

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

TEMA:

**Estimación de factores de amplificación de deflexión de
estructuras de 1 grado de libertad para diferentes valores del
factor de reducción por ductilidad ($R\mu$).**

AUTOR:

Chérrez Díaz, Andrés Alfredo

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Hernández Barredo, Jaime Francisco

Guayaquil, Ecuador

09 de Septiembre del 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Chérrez Díaz, Andrés Alfredo**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____
Hernández Barredo, Jaime Francisco

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____
Alcívar Bastidas, Stefany Esther

Guayaquil, a los 09 del mes de septiembre del año 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Chérrez Díaz, Andrés Alfredo**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Estimación de factores de amplificación de deflexión de estructuras de 1 grado de libertad para diferentes valores del factor de reducción por ductilidad ($R\mu$)** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 09 del mes de septiembre del año 2019.

EL AUTOR (A)

f. _____
Chérrez Díaz, Andrés Alfredo



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Chérrez Díaz, Andrés Alfredo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Estimación de factores de amplificación de deflexión de estructuras de 1 grado de libertad para diferentes valores del factor de reducción por ductilidad ($R\mu$)** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 09 del mes de septiembre del año 2019.

EL AUTOR:

f. _____
Chérrez Díaz, Andrés Alfredo



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document:	Chérrez_ANDRÉS_FINAL.docx (D55426147)
Submitted:	9/10/2019 2:21:00 AM
Submitted By:	claglas@hotmail.com
Significance:	0 %

Sources included in the report:

Instances where selected sources appear:

0

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi infinita gratitud a Dios por haber sido mi guía y acompañarme en el transcurso de toda mi vida, brindando toda esa fuerza, paciencia y sabiduría que ha hecho posible alcanzar esta meta.

A mi madre, que, a pesar de estar a miles de kilómetros de distancia, no dudó ni un segundo en brindar su apoyo sacrificando todo por mí, haciendo hasta lo imposible por verme alcanzar mis sueños, enseñándome que todo sacrificio por más duro y largo que parezca tiene al final sus recompensas.

A mis abuelos maternos y abuela paterna por haber interpretado a la perfección esa figura de padres, los cuales supieron cómo enseñarme a crecer, brindándome sus mejores consejos, haciendo de mí una mejor persona cada día, procurando que nada me falte, les estaré agradecido por el resto de mi vida.

Al resto de mi familia que en algún momento se detuvieron para darme palabras de aliento las cuales siempre fueron bien recibidas y me sirvieron como motivación para continuar.

A la facultad de ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil por ofrecer una excelente formación académica de la cual siempre estaré orgulloso.

A los profesores de este prestigioso plantel por toda la paciencia, dedicación y sabiduría que supieron ofrecer a lo largo de toda la carrera.

A mi tutor, el ingeniero Jaime Hernández por haber brindado toda su confianza, paciencia y voluntad en ayudarme con cualquier duda e inquietud que tuve a lo largo de este trabajo.

Al ingeniero David Ávila, por haber ofrecido su ayuda durante este trabajo, le quedaré muy agradecido por su dedicar su tiempo y paciencia.

A los ingenieros de Geosísmica Daniel Bowen y Rafael Armendariz por su completa disposición en ayudar, brindando sus conocimientos y experiencias de las cuales siempre les estaré muy agradecido.

Al ingeniero Roberto Llerena por siempre creer en mí, incluso mucho antes de emprender este camino y motivarme a perseguir mis sueños.

A Denisse Castro por ser alguien incondicional en este trayecto, quien siempre estuvo apoyándome en los momentos más difíciles de la carrera y supo decir esas palabras que no me gustaron escuchar, pero me sirvieron para superar cualquier obstáculo.

A mis amigos de toda la vida, Luis Molina y Marcos Galarza, a pesar de no verlos frecuentemente, me han demostrado que una sincera amistad no se pierde con la distancia ni con el tiempo.

A todas las buenas amistades que pude llegar a tener en esta increíble etapa de universidad gracias por el apoyo y colaboración recibido en todo este proceso.

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo principalmente a Dios ya que sin su bendición y predisposición nada de esto hubiera sido posible.

A mi mamá, Mónica Díaz por su increíble amor, entrega y apoyo en cada cosa que me he propuesto, eres mi mayor fuente de motivación en momentos de dificultad.

A mis abuelas Neiva Tello y Margarita Rojas, los pilares fundamentales de mi vida, gracias por brindarme su amor incondicional y siempre estar ahí cuando más las necesito.

A mi abuelo Vicente Díaz por ser el mejor padre que he llegado a tener, esforzándose diariamente en que nada me falte y buscando siempre lo mejor para mí.

A mi tía Ángela Chérrez por todo ese apoyo y paciencia que me ha dedicado a lo largo de este proceso de mi vida.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. _____

ING. JAIME HERNÁNDEZ BARREDO
TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. VALAREZO MORENO, LILIA MARLENE
DECANA DE LA FACULTAD

f. _____

ING. CARLOS YLDEFONSO CHON DÍAZ
COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

ING. JOSÉ BARROS CABEZAS
OPONENTE

ÍNDICE

1.1. INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO 1	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Alcance.....	4
CAPITULO 2	6
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Introducción.....	6
2.2. Diseño Sismo-Resistente de Edificaciones	6
2.3. Factores R, Cd y Ω	7
2.3.1. Factor de Ductilidad Estructural (μ_s).....	10
2.3.2. Factor de Reducción por Ductilidad (R_μ)	10
2.3.3. Factor de Sobre resistencia (Ω)	10
2.3.4. Factor de Modificación de Respuesta (R).....	11
2.3.5. Factor de amplificación de deflexiones (C_d).....	11
2.4. Análisis de Historia de la Respuesta Inelástica.....	12
2.5. Evaluación numérica de la respuesta dinámica.....	13
CAPITULO 3	20

3. PROBLEMÁTICA DEL FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DE DEFLEXIONES PARA EL CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTOS INELÁSTICOS.	20
3.1. Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC-15)	20
3.2. Sociedad americana de Ingenieros civiles (ASCE 7-16)	20
CAPITULO 4	22
4. METODOLOGÍA PROPUESTA	22
4.1. Introducción	22
4.2. Cálculo del factor de amplificación de deflexiones a partir de la respuesta inelástica de estructuras de un grado de libertad	22
4.2.1. Selección de registros sísmicos	22
4.2.2. Asignación de datos iniciales para el análisis no lineal	23
4.2.3. Selección del factor de reducción de ductilidades ($R\mu$)	25
4.2.4. Definición de la relación Fuerza-deformación elasto-plástica perfecta	25
4.2.5. Determinación de los desplazamientos para el análisis no lineal	25
4.2.6. Cálculo del factor de ductilidad (μ_s)	25
4.2.8. Determinación de valores estandarizados para C_d/R	27
CAPITULO 5	28
5. PROGRAMACIÓN EN MATLAB PARA CÁLCULO DE DUCTILIDADES EN REGISTROS SIMICOS	28
CAPITULO 6	34
6. RESULTADOS	34
6.1. Introducción	34

6.2. Clasificación de los registros sísmicos	34
6.3. Propuesta de factores Cd/R	44
6.4. Propuesta de factores Cd para Sistemas Estructurales especificados en NEC-15.....	49
CAPITULO 7	53
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
7.1. Conclusiones	53
7.2. Recomendaciones	54
REFERENCIAS	55
ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Visualización de las 29 estaciones de acelerógrafos y su correspondiente ciudad, extraídos de la RENAC	23
Tabla 2: Clasificación de registros según su PGA	34
Tabla 3: Clasificación de registros según la aceleración en T=0.2 seg	35
Tabla 4: Clasificación de registros según la aceleración en T=1 seg	36
Tabla 5: Clasificación de registros según la aceleración en T=3 seg	36
<i>Tabla 6a:</i> Comparación de sistemas estructurales Dúctiles entre la norma NEC-15 y ACSE7-16.	42
Tabla 6b: Comparación de sistemas de ductilidad limitada, entre la norma NEC-15 y ACSE7-16	43
Tabla 7: Valores de Cd para los sistemas estructurales dúctiles de la NEC-15.	50
Tabla 8: Valores de Cd para los sistemas estructurales de ductilidad limitada de la NEC-15.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Respuesta estructural general (Uang, 1991), traducida al español.	8
Figura 2: Iteración de Newton-Raphson: (a) aplicación y fuerzas restauradoras. (b) fuerza residual. (Chopra, 2014)	16
Figura 3: Límite de la deriva máxima ΔM (NEC-15, Sección 6.3.9).....	20
Figura 4: Determinación d la deriva de entre piso (ASCE 7-16), Sección 12.8.6	21
Figura 5: Comparación del factor Cd propuesto en cada norma frente al espectro de Cd/R para el registro Pedernales E-O.	21
Figura 6: Distribución de equipos de acelerógrafos en el Ecuador (Viracucha C., Singaicho JC. - IGEPN).	22
Figura 7: Programa para determinar la ductilidad de un sistema de 1 grado de libertad "NNL.m" (Ávila, 2018)	23
Figura 8: Parte lineal de la programación NNL para el cálculo de ductilidades de un sistema.....	24
Figura 9: Parte no lineal de la programación NNL para el cálculo de ductilidades de un sistema.....	24
Figura 10: Espectro de valores del coeficiente de ductilidad (μ_s) para diferentes valores de R_μ en función del periodo del sismo de pedernales componente E-O.....	26
Figura 11: Espectro de valores del coeficiente de ductilidad (μ_s) entre R_μ para diferentes valores de R_μ en función del periodo del sismo de pedernales componente E-O	27
Figura 12: Programa en Matlab Response_Spectrum_NNL	28
Figura 13: Ingreso de inputs al programa Response_Spectrum_NNL	29
Figura 14: Ingreso de outputs al programa Response_Spectrum_NNL	29

Figura 15: Ingreso de la variable de ductilidad “espec_mi”.	30
Figura 16: Ingreso de registros sísmicos para el análisis.	31
Figura 17: Ingreso de la variable de ductilidad sobre factor de reducción "espec_cd_R"	31
Figura 18: Visualización de las variables Cd/R para diferentes registros sísmicos.	32
Figura 19: Ingreso de especificaciones para visualizar las gráficas del programa	32
Figura 20: Resultados de Cd/R para $R_{\mu}=2.5$ de la clasificación $T=1.0$ seg.	33
Figura 21: Resultados de Cd/R para $R_{\mu}=2.5$ de la clasificación PGA.	38
Figura 22: Resultados de Cd/R para $R_{\mu}=2.5$ de la clasificación $T=0.2$ seg.	38
Figura 23: Resultados de Cd/R para $R_{\mu}=2.5$ de la clasificación $T=1.0$ s.	38
Figura 24: Resultados de Cd/R para $R_{\mu}=2.5$ de la clasificación $T=3.0$ seg.	38
Figura 25: Propuesta de la relación Cd/R cuando el factor $R_{\mu}=1.2$	45
Figura 26: Propuesta de la relación Cd/R cuando el factor $R_{\mu}=1.5$	46
Figura 27: Propuesta de la relación Cd/R cuando el factor $R_{\mu}=2.5$	47
Figura 28: Propuesta de la relación Cd/R cuando el factor $R_{\mu}=3.0$	48
<i>Figura 29: Comportamiento de todas las propuestas de la relación Cd/R y las de las normas.</i>	49
Figura 30: Propuesta de valores Cd para sistemas estructurales dúctiles.	50
Figura 31: Propuesta de valores Cd para sistemas estructurales de ductilidad limitada	52

RESUMEN

Debido a que una estructura correctamente diseñada tiene la capacidad de disipar energía de entrada provocada por un evento sísmico, las disposiciones modernas de diseño utilizan este criterio principalmente para optimizar costos, proponiendo que las fuerzas sísmicas elásticas sean reducidas significativamente, usando un factor de reducción R , por esta razón la estructura experimentará un desplazamiento inelástico producto de aquella fuerza. En vista de que los métodos algebraicos no son suficientes para el cálculo del desplazamiento inelástico, las normas establecen factores que permitan aproximar un valor cercano al comportamiento plástico de la estructura. En el Programa Nacional de Reducción de Riesgos y Terremotos (NEHRP), establece utilizar un factor de amplificación de deflexiones (C_d) para calcular el desplazamiento inelástico máximo esperado a partir del desplazamiento elástico. Por otro lado, la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-15), indica que los desplazamientos inelásticos (Δ_M) se calculan multiplicando el desplazamiento elástico máximo (Δ_E) por 0,75 y por el factor R . En cambio, la Sociedad Americana de Ingenieros civiles (ASCE7-16) plantea que sean multiplicados los desplazamientos elásticos por un factor de amplificación de deflexión (C_d) que normalmente es similar al factor de reducción de resistencia (R). Teniendo en cuenta todas estas variaciones propuestas por cada norma, la presente investigación está orientada a conseguir estos factores de amplificación de deflexión (C_d) correspondientes a estructuras de un grado de libertad, con la finalidad de tener valores estándar, sujetos a un espectro de diseño.

Palabras Claves: *Ductilidad, Sobre Resistencia, Factor de reducción, Espectro de respuesta, Desplazamiento, Registro Sísmico.*

ABSTRACT

Because a properly designed structure has the ability to dissipate input energy caused by a seismic event, Modern design provisions use this criterion primarily to optimize costs, proposing that the elastic seismic forces be significantly reduced, using an R reduction factor, for this reason the structure will experience an inelastic displacement product of that force. Since algebraic methods are not sufficient for the calculation of inelastic displacement, the rules establish factors that allow a value close to the plastic behavior of the structure to be approximated. In the National Risk and Earthquake Reduction Program (NEHRP), it establishes the use of a deflection amplification factor (C_d) to calculate the maximum expected inelastic displacement from the elastic displacement. On the other hand, the Ecuadorian construction standard (NEC-15) indicates that inelastic displacements (Δ_M) are calculated by multiplying the maximum elastic displacement (Δ_E) by 0.75 and by the R factor. In contrast, the American Society of Civil Engineers (ASCE7-16) proposes that elastic displacements be multiplied by a deflation amplification factor (C_d) that is normally similar to the resistance reduction factor (R). Taking into account all these variations proposed by each regulations, this research is aimed at achieving these deflection amplification factors (C_d) corresponding to structures of a degree of freedom, in order to have values standard, subject to a design spectrum.

Keywords: Ductility, Over strength, Reduction Factor, Response Spectrum, Displacement, seismic records.

1.1. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de disposiciones de diseño sísmico para estructuras de edificios, la parte más controvertida es la asignación de los factores de reducción de fuerza y los factores de amplificación de deflexiones. El Programa Nacional de Reducción de Riesgos y Terremotos (NEHRP), establece un factor de reducción de fuerza, expresado como un factor de modificación de respuesta R , el cual se utiliza para reducir los espectros de respuesta del diseño elástico lineal. Por otra parte, el NEHRP utiliza un factor de amplificación de deflexiones (C_d) para calcular el desplazamiento inelástico máximo esperado a partir del desplazamiento elástico inducido por las fuerzas sísmicas de diseño.

La presente investigación está orientada a conseguir factores de amplificación de deflexión (C_d) correspondientes a estructuras de un grado de libertad, en el cual se tomarán diversos registros sísmicos ocurridos con anterioridad para relacionar el desplazamiento máximo con el desplazamiento de fluencia producido por el factor de reducción R .

La norma ASCE 7-16, dice que se calculen los desplazamientos bajo fuerzas de sismo para el diseño por resistencia. El uso de un espectro elástico implica diseñar las estructuras para que soporten estas fuerzas sísmicas de diseño. En vista de que la probabilidad que ocurra un sismo así de fuerte a lo largo de la vida útil de la estructura es muy baja, las normas vigentes proponen el uso de un espectro de diseño inelástico, aplicando una reducción de fuerzas sísmicas mediante un factor de reducción R , asumiendo que superará su rango elástico y disipará energía, por medio de daño, para la cual se requerirá una suficiente ductilidad para que no colapse.

Para el desarrollo del trabajo investigativo se utilizará la programación de Matlab creada por David Ávila (2018), en la que se ingresan registros sísmicos ocurridos en la ciudad de Pedernales del 2016, revelando el valor de ductilidad para cada espectro de respuesta.

CAPITULO 1

1.1. Antecedentes

En la actualidad existe una gran discusión sobre los factores de amplificación de deflexión especificados en las normas de algunos países, entre ellos el Ecuador. Los factores de amplificación de deflexión son aquellos factores que tienen como objetivo convertir los desplazamientos obtenidos en un análisis modal espectral con fuerzas laterales de diseño reducidas (por medio de factores R) a desplazamientos inelásticos.

En el caso de la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015) (NEC-15) los desplazamientos inelásticos (Δ_M) se calculan multiplicando los desplazamientos del análisis elástico con fuerzas reducidas (Δ_E) por el factor de reducción de resistencia (R) y por 0.75.

En el caso de las especificaciones de la (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles , 2007)(ASCE 7-16), los desplazamientos inelásticos se calculan multiplicando los desplazamientos del análisis elástico con fuerzas reducidas (Δ_E) por un factor de amplificación de deflexión (C_d) que normalmente es similar al factor de reducción de resistencia (R).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Obtener la relación entre los factores de amplificación de deflexión (C_d) y los factores de reducción de resistencia (R) por medio de un análisis no lineal de estructuras de 1 grado de libertad sometidas a varios registros sísmicos.

1.2.2. Objetivos específicos

Identificar la influencia del factor de reducción de ductilidad (R_μ) en la relación entre el valor del factor de amplificación de deflexión (C_d) y el factor de reducción de resistencia (R).

Identificar la influencia de la intensidad (aceleraciones) de los registros sísmicos en la relación entre el valor del factor de amplificación de deflexión (C_d) y el factor de reducción de resistencia (R).

Obtener expresiones sencillas para el cálculo de los valores del factor de amplificación de deflexión (C_d) en función de los factores de reducción de resistencia (R).

Comparar las expresiones propuestas para el cálculo de los valores del factor de amplificación de deflexión (C_d) con aquellas especificadas en las normas ASCE7-16 y NEC-15.

1.3. Alcance

Mediante un algoritmo desarrollado en Matlab, se realizarán análisis historia de la respuesta no lineal de estructuras de 1 grado de libertad sometidas a varios registros sísmicos, para diferentes valores del factor de reducción por ductilidad (R_μ).

Para cada caso, se obtendrán los desplazamientos elásticos ($R_\mu=1$) e inelásticos para establecer la relación entre los factores de amplificación de deflexión y los factores de reducción de resistencia (C_d/R).

Se estudiará la influencia de varios parámetros en la relación C_d/R .

Se establecerán ciertas hipótesis y simplificaciones para obtener expresiones sencillas para el cálculo de los valores C_d que puedan ser incorporados en las normas.

Se propondrá un método para obtener factores de amplificación de deflexión para estructuras de un grado de libertad, utilizando diferentes valores de factor de reducción R .

Se realizarán varias modificaciones del programa de Matlab elaborado por David Ávila (2018), para poder obtener la ductilidad de una estructura expuesta a un evento sísmico.

Se calculará qué tanto influyen los factores de reducción(R) y de ductilidad (μ) en los factores de amplificación de deflexión.

Se evaluarán las diferencias que existen entre los desplazamientos con los factores de amplificación de deflexión obtenidos y lo especificado en la norma ACSE 7-10 y NEC-15.

Los valores de desplazamiento y ductilidad de los diferentes registros sísmicos serán obtenidos en base a la programación de Matlab de David Ávila (2018).

Los registros sísmicos considerados para este estudio serán extraídos del sismo de la ciudad de Pedernales, provincia de Manabí ocurrido el pasado 16 de abril del 2016, obtenidos por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

En el segundo capítulo, Marco Teórico, se presentarán varias definiciones y trabajos de investigación en los que se basaron los métodos y cálculos utilizados en este trabajo de grado. Primero se explicarán conceptos básicos relacionados al diseño sismo resistente de edificaciones y luego, se presentarán las ideas principales de trabajos de investigación enfocados en el valor del factor de amplificación de deflexiones (Cd).

2.2. Diseño Sismo-Resistente de Edificaciones

Existen muchas maneras de diseñar estructuras (edificaciones) para que resistan los efectos de los terremotos. Estos métodos de diseño han sido desarrollados por investigadores durante décadas, y son oficializados al incluirse en la norma de diseño sísmico de los diferentes países alrededor del mundo.

En el Ecuador, las disposiciones de diseño sismo-resistente se encuentran publicadas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), la cual se basa en las recomendaciones de diseño sísmico de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE7) de Estados Unidos.

Tanto las especificaciones de diseño sísmico de la NEC-15 como de la ASCE7 tienen como método principal de diseño sismo-resistente de edificios al método Espectral. El Método Espectral consiste de definir la demanda sísmica por medio de un Espectro de Diseño, el cual asigna valores de pseudo-aceleraciones en función al periodo natural de vibración de las estructuras. Las pseudo-aceleraciones son aceleraciones, normalmente expresadas en porcentaje de la gravedad, tales que, multiplicadas por la masa de la estructura producen una fuerza lateral equivalente (cortante basal) que simula los efectos del sismo. Aunque el Método Espectral es un

método dinámico debido a que sus resultados dependen del periodo, masa y amortiguamiento de la estructura, es un método elástico ya que no considera la pérdida de rigidez ni resistencia de la estructura.

2.3. Factores R, Cd y Ω

Por razones de economía, las disposiciones modernas de diseño sísmico requieren que las fuerzas sísmicas elásticas sean reducidas significativamente, aprovechando la capacidad de la estructura de disipar la energía de entrada inducida por los terremotos. (Mohammadi, 2002)

Para el método de diseño por resistencia, las Provisiones Recomendadas del Programa Nacional de Reducción de Riesgos de Terremotos (NEHRP) de Estados Unidos, sugirieron en el año de 1999 reducir la fuerza elástica (obtenida del Espectro Elástico) usando un factor de reducción R, para obtener la fuerza de diseño. Estructuras diseñadas con esta fuerza incursionarán en el rango inelástico. (Mohammadi, 2002)

Para estimar las deformaciones inelásticas máximas (Δ_{max}), que produciría el sismo de diseño, las deformaciones obtenidas con la aplicación de las fuerzas de diseño (reducidas), calculadas en un análisis estructural elástico, deben ser amplificadas por un factor de amplificación de deflexiones (Cd). (Uang, DEFLECTION AMPLIFICATION FACTOR FOR SEISMIC DESIGN PROVISIONS, 1994).

Considerando una respuesta estructural global típica, la Figura1 muestra que la resistencia elástica requerida expresada en términos de relación al cortante de la base (C_{eu}), es:

$$C_{eu} = \frac{V_e}{W} \quad (1)$$

Donde W= es el peso de las masas reactivas; V_e = el máximo cortante que se desarrolla en la base de la estructura si permaneciera en el rango elástico.

El primer problema asociado a este tipo de procedimiento de diseño “elástico” es que los diseñadores no conocen la verdadera resistencia de la estructura. Si la resistencia de reserva de una estructura (llamada sobre resistencia), más allá del diseño del nivel C_s , es significativamente menor que el supuesto implícitamente en las disposiciones sísmicas, es probable que el desempeño de la estructura no sea satisfactorio durante sismos severos. El segundo problema es que el desplazamiento inelástico máximo no puede calcularse a partir de los resultados de un análisis elástico. El NEHRP utiliza el factor de deflexión (C_d), para predecir el desplazamiento inelástico máximo del desplazamiento elástico producido por las fuerzas de diseño sísmico. (Uang, ESTABLISHING R (OR RW) AND C_d FACTORS FOR BUILDING SEISMIC PROVISIONS, 1991).

NEHRP sugiere que el nivel de fuerza elástica debe reducirse al nivel de la fuerza de diseño usando un factor de reducción R . Una estructura diseñada en base a esta fuerza, se encuentra en el rango inelástico. Para estimar la deflexión inelástica máxima que podría desarrollarse en un sismo importante, las deflexiones calculadas a partir de un análisis elástico se amplifican por un factor de amplificación de deflexiones (DAF) de la siguiente manera:

$$\Delta_{max} = \Delta_s \times C_d \quad (2)$$

Donde Δ_{max} es la deflexión inelástica máxima, Δ_s la deflexión calculada a partir de los análisis estáticos y elásticos de la estructura sujeta a fuerzas sísmicas equivalentes introducidas por el código a utilizar y C_d el factor de amplificación de deflexiones.

Para los diseños sísmicos, es importante estimar Δ_{max} , debido a varias razones, entre ellas: (1) Estimando la separación mínima entre edificios para evitar que colisionen entre sí. (2) Estimando las derivas máximas de entre piso. (3) Comprobando la capacidad de deformación de los miembros estructurales críticos. (4) La inspección de los efectos P-Delta y (5) Detallando las conexiones para componentes no estructurales (Uang,

DEFLECTION AMPLIFICATION FACTOR FOR SEISMIC DESIGN PROVISIONS, 1994) .

Para la determinación de los valores de Cd, Uang (1991) definió los siguientes parámetros:

2.3.1. Factor de Ductilidad Estructural (μ_s)

Idealizando la curva de respuesta estructural real, por la curva elasto-plástica perfecta lineal en la Figura 1, se puede definir el factor de ductilidad estructural como:

$$\mu_s = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (3)$$

Donde la deformación puede expresarse en términos de deriva.

2.3.2. Factor de Reducción por Ductilidad (R_μ)

Como resultado de la ductilidad, la estructura tiene la capacidad de disipar la energía histerérica. Debido a esta capacidad de disipación de energía, la fuerza de diseño elástica puede reducirse a un nivel de resistencia de fluencia (C_y) por medio del factor R_μ .

$$R_\mu = \frac{C_{eu}}{C_y} \quad (4)$$

Hay que notar que el nivel de resistencia de fluencia se refiere al nivel del colapso estructural, no a la primera fluencia significativa.

2.3.3. Factor de Sobre resistencia (Ω)

La resistencia de reserva que existe entre el nivel de fluencia estructural real (C_y) y la primera fluencia significativa (C_s) prescrito por NEHRP, se define en términos del factor de sobre resistencia (Ω).

$$\Omega = \frac{C_y}{C_s} = \frac{\Delta_y}{\Delta_s} \quad (5)$$

La sobre resistencia estructural resulta de la redistribución de la fuerza interna (redundancia), mayor resistencia del material que las especificadas en el diseño, endurecimiento por deformación, restricciones de deflexión en el rendimiento del sistema, sobredimensionamiento de los miembros estructurales, requisitos mínimos de acuerdo con NEHRP con respecto a la proporción y de detallado, múltiples combinaciones de carga, efecto de elementos no estructurales, efecto de velocidad de deformación, etc.

2.3.4. Factor de Modificación de Respuesta (R)

El factor de reducción de fuerza total o factor de modificación de respuesta R según NEHRP, puede definirse como un producto del factor de reducción de ductilidad convencional y el factor de sobre resistencia. Correspondientemente el formato de diseño de resistencia puede ser derivado de la siguiente manera:

$$R = \frac{C_{eu}}{C_s} = \frac{C_{eu} C_y}{C_y C_s} = R_\mu \Omega \quad (6)$$

Donde, C_y es la correspondiente resistencia al rendimiento normalizado de la deflexión elástica, C_{eu} la fuerza normalizada inducida en un gran sismo y C_s la relación de la fuerza de diseño con el peso total de la estructura, que es especificado por el código.

2.3.5. Factor de amplificación de deflexiones (C_d)

Según el NEHRP, el factor de amplificación de deflexiones (C_d), es la relación entre Δ_{max} y Δ_s , también se puede derivar de la ilustración 1 de la siguiente manera:

$$C_d = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_s} = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \frac{\Delta_y}{\Delta_s} = \mu_s \Omega \quad (7)$$

A partir de estas derivaciones, se observa que tanto los factores R como C_d son funciones del factor de sobre resistencia estructural, el factor de ductilidad estructural y la relación de amortiguamiento; el efecto de amortiguamiento se incluye generalmente en el factor de reducción de ductilidad R_μ . Cabe señalar que estos factores son de naturaleza empírica, se basan en el desempeño estructural observado en los sismos pasados.

En Uang (1991) se simplifica el análisis relacionando los valores de C_d y R (C_d/R), uniendo las ecuaciones (2) y (6) de la siguiente forma:

$$\frac{C_d}{R} = \frac{\mu_s}{R_\mu} \quad (8)$$

En este caso no es necesario conocer el valor de la sobre resistencia (Ω).

2.4. Análisis de Historia de la Respuesta Inelástica

El método de análisis de Historia de la Respuesta Inelástica puede ser considerado el método más “real” en comparación con los otros métodos de análisis estructural establecido en las normas (Fuerzas Estáticas Equivalentes, Modal Espectral, Estático No lineal o Pushover).

Este método considera el cambio de rigidez y de resistencia de las estructuras, además de considerar los efectos del tiempo de duración de los sismos.

Por ser un análisis en el tiempo, este método requiere del uso de registros sísmicos. Los registros sísmicos utilizados son por lo general obtenidos en terremotos reales por medio de los acelerógrafos. Estos equipos registran las aceleraciones del suelo, o estructura donde se encuentren ubicados, en el momento que sucede un terremoto. Por lo general, cada equipo registra las tres (3) componentes del sismo: 2 horizontales perpendiculares entres si, y una vertical.

En el Ecuador se cuenta con una red acelerográfica permanente (RENAC) del el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN). Esta red cuenta con 57 acelerógrafos distribuidos a lo largo y ancho del país. Entre los registros sísmicos más importantes obtenidos por esta red acelerográfica están los capturados el 16 de abril del 2016 en el denominado Terremoto de Pedernales.

Para obtener la respuesta inelástica de una estructura sometida a registros sísmicos, es necesario la evaluación numérica de la respuesta.

2.5. Evaluación numérica de la respuesta dinámica.

Por lo general, la respuesta dinámica de un sistema más allá de su intervalo elástico lineal no es susceptible a una solución analítica, incluso si la variación en el tiempo de la excitación está descrita por una función simple (Chopra, 2014)

Debido a la complejidad de analizar la respuesta dinámica de sistemas estructurales cuando estos incursionan en el rango inelástico, es necesario recurrir al análisis numérico. Uno de los métodos numéricos que se usan para evaluar la respuesta no lineal de estructuras, es el método propuesto por Newmark por medio de la iteración de Newton-Raphson (Ávila, 2018)

2.6. Iteración de Newton-Raphson (Chopra, 2014)

Es necesario saber que, para cualquier tipo de análisis de un sistema no lineal, las ecuaciones que conlleven los diferentes métodos numéricos, se van a derivar de la ecuación general de movimiento.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u) = p(t) \tag{9}$$

Donde:

m = masa

\ddot{u} =aceleración

c = coeficiente de amortiguamiento viscoso

u' =velocidad

$f_s(u)$ = fuerza restauradora estática

u = desplazamiento

$P(t)$ = fuerza excitadora en función del tiempo

Sometida a las condiciones iniciales.

$$u_0 = u(0) \qquad \dot{u}_0 = \dot{u}(0)$$

Por lo tanto, se simplificará los términos de amortiguamiento e inercia y la ecuación del movimiento se resume a:

$$f_s(u) = p(t) \qquad (10)$$

La tarea consiste en determinar la deformación (u) debida a una fuerza p dada, donde la relación fuerza-deformación no lineal $f_s(u)$ está definida para el sistema a analizar. Suponga que después de j ciclos de iteración, $u^{(j)}$ es una estimación del desplazamiento desconocido y se tiene interés en desarrollar un procedimiento iterativo que proporcione una mejor estimación de $u^{(j+1)}$. Para este propósito, la expansión de la fuerza restauradora $f_s^{(j+1)}$ en una serie de Taylor alrededor de la estimación conocida $u^{(j)}$ da:

$$f_s^{(j+1)} = f_s^{(j)} + \left. \frac{\partial f_s}{\partial u} \right|_{u^{(j)}} (u^{(j+1)} - u^{(j)}) + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2}{\partial u^2} \right|_{u^{(j)}} (u^{(j+1)} - u^{(j)})^2 + \dots \qquad (11)$$

Si $u^{(j)}$ está cerca de la solución, el cambio en u , $\Delta u^{(j)} = u^{(j+1)} - u^{(j)}$, será pequeño y es posible despreciar los términos de segundo orden y órdenes superiores. Lo anterior conduce a la ecuación linealizada.

$$f_s^{(j+1)} \cong f_s^{(j)} + k_T^{(j)} \Delta u^{(j)} = p \quad (12)$$

o

$$k_T^{(j)} \Delta u^{(j)} = p - f_s^{(j)} = R^{(j)} \quad (13)$$

Donde $k_T^{(j)} = \left. \frac{\partial f_s}{\partial u} \right|_{u^{(j)}}$ es la rigidez tangente en $u^{(j)}$. Si se resuelve la ecuación linealizada (13) resulta $\Delta u^{(j)}$ y una estimación mejorada del desplazamiento:

$$u^{(j+1)} = u^{(j)} + \Delta u^{(j)} \quad (14)$$

El procedimiento iterativo se describe a continuación con referencia a la ecuación (10). La fuerza $f_s^{(i+1)}$ está asociada con $u^{(i)}$ y no es igual a la fuerza aplicada p , además se define una fuerza residual: $R^{(i)} = p - f_s^{(i)}$. el desplazamiento adicional debido a esta fuerza residual se determina a partir de la ecuación (13), dando lugar a $u^{(i+1)}$. Esta nueva estimación de la solución se utiliza para encontrar un nuevo valor de la fuerza residual $R^{(i+1)} = p - f_s^{(i+1)}$. El desplazamiento adicional $\Delta u^{(i)}$ debido a esta fuerza residual se determina resolviendo:

$$k_T^{(j+1)} \Delta u^{(j+1)} = R^{(j+1)} \quad (15)$$

Este desplazamiento adicional se utiliza para encontrar un nuevo valor del desplazamiento:

$$u^{(j+2)} = u^{(j+1)} + \Delta u^{(j+1)} \quad (16)$$

Y el nuevo valor de la fuerza residual $R^{(i+2)}$. El proceso continúa hasta que se alcanza la convergencia. Este proceso iterativo se conoce como el método de Newton-Raphson.

2.6.1. Tasa de convergencia

Se puede probar que cerca del final del proceso de iteración, el algoritmo de Newton-Raphson converge con una tasa cuadrática a la solución exacta u , es decir $|u - u^{(j+1)}| \leq c|u - u^{(j)}|^2$, donde c es una constante que depende de la segunda derivada de la fuerza restauradora o el cambio de rigidez tangente. Este resultado implica que cerca de la solución, el error en la $(j+1)$ -ésima iteración (igual a la diferencia entre u y $u^{(j+1)}$) es menor que el cuadrado del error en la iteración anterior $u^{(j)}$.

