

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**Espectros de Respuesta no lineales de combinación de  
Componentes horizontales de registros sísmicos usando el  
Método de Respuestas Máximas en el Tiempo (RMT).**

**AUTOR:**

**Ávila Oñate, Luis David**

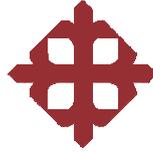
**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Hernández Barredo, Jaime Francisco**

**Guayaquil, Ecuador**

**14 de septiembre del 2018**



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 **Ávila Oñate, Luis David**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

### TUTOR

f. \_\_\_\_\_  
**Hernández Barredo, Jaime Francisco**

### DIRECTOR DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_  
**Alcívar Bastidas, Stefany Esther**

**Guayaquil, a los 14 del mes de septiembre del año 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

### DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Ávila Oñate, Luis David**

#### DECLARO QUE:

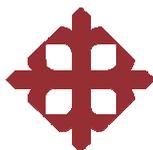
El Trabajo de Titulación, **Espectros de Respuesta no lineales de combinación de Componentes horizontales de registros sísmicos usando el Método de Respuestas Máximas en el Tiempo (RMT)** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de 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 14 del mes de septiembre del año 2018**

**EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Ávila Oñate, Luis David**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

### AUTORIZACIÓN

Yo, **Ávila Oñate, Luis David**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del 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)**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 14 del mes de septiembre del año 2018**

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_  
**Ávila Oñate, Luis David**

## REPORTE URKUND



### Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TRABAJO DE TITULO AVILA DAVID.docx (D41078586)  
**Submitted:** 8/31/2018 8:14:00 PM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 1 %

Sources included in the report:

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10125>

Instances where selected sources appear:

3

## **AGRADECIMIENTO**

*A mis padres, por hacer todo sacrificio con tal de que nunca me falte nada, por guiarme cuando mi vista se empaña, por todos sus sabios consejos. Les debo todo lo que soy y todo lo que logre en esta vida.*

*A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y a la Facultad de Ingeniería, por haberme brindado una educación de calidad, de la cual me siento orgulloso.*

*A los profesores del área de Ingeniería Estructural de la UCSG, especialmente a los ingenieros José Barros y Jaime Argudo, por contagiarme de esa pasión por el mundo de las estructuras.*

*A los profesores que he tenido a lo largo de toda mi vida estudiantil, por haberme educado con abnegación y entrega desde que era prácticamente un bebé. Para ustedes, mi eterna gratitud por su enorme trabajo y esfuerzo. Quiero agradecer especialmente al Ing. Reynaldo Sánchez, profesor de matemáticas y física, a quien considero mi amigo, por volver interesante lo que parecía detestable.*

*A mi tutor, el Ingeniero Jaime Hernández por la paciencia y la confianza depositada en mí, por su obsesión con la perfección y por decirme aquello que yo no quería oír, todo con tal de lograr el mejor trabajo posible. Así mismo al equipo de trabajo que participó en la investigación de este tema, el Ing. Ítalo Cuntó, Gustavo Lascano, María Gracia Villao y Adrián Pinos.*

*A CONSULSÍSMICA, Ingenieros Consultores Cía. Ltda. por permitirme realizar gran parte de este trabajo en sus instalaciones, en especial a su personal, que se mostró siempre atento y dispuesto a ayudar.*

*A Lilia, Samuel, Sheznarda, Gustavo, Andrés, Gema, Carlos, María Fernanda, Bryan, Gabriela, Fabrizio, Santiago, Jaime, y a todos los grandes amigos que hice en la Universidad, gracias por los momentos vividos, fue un placer.*

*A aquellas personas que han estado para apoyarme en los peores momentos de mi vida... y que, en los mejores, ni están, ni se los espera. Ustedes saben quiénes son.*

*Gracias.*

*A los que se me haya olvidado mencionar... perdónenme, saben que mi memoria nunca ha sido de las mejores. Gracias por estar siempre.*

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por darme más de lo que merezco, por su amor infinito y por sus  
incontables bendiciones.*

*A mi papá, Luis Alfredo, el más grande profesor que he tenido y tendré, la persona  
a la que más admiro, y que me inspira cada día a ser mejor.*

*A mi mamá, Jacqueline, la persona que más me quiere en este mundo y que me  
apoya incondicionalmente en cada cosa que me propongo.*

*A mis hermanos, José y Raquel, espero ser cada día un ejemplo para ustedes. Los  
quiero mucho.*



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. \_\_\_\_\_  
**JAIME FRANCISCO HERNÁNDEZ BARREDO**  
TUTOR

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_  
**VALAREZO MORENO, LILIA MARLENE**  
DECANA

f. \_\_\_\_\_  
**CARLOS YLDEFONSO CHON DÍAZ**  
COORDINADOR DEL ÁREA

f. \_\_\_\_\_  
**XAVIER FEDERICO CASAL RODRIGUEZ**  
OPONENTE

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>1.1. Antecedentes.</b> .....	2
<b>1.2. Objetivos.</b> .....	3
<b>1.2.1. Objetivo General.</b> .....	3
<b>1.2.2. Objetivos específicos.</b> .....	3
<b>1.3. Alcance.</b> .....	3
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	5
<b>2. MARCO TEÓRICO.</b> .....	5
<b>2.1. Registros Sísmicos.</b> .....	5
<b>2.2. Evaluación numérica de la respuesta dinámica de Sistemas no lineales.</b> 7	
<b>2.2.1. Iteración de Newton Raphson (Chopra, 2014).</b> .....	7
<b>2.2.1.1. Convergencia.</b> .....	9
<b>2.2.1.2. Criterios de convergencia (Chopra, 2014).</b> .....	10
<b>2.3. Método de Newmark para sistemas no lineales (Chopra, 2014).</b> .....	11
<b>2.4. Espectros de respuesta inelásticos.</b> .....	14
<b>2.5. Método RMT para combinación espectral (Lascano, 2018).</b> .....	15
<b>2.5.1. Comparativa con el Método ASCE 7.</b> .....	16
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	17
<b>3. PROBLEMÁTICA DE LA COMBINACIÓN ESPECTRAL RMT PARA SISTEMAS NO LINEALES</b> .....	17
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	20
<b>4. METODOLOGÍA PROPUESTA</b> .....	20
<b>4.1. Análisis lineal</b> .....	20
<b>4.2. Factor de Reducción R y fluencia del Sistema</b> .....	20
<b>4.3. Análisis no lineal.</b> .....	21
<b>4.4. Aplicación del Método RMT.</b> .....	21

<b>CAPÍTULO 5</b> .....	23
<b>5. PROGRAMAS DESARROLLADOS EN MATLAB® PARA LA COMBINACIÓN ESPECTRAL DE SISTEMAS NO LINEALES</b> .....	23
<b>5.1. Response_NNL</b> .....	23
<b>5.1.1. Inputs</b> .....	23
<b>5.1.2. Outputs</b> .....	24
<b>5.1.3. Ejemplo de uso</b> .....	24
<b>5.2. Response_Spectrum_NNL</b> .....	27
<b>5.2.1. Inputs</b> .....	27
<b>5.2.2. Outputs</b> .....	27
<b>5.2.3. Ejemplo de uso</b> .....	27
<b>5.3. COMB_Response_Spectrum_NNL</b> .....	31
<b>5.3.1. Inputs</b> .....	31
<b>5.3.2. Outputs</b> .....	31
<b>5.3.3. Ejemplo de uso</b> .....	32
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	35
<b>6. RESULTADOS</b> .....	35
<b>6.1. Máximos valores de F para desplazamientos.</b> .....	37
<b>6.2. Máximos valores de F para velocidades.</b> .....	40
<b>6.3. Máximos valores de F para aceleraciones totales.</b> .....	43
<b>6.4. Máximos valores de F para ductilidad.</b> .....	46
<b>6.5. Análisis de la respuesta combinada de desplazamientos</b> .....	50
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	63
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b> .....	63
<b>7.1. Conclusiones.</b> .....	63
<b>7.2. Recomendaciones.</b> .....	64
<b>REFERENCIAS</b> .....	65
<b>ANEXOS</b> .....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Comparativa SRSS (ASCE 7) vs. RMT (Lascano, 2018).....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2. Categorización de Registros según su PGA (Combinación RMT) .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3. Valores de F para desplazamientos .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4. Valores de F para velocidades .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 5. Valores de F para aceleraciones totales .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 6. Valores de F para ductilidad .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 7. Factor F (AGY2, T=1.22, R=1) .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 8. Factor F (AGY2, T=1.22, R=3) .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 9. Factor F (AGY2, T=1.22, R=5) .....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 10. Factor F (AGY2, T=2.25, R=1) .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 11. Factor F (AGY2, T=2.25, R=3) .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 12. Factor F (AGY2, T=2.25, R=5) .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 13. Factor F (AGY2, T=2.25, R=1) .....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 14. Factor F (AGY2, T=1.95, R=3) .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 15. Factor F (AGY2, T=1.95, R=5) .....</i>	<i>62</i>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Acelerógrafo de movimiento fuerte (Chopra, 2014)</i> .....	5
<i>Ilustración 2. Registros Sísmicos del Sismo del 16 de abril del 2016 (IG-EPN)</i> .....	6
<i>Ilustración 3. Iteración de Newton Raphson: (a) aplicación y fuerzas restauradoras. (b) fuerza residual. (Chopra, A.)</i> .....	8
<i>Ilustración 4. Método RMT (Lascano, 2018)</i> .....	15
<i>Ilustración 5. Valores diferentes de Rigidez</i> .....	17
<i>Ilustración 6. Distinta fluencia en ambos sentidos.</i> .....	18
<i>Ilustración 7. Punto de Fluencia, u vs. fs</i> .....	20
<i>Ilustración 8. Explicación gráfica de la Ductilidad</i> .....	21
<i>Ilustración 9. Combinación espectral de Desplazamientos - Manta (R=3)</i> .....	22
<i>Ilustración 10. Combinación espectral de Velocidades - Manta (R=3)</i> .....	22
<i>Ilustración 11. Combinación espectral de Aceleraciones - Manta (R=3)</i> .....	22
<i>Ilustración 12. Combinación espectral de Aceleraciones Totales - Manta (R=3)</i> .....	22
<i>Ilustración 13. Ejecución de COMB_RESPONSE_SPECTRUM_NNL en la ventana principal de MATLAB</i> .....	32
<i>Ilustración 14. COMB_RESPONSE_SPECTRUM_NNL: Inputs del programa</i> .....	32
<i>Ilustración 15. COMB_RESPONSE_SPECTRUM_NNL: Output - Espectro de Desplazamientos (Manta EO, R=3)</i> .....	33
<i>Ilustración 16. COMB_RESPONSE_SPECTRUM_NNL: Output - Espectro de Velocidades (Manta EO, R=3)</i> .....	33
<i>Ilustración 17. COMB_RESPONSE_SPECTRUM_NNL: Output - Espectro de Aceleraciones (Manta EO, R=3)</i> .....	33
<i>Ilustración 18. COMB_RESPONSE_SPECTRUM_NNL: Output - Espectro de Aceleraciones totales (Manta EO, R=3)</i> .....	34
<i>Ilustración 19. Período vs. F para desplazamientos (AEPN – Quito)</i> .....	39
<i>Ilustración 20. Período vs. F para desplazamientos (PDNS – Pedernales)</i> .....	40
<i>Ilustración 21. Período vs. F para velocidades (ALOR – San Lorenzo)</i> .....	42
<i>Ilustración 22. Período vs. F para velocidades (ASDO – Santo Domingo)</i> .....	43
<i>Ilustración 23. Período vs. F para aceleraciones totales (AGY2 – Guayaquil centro)</i> .....	45
<i>Ilustración 24. Período vs. F para aceleraciones totales (APO1 – Portoviejo)</i> .....	46
<i>Ilustración 25. Período vs. F para ductilidades (AEPN – Quito)</i> .....	48
<i>Ilustración 26. Período vs. F para ductilidades (APO1 – Portoviejo)</i> .....	49
<i>Ilustración 27. Variación de F (MAX) según el Período - AGY2</i> .....	50
<i>Ilustración 28. Variación de F - AGY2</i> .....	50
<i>Ilustración 29. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=1.22, R=1)</i> .....	51
<i>Ilustración 30. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=1.22, R=3)</i> .....	53
<i>Ilustración 31. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=1.22, R=5)</i> .....	54
<i>Ilustración 32. Variación de F – AGY2</i> .....	55

<i>Ilustración 33. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=2.25, R=1)</i> .....	56
<i>Ilustración 34. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=2.25, R=3)</i> .....	57
<i>Ilustración 35. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=2.25, R=5)</i> .....	58
<i>Ilustración 36. Variación de F – AGY2</i> .....	59
<i>Ilustración 37. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=2.25, R=1)</i> .....	60
<i>Ilustración 38. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=1.95, R=3)</i> .....	61
<i>Ilustración 39. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=1.95, R=5)</i> .....	62

## RESUMEN

En el presente trabajo se investigan los espectros de respuesta de la combinación de componentes horizontales para estructuras que incursionan en el rango inelástico. El método de combinación de componentes horizontales utilizado en este estudio es el método de Respuestas Máximas en el Tiempo (RMT) propuesto por Lascano (2018).

