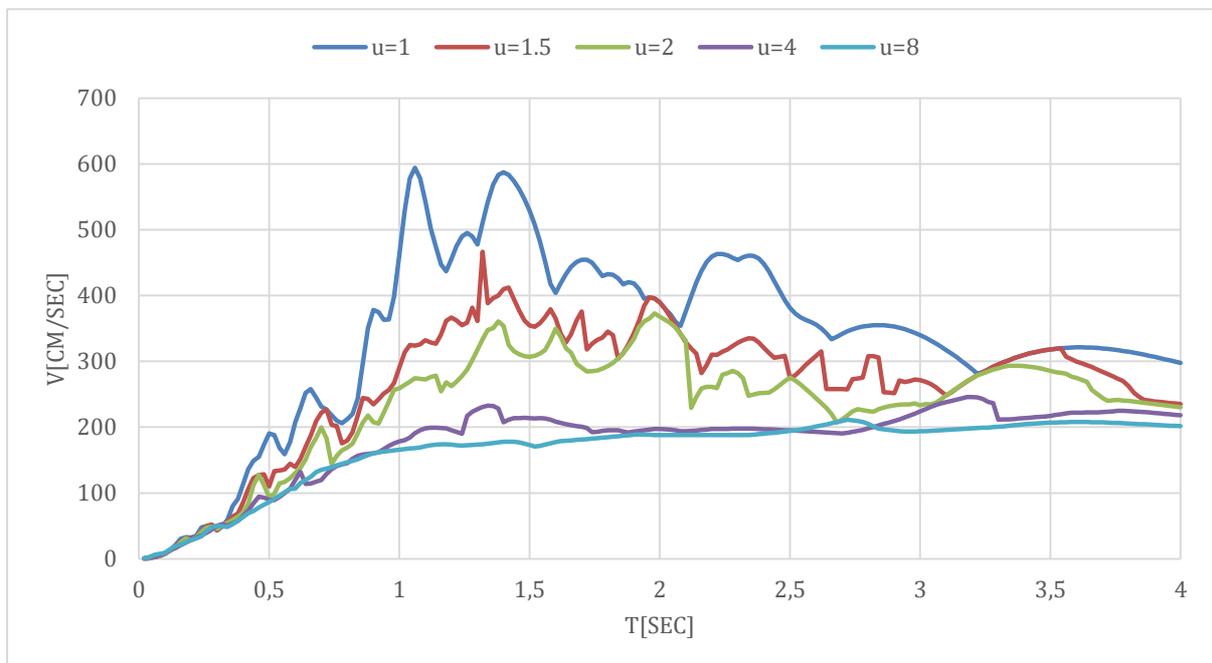


Figura 12: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

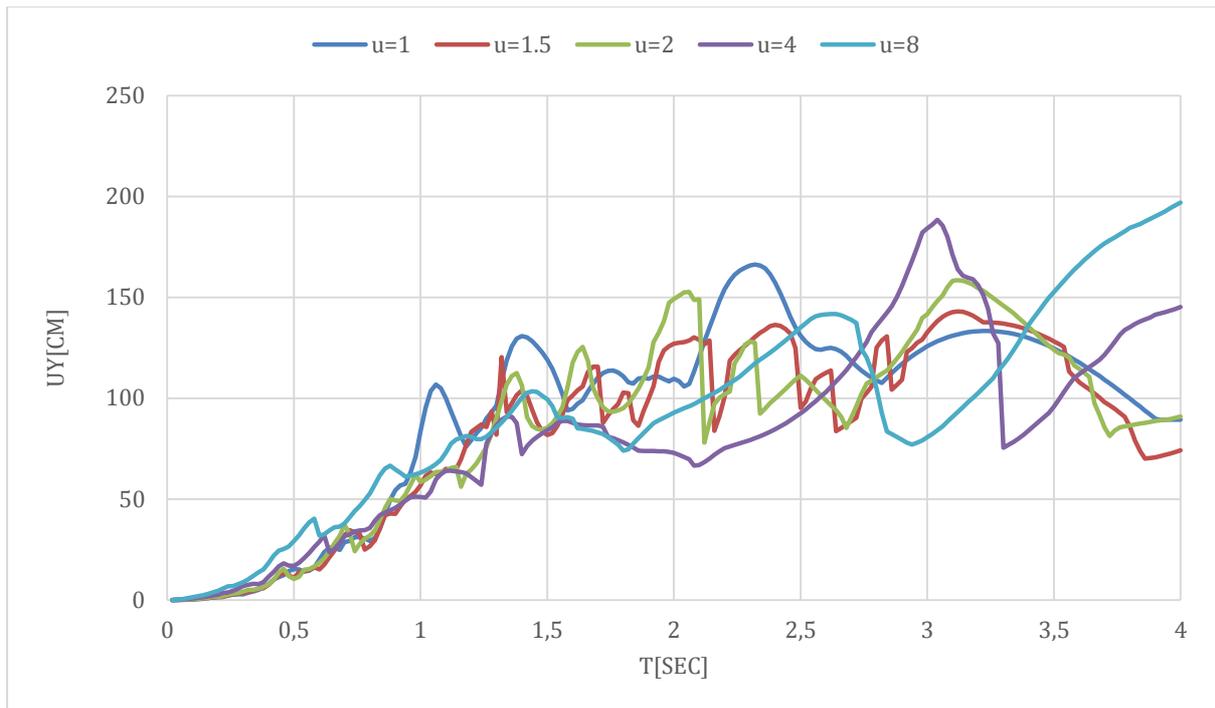


Figura 13: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

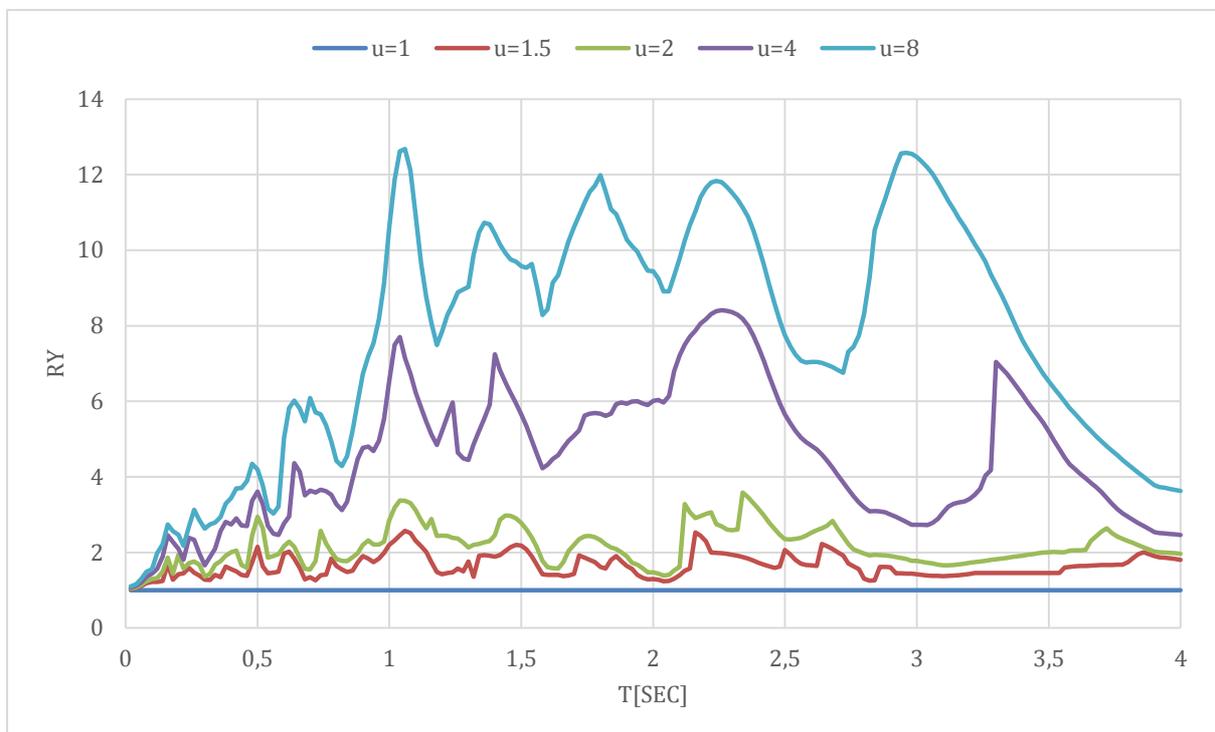


Figura 14: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AES2-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

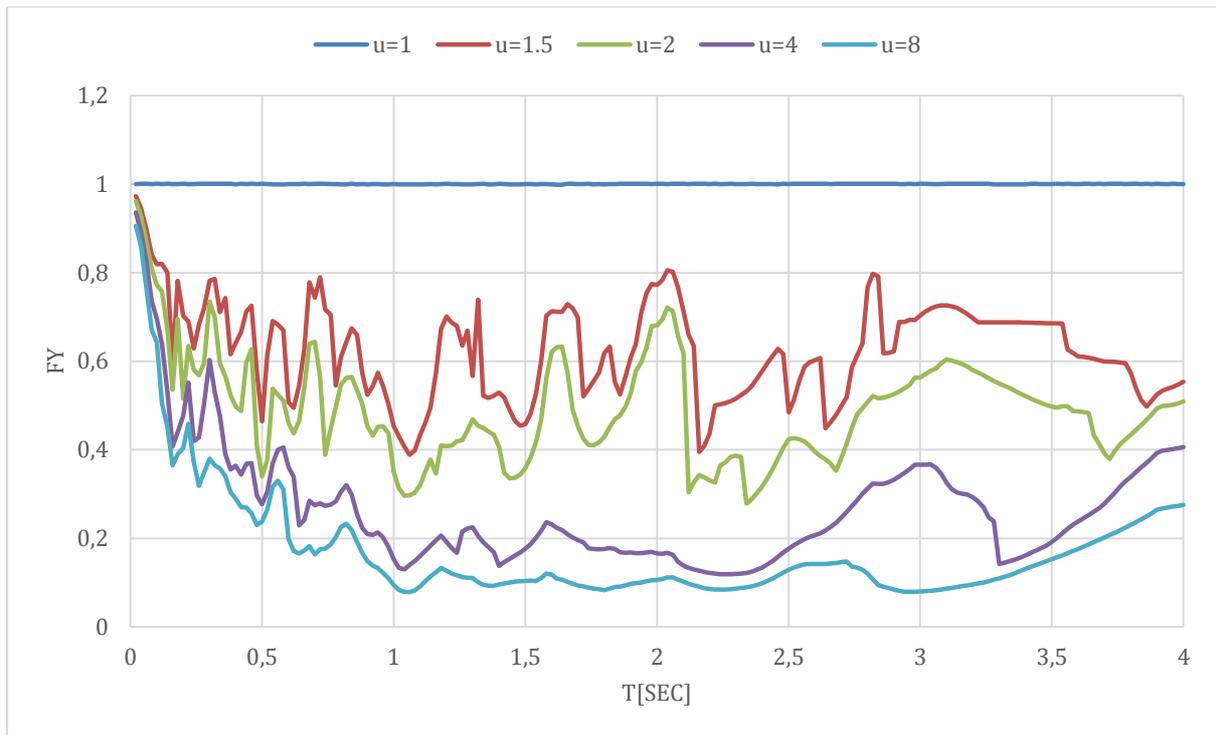


Figura 15: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AES2-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

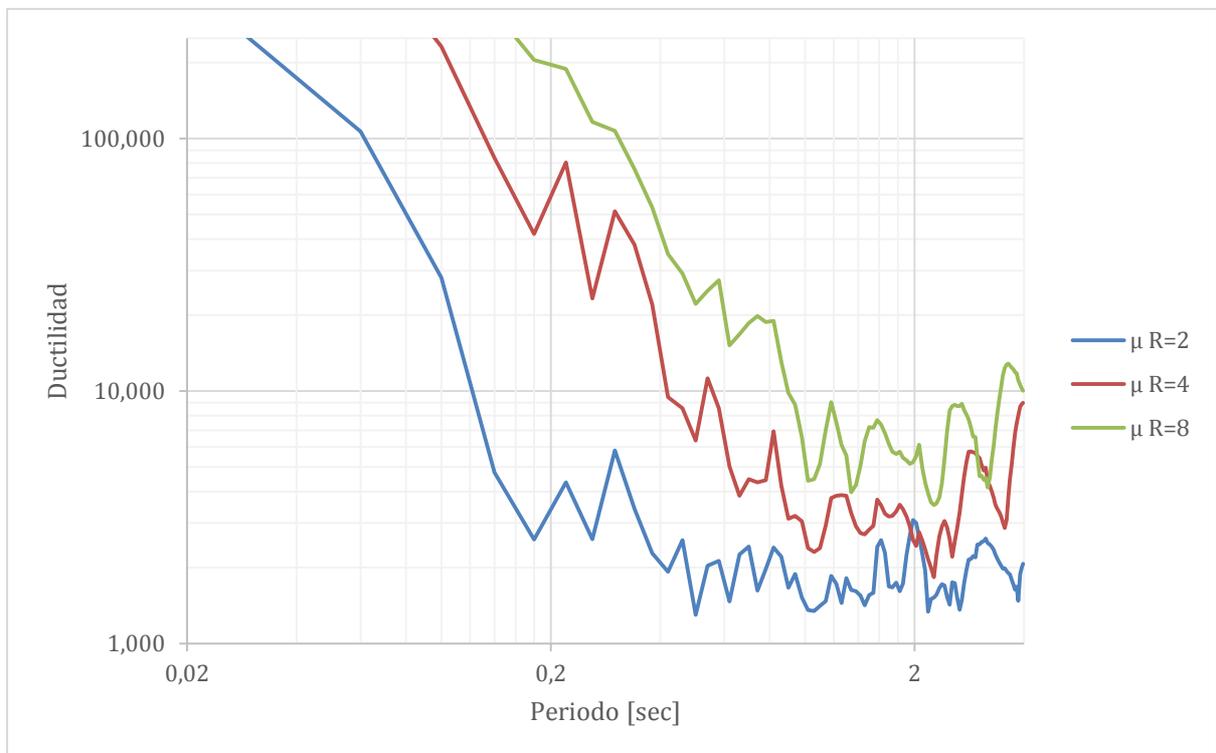


Figura 16: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AES2-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

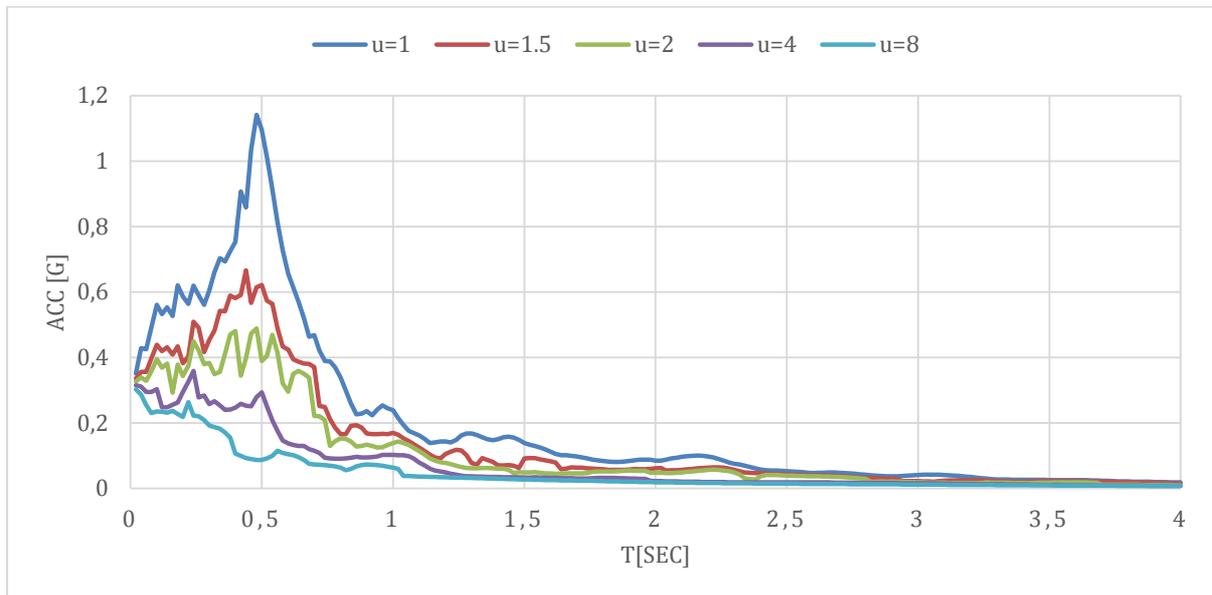
AMA1-2H57**Componente Este-Oeste**

Figura 17: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$

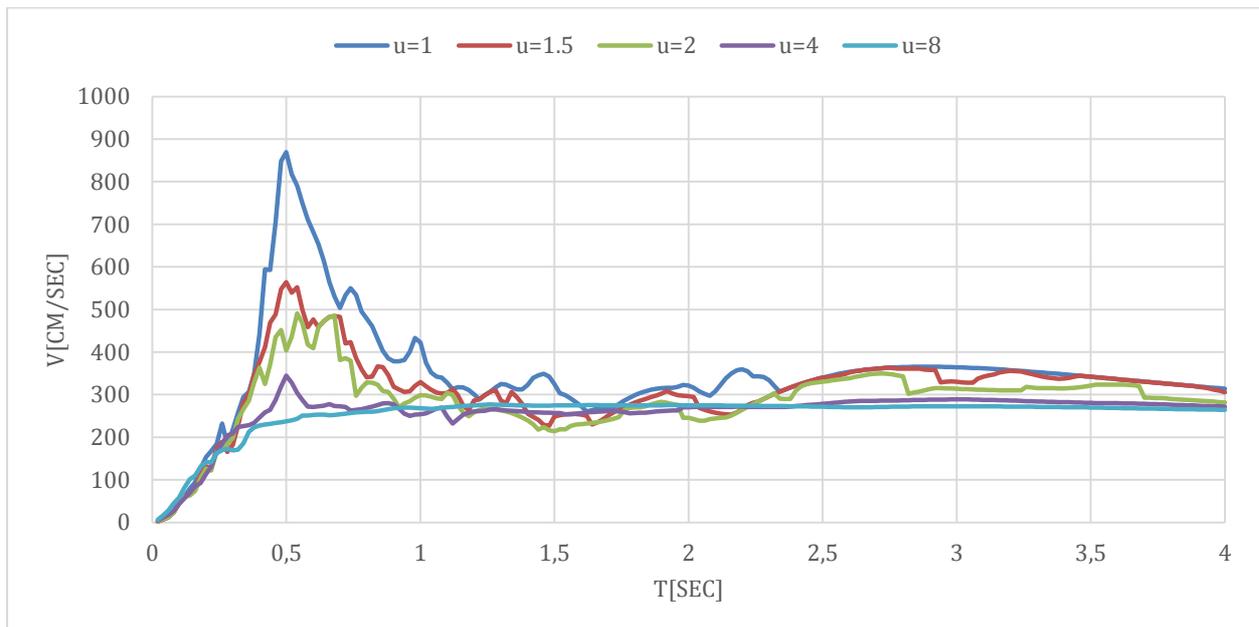


Figura 18: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

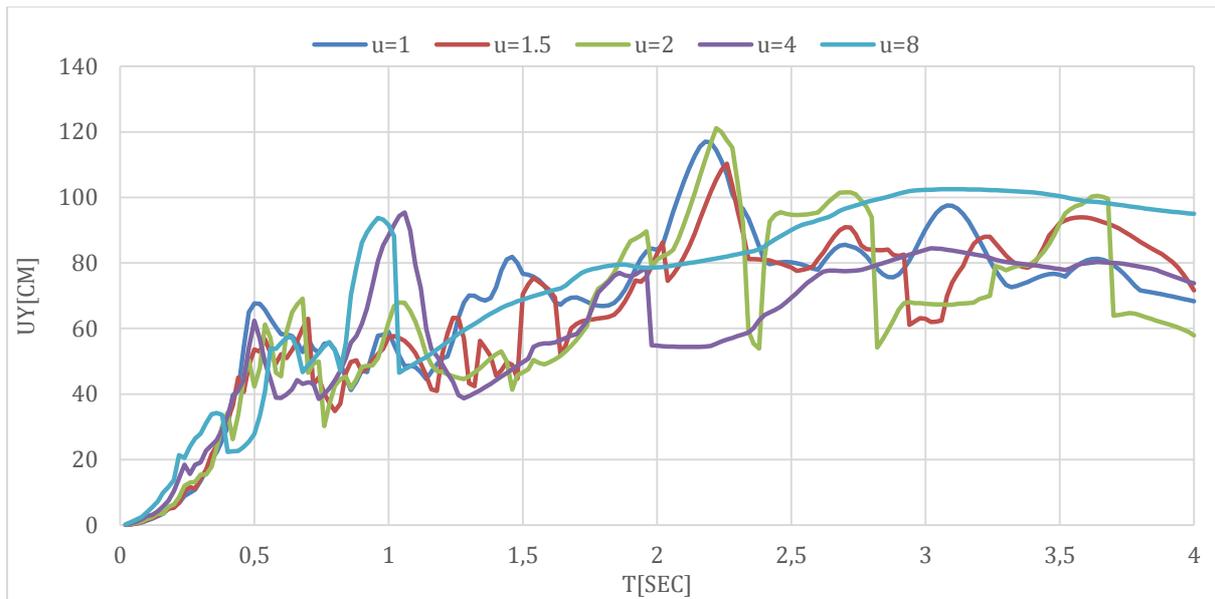


Figura 19: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AMAI-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

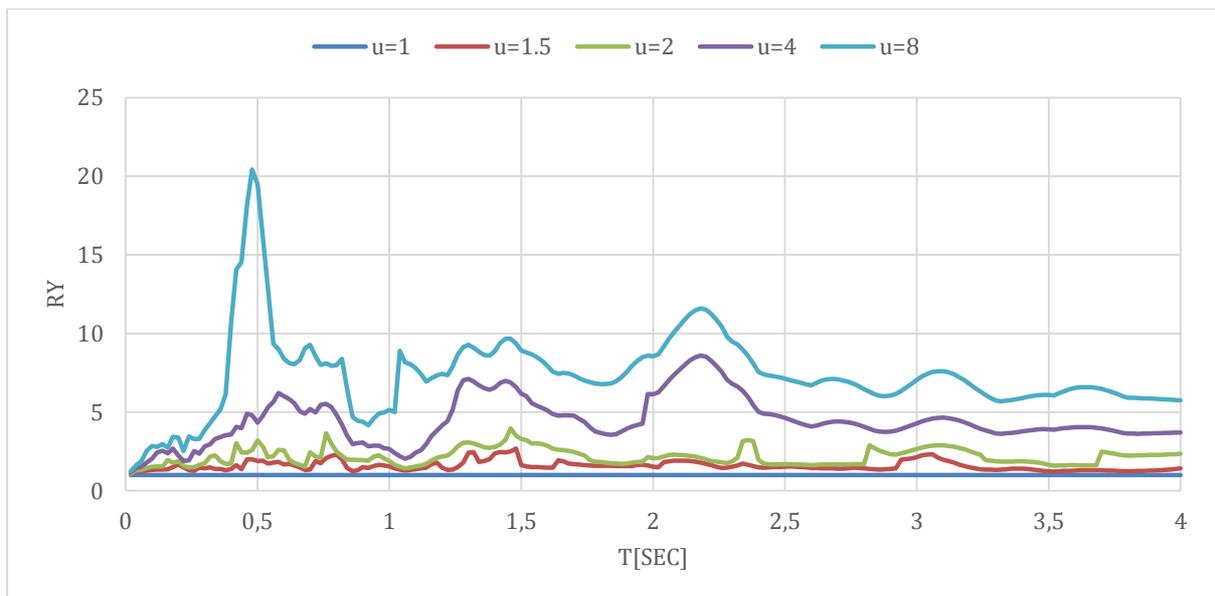


Figura 20: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AMAI-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

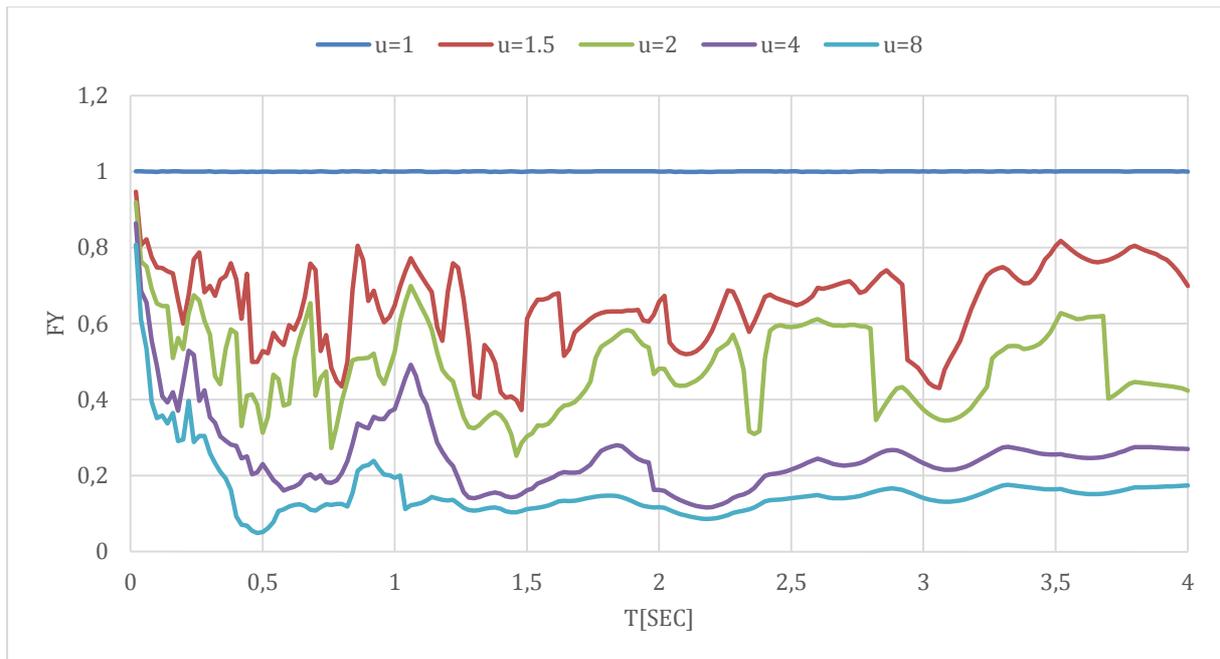


Figura 21: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

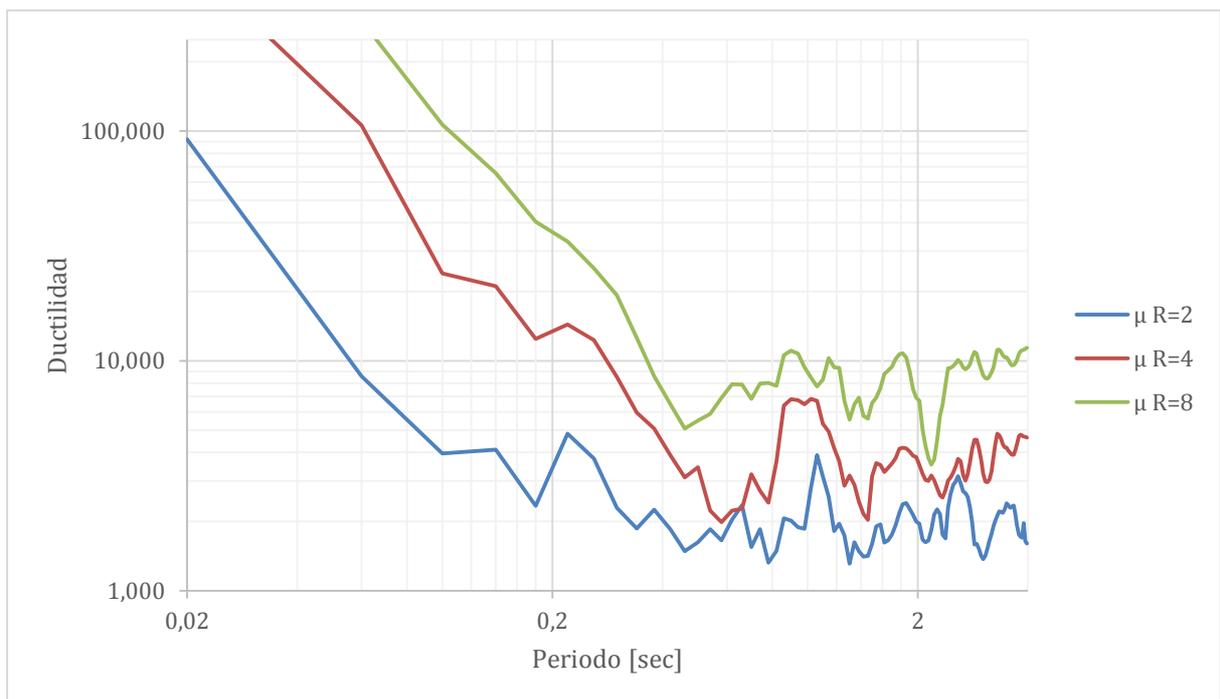


Figura 22: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AMA1-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

Componente Norte-Sur

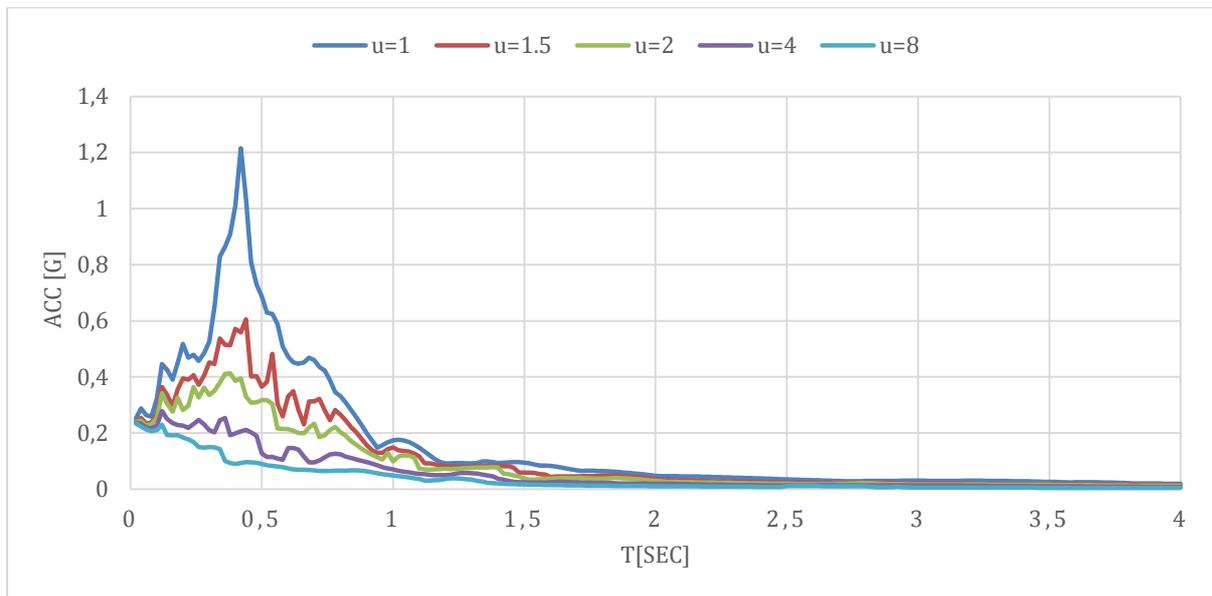


Figura 23: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$

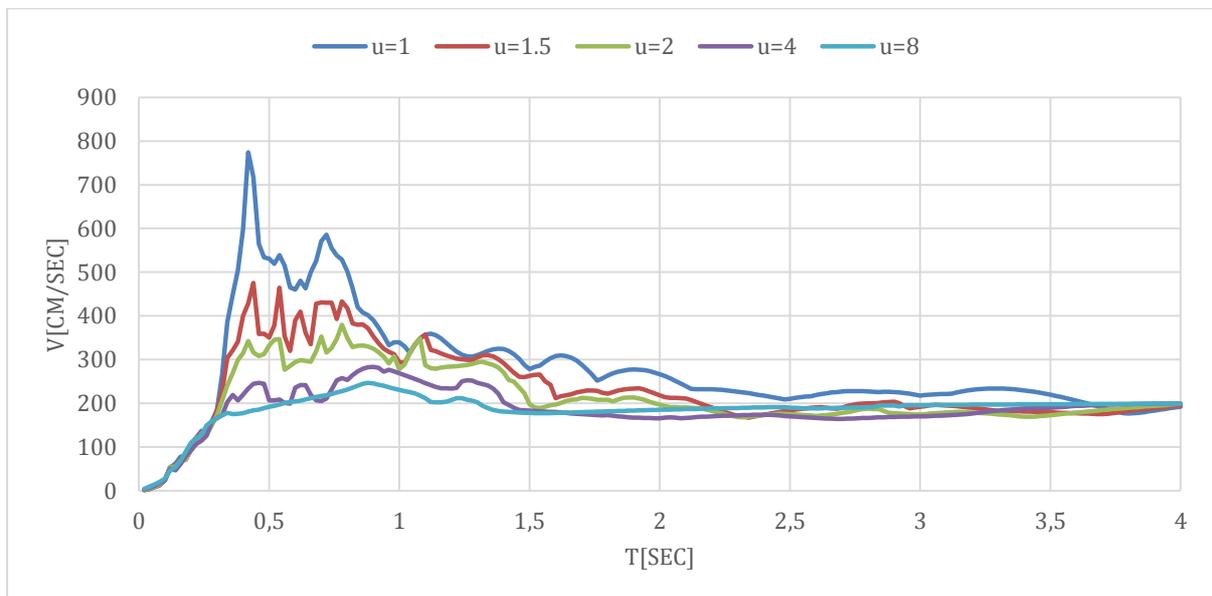


Figura 24: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

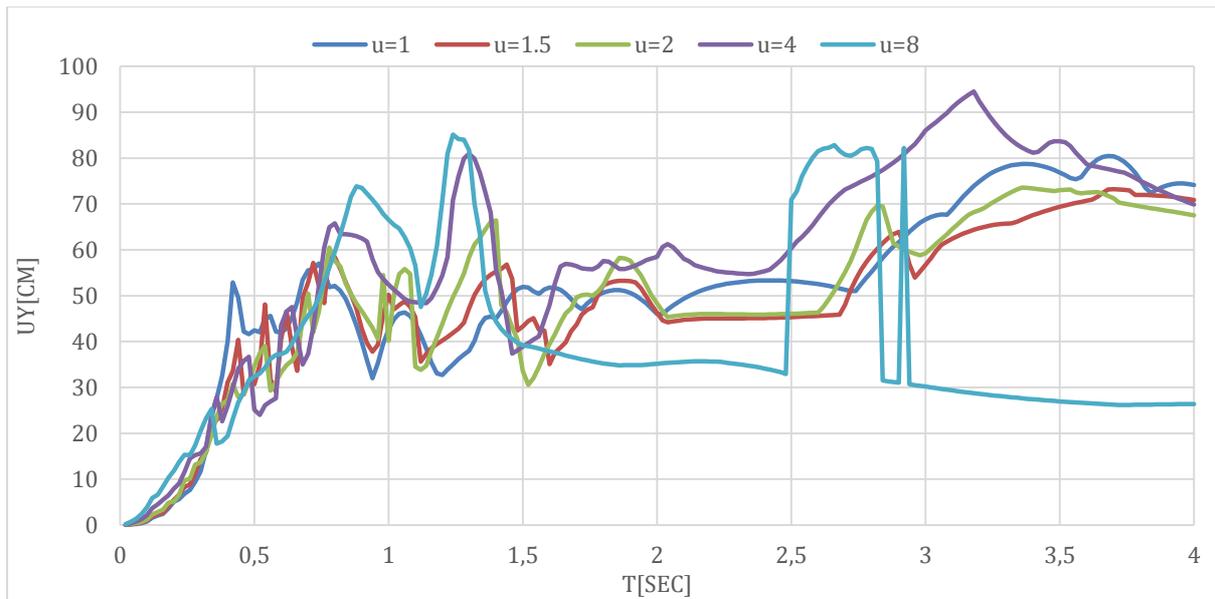


Figura 25: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AMAI-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

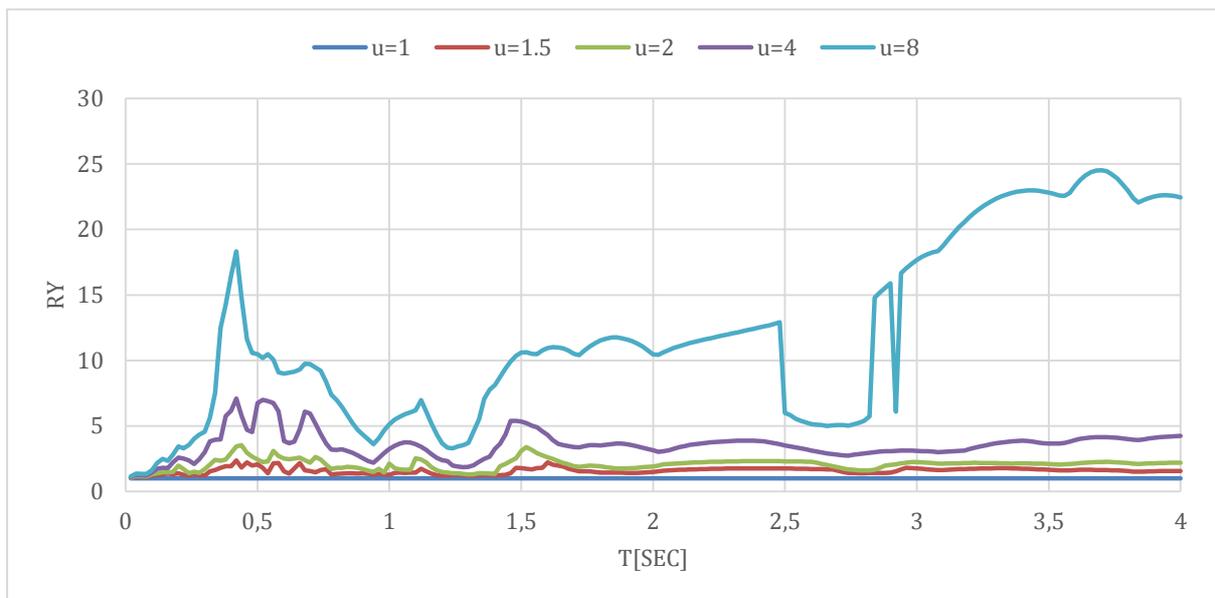


Figura 26: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AMAI-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

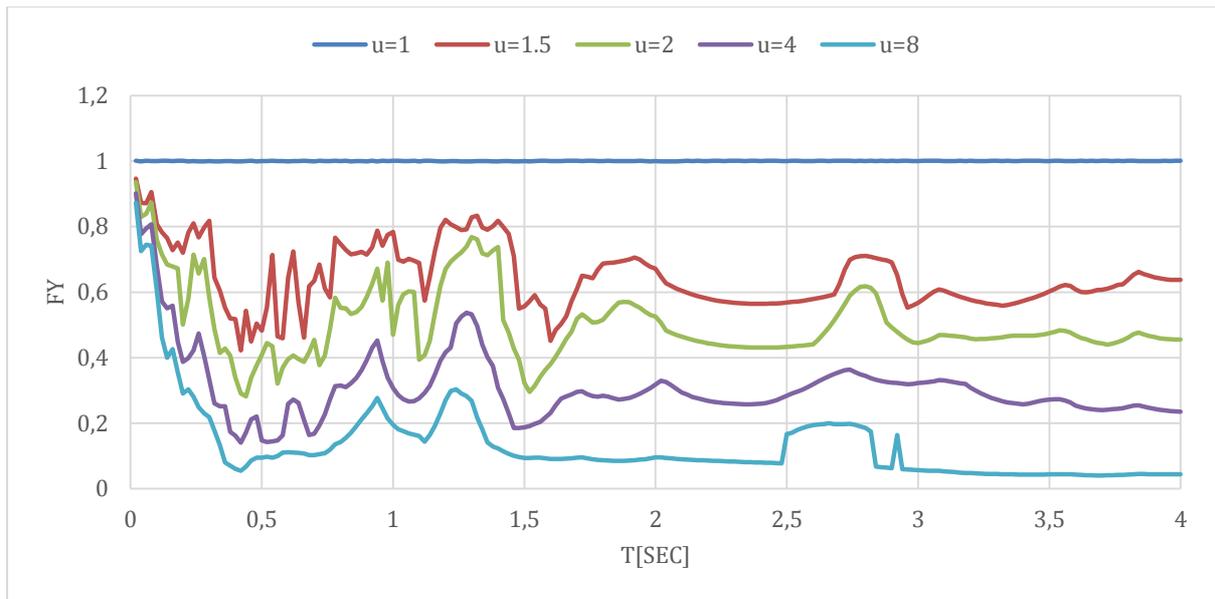


Figura 27: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AMA1-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

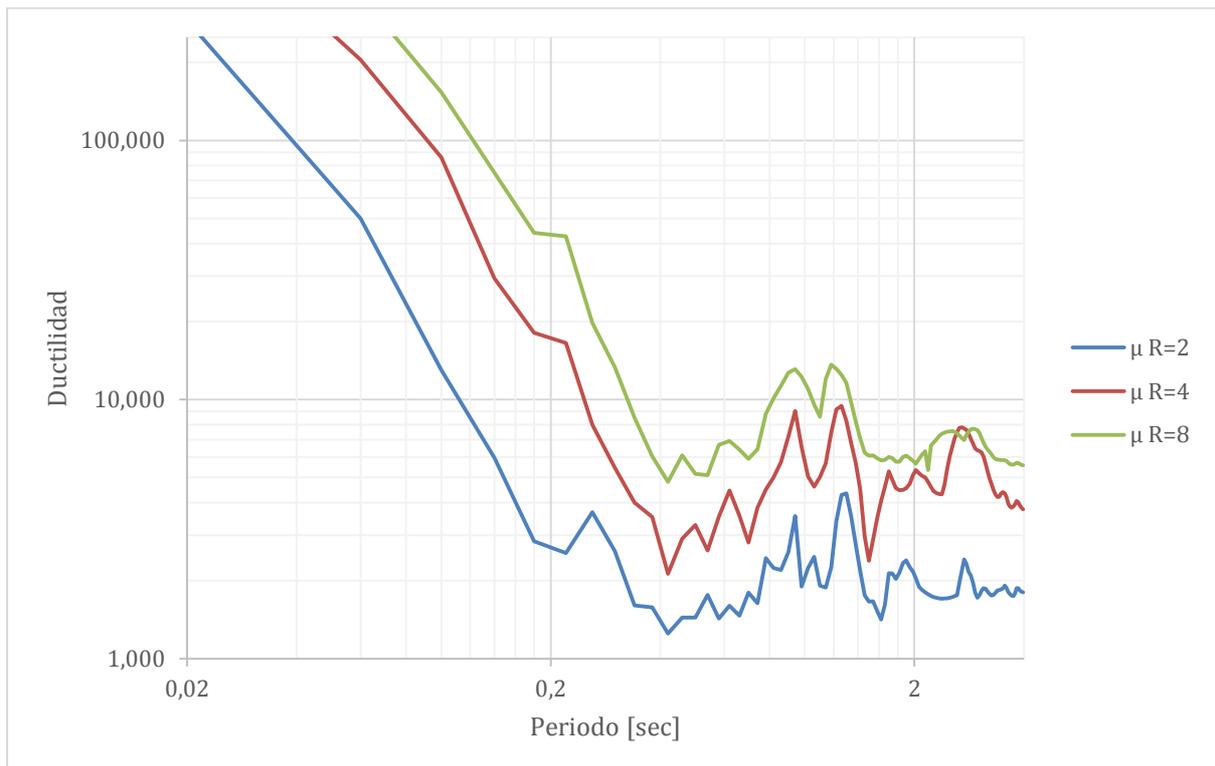


Figura 28: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AMA1-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

APED-2H57

Componente Este-Oeste

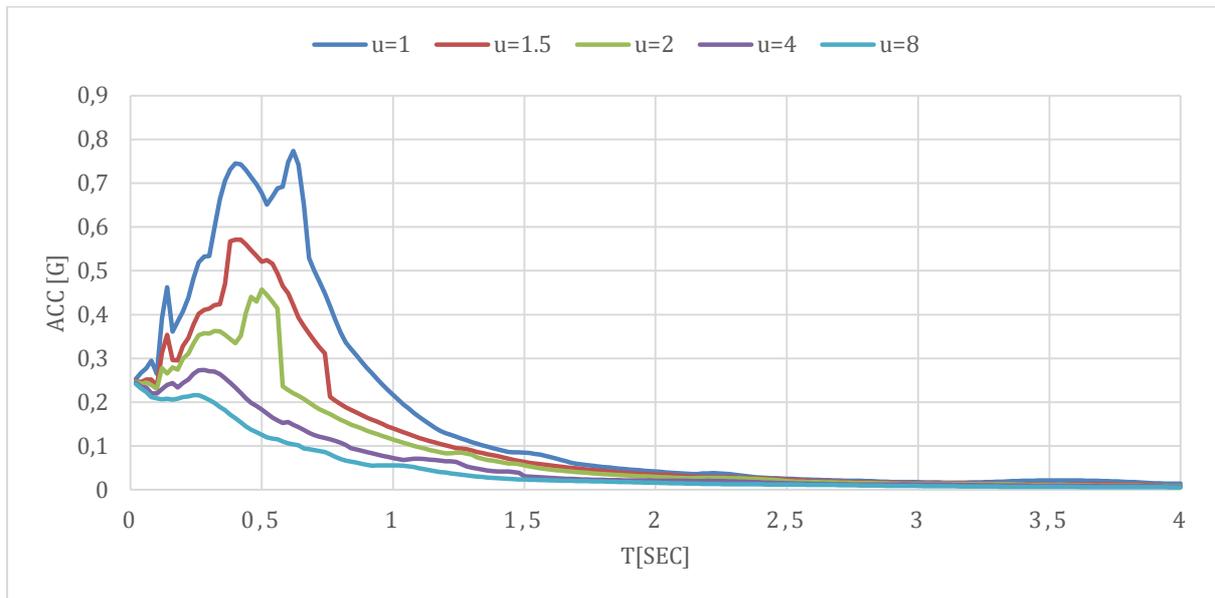


Figura 29: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$

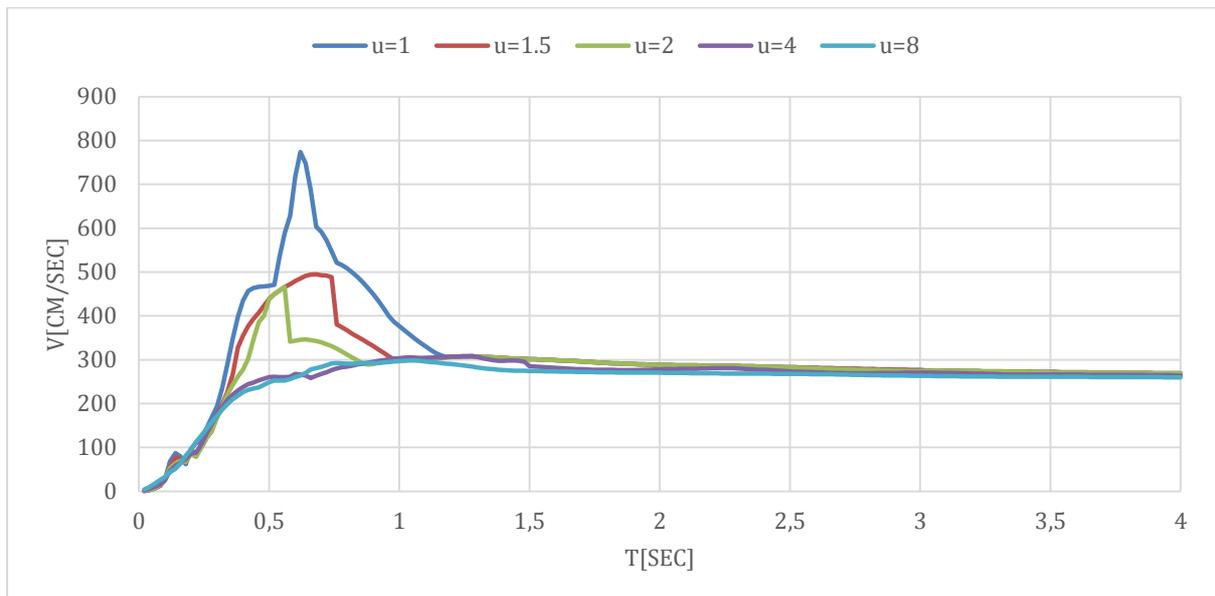


Figura 30: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro APED-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