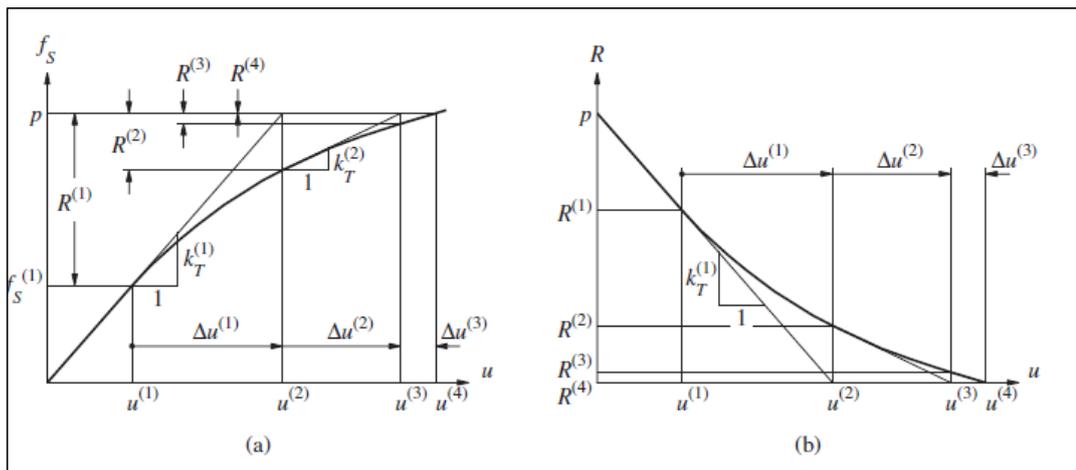


Figura 2: Iteración de Newton-Raphson: (a) aplicación y fuerzas restauradoras. (b) fuerza residual. (Chopra, 2014)

2.6.2. Criterios de convergencia

Después de cada iteración se verifica la solución y el proceso iterativo termina cuando alguna medida del error en la solución es menor que una tolerancia especificada. Por lo general, se aplican uno o más de los siguientes criterios de convergencia (o aceptación):

1. La fuerza residual es menor que una tolerancia

$$|R^{(j)}| \leq \varepsilon_R \quad (17a)$$

Los valores convencionales para la tolerancia ε_R van de 10^{-3} a 10^{-8} .

2. El cambio en el desplazamiento es menor que una tolerancia:

$$|\Delta u^{(j)}| \leq \varepsilon_u \quad (17b)$$

Los valores convencionales para la tolerancia ε_u van de 10^{-3} a 10^{-8} .

3. El trabajo incremental realizado por la fuerza que actúa en el cambio del desplazamiento es menor que una tolerancia:

$$\frac{1}{2} |\Delta u^{(j)} R^{(j)}| \leq \varepsilon_w \quad (17c)$$

La tolerancia ε_w debe estar en, o cerca de la tolerancia de la computadora (máquina) porque el lado izquierdo es un producto de cantidades pequeñas.

2.7. Método de Newmark

Ahora se ha desarrollado la iteración de Newton-Raphson para resolver una ecuación de equilibrio no lineal (por ejemplo, la ecuación (11)) que controla el problema estático. En el análisis dinámico, la meta es determinar las cantidades de respuesta u_{i+1} , \dot{u}_{i+1} , \ddot{u}_{i+1} en el tiempo $i+1$ que satisfacen la ecuación:

$$(\hat{f}_s)_{i+1} = p_{i+1} \quad (19)$$

Donde

$$(\hat{f}_s)_{i+1} = m\ddot{u}_{i+1} + c\dot{u}_{i+1} + (f_s)_{i+1} \quad (20)$$

Si se incluyen la inercia y las fuerzas de amortiguamiento en la definición de la “fuerza restauradora” \hat{f}_s , la ecuación del análisis dinámico (18) tiene la misma forma que la ecuación del análisis estático (10).

Por lo tanto, es posible adaptar la expansión de la serie de Taylor para la ecuación (11) a la ecuación (18), interpretar $(\hat{f}_s)_{i+1}$ como una función de u_{i+1} y descartar los términos de segundo orden y órdenes superiores para obtener una ecuación análoga a la ecuación (12):

$$(\hat{f}_s)_{i+1}^{(j+1)} \cong (\hat{f}_s)_{i+1}^{(j)} + \frac{\partial \hat{f}_s}{\partial u_{i+1}} \Delta u^{(j)} = p_{i+1} \quad (21)$$

Donde

$$\Delta u^{(j)} = u_{i+1}^{(j+1)} - u_{i+1}^{(j)} \quad (22)$$

Si se diferencia la ecuación (18) en el desplazamiento conocido $u_{i+1}^{(j)}$ da

$$\frac{\partial \hat{f}_s}{\partial u_{i+1}} = m \frac{\partial \ddot{u}}{\partial u_{i+1}} + c \frac{\partial \dot{u}}{\partial u_{i+1}} + \frac{\partial f_s}{\partial u_{i+1}}$$

Donde las derivadas en términos de la inercia y el amortiguamiento en el lado derecho pueden determinarse a partir de las ecuaciones:

$$\ddot{u}_{i+1} = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} (u_{i+1} - u_i) - \frac{1}{\beta\Delta t} \dot{u}_i - \left(\frac{1}{2\beta} - 1 \right) \ddot{u}_i \quad (23)$$

$$\dot{u}_{i+1} = \frac{\gamma}{\beta\Delta t} (u_{i+1} - u_i) + \left(1 - \frac{\gamma}{\beta} \right) \dot{u}_i + \Delta t \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{u}_i \quad (24)$$

En donde los valores de γ, β para el método de la aceleración promedio constante son:

$$\gamma = 0.5$$

$$\beta = 0.25$$

Por lo tanto:

$$\frac{\partial \ddot{u}}{\partial u_{i+1}} = m \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \qquad \frac{\partial \dot{u}}{\partial u_{i+1}} = \frac{\gamma}{\beta\Delta t}$$

Si se juntan las dos ecuaciones anteriores y se recuerda la definición de la rigidez tangente (9), resulta.

$$(\hat{k}_T)_{i+1}^{(j)} \equiv \frac{\partial \hat{f}_s}{\partial u_{i+1}} = (\hat{k}_T)_{i+1}^{(j)} + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c + \frac{1}{\beta (\Delta t)^2} m \quad (25)$$

Con la definición anterior de $(\hat{k}_T)_{i+1}^{(j)}$, la ecuación (19) puede escribirse como

$$(\hat{k}_T)_{i+1}^{(j)} \Delta u^{(j)} = p_{i+1} - (\hat{f}_s)_{i+1}^{(j)} \equiv \hat{R}_{i+1}^{(j)} \quad (26)$$

Al sustituir las ecuaciones (23) y (24) en la ecuación (19), para después combinarla con el lado de la ecuación (25), se obtiene la siguiente expresión para la fuerza residual:

$$\begin{aligned} \hat{R}_{i+1}^{(j)} = p_{i+1} - (f_s)_{i+1}^{(j)} - \left[\frac{1}{\beta (\Delta t)^2} m + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c \right] (u_{i+1}^{(j)} - u_i) \\ + \left[\frac{1}{\beta \Delta t} + \left(\frac{\gamma}{\beta} - 1 \right) \dot{u}_i \right] + \left[\left(\frac{1}{2\beta} - 1 \right) m + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) c \right] \ddot{u}_i \end{aligned} \quad (27)$$

Observe que la ecuación linealizada (25) para la j -ésima iteración del análisis dinámico es similar en forma a la correspondiente ecuación (14) del análisis estático. Sin embargo, existe una diferencia importante en las dos ecuaciones por lo que ahora se incluyen los términos de amortiguamiento e inercia, tanto en la rigidez tangente \hat{k}_T (ecuación 24) como en la fuerza residual \hat{R} (ecuación 26). Los términos primero, cuarto y quinto de lado derecho de la ecuación (27) no cambian de una iteración a la siguiente. Los términos segundo y tercero deben actualizarse con cada nueva estimación del desplazamiento $u_{i+1}^{(j)}$ durante la iteración. La ecuación (25) proporciona las bases para el método de iteración de Newton-Raphson. Una vez que se determina $u_{i+1}^{(j)}$, el resto del cálculo procede como para los sistemas lineales; en particular, \ddot{u}_{i+1} y \dot{u}_{i+1} se determinan a partir de las ecuaciones (22) y (23), respectivamente.

CAPITULO 3

3. PROBLEMÁTICA DEL FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DE DEFLEXIONES PARA EL CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTOS INELÁSTICOS.

Las normativas vigentes establecen que para obtener el desplazamiento inelástico se debe primero calcular el desplazamiento elástico y multiplicarlo por un factor que sea capaz de representar el comportamiento de una estructura cuando ésta incursiona en el rango plástico. Sin embargo, existen diferencias por parte de las normas que hablan sobre este tema:

3.1. Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC-15)

La norma ecuatoriana de la construcción plantea que el desplazamiento inelástico es igual al 75% del desplazamiento elástico por un factor de reducción R. Este último va a estar en función del tipo de estructura en específico que se va a diseñar.

Límites de la deriva: la deriva máxima inelástica Δ_M de cada piso debe calcularse mediante:

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E$$

Dónde:

Δ_M Deriva máxima inelástica

Δ_E Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

R Factor de reducción de resistencia (véase la sección [6.3.4](#))

Figura 3: Límite de la deriva máxima Δ_M (NEC-15, Sección 6.3.9)

3.2. Sociedad americana de Ingenieros civiles (ASCE 7-16)

La norma de la Sociedad Americana de Ingenieros civiles, en cambio establece que, para el cálculo de los desplazamientos inelásticos, los factores de amplificación de deflexiones (C_d) dependen del sistema estructural que se vaya a analizar.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (12.8-15)$$

where

- C_d = deflection amplification factor in Table 12.2-1;
- δ_{xe} = deflection at the location required by this section determined by an elastic analysis; and
- I_e = Importance Factor determined in accordance with Section 11.5.1.

Figura 4: Determinación d la deriva de entre piso (ASCE 7-16), Sección 12.8.6

En la Figura 5 se puede observar los rangos que establece cada norma, frente a un espectro inelástico de ductilidades desarrollado a partir de una respuesta sísmica, en este caso se analizará el registro Pedernales componente Este - Oeste, con un factor de reducción de ductilidad $R_\mu=2$.

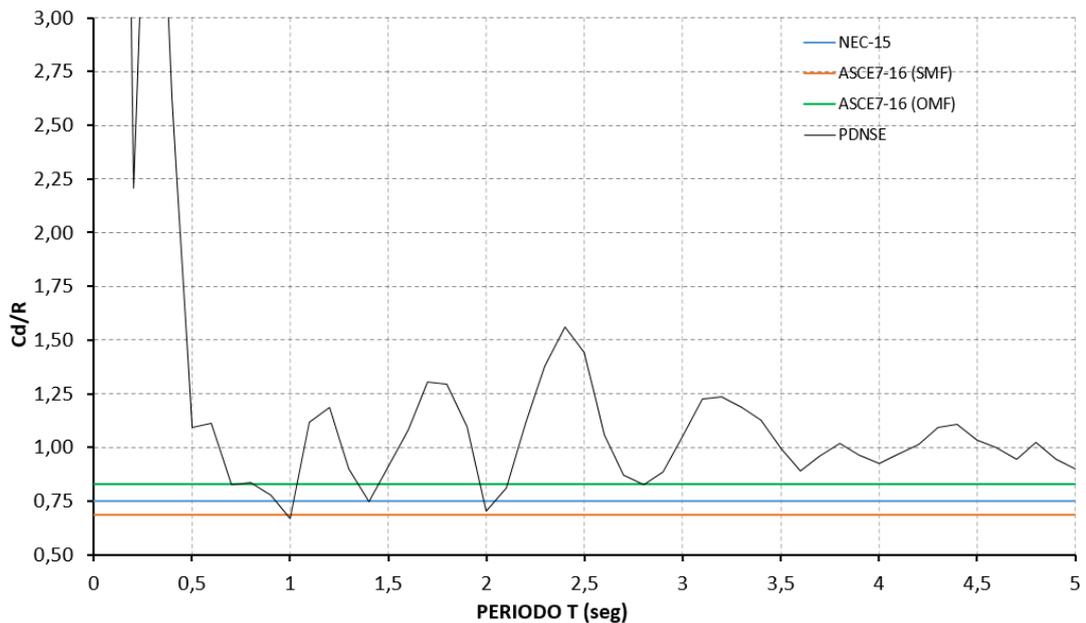


Figura 5: Comparación del factor C_d propuesto en cada norma frente al espectro de C_d/R para el registro Pedernales E-O.

CAPITULO 4

4. METODOLOGÍA PROPUESTA

4.1. Introducción

Este estudio analizará la respuesta inelástica de estructuras de un grado de libertad sometidas a registros sísmicos para evaluar los desplazamientos máximos inelásticos y compararlos con aquellos que resultan del análisis elástico con fuerzas reducidas.

4.2. Cálculo del factor de amplificación de deflexiones a partir de la respuesta inelástica de estructuras de un grado de libertad.

Para lograr determinar el factor de amplificación de deflexiones a partir de la respuesta inelástica de una estructura de un grado de libertad, se requiere seguir los siguientes pasos.

4.2.1. Selección de registros sísmicos

Para este trabajo de investigación se utilizarán los datos registrados en la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC) del sismo de Pedernales ocurrido el 16 de abril del 2016, los cuales cuentan con 29 estaciones distribuidas en todo el país y cada una de ellas utiliza en sus mediciones de acelerógrafos, dos componentes, norte-sur y este-oeste. (Ver Figura 6 y Tabla 1)



Figura 6: Distribución de equipos de acelerógrafos en el Ecuador (Viracucha C., Singaicho JC. - IGEPN).

CUIDAD	ESTACIÓN	COMPONENTE	CUIDAD	ESTACIÓN	COMPONENTE
CHONE	ACHN	E-O N-S	SAN LORENZO	ALOR	E-O N-S
ESMERALDAS NORTE	AES2	E-O N-S	MILAGRO	AMIL	E-O N-S
ESMERALDAS SUR	AMA1	E-O N-S	GUAYAQUIL SUR	AGY1	E-O N-S
PEDERNALES NORTE	APED	E-O N-S	GUAYAQUIL NORTE	AGYE	E-O N-S
PORTOVIEJO	APO1	E-O N-S	IBARRA SUR	AIB2	E-O N-S
QUININDÉ	AV18	E-O N-S	LATACUNGA	ALAT	E-O N-S
VICHE	AV21	E-O N-S	LOJA	ALJ1	E-O N-S
PEDERNALES SUR	PDNS	E-O N-S	OTAVALO	AOTA	E-O N-S
MANTA	AMNT	E-O N-S	QUITO	APNL	E-O N-S
RIOBAMBA	AAM2	E-O N-S	P. VICENTE MALDONADO	APR2	E-O N-S
MAHCALA	ACH1	E-O N-S	PAPALLACTA	APS4	E-O N-S
CUENCA	ACUE	E-O N-S	SANTO DOMINGO	ASDO	E-O N-S
GUAYAQUIL CENTRO	AGY2	E-O N-S	TULCAN	ATUL	E-O N-S
IBARRA NORTE	AIB1	E-O N-S	GUAYABAMBA	AV11	E-O N-S
LA LIBERTAD	ALIB	E-O N-S			

Tabla 1: Visualización de las 29 estaciones de acelerógrafos y su correspondiente ciudad, extraídos de la RENAC

4.2.2. Asignación de datos iniciales para el análisis no lineal.

Se obtendrá la respuesta elástica máxima (C_{eu}) de estructuras de 1 grado de libertad sometido a los registros mencionados en el punto 1. Para ello será necesario definir un valor de masa (M), porcentaje de amortiguamiento crítico (ξ) y rigidez (k). El porcentaje de amortiguamiento crítico será considerado igual al 5%. Se definirá una masa unitaria ($M=1$), y un valor de periodo de vibración (T) para obtener el valor de la rigidez (k).

```

Editor - D:\TESIS DE GRADO\Tesis MATLAB\Cálculo de Espectros\NNL.m
Response_Spectrum_NNL.m  NNL.m  +
1  function [u,u1,u2,mi] = NNL(VCol)
2
3      dt=0.01;
4      global T
5
6      m=1;
7      wn=(2*pi)./T;
8      k=m*(wn^2);
9      xi=0.05;
10     ce=2*xi*wn;
11
% Valor de la masa asumido
% Frecuencia natural de la estructura
% Rigidez inicial (En estado lineal) asumida
% Amortiguamiento para el caso de una estructura de concreto (5%)
% Valor del coeficiente de amortiguamiento viscoso

```

Figura 7: Programa para determinar la ductilidad de un sistema de 1 grado de libertad "NNL.m" (Ávila, 2018)

En la Figura 7,8 y 9 se observa el ingreso de los datos iniciales utilizados para obtener la respuesta elástica máxima. La programación en Matlab que utilizará para este análisis, se la obtuvo de David Ávila en su trabajo de titulación “Espectros de respuesta no lineales de combinación de componentes horizontales de registros sísmicos usando el método de respuestas máximas en el tiempo (RMT). Esta programación se basa en el criterio de la Iteración de Newton-Raphson junto al método de Newmark explicado brevemente en el capítulo 2 sección 2.6 y 2.7 de esta investigación.

```

Editor - D:\TESIS DE GRADO\Tesis MATLAB\Cálculo de Espectros\NNL.m
Response_Spectrum_NNLm  NNLm
13 %***** PARTE LINEAL *****
14 %*****
15
16 [f,c]=size(VCol);
17
18 % Asignación de memoria
19
20 l_u=zeros(f,c); % u -> Desplazamiento
21 l_u1=zeros(f,c); % u1 -> Velocidad
22 l_u2=zeros(f,c); % u2 -> Aceleración
23 l_fs=zeros(f,c); % fs -> Fuerza restauradora estática
24 l_pc=zeros(f,c); % pc -> Fuerza excitadora
25
26 % Valores iniciales
27
28 l_fso=0; % Valor inicial de la fuerza restauradora estática
29 l_uo=0; % Desplazamiento inicial
30 l_u1o=0; % Velocidad inicial
31 l_u2o=(-(VCol(1,1))-(ce*l_u1o)-(l_fso))./m; % Aceleración inicial
32
33 l_u(1)=l_uo; % Asignación del desplazamiento inicial
34 l_u1(1)=l_u1o; % Asignación de la velocidad inicial
35 l_u2(1)=l_u2o; % Asignación de la aceleración inicial
36 l_pc(1)=0; % Asignación de la fuerza excitadora inicial
37
38 % Constantes (simplificadas, ya que para el método de la aceleración promedio constante gamma= 0.5 y beta=0.25)
39

```

Figura 8: Parte lineal de la programación NNL para el cálculo de ductilidades de un sistema

```

Editor - D:\TESIS DE GRADO\Tesis MATLAB\Cálculo de Espectros\NNL.m
Response_Spectrum_NNLm  NNLm
55 %***** PARTE NO LINEAL *****
56 %*****
57
58 dt=0.01;
59
60 global FactorR
61
62 fy=(max(abs(l_fs(:,1))))./FactorR;
63
64
65 Er=(10^-3); % Tolerancia
66
67 [f,c]=size(VCol);
68
69 % Asignación de memoria
70
71 u=zeros(f,c); % u -> Desplazamiento
72 u1=zeros(f,c); % u1 -> Velocidad
73 u2=zeros(f,c); % u2 -> Aceleración
74 du=zeros(f,c); % du -> Desfase de los desplazamientos
75 fs=zeros(f,c); % fs -> Fuerza restauradora estática
76 kT=zeros(f,c); % kT -> Rigidez tangente
77 kTs=zeros(f,c); % kTs -> Rigidez secante
78 pc=zeros(f,c); % pc -> Fuerza excitadora
79 R=ones(f,c); % R -> Fuerza residual
80

```

Figura 9: Parte no lineal de la programación NNL para el cálculo de ductilidades de un sistema.

4.2.3. Selección del factor de reducción de ductilidades (R_{μ}).

Puesto que para el análisis inelástico se tendrá que utilizar factores de reducción para disminuir la fuerza máxima C_{eu} calculada por un análisis elástico lineal, se utilizó inicialmente valores de R_{μ} entre 1 a 8.

4.2.4. Definición de la relación Fuerza-deformación elasto-plástica perfecta.

Se definirá una relación fuerza-deformación elasto-plástica perfecta para las estructuras de 1 grado de libertad antes de realizar el análisis inelástico. Se definirá como fuerza de fluencia (C_y) a la fuerza elástica máxima (C_{eu}) para un registro específico, dividido para el valor de R_{μ} deseado.

Este procedimiento se lo explica previamente en el capítulo 2 sección 2.3, el cual indica que por motivos del diseño sismo resistente, la fuerza elástica máxima (C_{eu}) calculada a través de un análisis lineal elástico se la puede llegar a reducir mediante un factor de reducción (R) a un nivel (C_y) que es el punto denominado primera fluencia significativa.

4.2.5. Determinación de los desplazamientos para el análisis no lineal.

Se realizará un análisis no lineal de la estructura con una relación fuerza-deformación elasto-plástica perfecta y se obtendrán los valores de Δ_y y Δ_{max} para cada uno de los registros en estudio.

4.2.6. Cálculo del factor de ductilidad (μ_s).

Con los valores de Δ_y y Δ_{max} , se calculará el valor de μ_s y se repetirán los puntos del (2) al (5) para varios periodos naturales de vibración. De esta forma se obtendrán espectros para valores de μ_s en función de R_{μ} .

Mediante una programación en Matlab se estableció poder calcular el valor del factor de ductilidad (μ_s) que va a estar en función de la relación entre el desplazamiento máximo (Δ_{max}), calculado por una fuerza elástica máxima, y el desplazamiento producido por la fuerza al nivel de fluencia (Δ_y), por lo que esta última se la calcularía mediante varios factores R_{μ} .

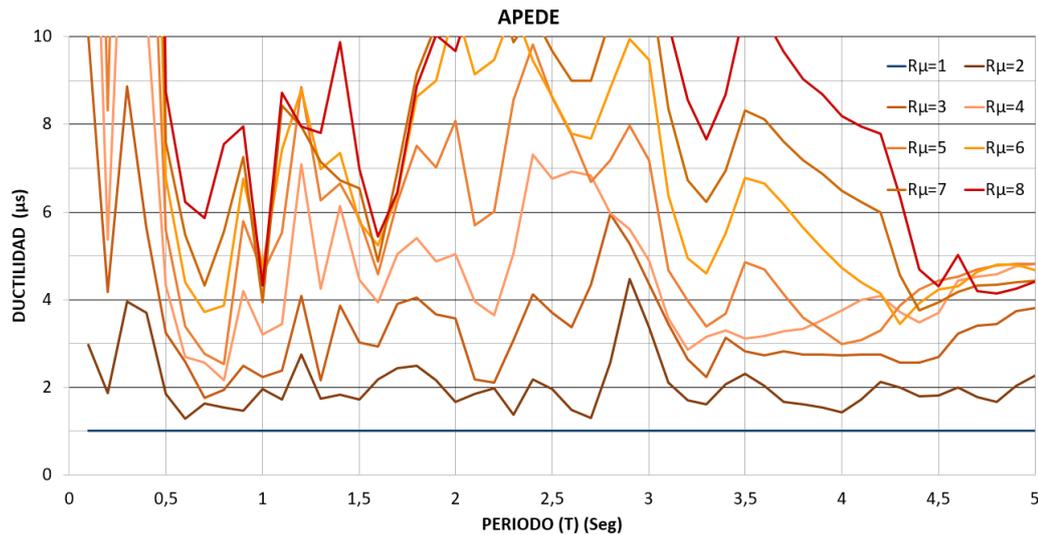


Figura 10: Espectro de valores del coeficiente de ductilidad (μ_s) para diferentes valores de R_μ en función del periodo del sismo de pedernales componente E-O.

En la Figura 10 se visualiza un espectro tomado del registro Pedernales componente Este-Oeste, en el cual se determina los valores del coeficiente de ductilidad de dichos datos para un intervalo de periodo natural que va de 0 a 5 segundos (Ver más en Anexos).

4.2.7. Asignación de valores μ_s/R_μ

Se normalizarán los espectros dividiendo todos los valores de μ_s para sus correspondientes valores de R_μ . Dado que μ_s/R_μ es igual a C_d/R , se obtendrá de esta manera espectros para C_d/R para cada valor de R_μ .

En vista de que varias investigaciones propuestas por Uang, como la del año de 1991, demuestra que dividiendo el coeficiente de ductilidades (μ_s) para el factor de reducción de ductilidades (R_μ), se llegaría a la misma relación del factor de amplificación de deflexiones (C_d) entre el factor de reducción (R) que esta propuesto en las normas; todo esto debido a que los factores mencionados están en función de la sobre resistencia (Ω) que posee la estructura (producto de varias causas, entre una de ellas, la resistencia que posee el material) y que al dividir las entre sí matemáticamente se simplificaría el coeficiente Ω y se trabajaría solamente con datos conocidos para este análisis.

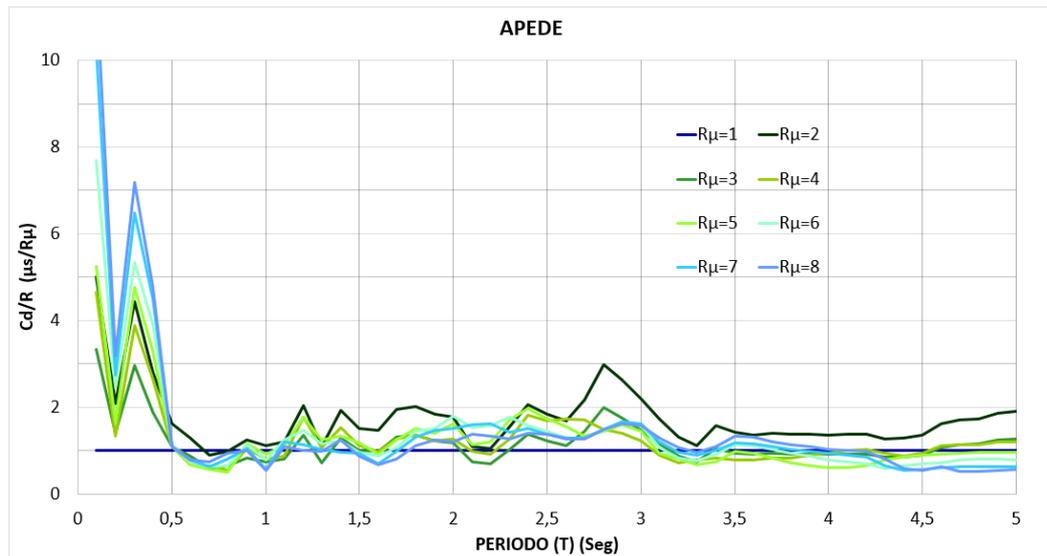


Figura 11: Espectro de valores del coeficiente de ductilidad (μ_s) entre $R\mu$ para diferentes valores de $R\mu$ en función del periodo del sismo de pedernales componente E-O

En la Figura 11 se observan los espectros con valores de μ_s entre $R\mu$ en función del periodo, tomado del registro sísmico de Pedernales componente Este-Oeste (Ver más en Anexos).

4.2.8. Determinación de valores estandarizados para Cd/R.

Se realizará un análisis de todos los espectros Cd/R obtenidos y se propondrán valores o ecuaciones que representen las tendencias de los valores encontrados.

Con la finalidad de encontrar dicha tendencia, se tendrán que categorizar los registros y ver como incide esta agrupación en el comportamiento del espectro, también verificar si no existe mucha dispersión entre registros para así poder proponer un factor que se ajuste al promedio de todos estos registros.

Cabe recalcar que los pasos (2) al (7) se los realizará por medio de un algoritmo de Matlab desarrollado por Ávila (2018) con pequeñas modificaciones que serán descritas en el capítulo 5 sección 5, en donde describe el uso del programa que fue utilizado para su investigación.

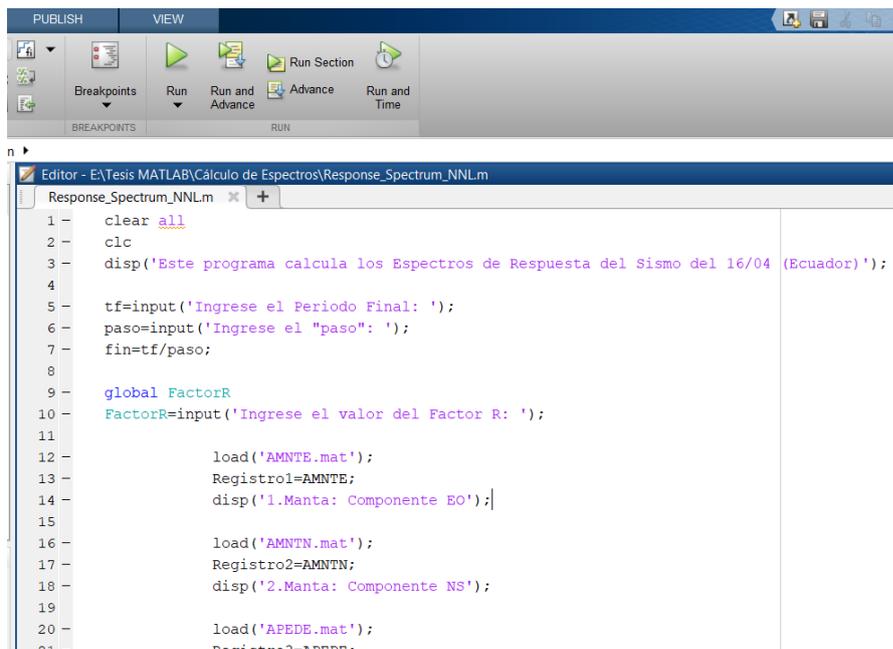
CAPITULO 5

5. PROGRAMACIÓN EN MATLAB PARA CÁLCULO DE DUCTILIDADES EN REGISTROS SIMICOS.

Se utilizó la programación de Matlab realizada en la investigación de (Ávila, 2018), "Response_Spectrum_NNL", la cual tiene incorporado 29 registros provenientes de la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC), en ambas componentes (horizontal y vertical) para el sismo ocurrido en la ciudad de pedernales en el año 2016.

El programa Response_Spectrum_NNL está diseñado originalmente para calcular respuestas máximas de aceleración, velocidad, desplazamientos y ductilidades, para un periodo determinado previamente y agrupándolas en un espectro de respuesta.

Este archivo requiere una codificación inicial llamada Inputs, que permite indicarle al lenguaje de programación qué variables se van a considerar y consecuentemente qué valores irá a tomar. En este caso se especifica cual es el periodo final del análisis, el intervalo de dicho periodo, el factor de reducción de ductilidades R_{μ} y el tipo de registro que se desea analizar.



```
1 - clear all
2 - clc
3 - disp('Este programa calcula los Espectros de Respuesta del Sismo del 16/04 (Ecuador)');
4
5 - tf=input('Ingrese el Periodo Final: ');
6 - paso=input('Ingrese el "paso": ');
7 - fin=tf/paso;
8
9 - global FactorR
10 - FactorR=input('Ingrese el valor del Factor R: ');
11
12 -     load('AMNTE.mat');
13 -     Registro1=AMNTE;
14 -     disp('1.Manta: Componente EO');|
15
16 -     load('AMNTN.mat');
17 -     Registro2=AMNTN;
18 -     disp('2.Manta: Componente NS');
19
20 -     load('APEDE.mat');
21 -     Registro3=APEDE;
```

Figura 12: Programa en Matlab Response_Spectrum_NNL

Inputs.

%tf= Ingrese el periodo final

%paso= Ingrese el paso o periodo a analizar

%FactorR= Ingrese el valor del Factor R

%dat= Escoja una opción (registros sísmicos)

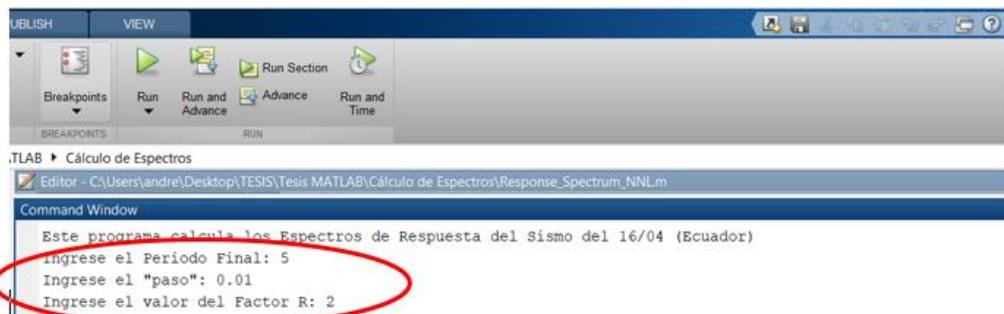


Figura 13: Ingreso de inputs al programa Response_Spectrum_NNL

Una vez ingresados los valores iniciales, se introducen los outputs que consiste en que el programa revela las respuestas máximas de aceleración, velocidad, desplazamiento y ductilidad, siguiendo el procedimiento de cálculo del método de respuestas máximas en el tiempo (RMT) del trabajo de titulación de Ávila,2018.

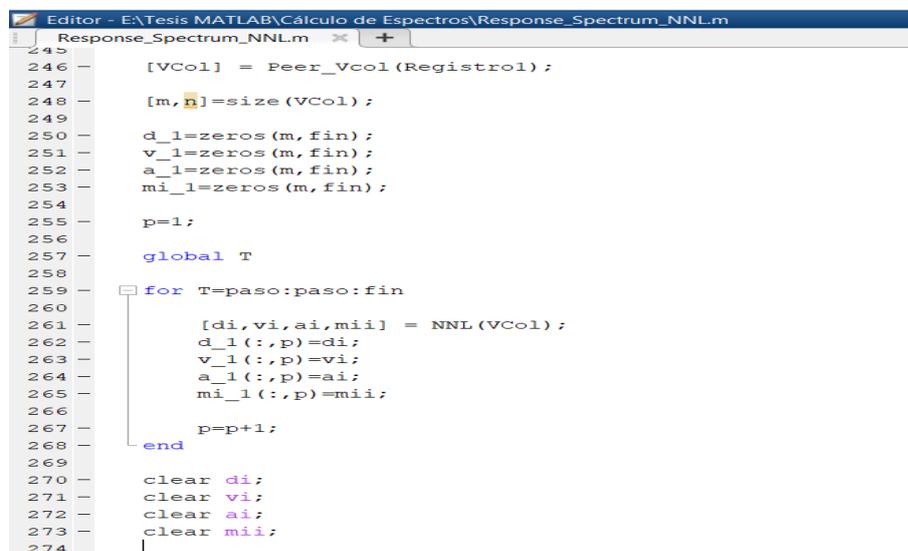


Figura 14: Ingreso de outputs al programa Response_Spectrum_NNL

Outputs.

%espec_d= espectro no lineal de desplazamientos.

%espec_v= espectro no lineal de velocidades.

%espec_a= espectro no lineal de aceleraciones.

%espec_l_aT=espectro lineal de aceleraciones totales.

%espec_mi= espectro no lineal de ductilidades.

Luego de ejecutar el programa, este devuelve los espectros de respuestas máximas en forma de matrices. Para la investigación a realizar cabe recalcar que solo se necesitará el espectro de ductilidades “espec_mi”. El cual indica el valor de ductilidad máxima que la estructura experimentará en un periodo de tiempo determinado. Este espectro será individual para cada registro en particular; esto quiere decir que para obtener las ductilidades de todos los registros ya antes mencionados se tendrá que hacer el mismo proceso tantas veces como cantidad de registros existan.

```
274 |
275 |
276 - espec_a_1=zeros(1,fin);
277 - espec_v_1=zeros(1,fin);
278 - espec_d_1=zeros(1,fin);
279 - espec_mi_1=zeros(1,fin);
280 |
281 - for i=1:fin
282 -     espec_a_1(1,i)=max(abs(a_1(:,i)));
283 -     espec_v_1(1,i)=max(abs(v_1(:,i)));
284 -     espec_d_1(1,i)=max(abs(d_1(:,i)));
285 -     espec_mi_1(1,i)=max(abs(mi_1(:,i)));
286 -     espec_cd_R_1= espec_mi_1/FactorR;
287 - end
```

Figura 15: Ingreso de la variable de ductilidad “espec_mi”.