Para el cálculo de la combinación espectral no lineal, se desarrollaron 2 programas, uno que calcula las respuestas para un período determinado y otro que calcula espectros, ambos utilizan la metodología RMT desarrollada en el Trabajo de Titulación de Lascano (2018).

Al igual que en el trabajo de Lascano (2018), se compararon los resultados del método RMT con el método de la norma ASCE 7 (SRSS) mediante el factor F que caracteriza las máximas variaciones entre ambos métodos.

La evaluación de los resultados se centró en los factores F para los siguientes casos:

- Desplazamiento
- Velocidad
- Aceleración
- Ductilidad

**Palabras Claves:** *Combinación espectral, Método RMT, espectros no lineales, espectros inelásticos, registros sísmicos.*

## ABSTRACT

In the present work we investigate the response spectra of the combination of horizontal components for structures in the inelastic range. The method of combination of horizontal components used in this study is the method of Maximum Responses in Time (RMT) proposed by Lascano (2018).

For the calculation of the non-linear spectral combination, 2 programs were developed, one that calculates the responses for a specific period and another that calculates spectra, both using the RMT methodology developed in the Lascano Titration Work (2018).

As in the work of Lascano (2018), the results of the RMT method were compared with the method of the standard ASCE 7 (SRSS) by a factor  $F$  that characterizes the maximum difference between both methods.

The evaluation of the results focused on the  $F$  factors for the following cases:

- Displacement
- Speed
- Acceleration
- Ductility

**Keywords:** *Spectral Combination, RMT Method, nonlinear spectrum, inelastic spectrum, seismic register.*

## **CAPÍTULO 1**

### **1. INTRODUCCIÓN.**

En el presente trabajo se investigan los espectros de respuesta de la combinación de componentes horizontales para estructuras que incursionan en el rango inelástico. El método de combinación de componentes horizontales utilizado en este estudio es el método de Respuestas Máximas en el Tiempo (RMT) propuesto por Lascano (2018). Los resultados de esta investigación son comparados con los obtenidos usando el método de la Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados (SRSS) especificado en el ASCE 7. Para el desarrollo de este estudio se ha modificado la programación de Matlab elaborado por Lascano (2018). Los registros estudiados corresponden a los obtenidos en el sismo del 16 de abril del 2016 (Sismo de Pedernales).

#### **1.1. Antecedentes.**

Con el avance computacional de los últimos años, donde los ordenadores pueden realizar simultáneamente una cantidad enorme de cálculos en tiempos muy cortos, el análisis historia tiempo de estructuras se está volviendo cada vez más accesible, y de uso común. Este tipo de análisis requiere de registros sísmicos obtenidos por medio de acelerógrafos. Estos registros son proporcionados por diversas instituciones como: el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) y el Pacific Earthquake Engineering Research de la Universidad de California en Berkeley (PEER).

Para obtener la respuesta de la estructura en el rango inelástico se requiere el uso de métodos numéricos que tienen el carácter de aproximados.

En el trabajo de titulación de Lascano (2018), se recomendó estudiar la influencia de la inelasticidad estructural para la combinación de las componentes ortogonales de registros, usando el método de las

Respuestas máximas en el Tiempo (RMT). El presente trabajo propone una metodología para ello.

## **1.2. Objetivos.**

### **1.2.1. Objetivo General.**

Estudiar los espectros inelásticos de la combinación de componentes horizontales de registros sísmicos usando el método de Respuestas Máximas en el Tiempo (RMT).

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

Desarrollar un algoritmo en Matlab que calcule la respuesta no lineal de estructuras sometidos a registros sísmicos.

Elaborar espectros no lineales mediante el uso de método de combinación de registros sísmicos: SRSS (especificado en ASCE7-10) y RMT.

Evaluar las diferencias entre los espectros obtenidos por ambos métodos de combinación de componentes horizontales.

Estudiar casos específicos para determinar la influencia de la no linealidad de las estructuras en los resultados de los métodos de combinación de registros.

## **1.3. Alcance.**

Se propondrá un método para obtener espectros de respuesta inelásticos que combinen las componentes horizontales de registros sísmicos, tomando en consideración la dirección y el tiempo en que se producen las máximas respuestas.

Se realizarán algunas modificaciones a la programación de MATLAB® realizada por Lascano (2018) para obtener espectros inelásticos tanto para el método RMT como para el método SRSS.

Los espectros inelásticos de componentes horizontales combinadas mediante los métodos RMT y SRSS serán comparados.

Los resultados obtenidos de la comparación de espectros inelásticos serán contrastados con los obtenidos por Lascano (2018).

Los registros considerados en este estudio serán los obtenidos en el Sismo de Pedernales del 16 de abril del 2016, por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN).

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO.

#### 2.1.Registros Sísmicos.

Para propósitos de la ingeniería, la variación en el tiempo de la aceleración del terreno es la forma más útil de definir el movimiento del terreno durante un sismo. La aceleración del terreno aparece en la ecuación diferencial que rige la respuesta de las estructuras a la excitación sísmica. Así, para una aceleración del terreno dada, el problema a resolver se define por completo para un sistema de 1GDL con propiedades conocidas de masa, rigidez y amortiguamiento. (Chopra, 2014).

El instrumento básico para registrar las componentes tridimensionales del movimiento del terreno durante un sismo es el acelerógrafo de movimiento fuerte, que se activa con la llegada de las primeras ondas del Sismo. (Chopra, 2014).

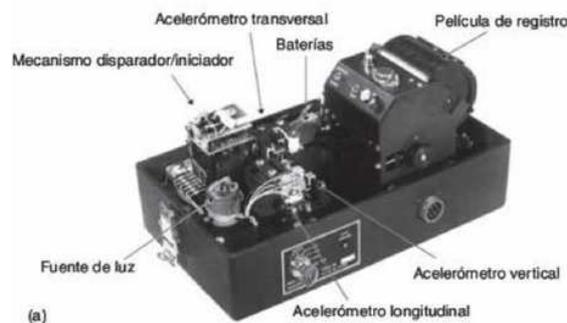


Ilustración 1. Acelerógrafo de movimiento fuerte (Chopra, 2014)

A fin de proporcionar una base confiable para el diseño sísmico de estructuras, las ondas sísmicas se deben caracterizar de forma tan precisa como sea posible. Por tanto, se hacen esfuerzos considerables para reunir los registros intensos de diversos lugares. (Wakabayashi, 1988).

En Ecuador, el monitoreo de la actividad sísmica está a cargo del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) a través de la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC). Adicionalmente, el

Oleoducto de Crudos Pesados tiene una serie de acelerógrafos a lo largo de su trayectoria, así como el Proyecto franco-peruano-ecuatoriano “Andes del Norte” (ADN). Ambas instituciones proveen sus datos al IG-EPN, y en el Sismo del 16 de abril del 2016, sus estaciones formaron parte de las 29 que el IG-EPN dio a conocer al público.

La forma y el tamaño de la onda sísmica no sólo dependen del mecanismo de falla en la fuente del sismo, sino también de la geología, trayectoria de propagación, condiciones locales del sitio y otros factores. De aquí que el registro de una onda sísmica, tomado en un lugar, algunas veces se modifica antes de aplicarlo a la predicción de la onda en otro sitio. (Wakabayashi, 1988).

La velocidad y el desplazamiento del terreno se pueden obtener al integrar el registro de aceleración. En general, las dos componentes horizontales son de magnitudes semejantes, mientras que la componente vertical es algo más pequeña. (Wakabayashi, 1988).

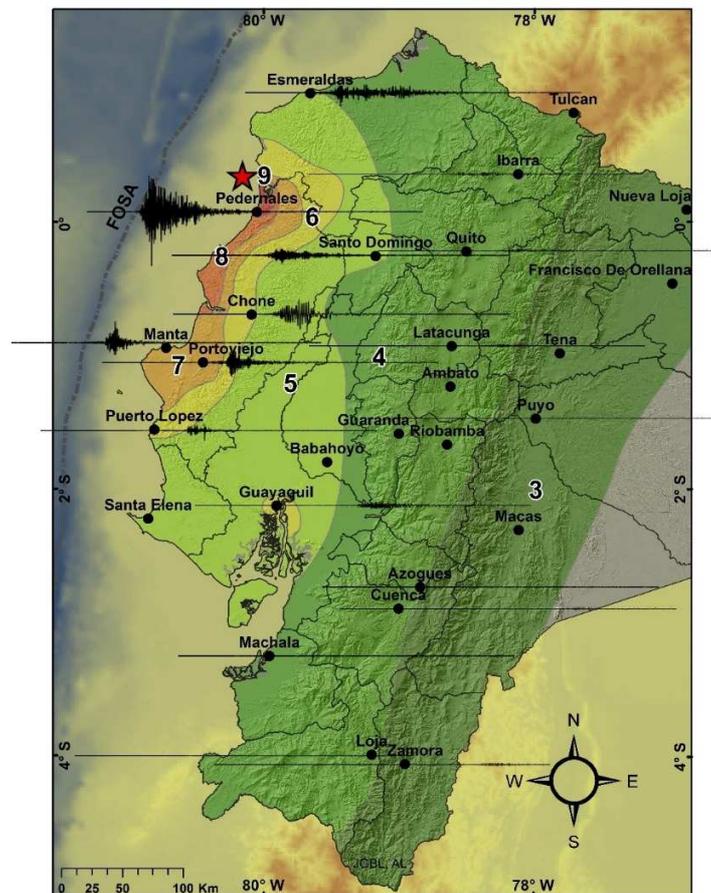


Ilustración 2. Registros Sísmicos del Sismo del 16 de abril del 2016 (IG-EPN)

## 2.2. Evaluación numérica de la respuesta dinámica de Sistemas no lineales.

Debido a la complejidad de analizar la respuesta dinámica de sistemas estructurales cuando éstos 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.