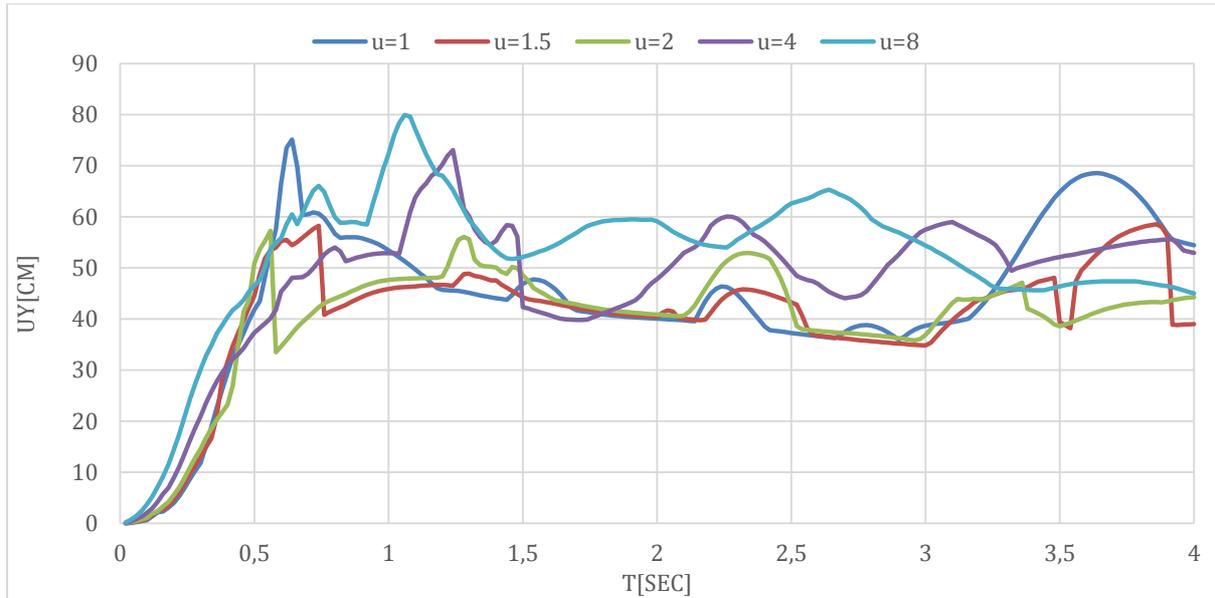


Figura 31: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

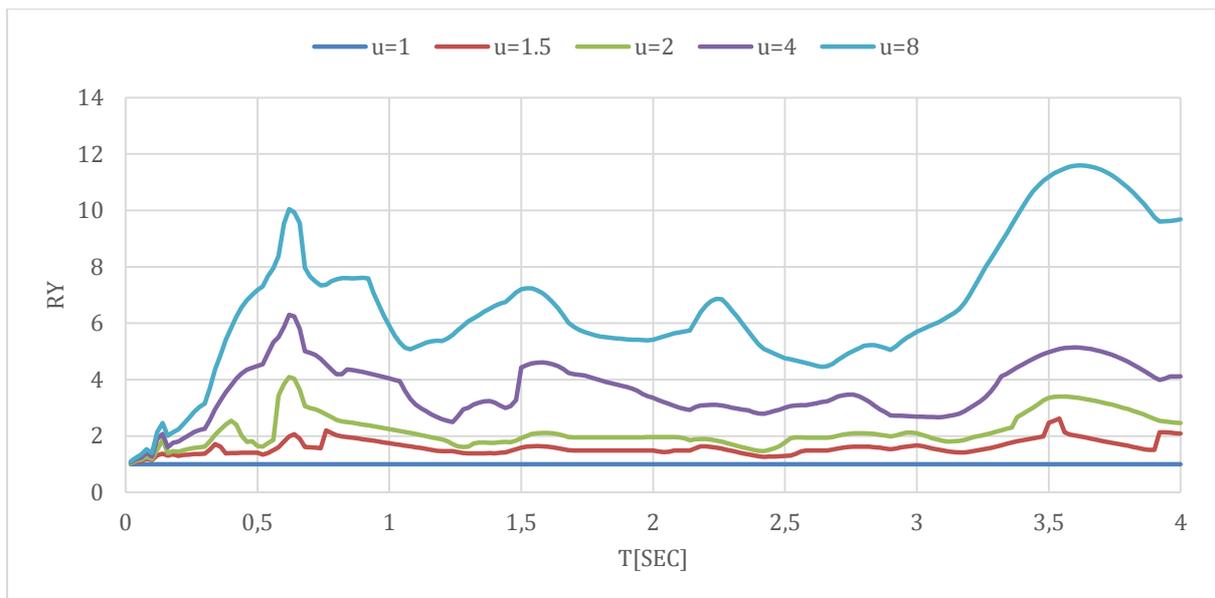


Figura 32: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

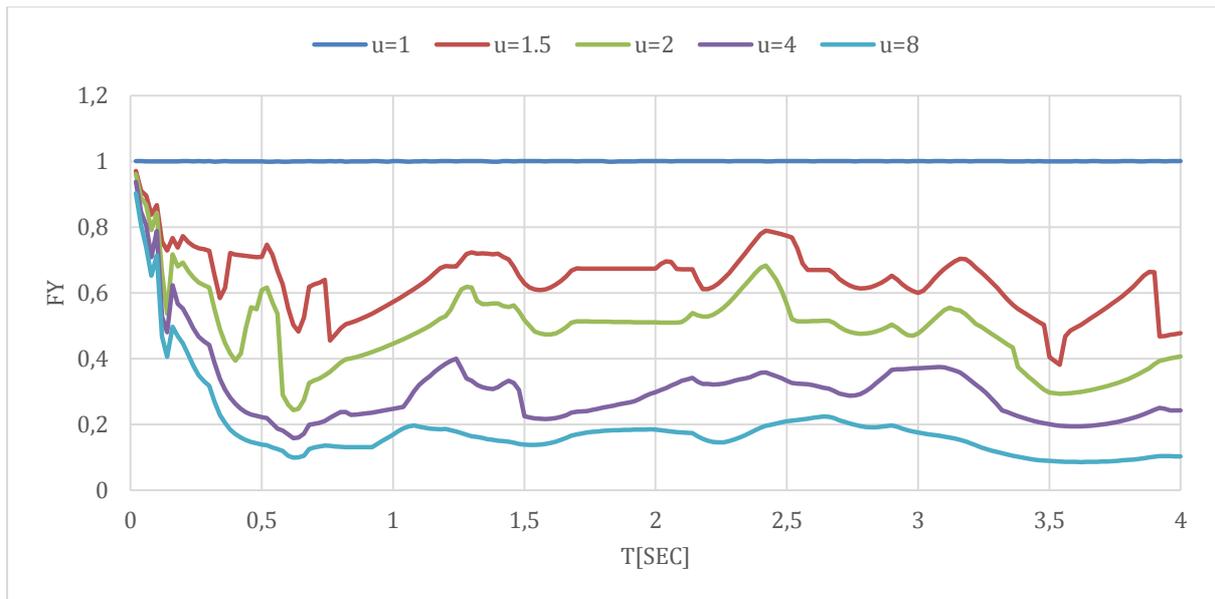


Figura 33: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

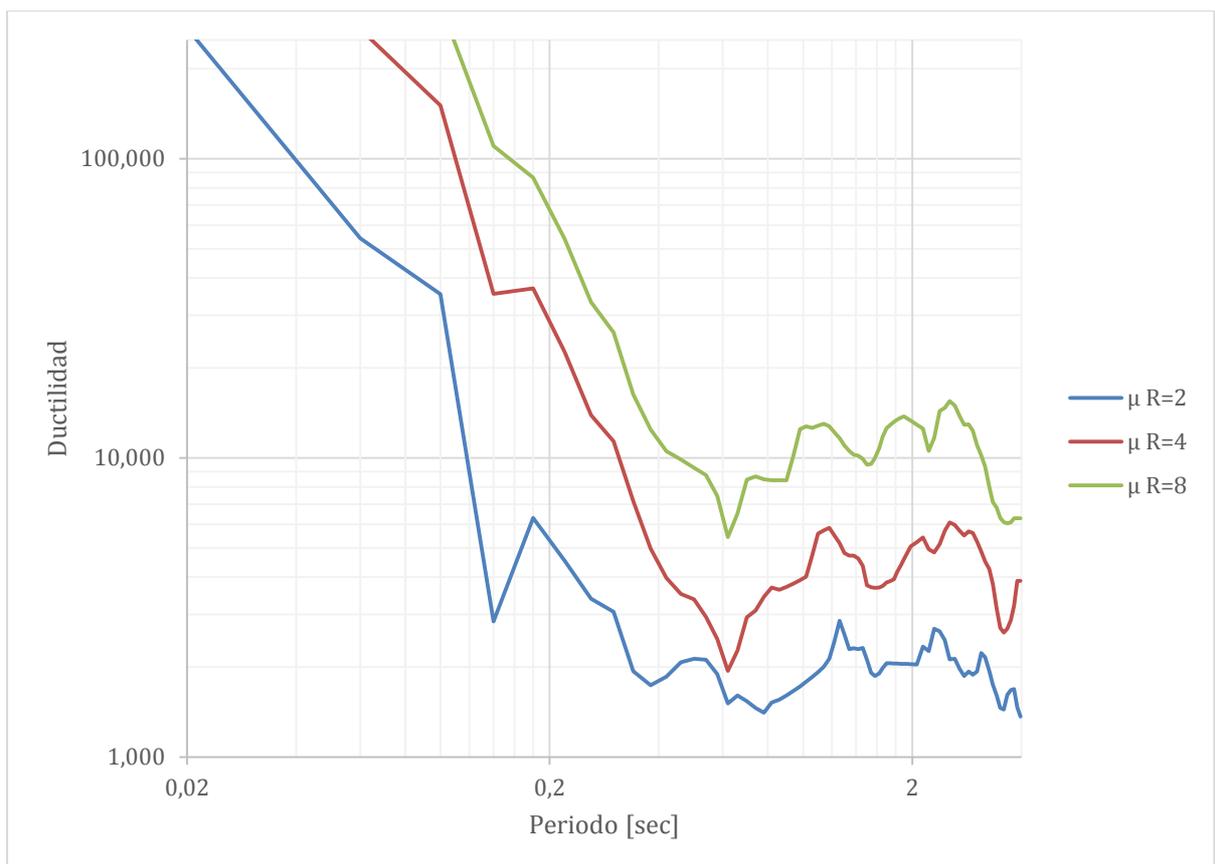


Figura 34: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro APED-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

Componente Norte-Sur

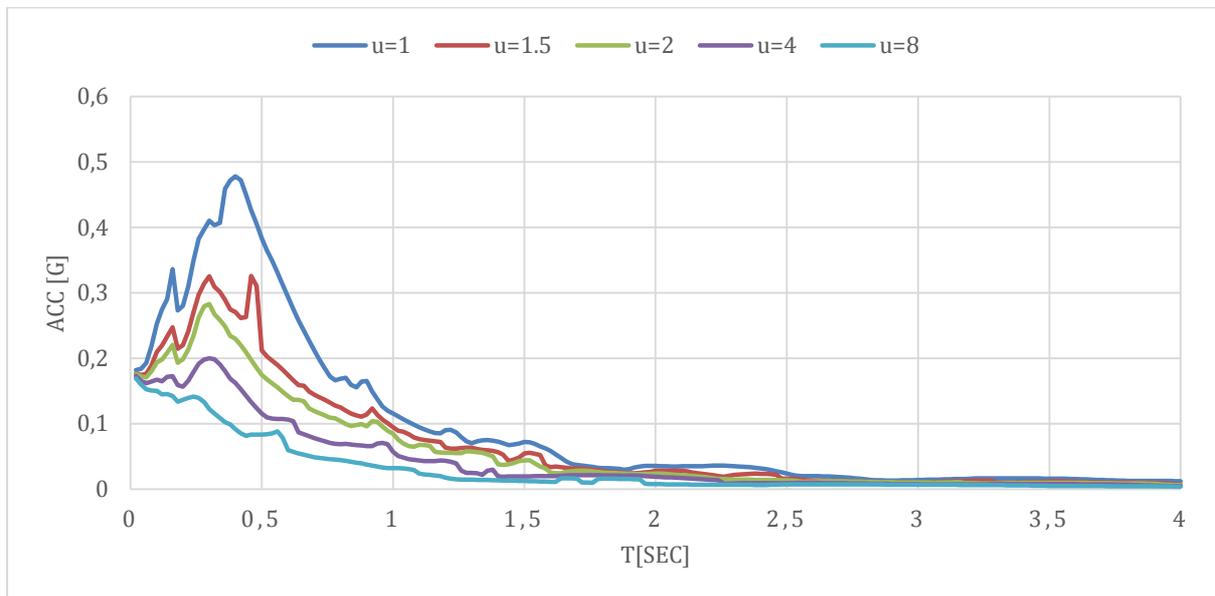


Figura 35: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$

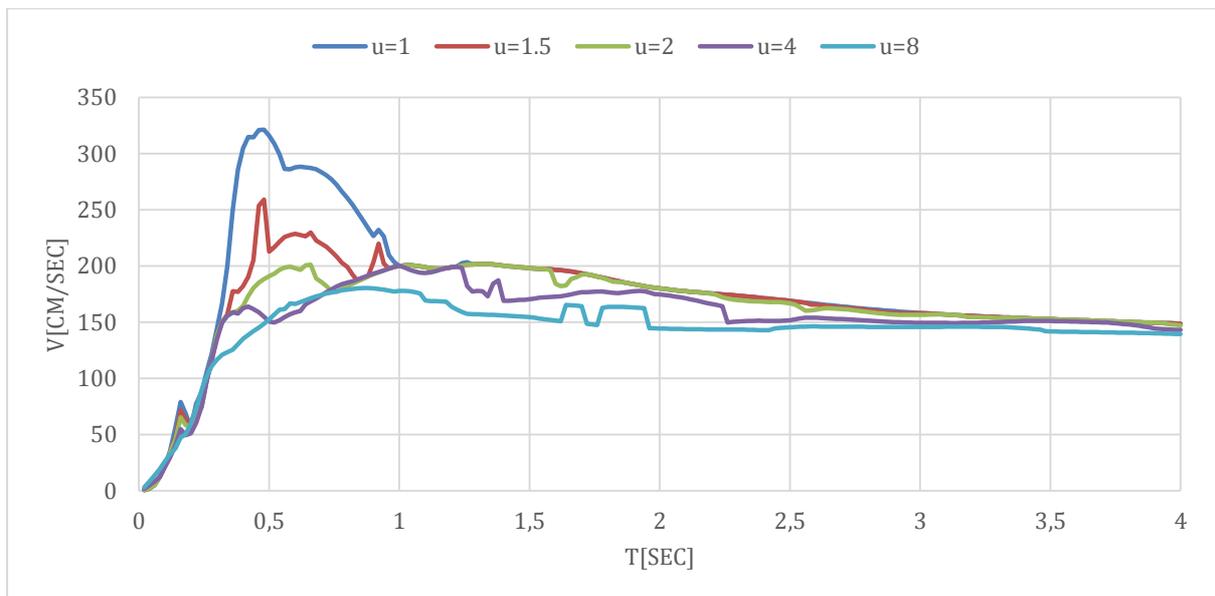


Figura 36: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro APED-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

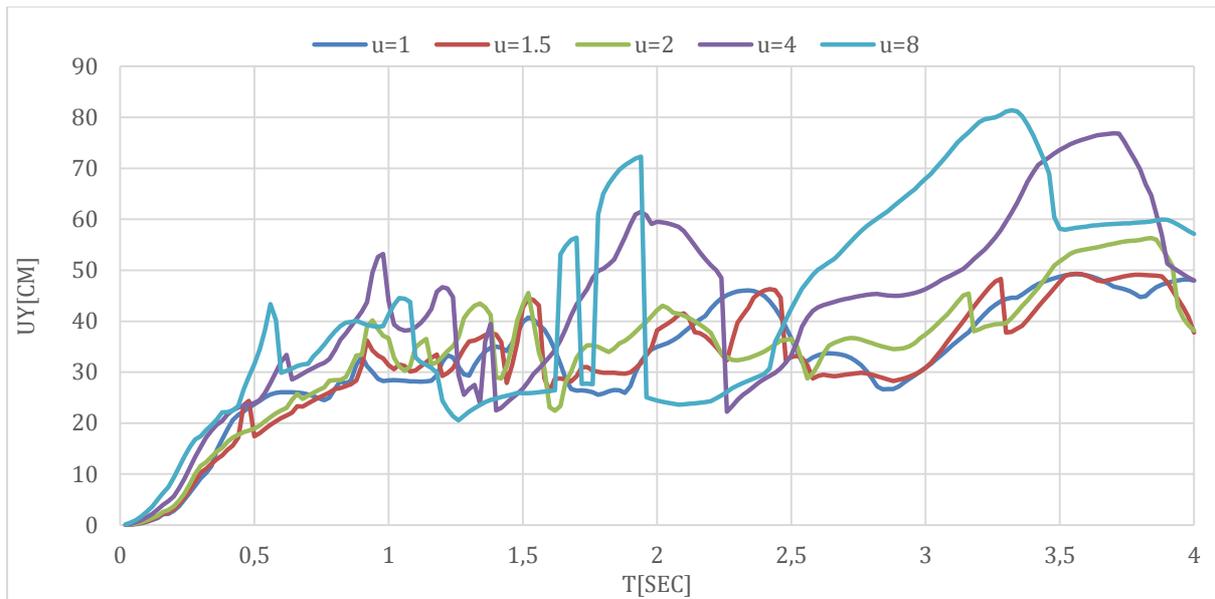


Figura 37: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

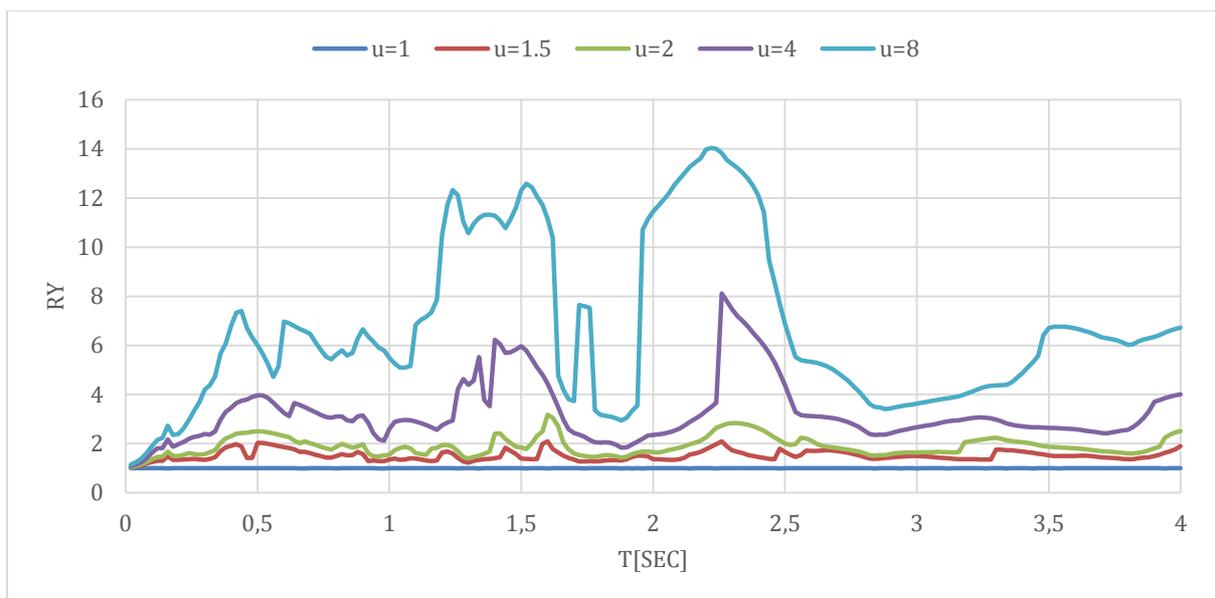


Figura 38: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

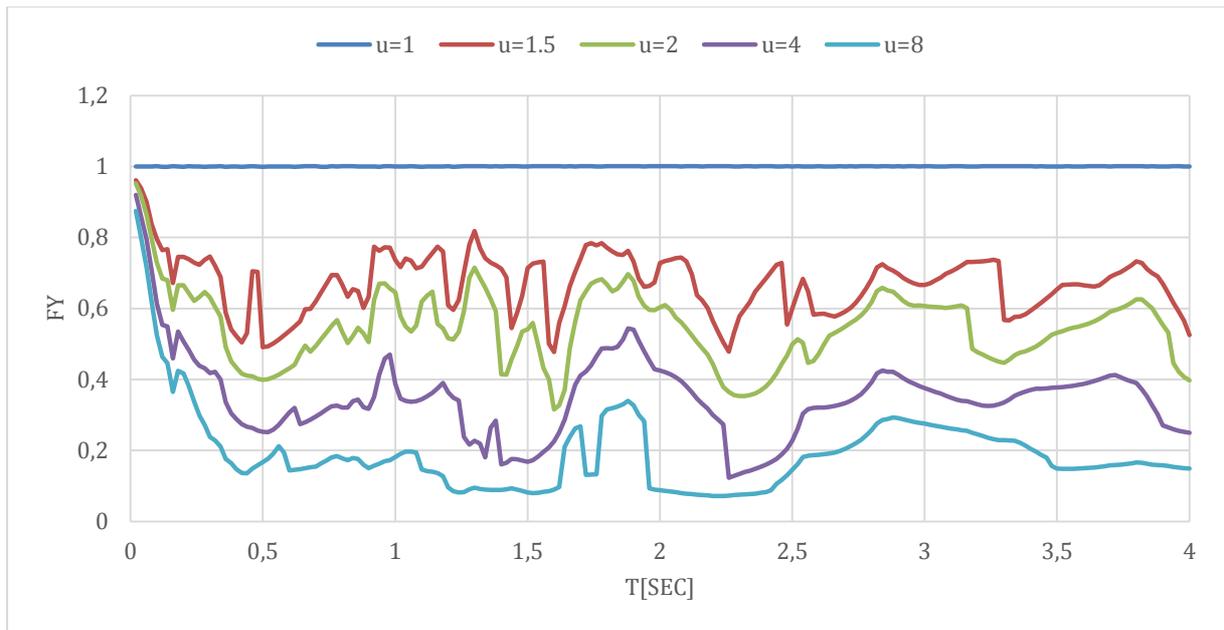


Figura 39: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de APED-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

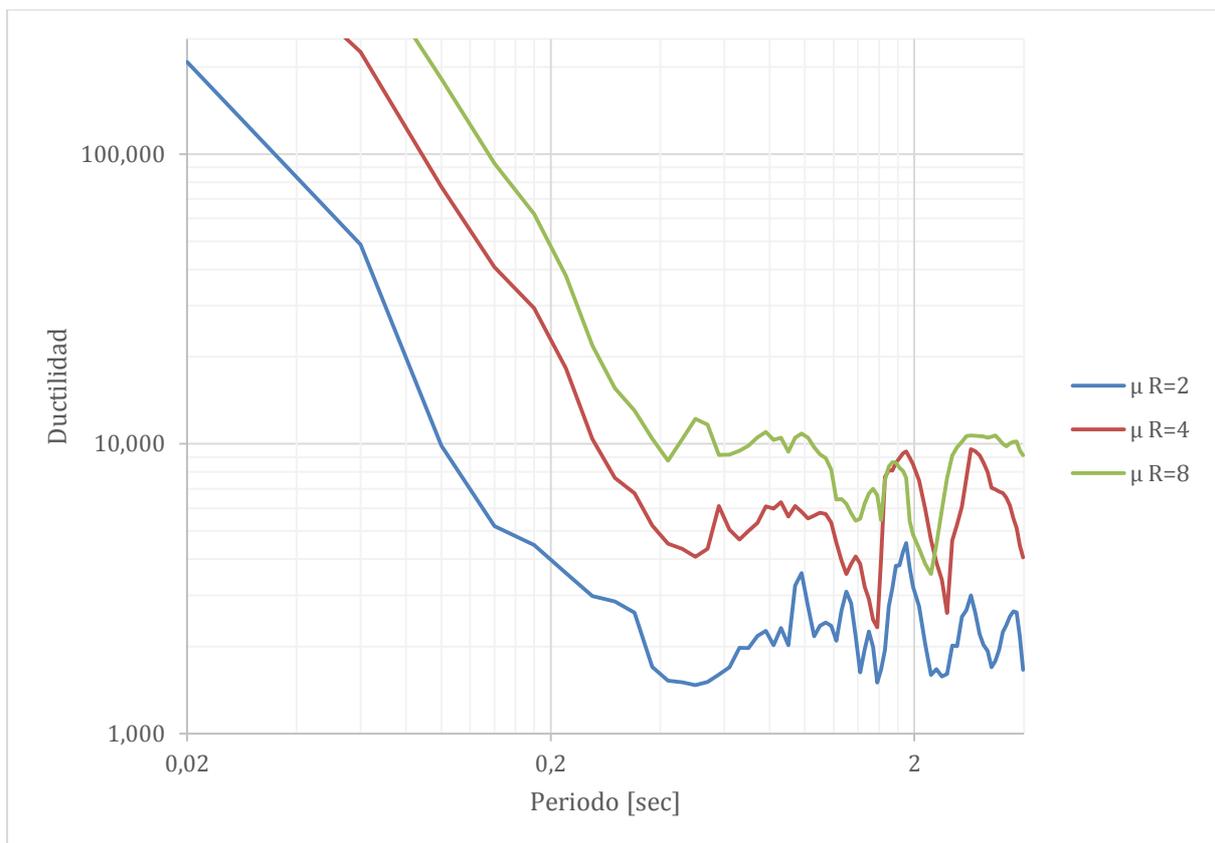


Figura 40: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro APED-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

AV21-2H57

Componente Este-Oeste

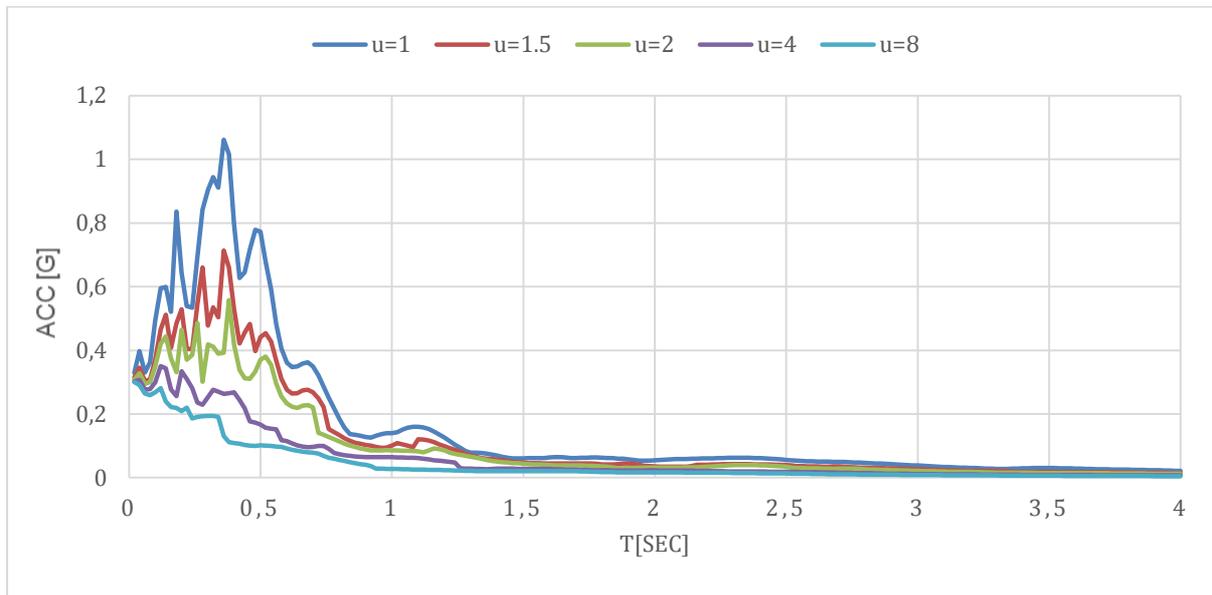


Figura 41: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$

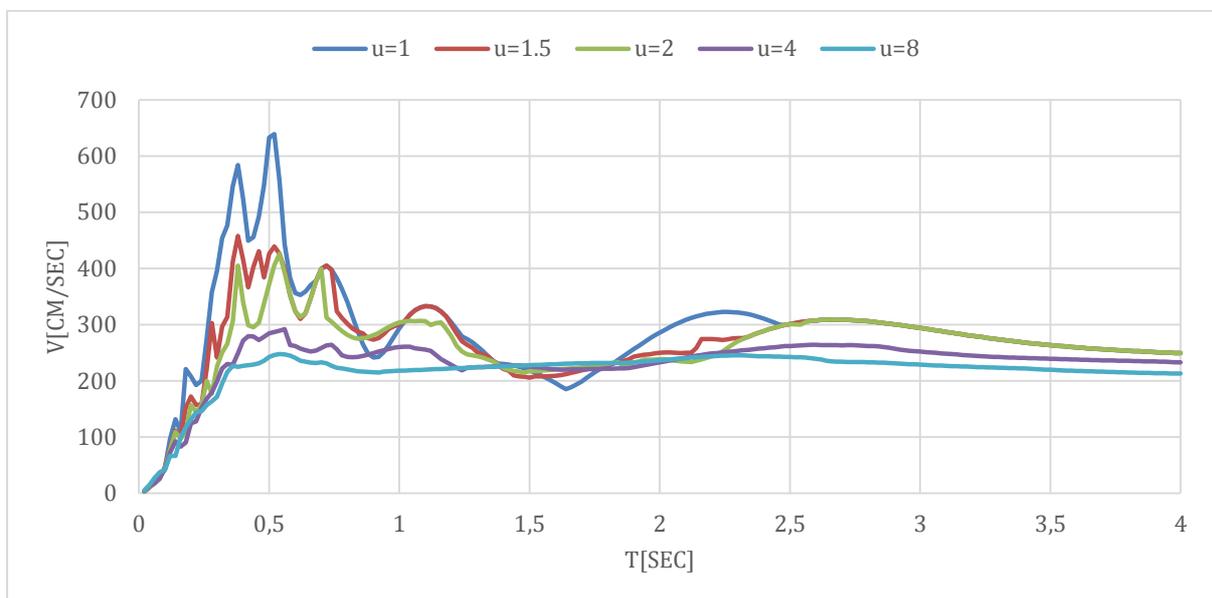


Figura 42: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV21-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$

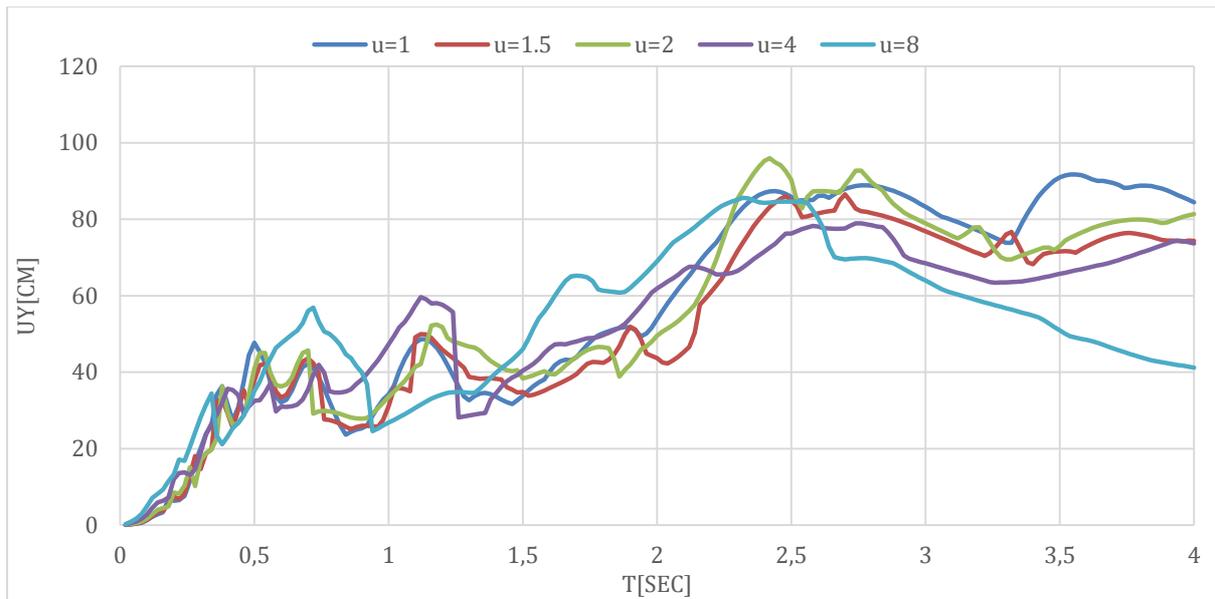


Figura 43: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

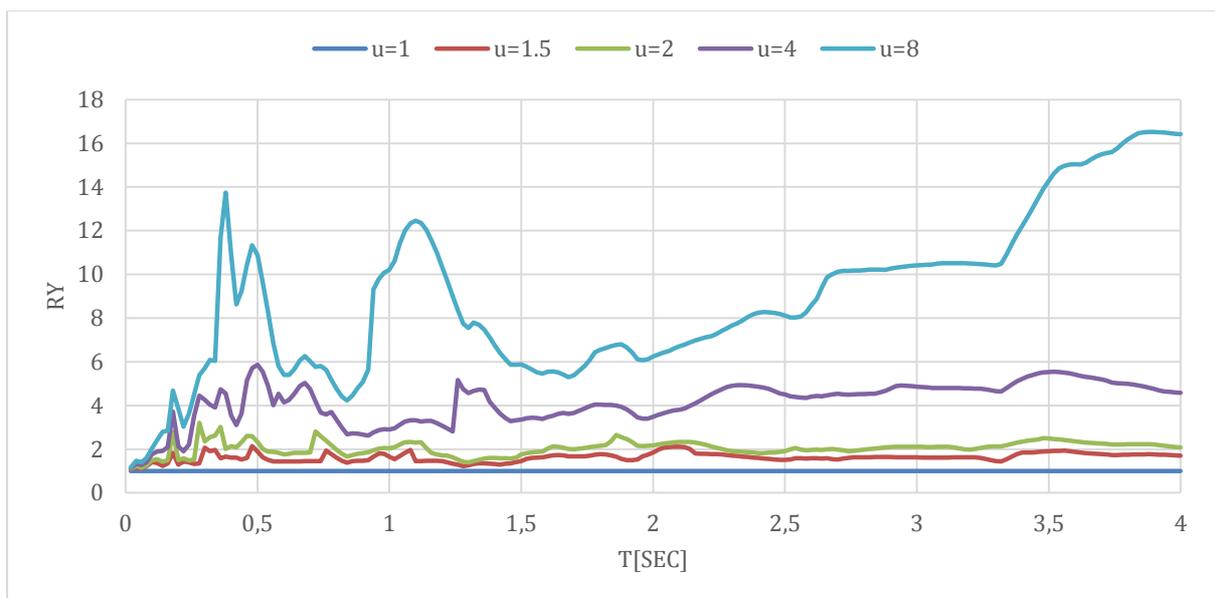


Figura 44: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

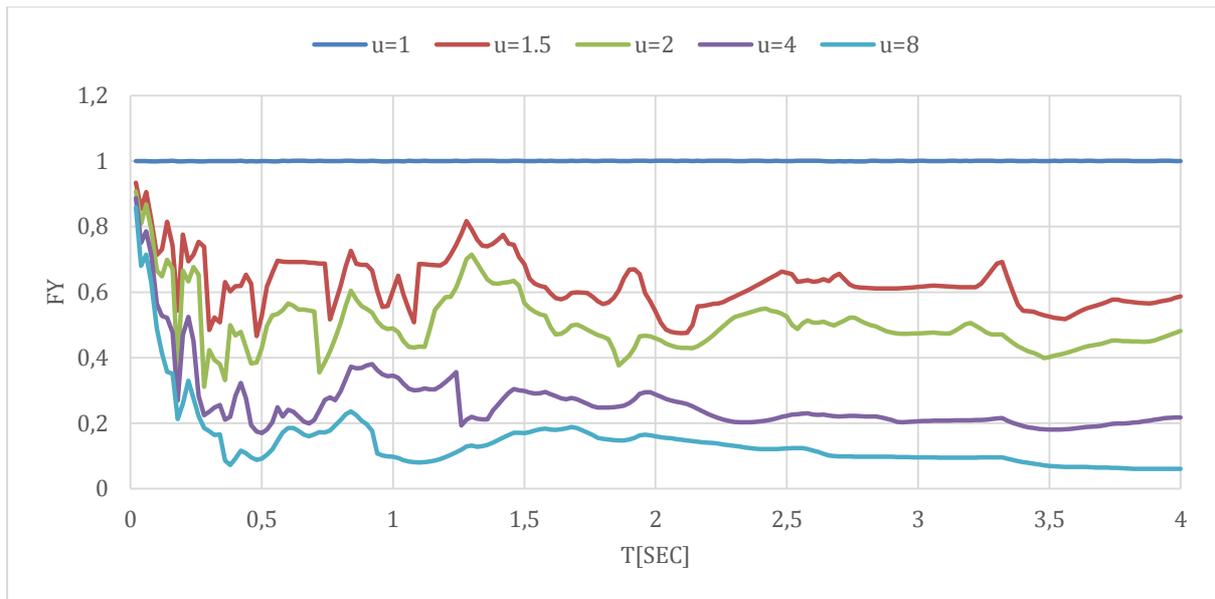


Figura 45: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

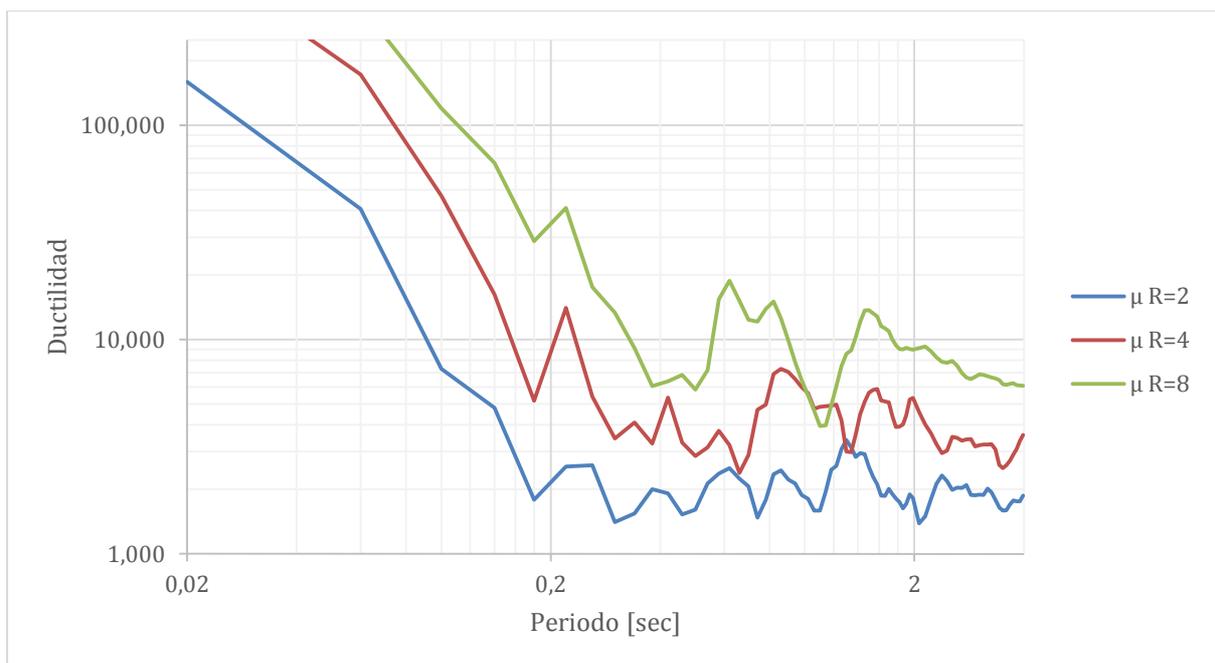


Figura 46: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV21-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

Componente Norte-Sur

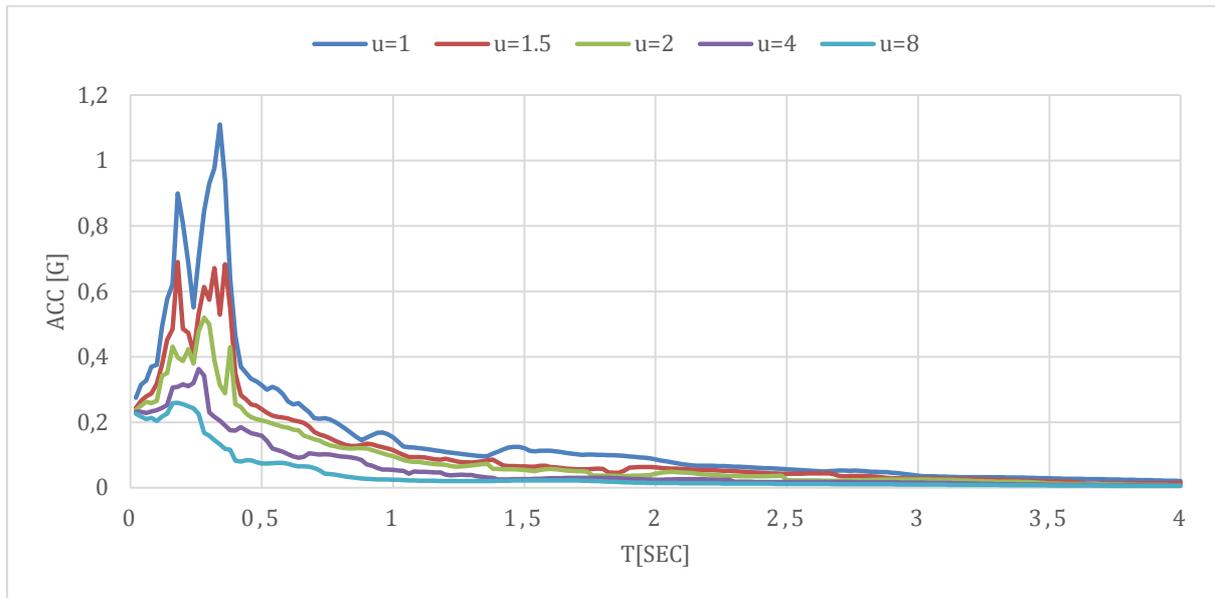


Figura 47: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$

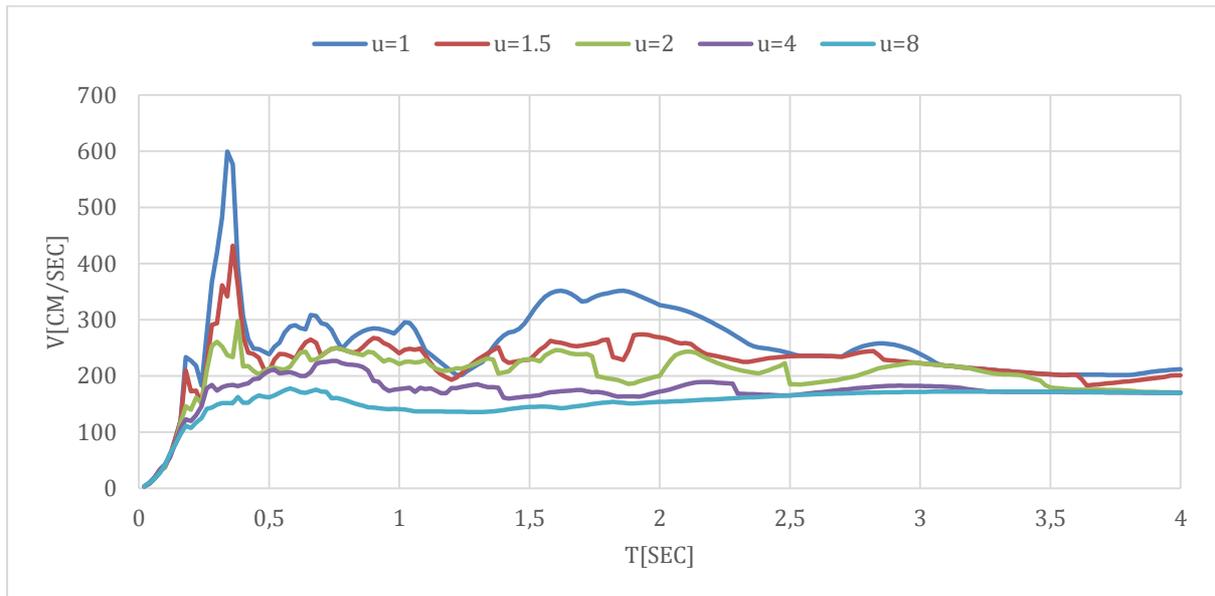


Figura 48: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV21-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

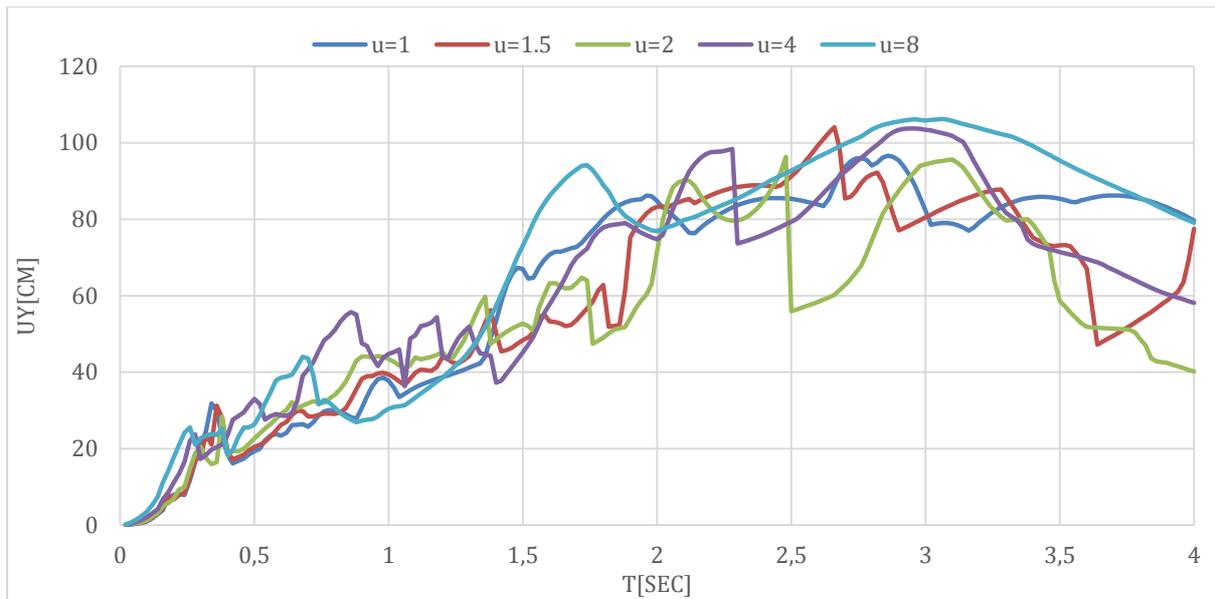


Figura 49: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

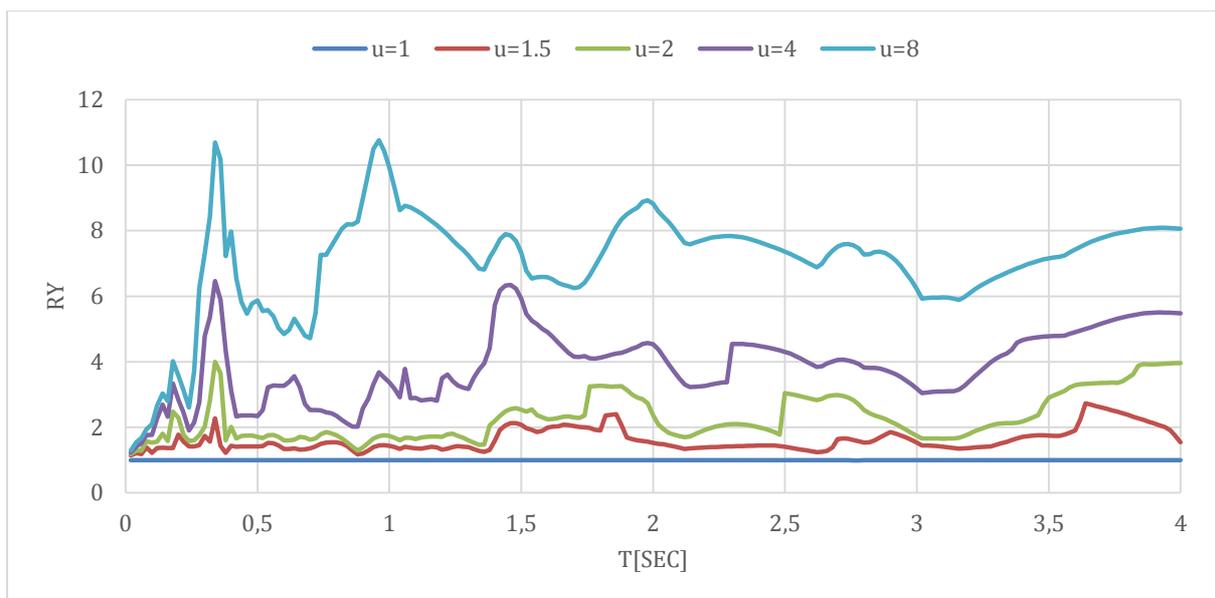


Figura 50: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

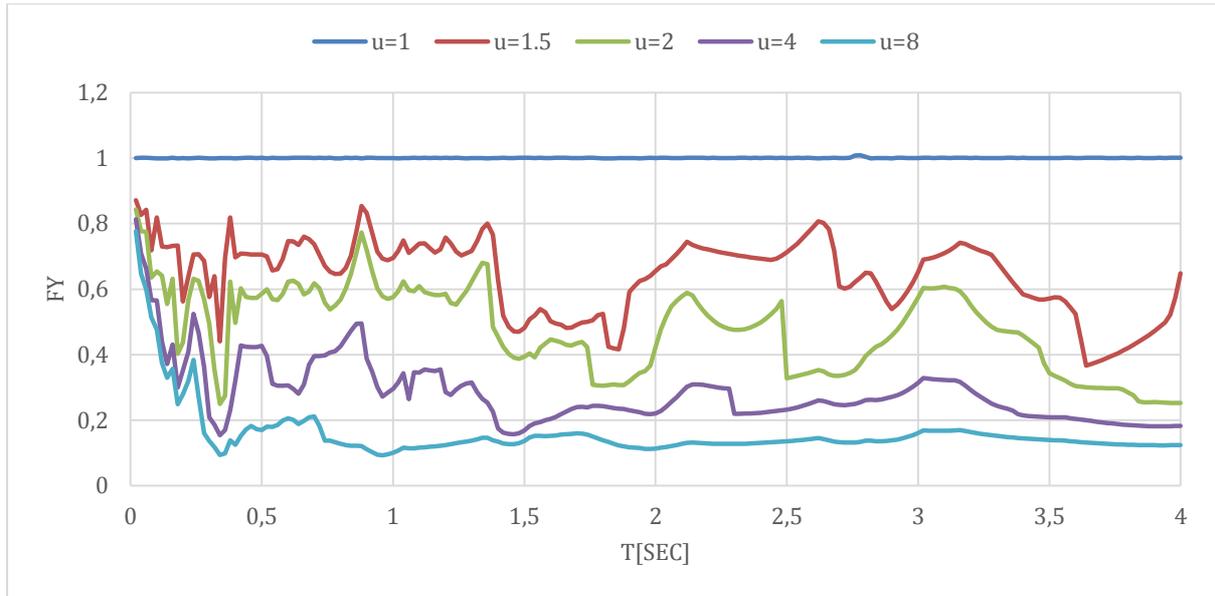


Figura 51: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV21-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

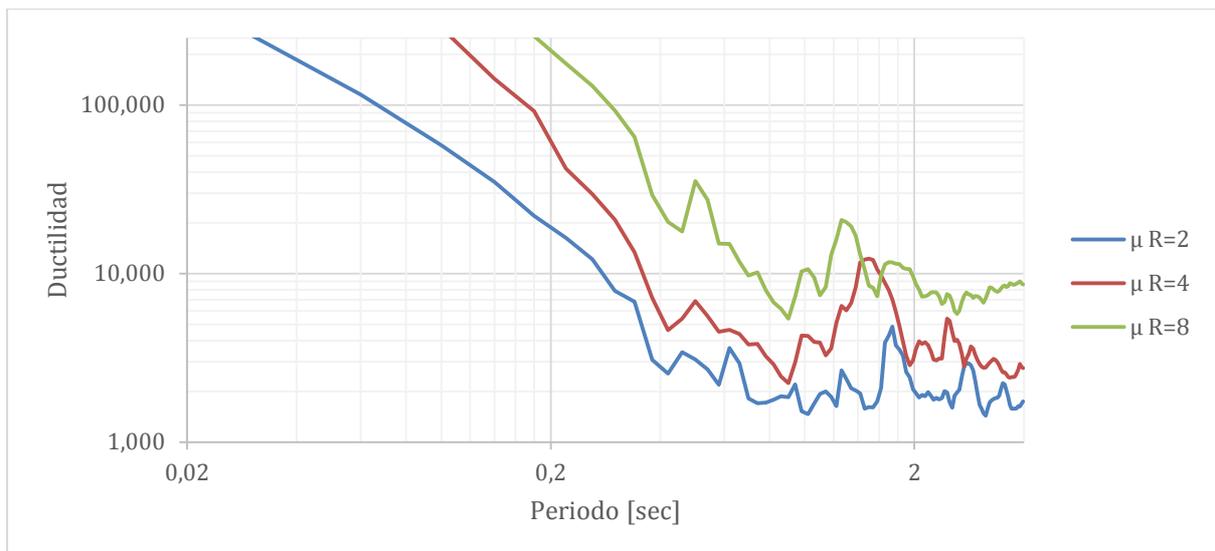


Figura 52: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV21-2H57 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$

AV18-2H57

Componente Este-Oeste

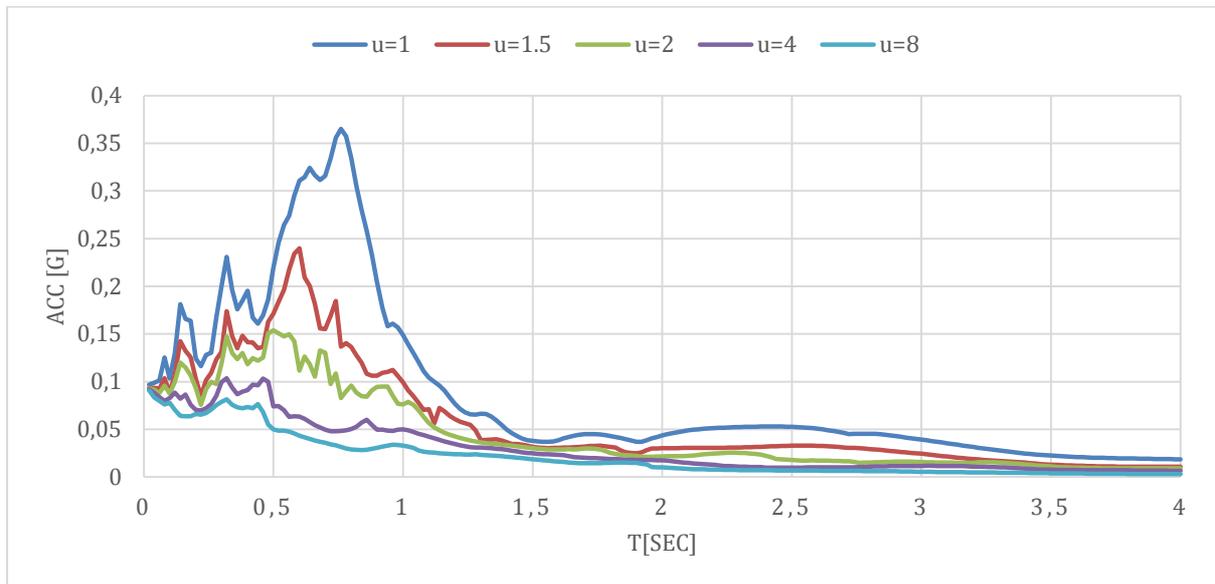


Figura 53: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV18-2H57 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