Debido a que el programa calcula individualmente las ductilidades de cada registro y que para la investigación se necesitarían realizar un gran número de iteraciones, se planteó modificar Response_Spectrum_NNL.

Una de las modificaciones más redundantes del programa, es la de incorporar todas las ductilidades de cada registro con un mismo factor de reducción y poder realizarlas en una sola iteración. Para el cual se carga el registro mediante la función Load y se le asigna una variable que para este caso se ha utilizado la denominación Registro seguido de una numeración para diferenciar cada uno.

```

124 -         load('ACUEE.mat');
125 -         Registro29=ACUEE;
126 -         disp('29.Cuenca: Componente EO');
127
128 -         load('ACUEN.mat');
129 -         Registro30=ACUEN;
130 -         disp('30.Cuenca: Componente NS');
131
132 -         load('ALJ1E.mat');
133 -         Registro31=ALJ1E;
134 -         disp('31.Loja: Componente EO');
135
136 -         load('ALJ1N.mat');
137 -         Registro32=ALJ1N;
138 -         disp('32.Loja: Componente NS');
139
140 -         load('ACH1E.mat');
141 -         Registro33=ACH1E;
142 -         disp('33.Machala: Componente EO');
143

```

Figura 16: Ingreso de registros sísmicos para el análisis.

Se realizó una nueva función “Espec_Cd_R”, la cual consiste en devolver los valores de ductilidad μ_s , pero esta vez dividiéndolos para un factor de reducción $R\mu$ con el propósito de obtener el espectro de Cd/R en función de un periodo determinado que es la base de la investigación propuesta.

```

362 -     espec_a_3=zeros(1,fin);
363 -     espec_v_3=zeros(1,fin);
364 -     espec_d_3=zeros(1,fin);
365 -     espec_mi_3=zeros(1,fin);
366
367 -     for i=1:fin
368 -         espec_a_3(1,i)=max(abs(a_3(:,i)));
369 -         espec_v_3(1,i)=max(abs(v_3(:,i)));
370 -         espec_d_3(1,i)=max(abs(d_3(:,i)));
371 -         espec_mi_3(1,i)=max(abs(mi_3(:,i)));
372 -         espec_cd_R_3= espec_mi_3/FactorR;
373 -     end

```

Figura 17: Ingreso de la variable de ductilidad sobre factor de reducción "espec_cd_R"

Por consiguiente el programa será capaz de revelar todas las matrices de ductilidad de cada registro.

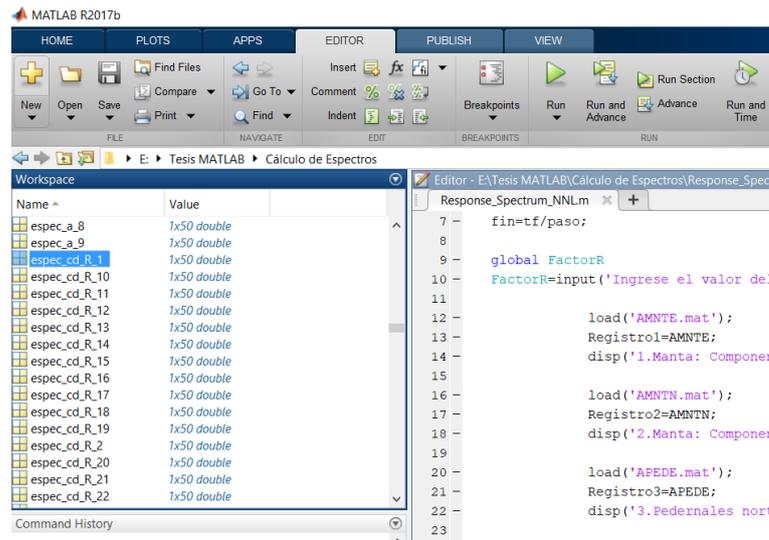


Figura 18: Visualización de las variables Cd/R para diferentes registros sísmicos.

Por último, para poder elaborar una representación de la tendencia del factor de amplificaciones para cada registro se ha generado mediante la función “Plot” la gráfica que relacione la variable “espec_cd_R” para el rango de periodos establecidos posteriormente.

```

figure(1)
plot(paso:paso:tf,espec_cd_R_1)
title('Cd/R vs Periodo');
xlabel('Periodo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Cd/R (us/Ru)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');

hold on
plot(paso:paso:tf,espec_cd_R_2)
title('Cd/R vs Periodo');
xlabel('Periodo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Cd/R (us/Ru)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');

hold on
plot(paso:paso:tf,espec_cd_R_3)
title('Cd/R vs Periodo');
xlabel('Periodo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Cd/R (us/Ru)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');

```

Figura 19: Ingreso de especificaciones para visualizar las gráficas del programa

Para incluir todas las curvas de espectros de cada registro en una sola grafica se utiliza la función “Hold on” y se repite el proceso hasta completar todos los registros.

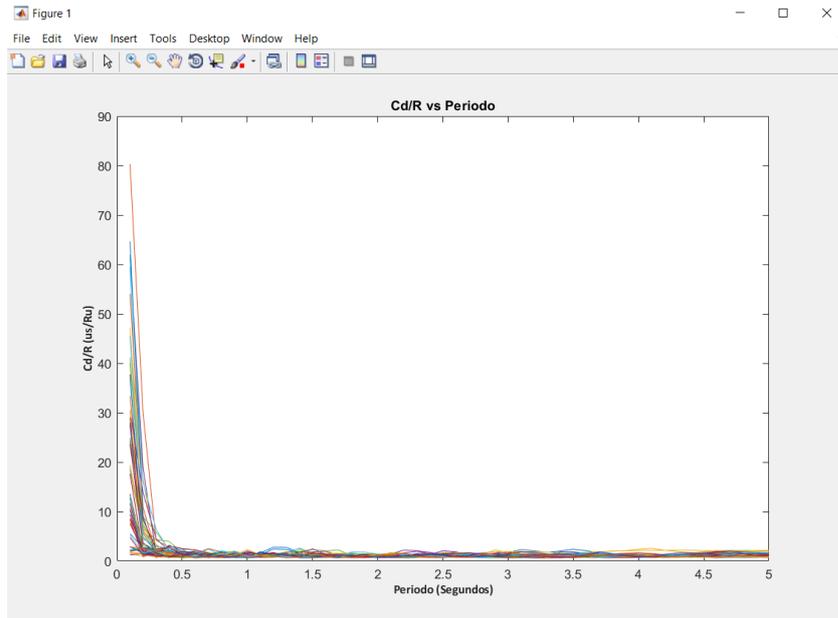


Figura 20: Resultados de Cd/R para $R\mu=2.5$ de la clasificación $T=1.0$ seg

CAPITULO 6

6. RESULTADOS

6.1. Introducción

En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos para el cálculo del factor de amplificación de deflexiones (Cd).

6.2. Clasificación de los registros sísmicos

Se optó por clasificar los registros según: el PGA y la aceleración de la gravedad en periodos específicos como 0.2, 1.0 y 3.0 segundos; con la finalidad de tener una agrupación en la que se puedan encontrar comportamientos similares entre registros y así poder obtener una tendencia en los factores Cd.

Para la clasificación en base al PGA se consideraron 3 grupos (ver Tabla 2), en donde el primer grupo está conformado por los PGA mayores a 0.20g, en el segundo grupo están los registros entre 0.20g a 0.04g y en el tercer grupo los menores a 0.04g.

CIUDAD	ESTACIÓN	PGA	CATEGORIA
PEDERNALES EST NORTE	APEDE	1,41	> 0,2g
	APEDN	0,83	
PEDERNALES EST SUR	PDNSE	1,03	
	PDNSN	0,94	
MANTA	AMNTN	0,52	
	AMNTE	0,4	
ESMERALDAS EST SUR	AMA1E	0,41	
	AMA1N	0,2	
CHONE	ACHNE	0,33	
	ACHNN	0,37	
PORTOVIEJO	APO1E	0,32	
	APO1N	0,38	
SANTO DOMINGO	ASDOE	0,21	
	ASDON	0,11	
VICHE	AV21E	0,16	0,2 - 0,04g
	AV21N	0,15	
ESMERALDAS EST NORTE	AES2E	0,15	
	AES2N	0,11	
QUININDÉ	AV18E	0,15	
	AV18N	0,12	
P. VICENTE MALDONADO	APR2N	0,11	
	APR2E	0,1	
GUAYAQUIL EST CENTRO	AGY2E	0,09	
	AGY2N	0,1	
GUAYAQUIL EST SUR	AGY1E	0,06	
	AGY1N	0,07	
IBARRA EST NORTE	AIB1N	0,06	
	AIB1E	0,05	
MILAGRO	AMILE	0,05	
	AMILN	0,05	

CIUDAD	ESTACIÓN	PGA	CATEGORIA
OTAVALO	AOTAE	0,04	< 0,04g
	AOTAN	0,04	
LA LIBERTAD	ALIBE	0,04	
	ALIBN	0,04	
GUAYABAMB A	AV11E	0,03	
	AV11N	0,04	
AMBATO	AAM2E	0,03	
	AAM2N	0,04	
CUENCA	ACUEE	0,04	
	ACUEN	0,03	
LATACUNGA	ALATE	0,03	
	ALATN	0,03	
MACHALA	ACH1N	0,02	
	ACH1E	0,03	
SAN LORENZO	ALORE	0,03	
	ALORN	0,03	
IBARRA EST SUR	AIB2E	0,02	
	AIB2N	0,03	
QUITO	AEPNE	0,03	
	AEPNN	0,02	
GUAYAQUIL EST NORTE	AGYEE	0,02	
	AGYEN	0,02	
TULCÁN	ATULE	0,02	
	ATULN	0,02	
LOJA	ALI1E	0,02	
	ALI1N	0,02	
PAPALLACTA	APS4E	0,01	
	APS4N	0,01	

Tabla 2: Clasificación de registros según su PGA

Para la clasificación de los registros por la aceleración de la gravedad en el periodo de 0.20 segundos se consideró de igual manera dividirlos en 3 grupos (ver Tabla 3), el primer grupo con valores mayores a 0.20g, el segundo grupo valores entre 0.20 a 0.05g y el último grupo en valores menores a 0.05g.

CIUDAD	ESTACIÓN	T=0.2	CATEGORIA	
ESMERALDAS NORTE	AMA1	0,600	> 0,2g	
		0,688		
MANTA	AMNT	0,931		
		0,953		
PEDERNALES NORTE	APED	2,682		
		1,777		
PORTOVIEJO	APO1	0,605		
		0,697		
SANTO DOMINGO	ASDO	0,377		
		0,249		
QUININDÉ	AV18	0,301		
		0,241		
VICHE	AV21	0,406		
		0,481		
PEDERNALES SUR	PDNS	1,388		
		1,668		
CHONE	ACHN	0,406		
		0,486		
RIOBAMBA	AAM2	0,074		0,2g-0,05g
		0,076		
GUAYAQUIL SUR	AGY1	0,081		
		0,090		
IBARRA NORTE	AIB1	0,053		
		0,068		
OTAVALO	AOTA	0,080		
		0,069		
QUITO	APNL	0,069		
		0,061		
GUAYABAMBA	AV11	0,063		
		0,085		
MILAGRO	AMIL	0,128		
		0,102		
P. VICENTE MALDONADO	APR2	0,174		
		0,187		
ESMERALDAS NORTE	AES2	0,223		
		0,206		
GUAYAQUIL CENTRO	AGY2	0,157		
		0,147		

CIUDAD	ESTACIÓN	T=0.2	CATEGORIA
MAHCALA	ACH1	0,031	0 - 0,05g
		0,029	
CUENCA	ACUE	0,049	
		0,042	
GUAYAQUIL NORTE	AGYE	0,039	
		0,050	
IBARRA SUR	AIB2	0,030	
		0,039	
LATACUNGA	ALAT	0,055	
		0,043	
LA LIBERTAD	ALIB	0,054	
		0,042	
LOJA	ALJ1	0,018	
		0,018	
SAN LORENZO	ALOR	0,054	
		0,052	
PAPALLACTA	APS4	0,017	
		0,014	
TULCAN	ATUL	0,020	
		0,027	

Tabla 3: Clasificación de registros según la aceleración en T=0.2 seg

Las clasificaciones de los registros para aceleraciones de 1.0 segundo de periodo están divididas en 3 grupos (ver Tabla 4), en el cual el primer grupo se encuentran valores mayores a 0.20g, en el segundo grupo valores entre 0.20g a 0.06g y el tercer grupo valores menores a 0.06g.

CUIDAD	ESTACIÓN	T=1.0	CATEGORIA	
CHONE	ACHN	65%	> 0,2g	
		55%		
ESMERALDAS NORTE	AES2	46%		
		35%		
GUAYAQUIL CENTRO	AGY2	21%		
		22%		
ESMERALDAS NORTE	AMA1	38%		
		28%		
MANTA	AMNT	40%		
		44%		
PEDERNALES NORTE	APED	115%		
		61%		
PORTOVIEJO	APO1	30%		
		30%		
QUININDÉ	AV18	19%		
		20%		
PEDERNALES SUR	PDNS	159%		
		79%		
MAHCALA	ACH1	8%		0,2 - 0,06g
		6%		
MILAGRO	AMIL	8%		
		7%		
OTAVALO	AOTA	8%		
		9%		
P. VICENTE MALDONADO	APR2	8%		
		8%		
CUENCA	ACUE	11%		
		9%		
GUAYAQUIL SUR	AGY1	13%		
		17%		
IBARRA NORTE	AIB1	11%		
		16%		
IBARRA SUR	AIB2	8%		
		12%		
LA LIBERTAD	ALIB	14%		
		12%		
VICHE	AV21	17%		
		9%		
SANTO DOMINGO	ASDO	13%		
		13%		

CUIDAD	ESTACIÓN	T=1.0	CATEGORIA
GUAYAQUIL NORTE	AGYE	2%	< 0,06g
		2%	
LOJA	ALJ1	4%	
		4%	
SAN LORENZO	ALOR	5%	
		5%	
QUITO	APNL	3%	
		4%	
PAPALLACTA	APS4	1%	
		0%	
GUAYABAMBA	AV11	3%	
		4%	
RIOBAMBA	AAM2	4%	
		6%	
LATACUNGA	ALAT	6%	
		5%	
TULCAN	ATUL	5%	
		6%	

Tabla 4: Clasificación de registros según la aceleración en T=1 seg

Para la clasificación de los registros con aceleraciones en el periodo de 3.0 segundos, se dispuso 3 grupos (ver Tabla 5), en donde el primero se encuentran valores mayores a 0.05g, en el grupo 2 valores entre 0.05g a 0.02g y en el tercer grupo, valores menores a 0.02g.

CUIDAD	ESTACIÓN	T=3.0	CATEGORIA	
CHONE	ACHN	0,330	> 0,05g	
		0,315		
ESMERALDAS NORTE	AES2	0,140		
		0,104		
ESMERALDAS SUR	AMA1	0,075		
		0,068		
PEDERNALES NORTE	APED	0,139		
		0,123		
PORTOVIEJO	APO1	0,176		
		0,148		
QUININDÉ	AV18	0,069		
		0,063		
VICHE	AV21	0,067		
		0,051		
PEDERNALES SUR	PDNS	0,234		
		0,075		
MANTA	AMNT	0,248		
		0,132		
RIOBAMBA	AAM2	0,023		0,02g-0,05g
		0,027		
MAHCALA	ACH1	0,051		
		0,025		
CUENCA	ACUE	0,034		
		0,028		
GUAYAQUIL CENTRO	AGY2	0,029		
		0,020		
IBARRA NORTE	AIB1	0,019		
		0,027		
LA LIBERTAD	ALIB	0,034		
		0,044		
SAN LORENZO	ALOR	0,032		
		0,053		
MILAGRO	AMIL	0,034		
		0,040		

CUIDAD	ESTACIÓN	T=3.0	CATEGORIA
GUAYAQUIL SUR	AGY1	0,022	< 0,02g
		0,021	
GUAYAQUIL NORTE	AGYE	0,008	
		0,005	
IBARRA SUR	AIB2	0,011	
		0,011	
LATACUNGA	ALAT	0,014	
		0,013	
LOJA	ALJ1	0,020	
		0,017	
OTAVALO	AOTA	0,012	
		0,013	
QUITO	APNL	0,009	
		0,012	
P. VICENTE MALDONAD	APR2	0,011	
		0,008	
PAPALLACTA	APS4	0,003	
		0,002	
SANTO DOMINGO	ASDO	0,015	
		0,010	
TULCAN	ATUL	0,007	
		0,009	
GUAYABAMBA	AV11	0,018	
		0,012	

Tabla 5: Clasificación de registros según la aceleración en T=3 seg

Luego de tener clasificados todos los registros sísmicos, se procede al cálculo de la relación C_d/R por medio de los métodos especificados en el capítulo 4.

Los resultados se analizarán de acuerdo a la clasificación presentada anteriormente estableciendo una curva promedio por cada grupo y además una curva del promedio de todos los registros.

Los valores de R_μ considerados en este trabajo fueron: 1.2, 1.5, 2.5 y 3.0. Estos resultados se presentan en el Anexo. Como manera de ejemplo, a continuación se presentan los resultados para un factor de R_μ igual a 2.5, en todas las clasificaciones propuestas anteriormente:

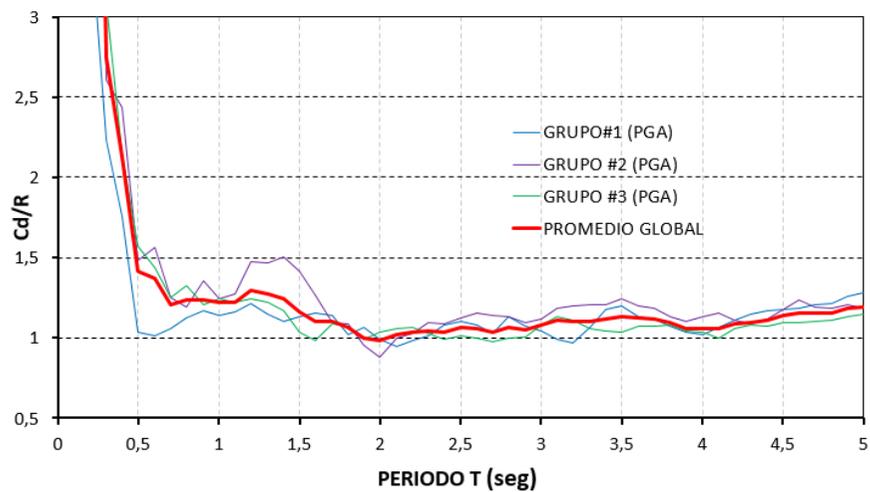


Figura 21: Resultados de Cd/R para $R_{\mu}=2.5$ de la clasificación PGA.

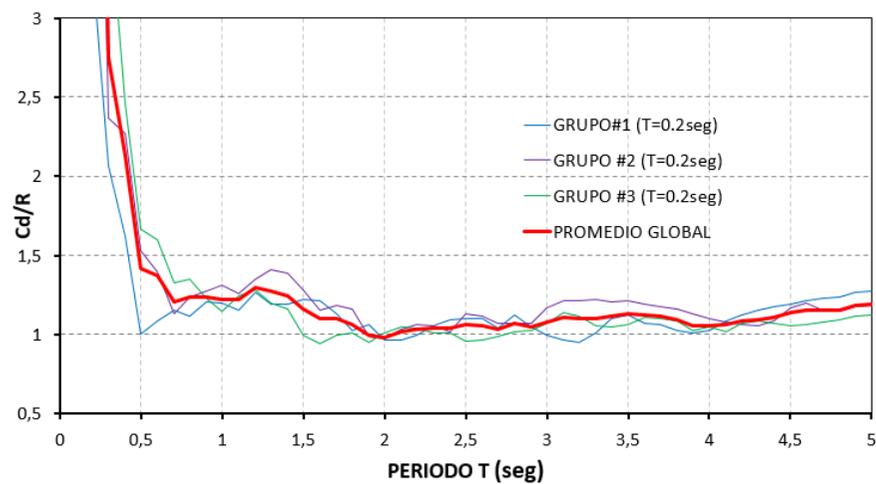


Figura 22: Resultados de Cd/R para $R_{\mu}=2.5$ de la clasificación T=0.2seg

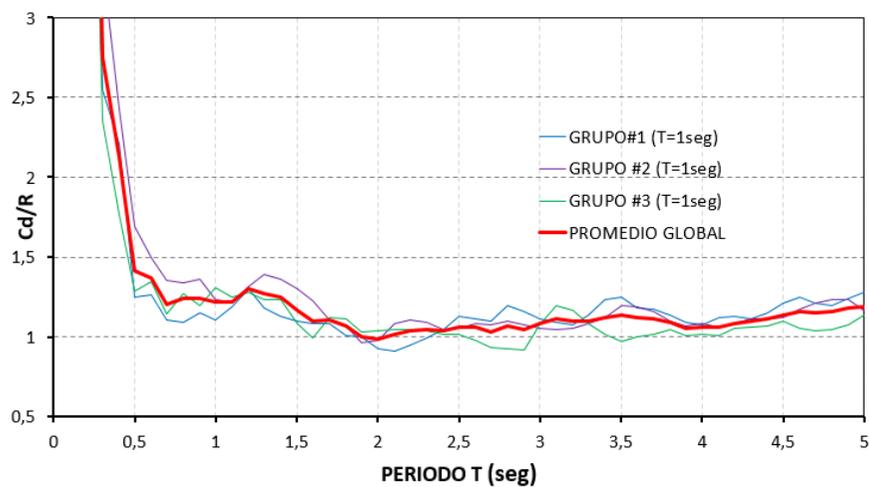


Figura 23: Resultados de Cd/R para $R_{\mu}=2.5$ de la clasificación T=1.0 s

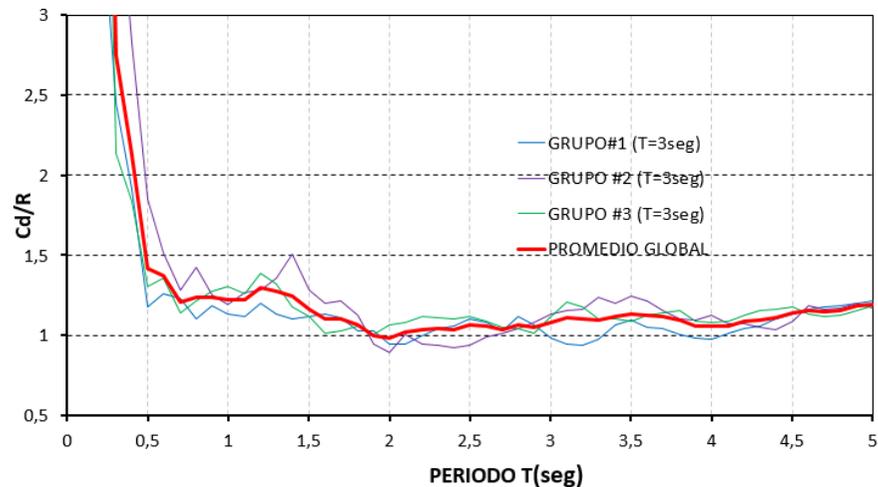


Figura 24: Resultados de Cd/R para $R_{\mu}=2.5$ de la clasificación T=3.0 seg

De las Figuras 2.1 a la 2.4, se puede notar que los valores Cd/R para clasificaciones según la aceleración a distintos periodos (PGA, 0.20, 1.0 o 3.0) siguen el mismo patrón:

- Para los 3 grupos de cada clasificación, los valores de Cd/R están entre 0.90 y 1.50 para periodos mayores a 0.50seg.
- Para los 3 grupos de cada clasificación, los valores de Cd/R aumentan drásticamente para periodos menores a 0.50 seg.
- En cada clasificación, los valores de Cd/R para cada grupo considerado tienen variaciones aleatorias entre ellos. No se encontró que haya alguna tendencia según el grupo investigado.
- Los promedios de Cd/R de cada clasificación son mayores a 1 y menores a 1.40 para periodos mayores a 0.50.
- Los promedios de Cd/T de cada clasificación aumentan drásticamente para periodos menores de 0.50 seg.

Con estas observaciones se decidió lo siguiente:

- Considerar únicamente la clasificación para el PGA dado que no se evidencian grandes diferencias ni ventajas para la clasificación según los periodos considerados en el estudio. Se decidió elegir el PGA ya que es un parámetro que normalmente es utilizado para caracterizar los registros sísmicos.
- Considerar el promedio de los grupos ya que no se identificó ninguna influencia en la definición de los grupos en los valores de Cd/R. Además el promedio da una tendencia más estable (menos variabilidad) en los valores de Cd/R.

Hasta el momento, se ha calculado la variación de los valores Cd/R con el periodo y según el valor de R_μ seleccionado. Para poder definir valores de Cd, se deberán definir valores de R de interés y relacionarlos a los valores de R_μ considerados. Para ello se decidió analizar los valores de R, Ω y R_μ establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) y la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE7-16)

NEC 15_SE_DS			ASCE 7-16 CAP_12				ASCE	TESIS
A	A.) Sistemas Estructurales Dúctiles	R	A.) Sistemas Estructurales Dúctiles	R	Ω	R _μ	R _μ	
A.1	Sistemas Duales		Sistemas Duales					
A.1.1	Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadas (sistemas duales).	8	D.1. Marcos excentricos de acero (sistemas duales)	8	2,5	3,2	3	
	Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadas (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado	8	D.2. Marcos especiales concentricos de acero (sist. duales)	7	2,5	2,8	3	
A.1.2	Pórticos con columnas de hormigón y armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadas (exéntricas o concéntricas).	8	D.3. paredes especiales de corte de hormigón armado (sist. duales)	7	2,5	2,8	3	
			D.1. Marcos excentricos de acero (sistemas duales)	8	2,5	3,2	3	
A.1.3	Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadas.	7	D.2. Marcos especiales concentricos de acero (sist. duales)	7	2,5	2,8	3	
			D.3. paredes especiales de corte de hormigón armado (sist. duales)	7	2,5	2,8	3	
A.2	Pórticos Resistentes a Momentos		D.5. Marcos compuestos de acero y hotmigón exéntricamente reforzada	8	2,5	3,2	3	
A.2.1	Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8	D.6. Marcos de Acero y hormigón compuesto especial concéntricamente	6	2,5	2,4	2,5	
			Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8				
			Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero en caliente.	8				
A.3	Otros Sistemas estructurales para edificaciones		No se encontró un sistema estructural similar	7	2,5	2,8	3	
A.3.1	Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5	Pórticos Resistentes a Momentos					
A.3.2	Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5	C.5. Marcos especiales de hormigón armado	8	3	2,667	2,5	
				C.1. Marcos de momento especial de acero	8	3	2,667	2,5
			C.8. Marcos de momento especial compuestos de acero y hormigón	8	3	2,667	2,5	
			Otros Sistemas estructurales para edificaciones					
			B.4. Muros especiales de cizallamiento de hormigón armado	6	2,5	2,4	2,5	
			No se encontró un sistema estructural similar	5	3	1,667	1,5	

Tabla 6a: Comparación de sistemas estructurales Dúctiles entre la norma NEC-15 y ACSE7-16.

B	B.) Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	R
B.1	Pórticos Resistentes a Momentos	
B.1.1	Hormigón armado con secciones de dimencionmenor a la especificada en la <u>NEC-SE-HM</u> limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
B.1.2	Hormigón armado con secciones de dimencionmenor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia.	2,5
B.1.3	Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2,5
B.2	Muros Estructurales Portantes.	
B.2.1	Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
B.2.2	Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
	Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
B.2.3	Muros de Hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

			ASCE
B.) Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	R	Ω	$R\mu$
Pórticos Resistentes a Momentos			
C.7. Marcos de momento de hormigón armado ordinario	3	3	1
C.9. Marcos de momento intermedio compuesto de acero y hormigón	5	3	1,667
C.12. Acero formado en frío: marco de momento atornillado especial	3,5	3	1,167
Muros Estructurales Portantes.			
A.11. Paredes de cizallamiento de mampostería lisas ordinarias	1,5	2,5	0,6
A.9. Paredes de cizallamiento de mampostería reforzadas ordinarias	2	2,5	0,8
A.12. Paredes de cizallamiento de mampostería pretensadas	1,5	2,5	0,6
A.2. Paredes cortantes de hormigón armado ordinarios	4	2,5	1,6

TESIS
$R\mu$

1
1,5
1,2

1
1
1
1,5

Tabla 6b: Comparación de sistemas de ductilidad limitada, entre la norma NEC-15 y ACSE7-16

En las tablas 6a y 6b se muestra el análisis realizado a las normas NEC-15 y ASCE7-16.

Del lado izquierdo de las tablas 6a y 6b se presentan todos los sistemas estructurales considerados por la NEC-15 y su correspondiente valor de R. La Tabla 6a corresponden a los sistemas dúctiles, y la Tabla 6b a los sistemas de ductilidad limitada.

En el bloque central se muestran los sistemas estructurales del ASCE7-16 equivalentes, de alguna manera, a los presentados en la NEC-15. En este bloque se muestra además los valores de R y Ω especificado en la ASCE7-16 y el valor de R_{μ} que resulta de la aplicación de las fórmulas presentadas en la sección 2.3.4 ($R_{\mu} = R / \Omega$).

Finalmente, en la última columna de la derecha de las tablas 6a y 6b se muestran el valor de R_{μ} , usados en este estudio, más cercano a los obtenidos del análisis de los valores de R y Ω indicados en el ASCE-16.

Este análisis tiene como finalidad relacionar los valores R_{μ} , escogidos en este estudio, con los sistemas estructurales indicados en la NEC-15; por ejemplo: utilizar un sistema de pórticos especiales de hormigón armado ($R=8$ según Tabla 6a, equivaldría a considerar un $R_{\mu} = 3.0$).

Los valores de R_{μ} que resultaron de este análisis fueron: 1, 1.2, 1.5, 2.5 y 3. En el caso que la NEC-15 o el ASCE7-16, incorporen nuevos sistemas estructurales con nuevos valores de R y de sobre resistencia Ω , se puede establecer el mismo proceso para relacionarlos a los valores de R_{μ} y así ampliar el estudio.

6.3. Propuesta de factores Cd/R

Con el propósito de obtener de manera sencilla los valores de Cd/R según el sistema estructural usado en el diseño, se ha propuesto valores y expresiones para el cálculo de Cd en función de R_{μ} y el periodo de la estructura.

En las figuras 25 a la 28 se muestran (con línea roja) la propuesta de valores de C_d/R para ductilidades (R_μ) de 1, 1.2, 1.5, 2.5 y 3 respectivamente.

Se proponen valores constantes de $C_d/R=1$ cuando el factor por ductilidad $R_\mu=1$ que además, según la comparación de la tabla 6b, para este nivel se utilizará un $R=3$.

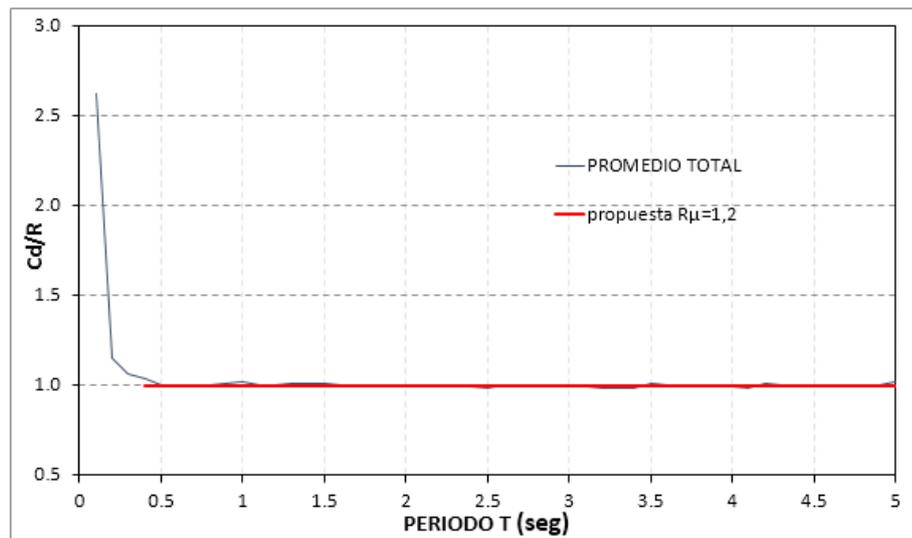


Figura 25: Propuesta de la relación C_d/R cuando el factor $R_\mu=1.2$

En la figura 25 se proponen valores de $C_d/R=1.0$ para un factor de ductilidad (R_μ) igual a 1.2. Para periodos mayores a 0.4 segundos se ha considerado un valor de C_d/R igual a 1.0. De acuerdo a la Tabla 6b, estos valores corresponderían a sistemas de baja ductilidad con R igual a 3.0 y 1.0, a excepción de los “Muros de Hormigón Armado hasta 4 Pisos”.

Para estructuras con periodo de vibración menores a 0.40 seg, los valores C_d/R incrementan rápidamente, resultando en valores muy altos y difíciles de establecer. Por esta razón, para esta categoría ($R_\mu=1.2$) no se recomienda que se incluyan estructuras con menos de 4 pisos ($T < 0.40$ seg); resultando así, para estas estructuras, más apropiado diseñarlas con R_μ igual a 1.0 ($R=3.5$) a menos que se realice un análisis no lineal más detallado y específico.

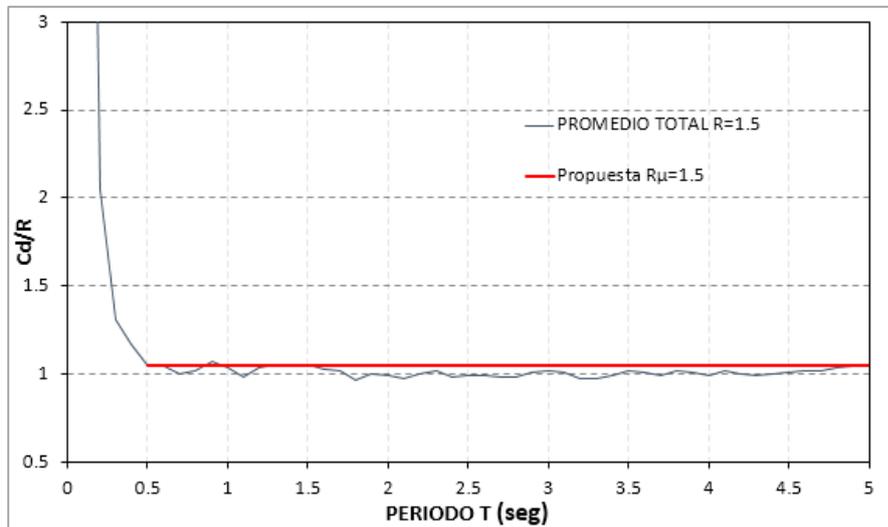


Figura 26: Propuesta de la relación Cd/R cuando el factor $R_{\mu}=1.5$

En la figura 26 se proponen valores de Cd/R para un factor de ductilidad (R_{μ}) igual a 1.5. Para periodos mayores a 0.5 segundos se ha considerado un valor de Cd/R igual a 1.05. De acuerdo a las Tabla 6a y Tabla 6b, estos valores corresponderían a sistemas de baja ductilidad con R entre 2.5 y 3.0, y de ductilidad alta con R igual a 5.