### 2.2.1. Iteración de Newton Raphson (Chopra, 2014).

Se conoce que la ecuación de movimiento que rige el comportamiento de Sistemas estructurales de 1 Grado de libertad sometido a la acción de una fuerza excitadora es:

$$m \cdot u'' + c \cdot u' + fs(u) = p(t) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

m	: masa
u''	: aceleración
c	: coeficiente de amortiguamiento viscoso
u'	: velocidad
fs(u)	: fuerza restauradora estática
u	: desplazamiento
p(t)	: fuerza excitadora (dependiente del tiempo)

Si se excluyen la inercia y los términos de amortiguamiento de la ecuación anterior, se obtiene la siguiente ecuación no lineal que debe resolverse en un problema estático:

$$fs(u) = p(t) \quad (\text{Ecuación 2})$$

La tarea consiste en determinar la deformación “**u**” debida a una fuerza externa “**p**” dada, donde la relación de fuerza-de formación no lineal “**fs(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 como resultado:

$$f_s^{j+1} = f_s^j + \left. \frac{\partial f_s}{\partial u} \right|_{u^j} (u^{j+1} - u^j) + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 f_s}{\partial u^2} \right|_{u^j} (u^{j+1} - u^j)^2 + \dots \quad (\text{Ecuación 3})$$

Si está cerca de la solución, el cambio en “ $u$ ”, “ $u^j$ ” será pequeño y es posible despreciar los términos de segundo orden y órdenes superiores. Lo anterior conduce a la ecuación linealizada:

$$f_s^{j+1} \approx f_s^j + k_T^j \Delta u^j = p \quad (\text{Ecuación 4})$$

o

$$k_T^j \Delta u^j = p - f_s^j = R^j \quad (\text{Ecuación 5})$$

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, resulta “ $\Delta u^j$ ” y una estimación mejorada del desplazamiento:

$$u^{j+1} = u^j + \Delta u^j \quad (\text{Ecuación 6})$$

El procedimiento iterativo se describe a continuación en la Ilustración 3:

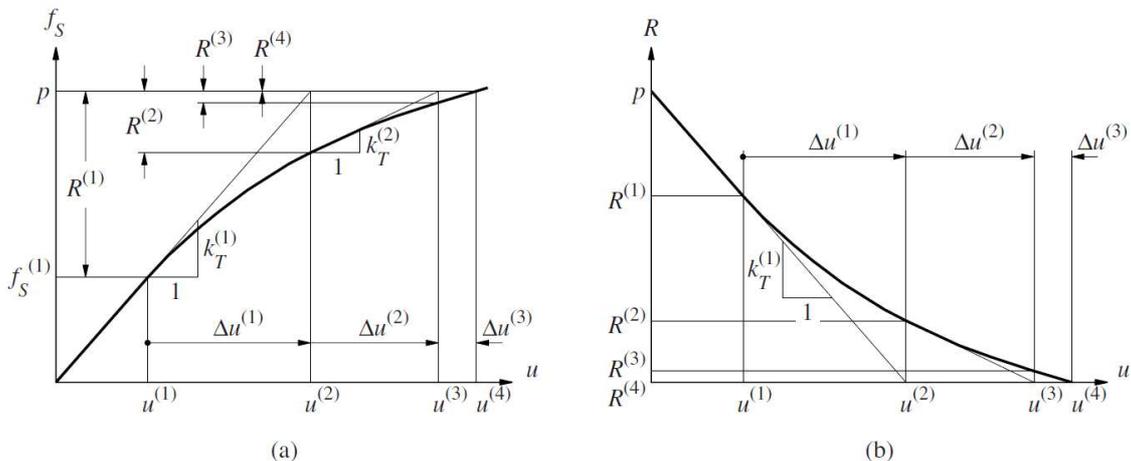


Ilustración 3. Iteración de Newton Raphson: (a) aplicación y fuerzas restauradoras. (b) fuerza residual. (Chopra, A.)

La fuerza “ $fs^j$ ” está asociada con “ $u^j$ ” y no es igual a la fuerza aplicada “ $p$ ”, además se define una fuerza residual  $R^j = p - fs^j$ . El desplazamiento adicional debido a esta fuerza residual se determina a partir de la **Ecuación 5**, dando lugar a “ $u^{j+1}$ ”. Esta nueva estimación de la solución se utiliza para encontrar un nuevo valor de la fuerza residual “ $R^{j+1} = p - fs^{j+1}$ ”.

El desplazamiento adicional “ $\Delta u^{j+1}$ ” debido a esta fuerza residual se determina resolviendo:

$$k_r^{j+1} \Delta u^{j+1} = R^{j+1} \quad (\text{Ecuación 7})$$

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

$$u^{j+2} = u^{j+1} - \Delta u^{j+1} \quad (\text{Ecuación 8})$$

y un nuevo valor de la fuerza residual. El proceso continúa hasta que se alcanza la convergencia. Este proceso iterativo se conoce como el método de Newton-Raphson.

### 2.2.1.1. 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 en la 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  $u^j$ .

### 2.2.1.2. Criterios de convergencia (Chopra, 2014).

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:

$$|R^j| \leq \varepsilon_R$$

Donde  $\varepsilon_R$  suele estar entre  $10^{-3}$  y  $10^{-8}$

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

$$|\Delta u^j| \leq \varepsilon_u$$

Donde  $\varepsilon_u$  suele estar entre  $10^{-3}$  y  $10^{-8}$

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

$$\frac{1}{2} |\Delta u^j \cdot R^j| \leq \varepsilon_w$$

Donde  $\varepsilon_w$  debe estar cerca de la tolerancia de la computadora porque el lado izquierdo es un producto de cantidades pequeñas.

### 2.3. Método de Newmark para sistemas no lineales (Chopra, 2014).

Una vez que se ha desarrollado la iteración de Newton-Raphson para resolver una ecuación de equilibrio no lineal que controla el problema estático, se procede al análisis dinámico. Aquí, la meta es determinar los valores de “ $u^{j+1}$ ”, “ $u'^{j+1}$ ” y “ $u''^{j+1}$ ” en el tiempo “ $i+1$ ” que satisfacen la ecuación  $m \cdot u''_{i+1} + c \cdot u'_{i+1} + (fs)_{i+1} = p_{i+1}$ , la cual puede escribirse como:

$$\hat{fs}_{i+1} = p_{i+1} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde,

$$\hat{fs}_{i+1} = m \cdot u''_{i+1} + c \cdot u'_{i+1} + (fs)_{i+1} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Si se incluyen la inercia y las fuerzas de amortiguamiento en la definición de la fuerza restauradora “ $fs$ ”, la ecuación del análisis dinámico tiene la misma forma que la ecuación del análisis estático, “ $fs(u)=p$ ”.

Por lo tanto, es posible adaptar la expansión de la serie de Taylor (**Ecuación 3**) a la **Ecuación 9**, interpretar  $\hat{fs}_{i+1}$  como una función de  $u_{i+1}$  y descartar los términos de segundo orden, además de los de órdenes superiores para obtener una ecuación análoga a la **Ecuación 4**.

$$(\hat{fs})_{i+1}^{j+1} \approx (\hat{fs})_{i+1}^j + \frac{\partial \hat{fs}}{\partial u_{i+1}} \cdot \Delta u^j = p_{i+1} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

$$\Delta u^j = u_{i+1}^{j+1} - u_{i+1}^j \quad (\text{Ecuación 12})$$

Si se diferencia la **Ecuación 10** en el desplazamiento conocido  $u_{i+1}^j$  da:

$$\frac{\partial \hat{f}s}{\partial u_{i+1}} = m \cdot \frac{\partial u''}{\partial u_{i+1}} + c \cdot \frac{\partial u'}{\partial u_{i+1}} + \frac{\partial f_s}{\partial u_{i+1}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

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

$$u''_{i+1} = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \cdot (u_{i+1} - u_i) - \frac{1}{\beta(\Delta t)} \cdot u'_i - \left( \frac{1}{2\beta} - 1 \right) \cdot u''_i \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$u'_{i+1} = \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} \cdot (u_{i+1} - u_i) + \left( 1 - \frac{\gamma}{\beta} \right) \cdot u'_i + \Delta t \cdot \left( 1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \cdot u''_i \quad (\text{Ecuación 15})$$

\*Los valores de  $\gamma$  y  $\beta$  para el método de la aceleración promedio constante son:

- $\gamma = 0.5$
- $\beta = 0.25$

Por lo que:

$$\frac{\partial u''}{\partial u_{i+1}} = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \quad \text{y} \quad \frac{\partial u'}{\partial u_{i+1}} = \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)}$$

Si se juntan las dos ecuaciones anteriores y se recuerda la definición de la rigidez tangente, resulta:

$$\left( \hat{k}_T \right)_{i+1}^j \equiv \frac{\partial \hat{f}s}{\partial u_{i+1}} = \left( \hat{k}_T \right)_{i+1}^j + \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} \cdot c + \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \cdot m \quad (\text{Ecuación 16})$$

Por lo que:

$$\left(\hat{k}_T\right)_{i+1}^j \cdot \Delta u^j = p_{i+1} - \left(\hat{f}s\right)_{i+1}^j \equiv \hat{R}_{i+1}^j \quad (\text{Ecuación 17})$$

Al sustituir la **Ecuación 14** y la **Ecuación 15** en la **Ecuación 10**, para después combinarla con el lado derecho de la **Ecuación 16**, se obtiene la siguiente expresión para la fuerza residual:

$$\hat{R}_{i+1}^j = p_{i+1} - (fs)_{i+1}^j - \left[ \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \cdot m + \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} \cdot c \right] \cdot (u_{i+1}^j - u_i) + \left[ \frac{1}{\beta(\Delta t)} \cdot m + \left( \frac{\gamma}{\beta} - 1 \right) \cdot c \right] \cdot u_i + \left[ \left( \frac{1}{2\beta} - 1 \right) \cdot m + \Delta t \left( \frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) \cdot c \right] \cdot u_i$$

(Ecuación 18)

Observe que la **Ecuación 17** para la j-ésima iteración del análisis dinámico es similar en forma a la correspondiente **Ecuación 5** 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 16**) como en la fuerza residual "R" (**Ecuación 18**). Los términos primero, cuarto y quinto del lado derecho de la **Ecuación 18** 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 17** proporciona las bases para el método de la iteración de Newton-Raphson. Una vez que se determina " $u_{i+1}$ ", el resto del cálculo procede como para los sistemas lineales; en particular, " $u''_{i+1}$ " y " $u'_{i+1}$ " se determinan a partir de la **Ecuación 14** y de la **Ecuación 15** respectivamente.

## 2.4. Espectros de respuesta inelásticos.

En la fase del diseño sismoresistente, las normas de cada país proveen herramientas a partir de las cuales se pueden armar espectros de respuesta elásticos para un período de retorno dado en función del tipo de suelo, el tipo de estructura, y su nivel de importancia. El uso de este tipo de espectro implica que ante un evento sísmico con una magnitud esperada (para el que fue diseñado), la estructura se comportará linealmente, es decir, la estructura tendrá deformaciones que no superen su límite de cedencia e incursione el rango plástico.

Realizar un diseño estructural a partir de un espectro elástico puede resultar excesivamente costoso, por lo que las normas plantean además la opción de usar espectros inelásticos, lo que reduce en gran parte los costos de construcción ya que las dimensiones de los miembros estructurales se reducen significativamente (Arquitectónicamente deseable).

El uso de estos espectros requiere la aplicación de un coeficiente de reducción "R" que disminuya las fuerzas sísmicas, en función del Sistema Estructural a usar, lo que hará que la estructura incursione en el rango inelástico. Para garantizar la integridad de los ocupantes de la estructura, es necesario controlar y dirigir el mecanismo de falla, logrando que la estructura sea lo suficientemente dúctil como para disipar energía, lo cual es clave en el diseño sismoresistente, ya que evita fallas de tipo frágil.

En el caso del Análisis de Espectros de Respuestas, se busca evaluar el comportamiento dinámico estructural de una estructura ante un sismo dado, caracterizando las aceleraciones, velocidades, y desplazamientos máximos que ocurren durante el tiempo del registro para cada uno de los períodos del espectro. Para los espectros inelásticos, se propone un valor de R que determinará la medida en que una estructura con un período dado incursiona en el rango no lineal, es decir, fluye.

## 2.5. Método RMT para combinación espectral (Lascano, 2018).

Lascano (2018) en su trabajo de titulación propuso el Método de Respuestas Máximas en el Tiempo (RMT) como una alternativa al método dado por ASCE 7 para la combinación de componentes horizontales de registros sísmicos.