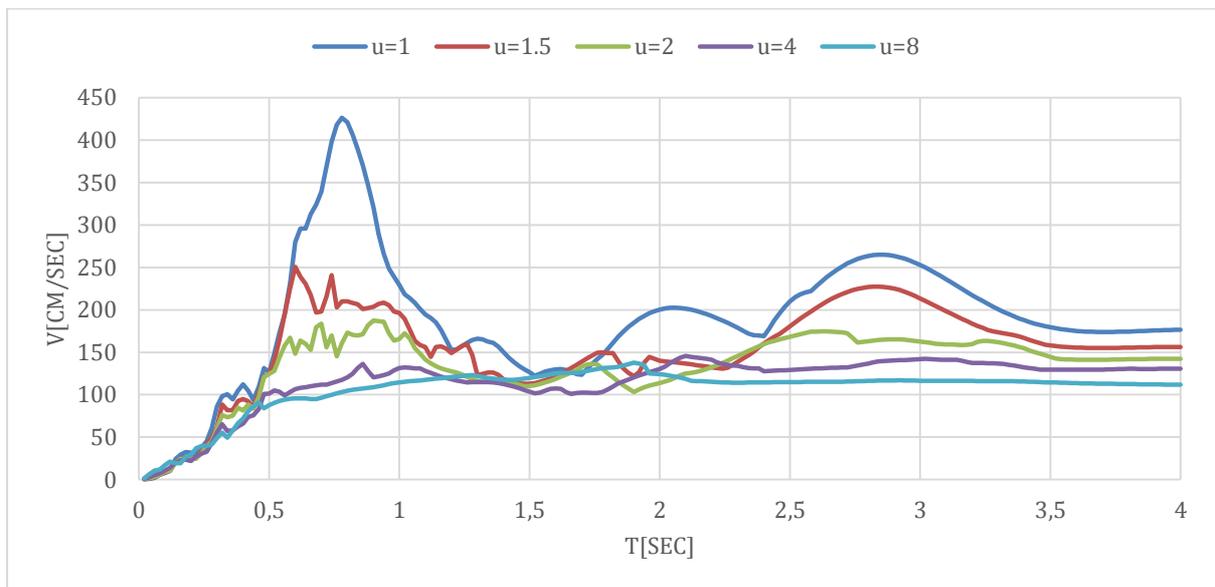


Figura 54: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV18-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

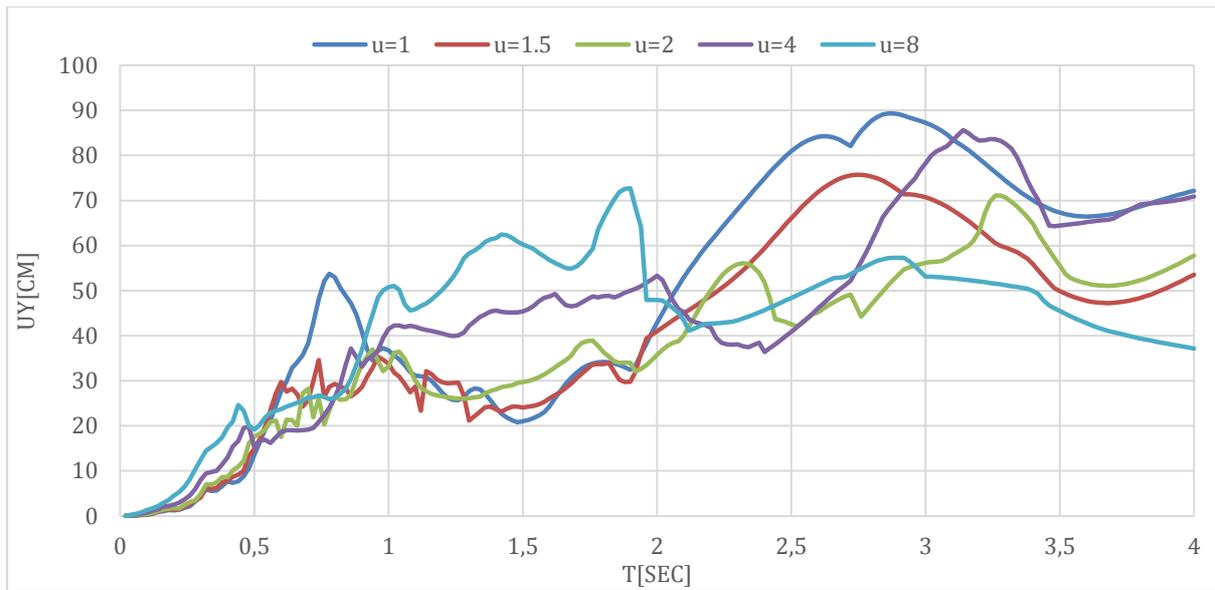


Figura 55: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

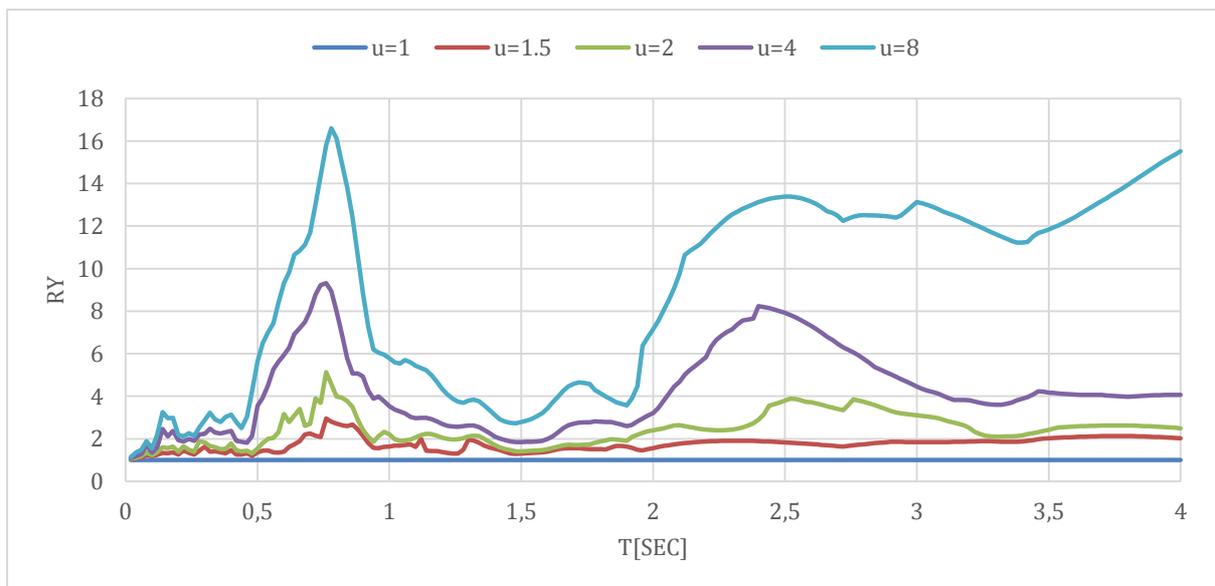


Figura 56: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

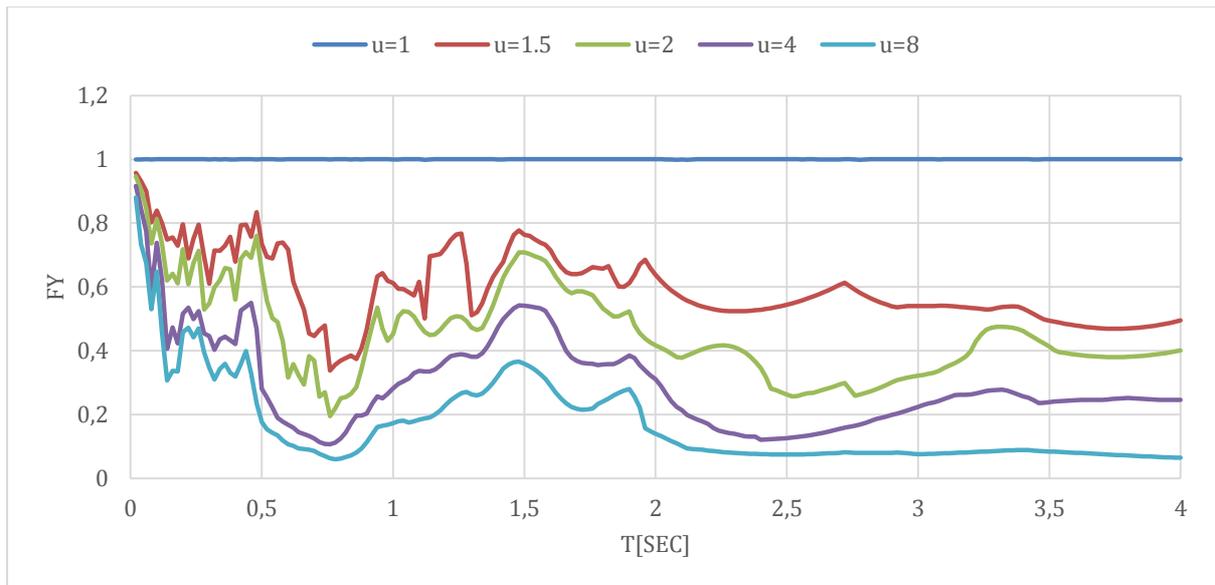


Figura 57: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

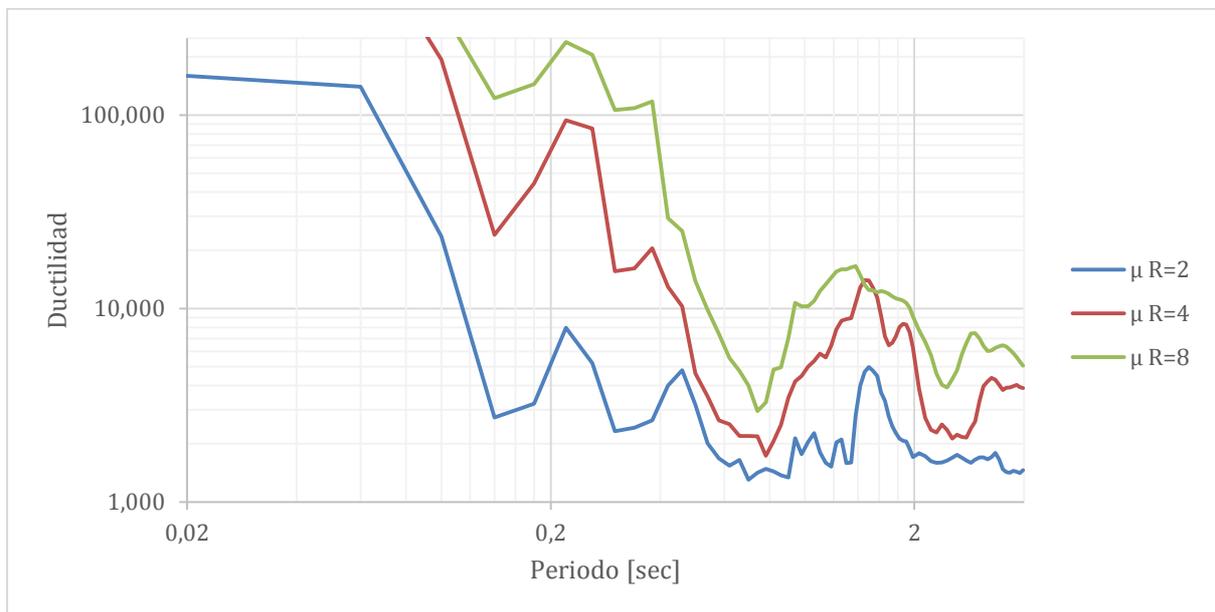


Figura 58: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV18-2H47 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

Componente Norte-Sur

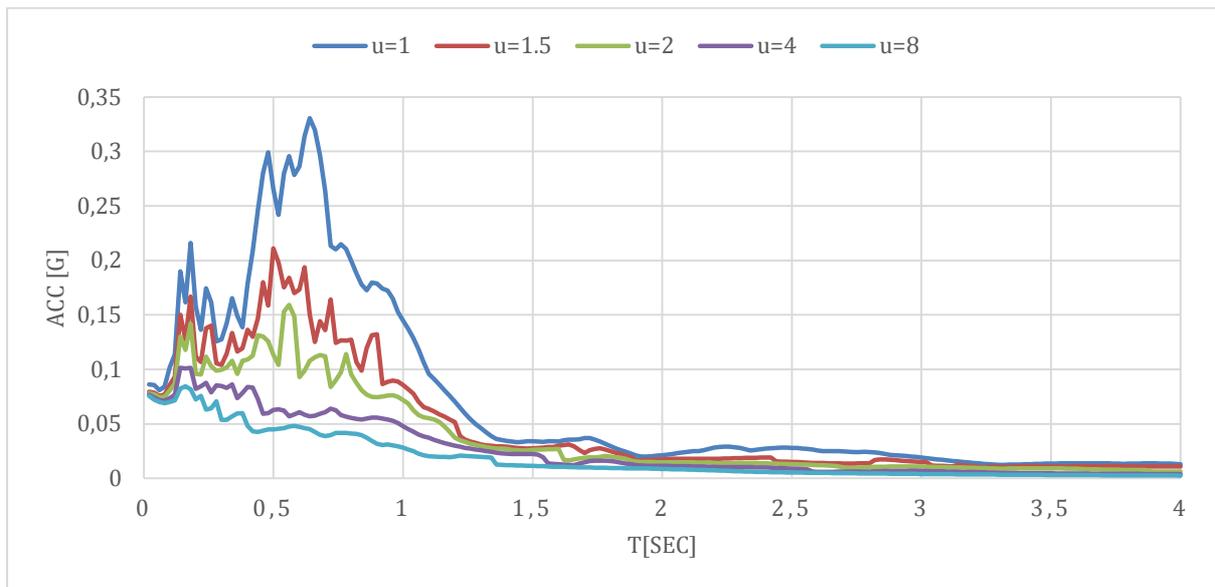


Figura 59: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

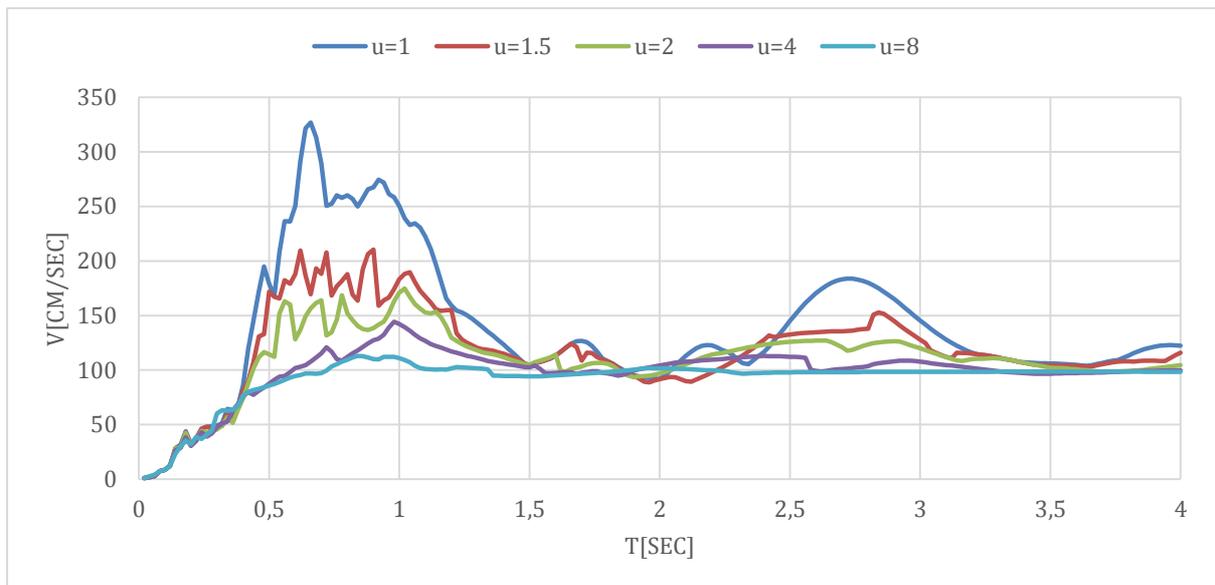


Figura 60: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV18-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

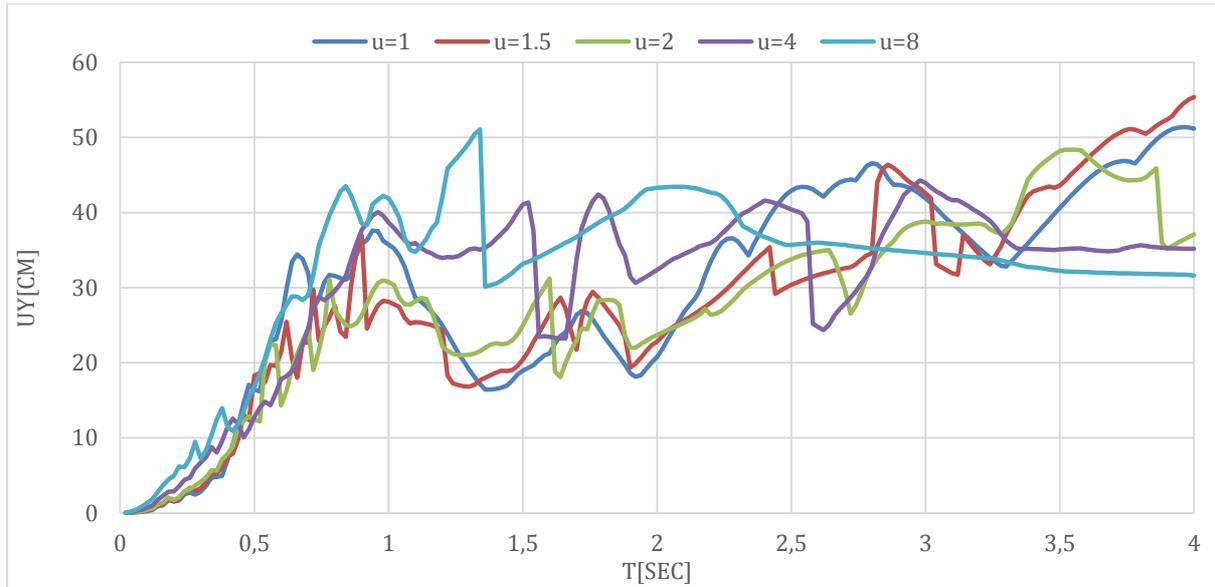


Figura 61: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

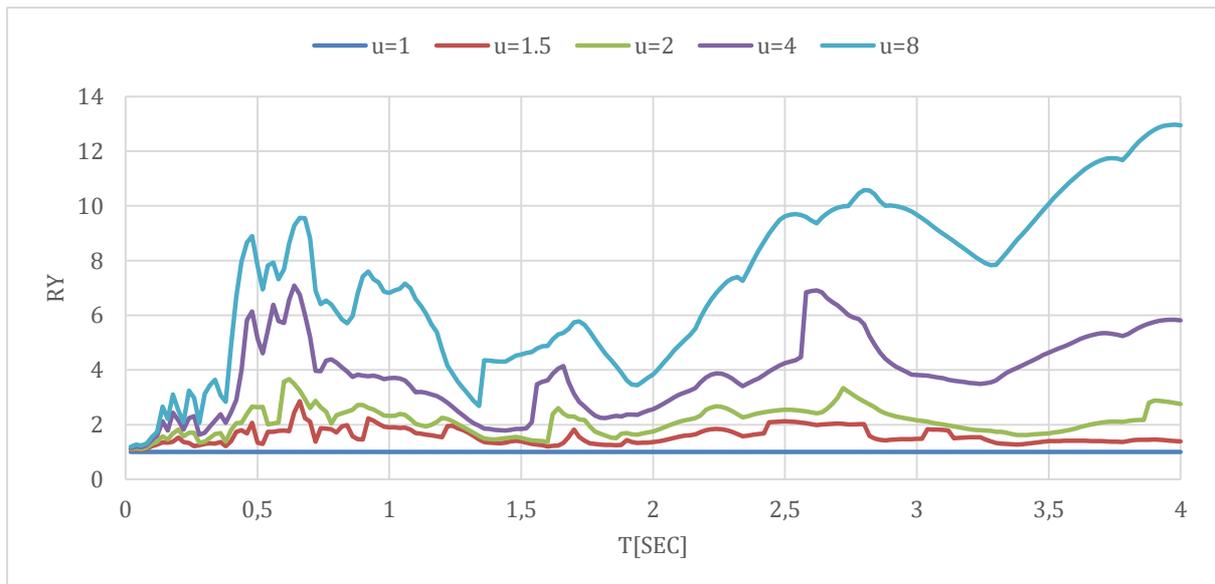


Figura 62: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

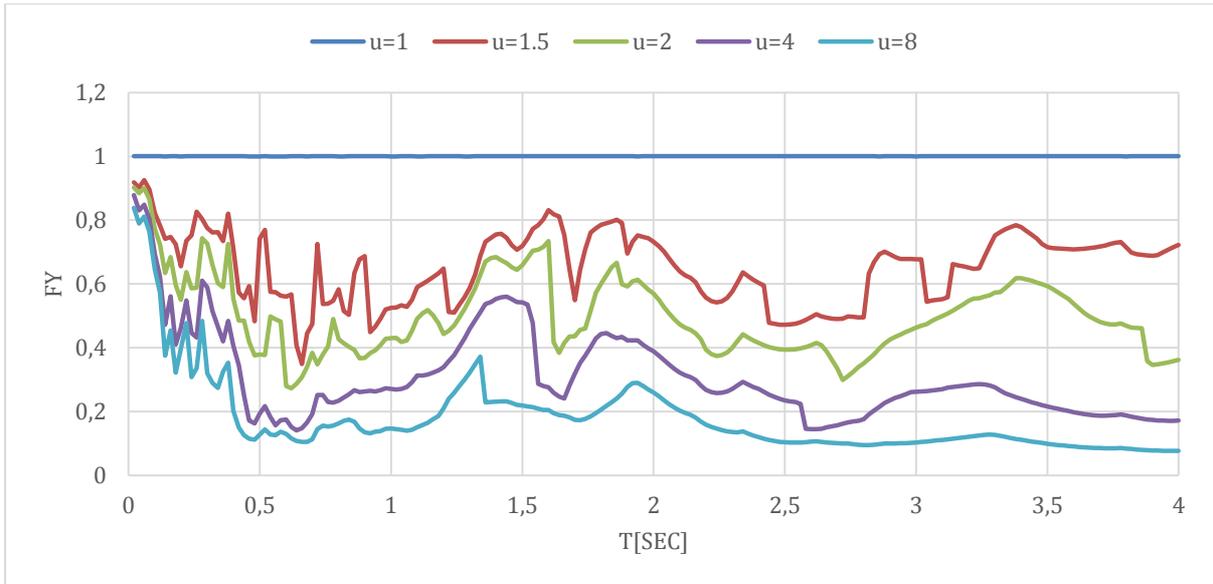


Figura 63: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV18-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.

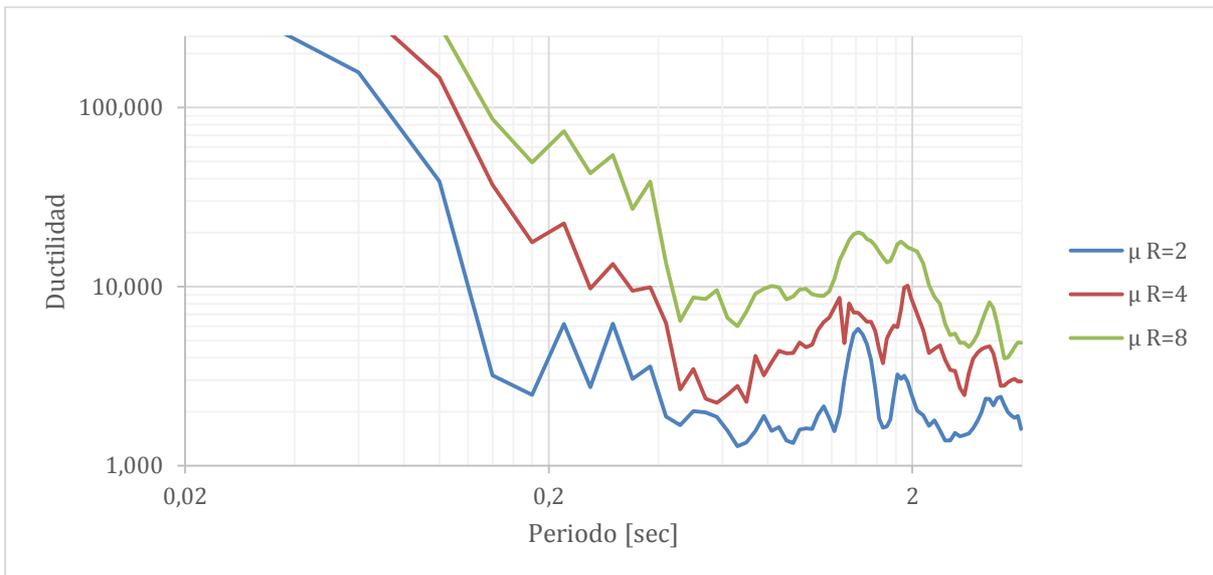


Figura 64: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV18-2H47 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\xi=5\%$.

AV18-16H46

Componente Este-Oeste

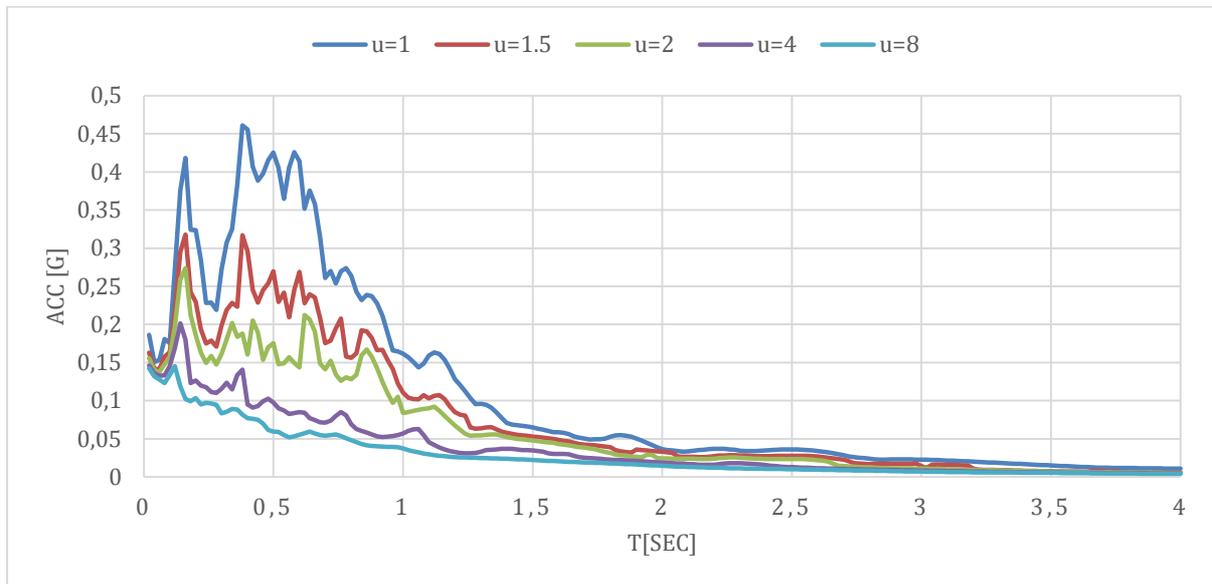


Figura 65: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

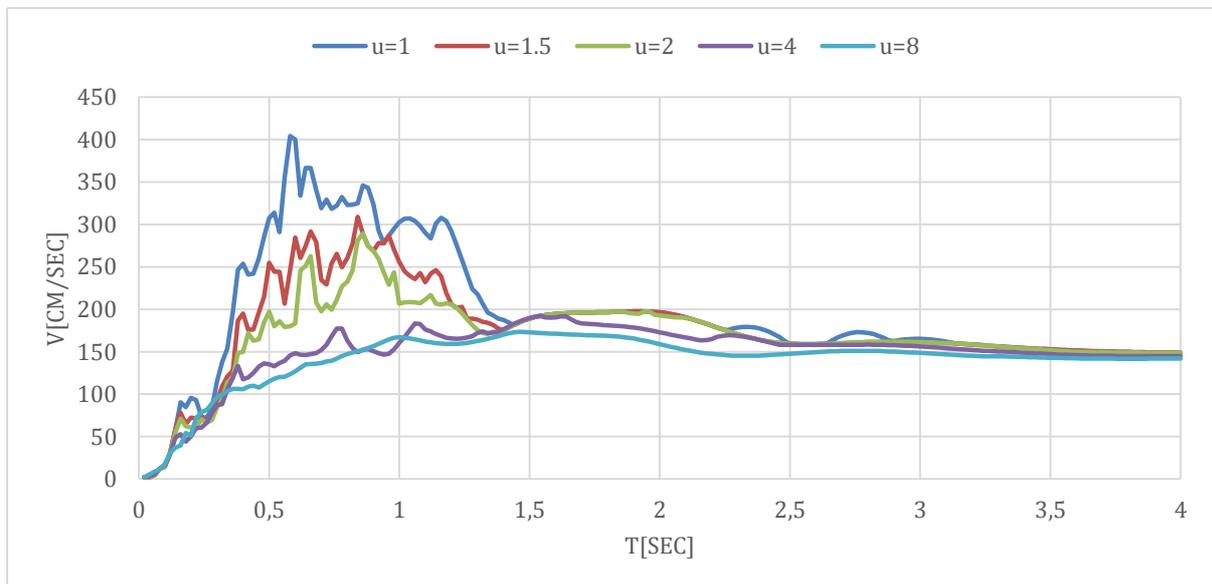


Figura 66: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV18-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

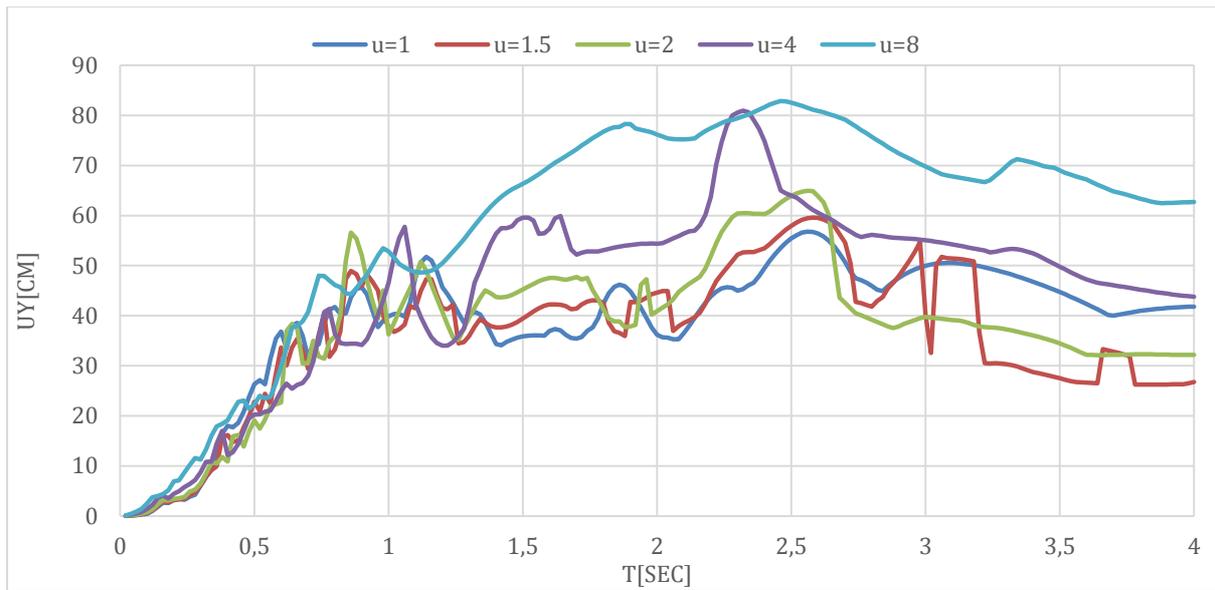


Figura 67: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

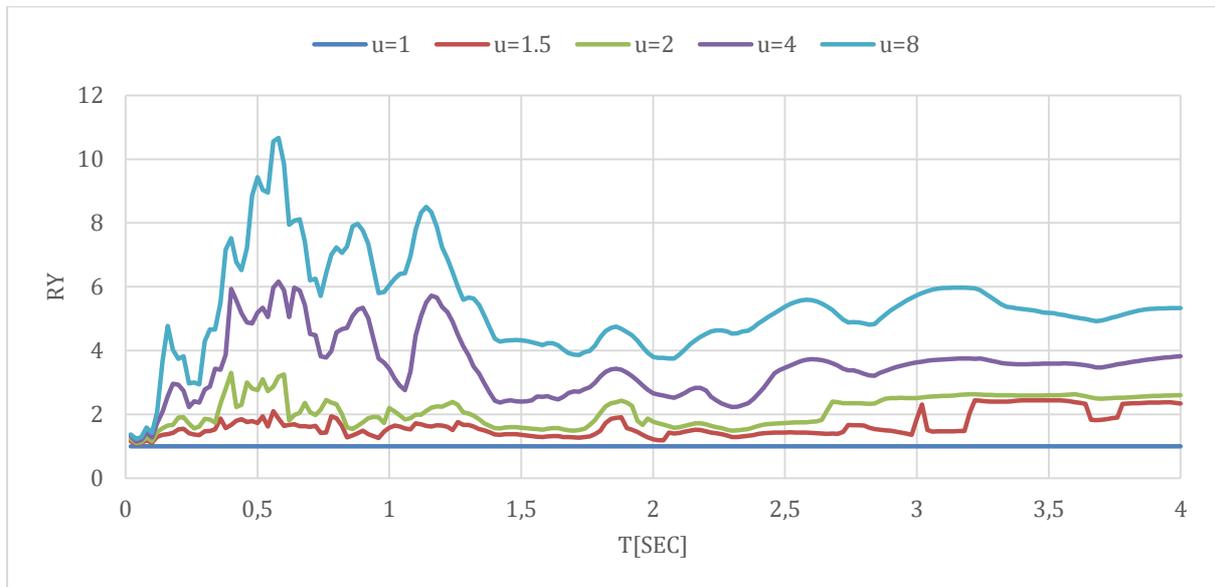


Figura 68: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

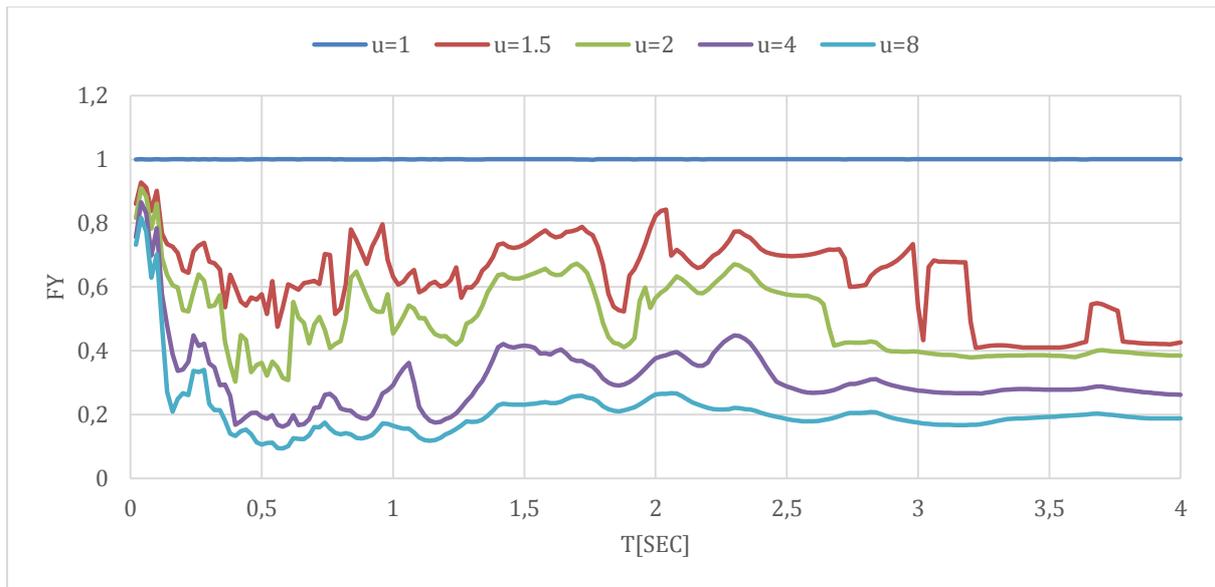


Figura 69: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

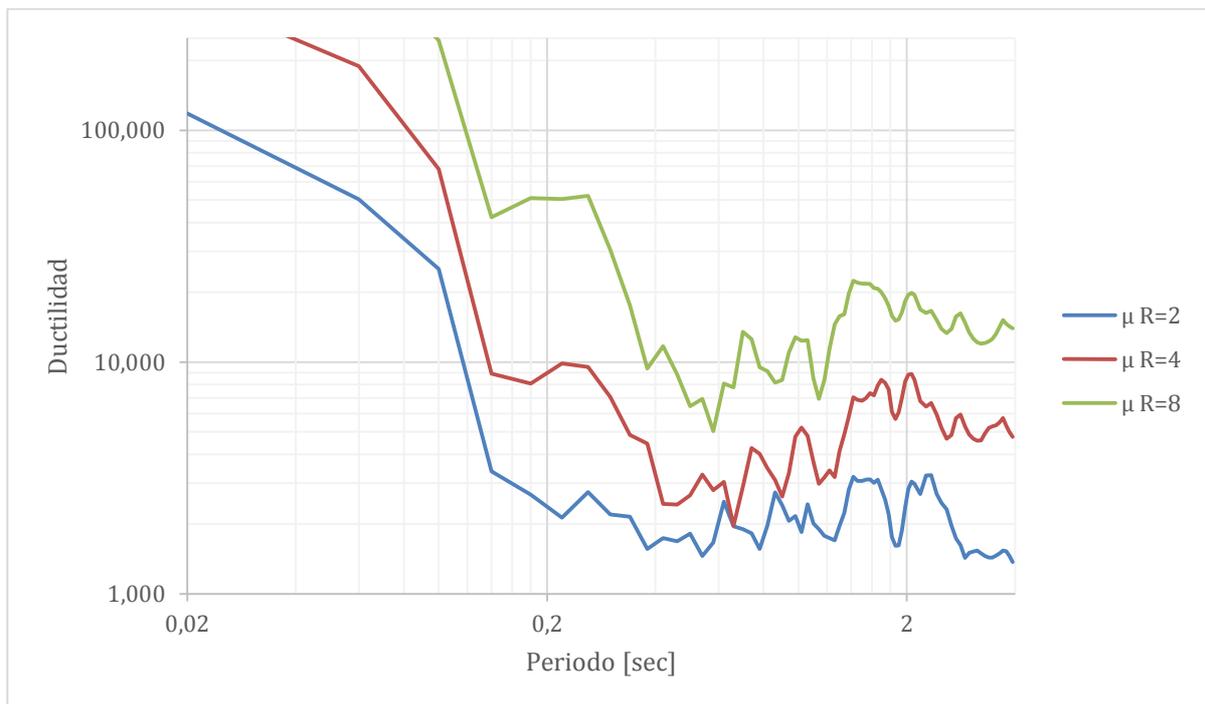


Figura 70: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV18-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

Componente Norte-Sur

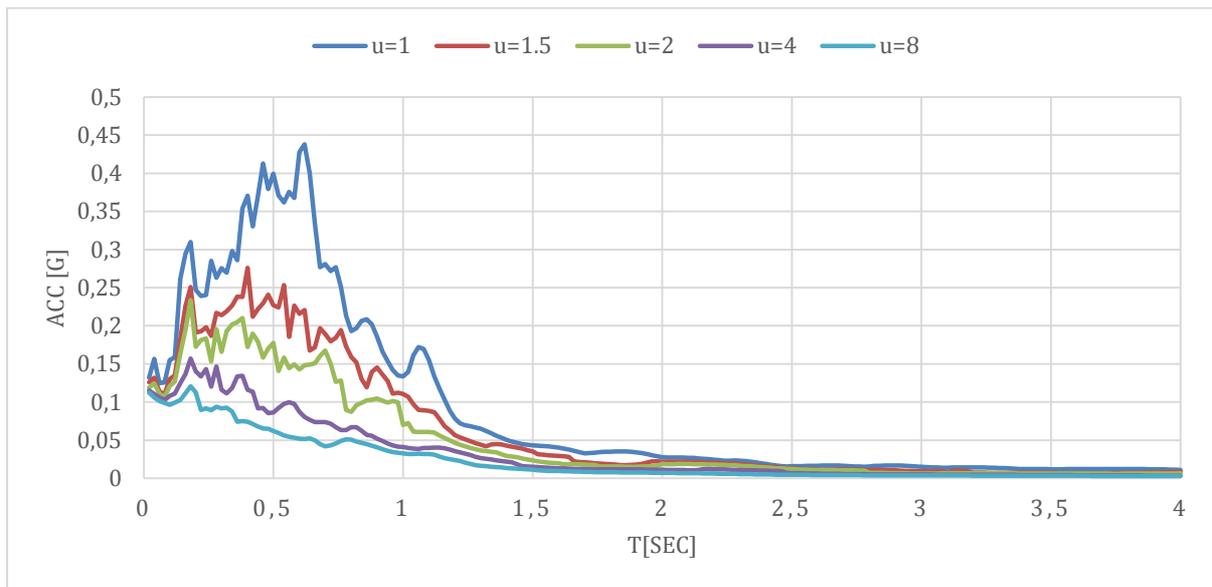


Figura 71: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

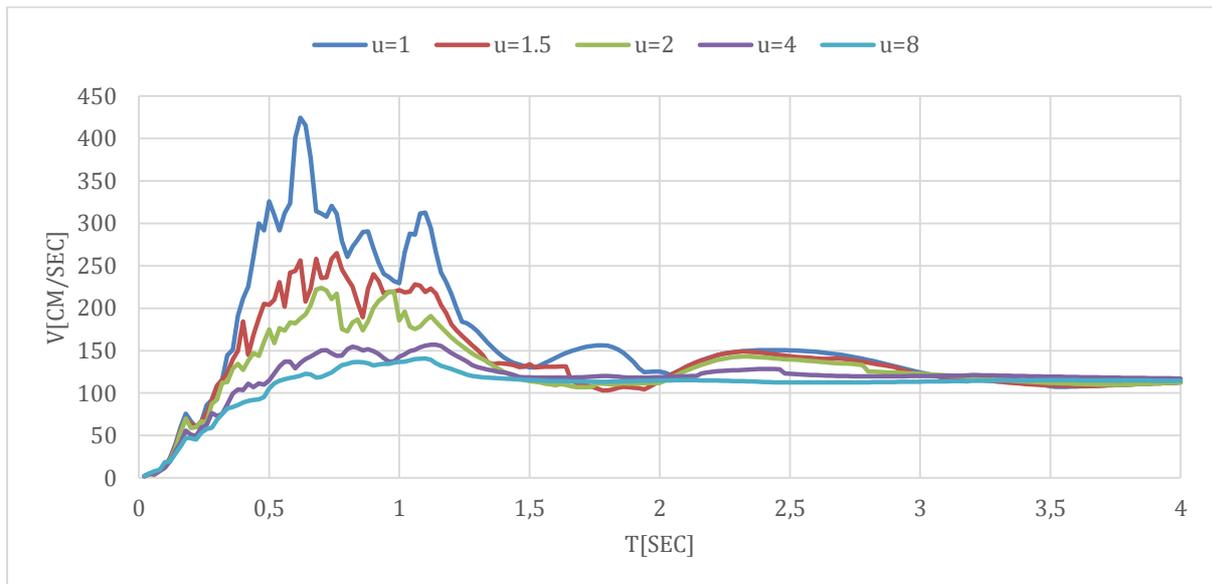


Figura 72: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV18-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

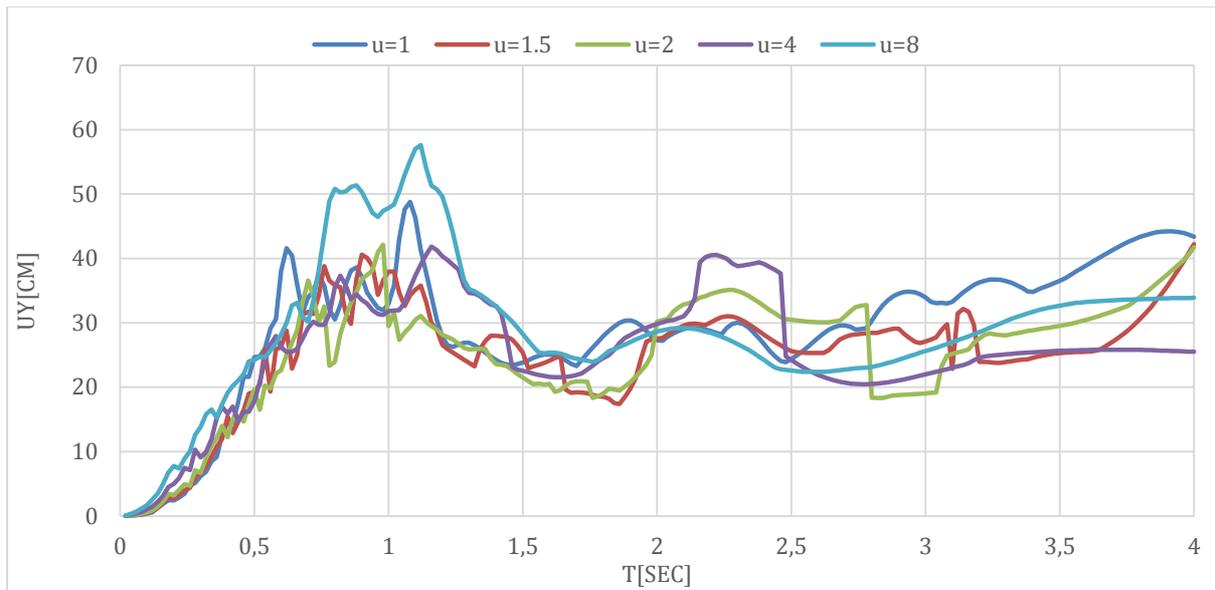


Figura 73: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

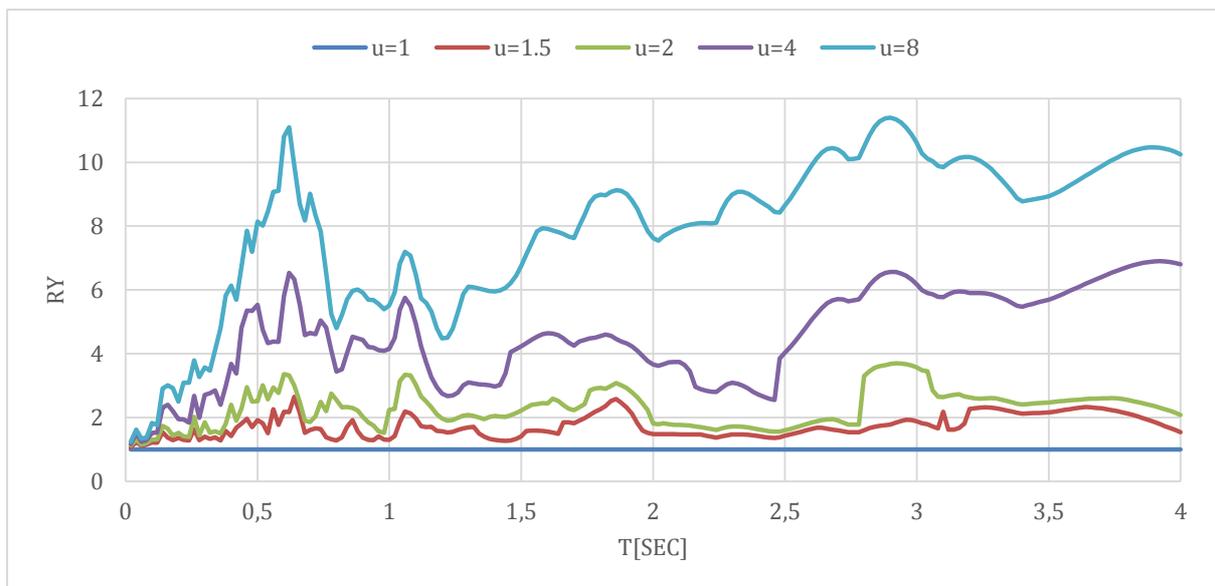


Figura 74: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

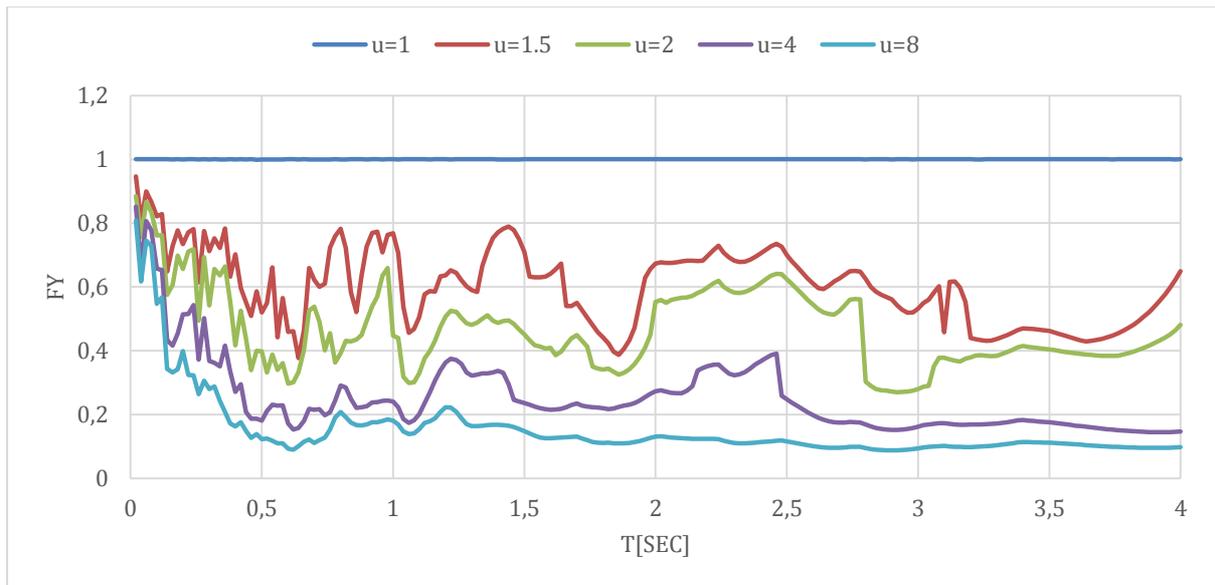


Figura 75: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV18-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

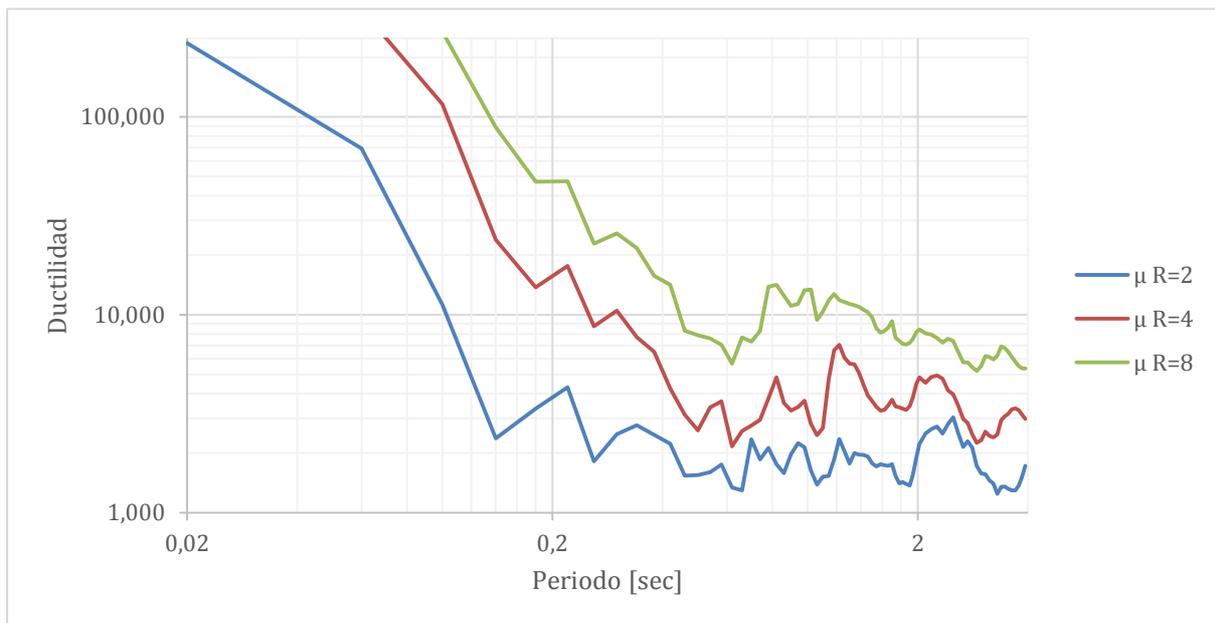


Figura 76: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV18-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