Similar a lo expresado anteriormente, para estructuras con periodo de vibración menores a 0.50 seg, los valores Cd/R incrementan rápidamente, resultando en valores muy altos y difíciles de establecer. Por esta razón, para esta categoría ($R_{\mu}=1.5$) no se recomienda que se incluyan estructuras con menos de 5 pisos ($T < 0.50$ seg); resultando así, para estas estructuras, más apropiado diseñarlas con R_{μ} igual a 1.0 a menos que se realice un análisis no lineal más detallado y específico.

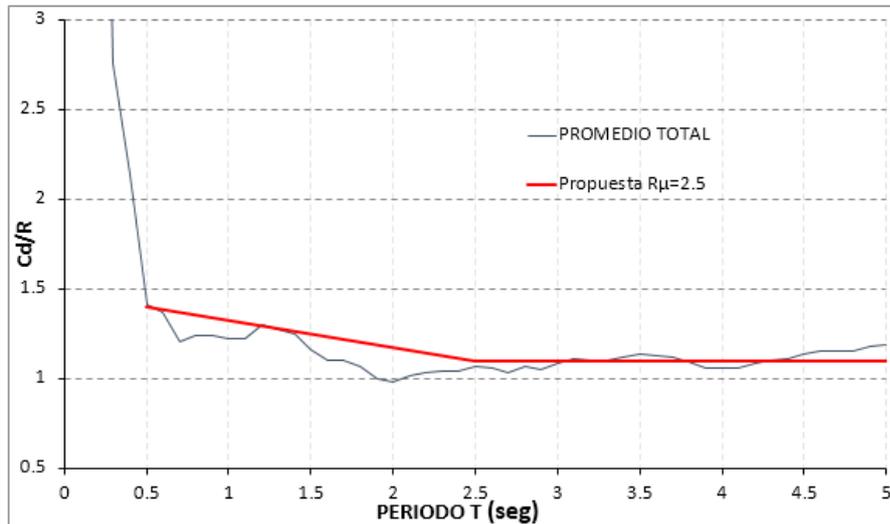


Figura 27: Propuesta de la relación Cd/R cuando el factor $R_{\mu}=2.5$

En la figura 27 se proponen valores de Cd/R para un factor de ductilidad (R_{μ}) igual a 2.5. Para periodos entre 0.5 y 2.5 seg se propone un valor de Cd/R que varíe linealmente de 1.4 a 1.1 respectivamente; para estructuras con periodos mayores a 2.50 seg se propone un valor de Cd/R igual a 1.1. De acuerdo a la Tabla 6a, estos valores corresponderían a sistemas de alta ductilidad con R entre 6 y 8 según el sistema estructural considerado.

Similar a lo expresado anteriormente, para estructuras con periodos de vibración menores a 0.50 seg, los valores Cd/R incrementan rápidamente, resultando en valores muy altos y difíciles de establecer. Por ésta razón, para esta categoría ($R_{\mu}=2.5$) no se recomienda que se incluyan estructuras con menos de 5 pisos ($T < 0.50$ seg); resultando así, para estas estructuras, más apropiado diseñarlas con R_{μ} igual a 1.0 ($R= 2.5$ o 3 según la sobre resistencia del sistema) a menos que se realice un análisis no lineal más detallado y específico.

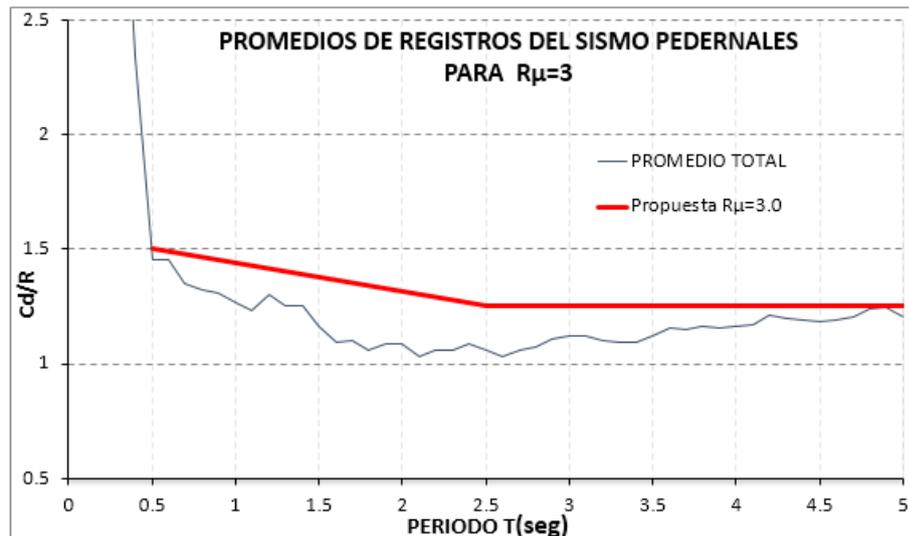


Figura 28: Propuesta de la relación Cd/R cuando el factor $R\mu=3.0$

En la figura 28 se propone utilizar valores de Cd/R que varían linealmente de 1.5 a 1.25 en periodos de 0.5 a 2.5 segundos respectivamente, para periodos mayores a 2.5 se utilizará valores Cd/R=1.25, todo esto cuando el factor por ductilidad $R\mu=3$, además como se estableció en la tabla 6A se deberá con este nivel usar un $R=8$. Para los valores menores a 0.5 segundos, es aconsejable trabajar con un $R\mu=2.5$.

Similar a lo expresado anteriormente, para estructuras con periodo de vibración menores a 0.50 seg, los valores Cd/R incrementan rápidamente, resultando en valores muy altos y difíciles de establecer. Por esta razón, para esta categoría ($R\mu=2.5$) no se recomienda que se incluyan estructuras con menos de 5 pisos ($T < 0.50$ seg); resultando así, para estas estructuras, más apropiado diseñarlas con $R\mu$ igual a 1.0 ($R=2.5$ según la sobre resistencia indicada en el ASCE7-16 para este tipo de sistemas) a menos que se realice un análisis no lineal más detallado y específico.

En la figura 29 se muestran los valores de Cd/R propuestos en este trabajo y los especificados por el NEC-15 y el ASCE7-16.

Se puede notar que el valor de Cd/R propuesto por la NEC-15 es inferior a todos los valores propuestos en este estudio y los propuestos por la ASCE7-16 solo coincidirían para ciertos sistemas estructurales (para periodos mayores a 0.40 seg)

Para estructuras con R_{μ} igual a 1.5 la propuesta es apenas 5% mayor a las del ASCE7-16, y para R_{μ} mayores los valores de C_d/R son significativamente mayores a los especificados por la NEC-15 y el ASCE7-16, sobre todo para estructuras de periodos bajos ($T=0.50\text{seg}$)

Se ha identificado que para estructuras de periodos bajos (menores a 0.50 seg) no resulta conveniente el uso de valores de R_{μ} diferentes a 1.0, dada la dificultad de establecer valores de C_d/R con precisión. Para esto, se considera apropiado limitar la ductilidad a estructuras con periodos menores a 0.50 seg.

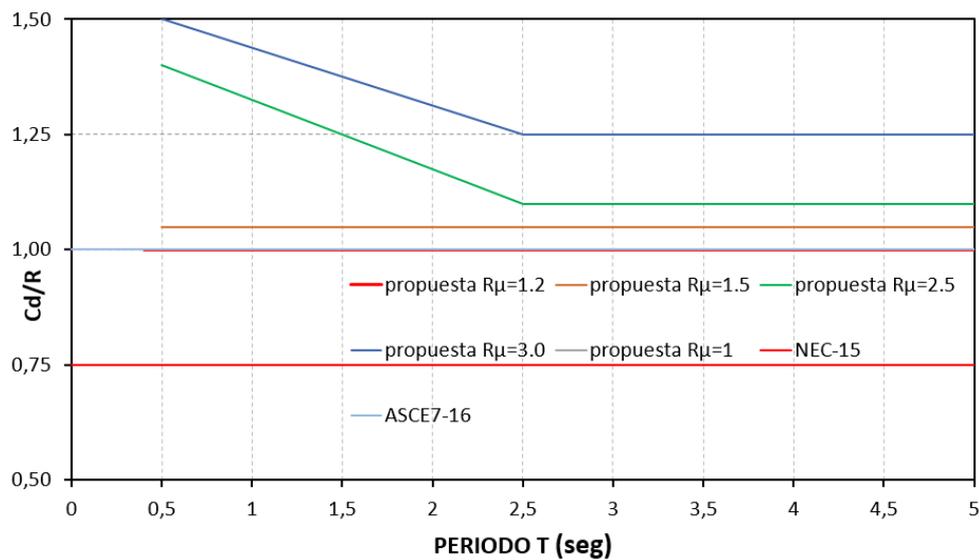


Figura 29: Comportamiento de todas las propuestas de la relación C_d/R y las de las normas.

6.4. Propuesta de factores C_d para Sistemas Estructurales especificados en NEC-15

Con la finalidad de cumplir con el objetivo principal de esta investigación, se estableció proponer valores de C_d en función de los factores de Reducción R , de los diferentes sistemas estructurales establecidos en la norma NEC-15.

SISTEMA ESTRUCTURAL	R	$R\mu$	T	Cd/R	Cd
A.1.1	8	3	0,5	1,5	12
			2,5	1,25	10
			5	1,25	10
A.1.2	8	2,5	0,5	1,4	11,2
			2,5	1,1	8,8
			5	1,1	8,8
A.1.3	7	3	0,5	1,5	10,5
			2,5	1,25	8,75
			5	1,25	8,75
A.2.1	8	2,5	0,5	1,4	11,2
			2,5	1,1	8,8
			5	1,1	8,8
A.3.1	5	2,5	0,5	1,4	7
			2,5	1,1	5,5
			5	1,1	5,5
A.3.2	5	1,5	0,5	1,1	5,5
			2,5	1,1	5,5
			5	1,1	5,5

Tabla 7: Valores de Cd para los sistemas estructurales dúctiles de la NEC-15.

En la tabla 7 se indican los factores utilizados en el cálculo de los valores Cd para los sistemas estructurales dúctiles (ver tabla 6a) propuestos por la NEC-15. En los cuales se estableció utilizar el correspondiente factor R de cada sistema estructural multiplicado por la relación Cd/R propuesta en la sección 6.3 de esta investigación.

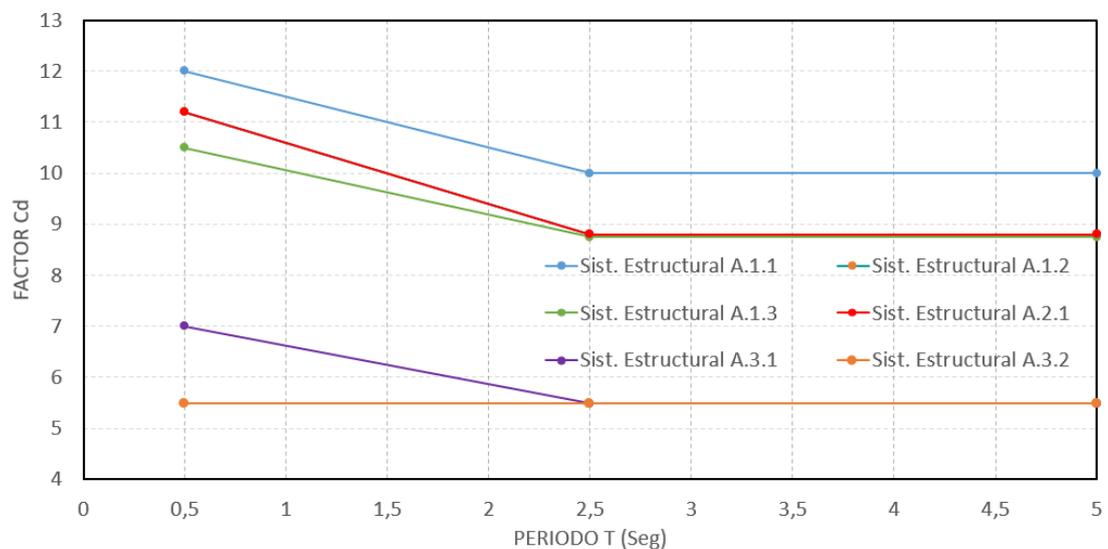


Figura 30: Propuesta de valores Cd para sistemas estructurales dúctiles.

En la figura 30 se muestran las propuestas de valores C_d para distintos tipos de sistemas estructurales dúctiles establecidos por la NEC-15. Se puede destacar que existe un comportamiento similar en la mayoría de las propuestas de C_d para periodos entre 0.5 a 2.5 segundos, en la cual varían linealmente sus valores y que a partir de 2.5 segundos se mantienen constantes.

SISTEMA ESTRUCTURAL	R	R_μ	T	C_d/R	C_d
B.1.1	3	1,0	0,5	1,0	3
			2,5	1,0	3
			5	1,0	3
B.1.2	2,5	1,5	0,5	1,1	2,75
			2,5	1,1	2,75
			5	1,1	2,75
B.1.3	2,5	1,2	0,5	1,0	2,5
			2,5	1,0	2,5
			5	1,0	2,5
B.2.1	1	1,0	0,5	1,0	1
			2,5	1,0	1
			5	1,0	1
B.2.2	3	1,0	0,5	1,0	3
			2,5	1,0	3
			5	1,0	3
B.2.3	3	1,5	0,5	1,1	3,3
			2,5	1,1	3,3
			5	1,1	3,3

Tabla 8: Valores de C_d para los sistemas estructurales de ductilidad limitada de la NEC-15.

En la Tabla 8 de la misma manera se presentan los factores utilizados para el cálculo de los valores C_d , pero esta vez para los sistemas estructurales de ductilidad limitada establecidos por la NEC-15. Manteniendo el mismo criterio se utilizó el factor de resistencia R de la norma NEC-15 para multiplicarlo por las diferentes propuestas de C_d/R de cada sistema estructural y llegar a determinar los valores C_d propuestos en la mencionada tabla.

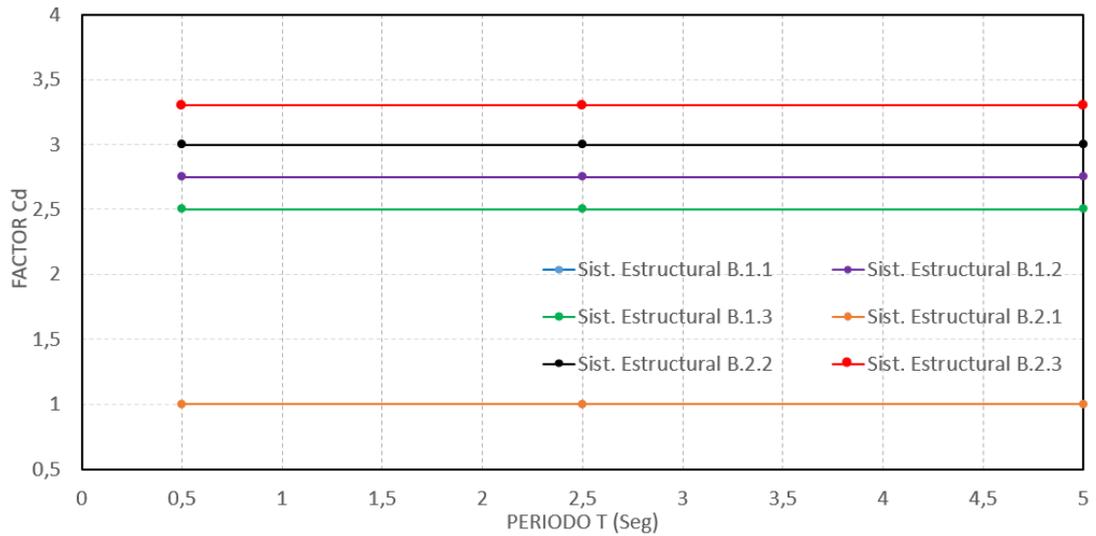


Figura 31: Propuesta de valores C_d para sistemas estructurales de ductilidad limitada

En la figura 31 se visualizan las propuestas de los valores C_d para los distintos tipos de sistemas estructurales de ductilidad limitada establecidos en la NEC-15. Se puede identificar que cada propuesta establecida mantiene valores constantes a partir de 0,5 segundos de periodo. Este comportamiento ocurre debido a que el grupo de sistemas estructurales analizado, mantiene valores de C_d/R constantes, como se estableció en la sección 6.3 de este trabajo, y como los valores de C_d influyen directamente en dicha relación, van a experimentar la misma tendencia.

CAPITULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Las relaciones de los factores C_d/R establecidos para este trabajo experimentaron ciertas variaciones a medida que transcurren en un intervalo de periodos.
- La clasificación según los valores de aceleración para los diferentes periodos escogidos (PGA, 0.2, 1.0 y 3 segundos) no mostraron ninguna tendencia favorable en alguna de estas, debido a ello se consideró usar la clasificación según el PGA.
- La agrupación de los registros según el valor de la aceleración mostraba valores de C_d/R con grandes dispersiones, por ello se decidió trabajar con el promedio de todos los registros y así tender valores menos fluctuantes.
- Para periodos cortos (menores a 0.5seg) la relación C_d/R aumenta drásticamente, aún para valores de R_μ bajos (por ejemplo 1.2) siendo difícil establecer valores para estos periodos. Por ello se propone que estructuras de periodo bajo (menor a 0.5 seg) se diseñen para un R_μ igual a 1.0.
- Se encontró que a medida que el valor de R_μ aumenta, la relación C_d/R incrementa de igual manera.
- Dado que el valor de C_d está en función de los factores R_μ y Ω , el valor de C_d debe ser determinado para cada sistema estructural. Por ello se optó relacionar los factores de la norma ASCE7-16 con los sistemas estructurales de la NEC-15 y así asignar valores de R_μ propuestos en esta investigación, a los sistemas estructurales de la NEC-15.
- Para las propuestas asignadas en la relación C_d/R se estableció que para valores de R_μ bajos (1.0 a 1.5) se le deberá asignar valores constantes debido a la pequeña variación en su comportamiento, por otro lado, en factores de R_μ más altos (2.5

a 3.0) se asignaron valores que irán incrementándose linealmente en un rango de periodos entre 0.5 a 2.5 segundos.

- Tanto la norma NEC-15 como la ASCE7-16 especifican ciertos valores de C_d (o C_d/R) menores a los obtenidos en este trabajo.
- Para las propuestas de los valores de C_d , se decidió asignarles a todos los sistemas estructurales establecidos por la NEC-15, en cual los sistemas de ductilidad alta presentan una variación lineal de sus valores en rangos de periodos de 0.5 a 2.5 segundos y en los sistemas estructurales de baja ductilidad mantienen valores constantes a partir de los 0.5 segundos de periodo.

7.2. Recomendaciones

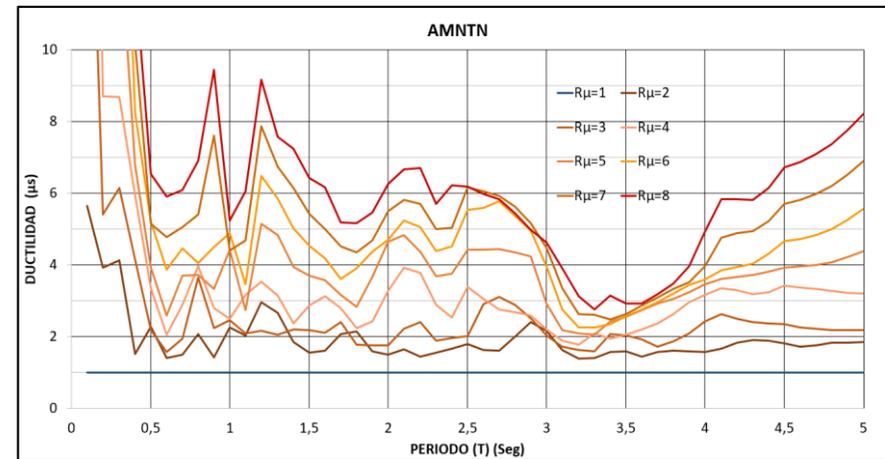
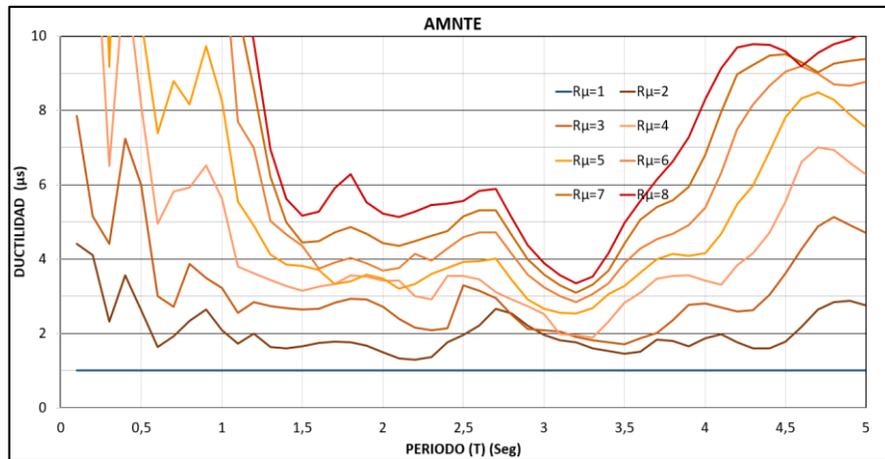
- Dado que este estudio tomó como cierto los valores de sobre resistencia (Ω) según los sistemas estructurales propuestos por la ASCE7-16, se recomienda que se estudie más a fondo la factibilidad de estos valores asignados.
- Se recomienda estudiar la influencia del tipo de suelo al momento de la clasificación de registros sísmicos y cálculo del factor C_d .
- En el caso de que la NEC-15 incluya más sistemas estructurales, se recomienda analizar los valores de R , Ω o R_μ asignados a dichos sistemas para establecer, con la metodología presentada en este estudio, los valores de C_d correspondientes.

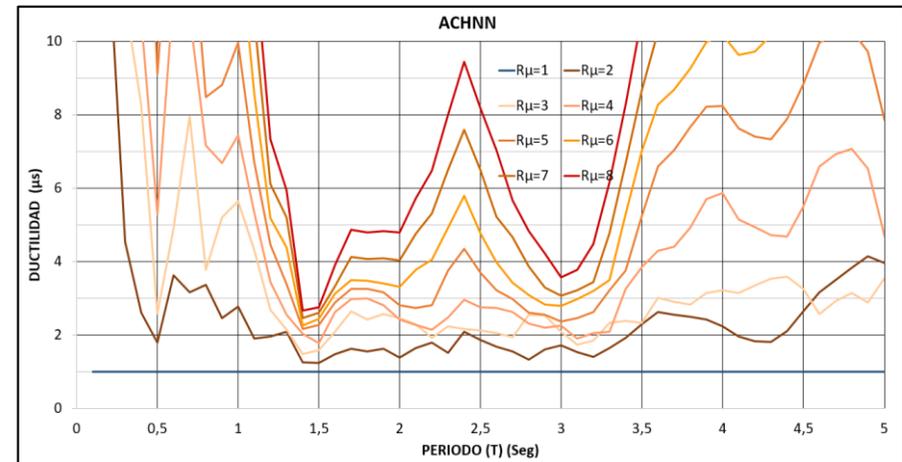
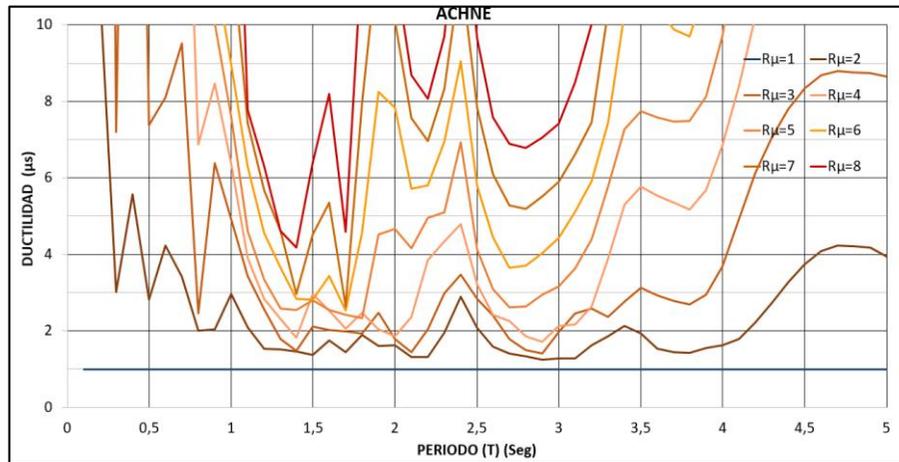
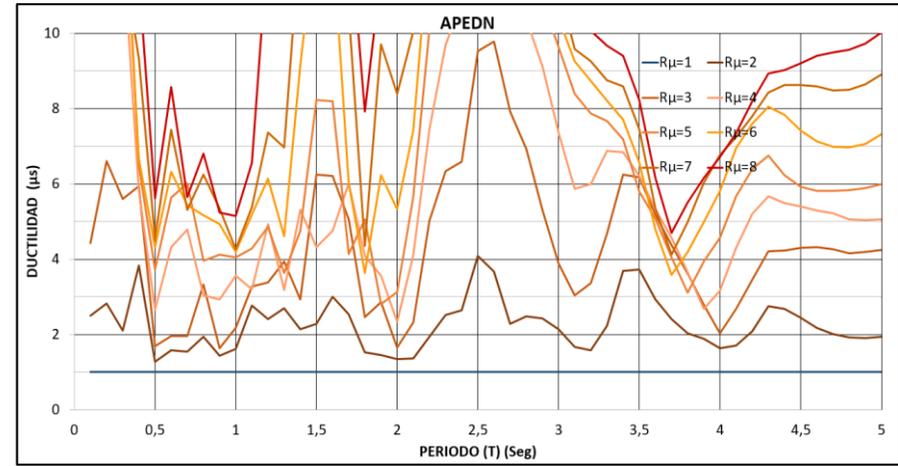
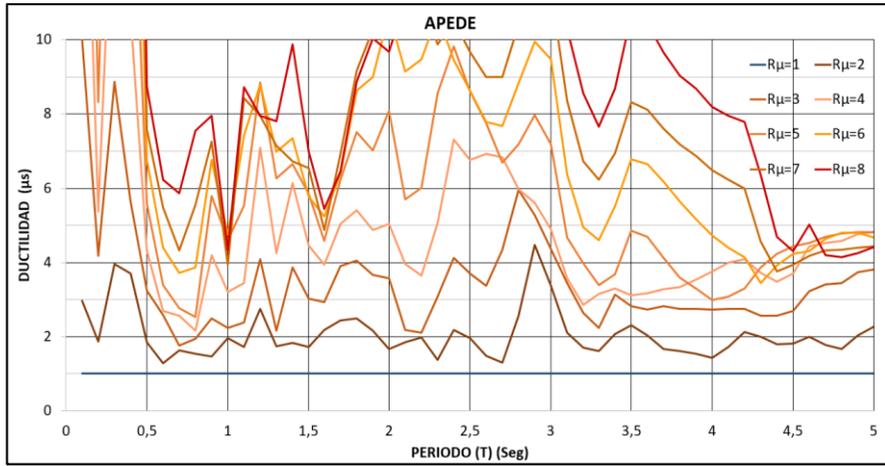
REFERENCIAS

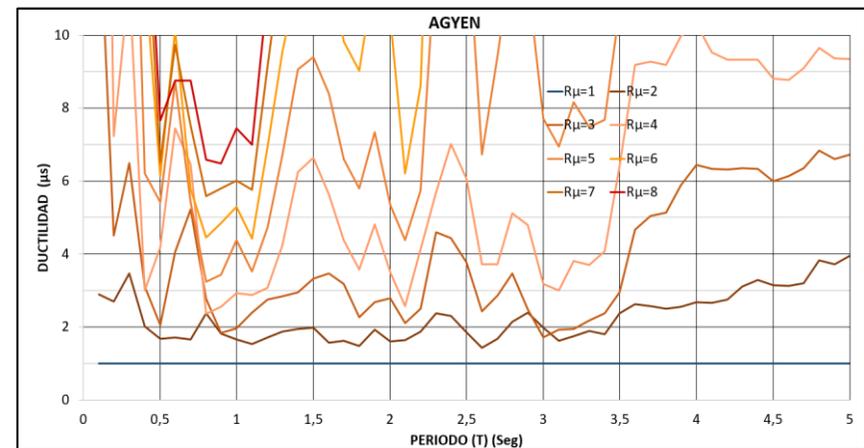
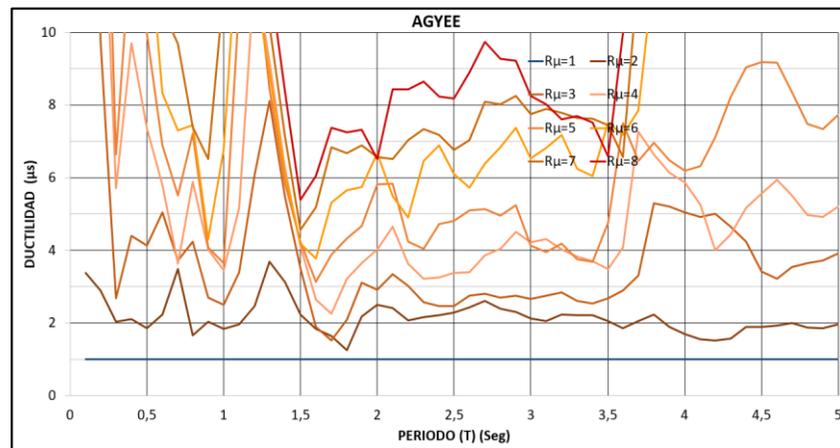
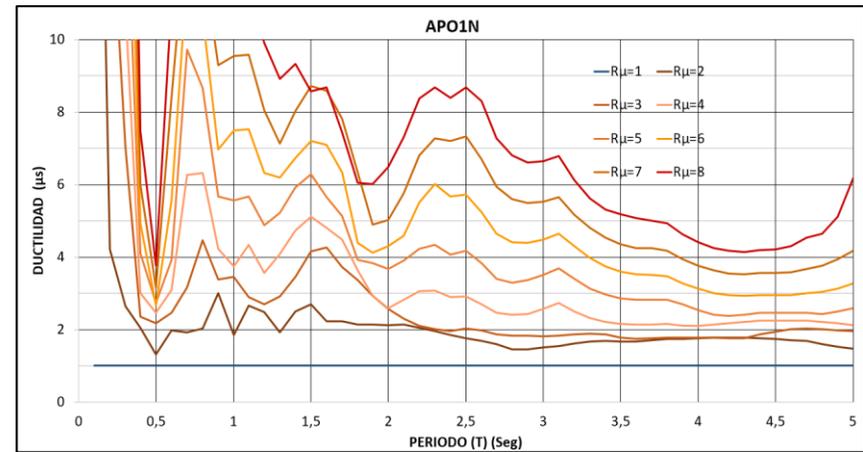
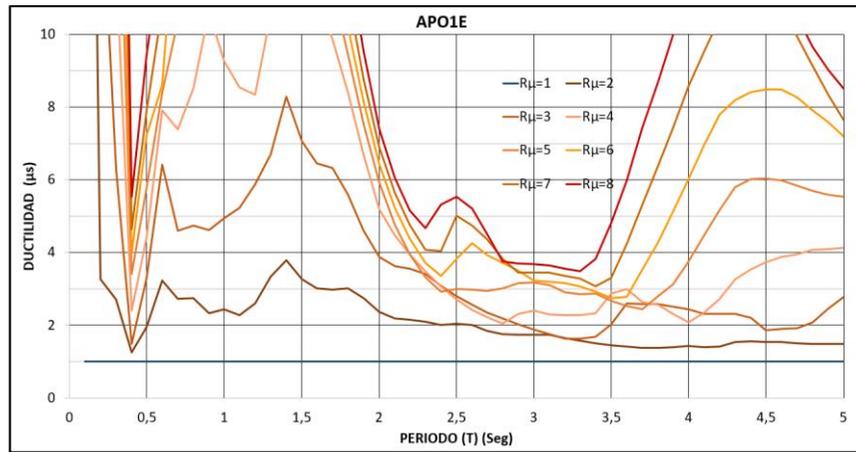
- Ávila, D. (2018). *Espectro de Respuesta no lineales de Combinacion de componentes horizontales de registros sismicos usando el Método de Respuestas Máximas en el Tiempo (RMT)*. Guayaquil.
- Chopra, A. K. (2014). En A. K. CHOPRA, *DINÁMICA DE ESTRUCTURAS* (CUARTA ed., pág. 752). MÉXICO: PEARSON EDUCATION.
- Mohammadi, R. K. (Febrero de 2002). Approximate Evaluation of Deflection Amplification Factor. *Journal of Structural Engineering* .
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Sociedad Americana de Ingenieros Civiles . (2007). Sociedad Americana de Ingenieros Civiles .
- Uang, C. M. (Enero de 1991). ESTABLISHING R (OR RW) AND Cd FACTORS FOR BULDING SEISMIC PROVISIONS. *Journal of Structural Engineering*, 11.
- Uang, C. M. (Agosto de 1994). DEFLECTION AMPLIFICATION FACTOR FOR SEISMIC DESIGN PROVISIONS. *Journal of Structural Engineering*, 15.