El método RMT calcula el máximo valor de respuesta considerando el máximo valor de la combinación de cada instante de tiempo, tal como se ejemplifica en la ilustración 4. Es decir, considera que los máximos valores de respuesta en cada sentido, no tienen por qué ocurrir en el mismo tiempo. Por tanto, se concluyó que el método RMT es un método realista y el método SRSS propuesto por ASCE 7 es un método conservador.

$$\text{MAX} \left( u_{NS} \left[ \begin{array}{c} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{array} \right] \begin{array}{c} \text{COMBINACIÓN (SRSS)} \\ \text{COMBINACIÓN (SRSS)} \\ \text{COMBINACIÓN (SRSS)} \\ \text{COMBINACIÓN (SRSS)} \end{array} \left[ \begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{array} \right] \right) u_{EO}$$

Ilustración 4. Método RMT (Lascano, 2018)

Se analizó los registros obtenidos de la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC), y se cuantificó las diferencias con respecto al método del ASCE 7 mediante Factores F, donde se evaluaron los PGA, la máxima diferencia de la respuesta de desplazamiento entre ambos métodos y el promedio de los Factores F del espectro de aceleraciones absolutas.

Se llegó a la conclusión que, el método es mucho más realista que el propuesto por ASCE 7, ya que la sobreestimación a la que se puede llegar en dicho método puede alcanzar hasta el 41%. Además, se

concluyó que mientras más bajo sea el PGA (mientras más lejos se esté del epicentro), mayores son las diferencias. Finalmente, se determinó que la forma circular o elíptica de la respuesta en el comportamiento histerético, era mucho más influyente. Las respuestas circulares tienen por consecuencia una diferencia mucho mayor entre ambos métodos, en cambio, las respuestas elípticas producen resultados similares. Finalmente, se planteó que la direccionalidad del sismo podría causar respuestas elípticas.

### 2.5.1. Comparativa con el Método ASCE 7.

La Tabla 1 muestra una comparativa entre el método RMT propuesto por Lascano (2018) y el Método SRSS de ASCE 7.

*Tabla 1. Comparativa SRSS (ASCE 7) vs. RMT (Lascano, 2018)*

SRSS	RMT
No considera ni el tiempo ni la dirección en que ocurren los máximos valores de respuesta, simplemente toma los valores mayores y los combina.	Considera que los máximos valores de respuesta no necesariamente ocurren al mismo tiempo.
Calcula la respuesta combinada como la raíz cuadrada de los cuadrados de los máximos valores absolutos de respuesta en cada sentido.	Calcula la respuesta combinada como el máximo valor de las combinaciones tiempo a tiempo de las respuestas en cada sentido.
Método irreal	Método Realista

## CAPÍTULO 3

### 3. PROBLEMÁTICA DE LA COMBINACIÓN ESPECTRAL RMT PARA SISTEMAS NO LINEALES

El Método Respuestas Máximas en el tiempo (RMT) demostró ser un método fiable que permite obtener combinaciones espectrales mucho más ajustadas a la realidad, sin embargo, su aplicación a Sistemas No lineales ha planteado las siguientes problemáticas:

- I. El periodo en ambos sentidos puede no ser el mismo, debido a que la Rigidez depende del Período de la estructura, si la estructura posee diferente rigidez, pero la misma fuerza de fluencia, la deformación de fluencia variará. La ilustración 5 muestra este fenómeno.

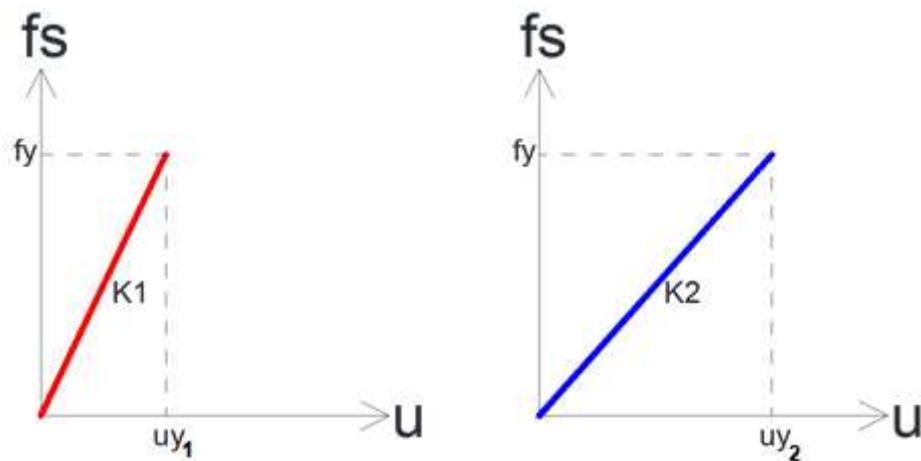


Ilustración 5. Valores diferentes de Rigidez

- I. Las estructuras pueden no fluir al mismo tiempo en ambos sentidos, esto ocurre debido a que las componentes del registro no son iguales, lo que hace que, si bien en un sentido la acción sísmica puede hacer fluir a la estructura, en el otro puede no alcanzarse la fluencia en ese instante de tiempo. En la ilustración 6 se explica este fenómeno, se observa que, en un instante de tiempo dado, debido a la acción del Registro Este-Oeste, la estructura incursiona en el rango no lineal en ése sentido, sin embargo, debido a la acción del registro Norte-sur, no se alcanza la fluencia en ese mismo instante de tiempo.

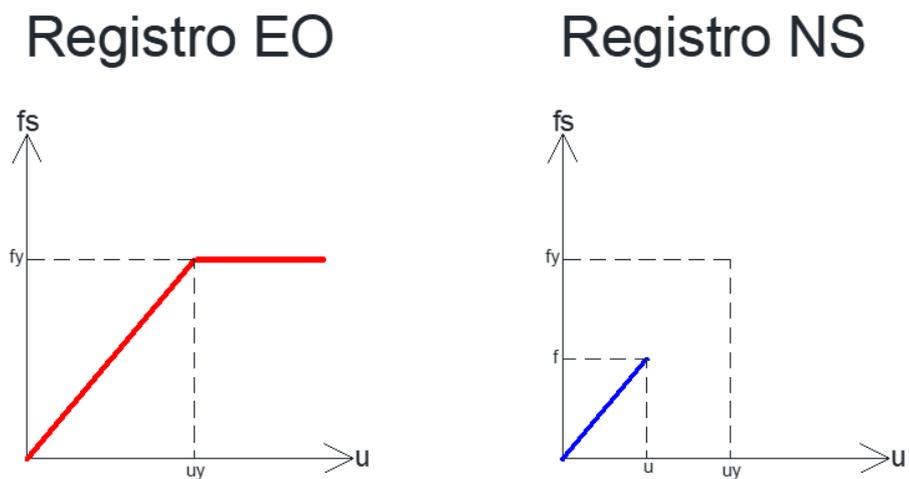


Ilustración 6. Distinta fluencia en ambos sentidos.

- II. Puede darse el caso en que, la estructura aun no fluyendo en ninguno de los 2 ejes, pueda hacerlo en otro plano ajeno a los ejes ortogonales. La acción sísmica en un instante dado, puede lograr que se alcance un valor menor a la deformación de cedencia en las direcciones ortogonales principales, por tanto, no se alcanzaría la fluencia, sin embargo, si se calcula la deformación máxima ocurrida en un plano diferente, puede ocurrir que la estructura supere el límite de fluencia.

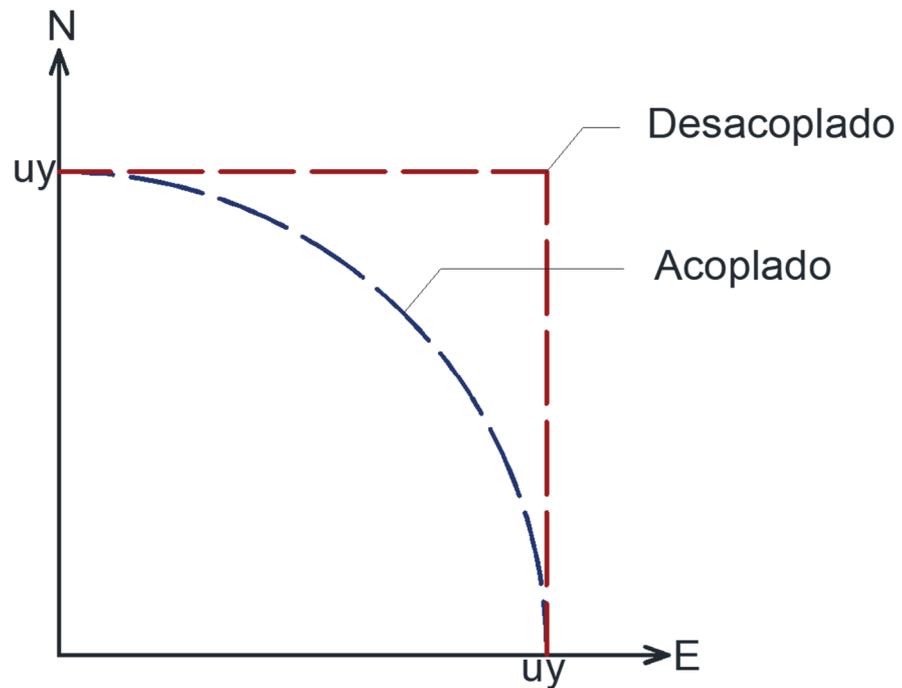


Ilustración 7. Fluencia en un nuevo plano

Ante estas problemáticas, en el presente trabajo se han planteado las siguientes suposiciones:

- I. Se supondrá que la rigidez del sistema en ambos sentidos es la misma. Es decir, el período en ambos sentidos será el mismo, para cada uno de los análisis que forman el espectro.
- II. Se definirá un valor de  $R$  igual para ambos sentidos. Esto obligará a la estructura a superar el rango elástico en ambas direcciones, aunque no necesariamente al mismo tiempo.
- III. Se asumirá un comportamiento desacoplado. Es decir, la fluencia en una dirección es independiente de la otra dirección ortogonal

## CAPÍTULO 4

### 4. METODOLOGÍA PROPUESTA

#### 4.1. Análisis lineal

Para que el método Respuestas Máximas en el Tiempo (RMT) sea aplicable a sistemas inelásticos, será necesario realizar un análisis lineal que permita obtener el máximo valor de la fuerza restauradora estática ( $f_s$ ).

#### 4.2. Factor de Reducción R y fluencia del Sistema

Se planteará un Factor de Reducción “R” que determine la medida en que la estructura incursiona en el rango inelástico, para ello es necesario primero hacer un análisis lineal que determine la máxima fuerza restauradora “ $f_s$ ” en el rango elástico, por lo que el valor de la fuerza de fluencia ( $f_y$ ) se calcula como:

$$f_y = \frac{f_{s_{MAX}}^{(rango.\text{lineal})}}{R}$$

Por tanto, la estructura incursionará en el rango inelástico cuando el valor de la fuerza restauradora supere el de la fluencia, causando con ello que la rigidez (la pendiente) sea nula, es decir, que su valor sea cero.

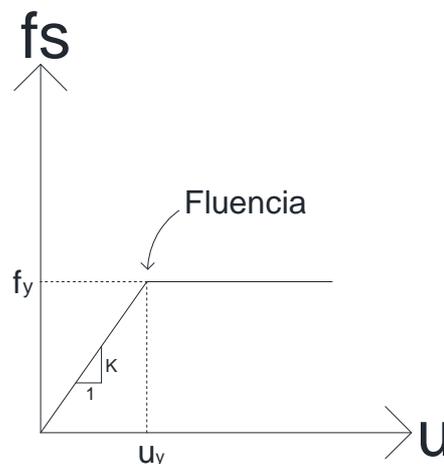


Ilustración 7. Punto de Fluencia,  $u$  vs.  $f_s$

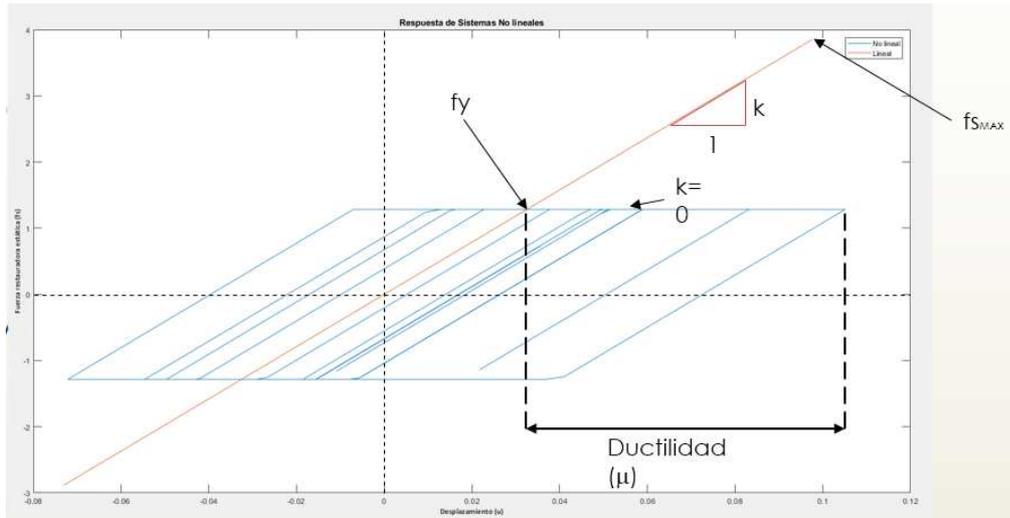


Ilustración 8. Explicación gráfica de la Ductilidad

### 4.3. Análisis no lineal.

Se aplica el método de Newmark con la iteración de Newton-Raphson. Se define el valor de fluencia obtenido previamente, por lo que cuando se supere tal valor, la estructura fluirá hasta el siguiente paso, generándose un bucle. Se obtienen las máximas respuestas de aceleración, aceleración total, velocidad, desplazamiento y ductilidad para un período cada período.