APED-16H46

Componente Este-Oeste

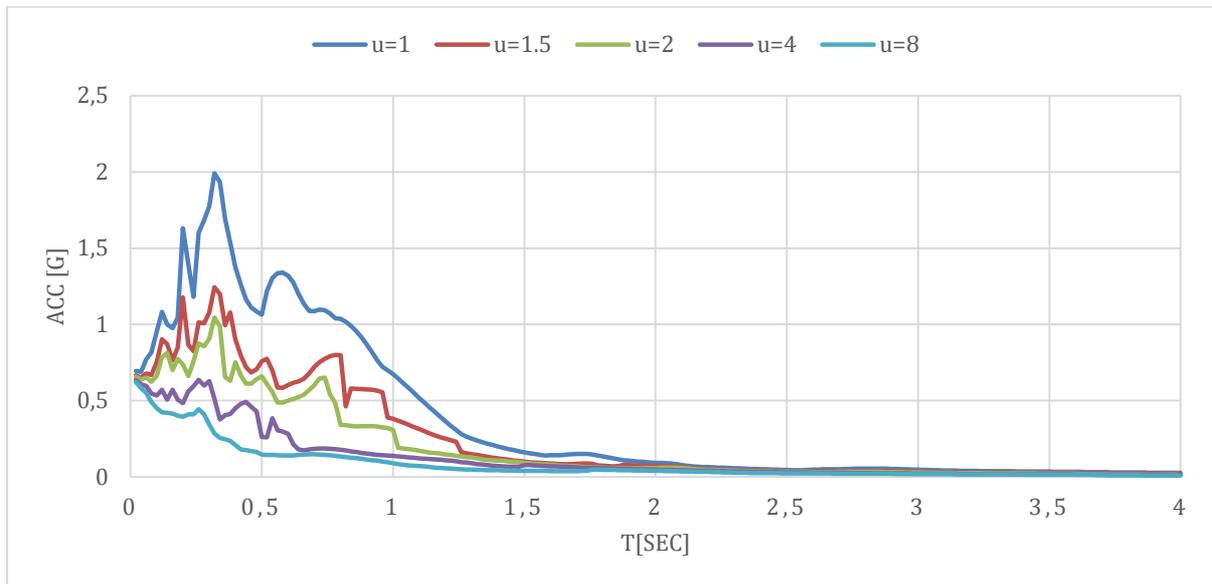


Figura 77: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

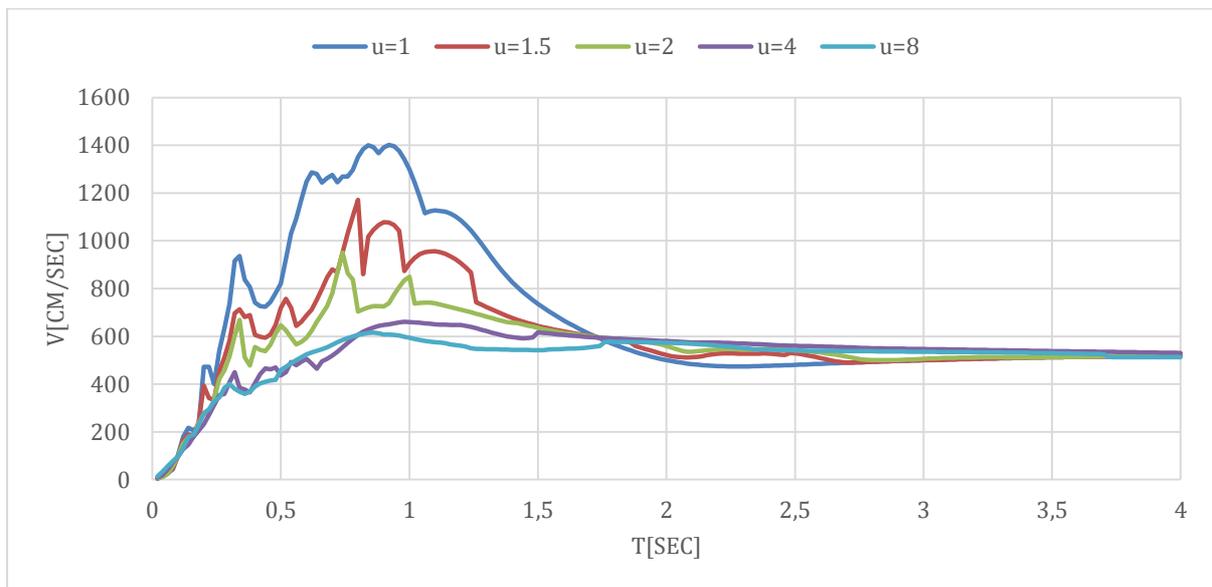


Figura 78: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro APED-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

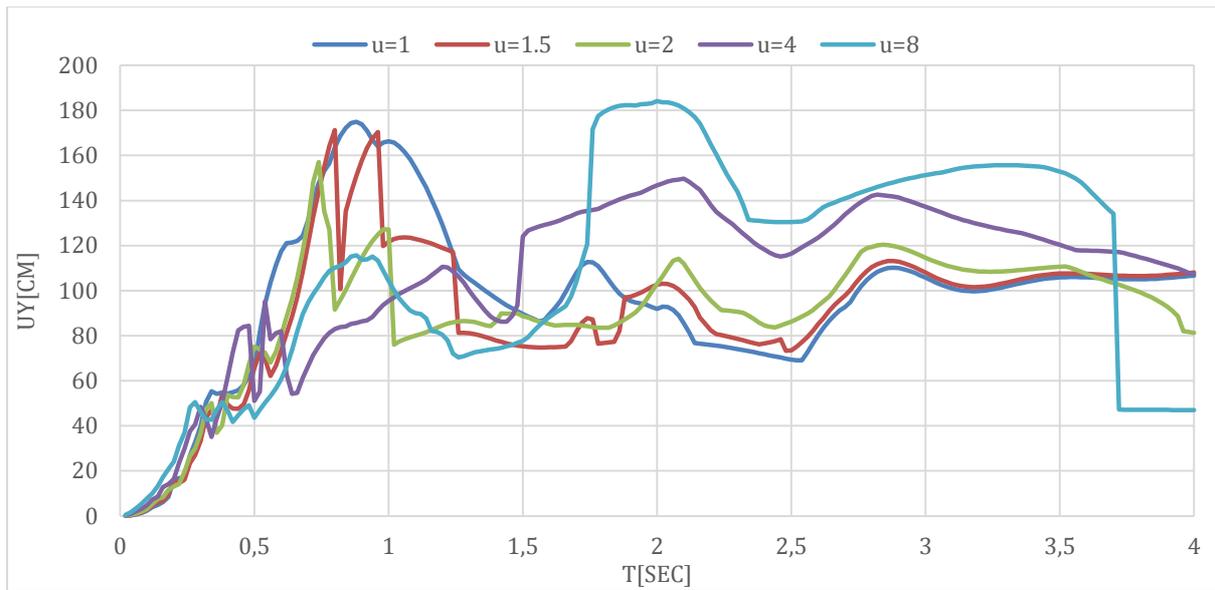


Figura 79: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

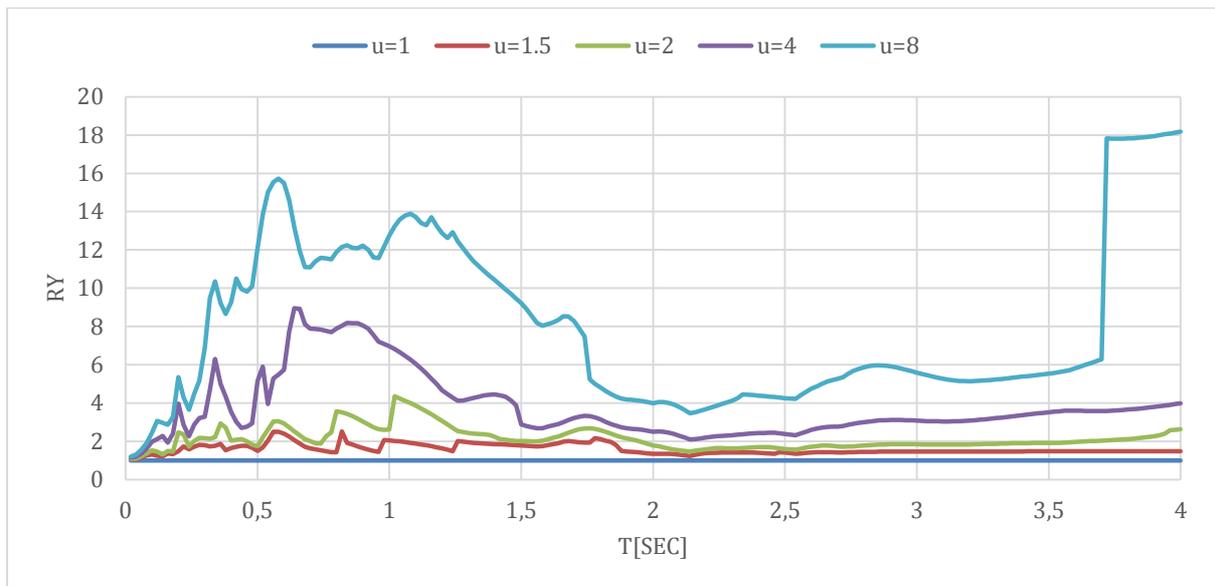


Figura 80: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

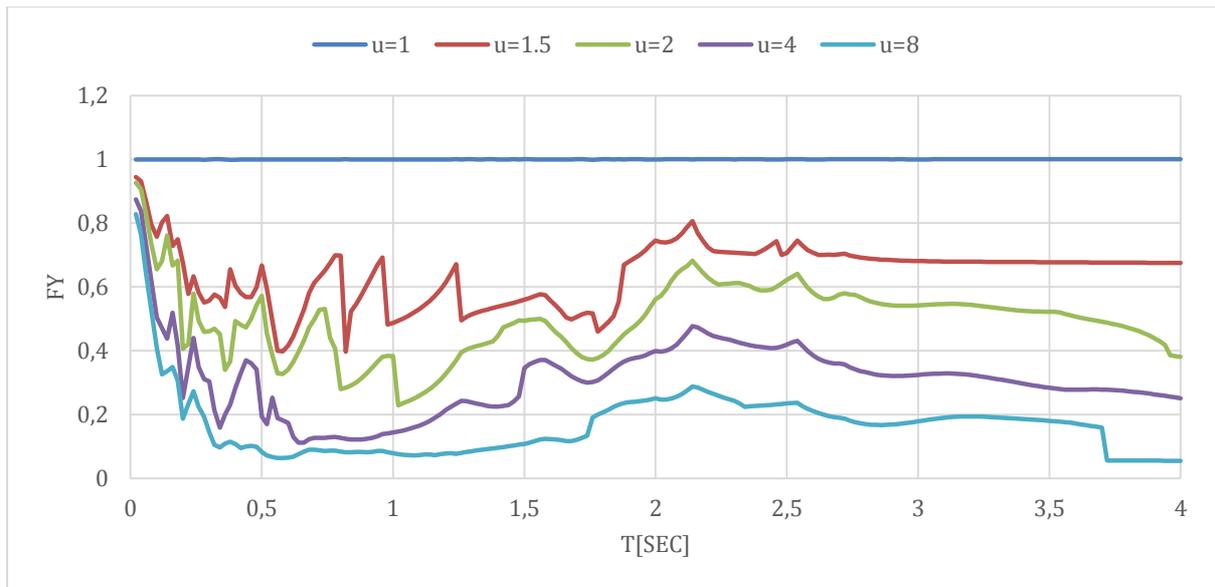


Figura 81: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

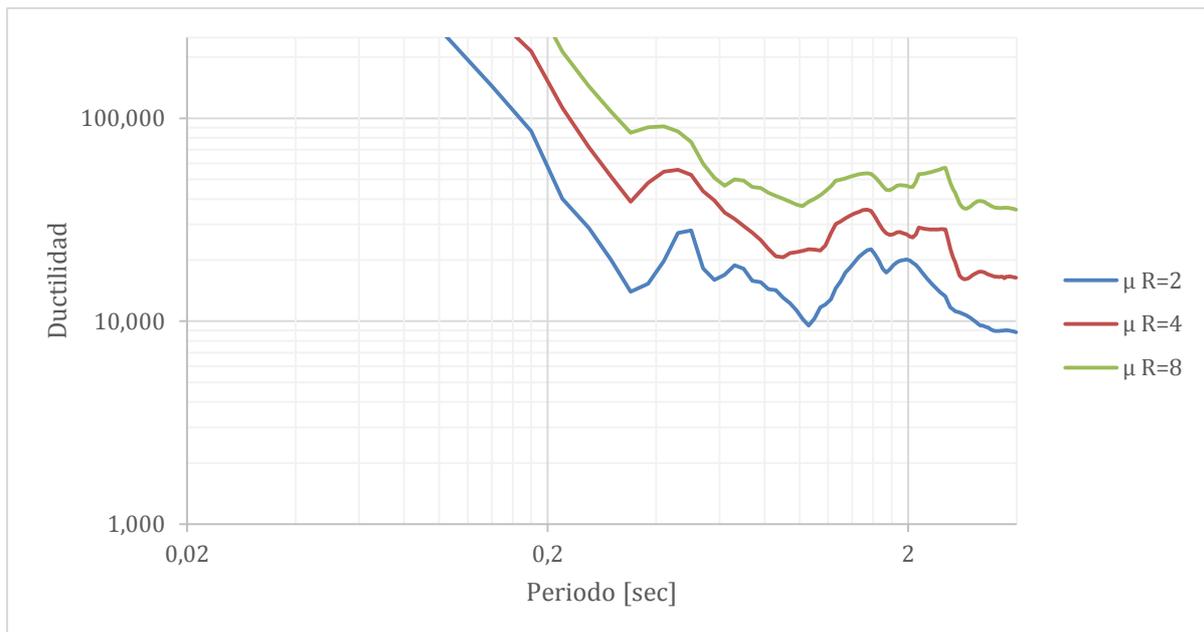


Figura 82: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro APED-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

Componente Norte-Sur

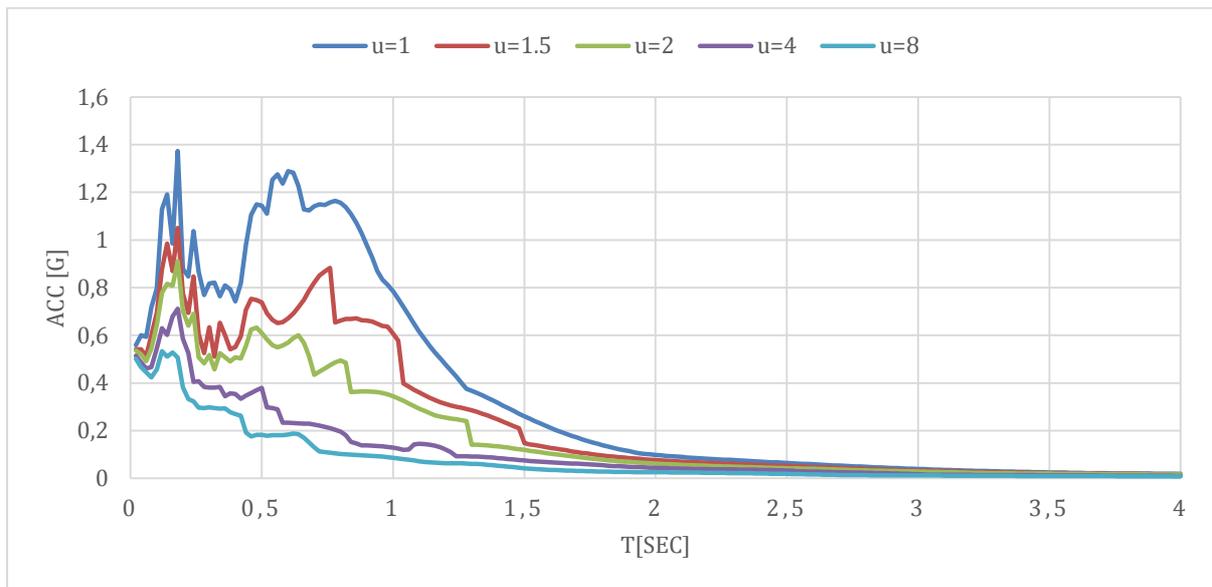


Figura 83: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

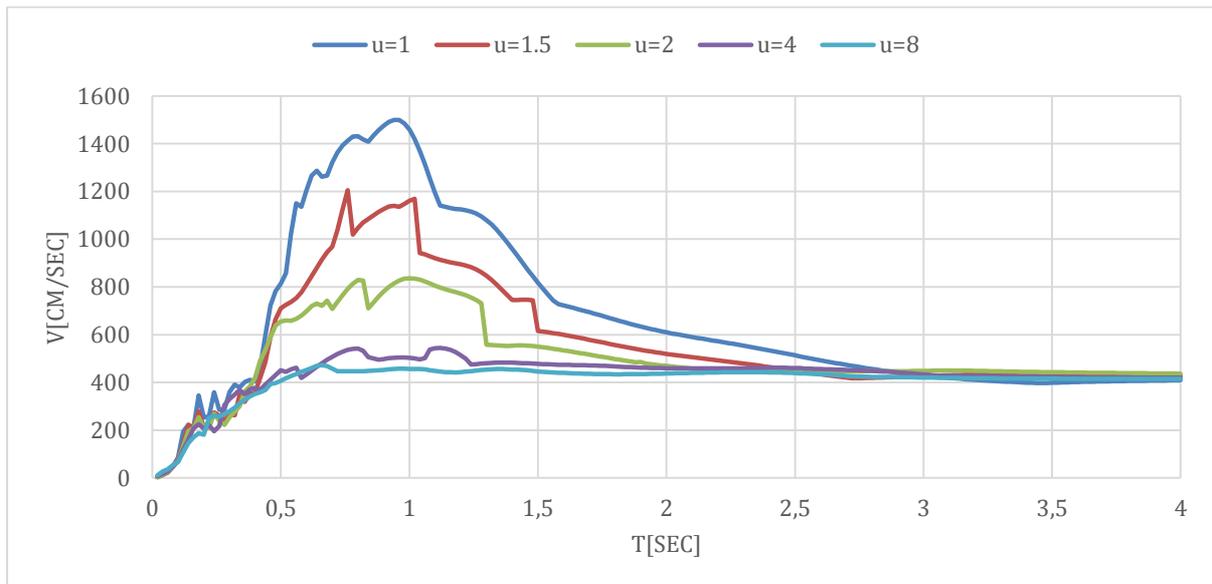


Figura 84: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro APED-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

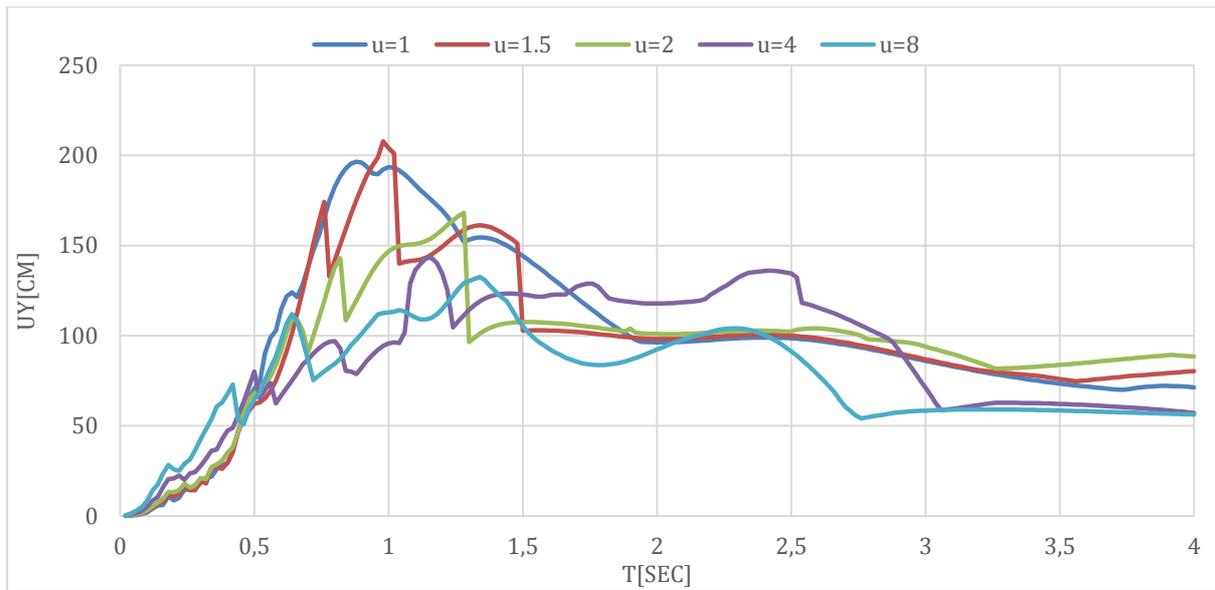


Figura 85: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

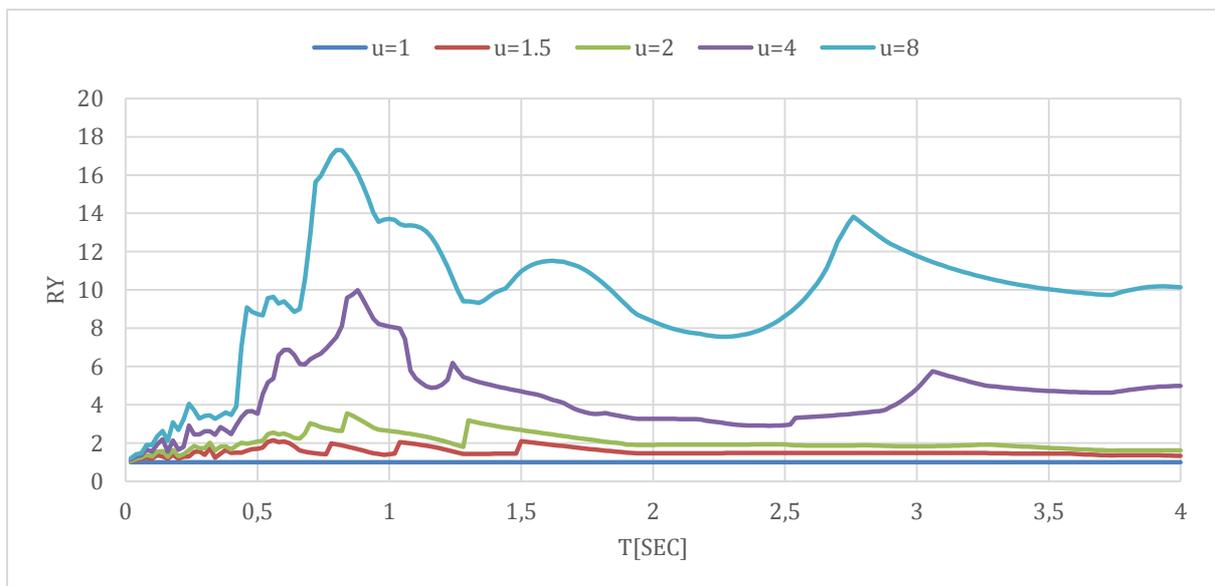


Figura 86: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

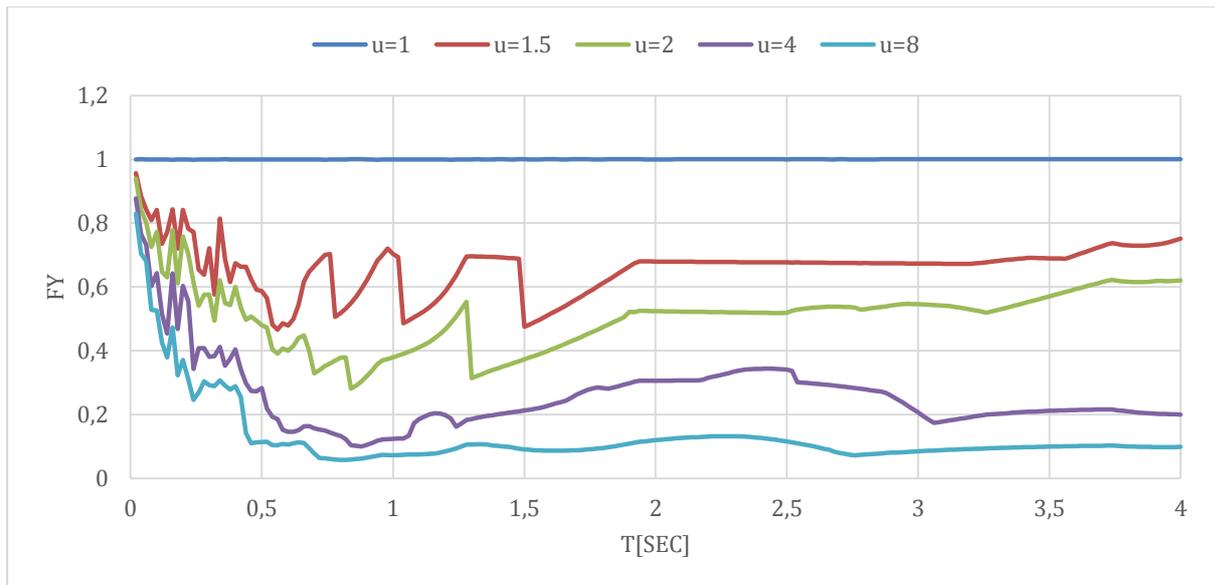


Figura 87: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de APED-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

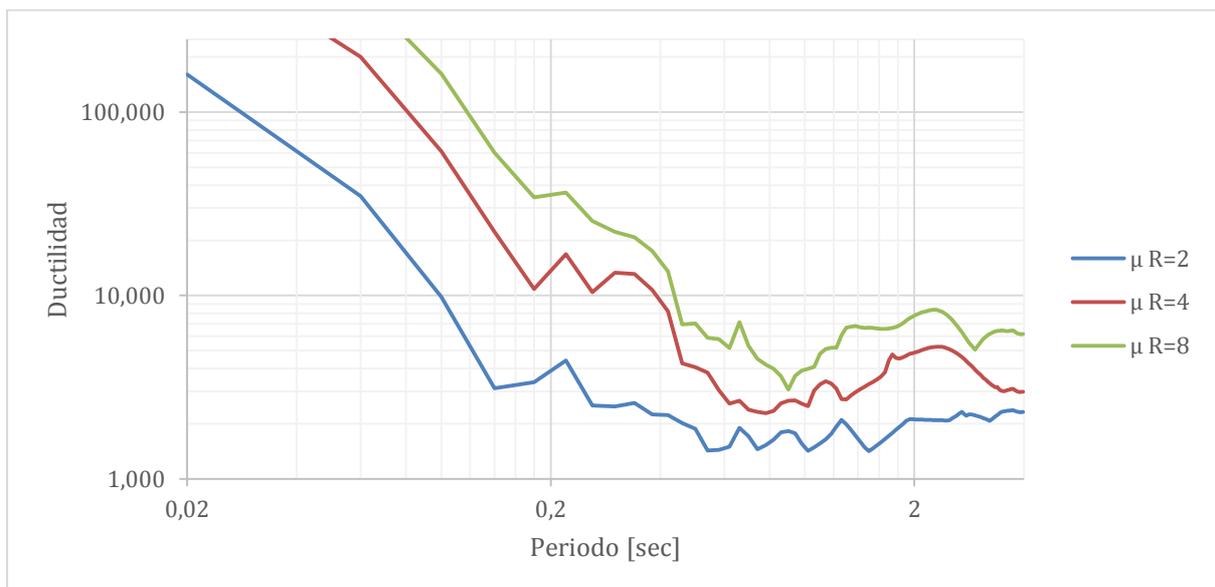


Figura 88: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro APED-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

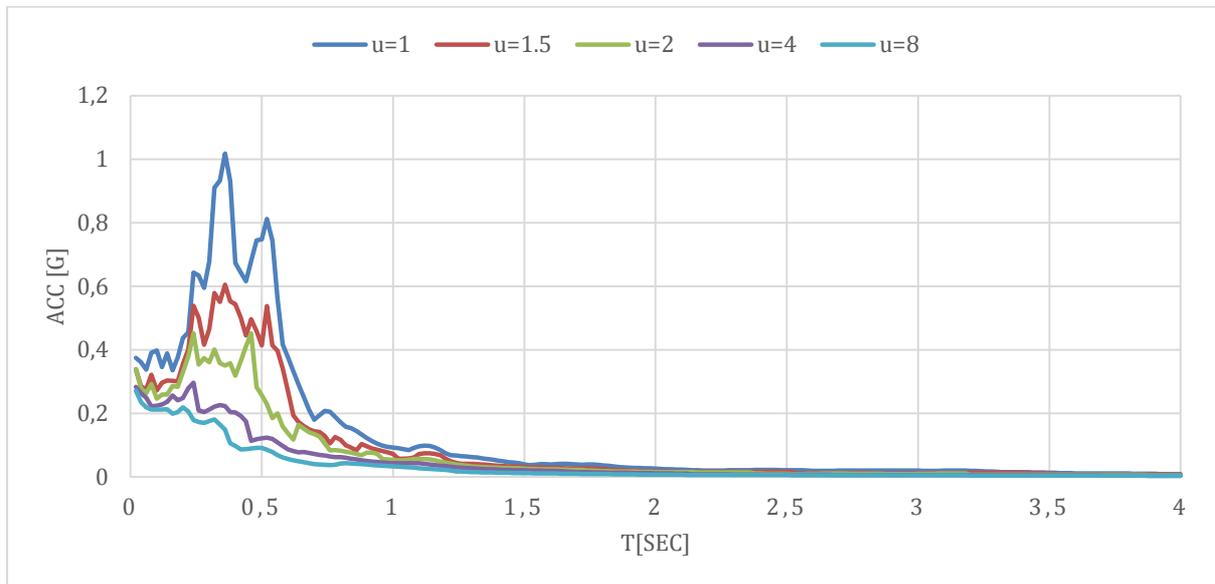
AV21-16H46**Componente Este-Oeste**

Figura 89: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

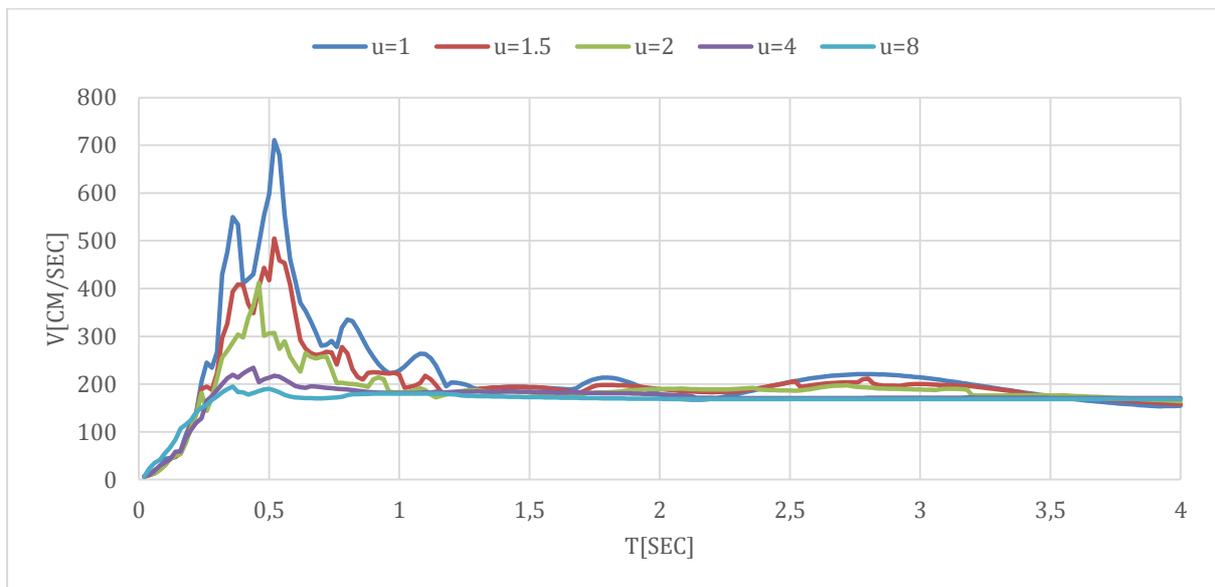


Figura 90: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV21-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

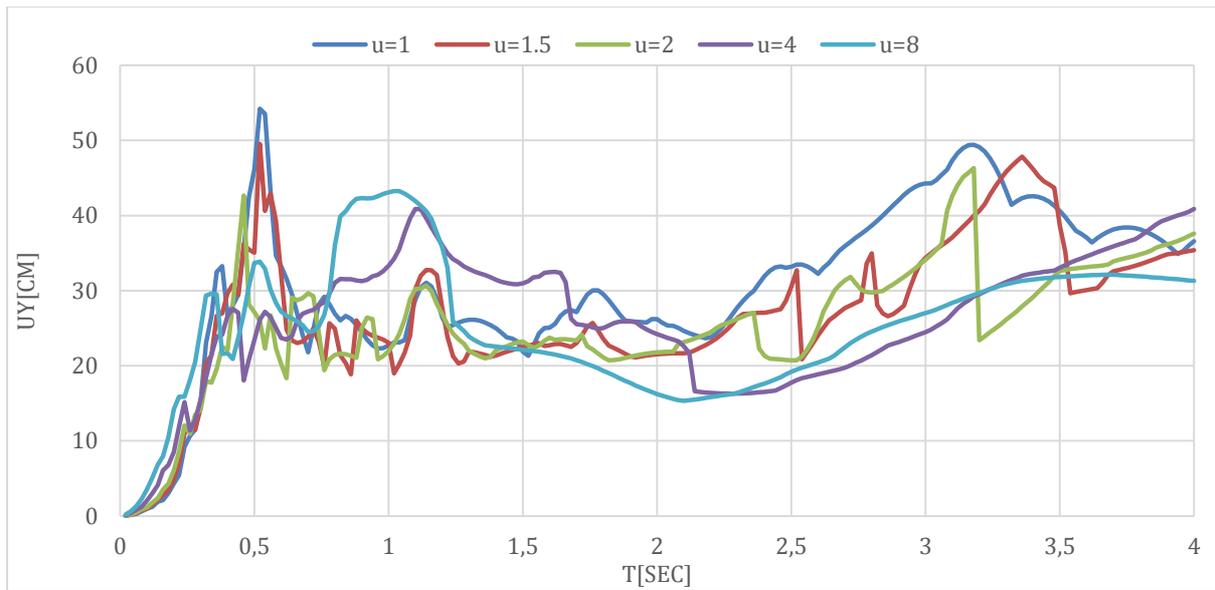


Figura 91: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

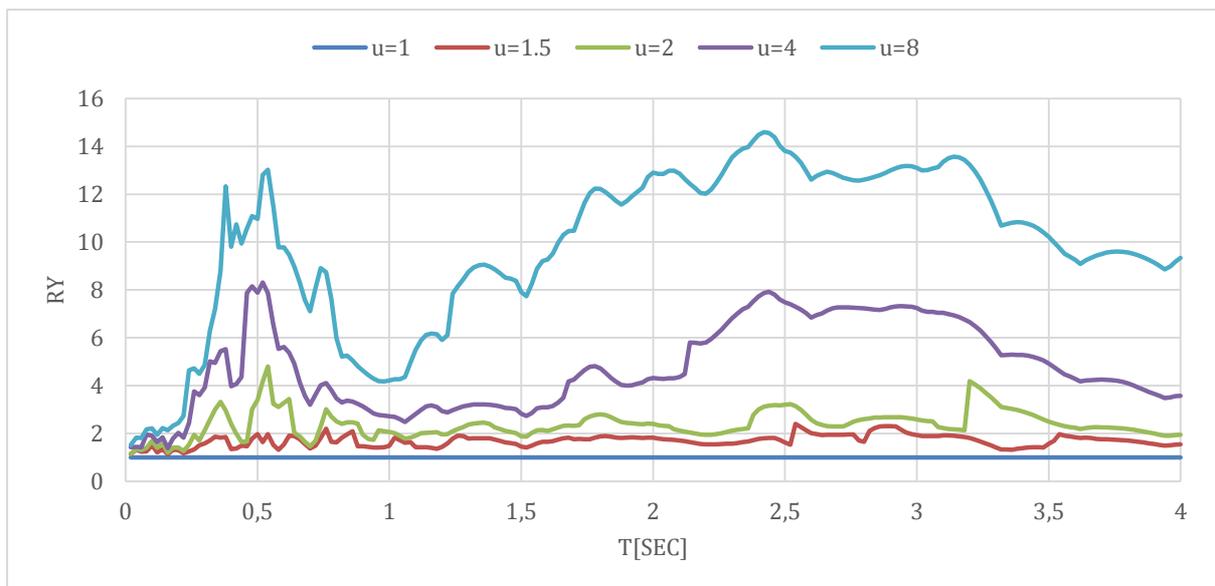


Figura 92: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

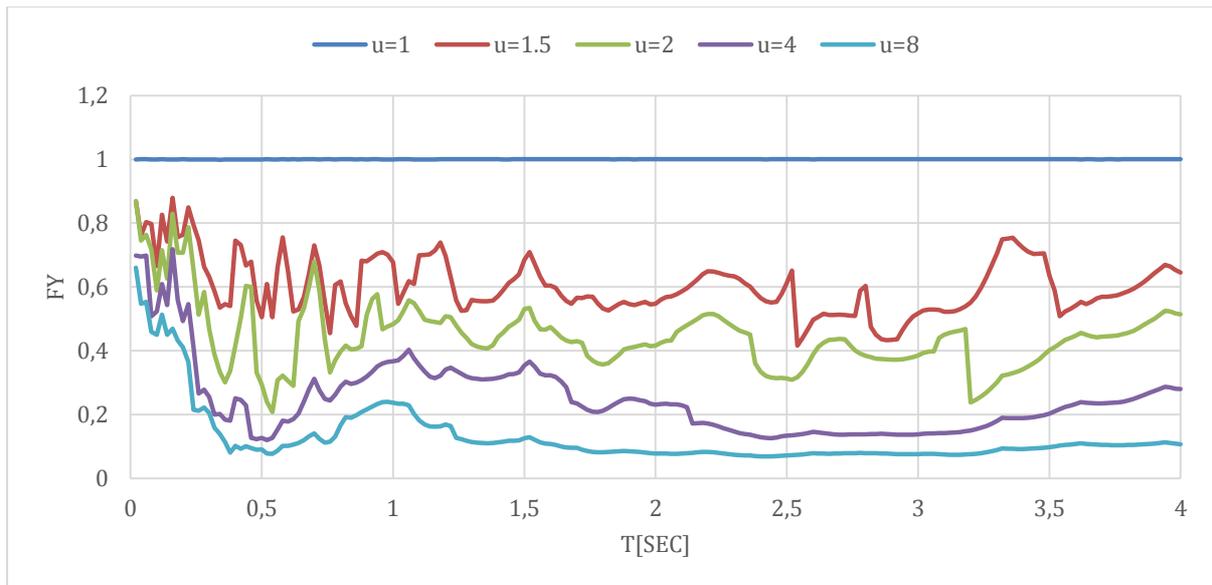


Figura 93: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

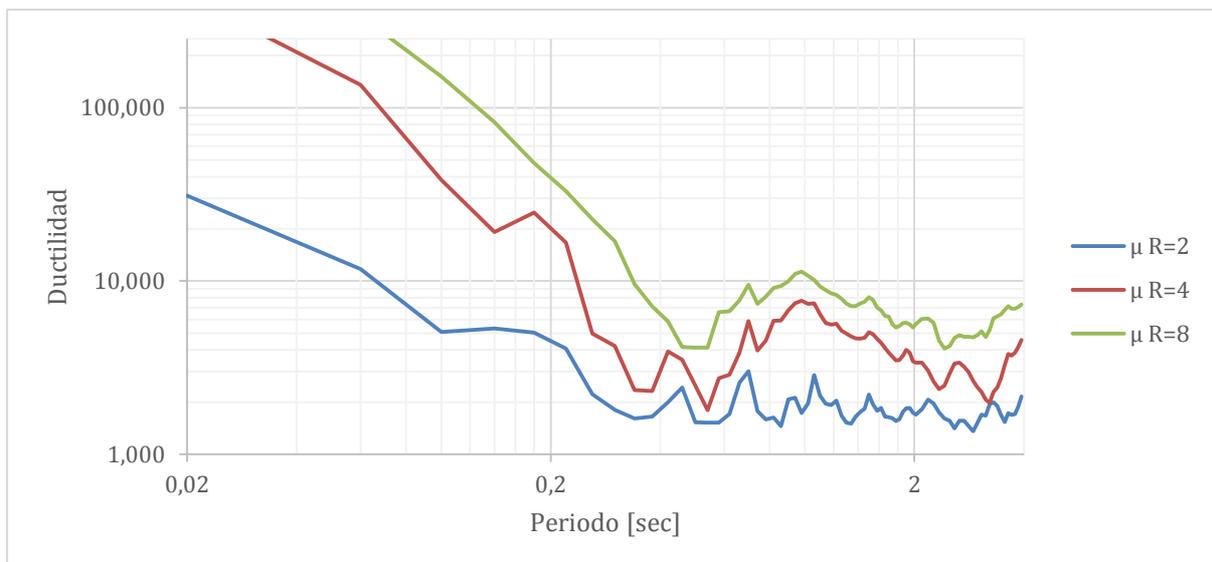


Figura 94: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV21-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

Componente Norte-Sur

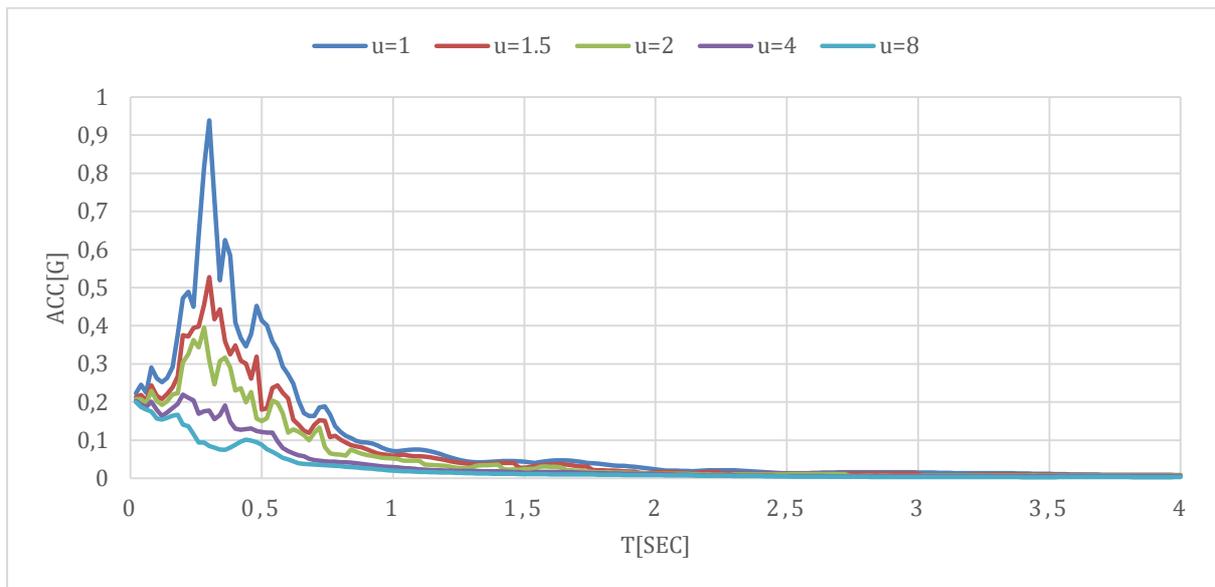


Figura 95: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

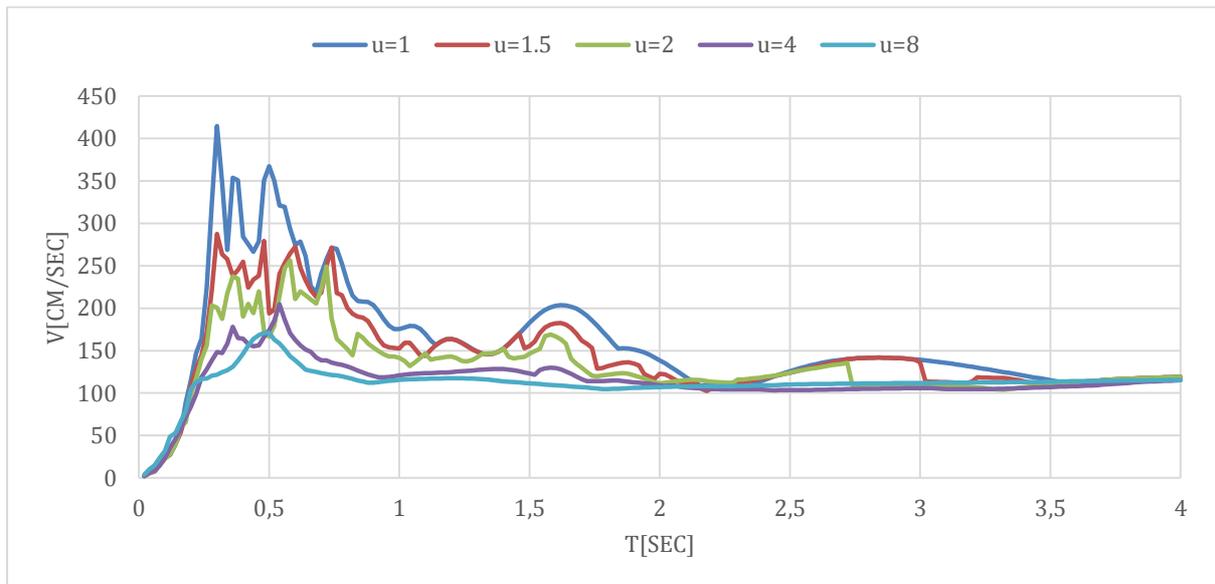


Figura 96: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AV21-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

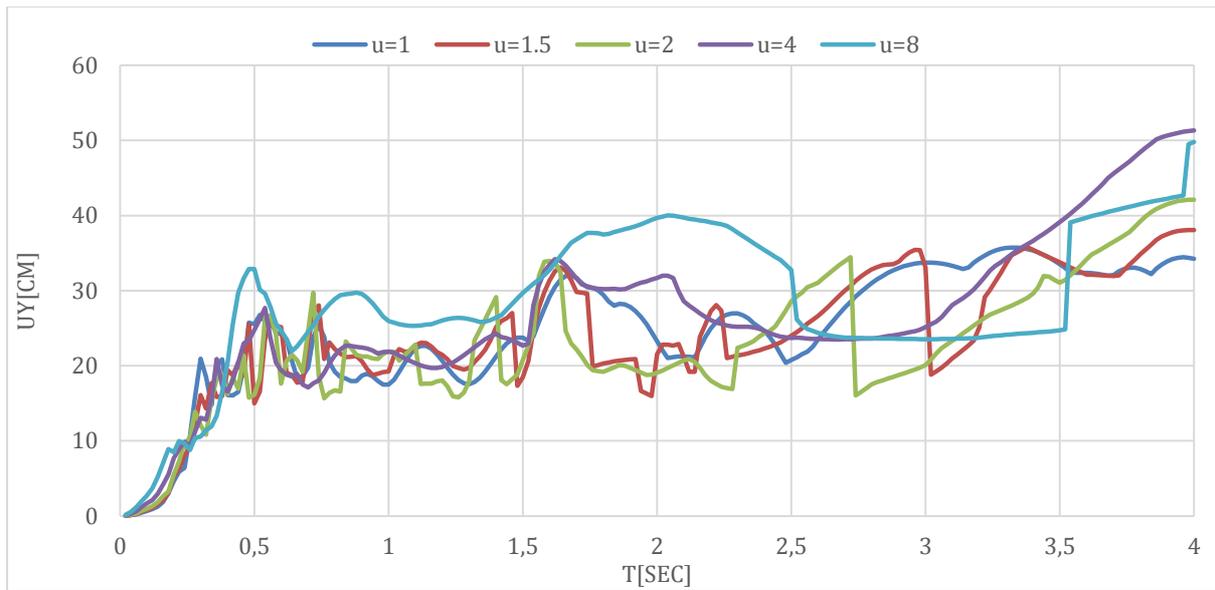


Figura 97: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

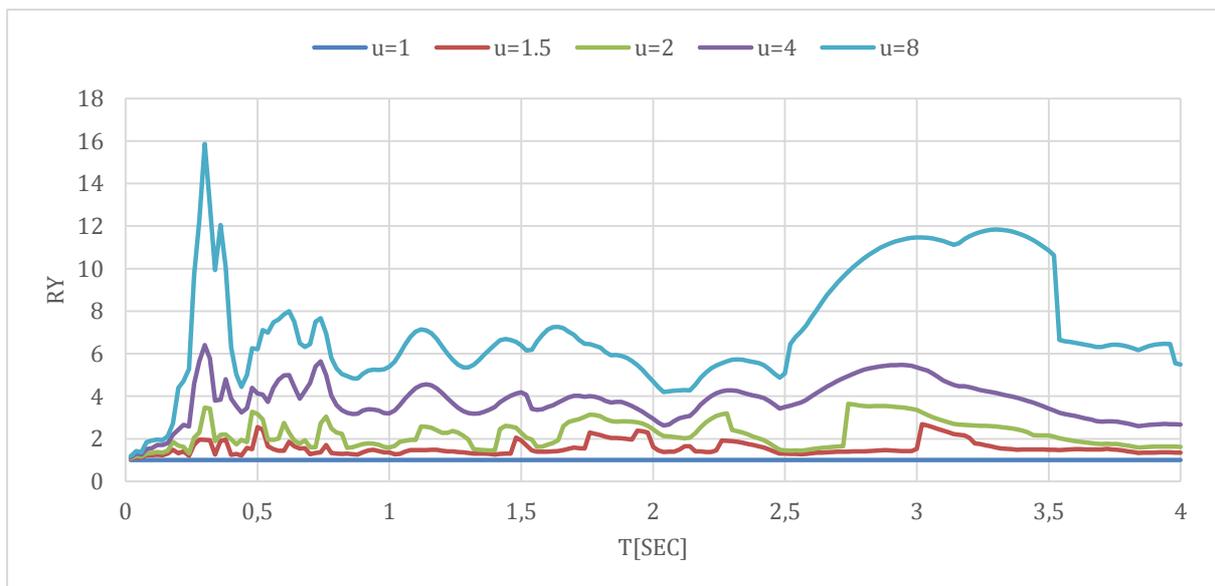


Figura 98: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

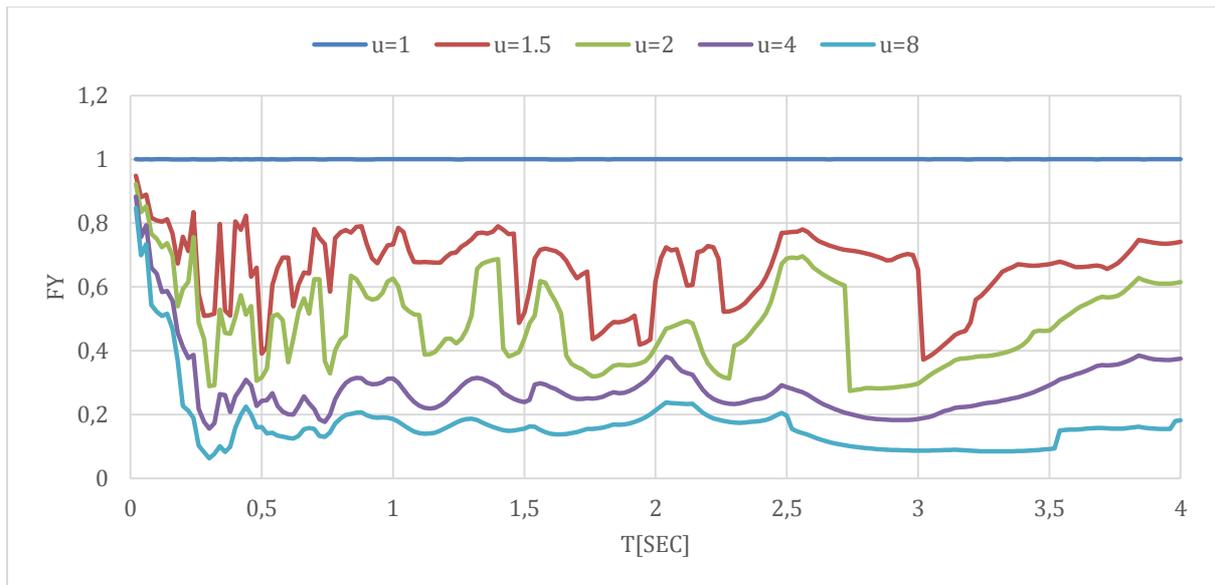


Figura 99: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AV21-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