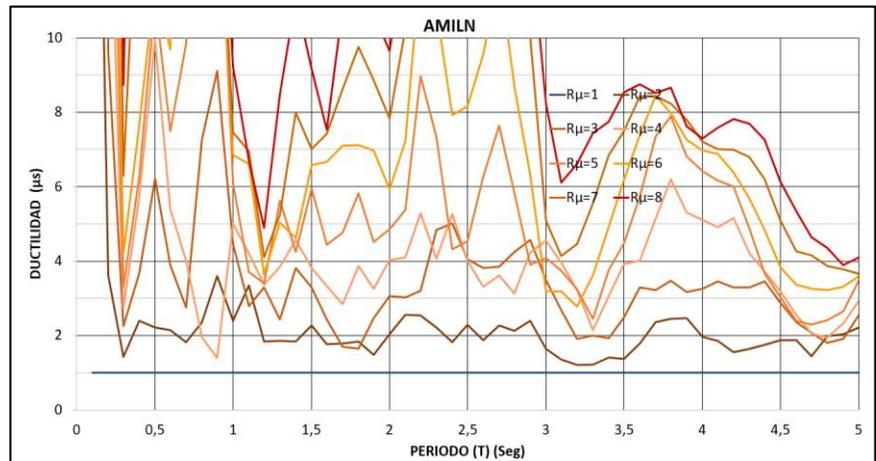
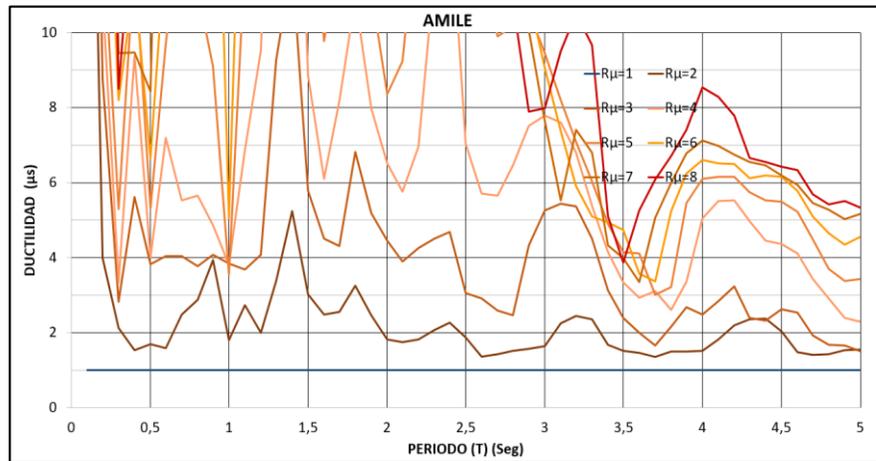
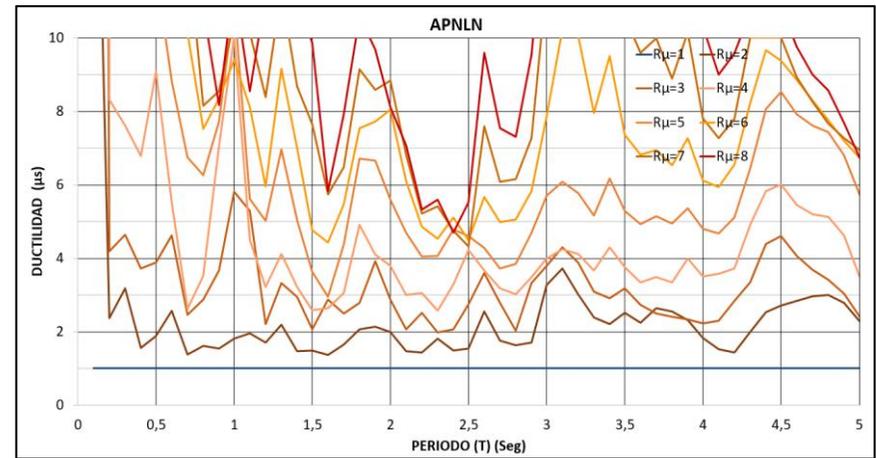
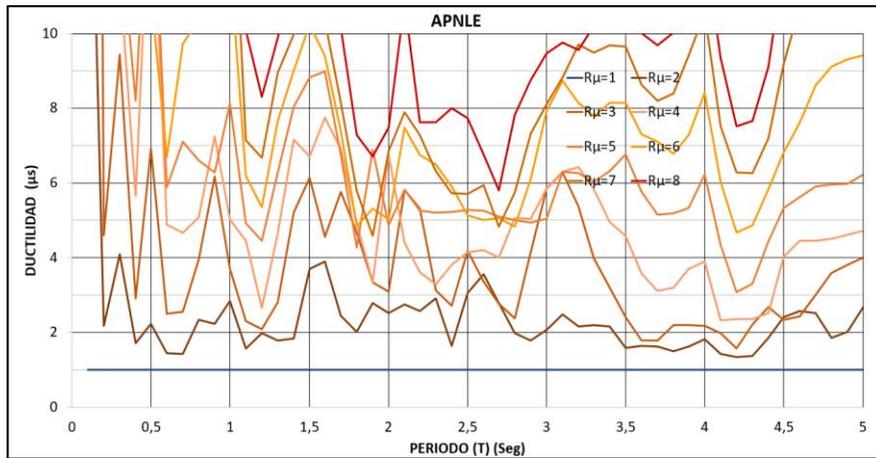
ANEXOS

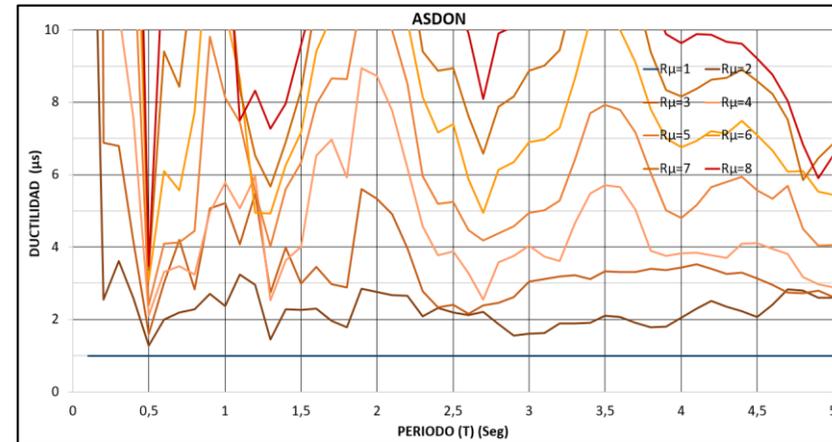
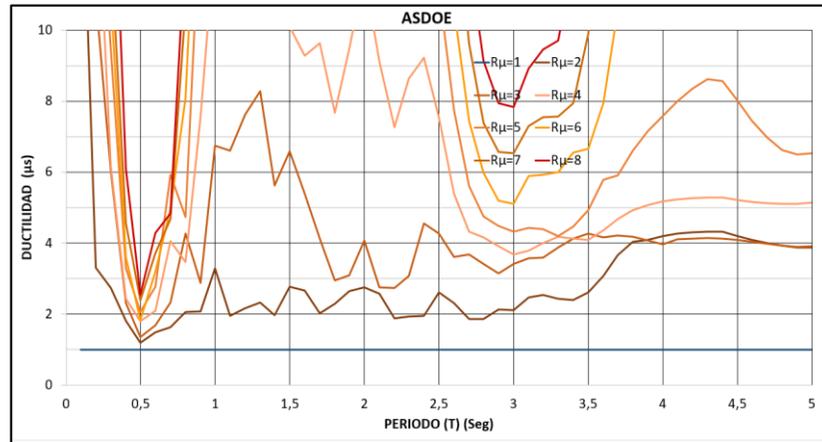
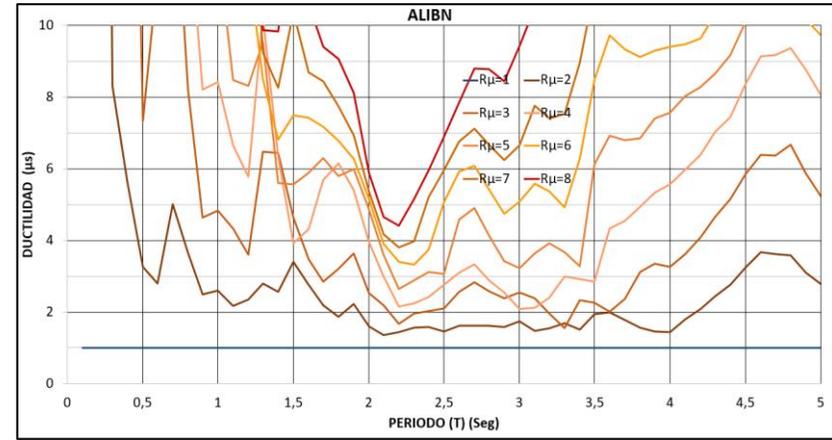
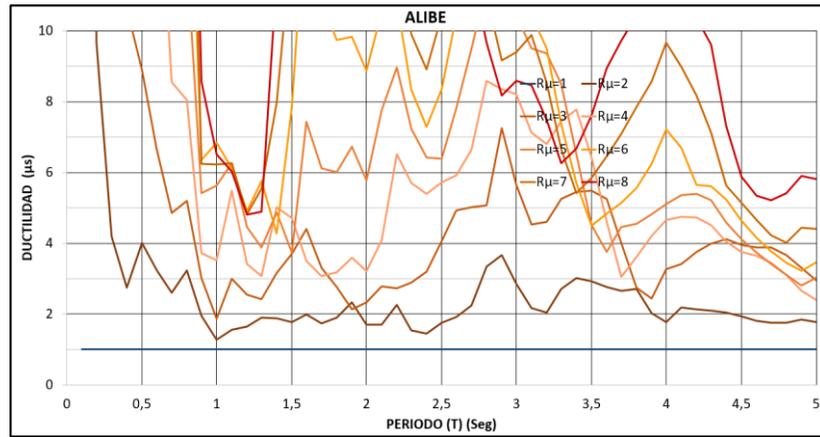
En los anexos a continuación se muestran los espectros de todos los registros de sismo de pedernales del 2016 realizados para los valores de ductilidad (μ s).

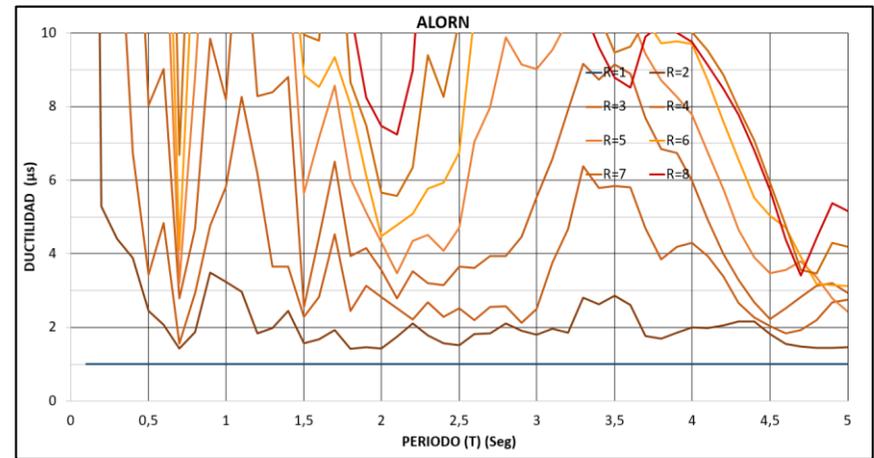
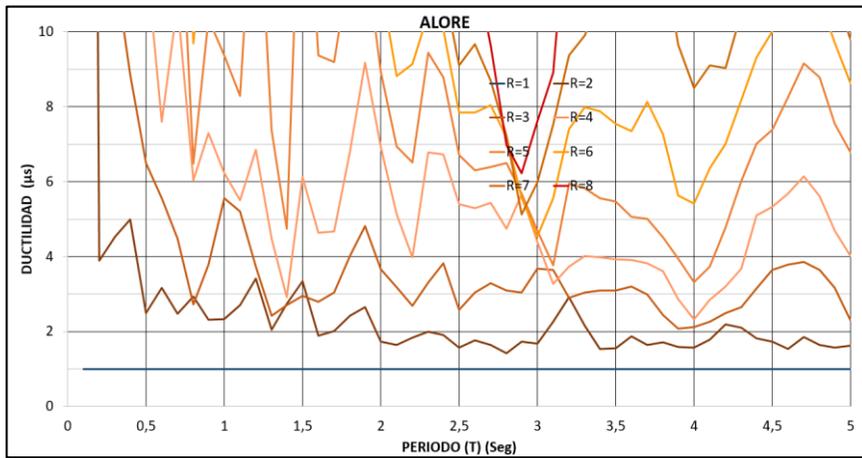
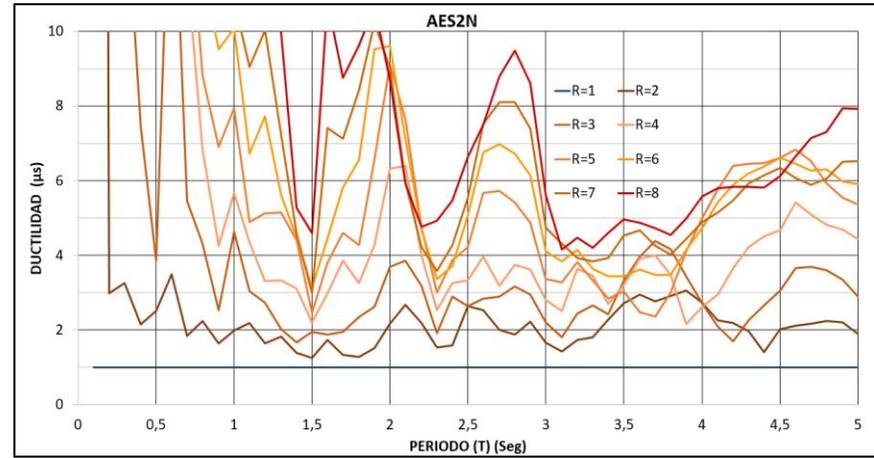
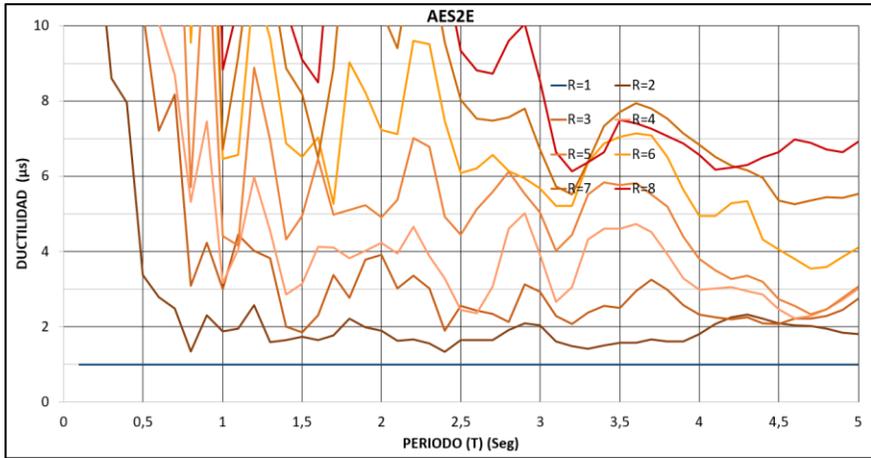


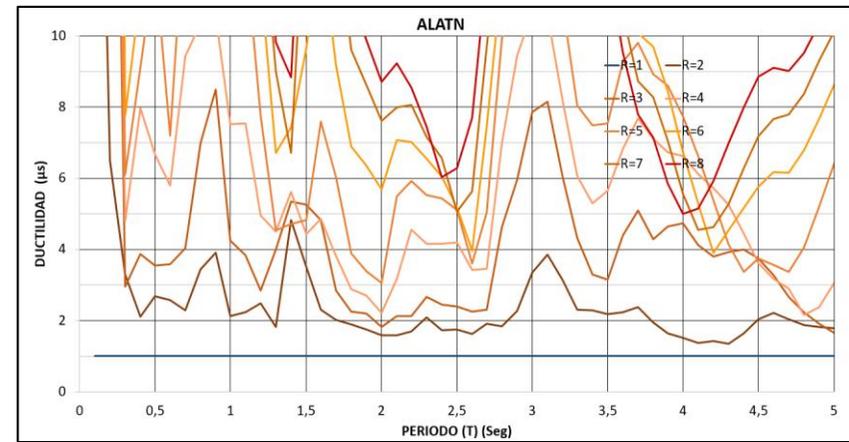
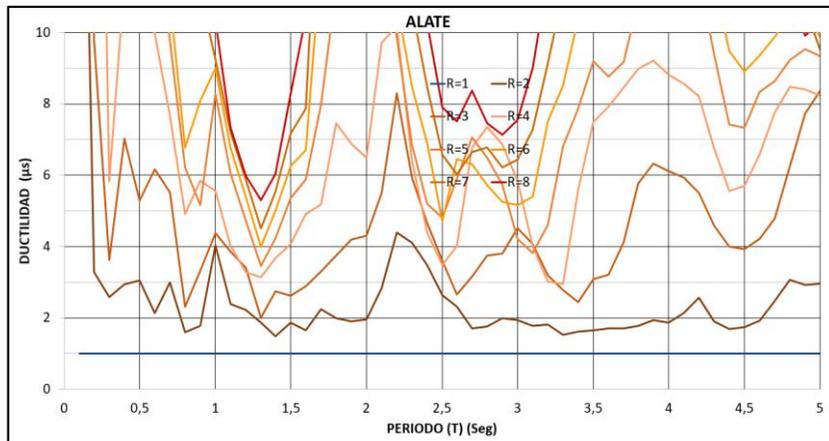
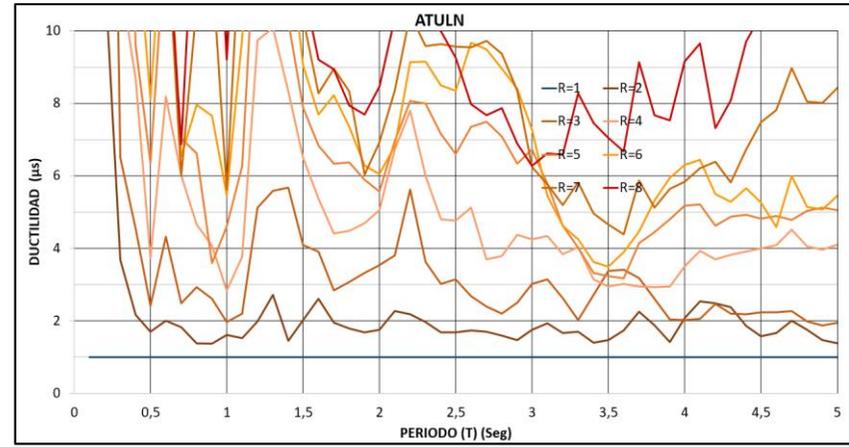
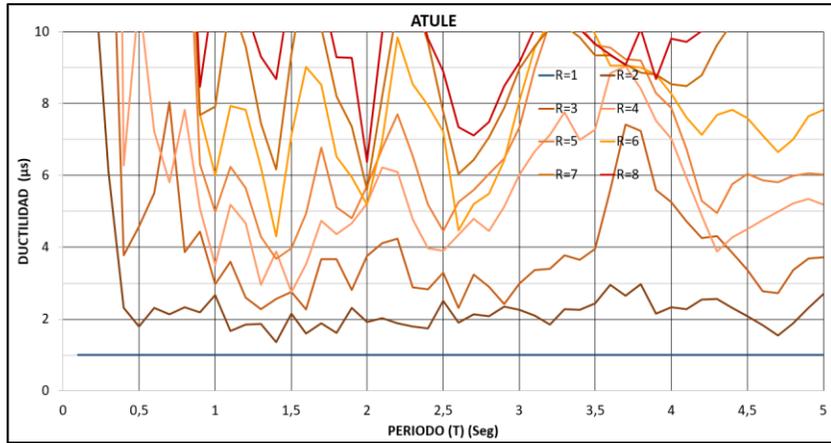


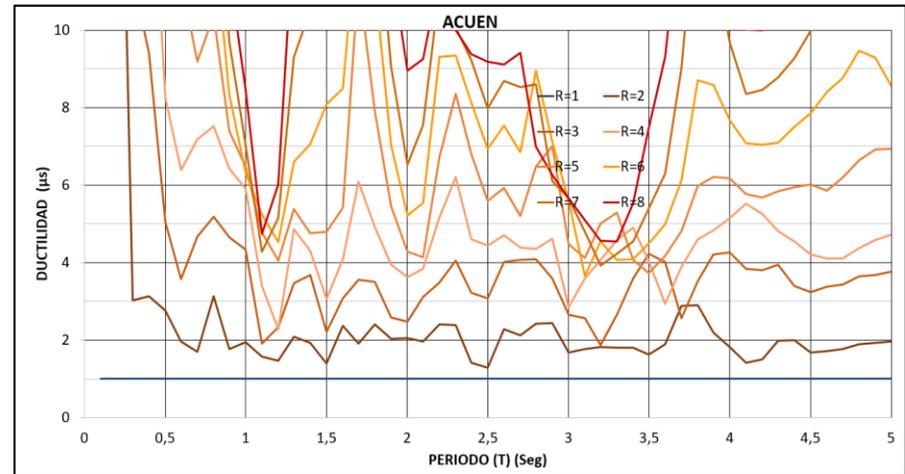
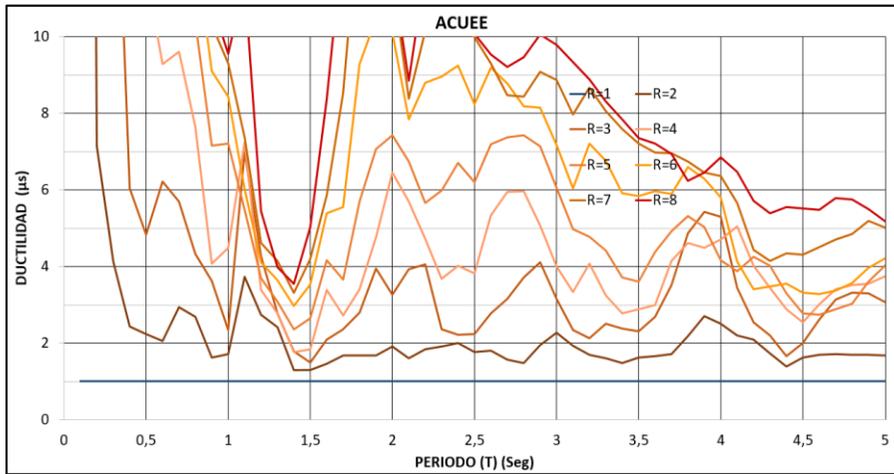
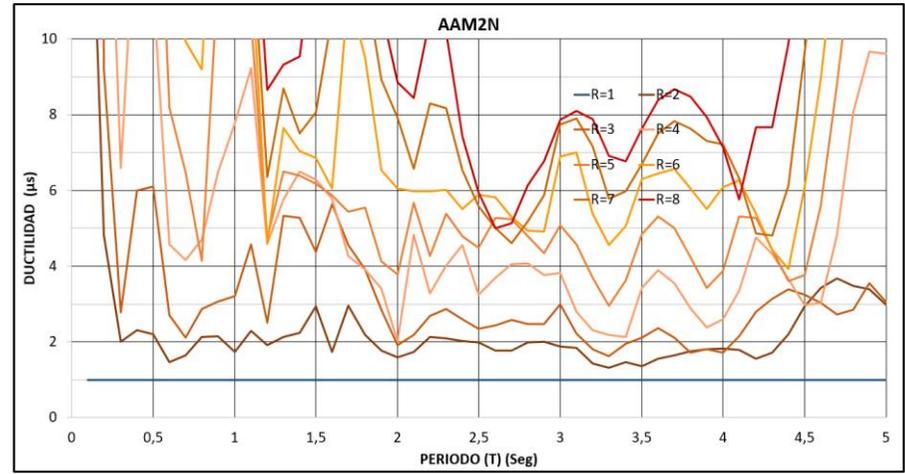
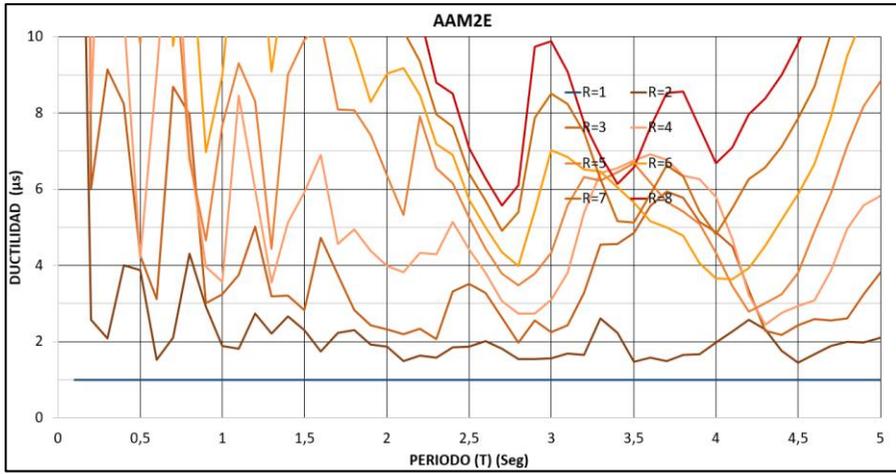


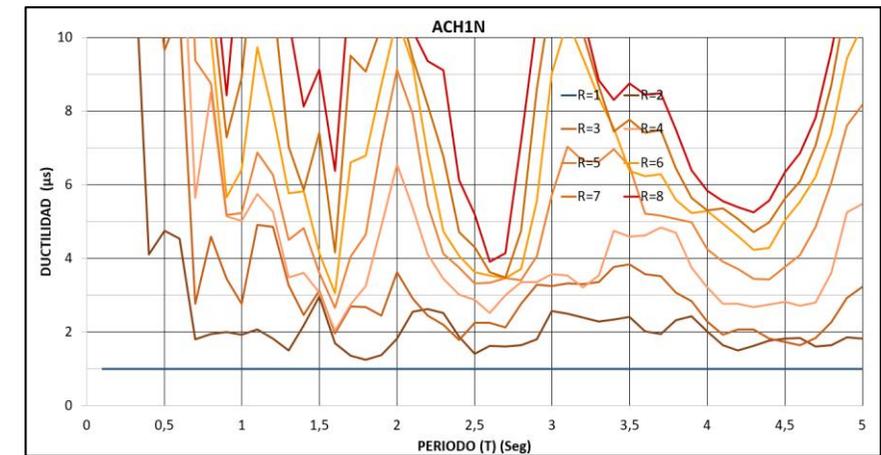
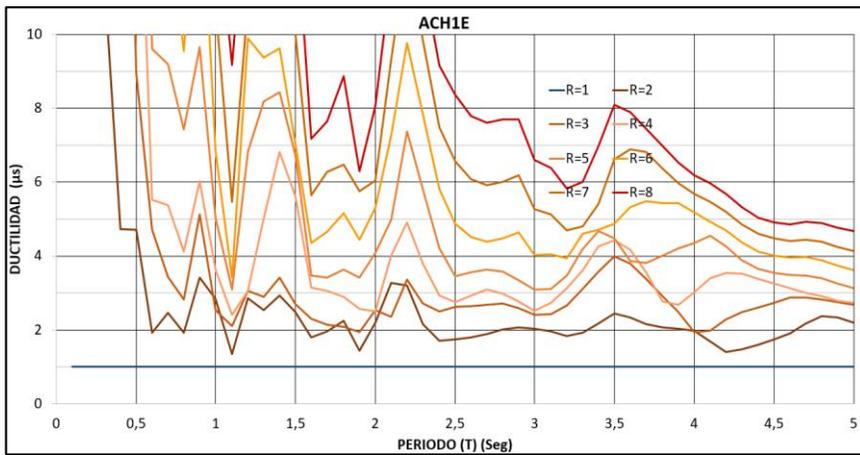
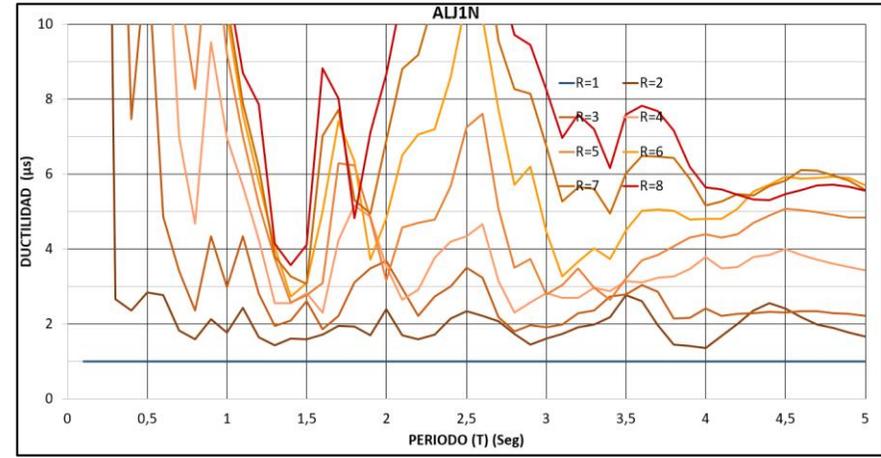
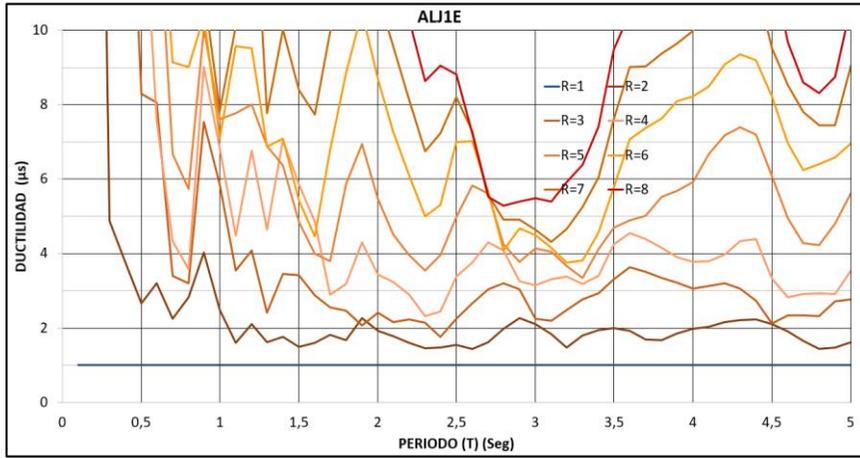


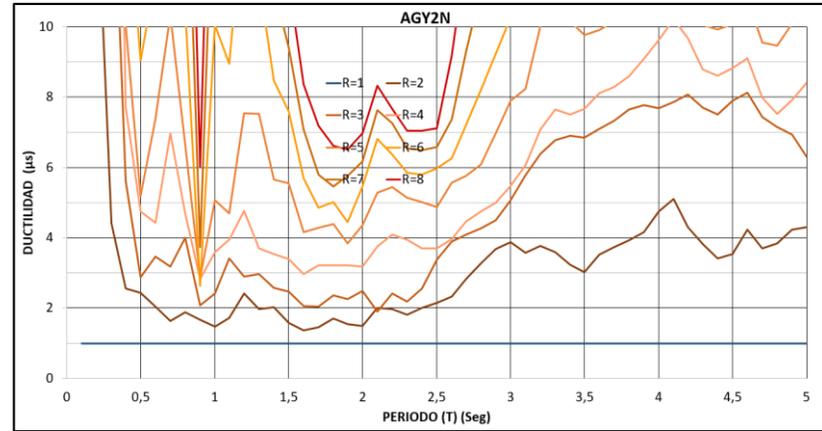
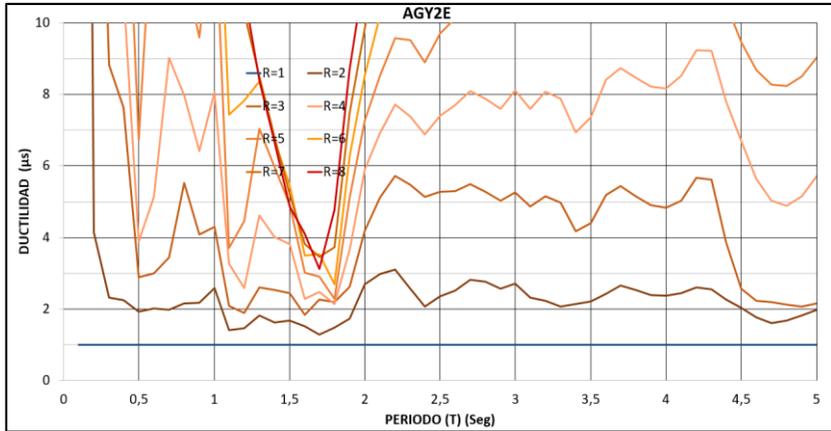
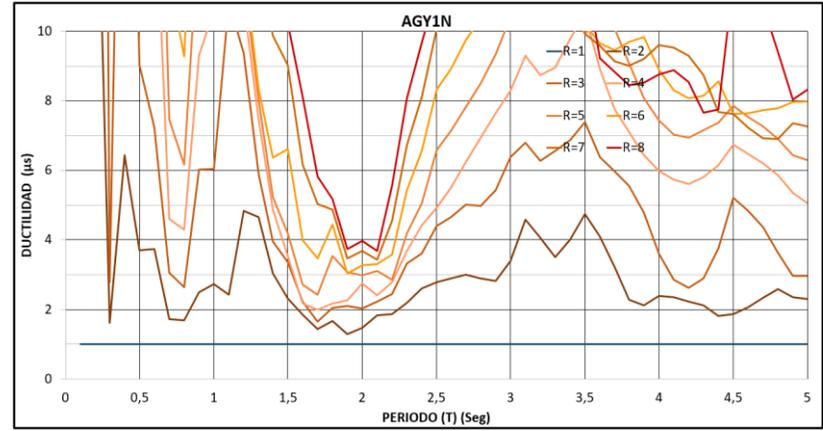
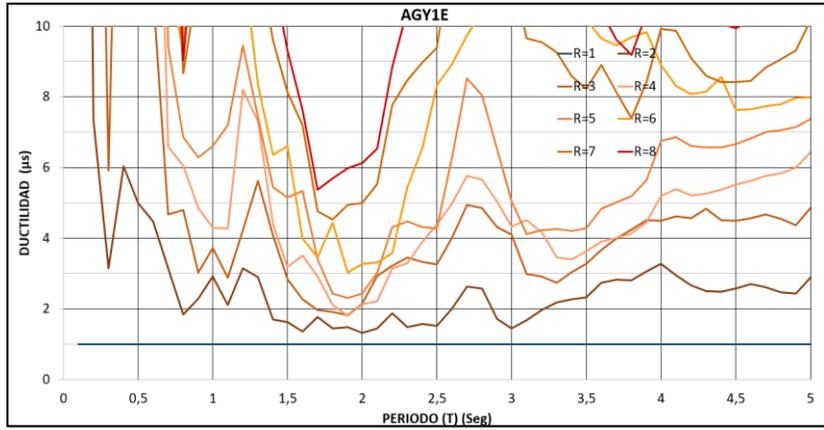