### 4.4. Aplicación del Método RMT.

A fin de obtener el espectro inelástico, se realizarán los análisis a una serie de estructuras, y luego en la combinación se aplican las suposiciones hechas en este trabajo.

Una vez que se obtienen las combinaciones espectrales para las respuestas de desplazamiento, velocidad, aceleración, aceleraciones totales, y ductilidad, se evalúan por medio de Factores "F" la relación entre el método del ASCE 7 y el método RMT propuesto.

Finalmente, se comparan los valores de F para el caso no lineal con respecto a los casos no lineales (diferentes valores de R), a fin de caracterizar tendencias.

Las ilustraciones 9, 10, 11 y 12 muestran las combinaciones espectrales de respuesta para el caso de desplazamientos, velocidades, aceleraciones totales y ductilidad, para las componentes de registros ortogonales de la ciudad de Manta, aplicando un  $R=3$ .

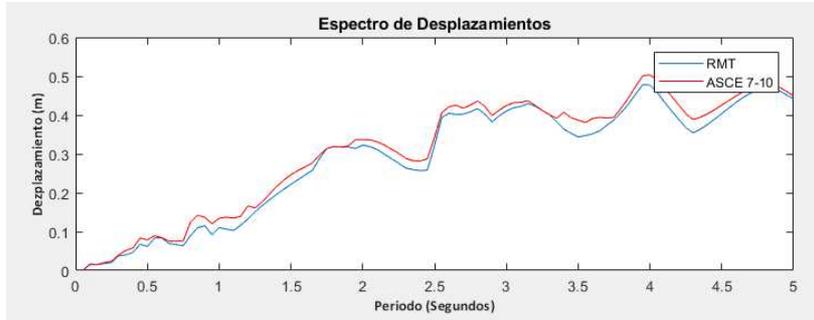


Ilustración 9. Combinación espectral de Desplazamientos - Manta ( $R=3$ )

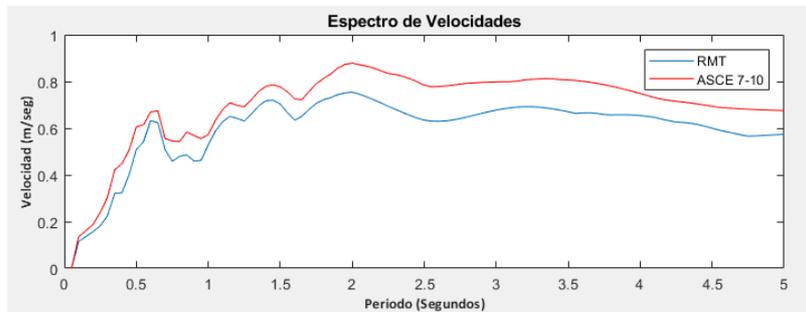


Ilustración 10. Combinación espectral de Velocidades - Manta ( $R=3$ )

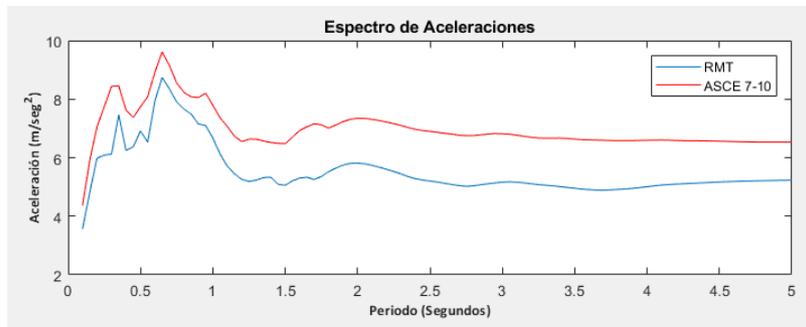


Ilustración 11. Combinación espectral de Aceleraciones - Manta ( $R=3$ )

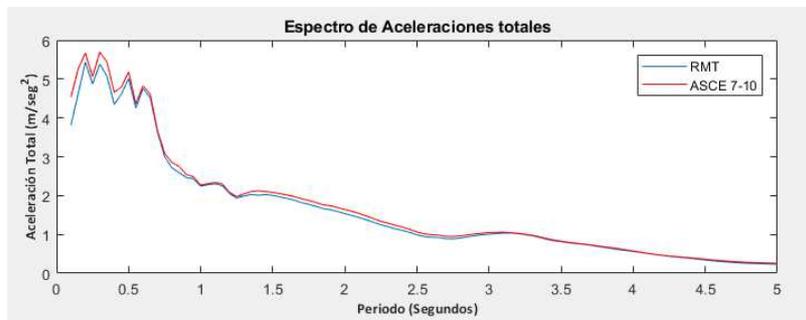


Ilustración 12. Combinación espectral de Aceleraciones Totales - Manta ( $R=3$ )

## CAPÍTULO 5

### 5. PROGRAMAS DESARROLLADOS EN MATLAB® PARA LA COMBINACIÓN ESPECTRAL DE SISTEMAS NO LINEALES

Se partió con base en el programa desarrollado en el trabajo de Lascano (2018), se mejoró la sintaxis, se incorporaron los registros del Sismo del 16/04/16 al programa y se añadió la ductilidad. Se desarrollaron 3 programas independientes: **“Response\_NNL”**, **“Response\_Spectrum\_NNL”** y **“COMB\_Response\_Spectrum\_NNL”**, para calcular respuestas individuales, Espectros, y Combinaciones espectrales, respectivamente, cada uno incorpora los registros de 35 estaciones la RENAC para el Sismo del 16 de abril del 2016. Además, se provee la opción de cargar un registro particular, siempre que éste sea de un lenguaje legible para MATLAB®, generalmente, los datos de la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC), así como los del PEER, cumplen estos requisitos, ya que estas instituciones suelen almacenar los datos en formato .txt, .dat o .AT2. Adicionalmente, es un requisito indispensable importar el registro como una matriz, no hay inconvenientes en cuanto al número de columnas en el registro, ya que una función del programa se encarga de transformarlas a una sola.

#### 5.1. Response\_NNL

El Programa **“Response\_NNL”**, calcula las respuestas (aceleraciones, velocidades, desplazamientos y ductilidad) de un sistema particular (un período determinado) para una componente individual.

##### 5.1.1. Inputs

Los datos necesarios para que el programa calcule una respuesta particular, son los siguientes:

% Registro : Se elige uno en el menú principal o se importa uno  
% T : Período a analizar  
% dt : Intervalo de tiempo del registro  
% FactorR : Valor de R para el cual se desea realizar el análisis

### 5.1.2. Outputs

El programa devolverá los siguientes resultados, siguiendo los lineamientos planteados en el capítulo de metodología:

% l\_u : Respuesta lineal de desplazamientos  
% l\_u1 : Respuesta lineal de velocidades  
% l\_u2 : Respuesta lineal de aceleraciones  
  
% u : Respuesta no lineal de desplazamientos  
% u1 : Respuesta no lineal de velocidades  
% u2 : Respuesta no lineal de aceleraciones  
% mi : Ductilidad del sistema

### 5.1.3. Ejemplo de uso

Calcular las respuestas no lineales (inelásticas) de aceleraciones, velocidades y desplazamientos, además de la ductilidad del Sistema, de una estructura de Período = 2 Segundos (5% de amortiguamiento crítico), para la componente Este-Oeste del registro correspondiente a la ciudad de Manta, en el Sismo del 16/04/16. Considere un  $R=3$ . Compare además con las respuestas lineales.

#### 1) Ejecución del programa

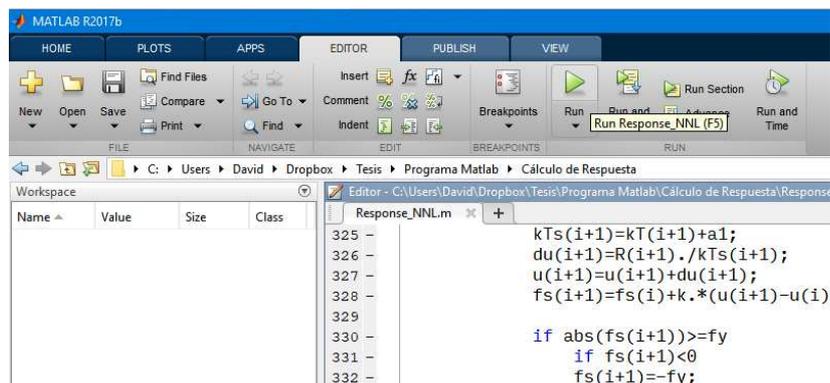


Ilustración 1. Ejecución de RESPONSE\_NNL en la ventana principal de MATLAB

## 2) Ingreso de Datos

```
Command Window
Ejecutar Programa para calcular las respuestas
Ingrese el Periodo a Analizar: 2
Ingrese el dt: 0.01
Ingrese el valor del Factor R: 3
1) Manta EO
2) Manta NS
3) Pedernales EO
4) Pedernales NS
5) Chone EO
6) Chone NS
7) Portoviejo EO
8) Portoviejo NS
9) Guayaquil EO
10) Guayaquil NS
11) Quito EO
12) Quito NS
13) Milagro EO
14) Milagro NS
15) La Libertad EO
16) La Libertad NS
17) Santo Domingo EO
18) Santo Domingo NS
19) Esmeraldas EO
20) Esmeraldas NS
21) San Lorenzo EO
22) San Lorenzo NS
23) Tulcán EO
24) Tulcán NS
25) Latacunga EO
26) Latacunga NS
27) Riobamba EO
28) Riobamba NS
29) Cuenca EO
30) Cuenca NS
31) Loja EO
32) Loja NS
33) Machala EO
34) Machala NS
35) Salir
fx Elija una opción: 1
```