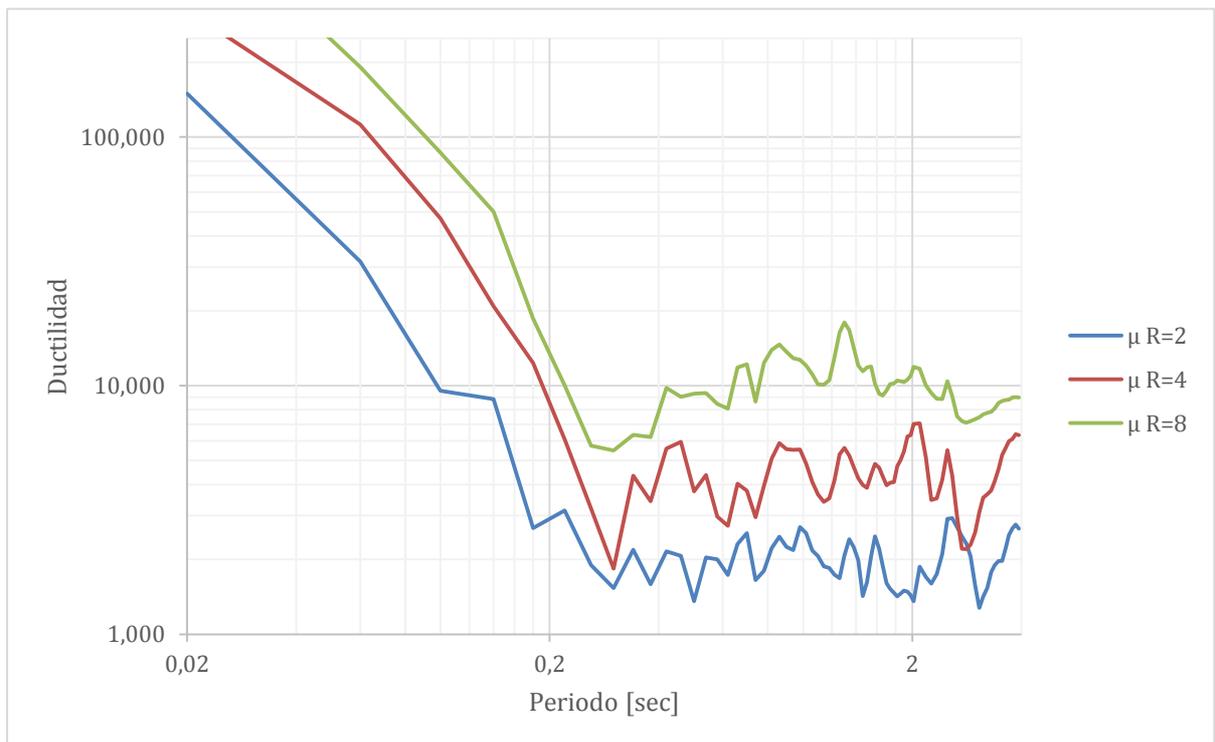


Figura 100: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AV21-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

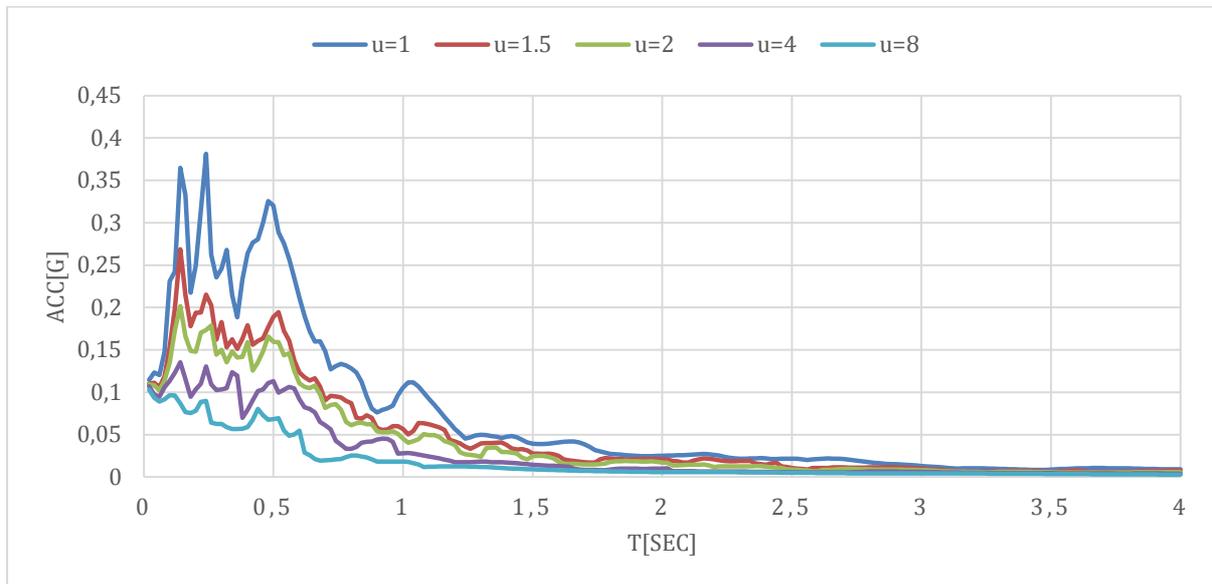
AMA1-16H46**Componente Este-Oeste**

Figura 101: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

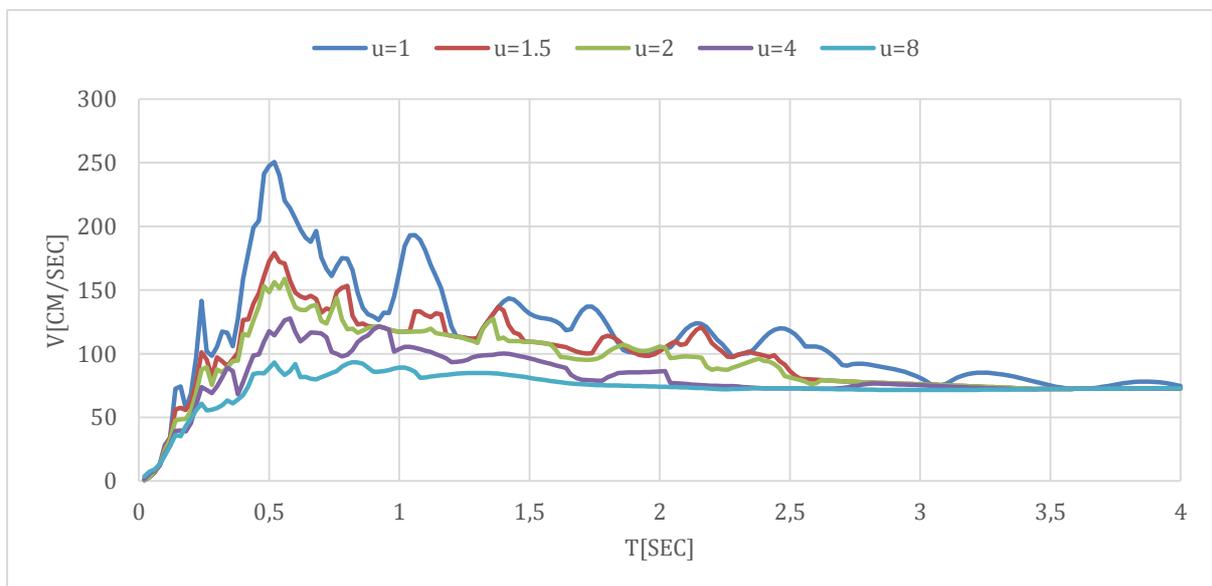


Figura 102: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AMA1-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

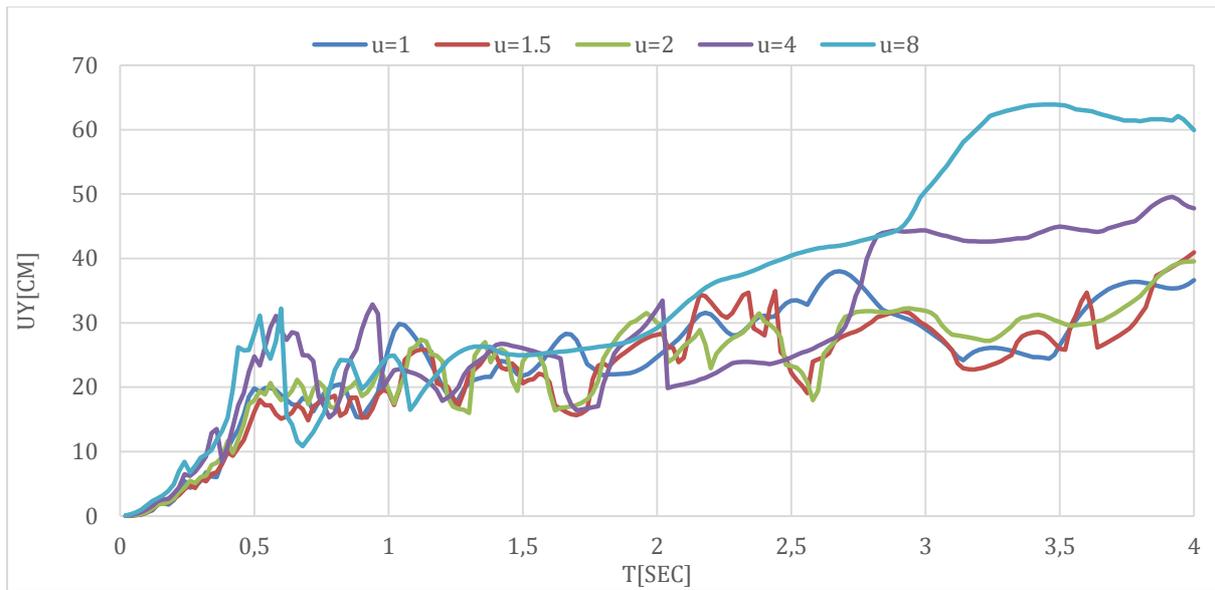


Figura 103: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

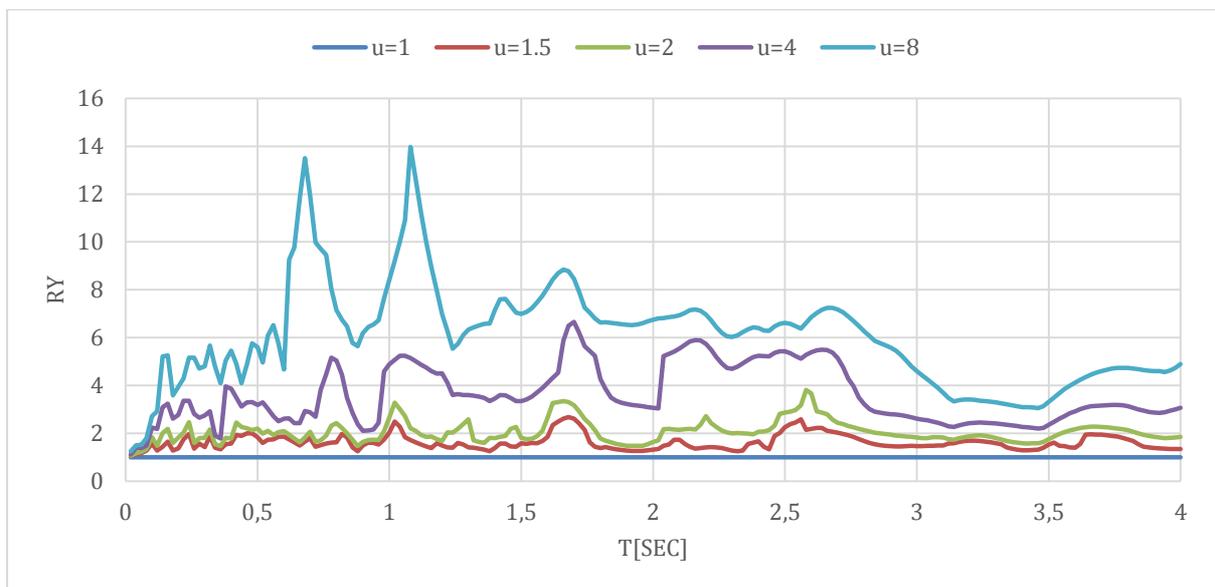


Figura 104: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

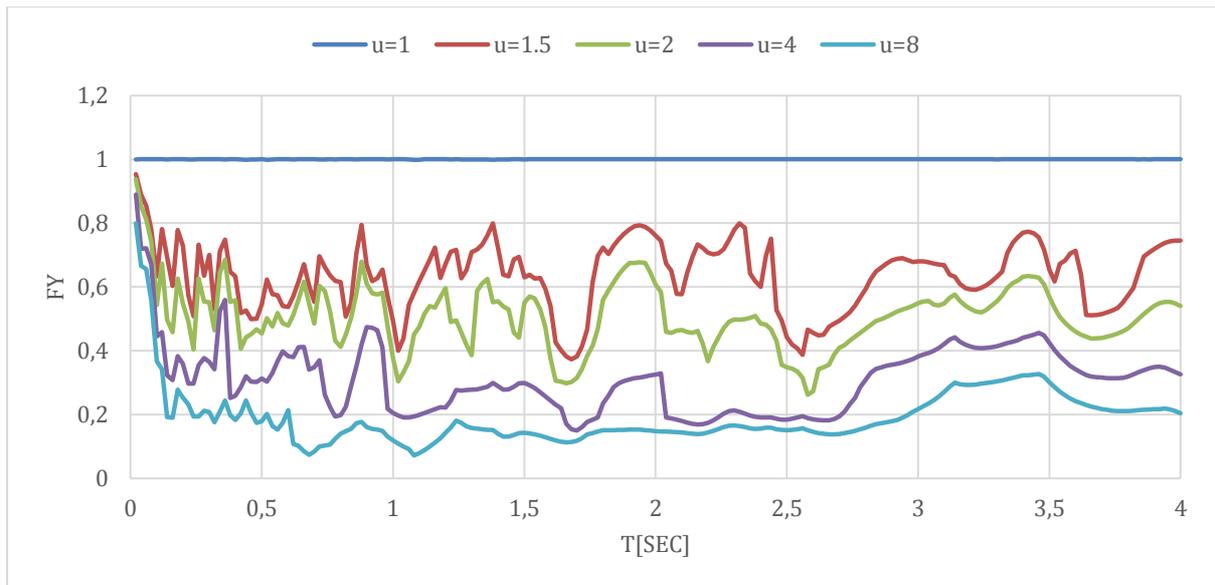


Figura 105: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

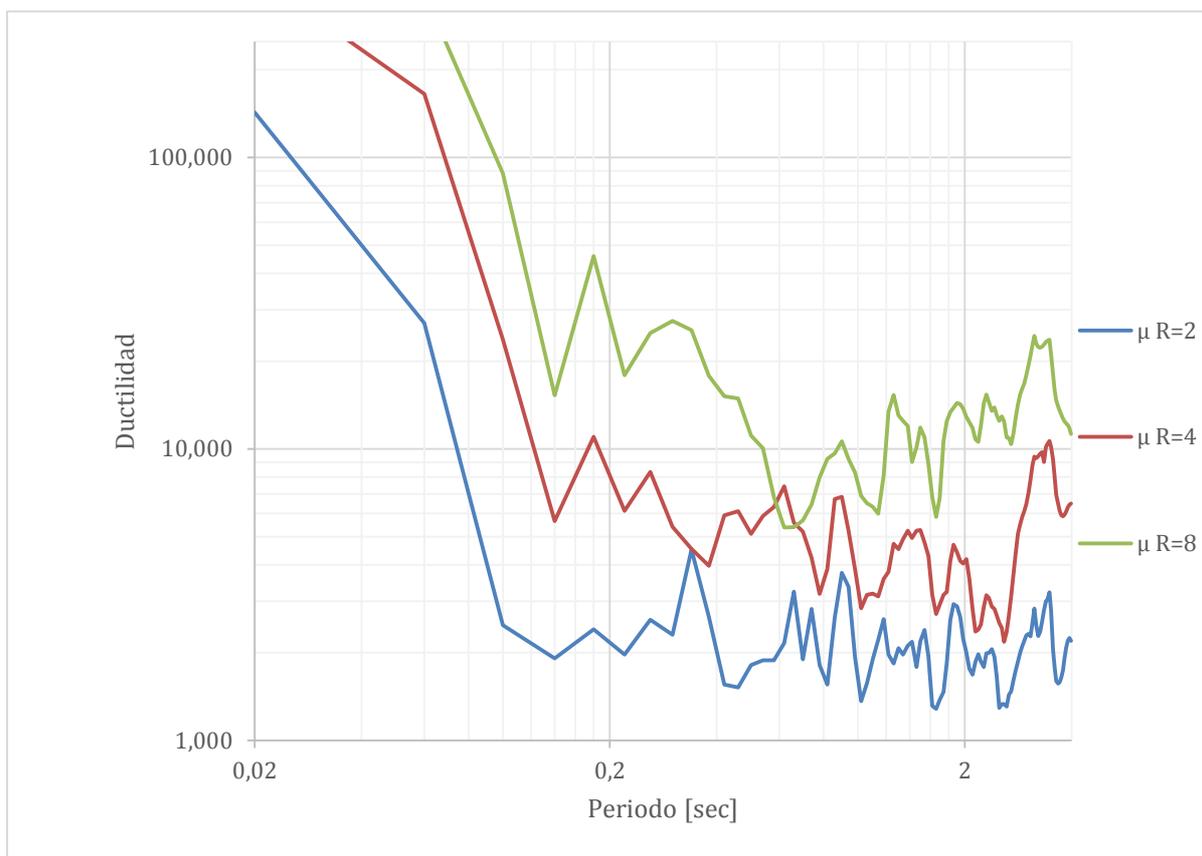


Figura 106: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AMA1-16H46 E de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

Componente Norte-Sur

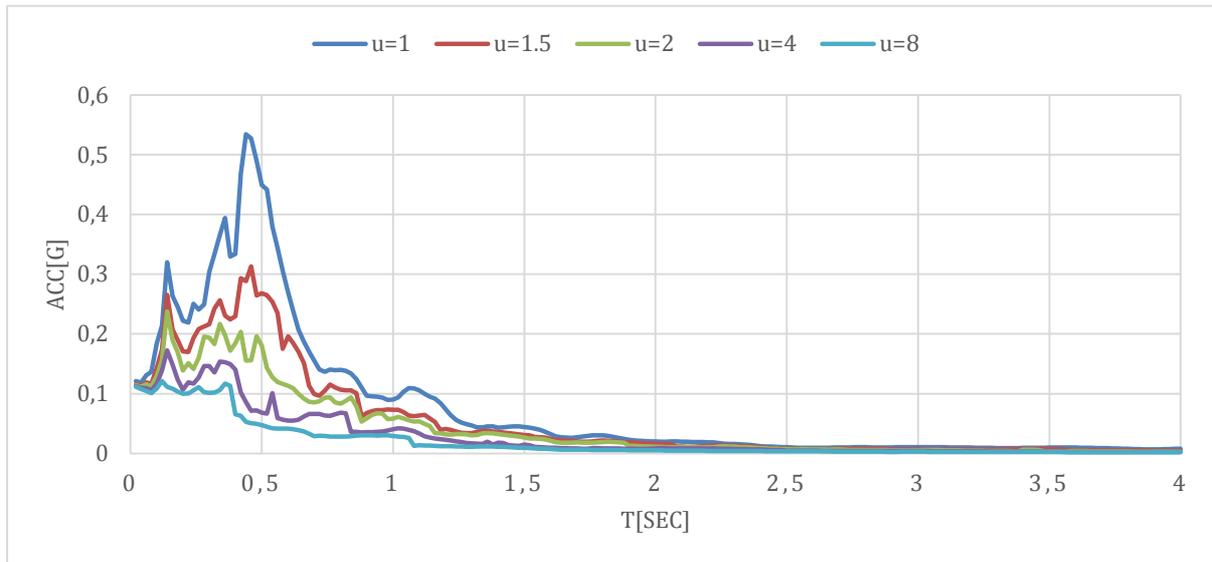


Figura 107: Espectro inelástico de respuesta de aceleración de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

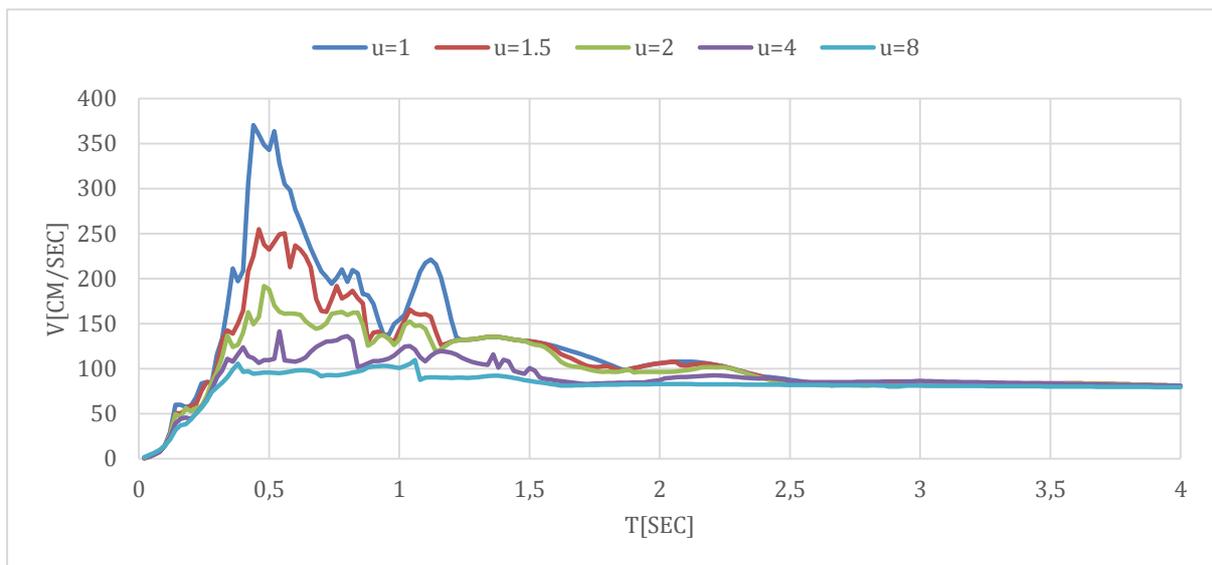


Figura 108: Espectro inelástico de respuesta de velocidad de ductilidad constante para el registro AMA1-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

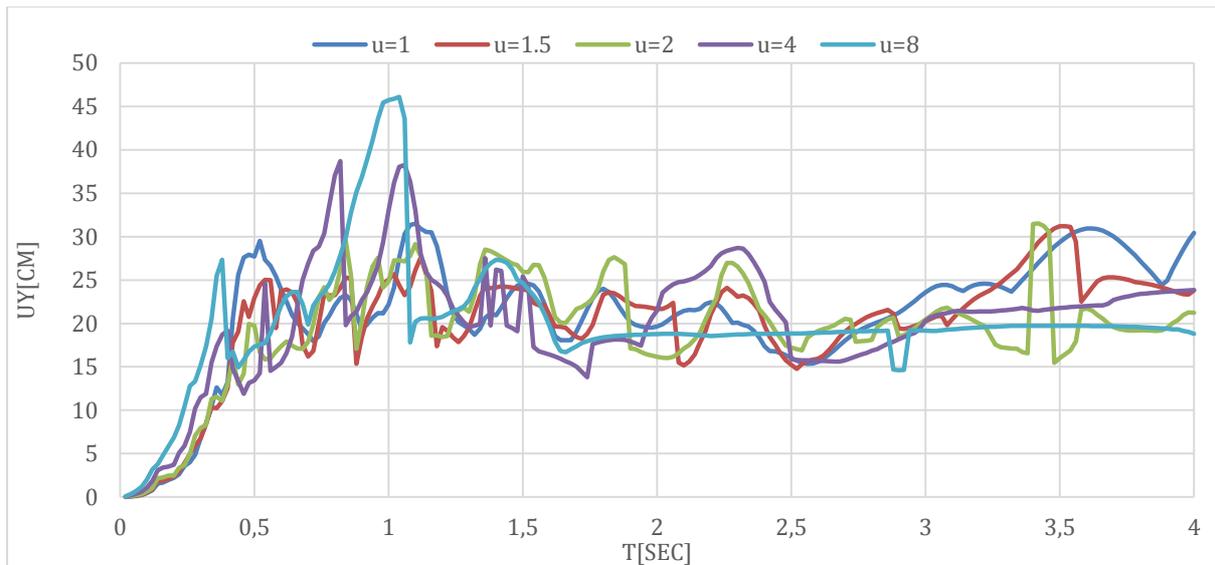


Figura 109: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

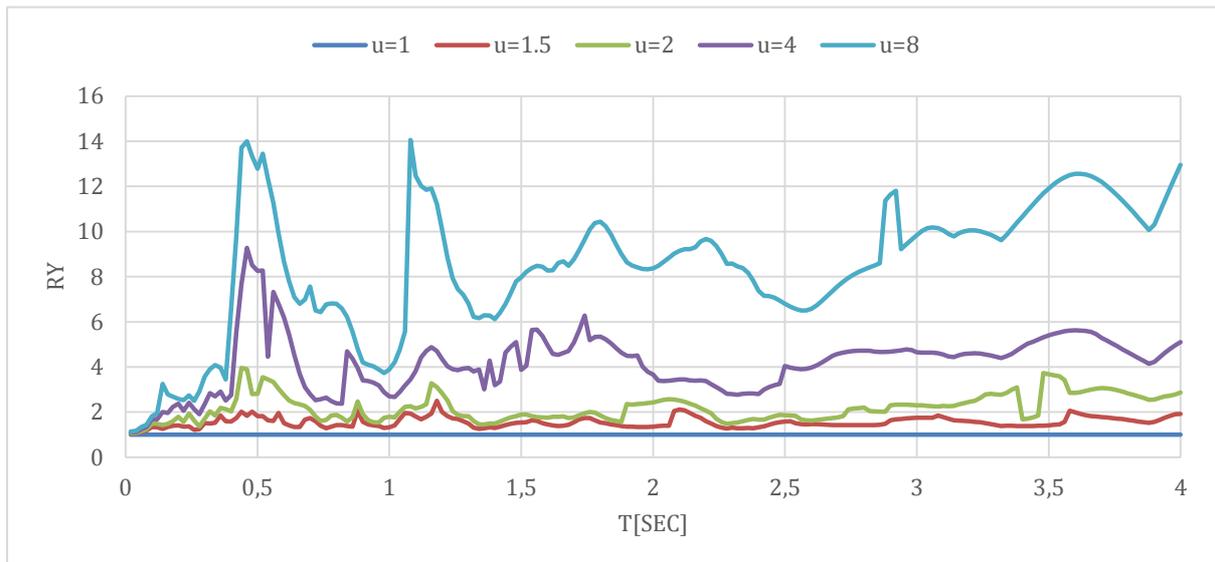


Figura 110: Espectro inelástico de respuesta de R-Factor de reducción de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

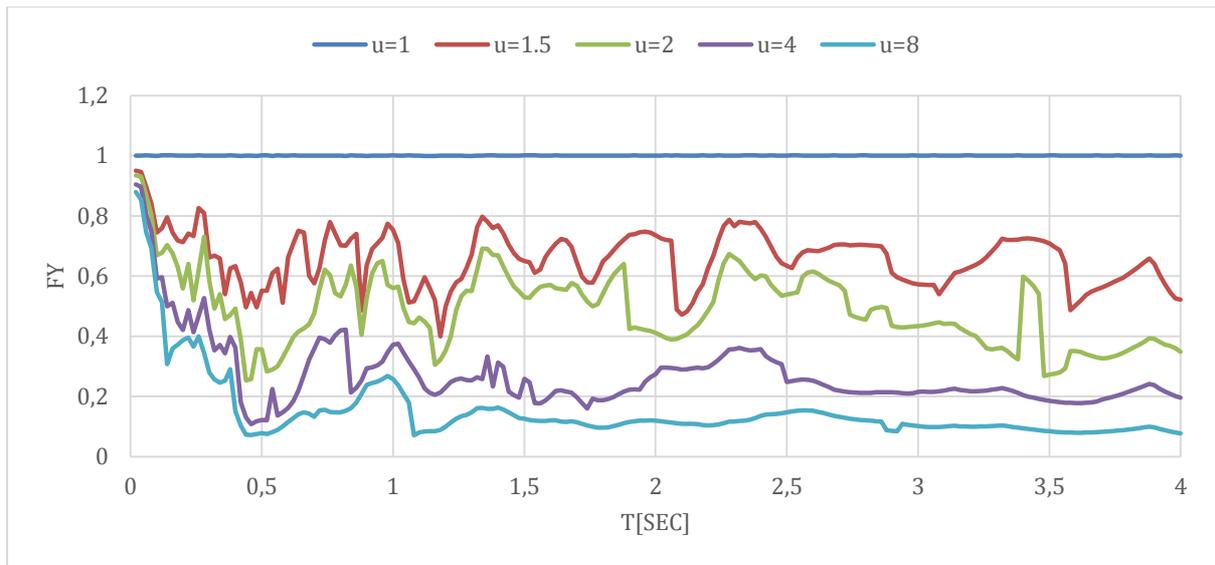


Figura 111: Espectro inelástico de respuesta de la resistencia normalizada F_y de ductilidad constante para el registro de AMA1-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

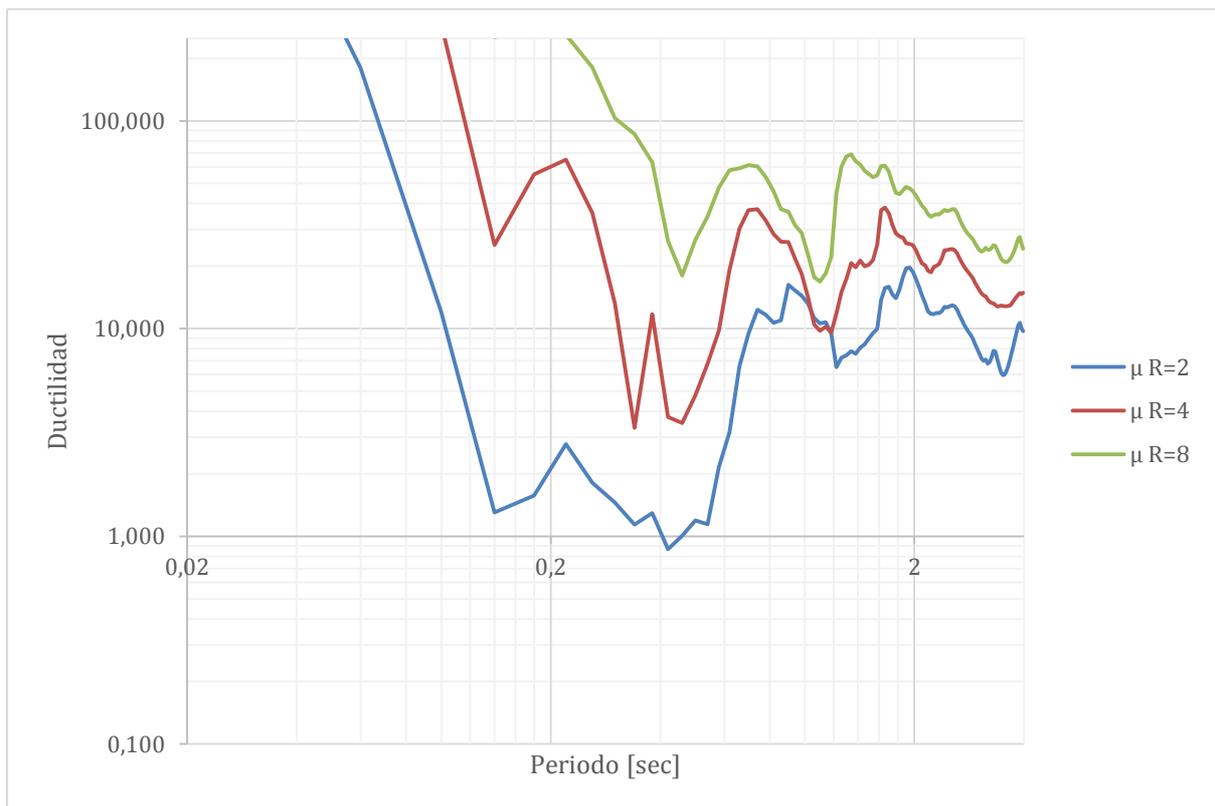


Figura 112: Espectro inelástico de respuesta de demanda de ductilidad para el registro AMA1-16H46 N de las réplicas del terremoto de Pedernales, amortiguamiento $\zeta=5\%$.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para poder realizar un análisis objetivo sobre el comportamiento de los eventos, se debe agruparlos de acuerdo a su tipo de suelo para de esta manera realizar una comparación con los espectros de diseño de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. Para determinar el suelo que se tiene en cada una de las estaciones usamos la tabla 4 que nos presentan los nombres de algunas estaciones con el tipo de suelo que le corresponde además de los factores Z y η . Para algunas estaciones no se logró obtener el tipo de suelo, por lo que se optó por utilizar el mismo que el de la estación más cercana. Dado que todas las estaciones de donde provienen los registros se encuentran en Pedernales o Esmeraldas, todas tuvieron suelo tipo D.

Estación	Vs [m/s]	T. SUELO	Factor Z	η
ACHN	200	D	0.50	1.8
AES2	-	D	0.50	2.48
AIB1	-	C	0.40	2.48
ALIB	429	C	0.50	1.8
AMNT	496	C	0.50	1.8
AMIL	-	D	0.35	1.8
APED	342	D	0.50	1.8
APO1	224	D	0.50	1.8
ASDO	-	D	0.40	1.8

Tabla 4: Estaciones con el tipo de suelo, factor Z y η

Con los tipos de suelos ya determinados, se prosiguió a calcular los espectros elásticos e inelásticos de respuesta para aceleración y desplazamiento. Para los espectros inelásticos se calculó con ductilidades de 1.5, 2, 4 y 8. Se sobrepuso los espectros de diseño de la NEC de tal manera que se pueda comparan los resultados. Para facilitar la comparación se normalizó los registros de aceleración. Finalmente se obtuvo los espectros inelásticos de respuesta de demanda de ductilidad para R_y de 2, 4 y 8 además de un promedio de los 3 para el mismo tipo de suelo.

El factor de reducción de fuerza R_y ha sido tema de varios estudios, entre los más importantes está el realizado por Eduardo Miranda el cual resume 13 investigaciones a lo largo de 30 años. De estas 13 investigaciones se destacan la de Nassar y Krawinkler, Miranda y Riddell. En cada una de estas se tomó 15, 62 y 34 registros respectivamente en diferentes partes del mundo. Todos los registros, a pesar de pertenecer a distintas partes de mundo exhiben una misma tendencia, lo que demuestra que el comportamiento de R_y no varía significativamente a pesar de tratarse de eventos y ubicaciones diferentes. Los resultados obtenidos en el estudio de Miranda se presentan en la figura 110. Para comprobar esta tendencia, se obtuvo un promedio de las respuestas de R_y de los registros de las réplicas y se la comparó con la curva que obtuvo Miranda.

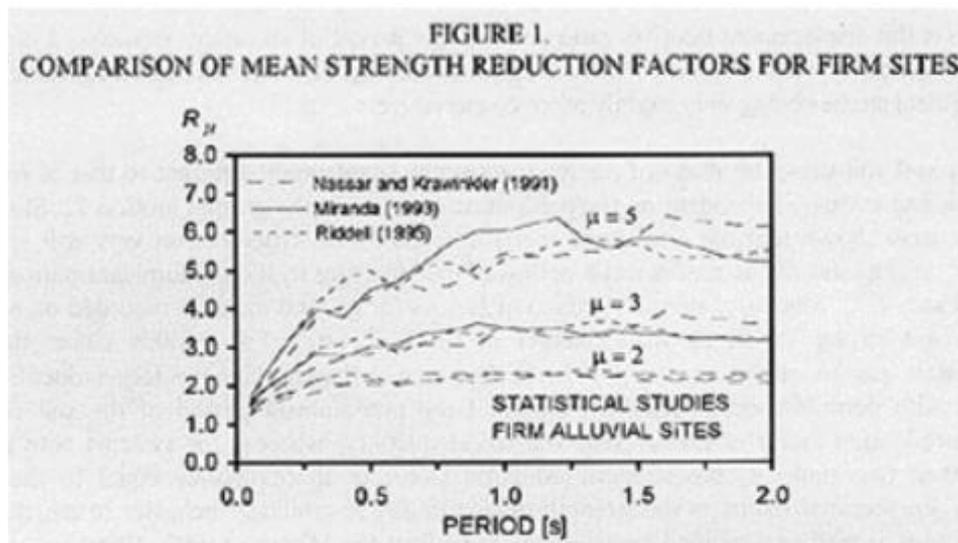


Figura 113: Comparación del factor R_y para sitios firmes. (Miranda, 1997)

En su investigación Miranda, 1997 propone la siguiente ecuación que logra estimar analíticamente el factor de reducción R_y

$$R_y = \mu + (1 - \mu) \exp\left(\frac{-16T}{\mu}\right)$$

A continuación, se encuentran los gráficos representando el análisis descrito. Se presentan únicamente las componentes Este y Norte de los registros ya que la componente vertical no presenta aceleraciones significativas con relación a las otras 2.

Análisis de los registros en suelo tipo D para espectros elásticos.

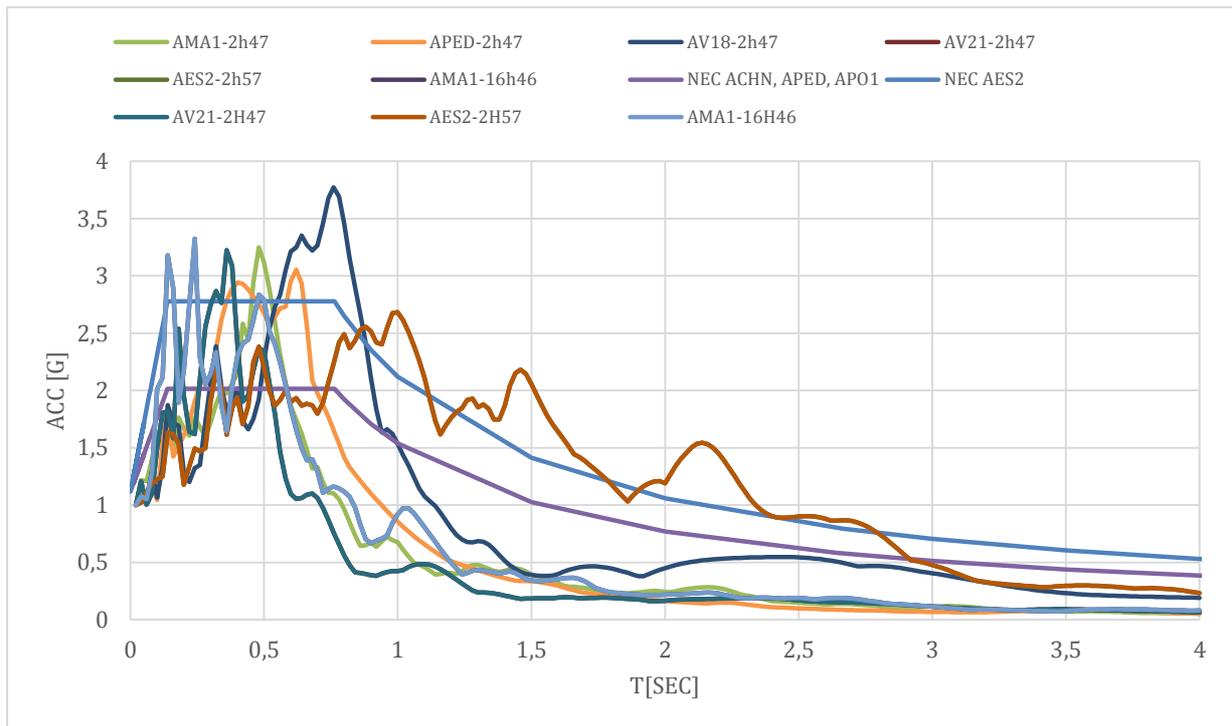


Figura 114: Espectro elástico de respuesta de aceleración normalizado para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E

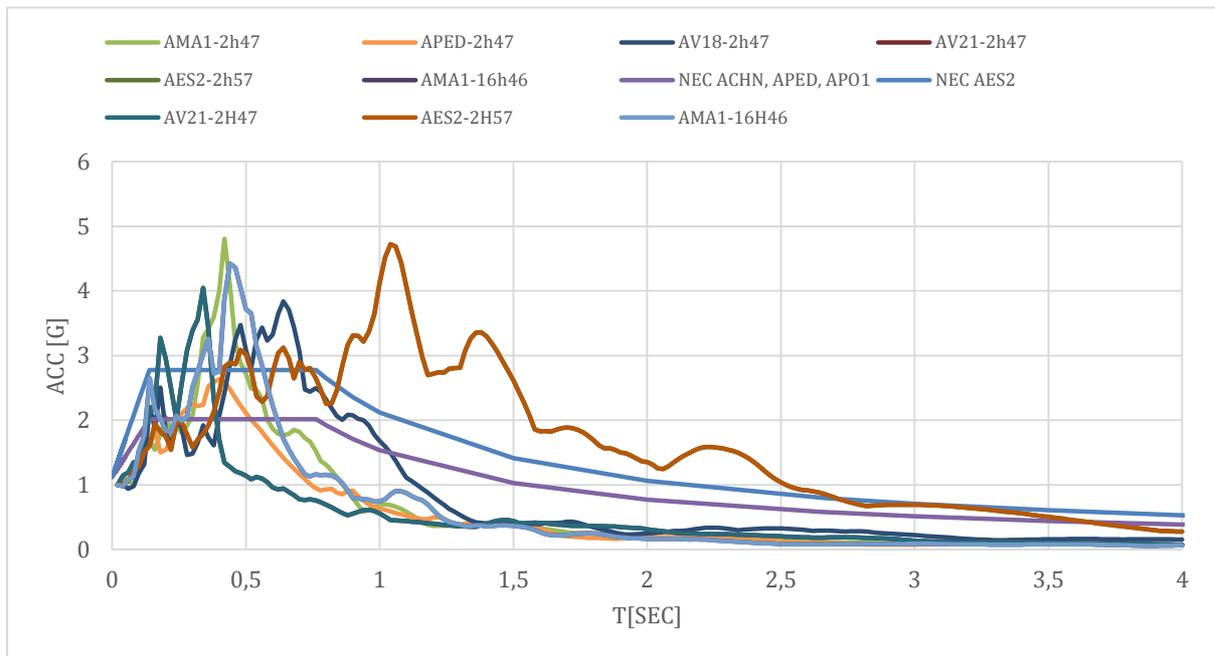


Figura 115: Espectro elástico de respuesta de aceleración normalizado para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N

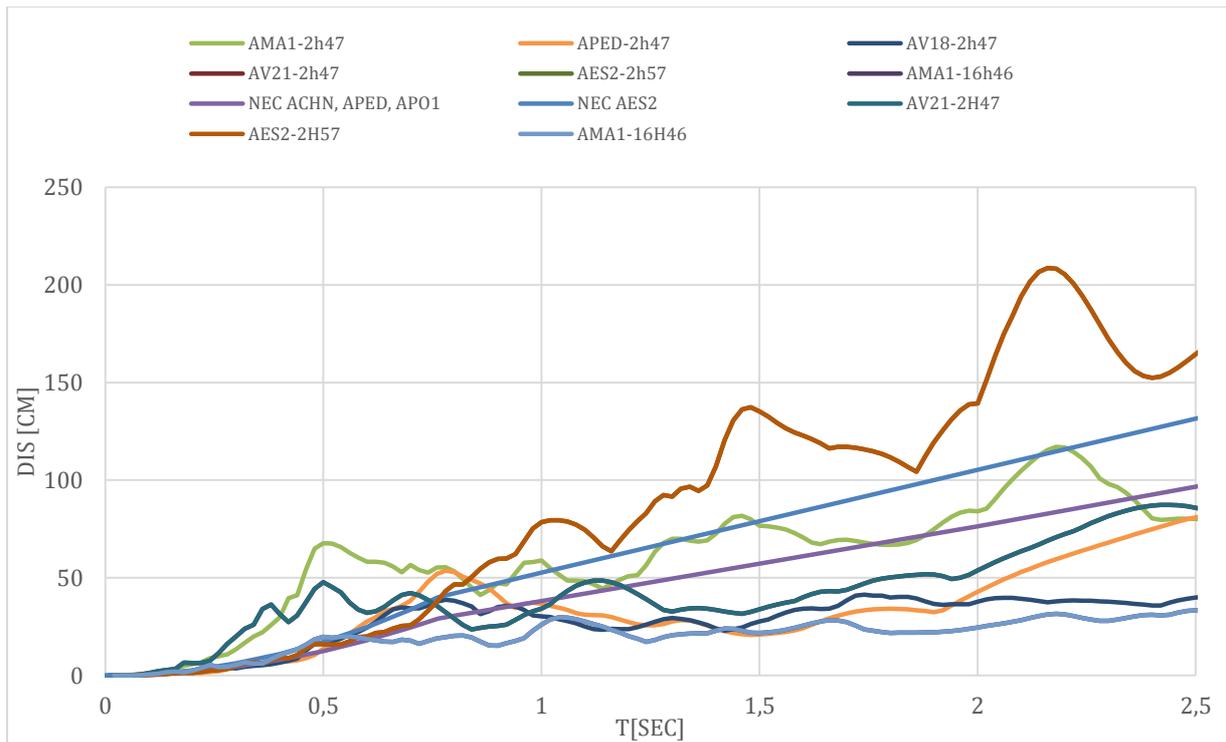


Figura 116: Espectro elástico de respuesta de desplazamiento para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

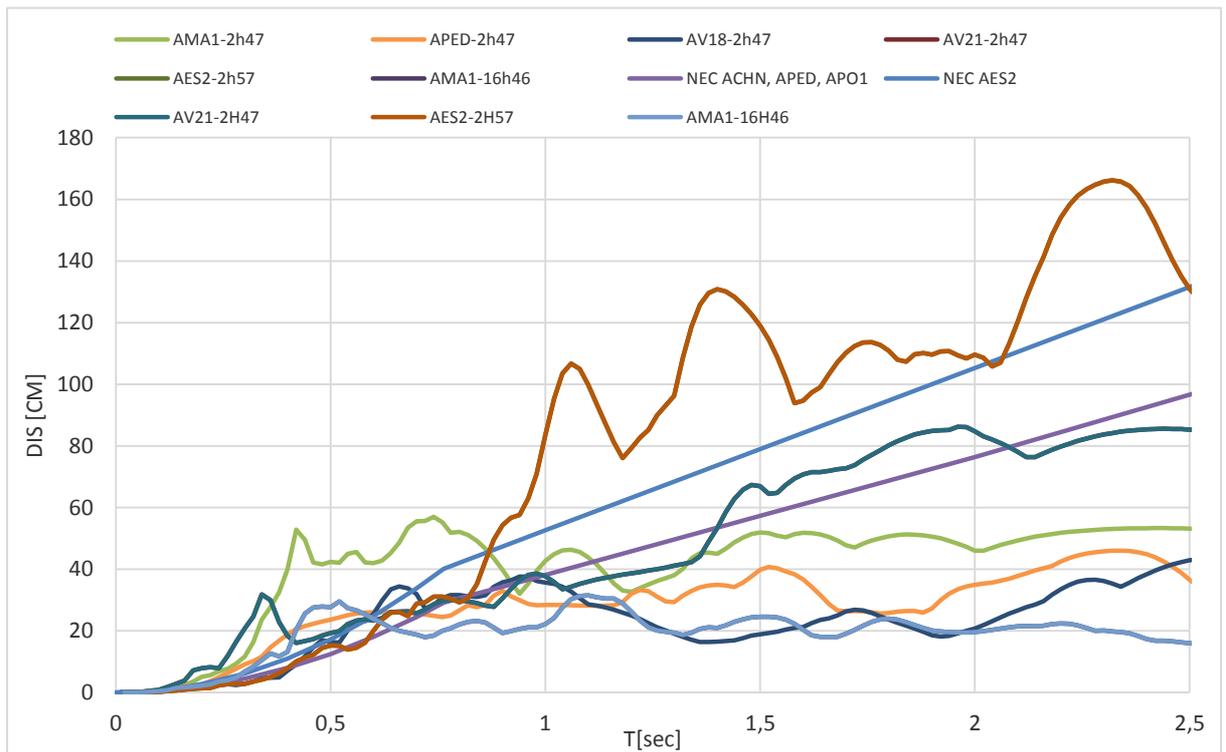


Figura 117: Espectro elástico de respuesta de desplazamiento para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.

En los gráficos presentados podemos ver la comparación entre los espectros elásticos de Aceleración normalizada y Desplazamiento obtenidos por los registros de las réplicas y los registros para las ciudades a considerarse de acuerdo a la NEC. La mayoría de los registros están cubiertos por la Norma, pero hay estaciones en las cuales los registros exceden los valores propuestos considerablemente como en las estaciones AMA1, AV21 y AES2 todas en la ciudad de Esmeraldas en especial para estructuras con periodos entre 0 y 1.5 segundos, las más comunes en el país como se evidencia en las figuras 111 y 112.

Lo mismo es cierto en los espectros de desplazamiento, en donde estas estaciones son las que presentan un comportamiento bastante diferente al de los demás registros y los espectros de diseño. Se evidencia que para varios periodos los espectros de la NEC no son lo suficientemente estrictos.