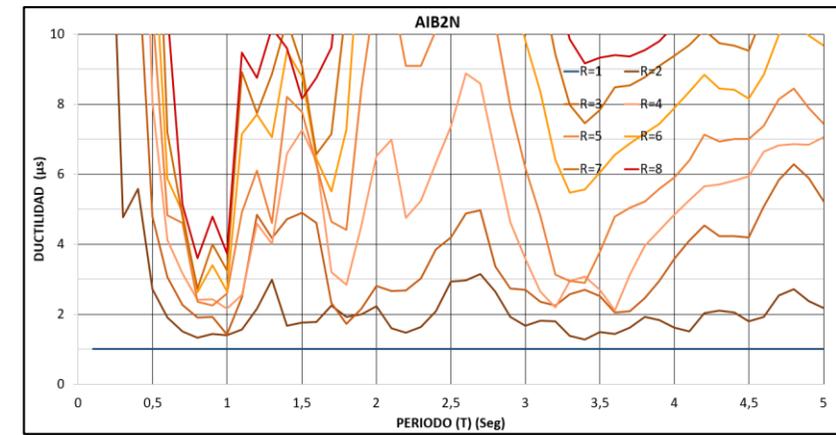
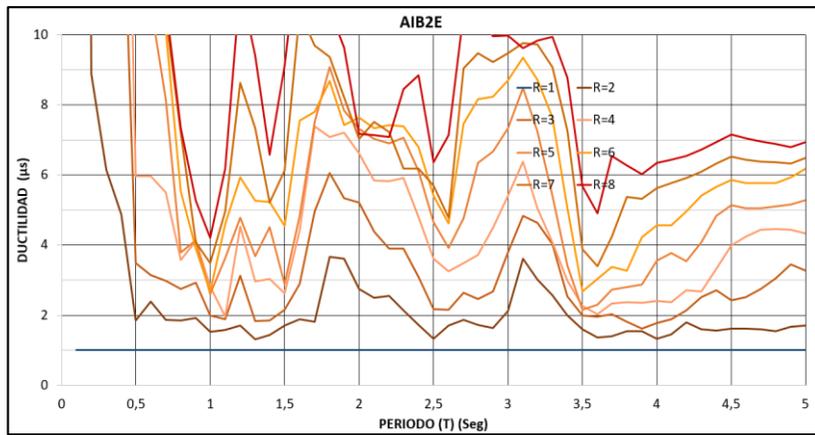
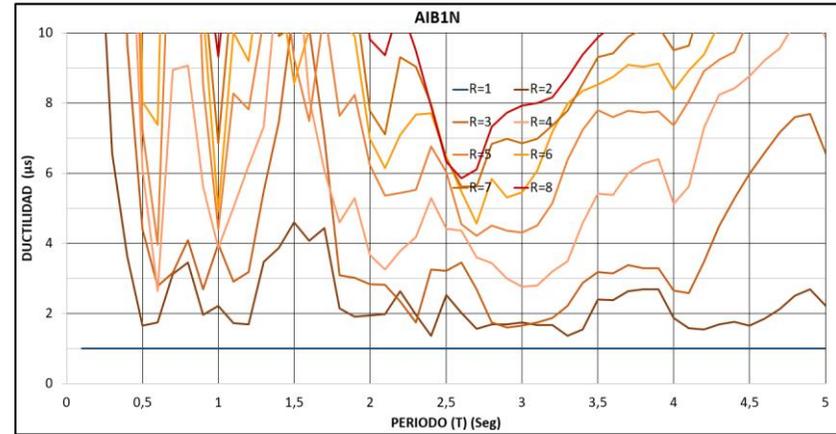
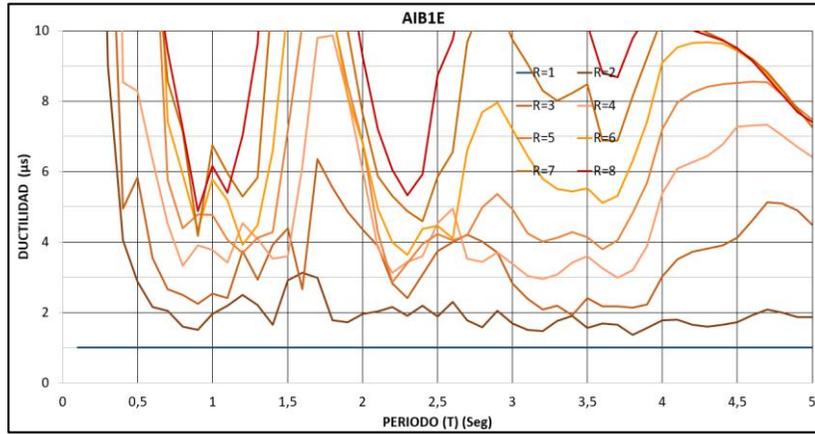


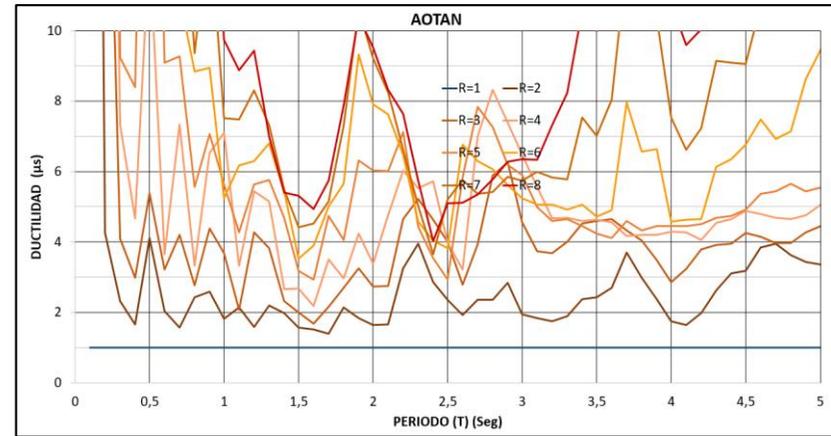
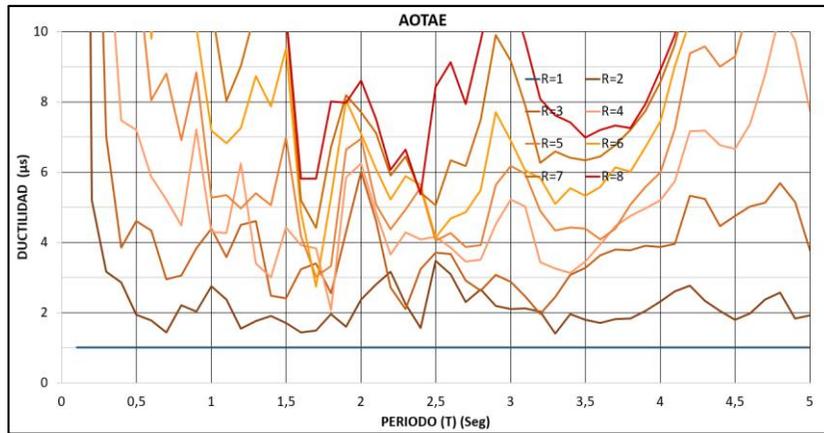
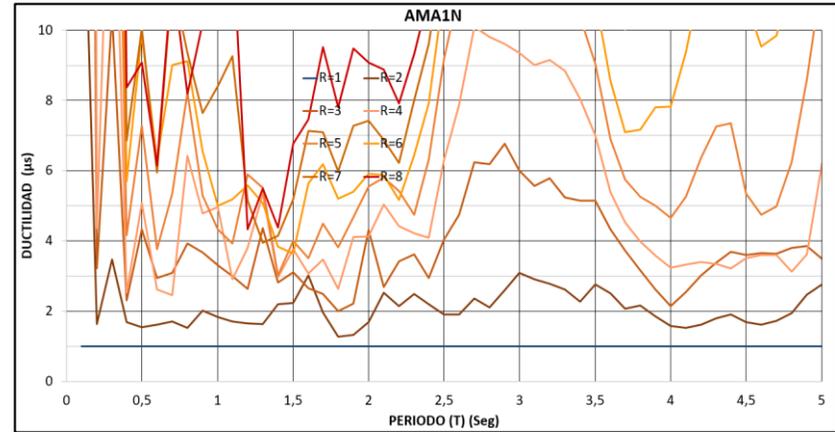
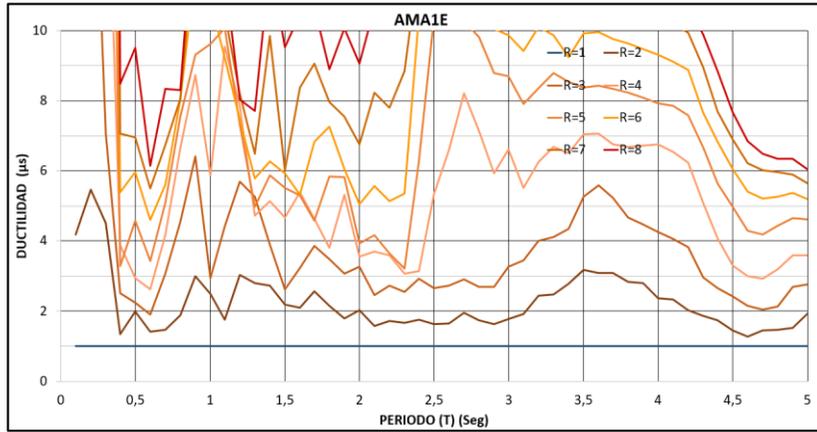


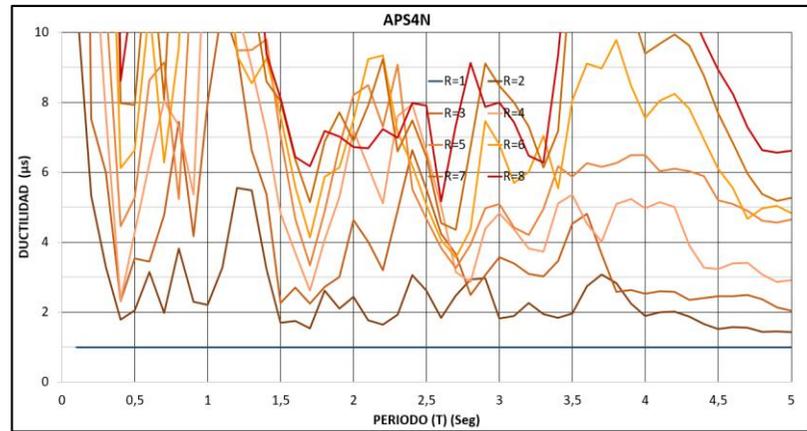
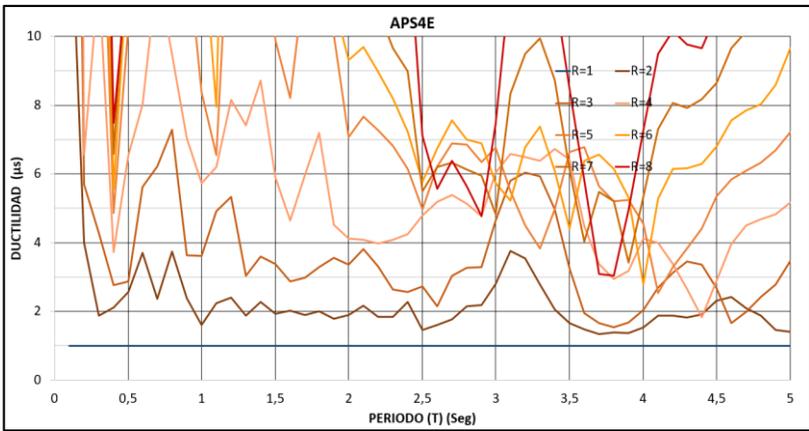
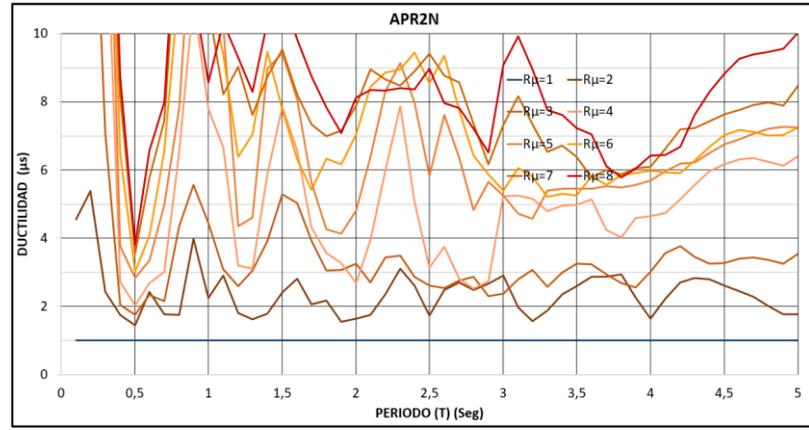
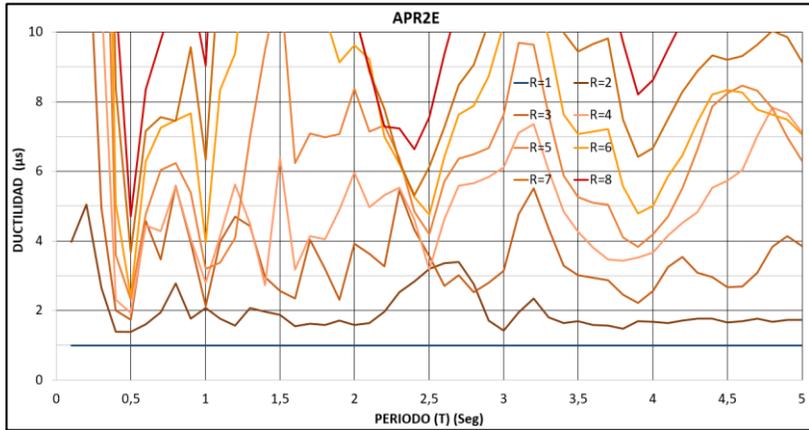


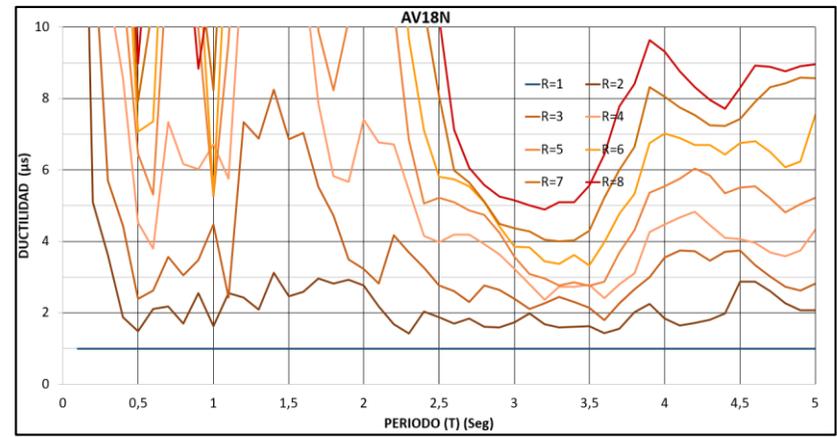
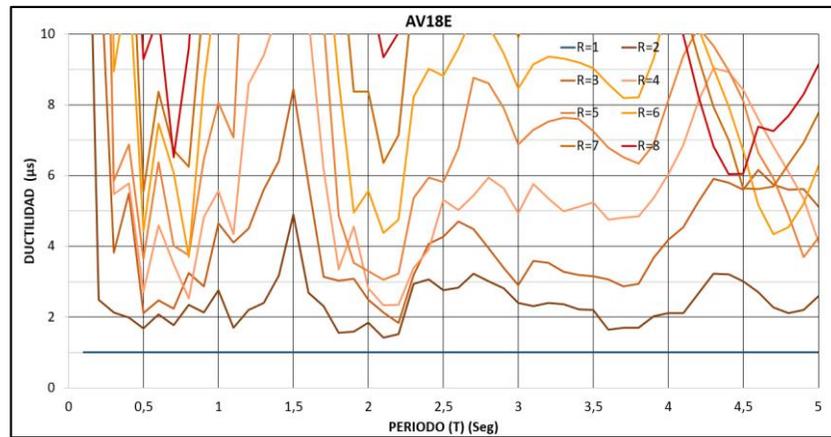
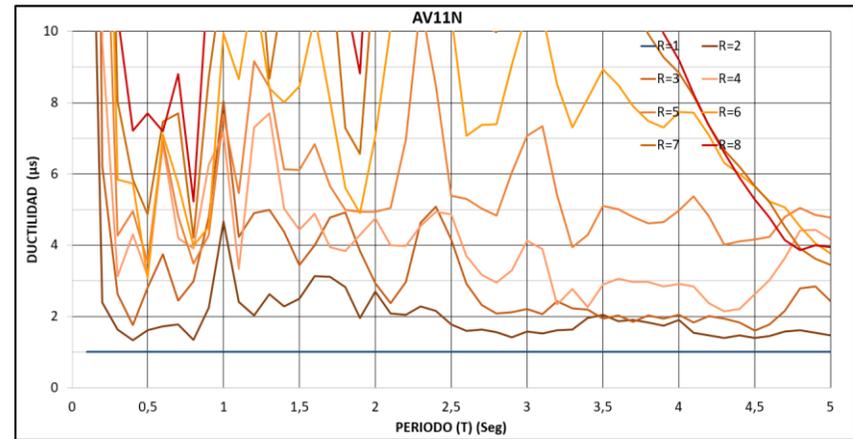
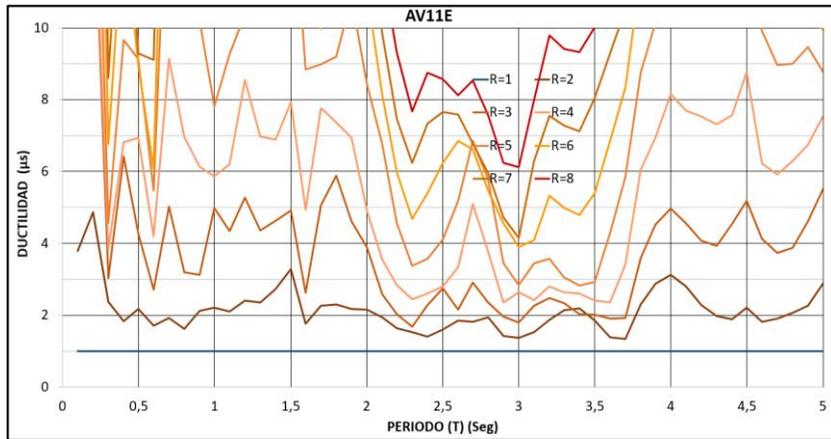


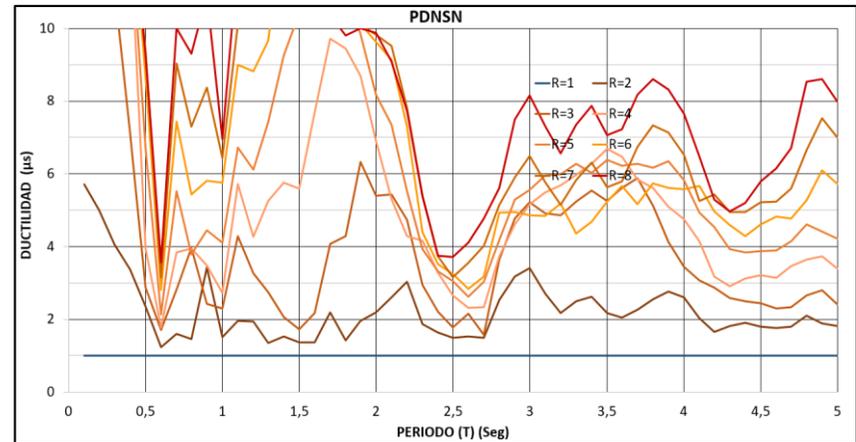
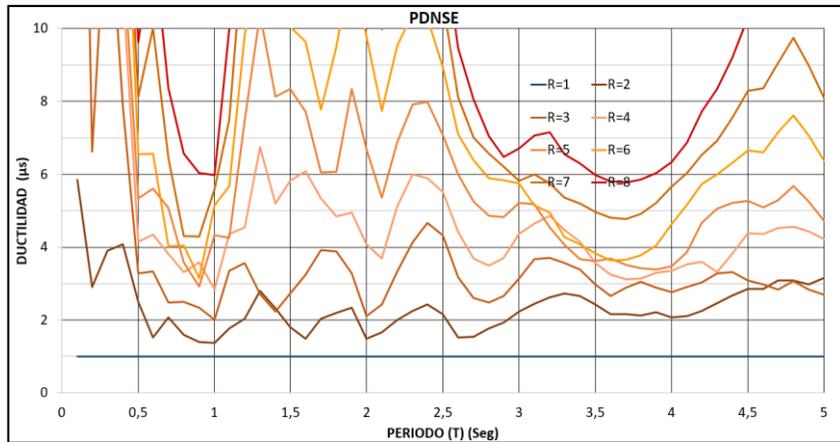
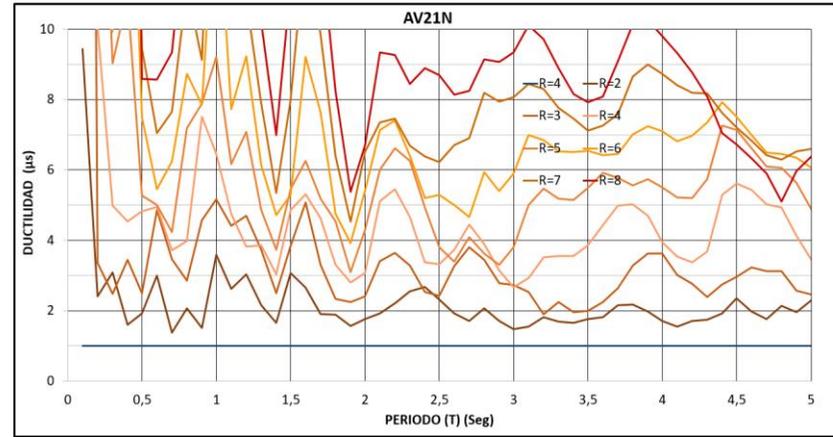
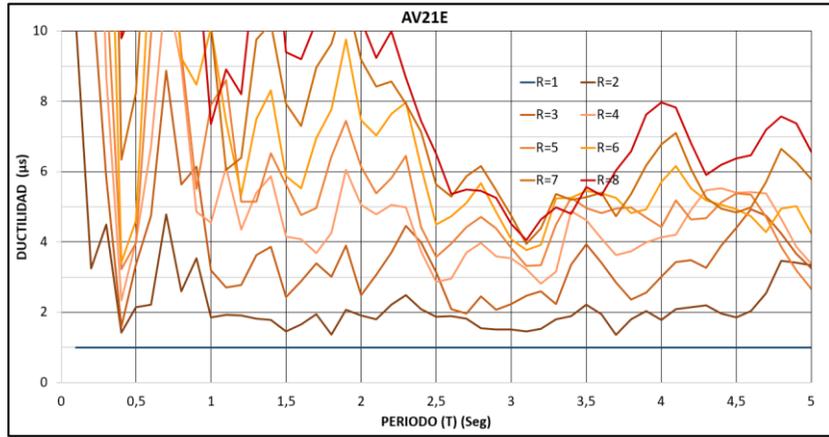




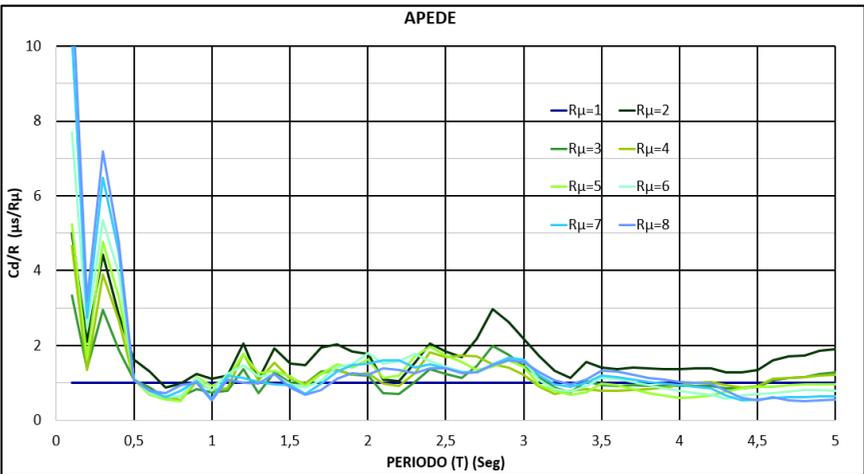
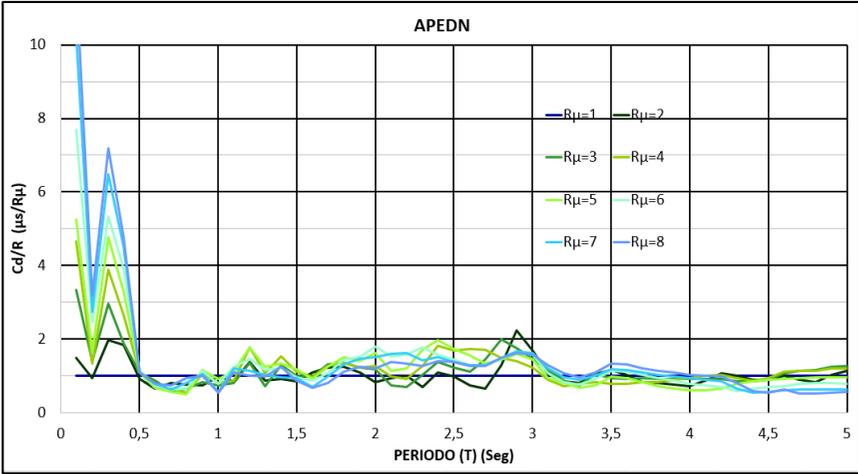
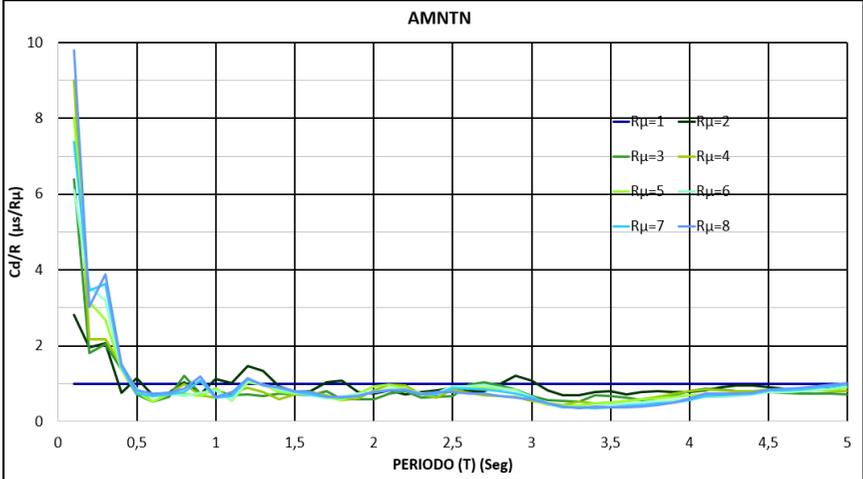
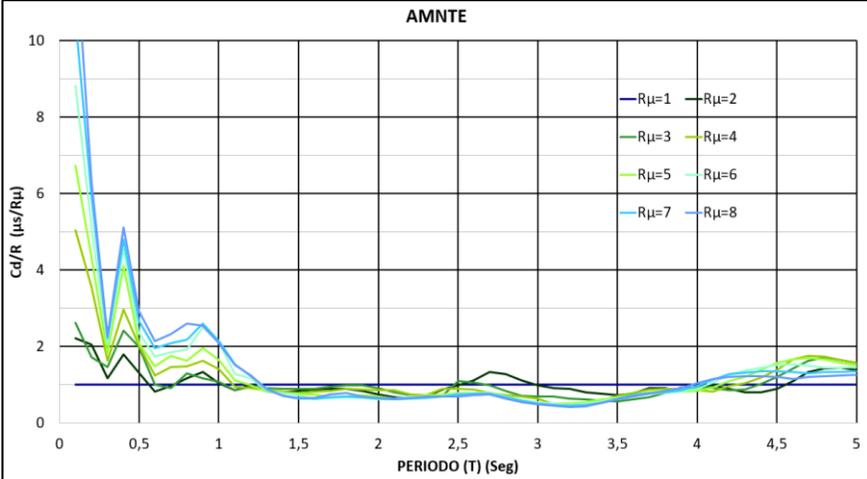


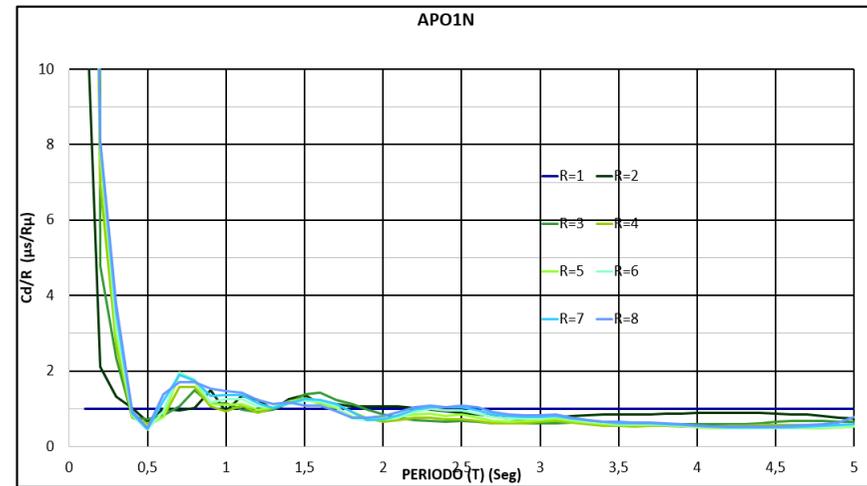
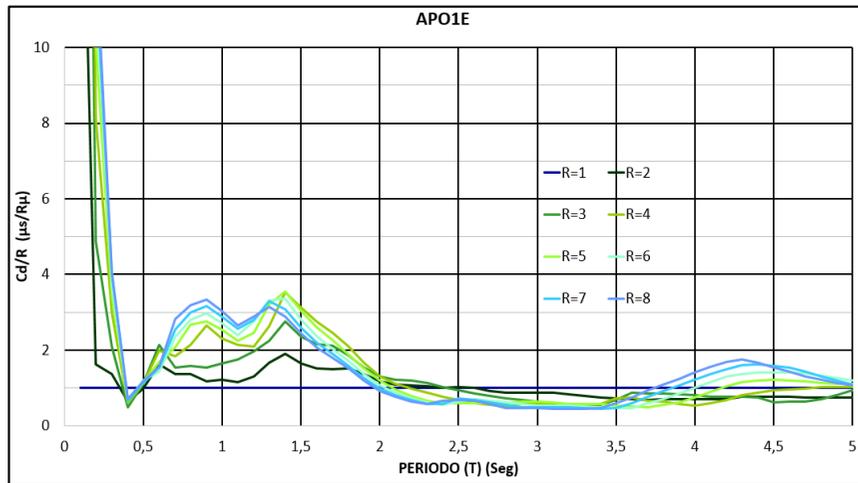
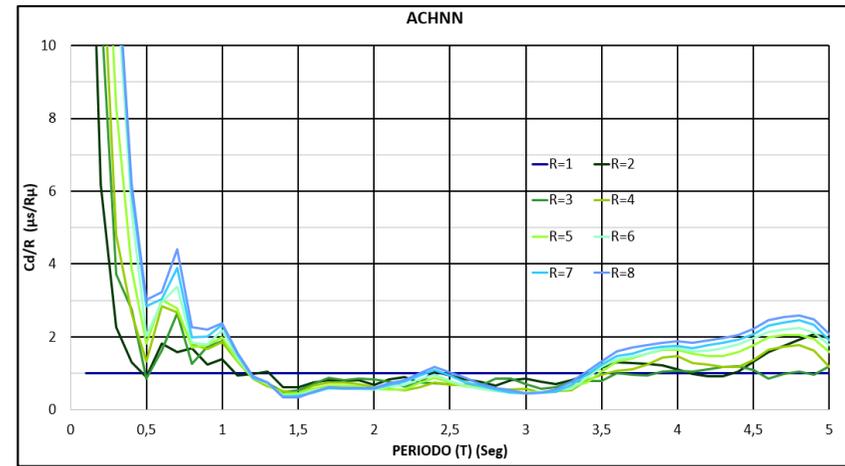
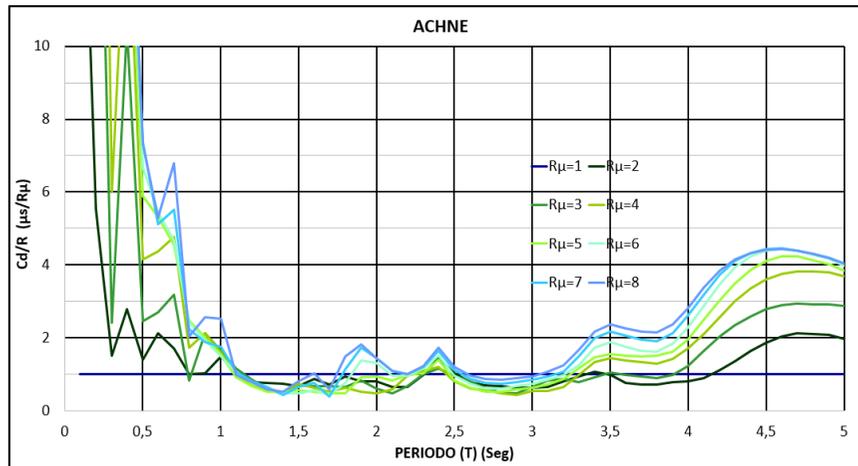


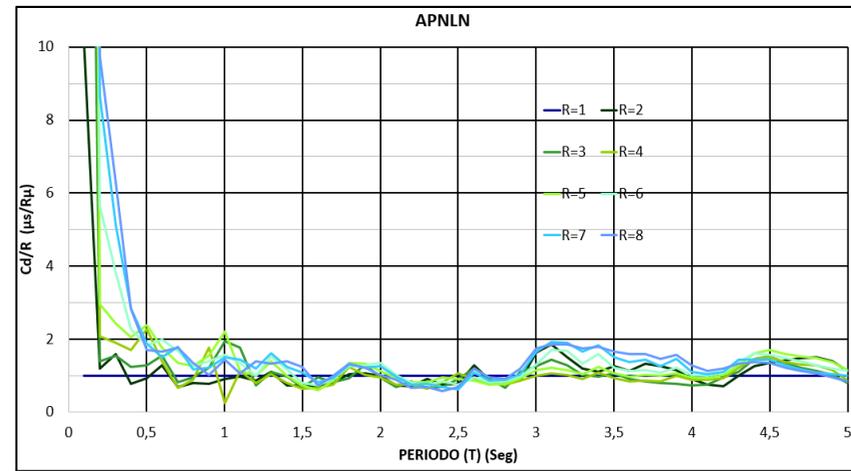
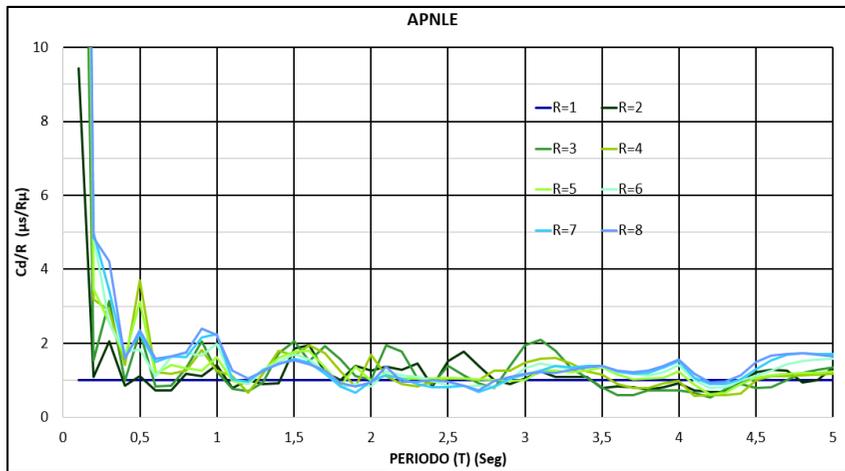
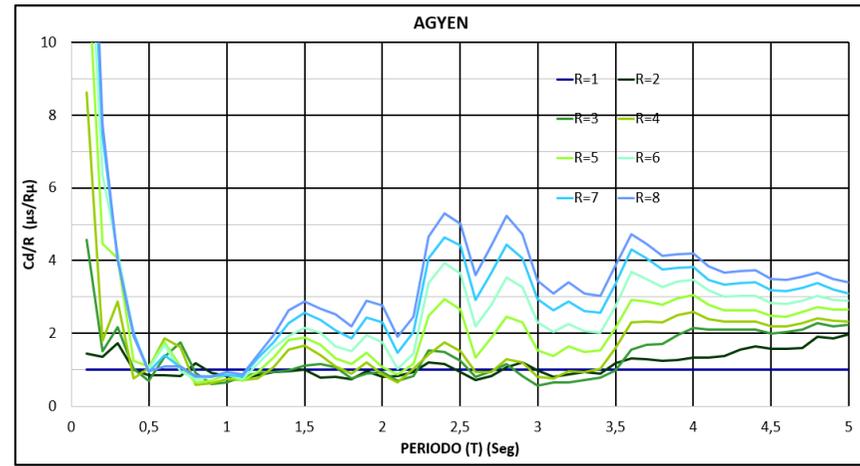
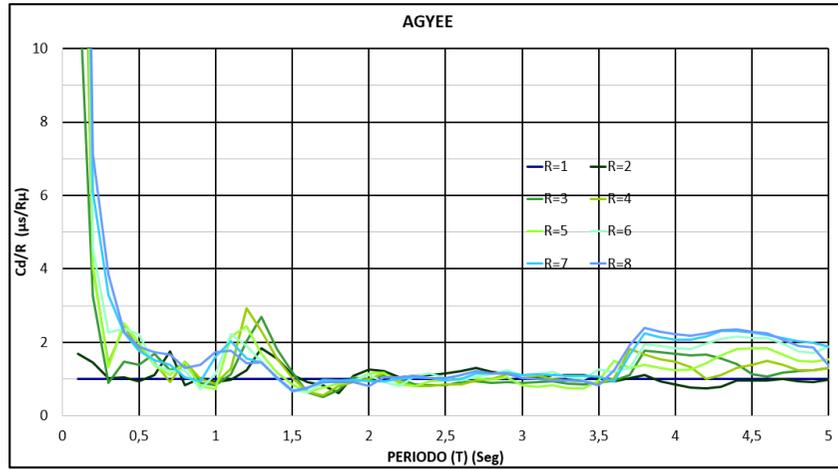