Ilustración 2. RESPONSE\_NNL: Inputs del programa

## 3) Resultados

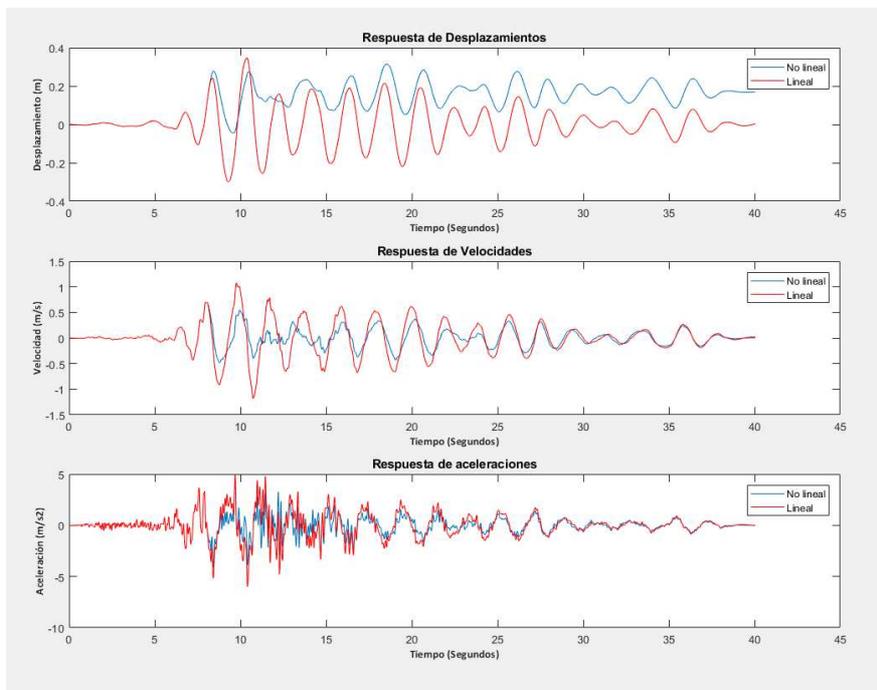


Ilustración 3. RESPONSE\_NNL: Outputs - Respuestas de Sistema

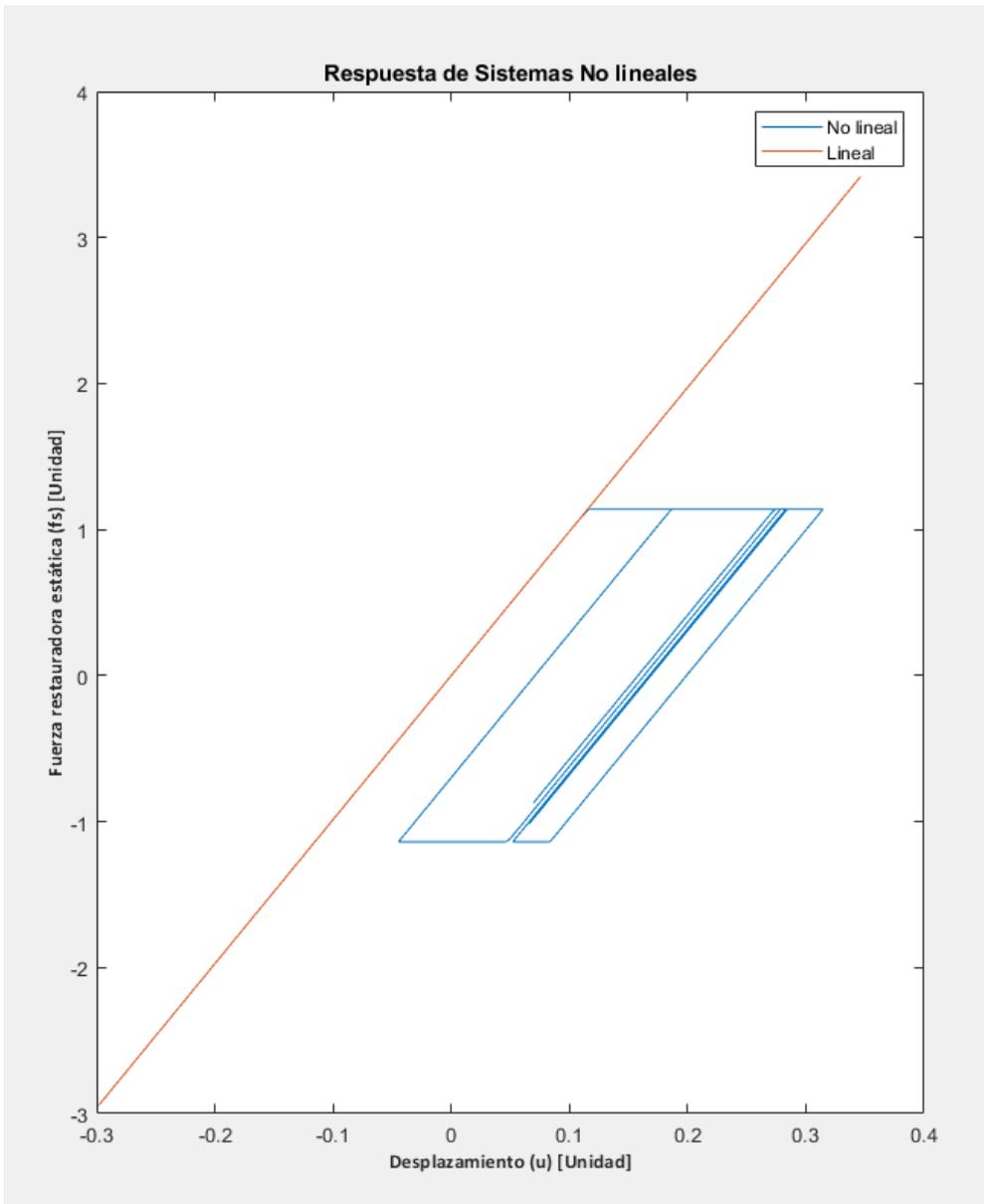


Ilustración 4. RESPONSE\_NNL: Output - Desplazamiento vs. Fuerza restauradora

La ductilidad del sistema es:  
2.7241

Ilustración 5. RESPONSE\_NNL: Output - Ductilidad del Sistema

## 5.2. Response\_Spectrum\_NNL

El Programa **“Response\_Spectrum\_NNL”**, calcula las máximas respuestas de una serie de estructuras con diferente período, y las agrupa, formando el Espectro de Respuestas (aceleraciones, velocidades, desplazamientos, y ductilidades).

### 5.2.1. Inputs

Los datos necesarios para que el programa calcule una respuesta particular, son los siguientes:

% Registro : Se elige uno en el menú principal o se importa uno  
% tf : Período final a analizar  
% paso : Intervalo entre períodos  
% FactorR : Valor de R para el cual se desea realizar el análisis

### 5.2.2. Outputs

El programa devolverá los siguientes resultados, siguiendo los lineamientos planteados en el capítulo de metodología:

% espec\_d : Espectro no lineal de desplazamientos  
% espec\_l\_d : Espectro lineal de desplazamientos  
% espec\_v\_d : Espectro no lineal de velocidades  
% espec\_l\_v\_d : Espectro lineal de velocidades  
% espec\_a\_d : Espectro no lineal de aceleraciones  
% espec\_l\_a\_d : Espectro lineal de aceleraciones

### 5.2.3. Ejemplo de uso

Calcular los espectros de respuestas de aceleraciones, velocidades, desplazamientos y ductilidades del Sismo del 16/04/16, para estructuras de hormigón en la ciudad de Manta (Componente EO). Considere estructuras con períodos de hasta 5 Segundos.

## 1) Ejecución el programa

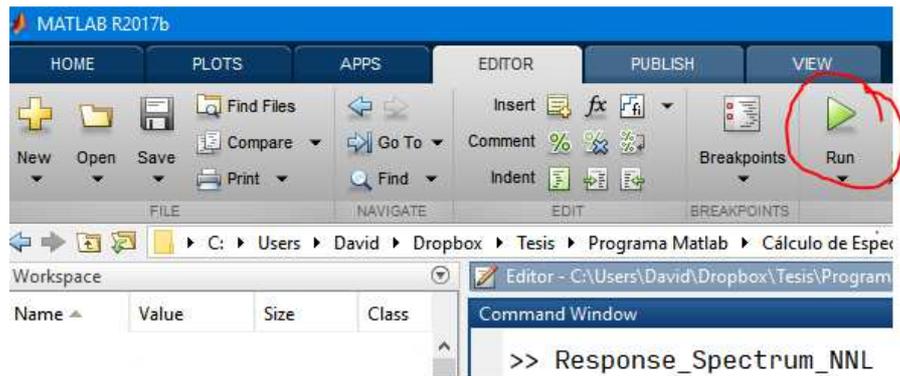


Ilustración 6. Ejecución de `RESPONSE_SPECTRUM_NNL` en la ventana principal de MATLAB

## 2) Ingreso de datos en la ventana de Comandos

```
Command Window
Este programa calcula los Espectros de Respuesta del Sismo del 16/04 (Ecuador).
Ingrese el Periodo Final: 5
Ingrese el "paso": 0.05
Ingrese el valor del Factor R: 3
1) Manta EO
2) Manta NS
3) Pedernales EO
4) Pedernales NS
5) Chone EO
6) Chone NS
7) Portoviejo EO
8) Portoviejo NS
9) Guayaquil EO
10) Guayaquil NS
11) Quito EO
12) Quito NS
13) Milagro EO
14) Milagro NS
15) La Libertad EO
16) La Libertad NS
17) Santo Domingo EO
18) Santo Domingo NS
19) Esmeraldas EO
20) Esmeraldas NS
21) San Lorenzo EO
22) San Lorenzo NS
23) Tulcán EO
24) Tulcán NS
25) Latacunga EO
26) Latacunga NS
27) Riobamba EO
28) Riobamba NS
29) Cuenca EO
30) Cuenca NS
31) Loja EO
32) Loja NS
33) Machala EO
34) Machala NS
35) Salir
Elija una opción: 1
Manta: Componente EO
```

Ilustración 7. `RESPONSE_SPECTRUM_NNL`: Inputs del programa

### 3) Resultados

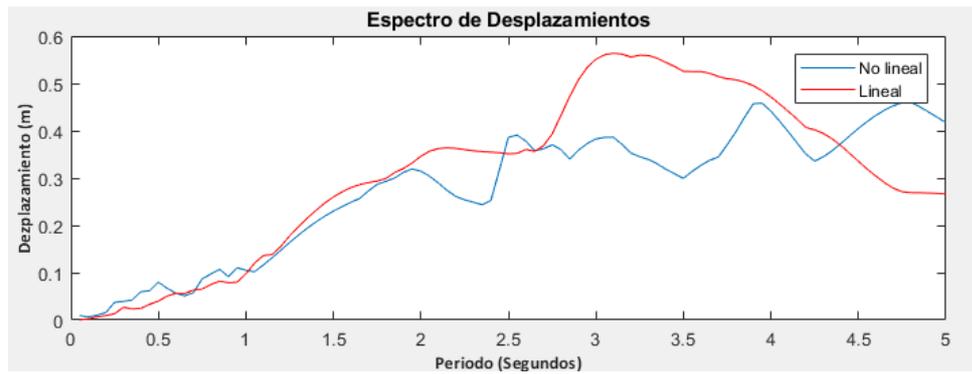


Ilustración 8. RESPONSE\_SPECTRUM\_NNL: Output - Espectros de Desplazamientos (Manta EO, R=3)

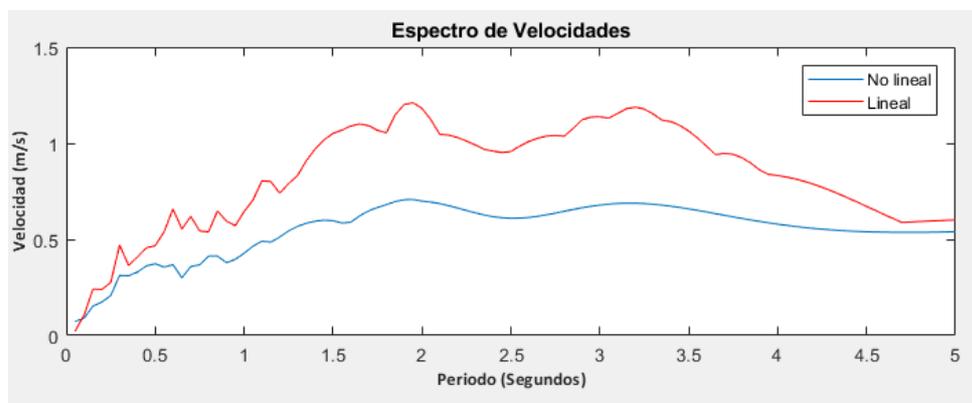


Ilustración 9. RESPONSE\_SPECTRUM\_NNL: Output - Espectros de Velocidades (Manta EO, R=3)