Análisis de los registros en suelo tipo D para espectros inelásticos con ductilidad 1.5

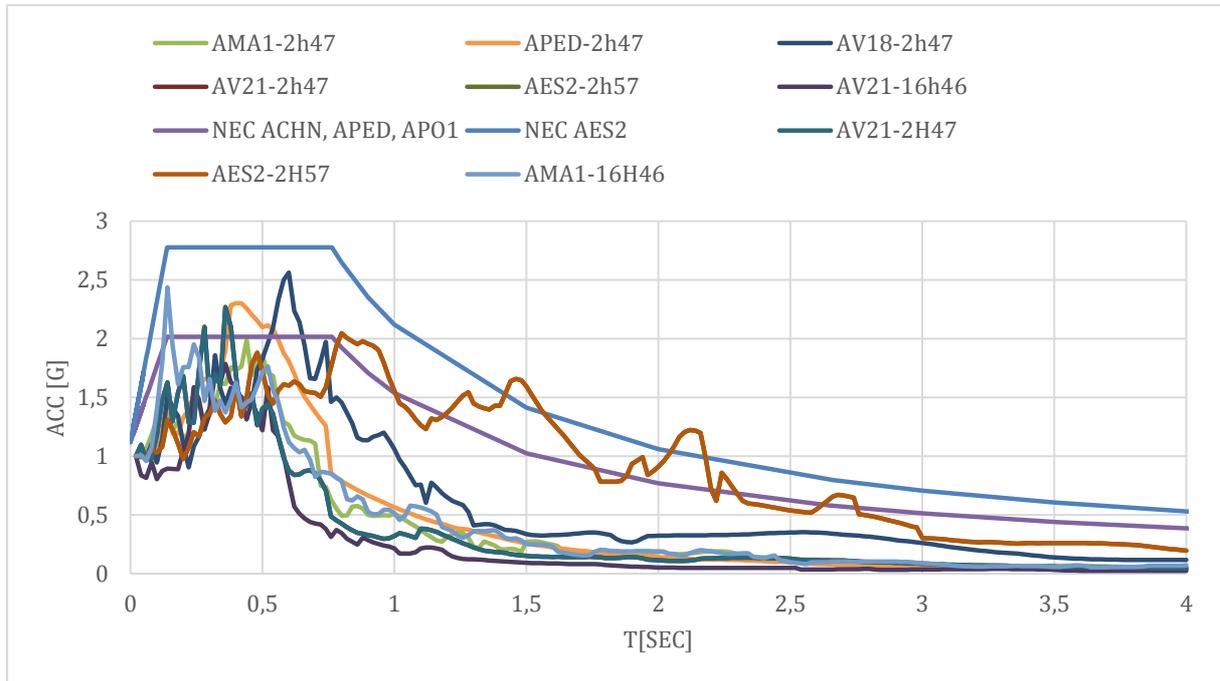


Figura 118: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 1.5 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

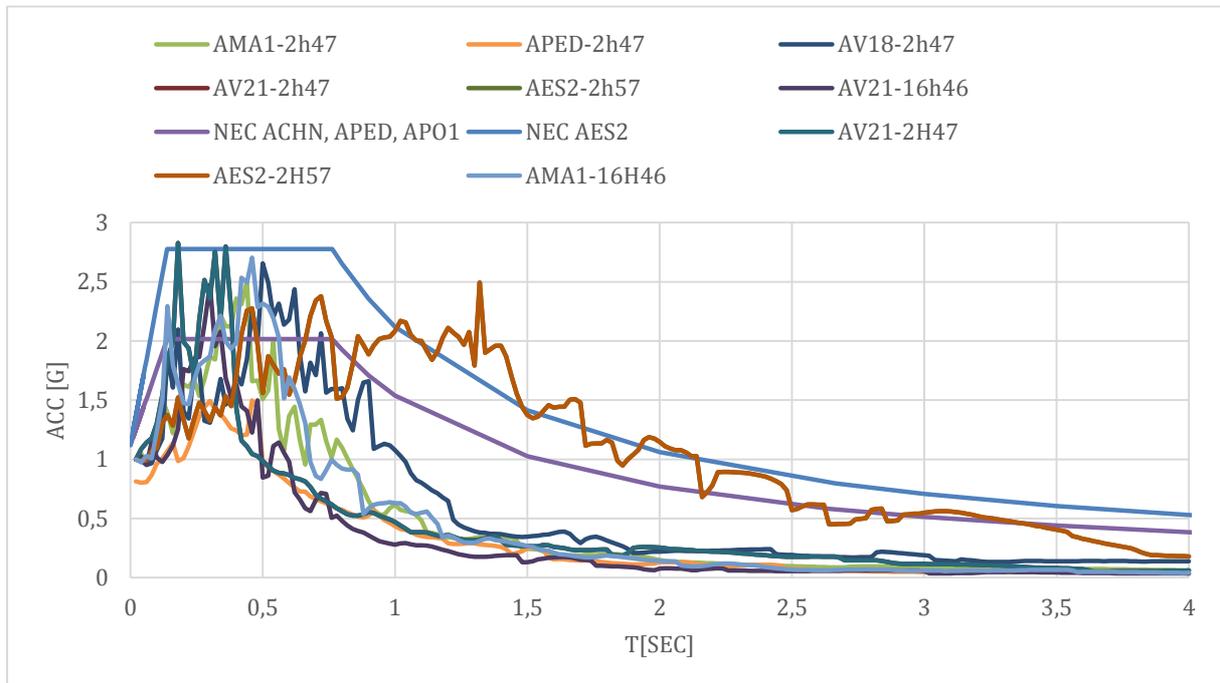


Figura 119: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 1.5 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N

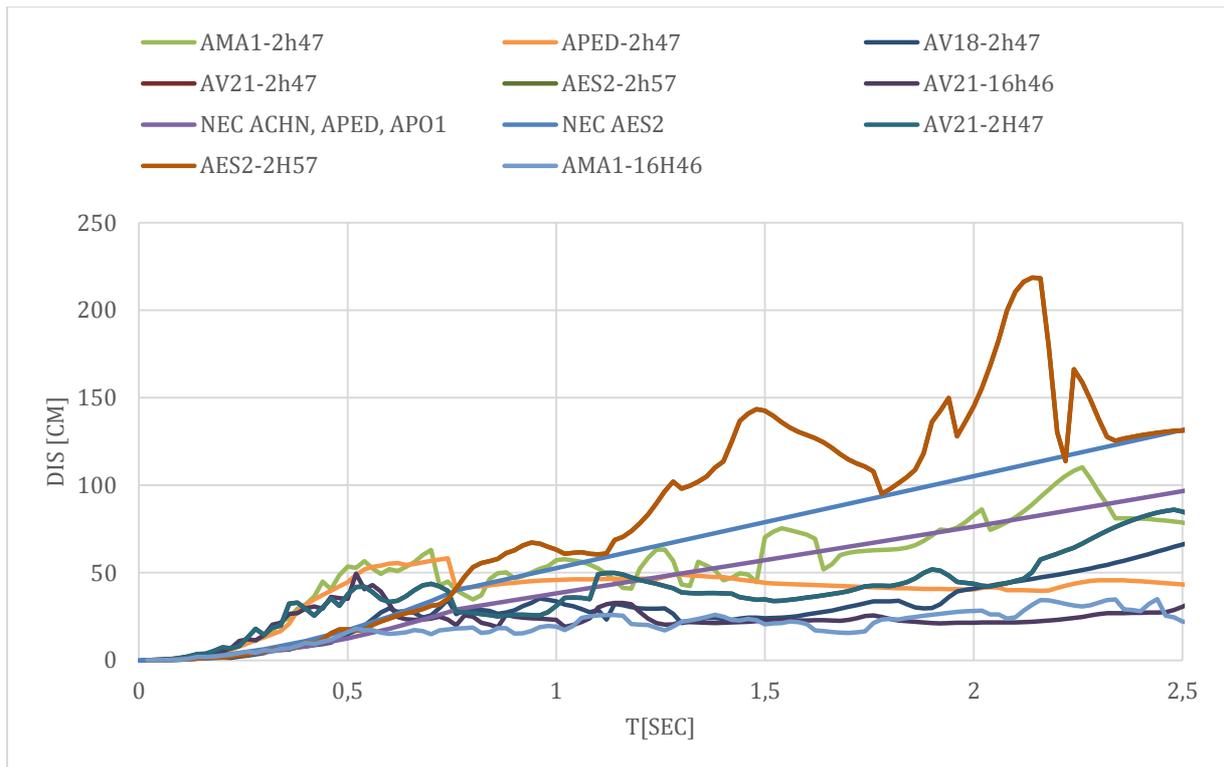


Figura 120: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 1.5 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

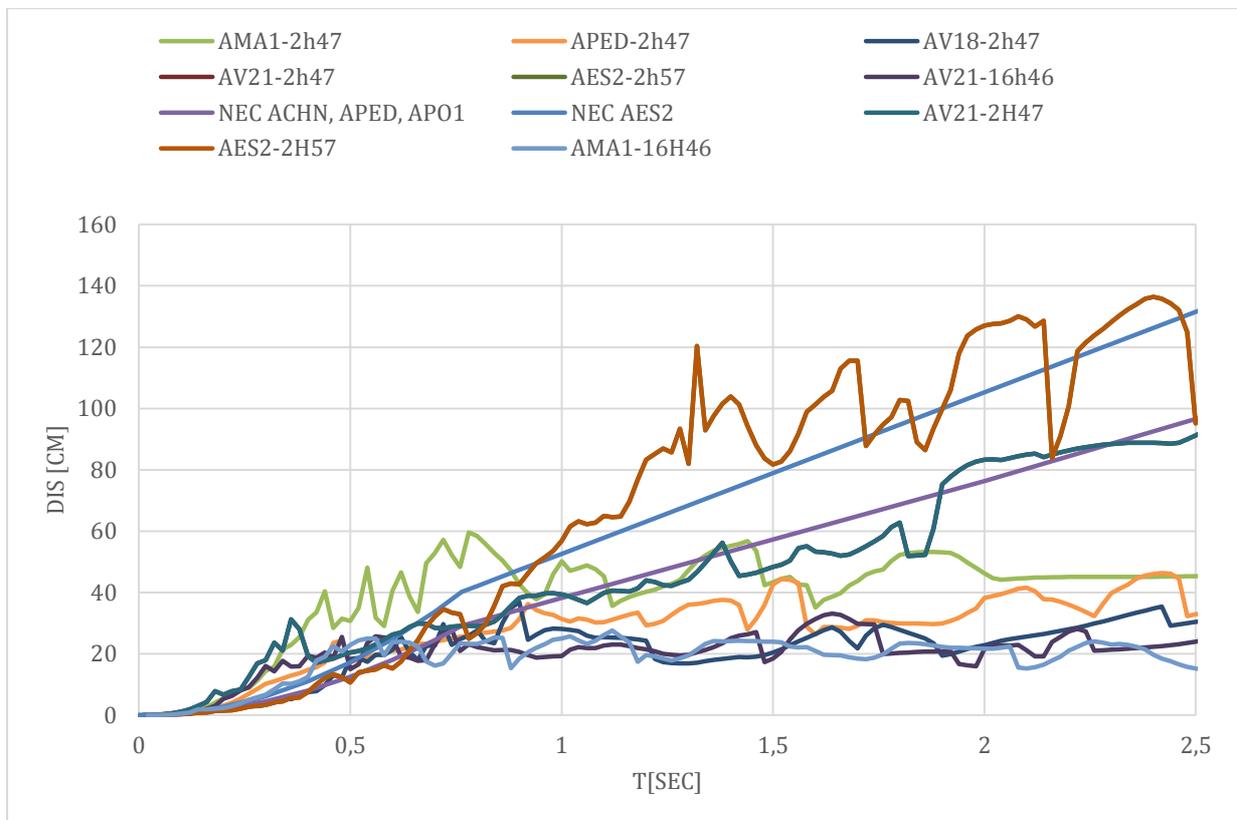


Figura 121: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 1.5 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.

Los espectros inelásticos de respuesta de R_y de ductilidad 1.5 con la ecuación propuesta por Miranda, 1997:

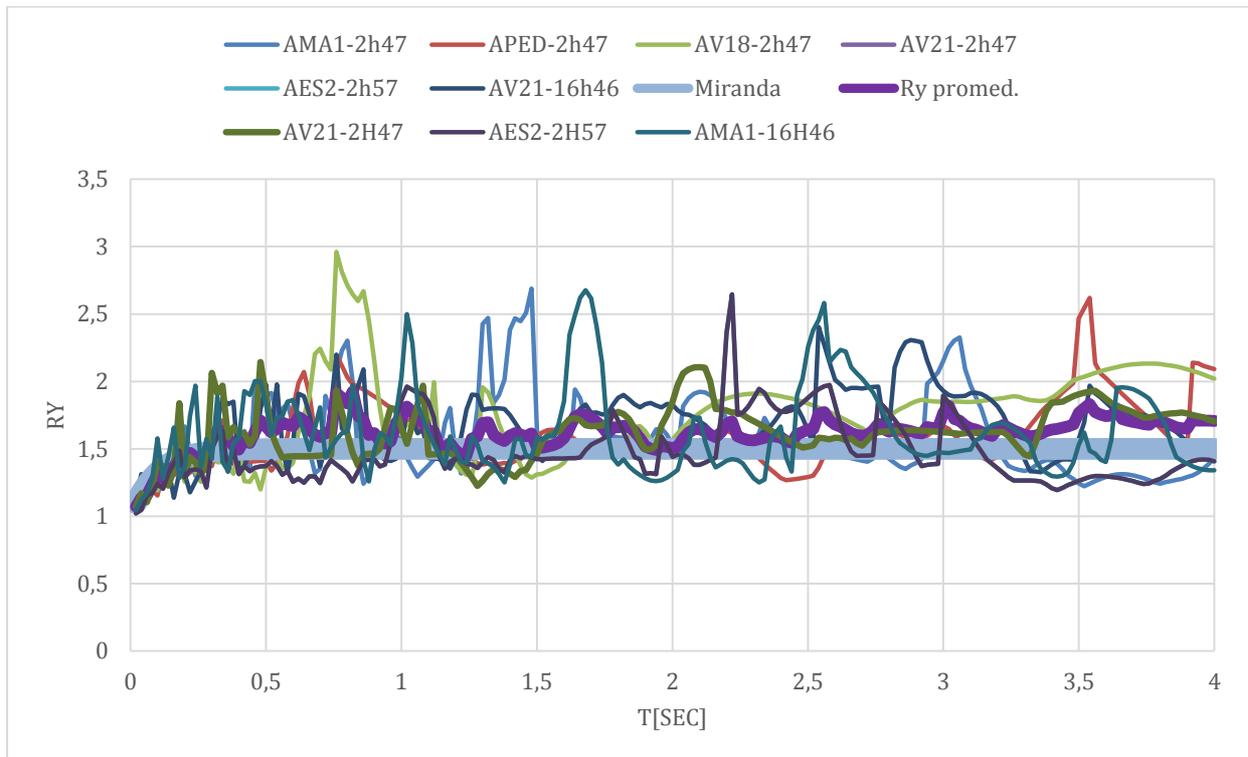


Figura 122: Espectro inelástico de respuesta R_y de ductilidad 1.5 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

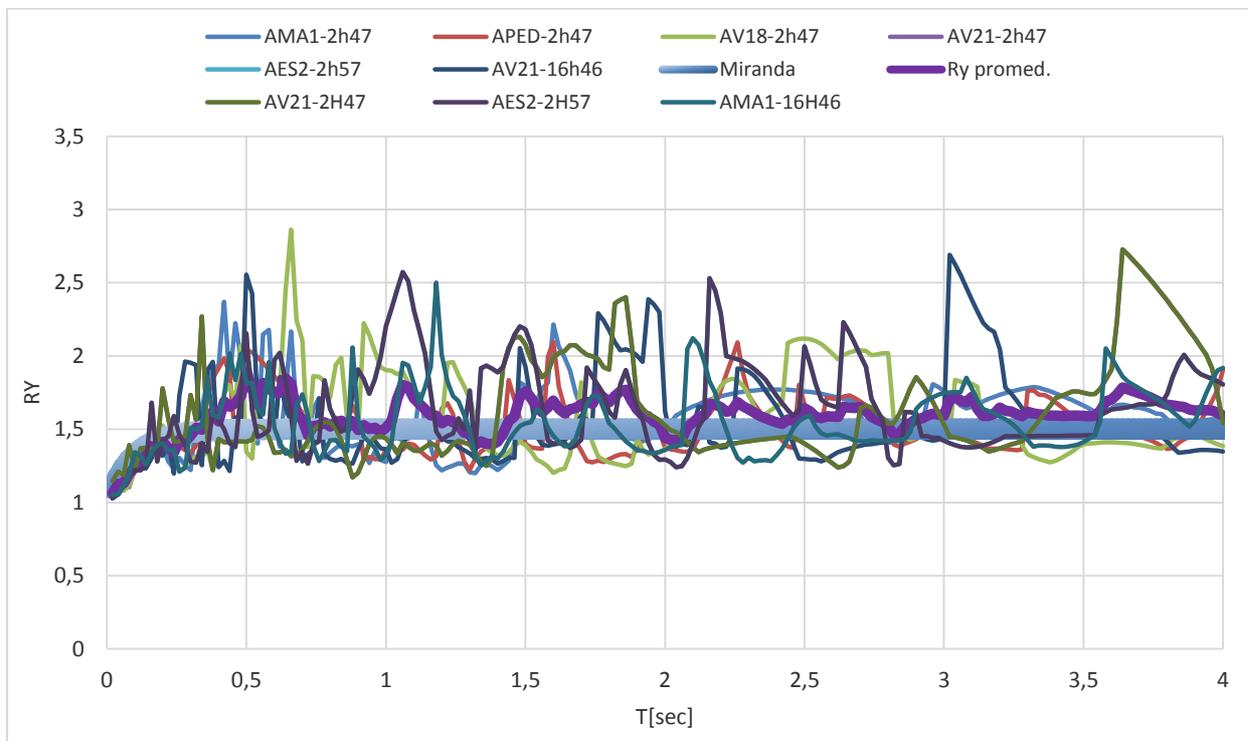


Figura 123: Espectro inelástico de respuesta R_y de ductilidad 1.5 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.

Al realizar el análisis con 1.5 de ductilidad vemos que los espectros se cubren prácticamente en su totalidad con los de la NEC para la ciudad de Esmeraldas, existen picos de aceleración entre los 1 y 1.5 segundos, pero son únicamente para el Registro de la estación AES2 la cual desde un inicio exhibe comportamientos anómalos, por lo cual se requeriría validar la calidad del registro. Los resultados de los espectros de desplazamiento tienen un comportamiento semejante a la de los elásticos, muchos de ellos exceden las normas de diseño a pesar de un incremento en la ductilidad de la estructura.

En cuanto a los espectros inelásticos de respuesta de R_y podemos ver que la curva promediada de los resultados sigue la misma tendencia de la ecuación de Miranda para la ductilidad de 1.5. Los datos tienen una similitud del 56% para la componente Este y 61% para la componente Norte.

Análisis de los registros en suelo tipo D para espectros inelásticos con ductilidad 2.

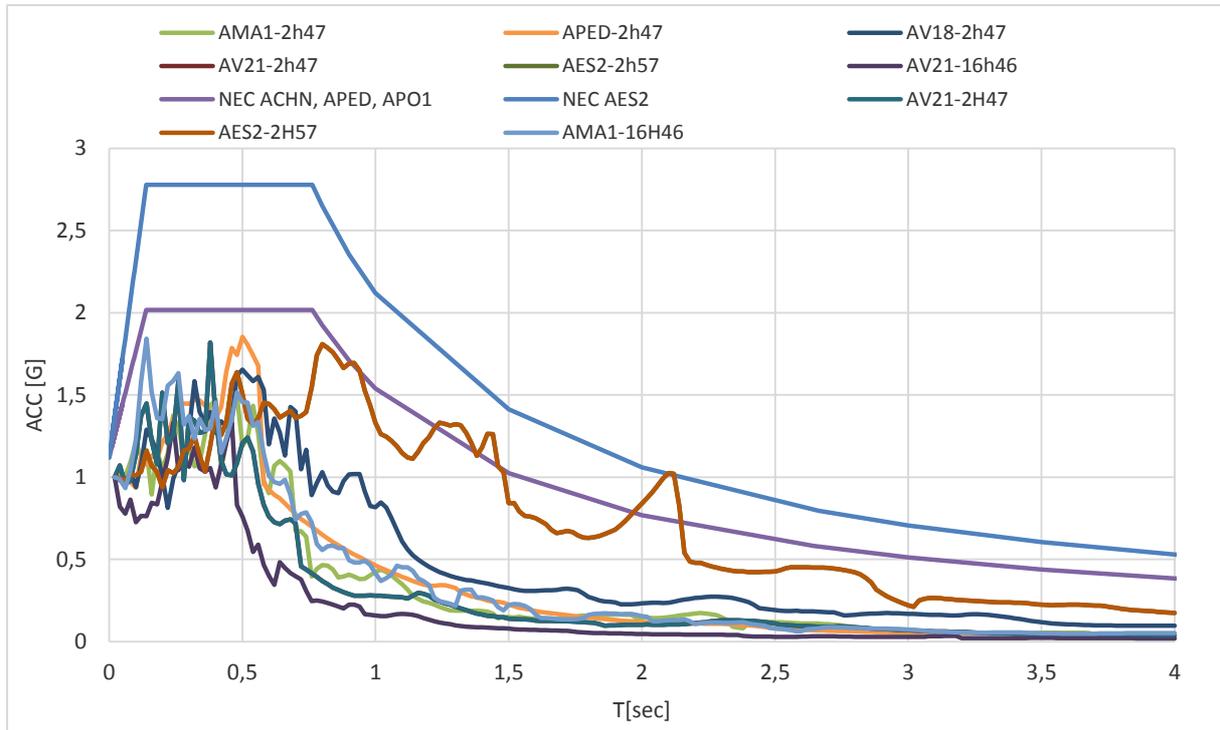


Figura 124: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

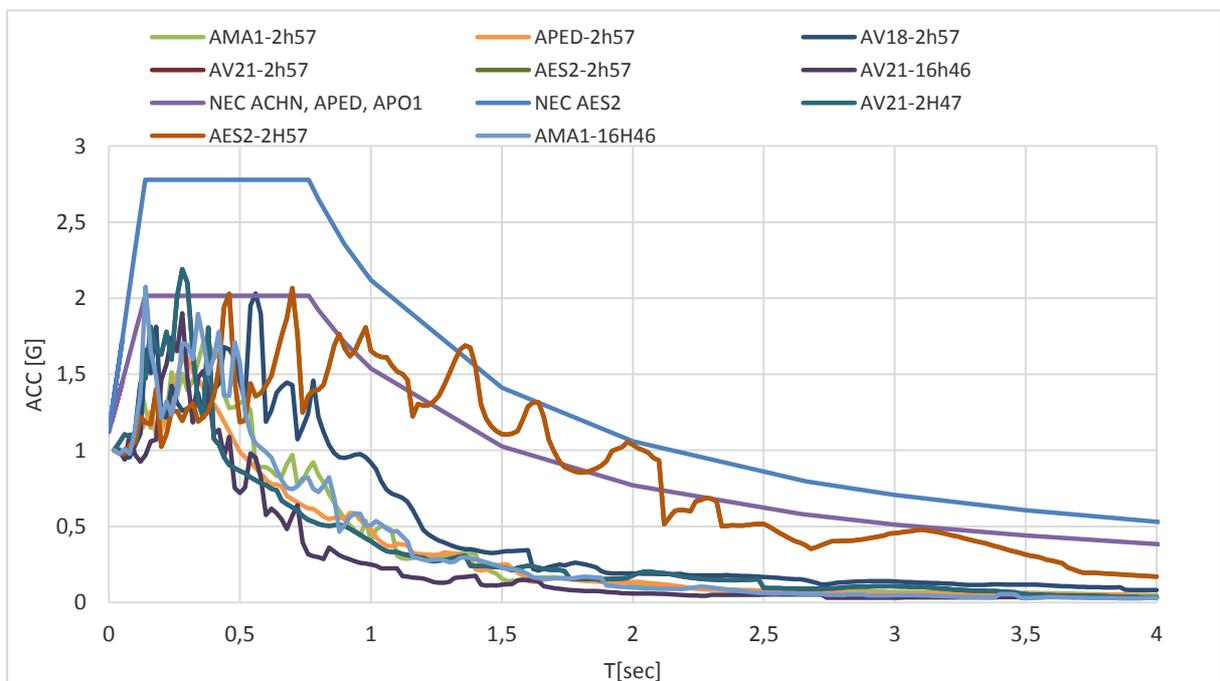


Figura 125: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.

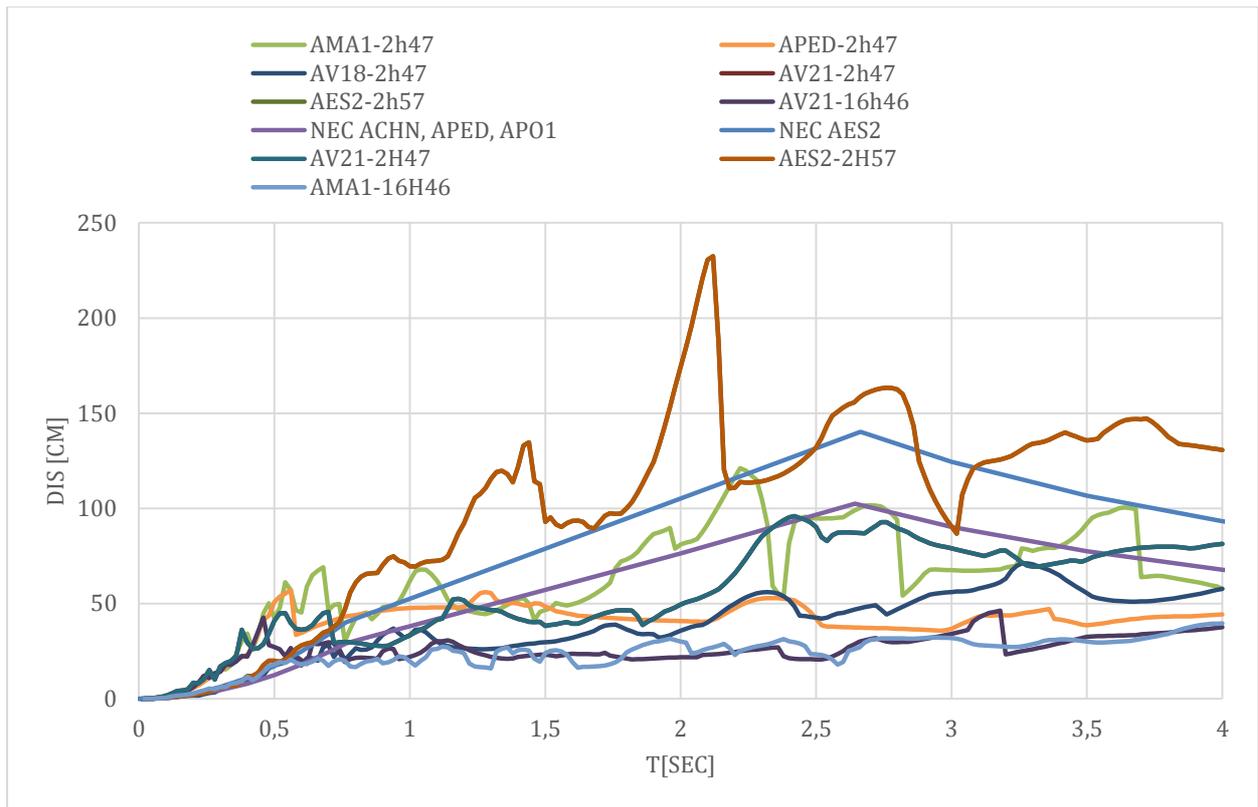


Figura 126: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

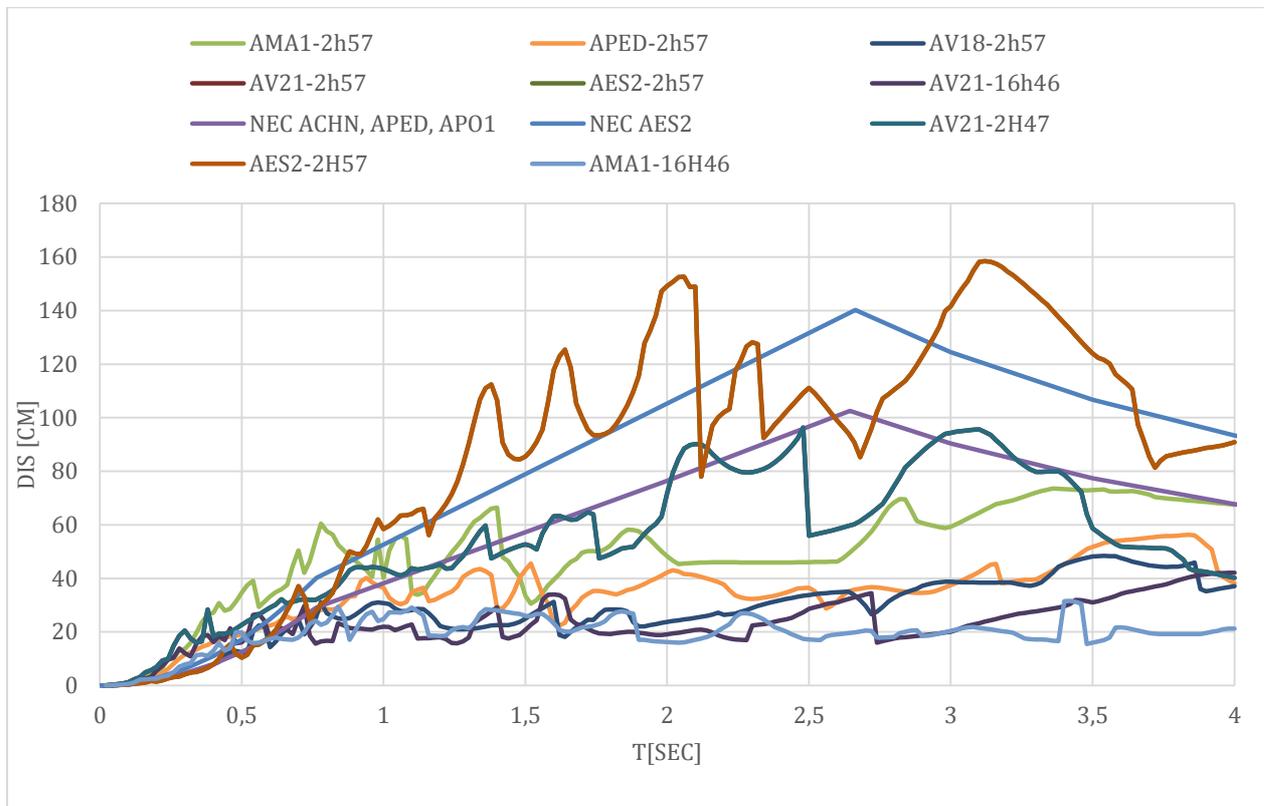


Figura 127: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.

Los espectros inelásticos de respuesta de R_y de ductilidad 2 con la ecuación propuesta por Miranda, 1997:

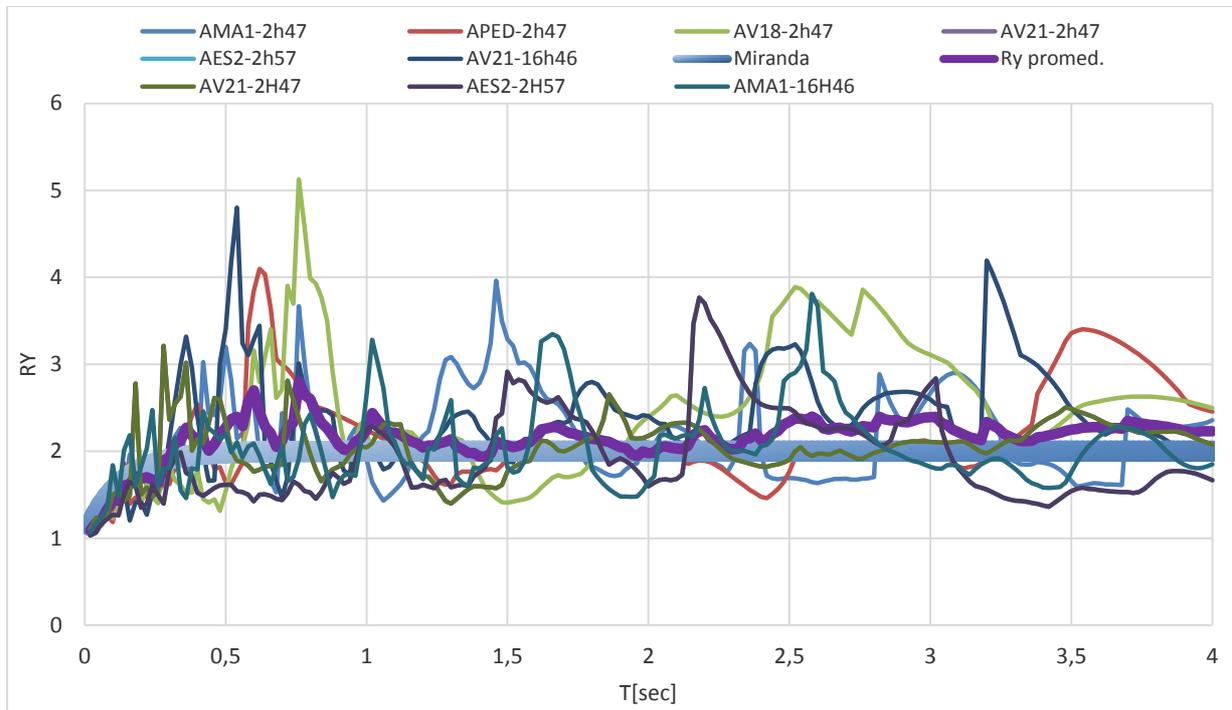


Figura 128: Espectro inelástico de respuesta R_y de ductilidad 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

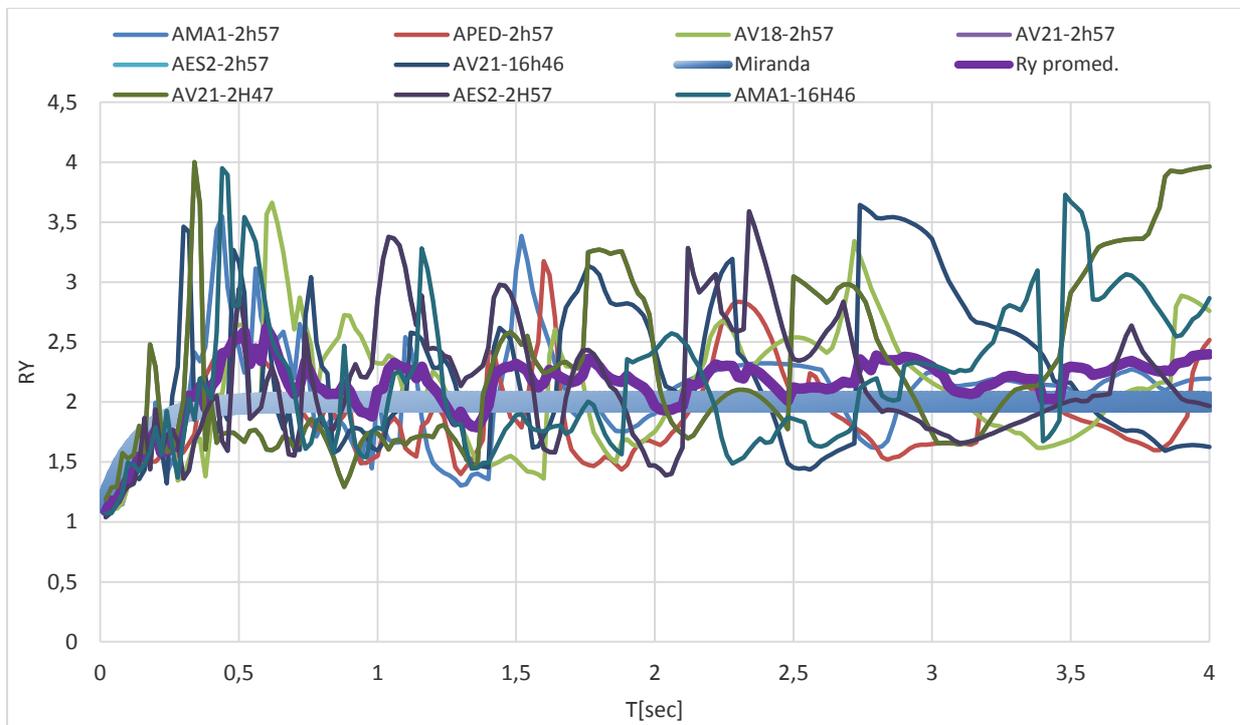


Figura 129: Espectro inelástico de respuesta R_y de ductilidad 2 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N

Para un valor de ductilidad de 2 se logra ver como las aceleraciones bajan considerablemente, entrado prácticamente en su totalidad bajo las normas de diseño de la NEC, tanto para los espectros de las estaciones situadas en Pedernales como para los de aquellas en Esmeraldas, con la excepción del registro de la estación AMA1 del evento de las 2h57 que sigue exhibiendo que sobrepasan la norma. En los espectros de desplazamiento con cada incremento de ductilidad se acercan más a los valores de la norma, aunque los valores obtenidos entre los periodos de 0 y 2 segundos para ciertos registros siguen con valores altos.

Los espectros inelásticos de respuesta de R_y con ductilidad 2 promediados siguen la misma tendencia que la curva de la ecuación de Miranda. Existe una relación de 51% para la componente Este y de 59% para la componente Norte.

Análisis de los registros en suelo tipo D para espectros inelásticos con ductilidad 4.

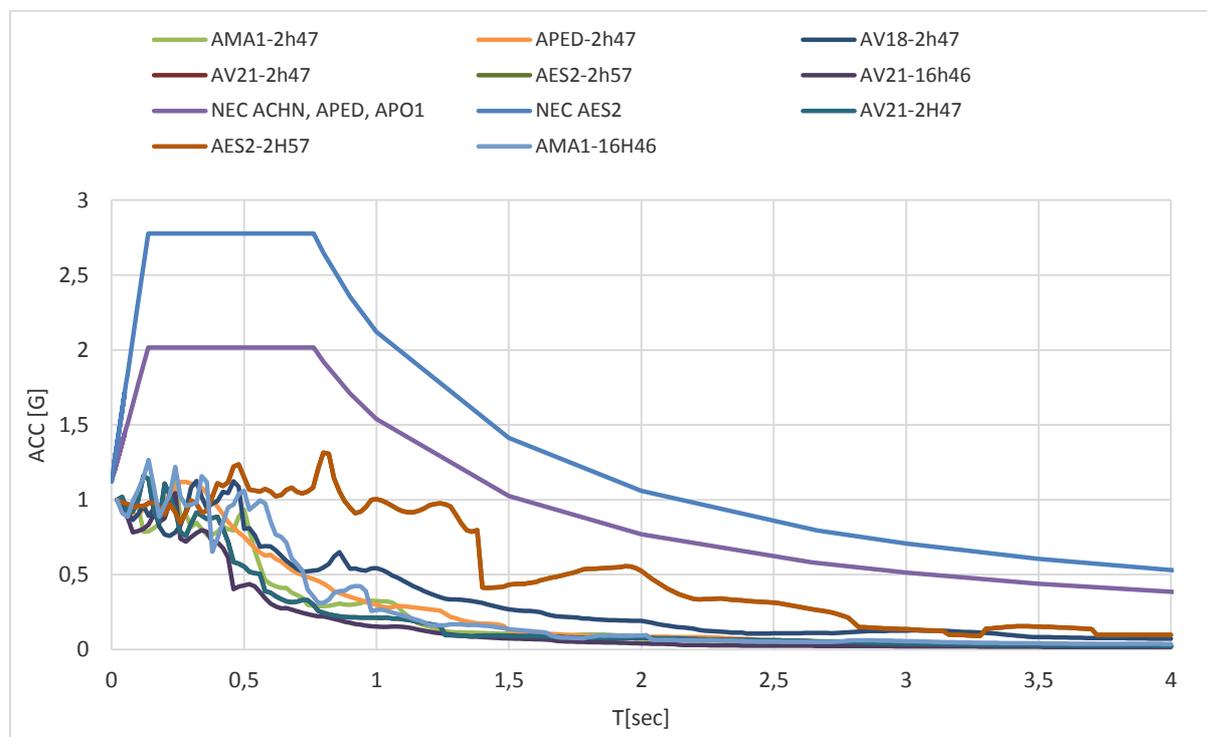


Figura 130: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

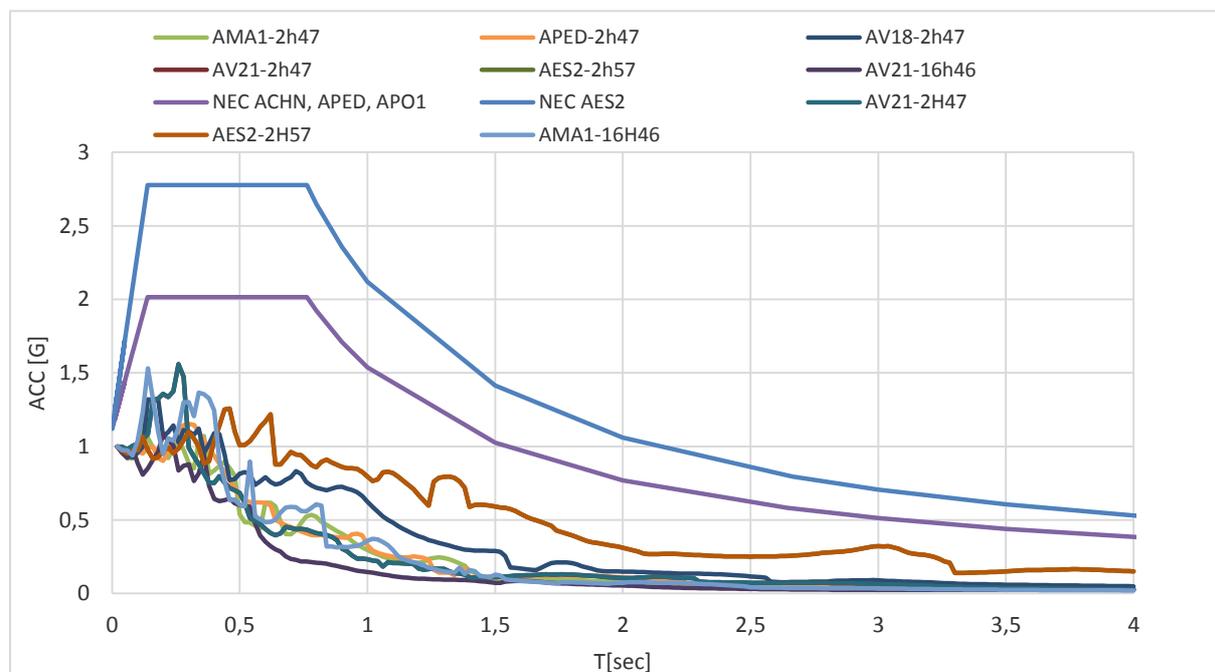


Figura 131: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.

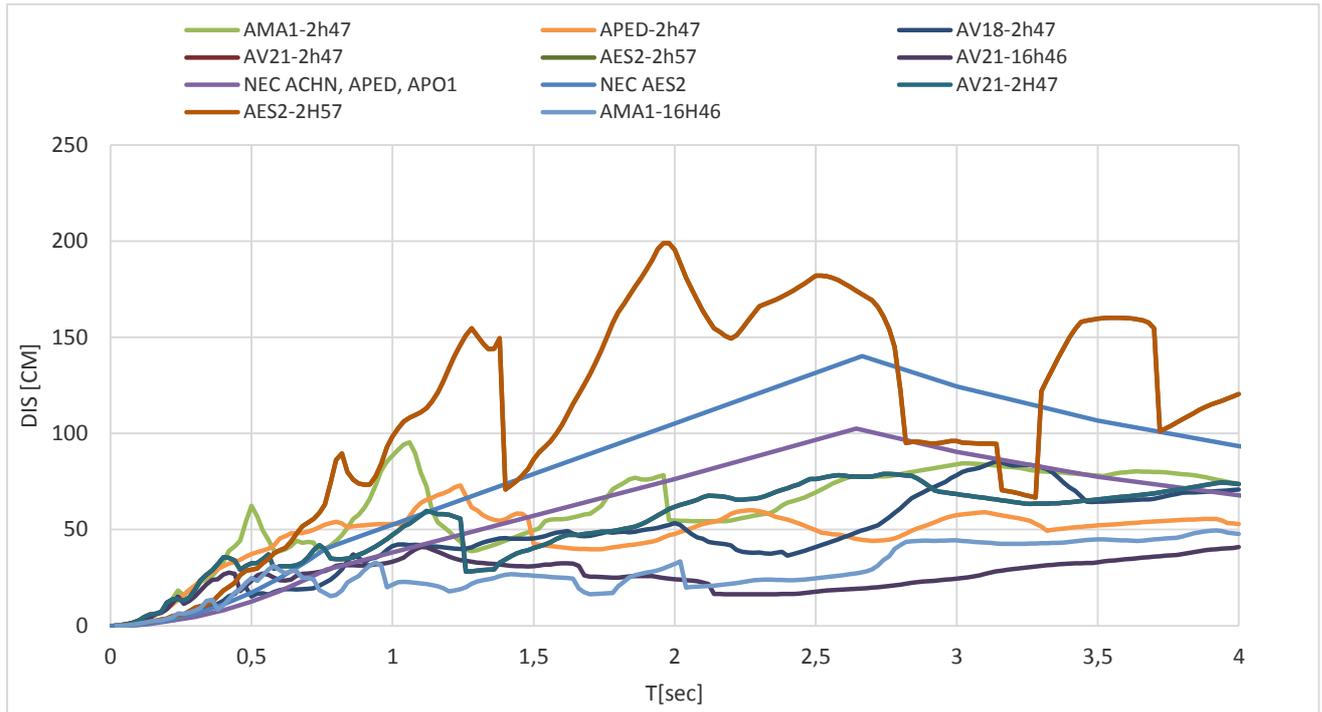


Figura 132: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

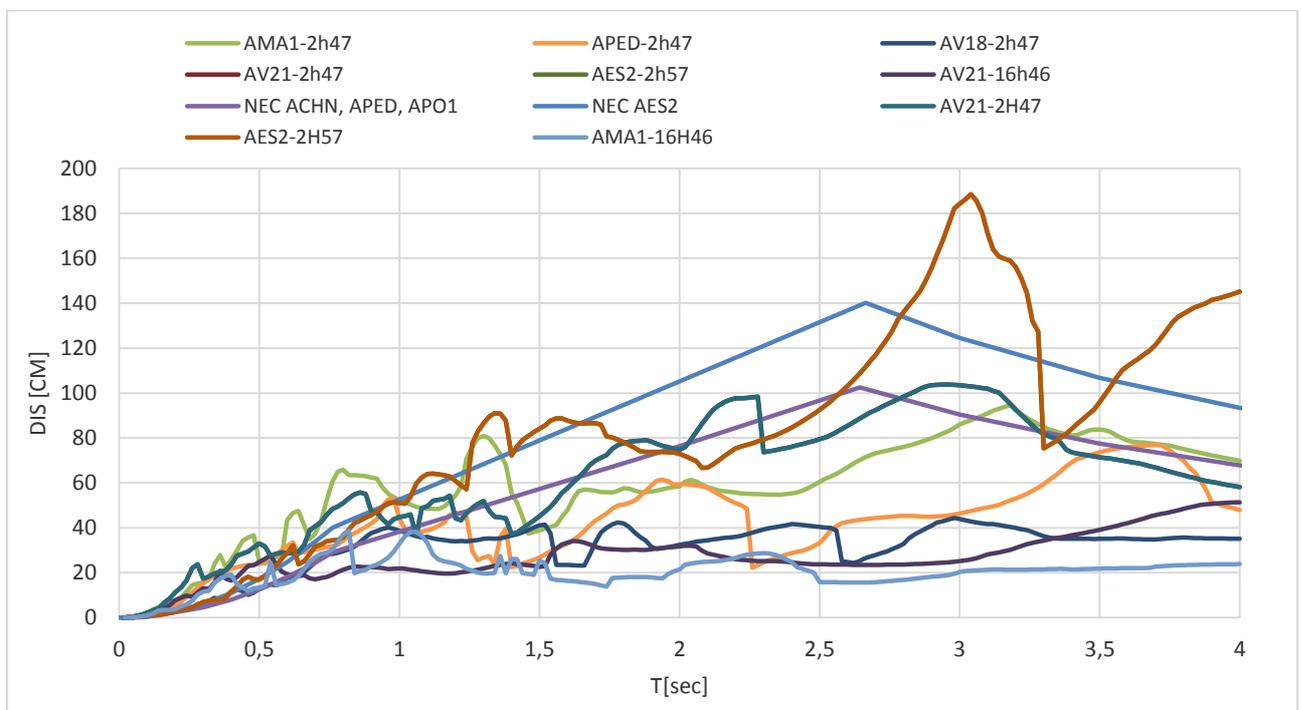


Figura 133: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.

Los espectros inelásticos de respuesta de R_y de ductilidad 4 con la ecuación propuesta por Miranda, 1997:

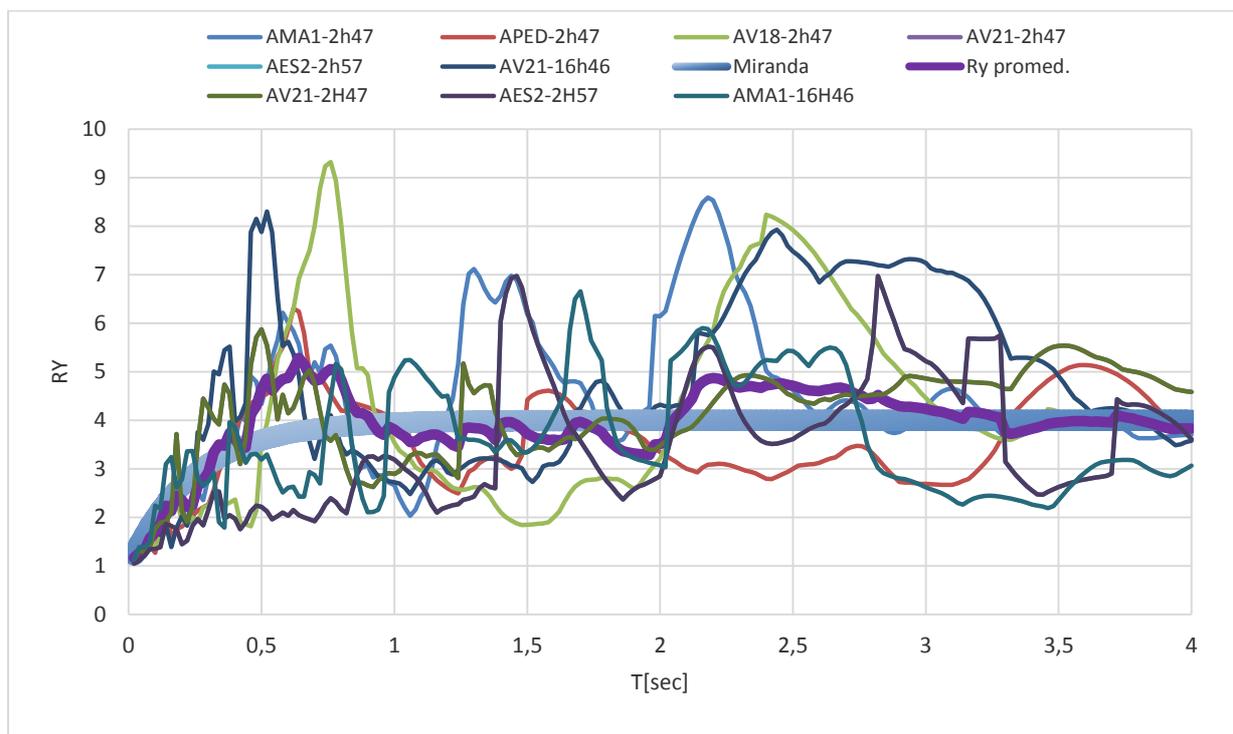


Figura 134: Espectro inelástico de respuesta R_y de ductilidad 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

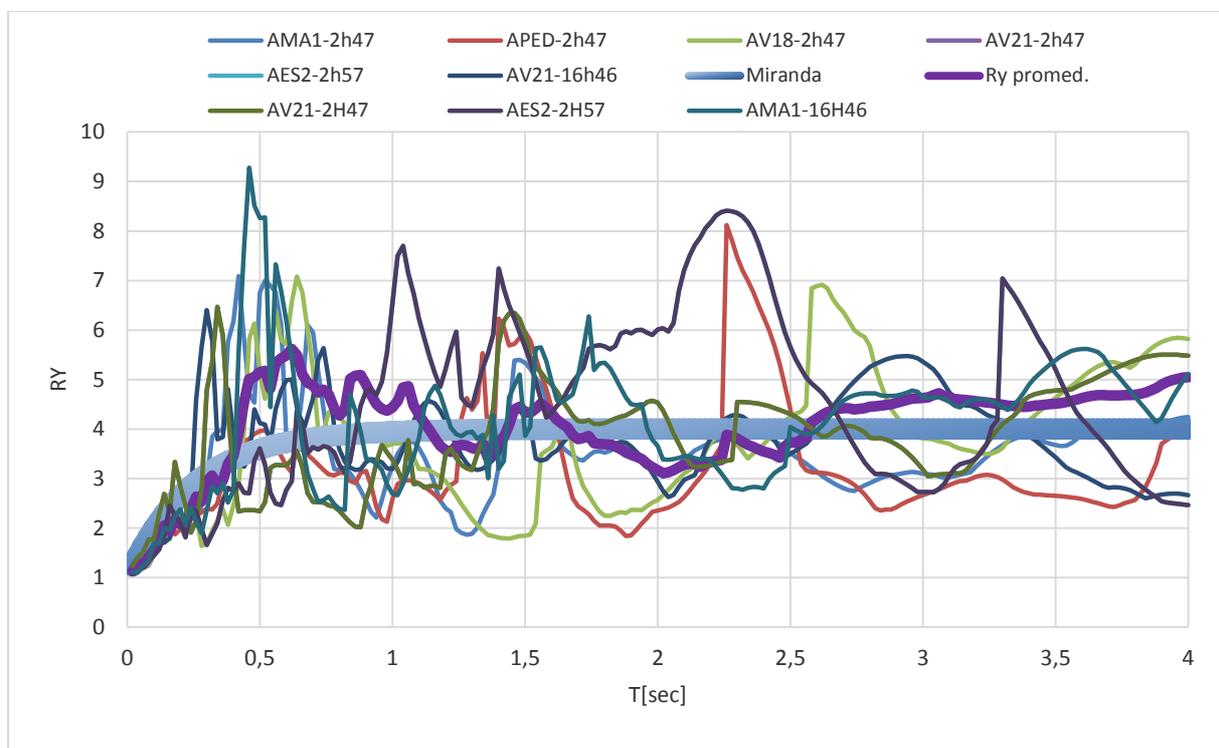


Figura 135: Espectro inelástico de respuesta R_y de ductilidad 4 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N

Al llegar a una ductilidad de 4 se logra que todos los espectros de aceleraciones estén por debajo de los valores establecidos en la NEC para estructuras con periodos de vibración de hasta 4 segundos. Los espectros de respuesta para desplazamiento siguen exhibiendo el mismo comportamiento, con valores que sobrepasan la norma.

Los espectros inelásticos de respuesta de R_y siguen con el mismo patrón, la curva promediada guarda similitud con la curva generada por la ecuación de Miranda en este caso existe un 67% de similitud para las componentes Este mientras que hay un 63% para la curva de las componentes Norte.

Análisis de los registros en suelo tipo D para espectros inelásticos con ductilidad 8.