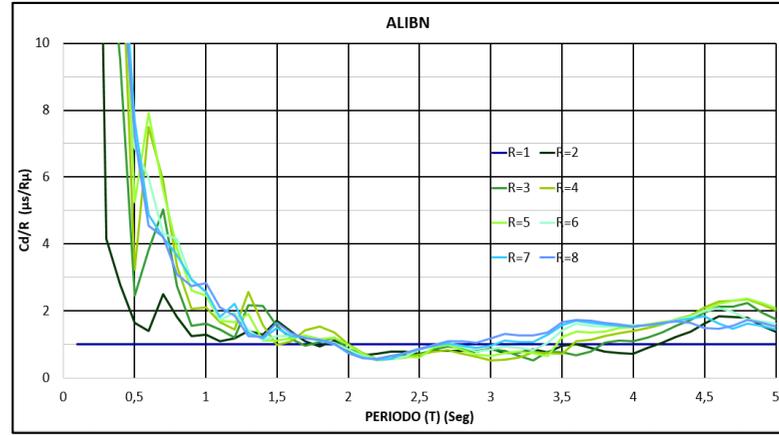
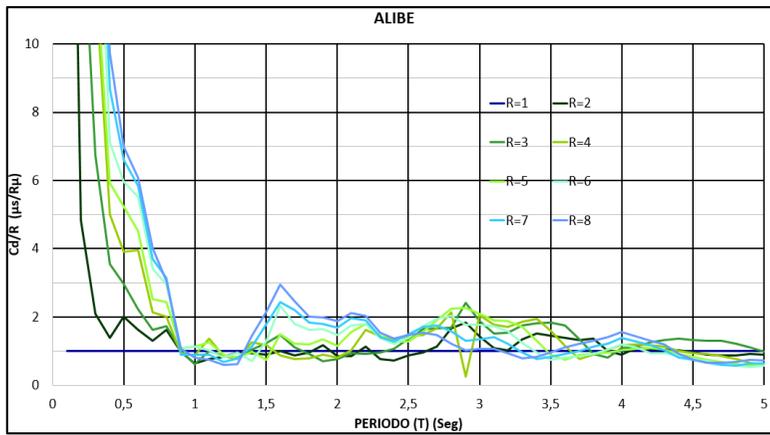
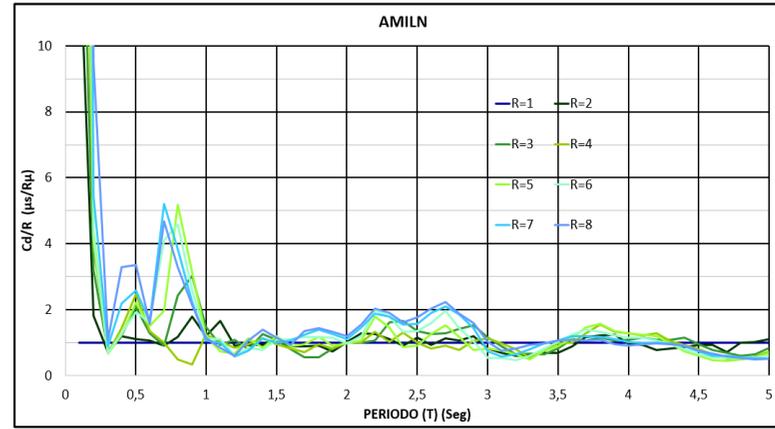
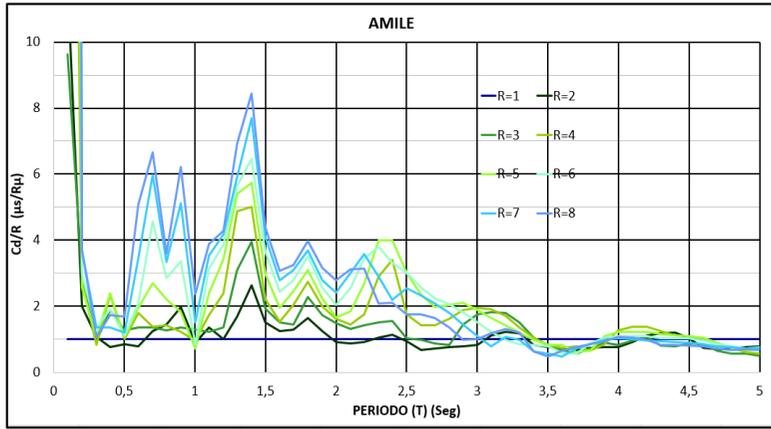


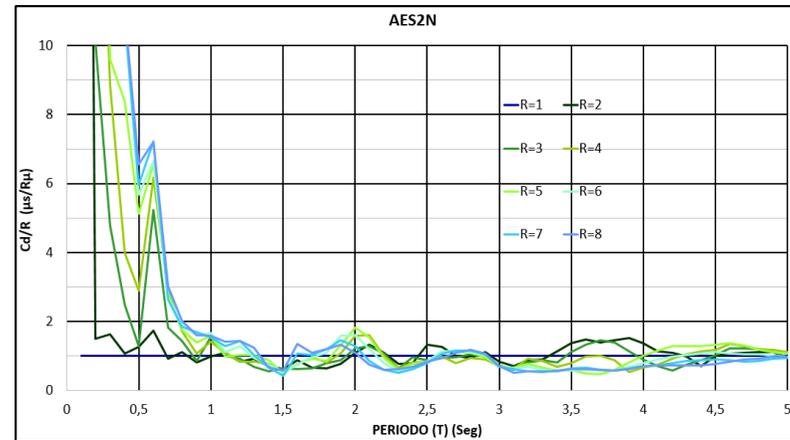
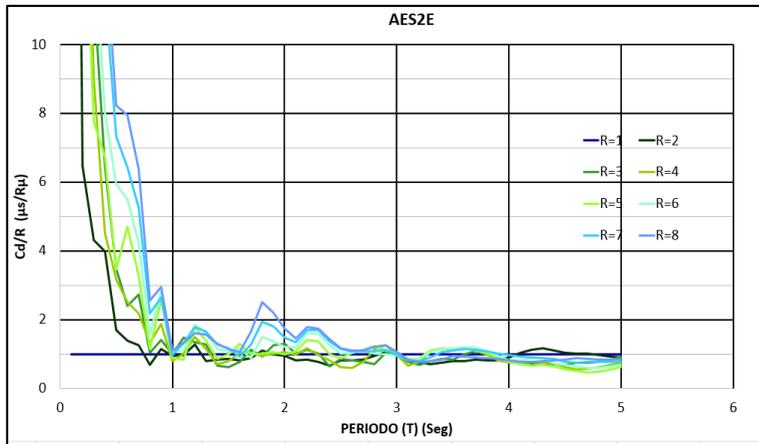
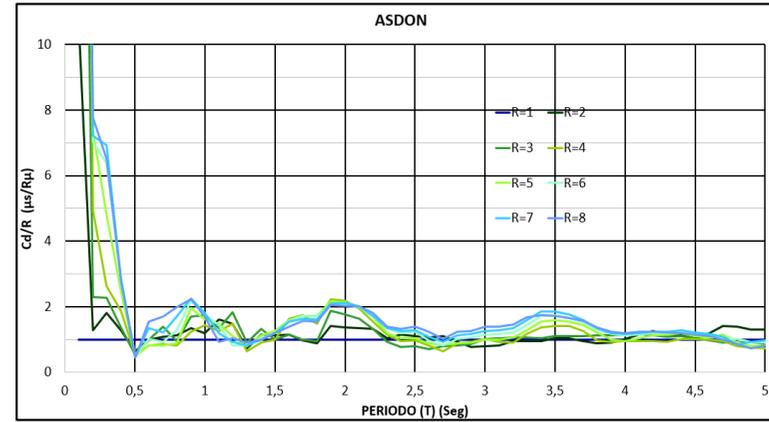
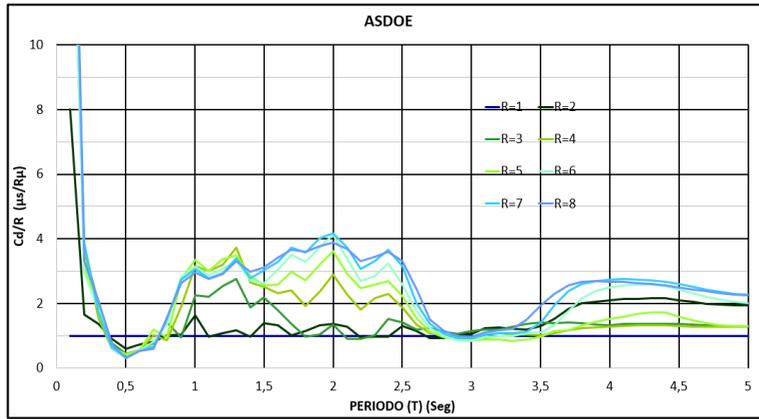
Espectro de valores de ductilidad entre factor de reducción (μ_s/R_μ)

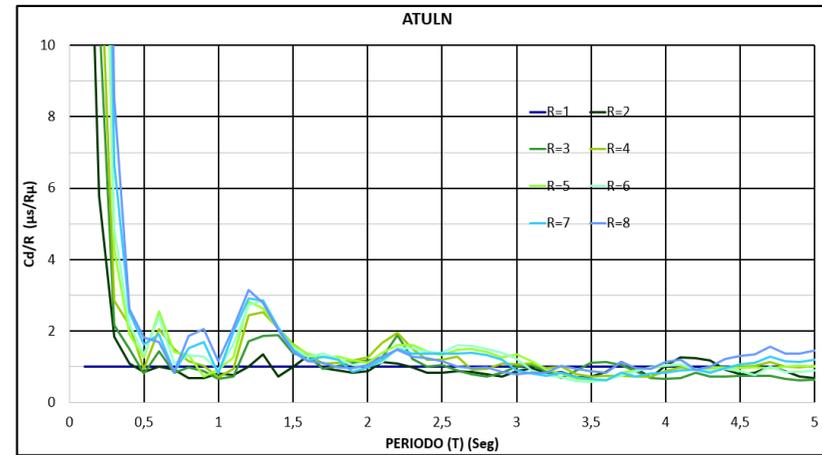
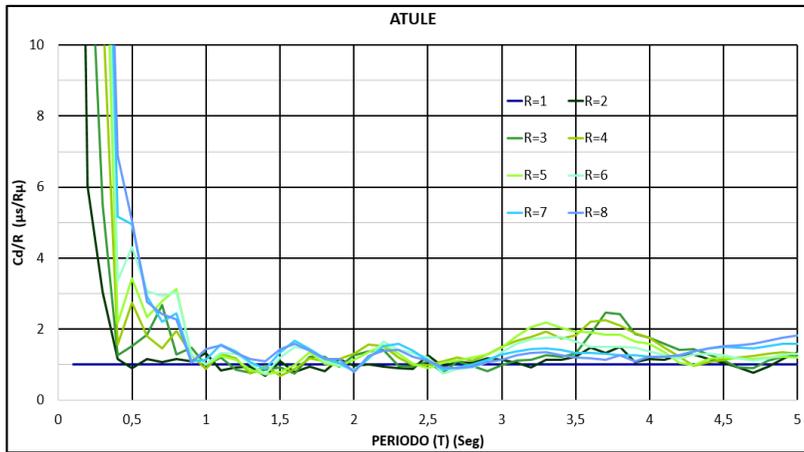
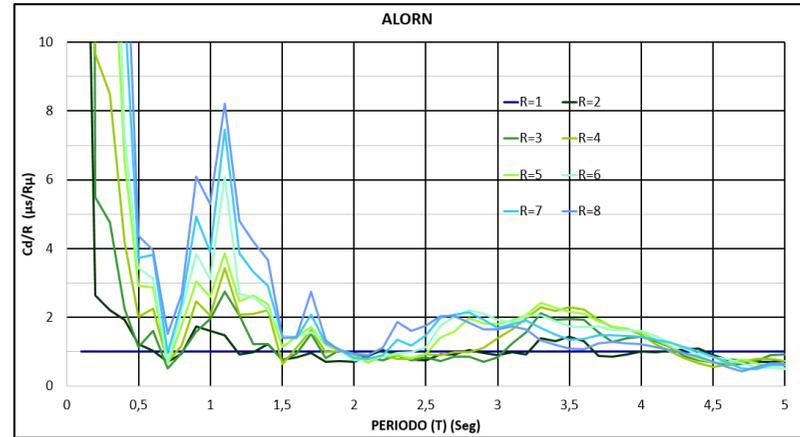
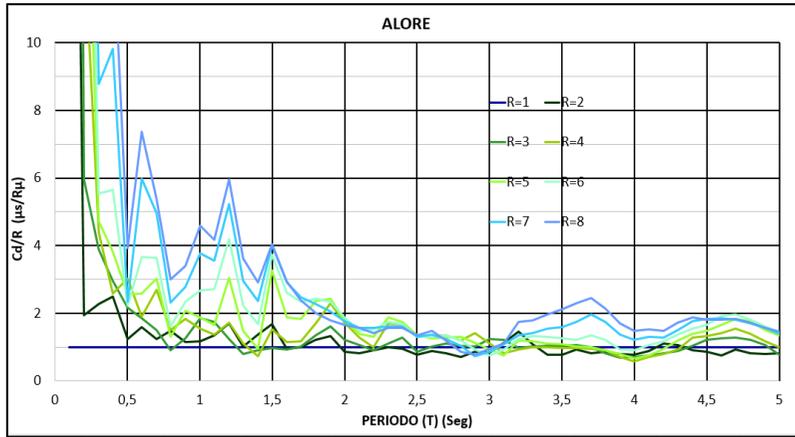


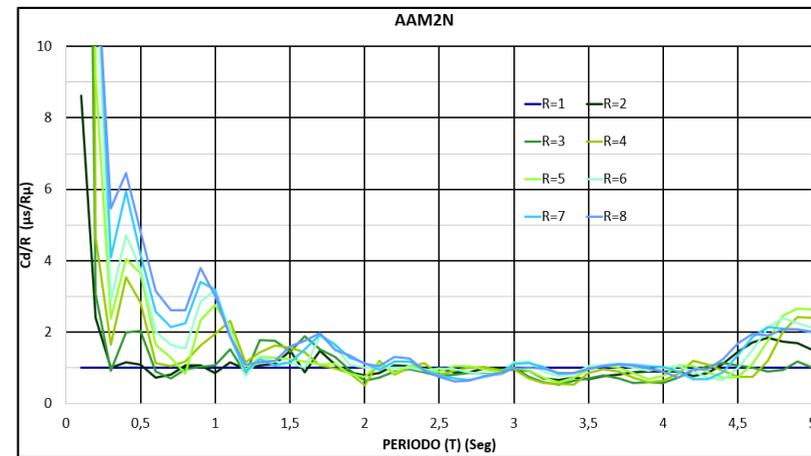
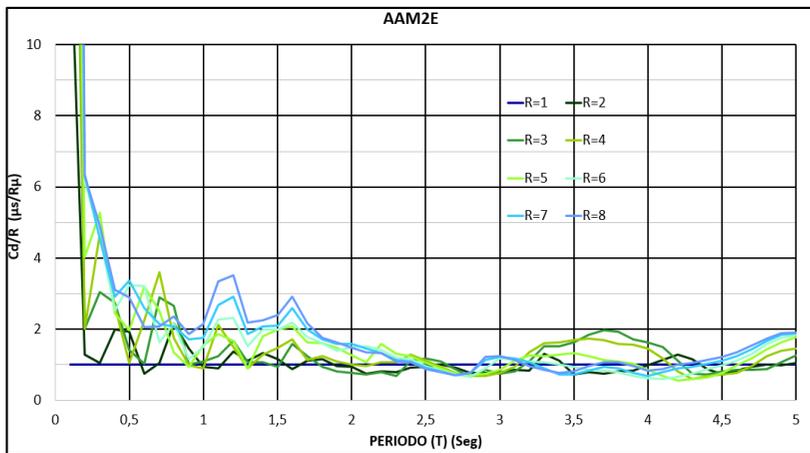
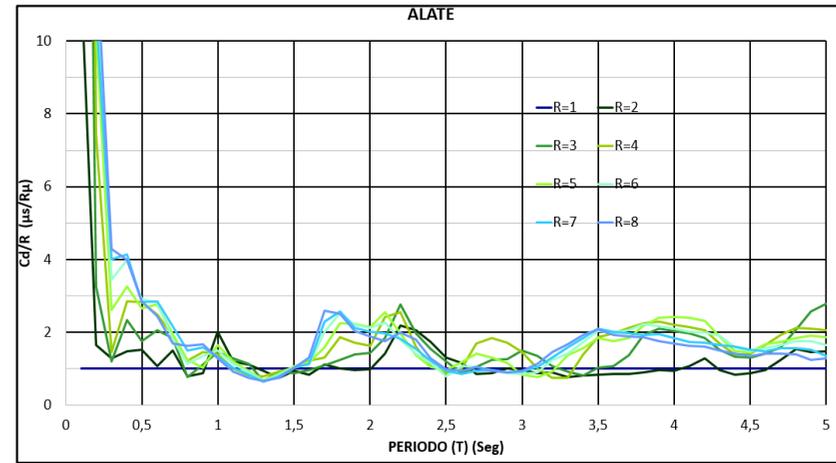
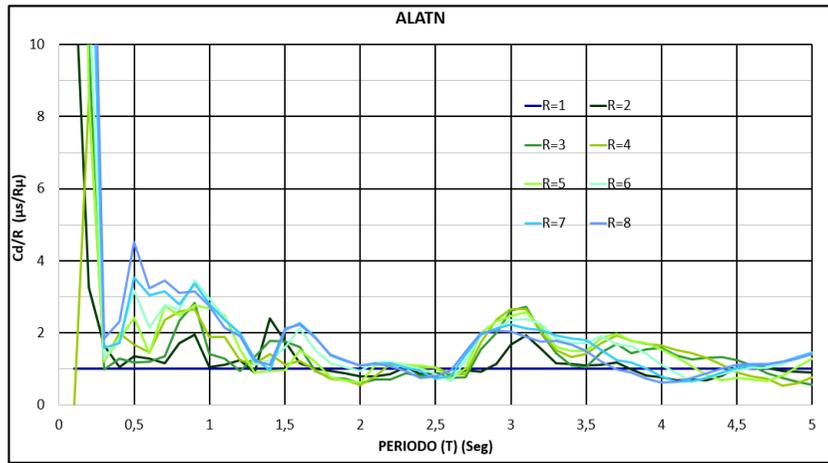


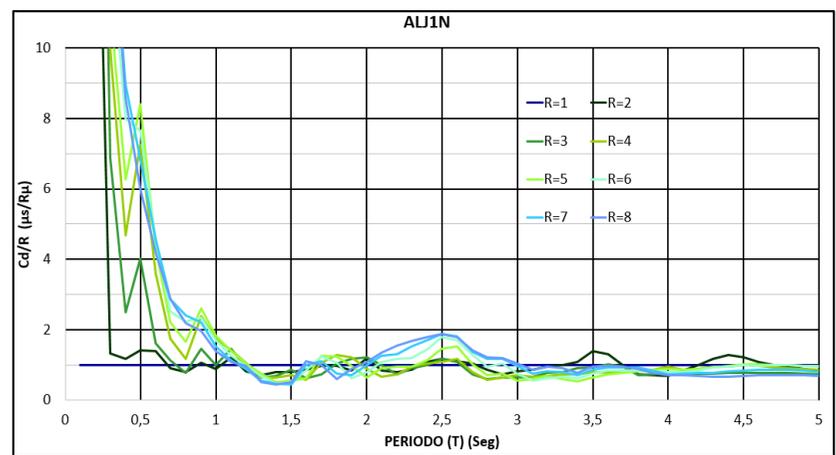
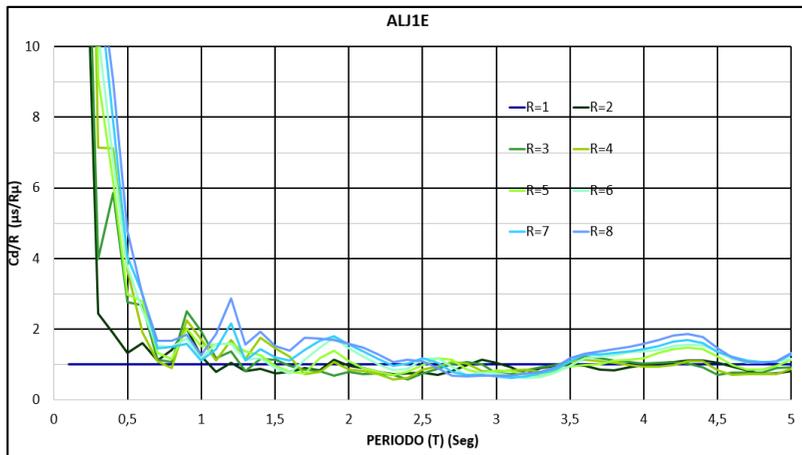
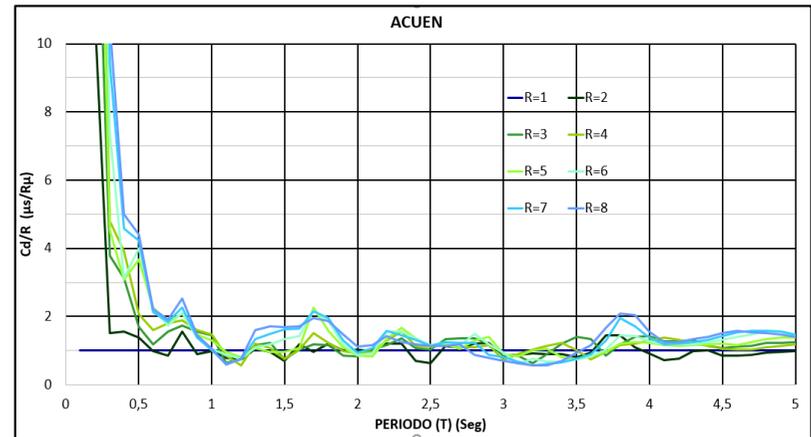
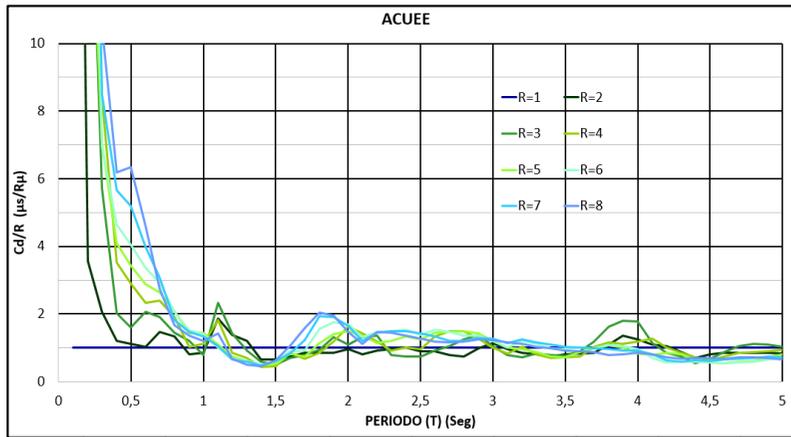


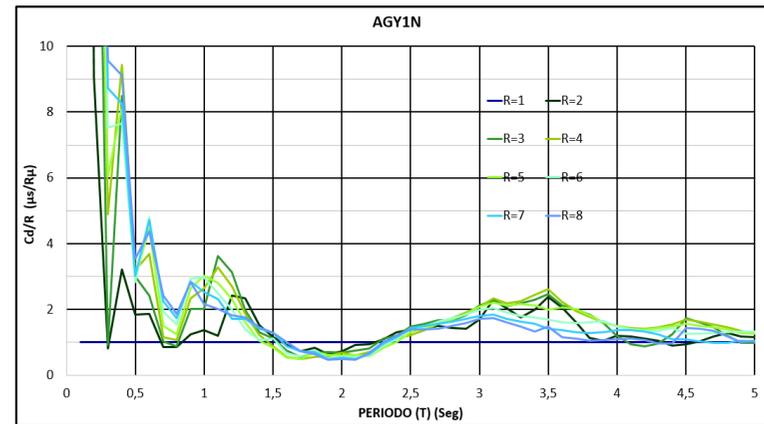
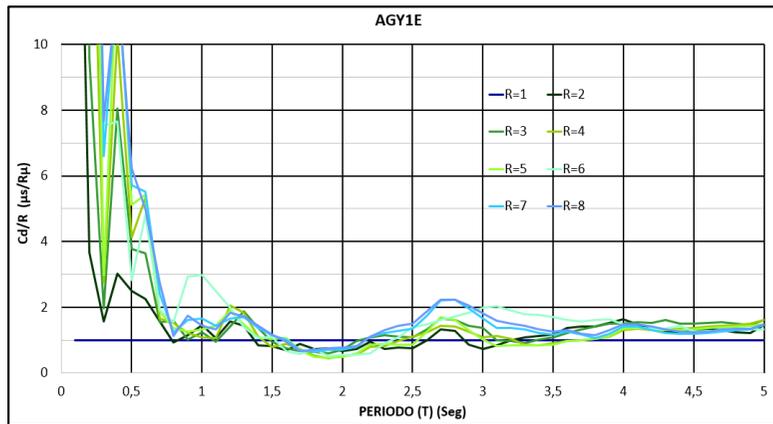
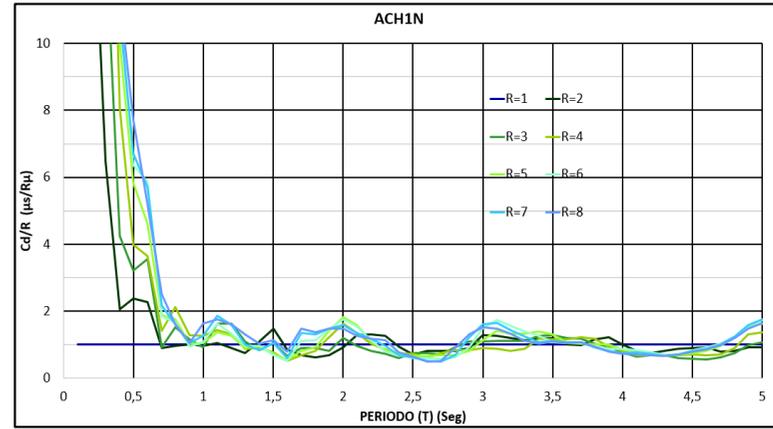
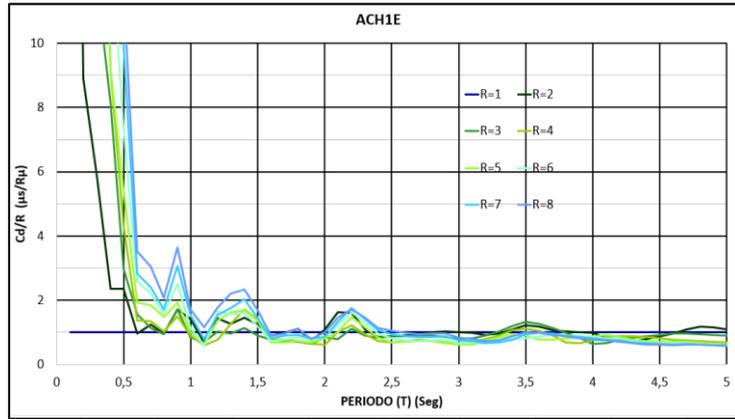


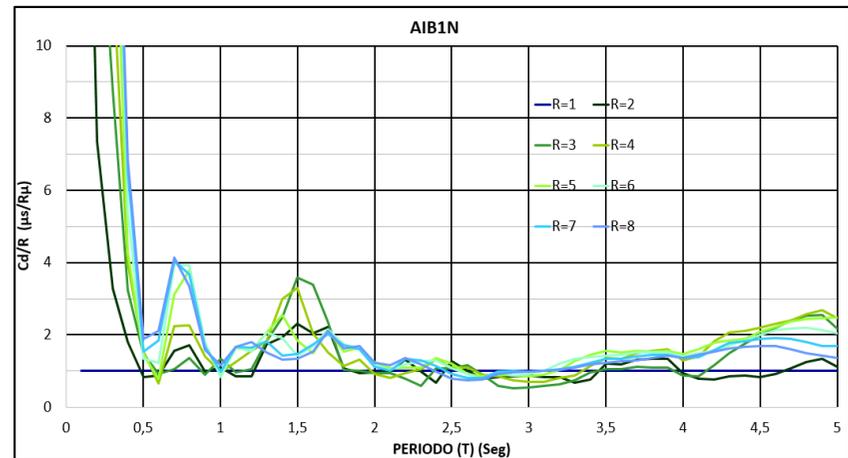
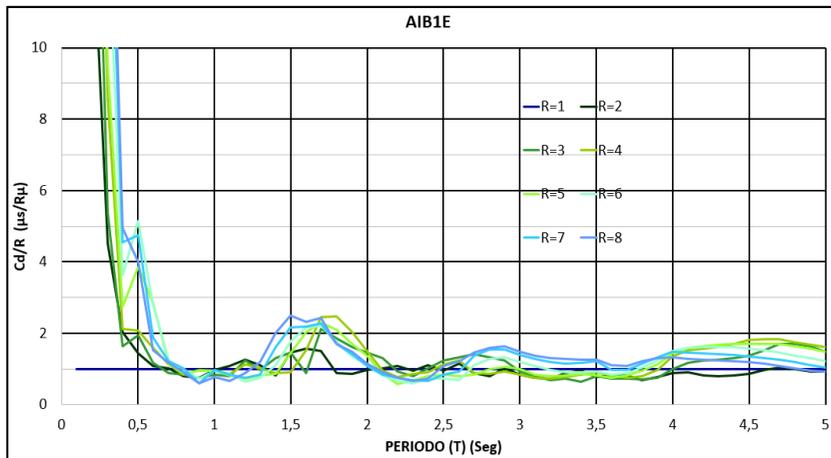
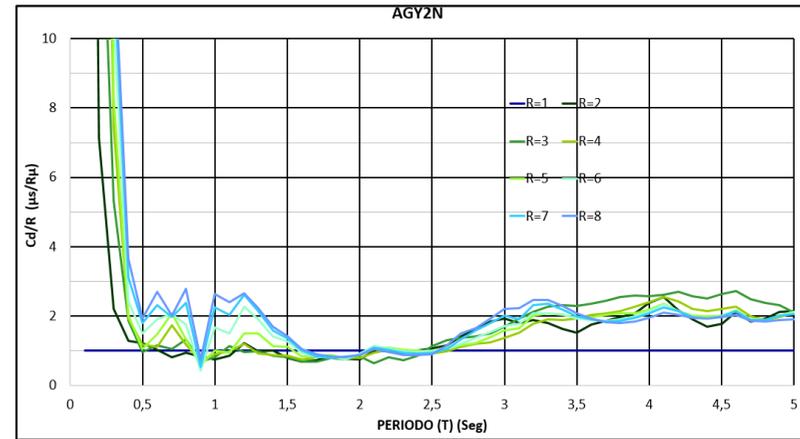
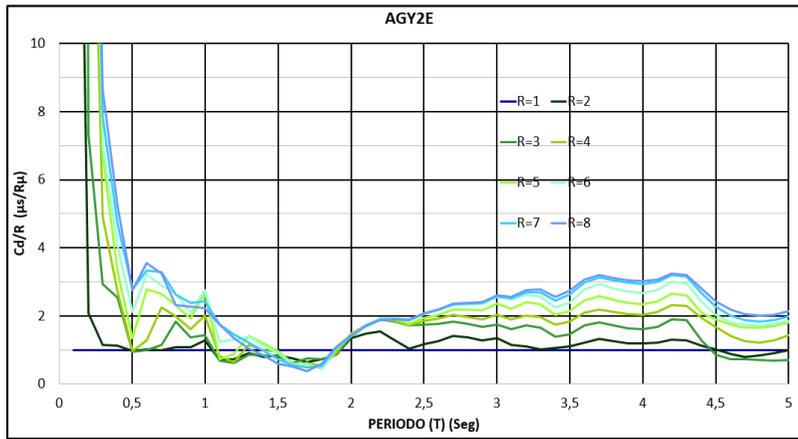