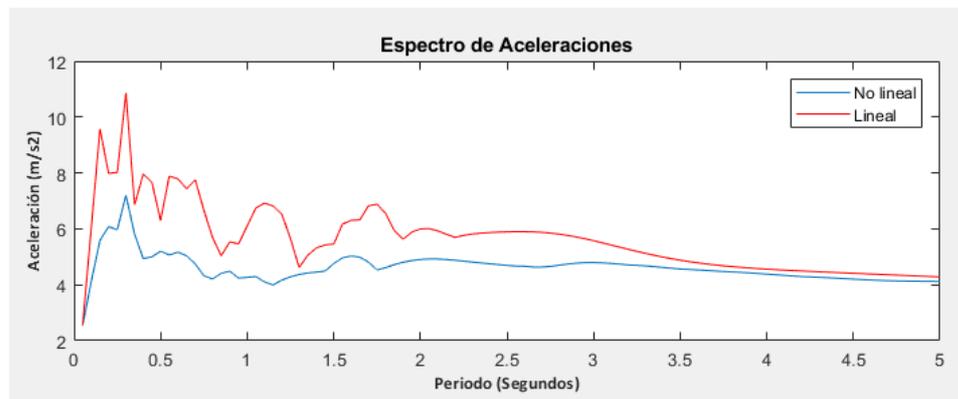


Ilustración 10. RESPONSE\_SPECTRUM\_NNL: Output - Espectros de Aceleraciones (Manta EO, R=3)

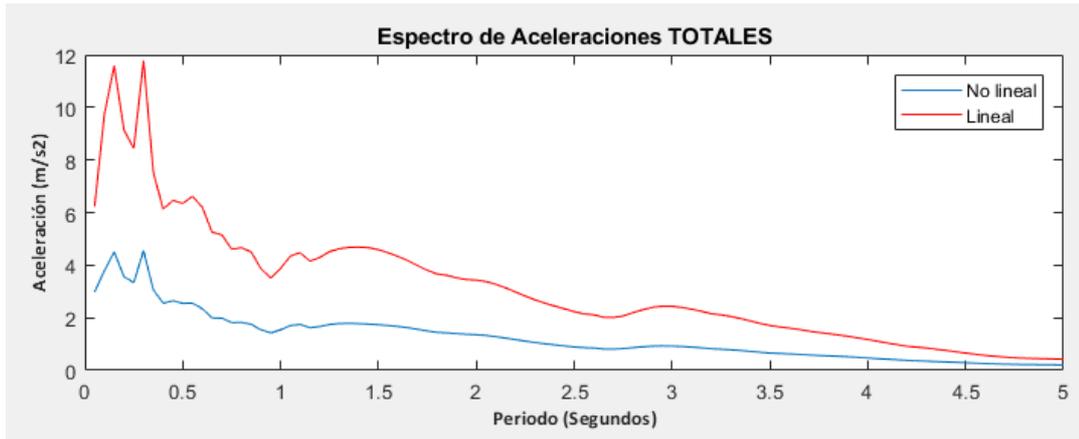


Ilustración 11. RESPONSE\_SPECTRUM\_NNL: Output - Espectros de Aceleraciones Totales (Manta EO, R=3)

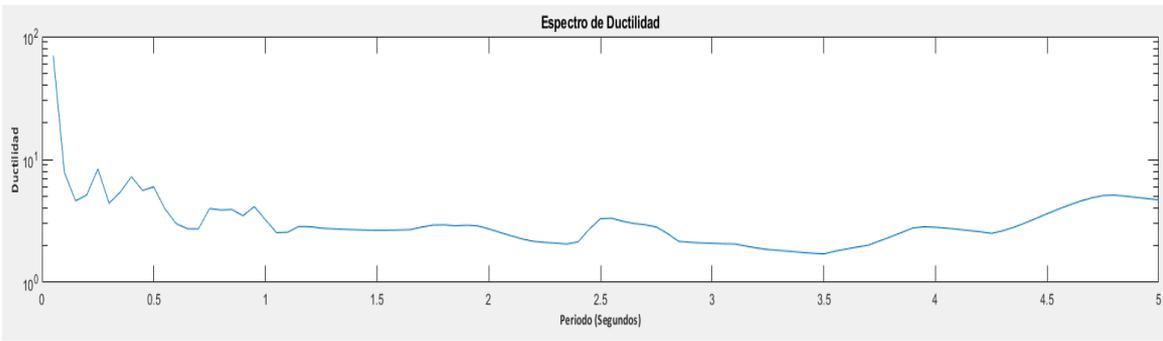


Ilustración 12. RESPONSE\_SPECTRUM\_NNL: Output - Espectro de Ductilidad (Manta EO, R=3)

### 5.3.COMB\_Response\_Spectrum\_NNL

El Programa “COMB\_Response\_Spectrum\_NNL”, realiza combinaciones espectrales, tanto el método del ASCE 7 como el método RMT (propuesto).

#### 5.3.1. Inputs

% Registros : Se eligen las componentes en el menú principal (o se importa)  
% tf : Período final a analizar  
% dt : Intervalo de tiempo del registro  
% paso : Intervalo entre períodos  
% FactorR : Valor de R para el cual se desea realizar el análisis

#### 5.3.2. Outputs

% espec\_d : Espectro de desplazamientos, Método RMT  
% SRSS\_d : Espectro de desplazamientos, Método ASCE 7-10  
% espec\_v : Espectro de velocidades, Método RMT  
% SRSS\_v : Espectro de velocidades, Método ASCE 7-10  
% espec\_a : Espectro de aceleraciones, Método RMT  
% SRSS\_a : Espectro de aceleraciones, Método ASCE 7-10  
% espec\_aT : Espectro de aceleraciones totales, Método RMT  
% SRSS\_aT : Espectro de aceleraciones totales, Método ASCE 7  
% espec\_mi : Espectro de ductilidad, Método RMT  
% SRSS\_mi : Espectro de ductilidad, Método ASCE 7-10  
% Fd : Factor F para desplazamientos  
% Fv : Factor F para velocidades  
% Fa : Factor F para aceleraciones  
% FaT : Factor F para aceleraciones totales  
% Fmi : Factor F para ductilidad

### 5.3.3. Ejemplo de uso

Calcular las combinaciones espectrales (Aceleraciones, aceleraciones totales, velocidades, desplazamientos y ductilidades) del Sismo del 16/04/16, para estructuras de hormigón en la ciudad de Manta. Considere estructuras con períodos de hasta 5 Segundos.

#### 1) Ejecución el programa

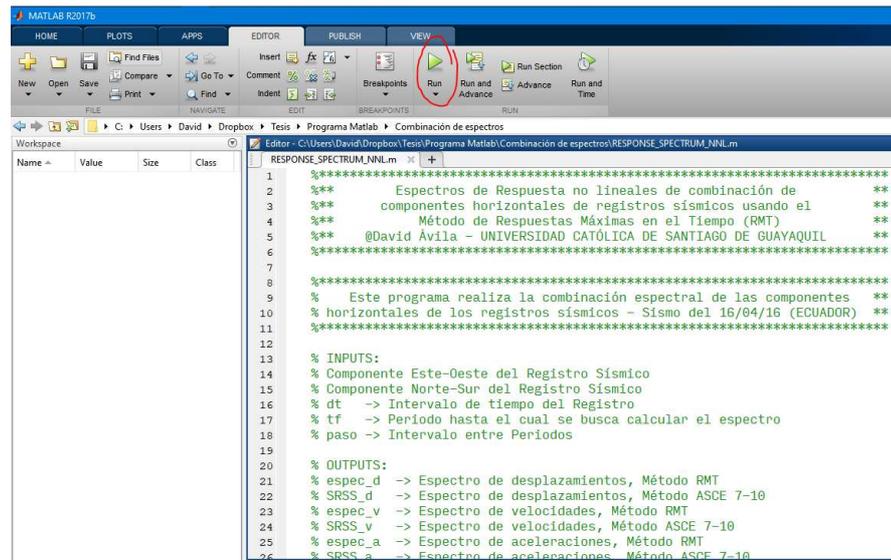


Ilustración 13. Ejecución de COMB\_RESPONSE\_SPECTRUM\_NNL en la ventana principal de MATLAB

#### 2) Ingreso de datos en la ventana de Comandos

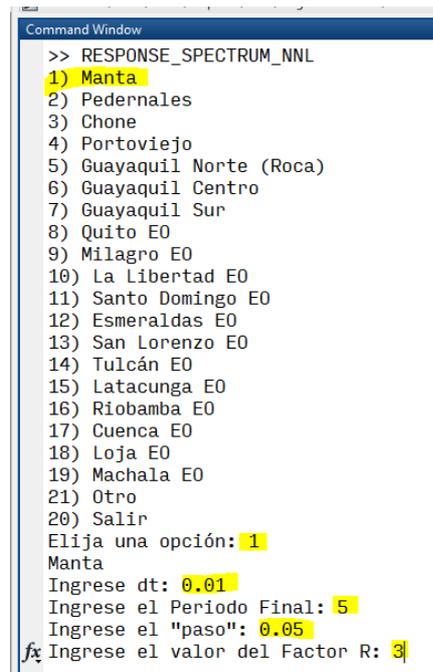


Ilustración 14. COMB\_RESPONSE\_SPECTRUM\_NNL: Inputs del programa

### 3) Resultados

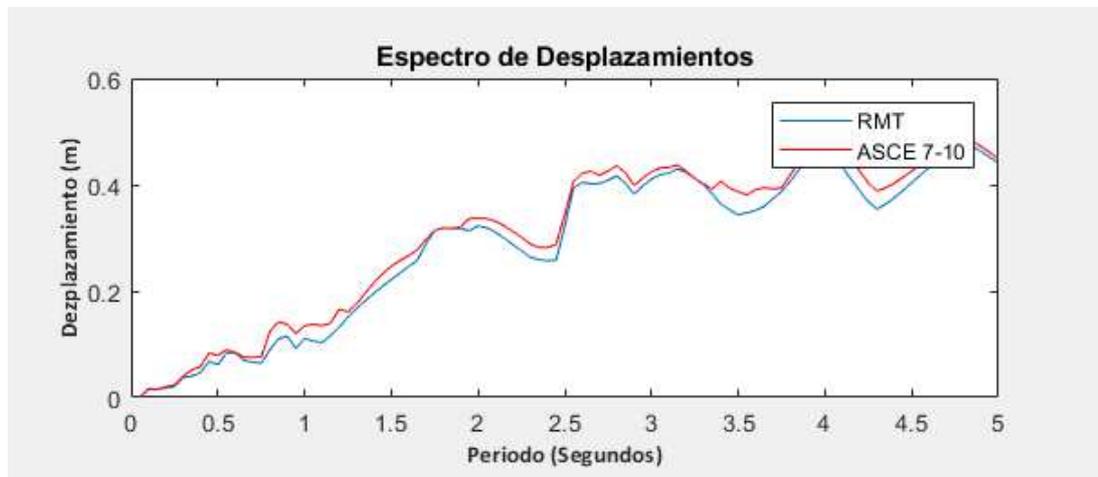


Ilustración 15. COMB\_RESPONSE\_SPECTRUM\_NNL: Output - Espectro de Desplazamientos (Manta EO, R=3)