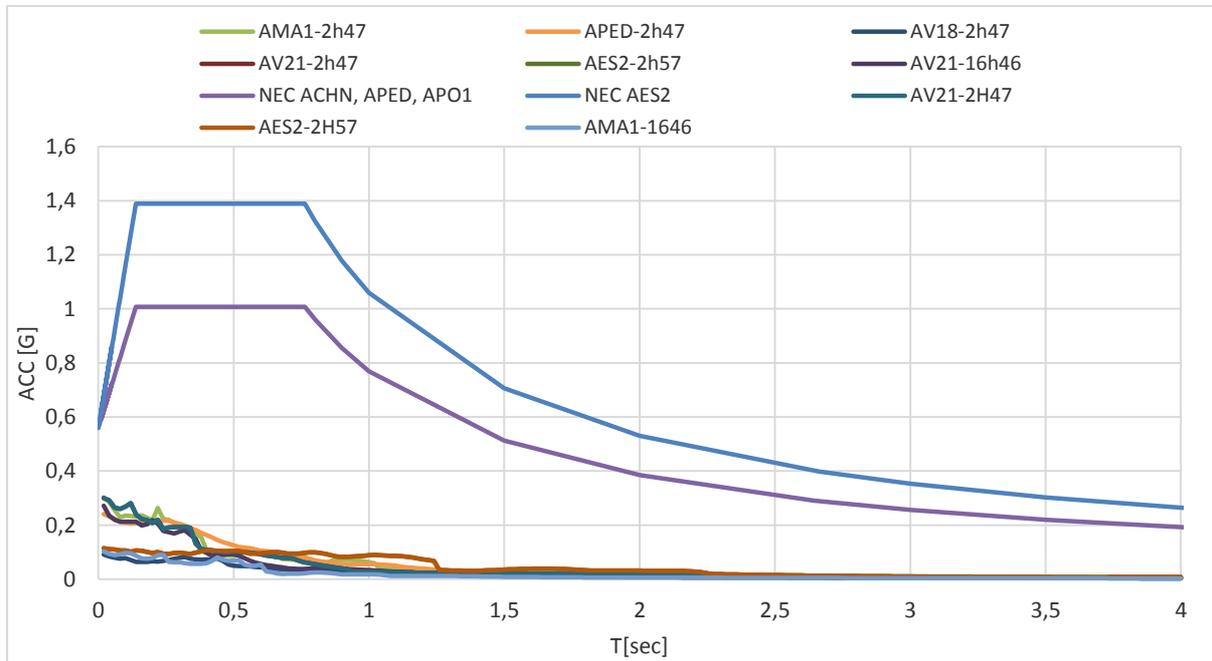


Figura 136: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

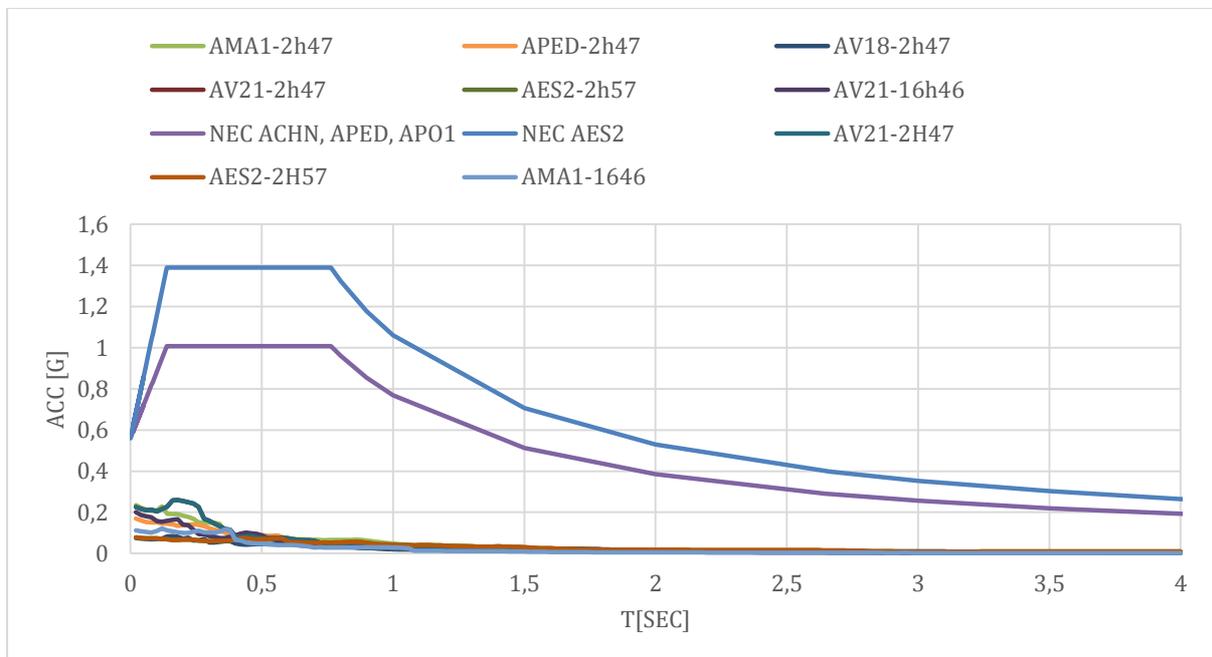


Figura 137: Espectro inelástico de respuesta de aceleración normalizado de ductilidad 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.

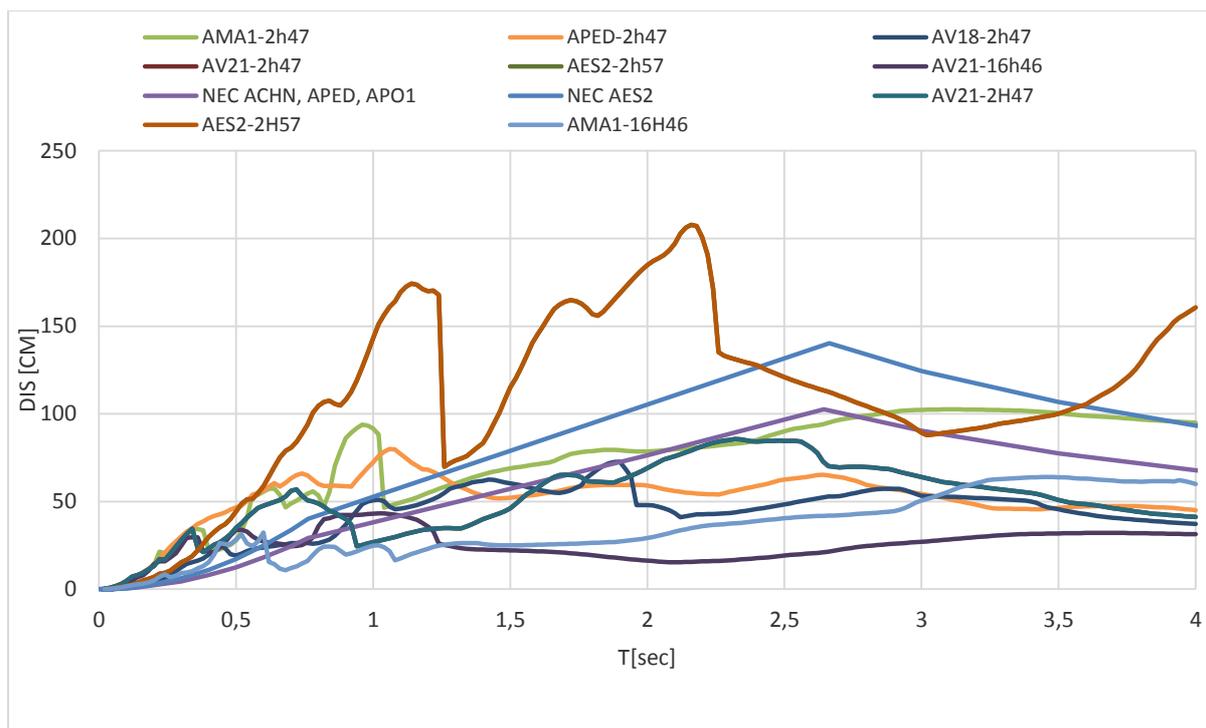


Figura 138: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

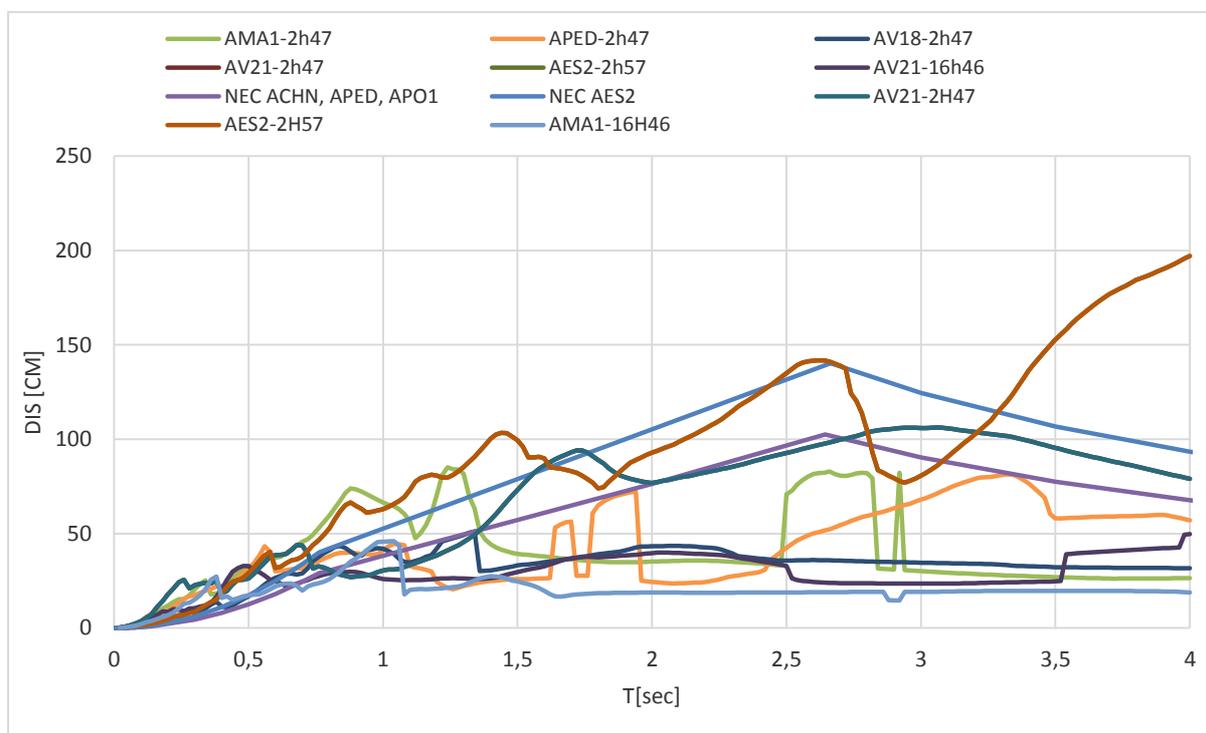


Figura 139: Espectro inelástico de respuesta de desplazamiento de ductilidad 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

Los espectros inelásticos de respuesta de R_y de ductilidad 8 con la ecuación propuesta por Miranda, 1997:

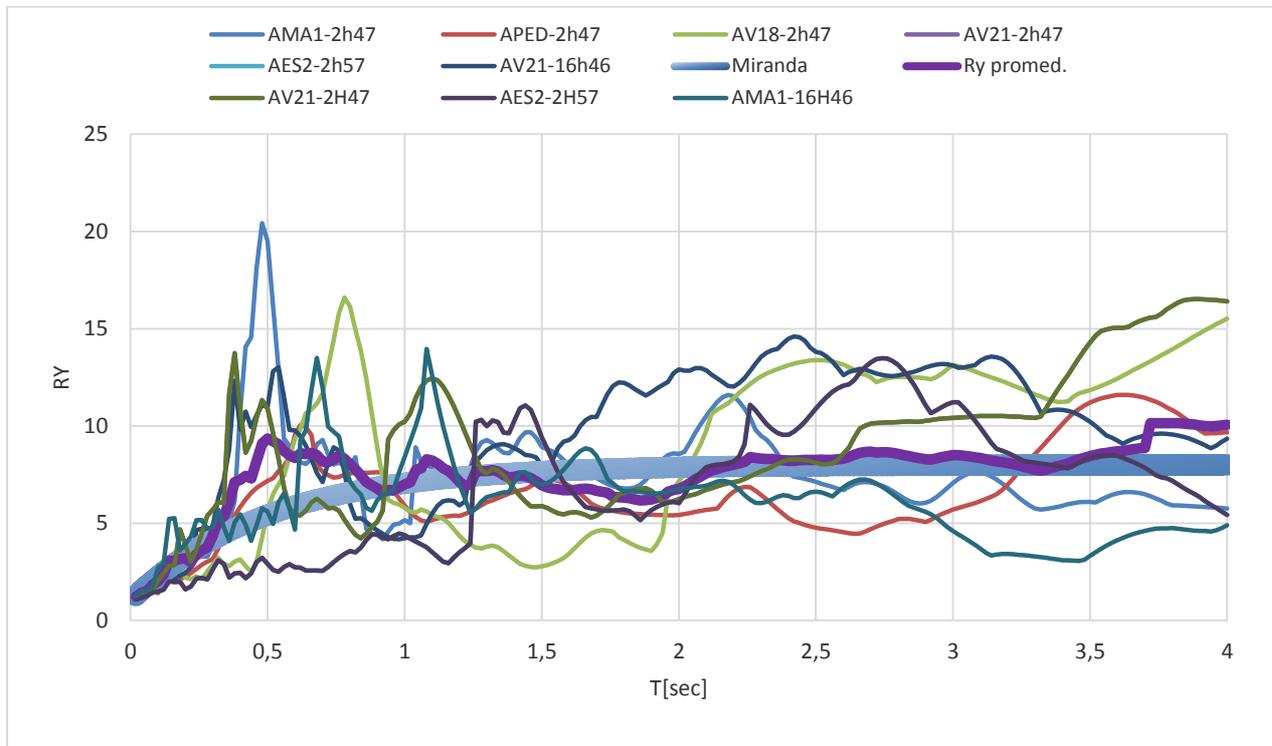


Figura 140: Espectro inelástico de respuesta R_y de ductilidad 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N

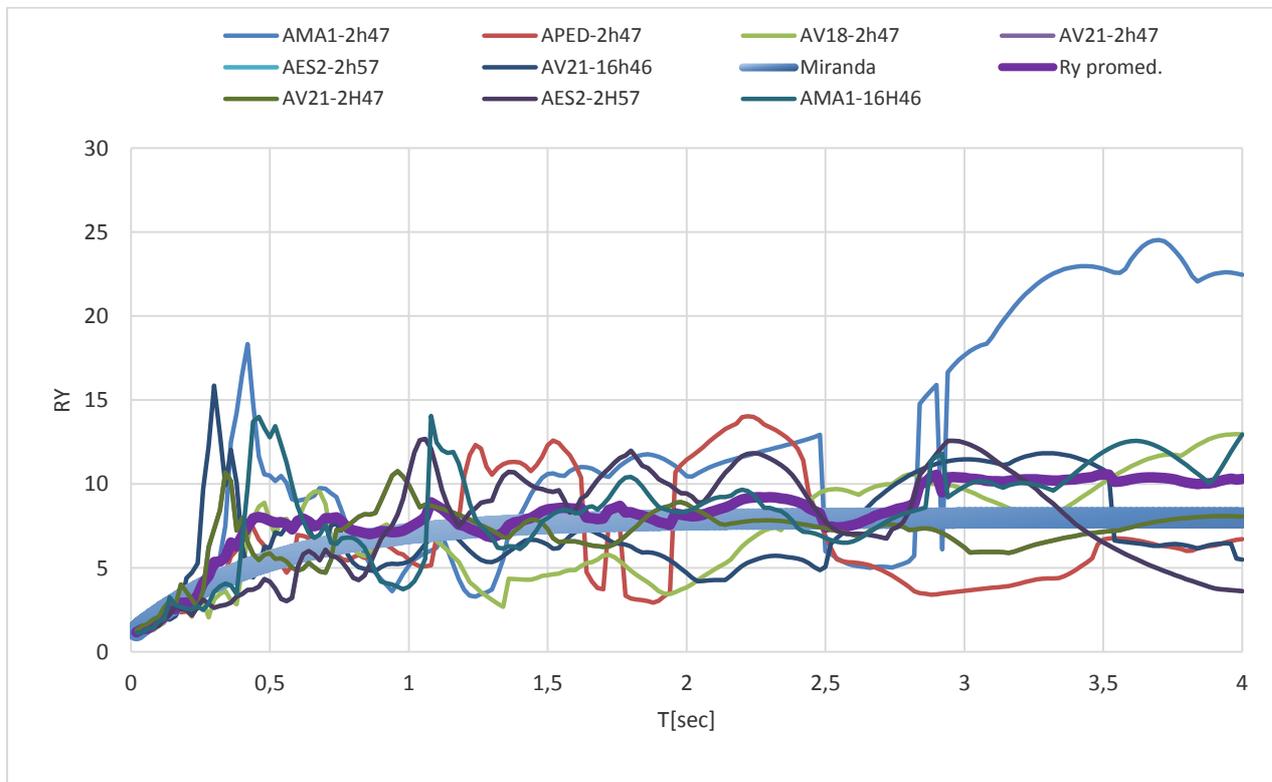
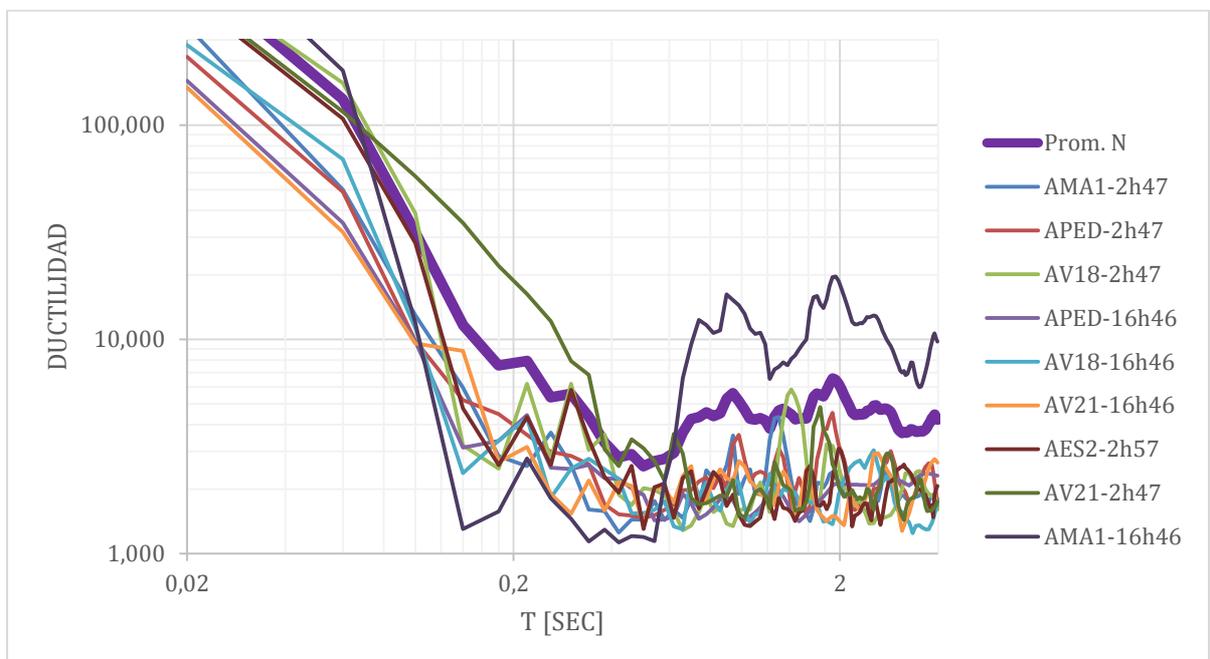
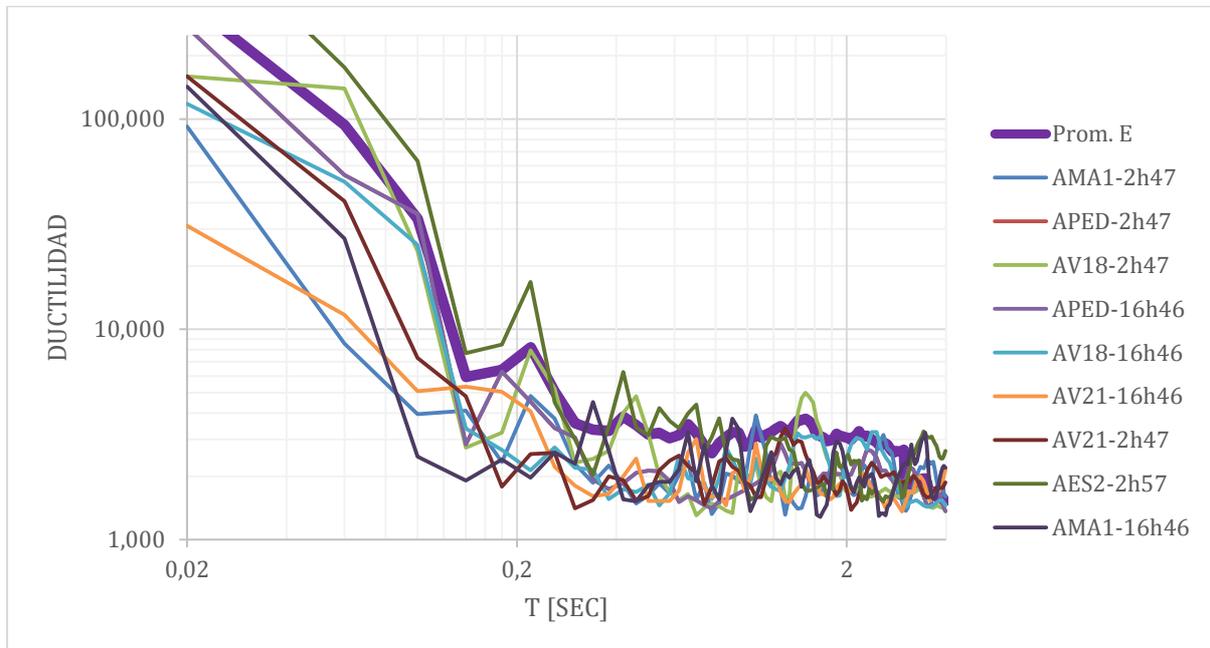


Figura 141: Espectro inelástico de respuesta R_y de ductilidad 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N

Con un valor de ductilidad de 8 las aceleraciones se reducen a valores muy bajos, no existe registro que se acerque a los valores de la norma. Los desplazamientos siguen con valores altos lo que indica posibles errores en los registros que requieren un mayor análisis y corrección.

Al promediar los valores de los espectros inelásticos de respuesta R_y se puede observar que con cada aumento de ductilidad la ecuación de Miranda predice mejor los resultados. Tenemos una similitud del 73% para las componentes del Este y de 71% para las componentes del Norte.

Análisis de los registros en suelo tipo D para espectros inelásticos de respuesta de demanda de ductilidad con Ry 2, 4 y 8.



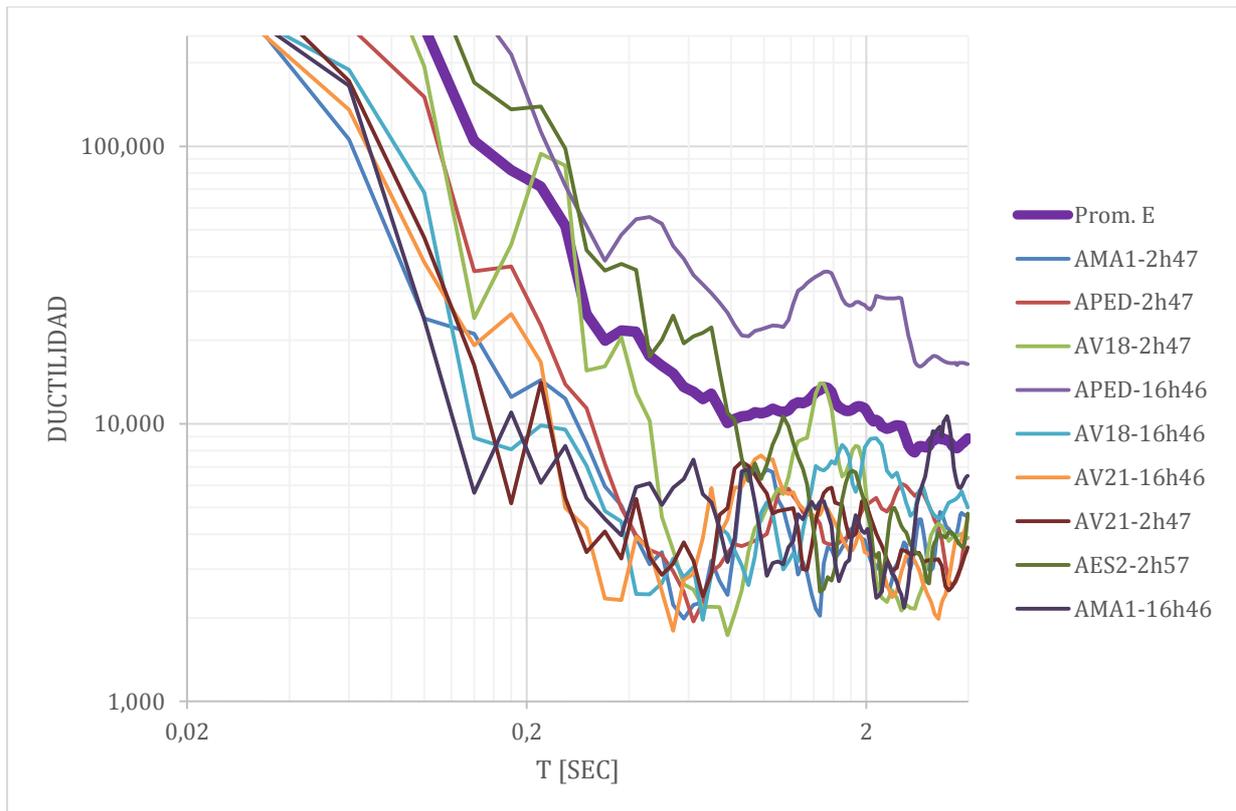


Figura 144: Espectro inelástico de respuesta de demanda ductilidad $R_y 4$ para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

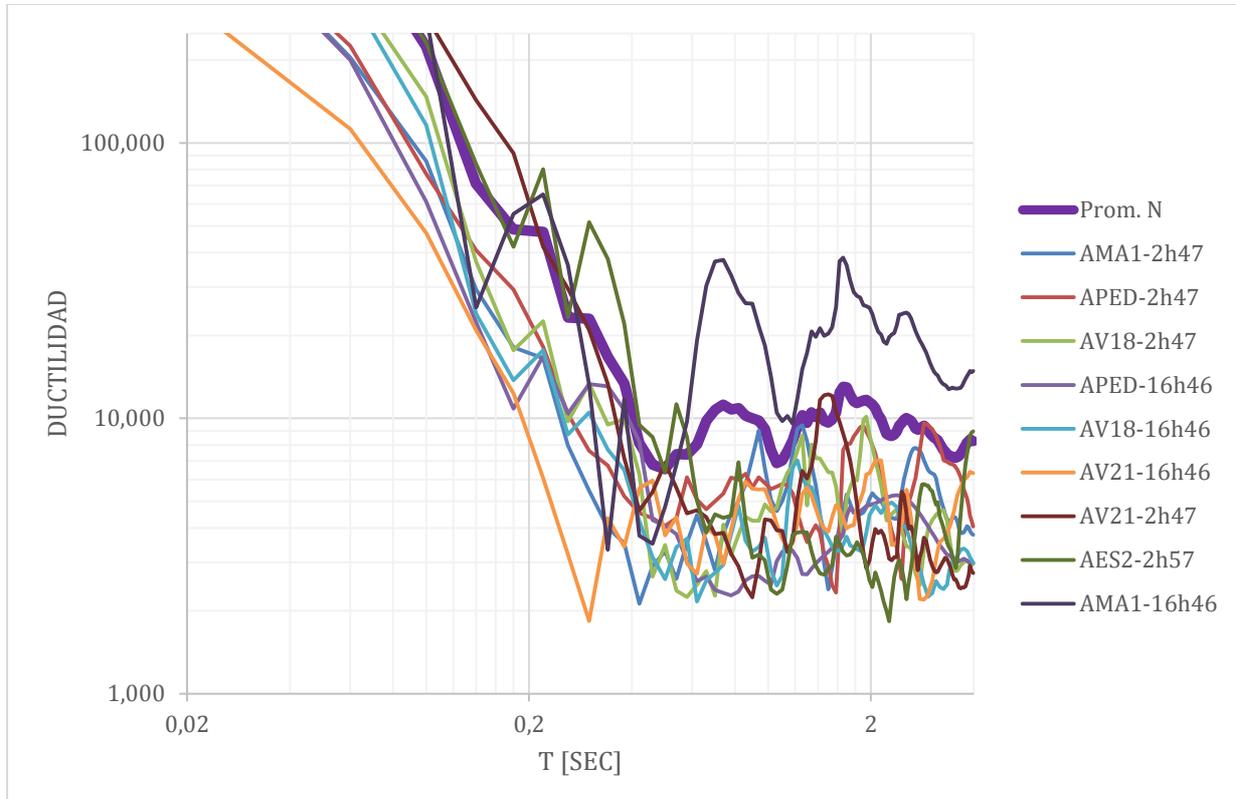


Figura 145: Espectro inelástico de respuesta de demanda ductilidad $R_y 4$ para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.

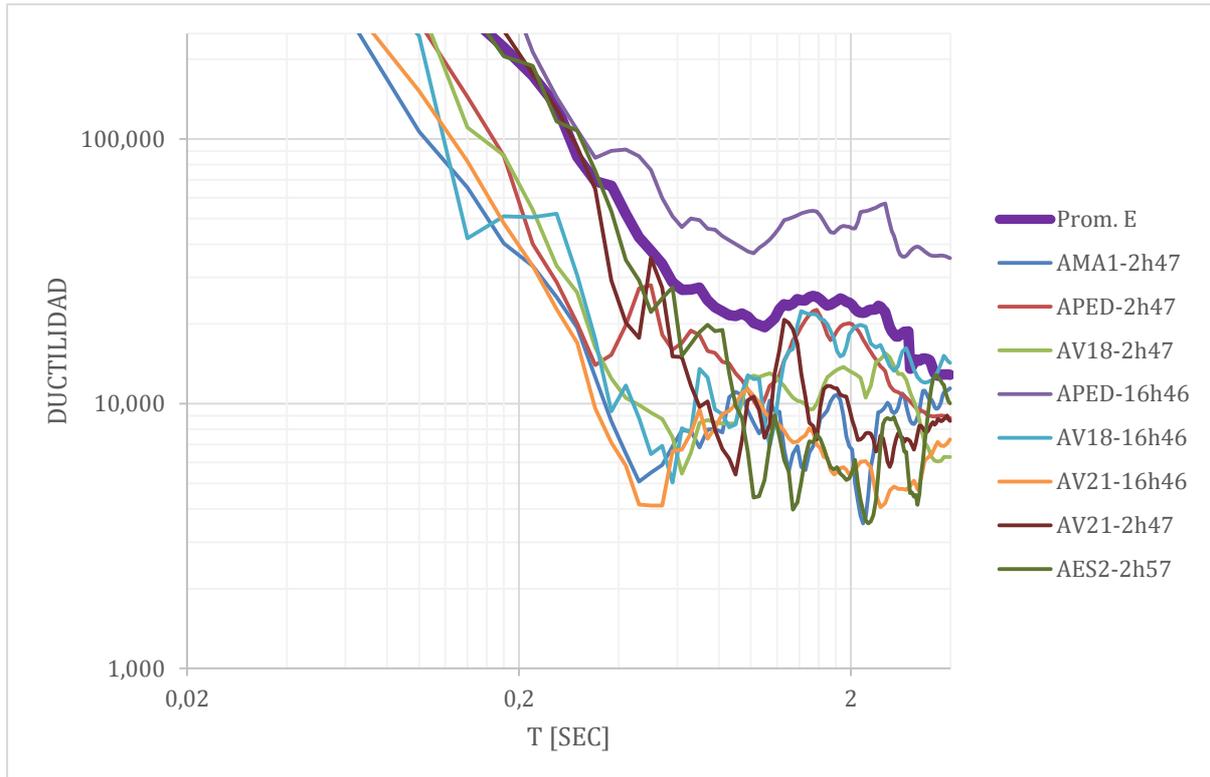


Figura 146: Espectro inelástico de respuesta de demanda ductilidad R_y 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente E.

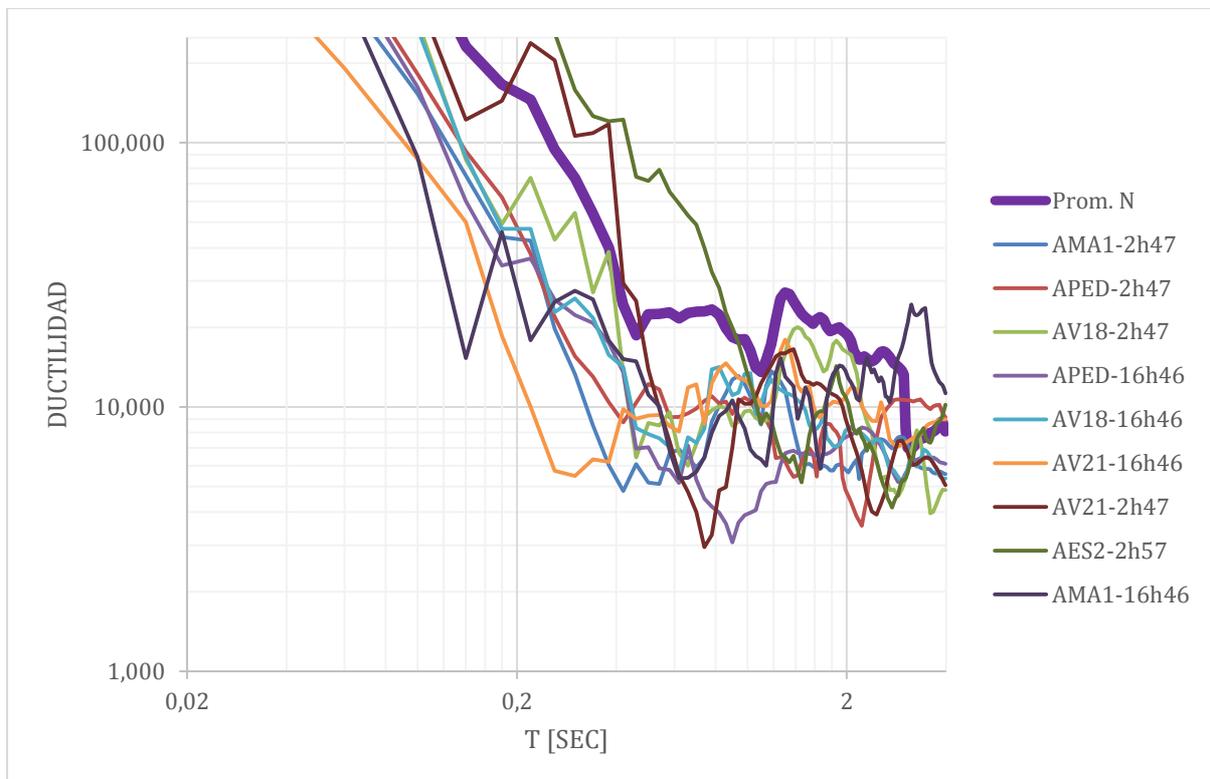


Figura 147: Espectro inelástico de respuesta de demanda ductilidad R_y 8 para acelerogramas obtenidos en suelo tipo D componente N.

De la figura 139 a la figura 144 se puede visualizar los resultados de la demanda de ductilidad para valores de R_y de 2, 4 y 8 en las componentes Norte y Este. Se logra ver que para periodos de hasta 0.3 segundos con un R_y de 2 la demanda de ductilidad es linealmente inversa al valor del periodo hasta llegar a un valor de 4 tanto para las componentes Este y Norte. Para las componentes del Este el valor se estabiliza en un rango que fluctúa de 2 a 4. Para las componentes Norte el rango se encuentra de 2 a 5.

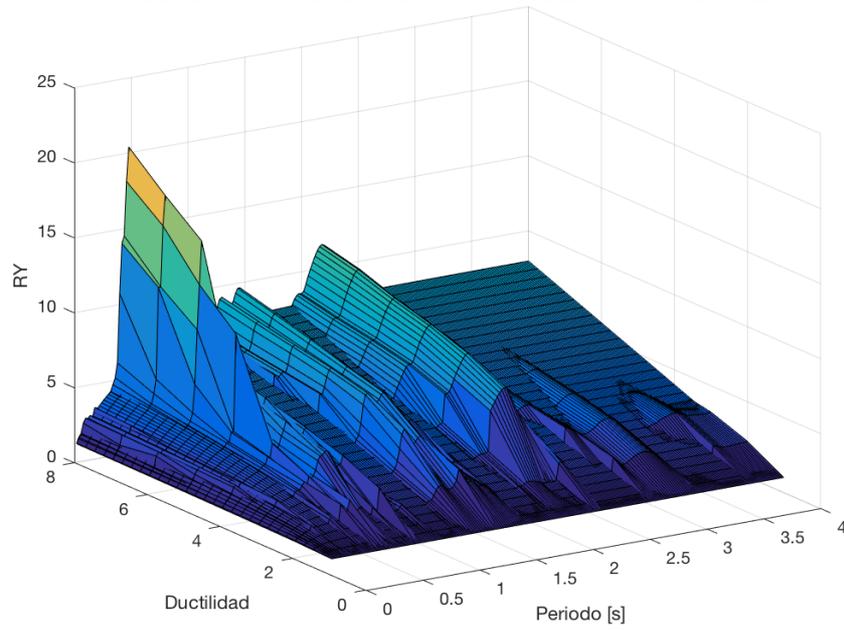
Con un R_y de 4 el comportamiento lineal se mantiene desde un periodo de 0.02 hasta 1 segundo para ambas componentes, después de este los valores de la Componente Este 8 a 10 mientras que para la componente Norte son de 7 a 10

En las dos últimas figuras (142 y 144) se puede ver la demanda de ductilidad con un valor de R_y de 8 en ambas componentes, se tiene el mismo comportamiento casi lineal hasta un periodo de 0.5 segundos en los que la ductilidad toma un valor de 27 para la componente Este y de 13 para la componente Norte. a partir de este punto los valores para la componente Este presentan varios picos variando entre 11.5 y 27. Para la componente Norte estos fluctúan entre 8 y 27.

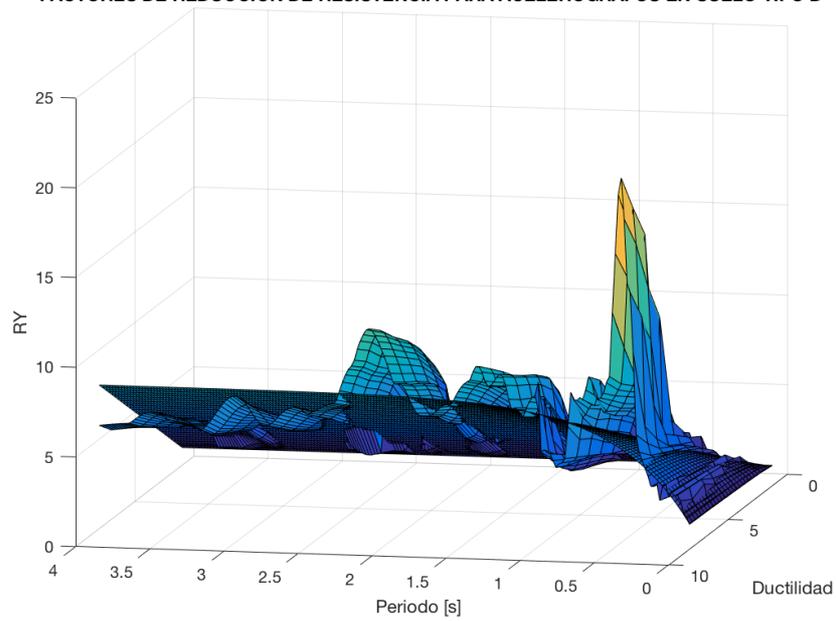
SUPERFICES DE DUCTILIDAD, R_y Y PERIODO DE VIBRACION

A continuación, se presentan las gráficas 3D relacionando la ductilidad, el factor R_y y el periodo de las estructuras para el suelo tipo D sobrepuesta a la superficie generada por la ecuación de Eduardo Miranda.

FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D

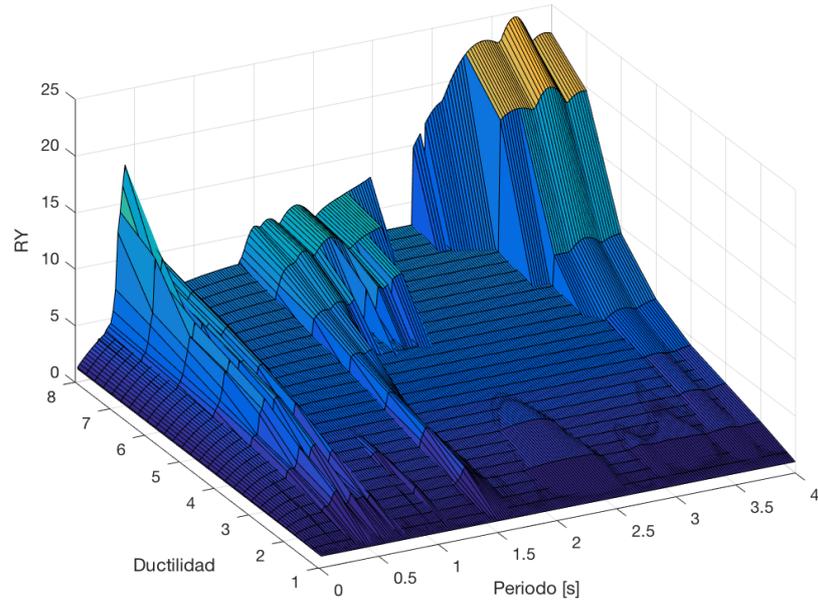


FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D



*Figura 148: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro AMA1-2H57
Componente Este*

FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D



FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D

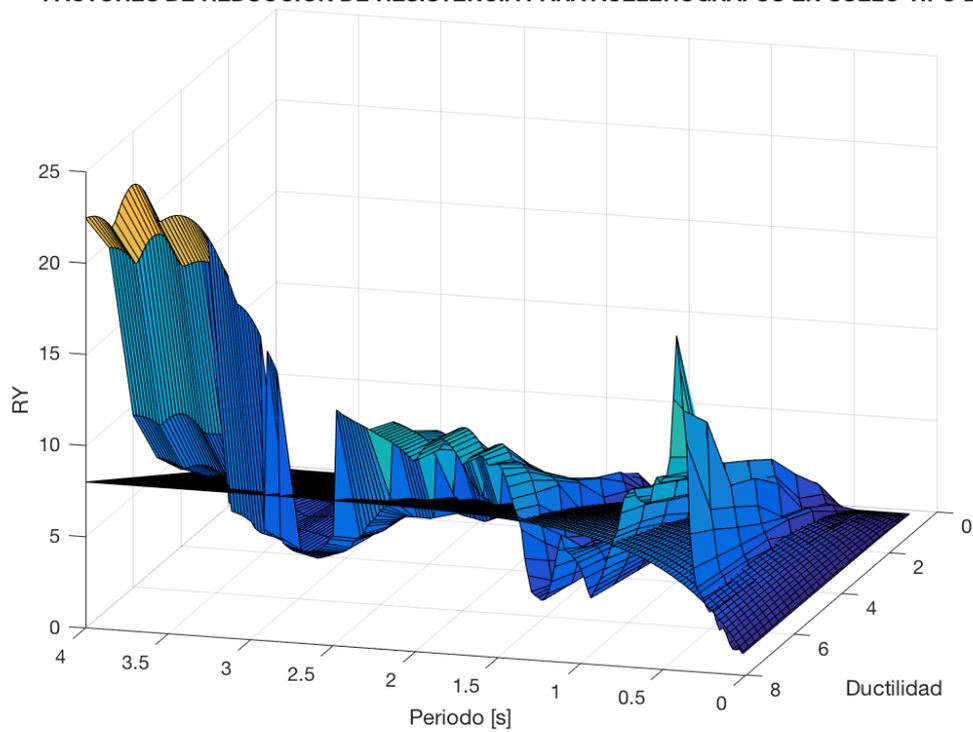
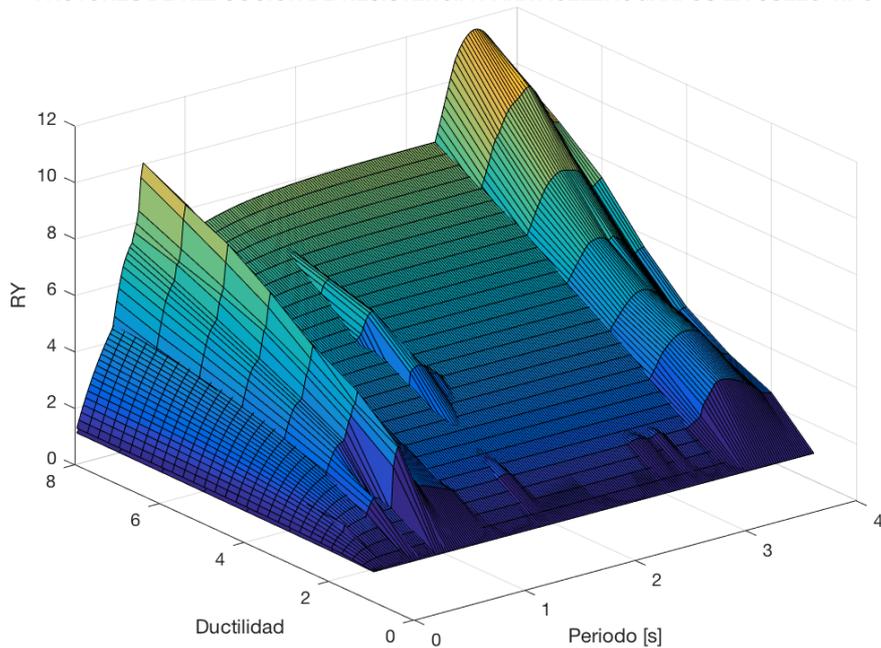


Figura 149: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro AMA1-2H57 Componente Norte

FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D



FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D

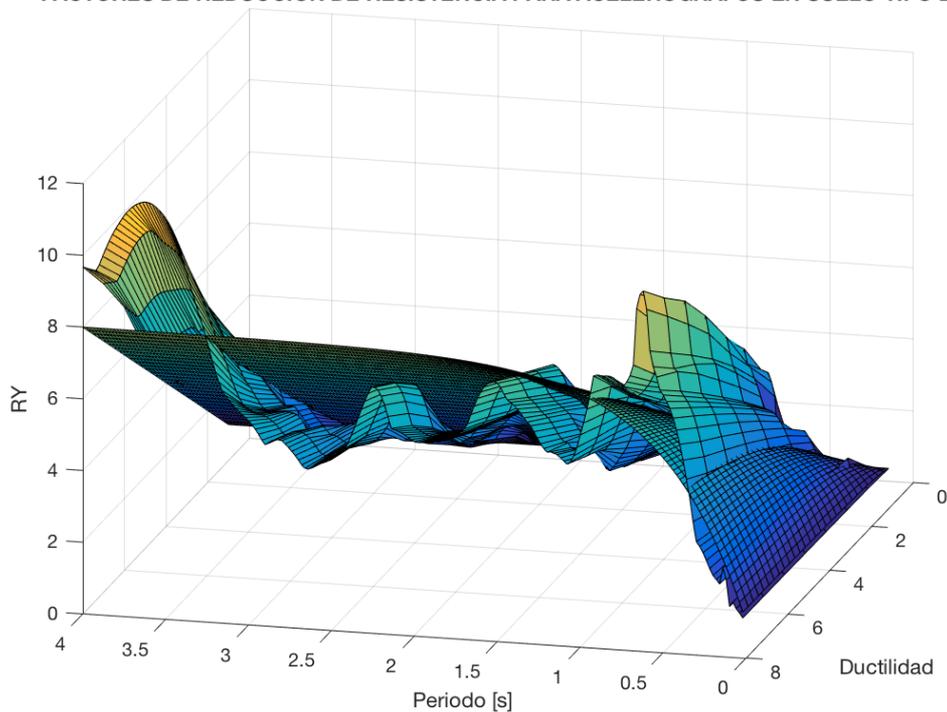
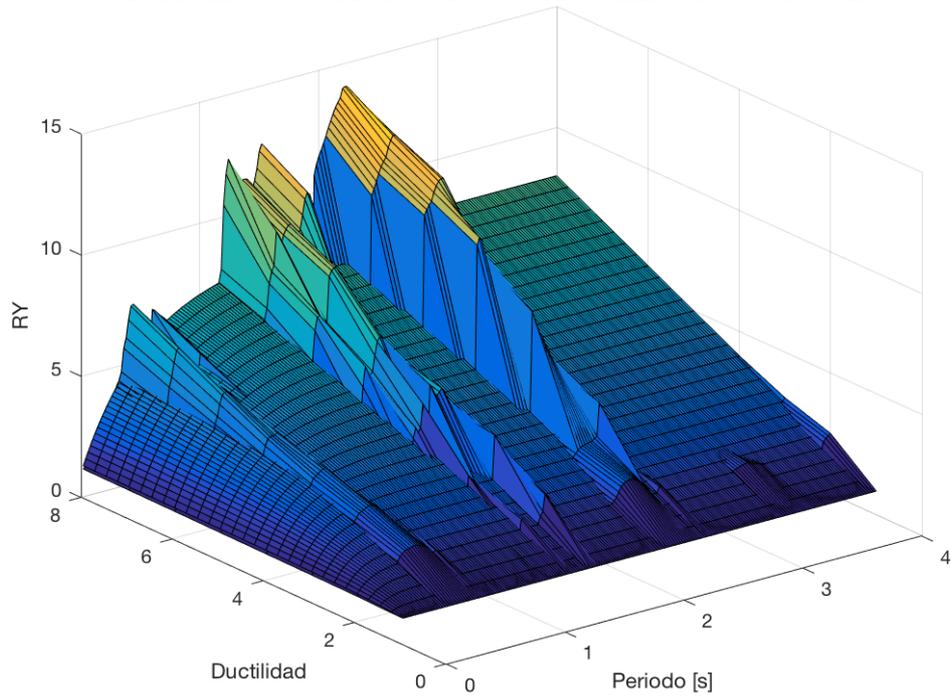


Figura 150: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro APED-2H57 componente Este

FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D



FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D

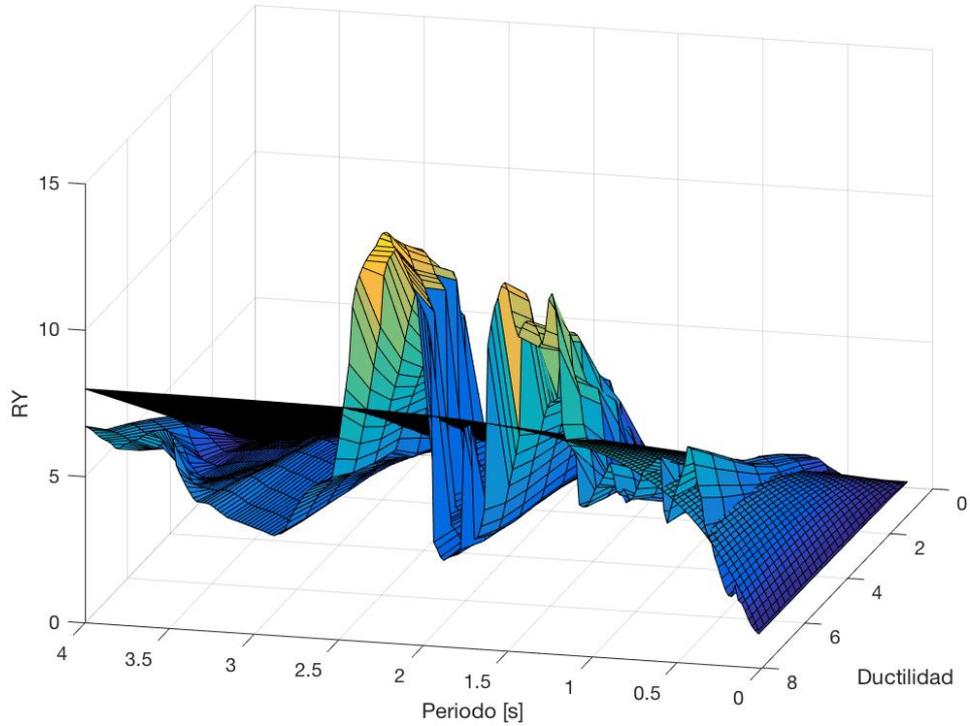
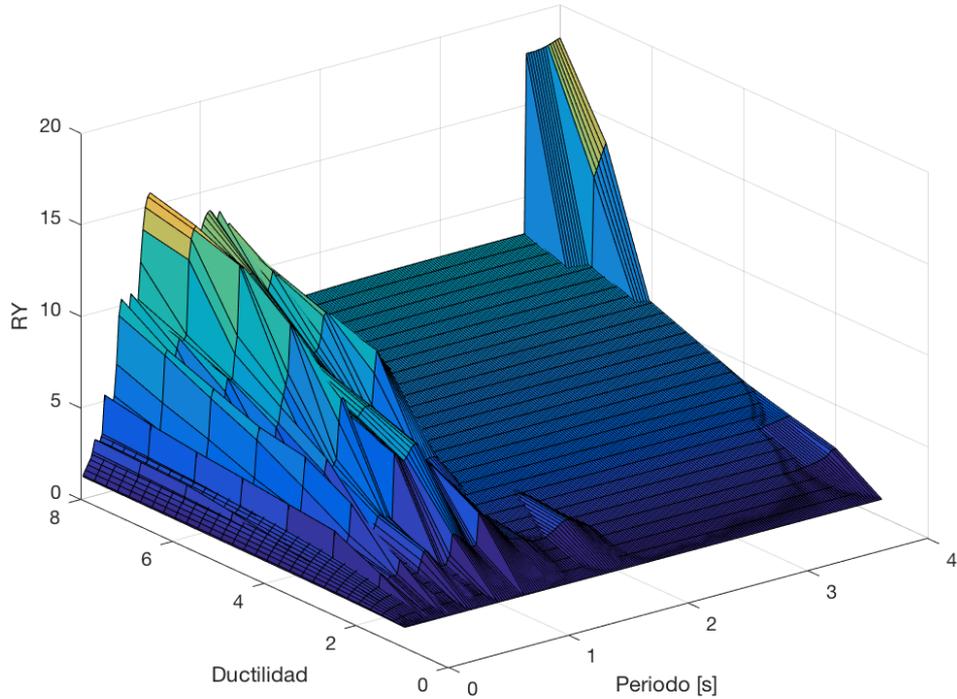


Figura 151: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro APED-2H57 componente Norte

FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D



FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D

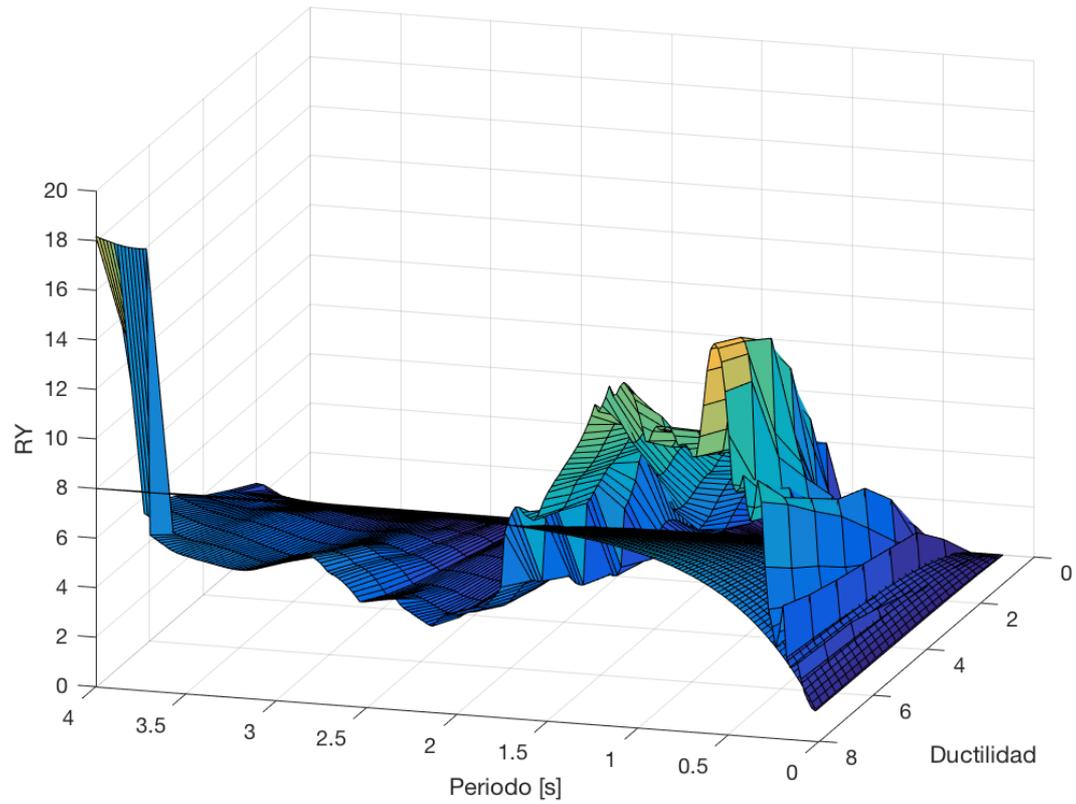


Figura 152: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro APED-2H57 componente Este

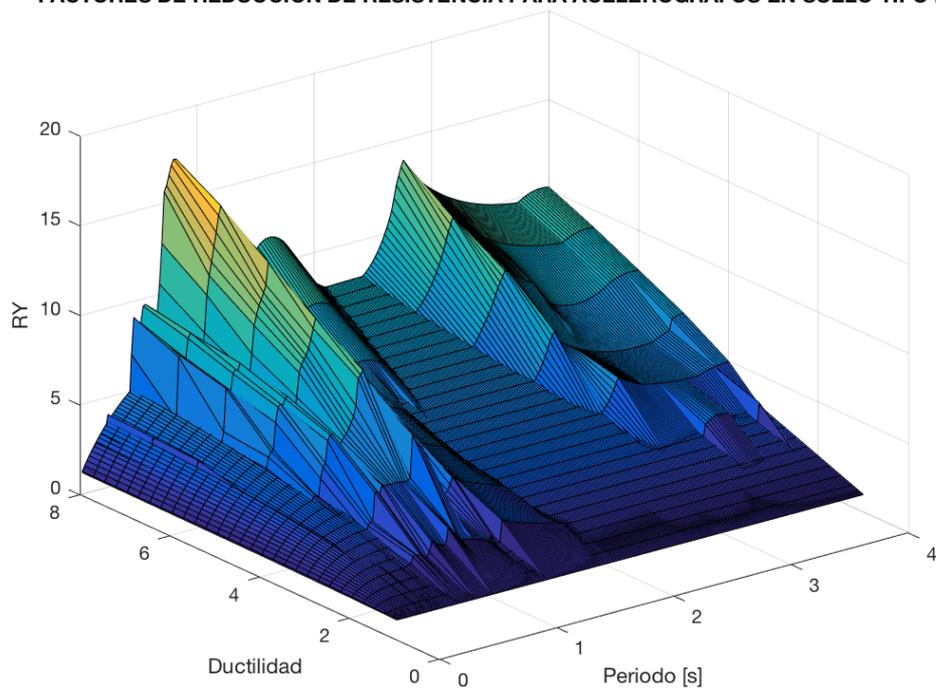
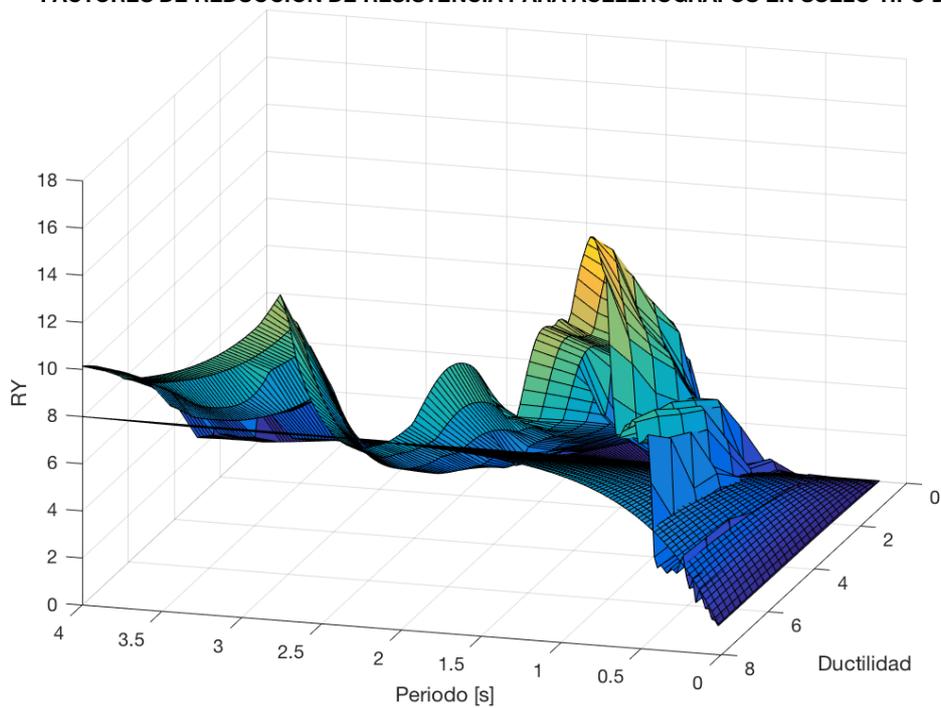
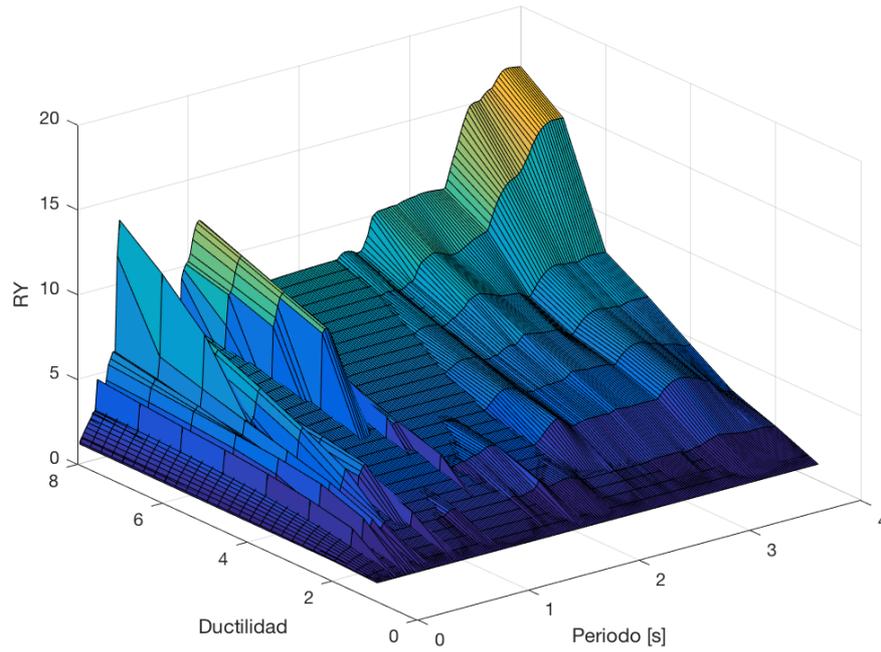
FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D**FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D**

Figura 153: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro APED-16H46 componente Norte

FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D



FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D

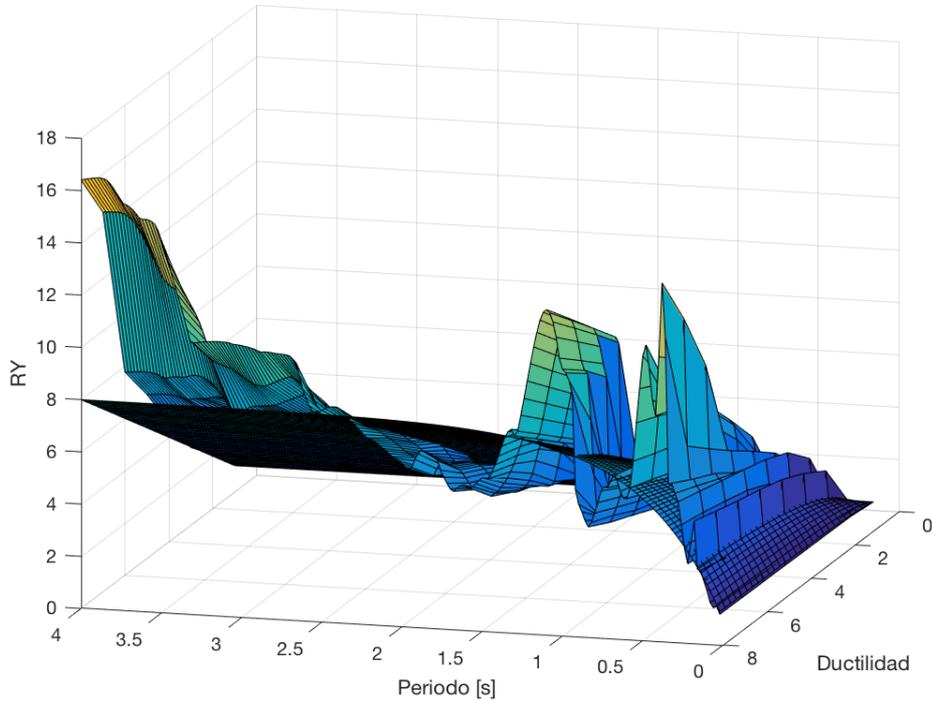
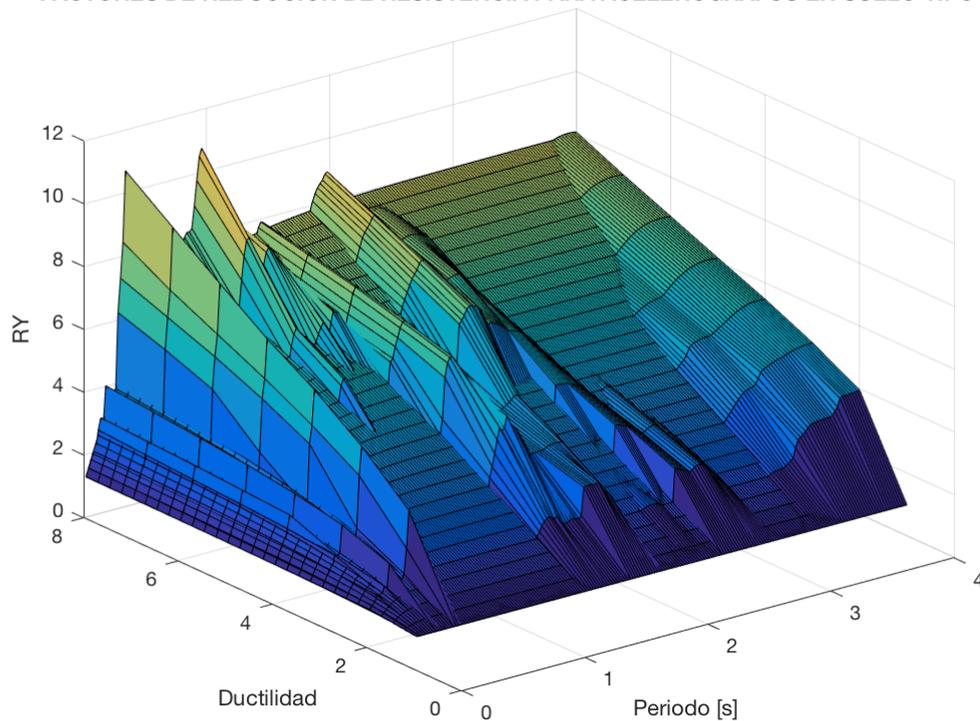


Figura 154: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro AV21-2H57 componente Este

FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D



FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D

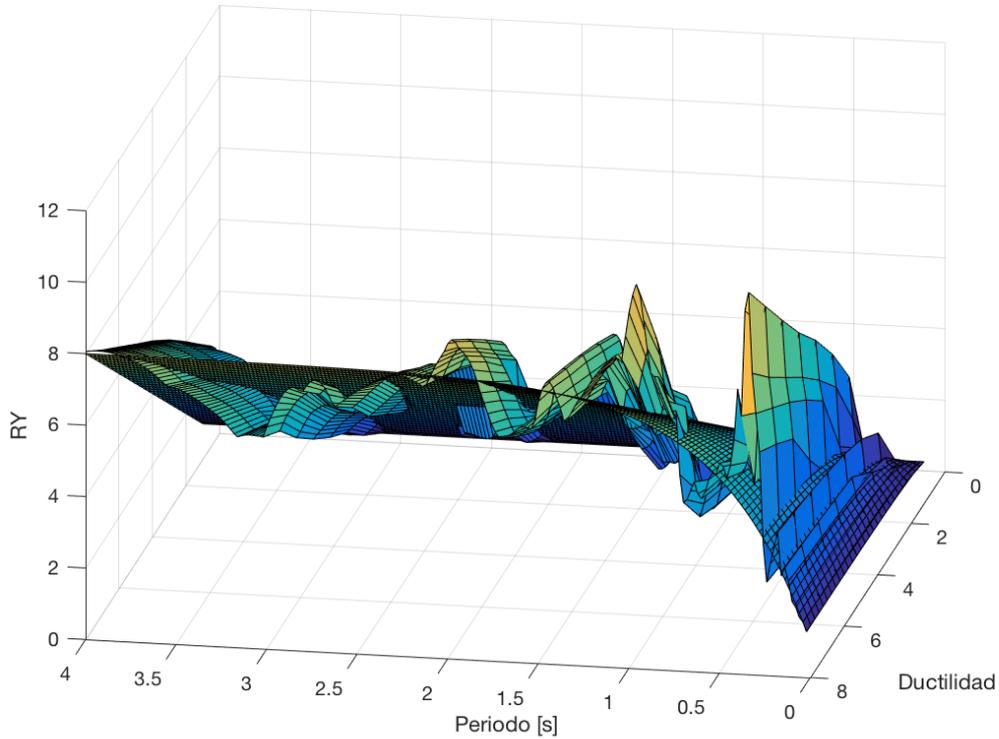
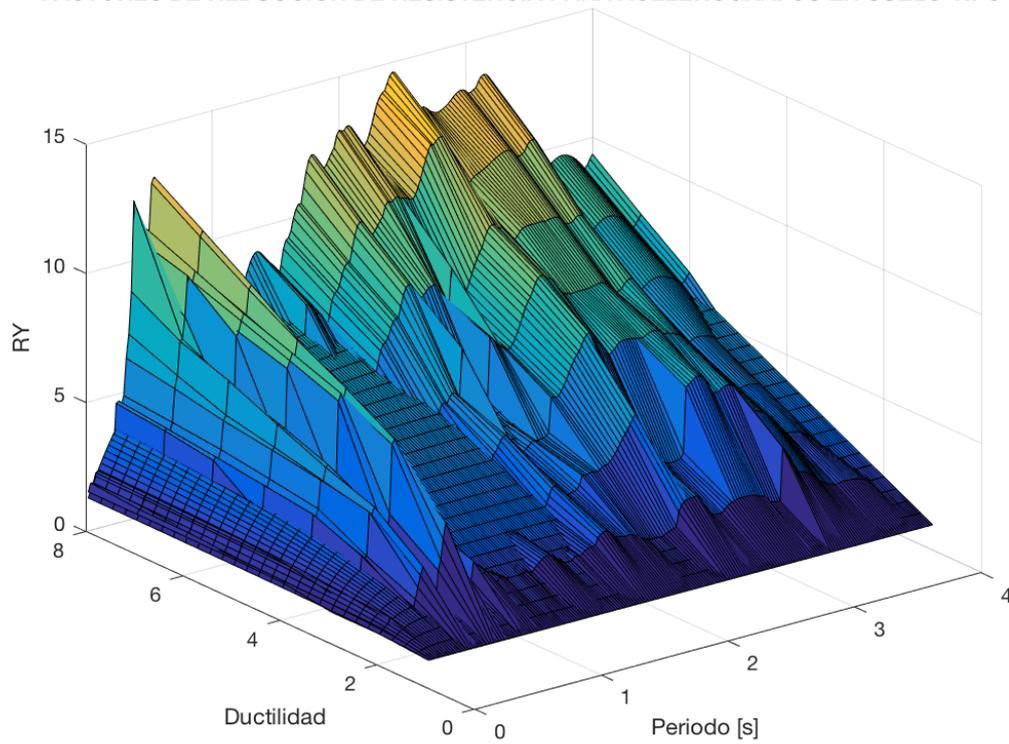


Figura 155: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro AV21-2H57 componente Norte

FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D



FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D

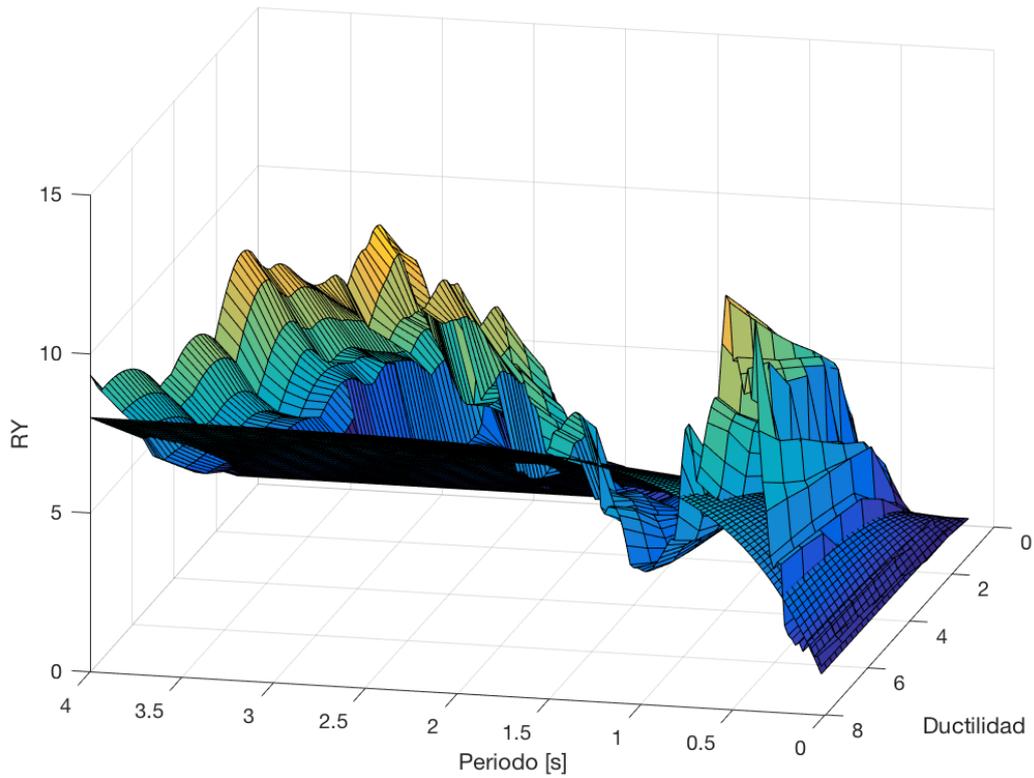
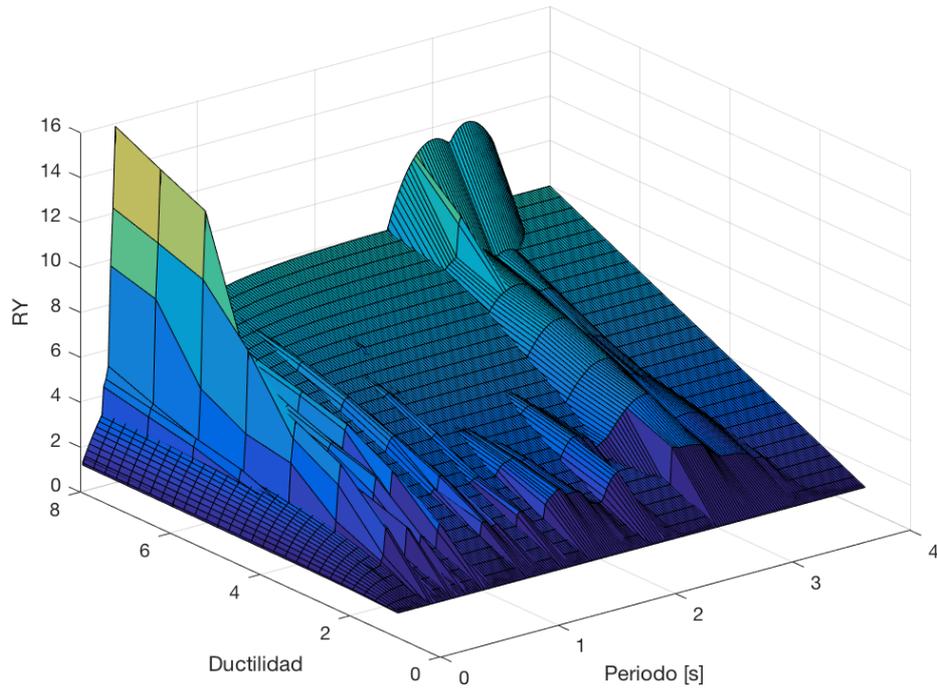


Figura 156: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro AV21-16H46 componente Este

FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D



FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D

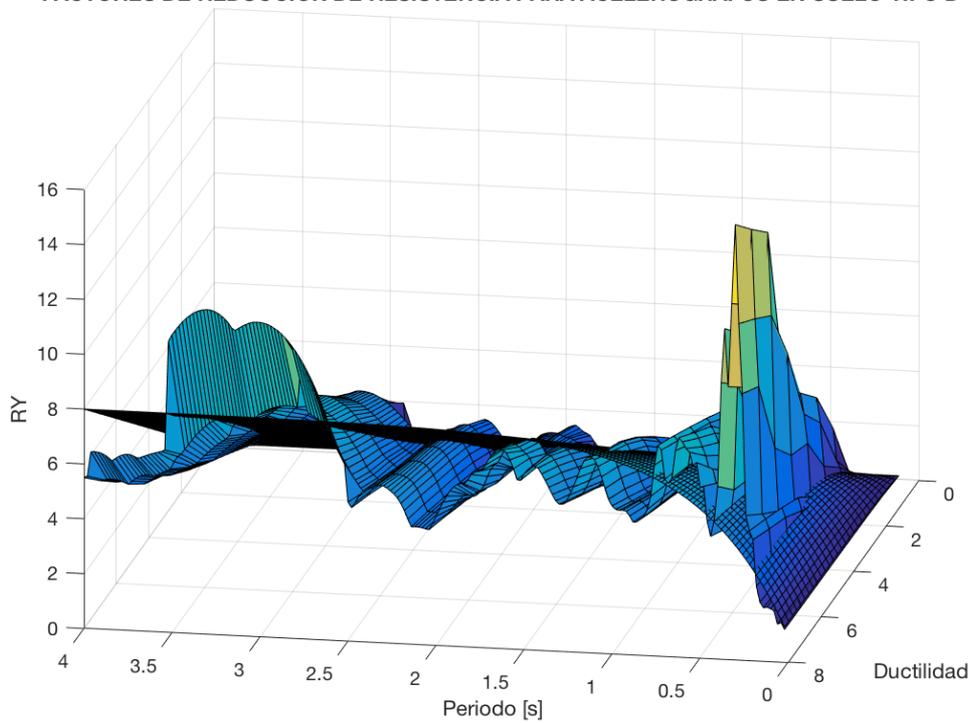
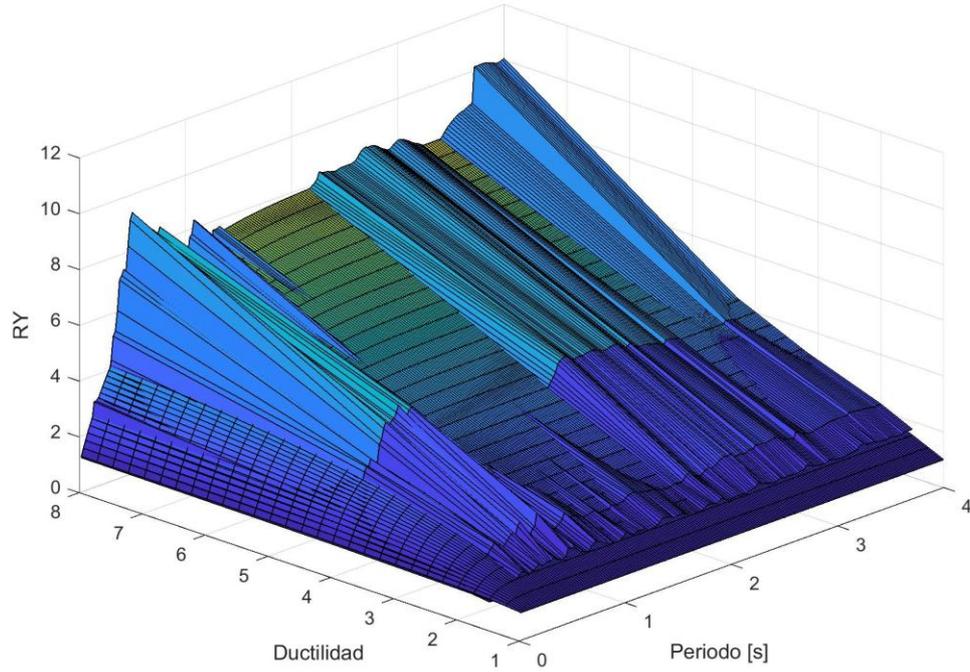


Figura 157: Factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicados en suelo tipo D registro AV21-16H46 componente Nor

PROMEDIO FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D



PROMEDIO FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D

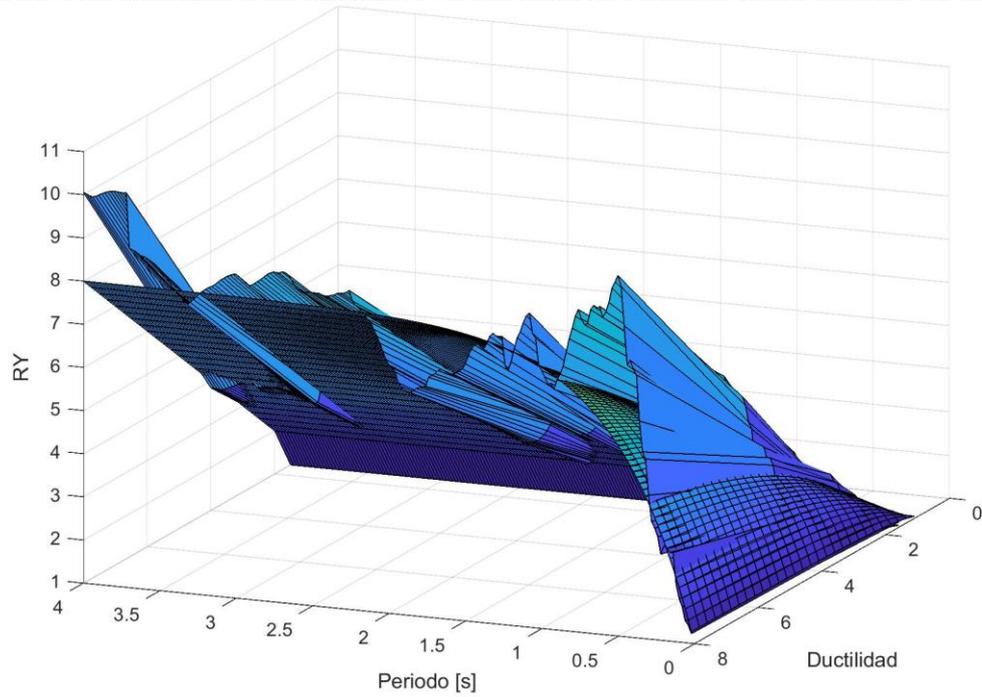


Figura 158: Promedio de factores de reducción de resistencia para acelerógrafos ubicado en suelo tipo D componente Este

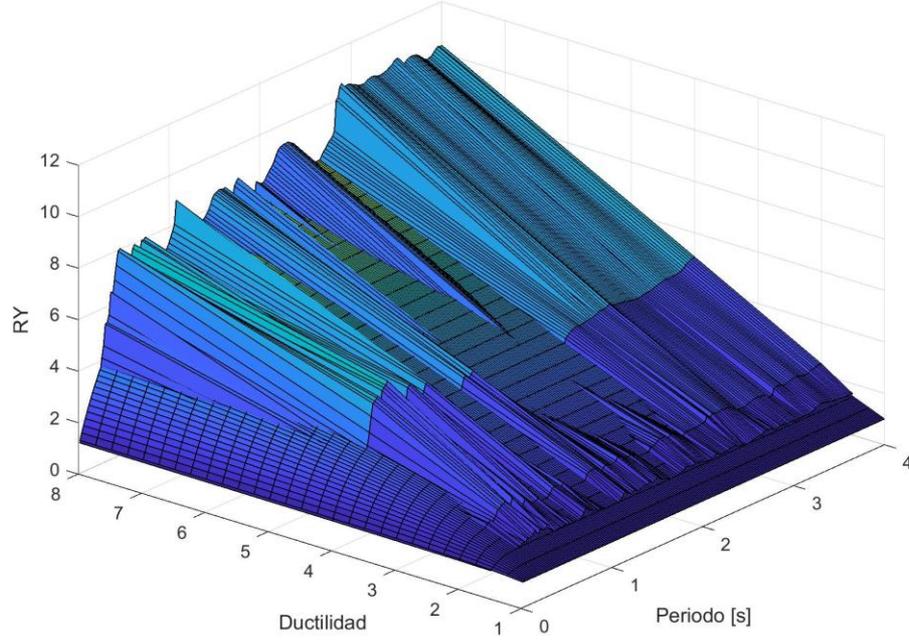
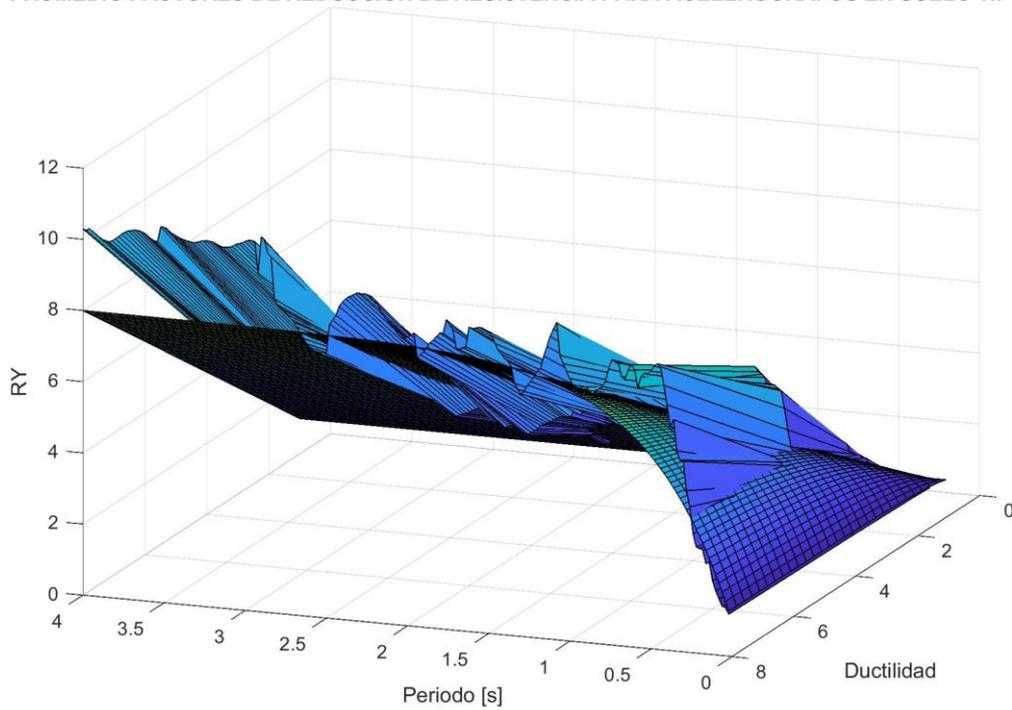
PROMEDIO FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D**PROMEDIO FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA PARA ACELEROGRAFOS EN SUELO TIPO D**

Figura 159: Promedio de factores de reduccion de resistencia para acelerografos ubicados en suelo tipo D componente Norte

CONCLUSIONES

Se logró calcular los espectros elásticos e inelásticos de respuesta de aceleración, velocidad, desplazamiento y R factor de reducción de fuerza con ductilidades constantes, además de los espectros de demanda de ductilidad a partir de los registros de las réplicas del terremoto de Pedernales de tal manera que se pudo observar los comportamientos que presentaron en cada una de las 9 estaciones analizadas. Para facilitar los cálculos e intentar minimizar errores se utilizó únicamente los registros con aceleraciones mayores a 0.1g.

Una vez obtenidos los Espectros se realizó el análisis comparativo para los registros sobre el tipo de suelo D en el cual se encontraban las 9 estaciones tanto en Esmeraldas como en Pedernales. Para esto se obtuvieron los espectros de diseño de dichas ciudades de acuerdo con la NEC y se los sobrepuso con los valores de los espectros calculados. Del análisis realizado vimos que los comportamientos de las réplicas del sismo de Pedernales seguían la misma tendencia que la del evento principal. En ambos casos se nota claramente que a partir de una ductilidad de 4 las estructuras comienzan a cumplir con los valores de la NEC, mientras que para valores menores, existen varios picos en donde estos límites se ven sobrepasados. Los espectros de desplazamiento veían cambios muy pequeños a pesar de los incrementos en los valores de ductilidad lo cual es un comportamiento anómalo y requiere de mayor análisis.

En lo espectros inelásticos de repuesta de R_y se obtuvo un valor promedio, el cual fue comparado con el valor dado por la ecuación propuesta por Eduardo Miranda para valores de ductilidad de 1.5, 2, 4 y 8. En todos se notó la fuerte correlación que existe entre estas dos, los cual al igual que con el evento principal nos permite corroborar los valores propuestos por

Miranda y aceptarlos como una aproximación fiel del factor de reducción de fuerza R_y de ductilidad.

Con las superficies 3D generadas a partir del factor R_y , ductilidad y periodo se puede visualizar el comportamiento de las estructuras más detalladamente. Se observa como las estructuras con periodos bajos, de entre 0.1-1.5 y las estructuras de periodos altos 3-4 independientemente de su ductilidad arrojaron valores de R_y bastante altos, sobrepasando los propuestos por Miranda, parara los periodos de 1.5-3 los valores de R_y presentan una tendencia mucho mas similar. Existe picos en las gráficas que toman valores extremadamente altos, sobrepasando R_y 's de 20, esto como ya se mencionó inicialmente es causado por ruidos en la señal o una posible falta de calibración en los equipos.

Para finalizar, se logró ver que para el evento principal como para las réplicas se requiere de estructuras diseñadas con valores de ductilidad de 4 o superiores. Sólo de esta manera se podría asegurar un comportamiento adecuado ante eventos similares. La Norma Ecuatoriana de la Construcción al Igual que la ACI-318 describen los lineamientos de construcción de tal forma que se obtengan ductilidades de entre 3 y 4 con los cuales se podría mitigar el riesgo a futuro. También se recomienda elevar los valores de los espectros de diseño para la zona costera del país, ya que los eventos ocurren con alta frecuencia y la magnitud con la que se pueden generar, por la falla de subducción que se encuentra en la zona, es alta. Con los eventos aquí constados se han presentado, varias edificaciones han colapsado y otras han quedado inhabitables, en un futuro es inevitable esperar eventos de magnitudes iguales o mayores. Se recomienda establecer mejores controles de calidad de material y un mayor control en las prácticas constructivas, en especial de zonas de alto riesgo como las ciudades de Esmeraldas y Pedernales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Advanced Structural Concepts, Inc. (2003). *NONLIN (Versión 7.0) [Software]*. Obtenido de <http://nonlin.software.informer.com/7.0/>
- Chiu, H. (Agosto de 1997). Stable Baseline Correction of Digital Strong-Motion Data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87(4), 932-944..
- Instituto geofísico EPN. (2017). *Red Nacional de Acelerógrafos*. Obtenido de <http://www.igepn.edu.ec/red-nacional-de-acelerografos>
- Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. (2017). *Instituto Geofísico - EPN*. Obtenido de <http://www.igepn.edu.ec>
- Jeong, S., Lee, K., & Jang, W. (2011). *PRISM for Earthquake Engineering (Versión 1.0.2) [Software]*. Obtenido de <http://sem.inha.ac.kr/prism/>
- Miranda, E. (1997). *Strength Reduction Factors in Performance-Based Design*. University of California. Berkeley: National Information Service for Earthquake Engineering.
- Nikolaou, S., & Vera-Grauner, X. (16 de Abril de 2016). *GEER-ATC Earthquake reconnaissance*. Obtenido de www.geerassociation.org.
- Norma ecuatoriana de la construcción. (2015). *Peligro sísmico diseño sismo resistente*. Ecuador.
- Viviana Silva. (2017, mayo 18). *Espectros inelásticos de respuesta de los registros del terremoto de Pedernales*, abril 2016. USFQ, 1, 188. 2017, mayo 10, De Repositorio digital USFQ Base de datos.

ANEXOS: GRAFICAS DE ACELERACION VS TIEMPO DE LOS REGISTROS.

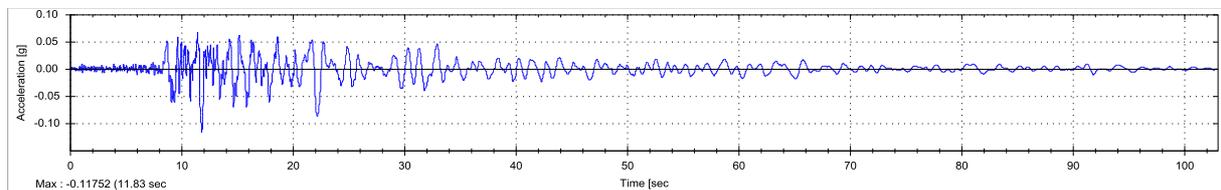


Figura 160: AES2-2H57 Componente Este

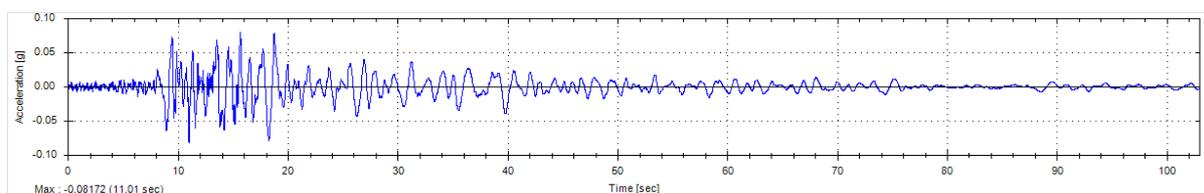


Figura 161: AES2-2H57 Componente Norte

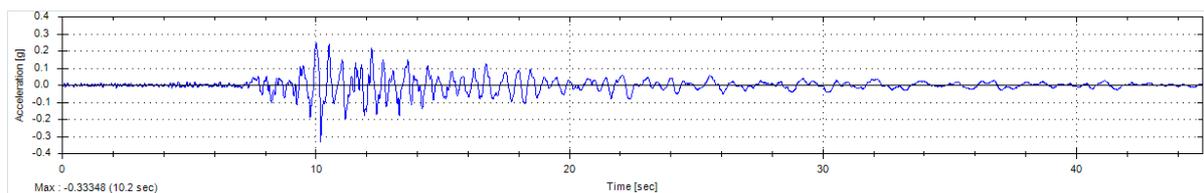


Figura 162: AMA1-2H57 Componente Este

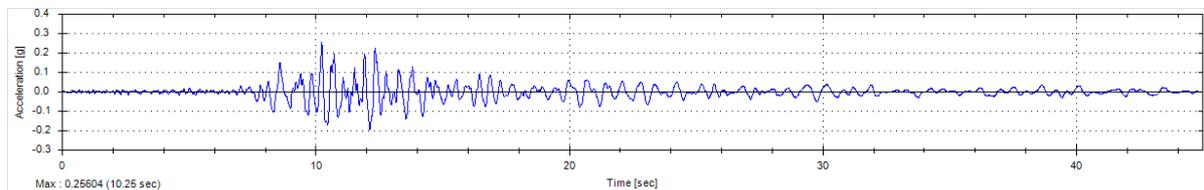


Figura 163: AMA1-2H57 Componente Norte

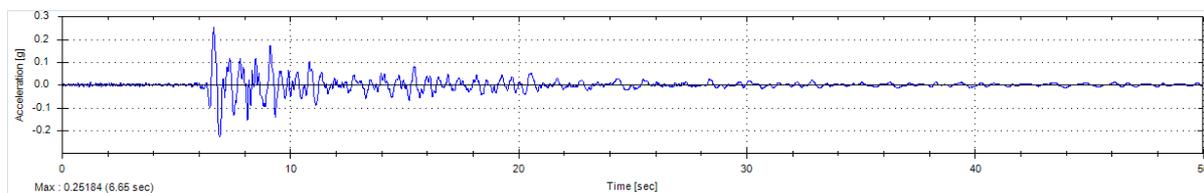


Figura 164: APED-2H57 Componente Este

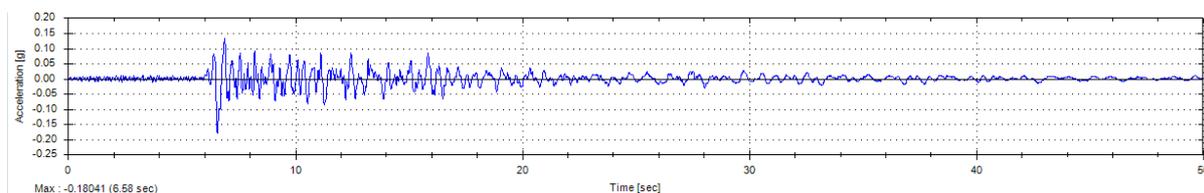


Figura 165: APED-2H57 Componente Norte

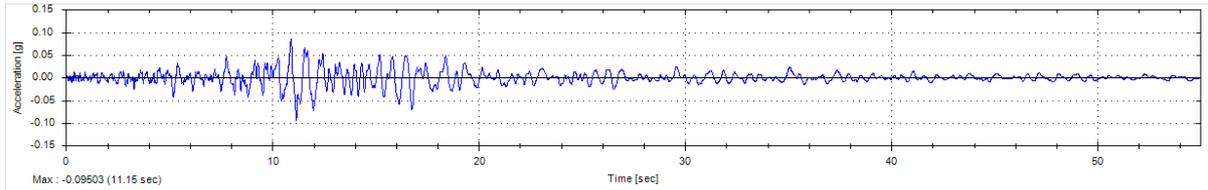


Figura 166: AV18-2H57 Componente Este

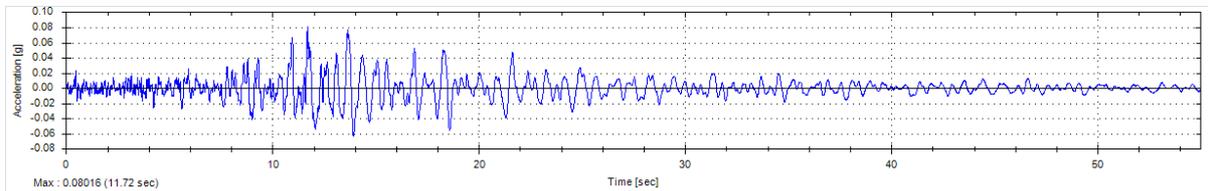


Figura 167: AV18-2H57 Componente Norte

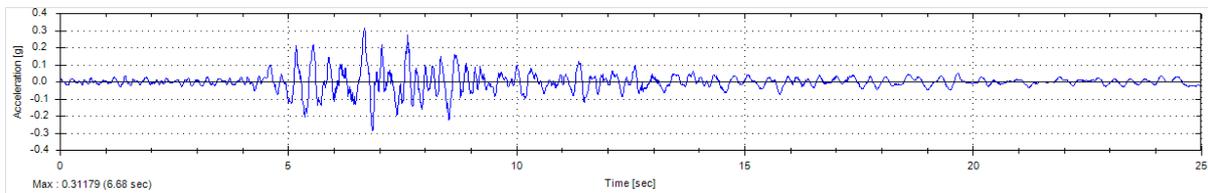


Figura 168: AV21-2H57 Componente Este

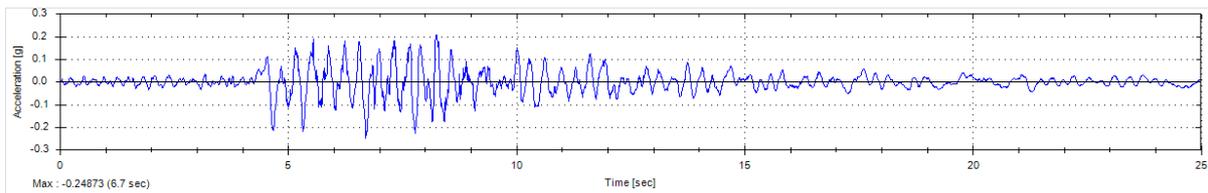


Figura 169: AV21-2H57 Componente Norte

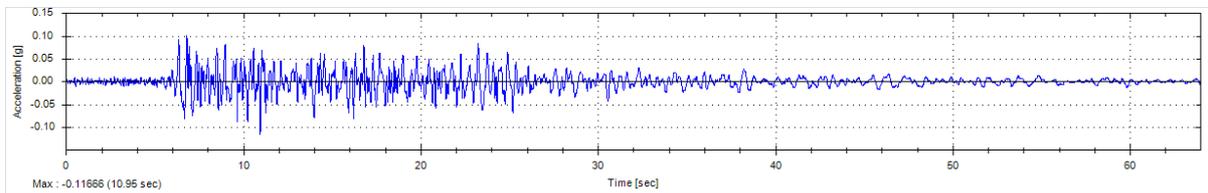


Figura 170: AMA1-16H46 Componente Este

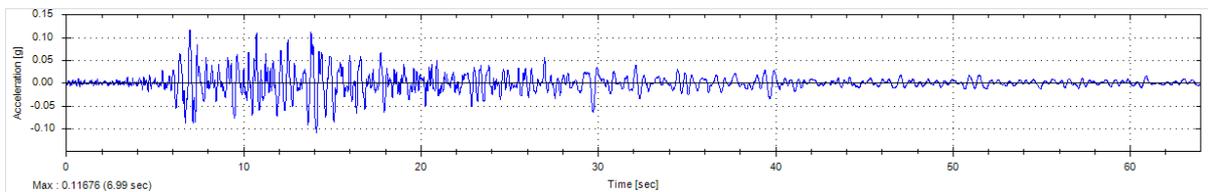


Figura 171: AMA1-16H46 Componente Norte

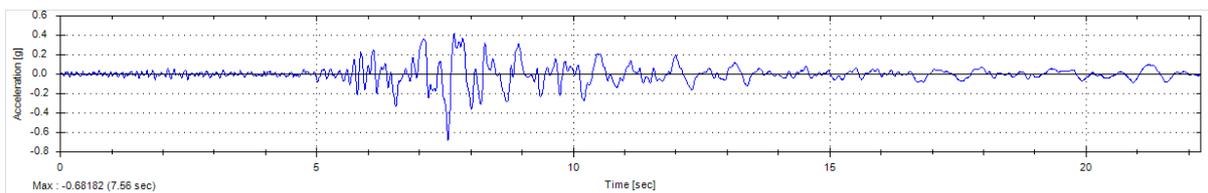


Figura 172: APED-16H46 Componente Este

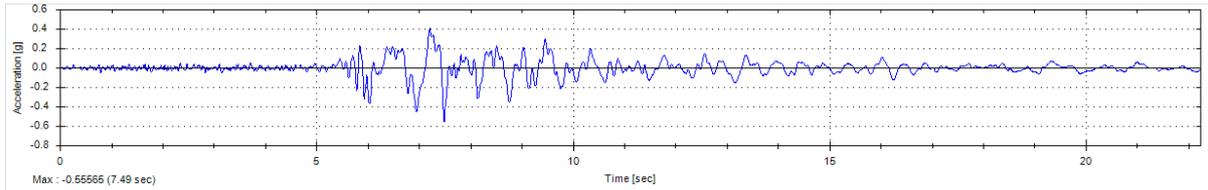


Figura 173: APED-16H46 Componente Norte

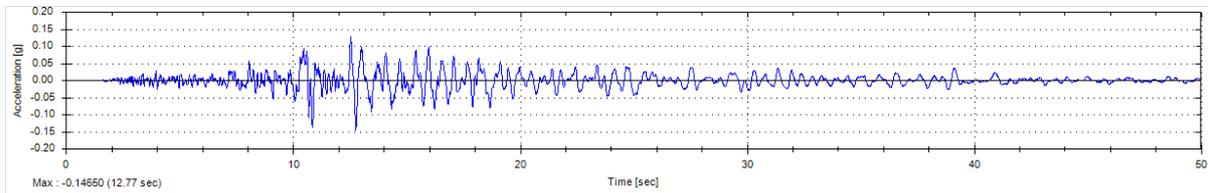


Figura 174: AV18-16H46 Componente Este

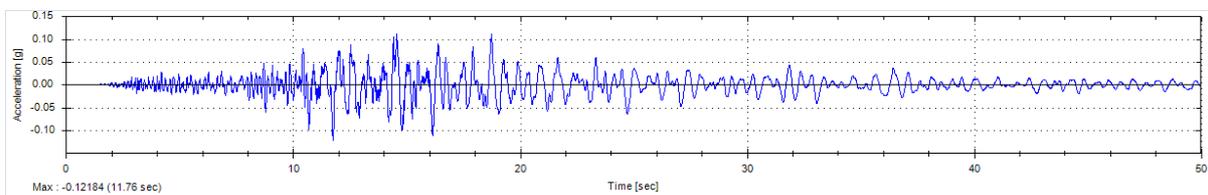


Figura 175: AV18-16H46 Componente Norte

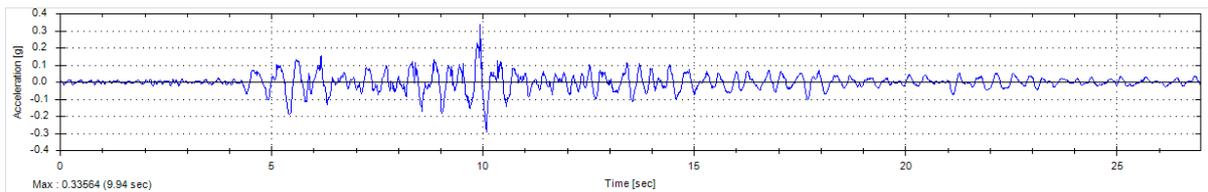


Figura 176: AV21-16H46 Componente Este

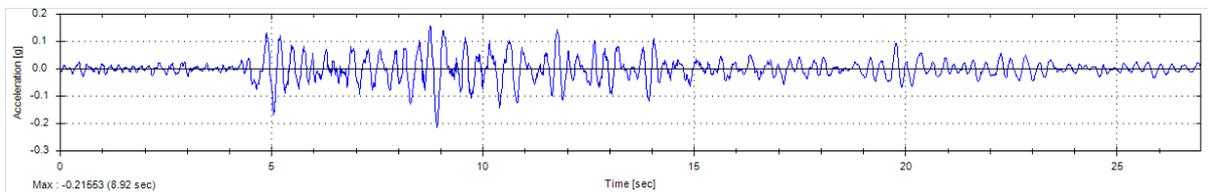


Figura 177: AV21-16H46 Componente Norte