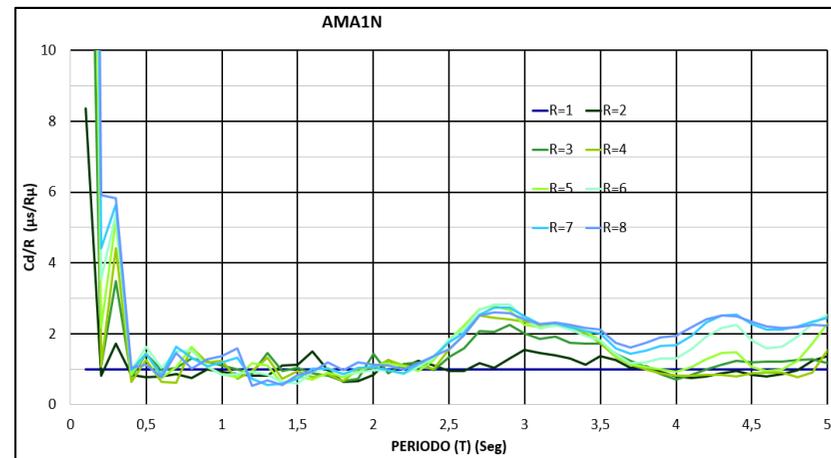
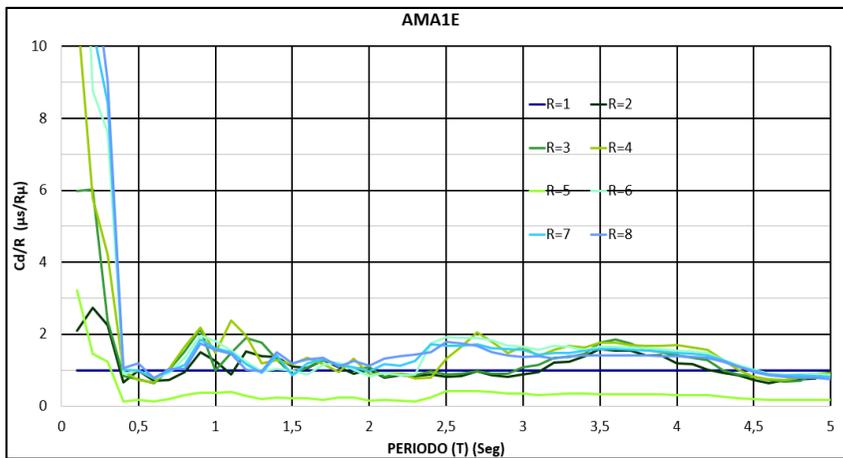
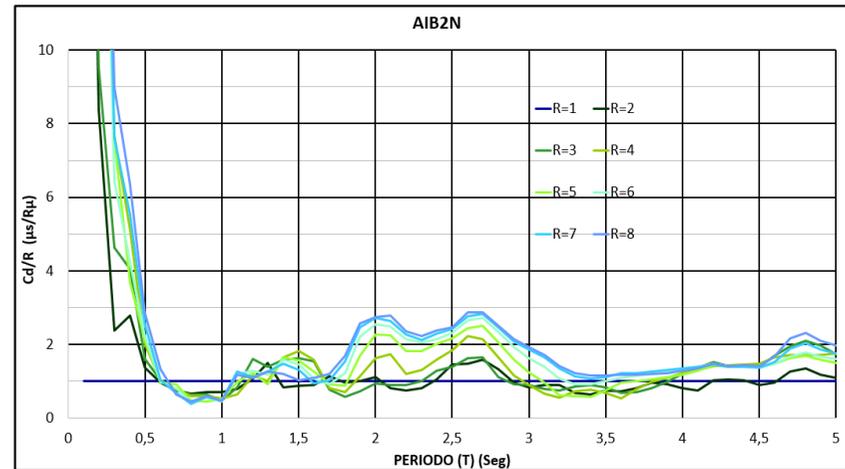
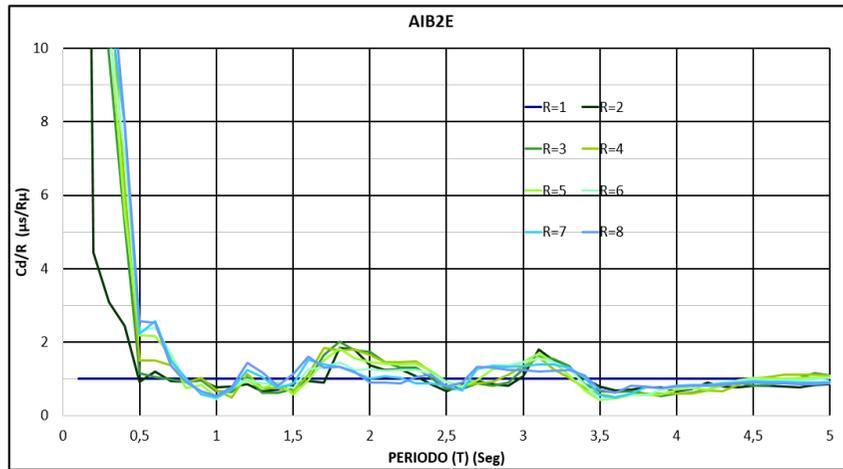


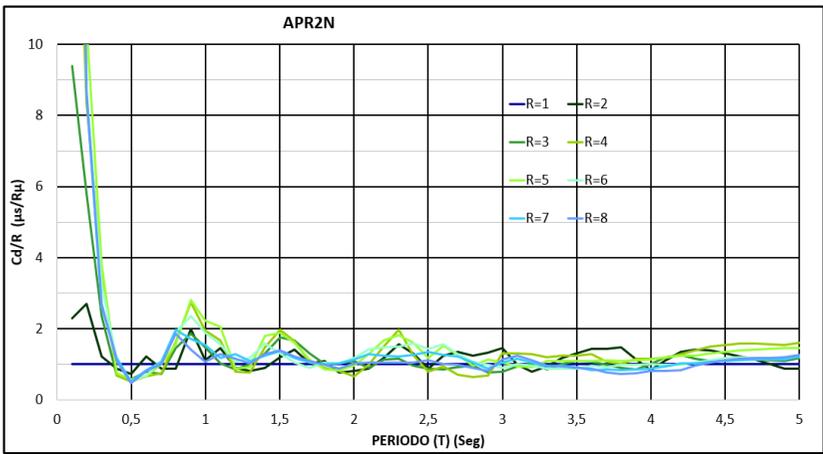
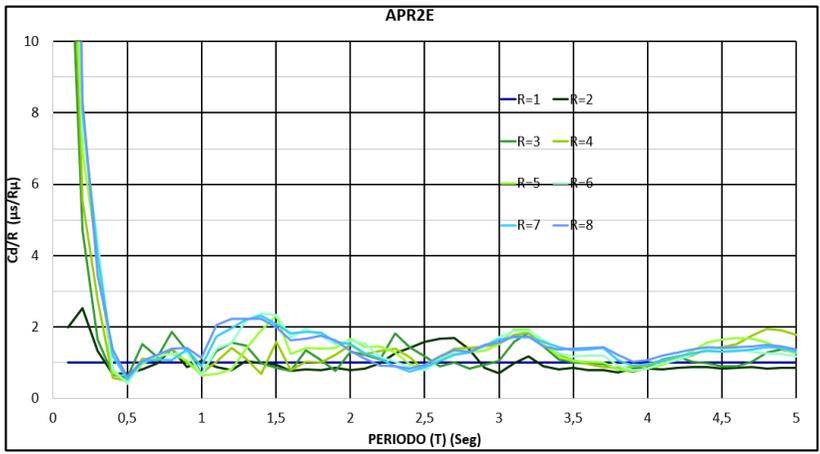
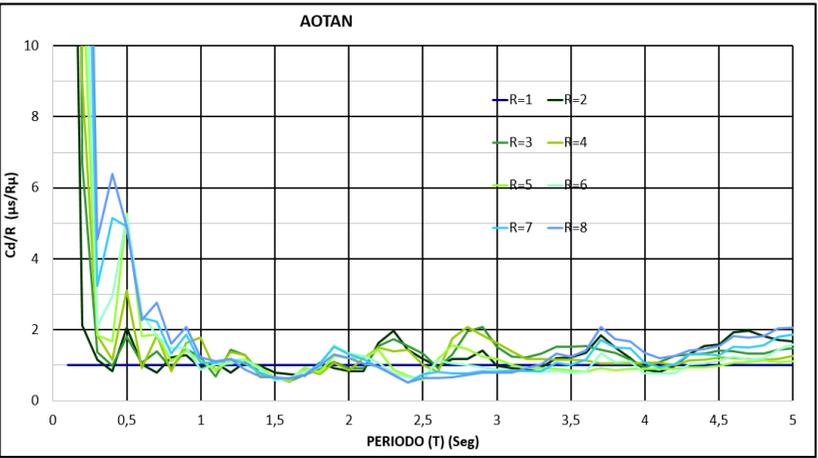
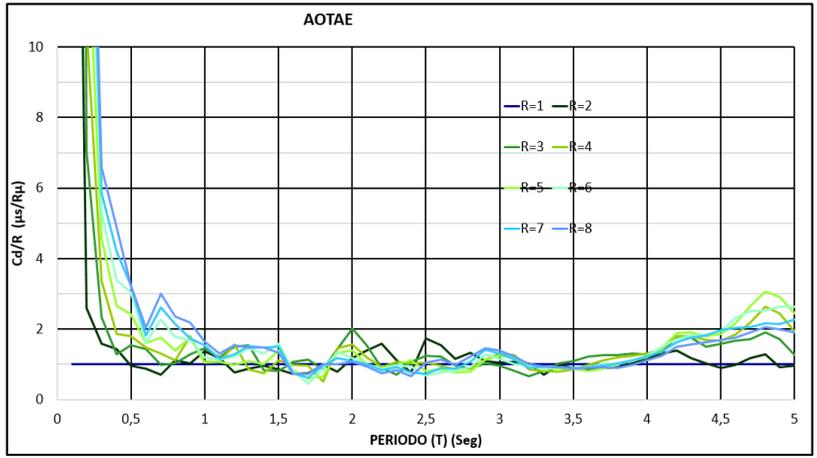


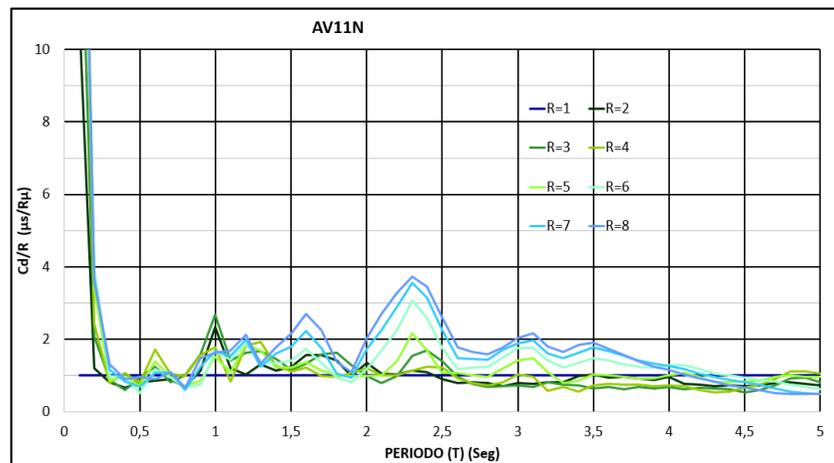
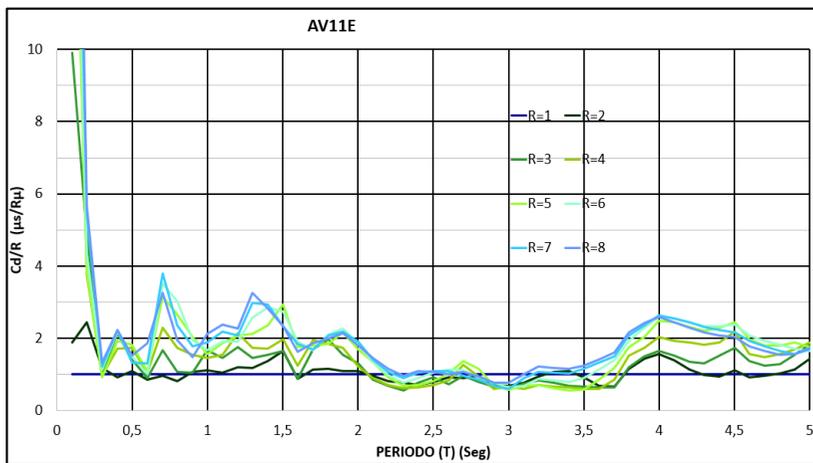
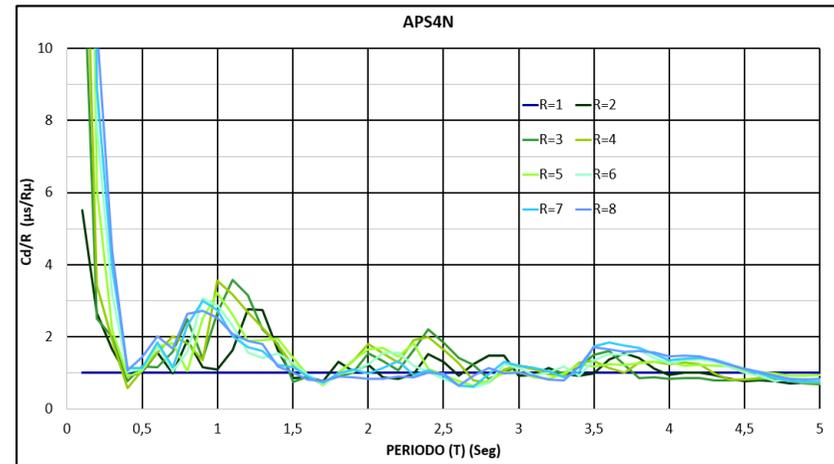
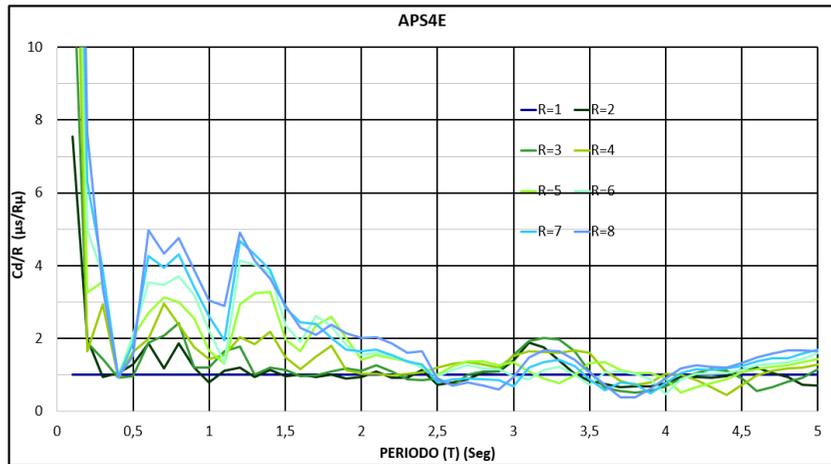


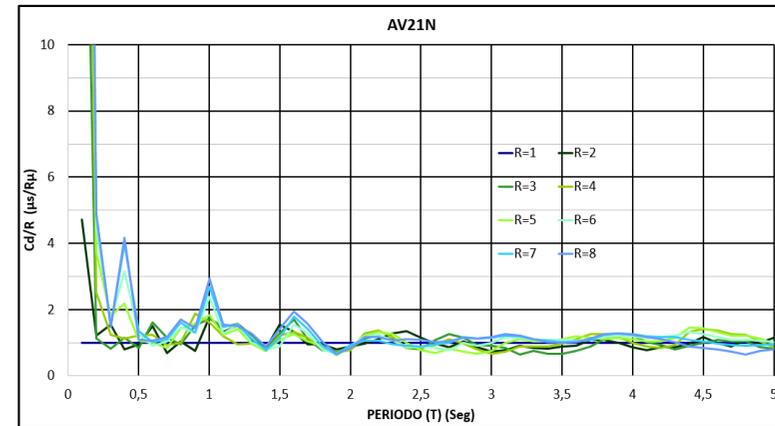
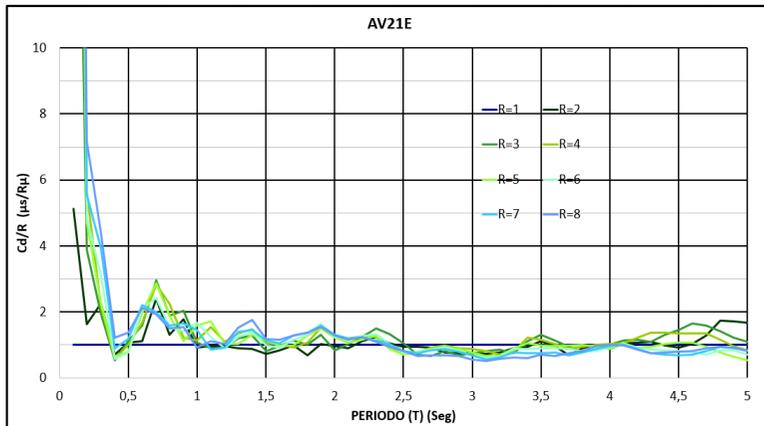
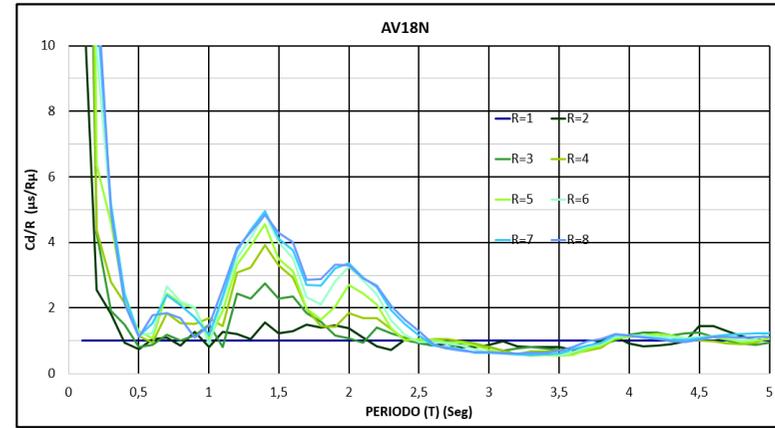
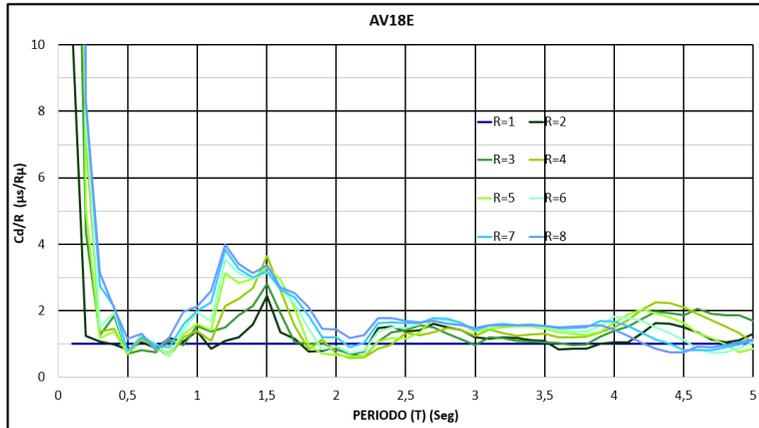




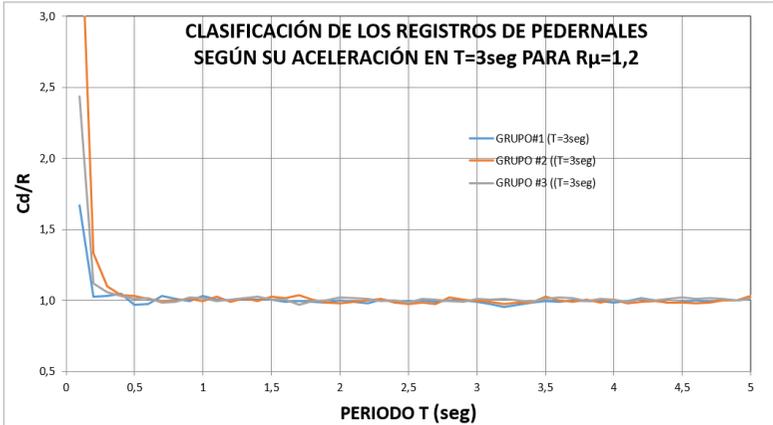
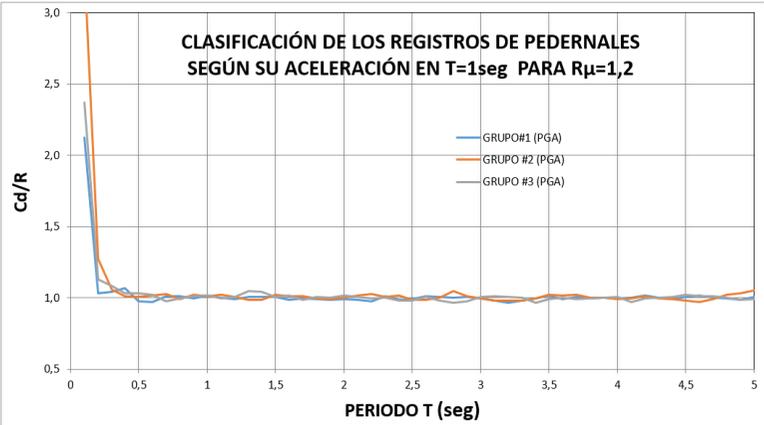
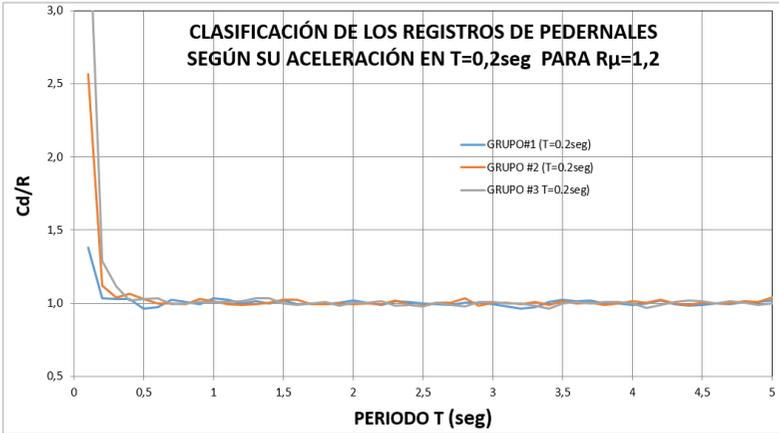
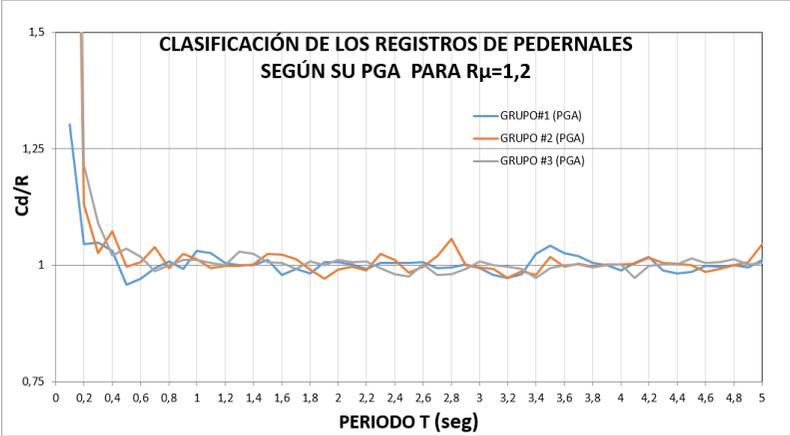


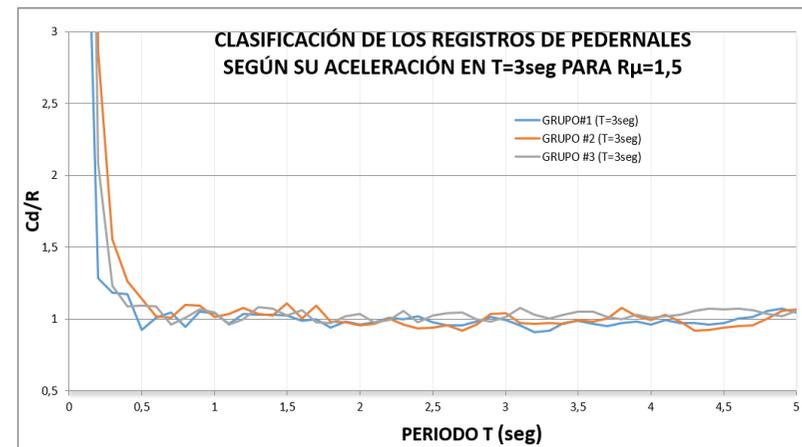
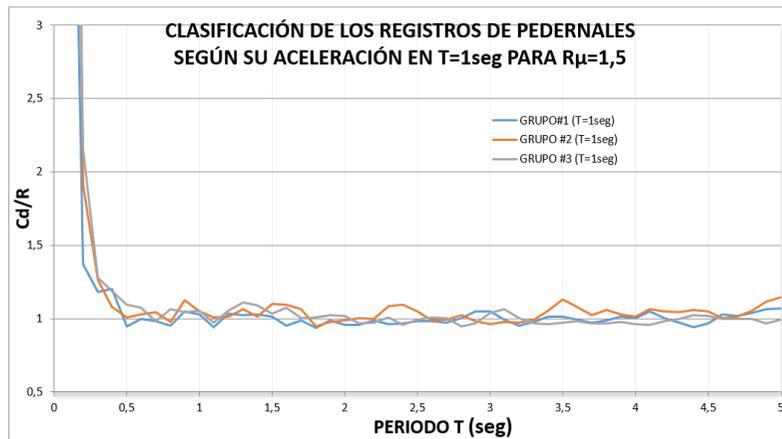
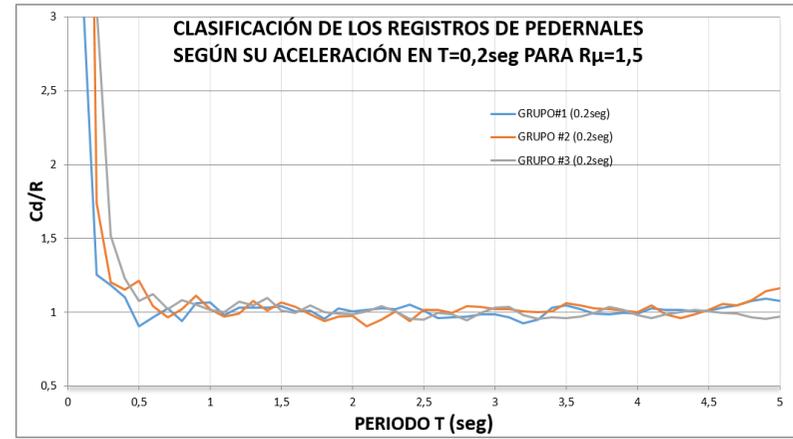
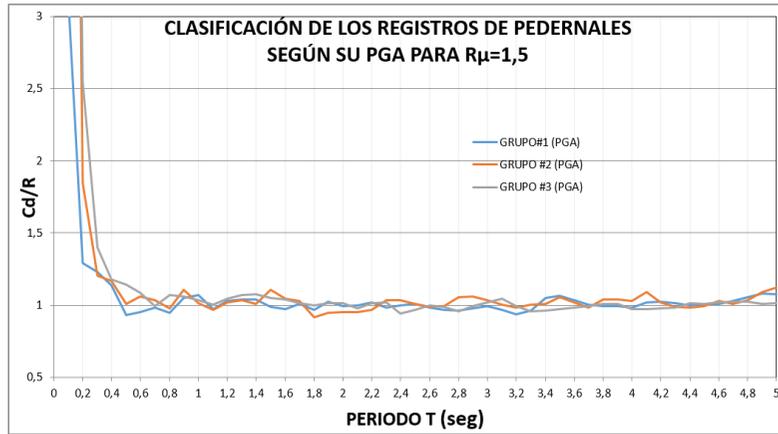


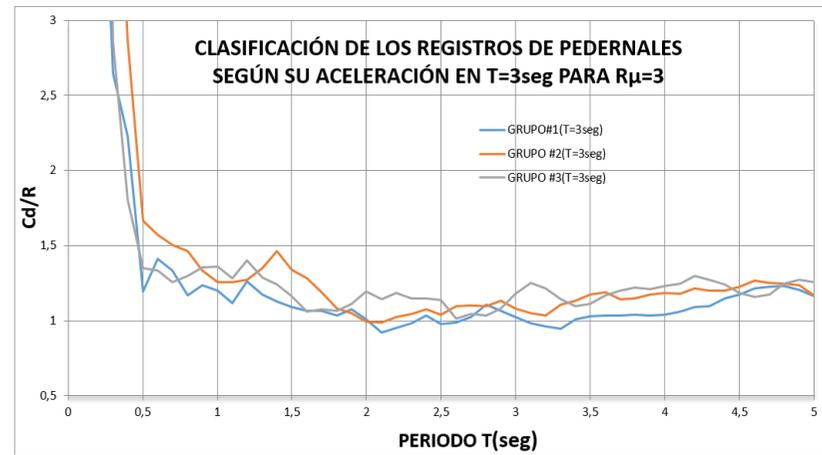
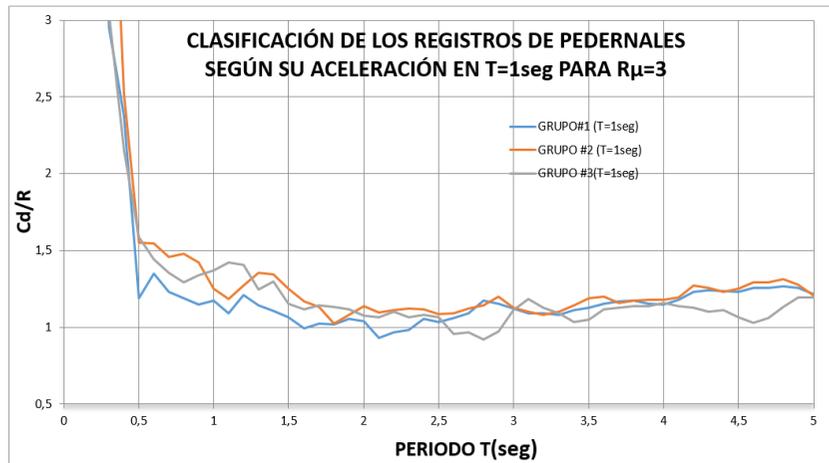
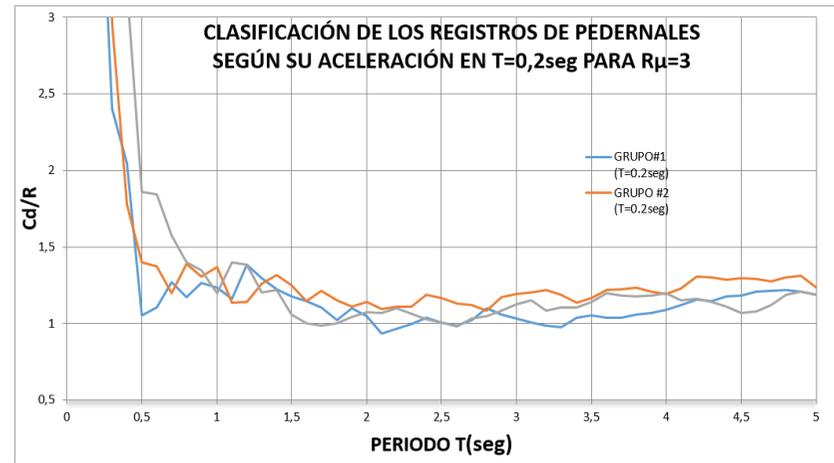
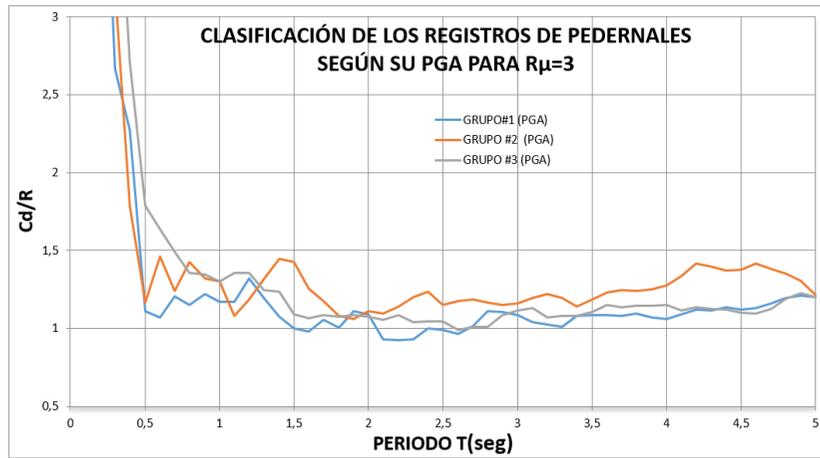




Resultados de valores de Cd/R para las diferentes clasificaciones propuestas.









DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Chérrez Díaz Andrés Alfredo**, con C.C: # 0802478016 autor del trabajo de titulación: **Estimación de factores de amplificación de deflexiones de estructuras de 1 grado de libertad para diferentes valores del factor de reducción por ductilidad (R_{μ})** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **09 de septiembre del 2019**

f. _____

Nombre: **Chérrez Díaz Andrés Alfredo**

C.C: **080247801-6**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Estimación de factores de amplificación de deflexiones de estructuras de 1 grado de libertad para diferentes valores del factor de reducción por ductilidad (R_{μ})		
AUTOR:	Andrés Alfredo Chérrez Díaz		
REVISOR/TUTOR:	Jaime Francisco Hernández Barredo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de ingeniería civil		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	DE	09 de Septiembre del 2019	No. DE PÁGINAS: 104
ÁREAS TEMÁTICAS:	Dinámica estructural, Ingeniería Sísmica, Diseño sismo-resistente		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Ductilidad, Sobre Resistencia, Factor de reducción, Espectro de respuesta, desplazamiento, registro sísmico.		

RESUMEN/ABSTRACT:

Debido a que una estructura correctamente diseñada tiene la capacidad de disipar energía de entrada provocada por un evento sísmico, las disposiciones modernas de diseño utilizan este criterio principalmente para optimizar costos, proponiendo que las fuerzas sísmicas elásticas sean reducidas significativamente, usando un factor de reducción R , por esta razón la estructura experimentará un desplazamiento inelástico producto de aquella fuerza. En vista de que los métodos algebraicos no son suficientes para el cálculo del desplazamiento inelástico, las normas establecen factores que permitan aproximar un valor cercano al comportamiento plástico de la estructura. En el Programa Nacional de Reducción de Riesgos y Terremotos (NEHRP), establece utilizar un factor de amplificación de deflexiones (C_d) para calcular el desplazamiento inelástico máximo esperado a partir del desplazamiento elástico. Por otro lado, la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-15), indica que los desplazamientos inelásticos (Δ_M) se calculan multiplicando el desplazamiento elástico máximo (Δ_E) por 0,75 y por el factor R . En cambio, la Sociedad Americana de Ingenieros civiles (ASCE7-16) plantea que sean multiplicados los desplazamientos elásticos por un factor de amplificación de deflexión (C_d) que normalmente es similar al factor de reducción de resistencia (R). Teniendo en cuenta todas estas variaciones propuestas por cada norma, la presente investigación está orientada a conseguir estos factores de amplificación de deflexión (C_d) correspondientes a estructuras de un grado de libertad, con la finalidad de tener valores estándar, sujetos a un espectro de diseño.



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR	Teléfono: +593982778523	E-mail: Andrew_010@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos	
	Teléfono: +593-4 -2206956	
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		