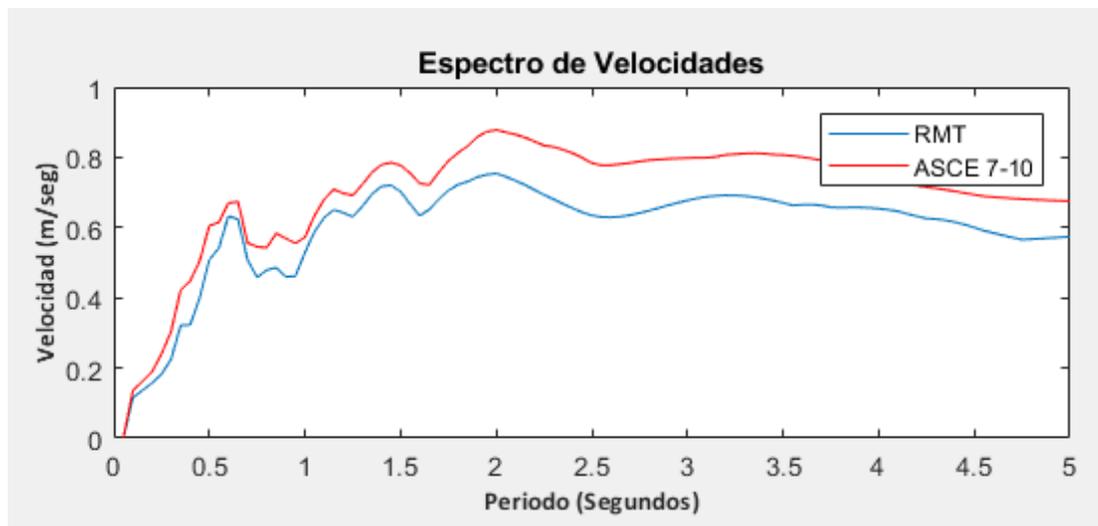


Ilustración 16. COMB\_RESPONSE\_SPECTRUM\_NNL: Output - Espectro de Velocidades (Manta EO, R=3)

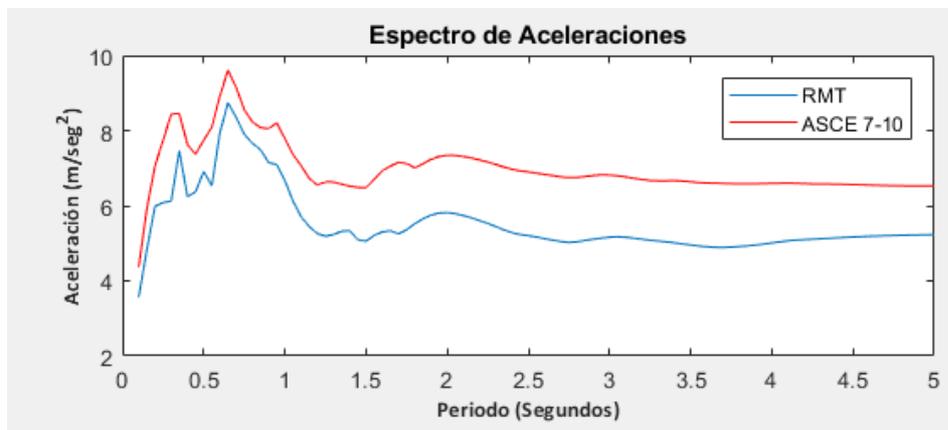


Ilustración 17. COMB\_RESPONSE\_SPECTRUM\_NNL: Output - Espectro de Aceleraciones (Manta EO, R=3)

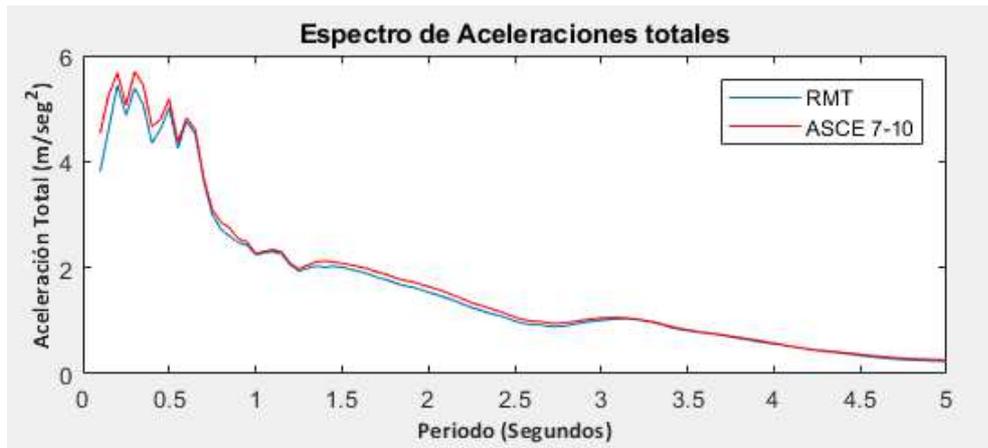


Ilustración 18. COMB\_RESPONSE\_SPECTRUM\_NNL: Output - Espectro de Aceleraciones totales (Manta EO, R=3)

## CAPÍTULO 6

### 6. RESULTADOS

En este capítulo se analizarán los resultados de la combinación espectral no lineal de componentes horizontales de registros sísmicos usando el Método de Respuestas Máximas en el Tiempo (RMT), además se realizará una comparativa con los resultados obtenidos con el Método propuesto por ASCE 7.

Se utilizarán 29 registros obtenidos del Sismo del 16 de abril del 2016 en Ecuador, correspondientes a la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC), liderada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN).

Al igual que en el trabajo realizado por Lascano, G. (2018) se estudiará la relación entre el Método SRSS y el Método RMT de la siguiente manera:

$$F = \frac{\text{Combinación SRSS}}{\text{Combinación RMT}}$$

Se han clasificado las estaciones según el valor del PGA y no acorde a la distancia de la falla, ya que muchos autores, como Bray, J. (2018) considera que la direccionalidad influye mucho más la distancia a la falla, es por eso que existieron valores de PGA más altos en Manta que en Esmeraldas, aun cuando esta última está mucho más cerca del epicentro del sismo del 16 de abril de 2016.

Al igual que en el trabajo de Lascano, G. (2018), se han clasificado los registros de aceleraciones según su PGA (Peak Ground Acceleration, Aceleración máxima del suelo) de la siguiente manera:

Categoría 1	0 a 20% g
Categoría 2	20% g a 40% g
Categoría 3	Mayor a 40% g

En la tabla 2 se muestra la categorización de los registros según la magnitud de su PGA propuesta por Lascano (2018):

Tabla 2. Categorización de Registros según su PGA (Combinación RMT)

CIUDAD	ESTACIÓN	PGA-EO		PGA-NS		PGA - ASCE 7		PGA - RMT	
		(%G)	(m/s <sup>2</sup> )	(%G)	(m/s <sup>2</sup> )	(%G)	(m/s <sup>2</sup> )	(%G)	(m/s <sup>2</sup> )
PEDERNALES	APED	141%	13.80	83%	8.13	163%	16.02	142%	13.98
PEDERNALES	PDNS	103%	10.14	94%	9.24	140%	13.72	104%	10.19
MANTA	AMNT	40%	3.95	52%	5.15	66%	6.49	54%	5.34
ESMERALDAS	AMA1	41%	4.03	20%	1.96	46%	4.49	41%	4.03
CHONE	ACHN	33%	3.24	37%	3.63	50%	4.86	41%	3.98
PORTOVIEJO	APO1	32%	3.11	38%	3.73	50%	4.86	38%	3.77
SANTO DOMINGO	ASDO	21%	2.03	11%	1.09	23%	2.30	21%	2.06
VICHE	AV21	16%	1.61	15%	1.46	22%	2.17	16%	1.61
ESMERALDAS	AES2	15%	1.51	11%	1.09	19%	1.86	15%	1.52
QUININDÉ	AV18	15%	1.44	12%	1.21	19%	1.88	15%	1.44
PEDRO VICENTE MALDONADO	APR2	10%	0.99	11%	1.08	15%	1.46	11%	1.05
GUAYAQUIL	AGY2	9%	0.93	10%	0.96	14%	1.33	10%	0.99
GUAYAQUIL	AGY1	6%	0.58	7%	0.64	9%	0.86	7%	0.69
IBARRA	AIB1	5%	0.48	6%	0.57	8%	0.75	6%	0.58
MILAGRO	AMIL	5%	0.51	5%	0.45	7%	0.68	5%	0.52
OTAVALO	AOTA	4%	0.42	4%	0.34	6%	0.54	5%	0.46
LA LIBERTAD	ALIB	4%	0.41	4%	0.39	6%	0.57	5%	0.44
GUAYLLABAMBA	AV11	3%	0.29	4%	0.38	5%	0.48	4%	0.40
AMBATO	AAM2	3%	0.26	4%	0.35	4%	0.43	4%	0.35
CUENCA	ACUE	4%	0.35	3%	0.29	5%	0.45	4%	0.35
IBARRA	AIB2	2%	0.21	3%	0.32	4%	0.39	3%	0.33
LATACUNGA	ALAT	3%	0.31	3%	0.27	4%	0.41	3%	0.31
MACHALA	ACH1	3%	0.25	2%	0.24	4%	0.34	3%	0.28
QUITO	AEPN	3%	0.26	2%	0.20	3%	0.33	3%	0.27
SAN LORENZO	ALOR	3%	0.26	3%	0.26	4%	0.37	3%	0.26
GUAYAQUIL	AGYE	2%	0.18	2%	0.23	3%	0.29	2%	0.24
TULCÁN	ATUL	2%	0.16	2%	0.21	3%	0.26	2%	0.21
LOJA	ALJ1	2%	0.15	2%	0.16	2%	0.22	2%	0.17
PAPALLACTA	APS4	1%	0.07	1%	0.06	1%	0.09	1%	0.07

Los resultados presentados en el presente trabajo son:

- Valores máximos del factor  $F$  correspondientes a la respuesta de desplazamientos, para valores de  $R$  de 1 (elástico) a 7.
- Valores máximos del factor  $F$  correspondientes a la respuesta de velocidades, para valores de  $R$  de 1 (elástico) a 7.
- Valores máximos del factor  $F$  correspondientes a la respuesta de aceleraciones totales, para valores de  $R$  de 1 (elástico) a 7.
- Valores máximos del factor  $F$  correspondientes a la respuesta de ductilidades, para valores de  $R$  de 2 a 7.
- Respuesta combinada de desplazamientos y comportamiento histerético para las componentes del registro AGY2.

#### **6.1. Máximos valores de $F$ para desplazamientos.**

La tabla 4 muestra los 29 registros obtenidos del IG-EPN ordenados según su PGA (de mayor a menor), la magnitud del valor  $F$  se ve reflejada en su tonalidad, donde el amarillo refleja un valor de  $F_{MAX}$  pequeño y el rojo un valor de  $F_{MAX}$  mayor.

Tabla 3. Valores de F para desplazamientos

F DESPLAZAMIENTO								
CIUDAD	ESTACIÓN	R=1	R=2	R=3	R=4	R=5	R=6	R=7
PEDERNALES	APED	1.31	1.31	1.34	1.35	1.39	1.40	1.40
PEDERNALES	PDNS	1.34	1.22	1.29	1.34	1.24	1.24	1.23
MANTA	AMNT	1.35	1.34	1.38	1.22	1.27	1.30	1.28
ESMERALDAS	AMA1	1.38	1.36	1.38	1.40	1.37	1.33	1.27
CHONE	ACHN	1.36	1.38	1.37	1.36	1.33	1.31	1.34
PORTOVIEJO	APO1	1.39	1.27	1.26	1.27	1.28	1.27	1.30
SANTO DOMINGO	ASDO	1.37	1.36	1.31	1.30	1.30	1.34	1.35
VICHE	AV21	1.39	1.36	1.30	1.40	1.36	1.35	1.38
ESMERALDAS	AES2	1.36	1.40	1.34	1.38	1.34	1.31	1.28
QUININDÉ	AV18	1.39	1.30	1.32	1.33	1.36	1.35	1.35
PEDRO VICENTE MALDONADO	APR2	1.33	1.32	1.32	1.32	1.33	1.36	1.35
GUAYAQUIL	AGY2	1.36	1.36	1.34	1.31	1.33	1.31	1.27
GUAYAQUIL	AGY1	1.40	1.39	1.30	1.36	1.31	1.38	1.32
IBARRA	AIB1	1.40	1.36	1.37	1.31	1.27	1.28	1.37
MILAGRO	AMIL	1.39	1.37	1.36	1.35	1.29	1.40	1.31
OTAVALO	AOTA	1.39	1.39	1.32	1.37	1.36	1.36	1.35
LA LIBERTAD	ALIB	1.39	1.35	1.34	1.32	1.37	1.40	1.40
GUAYLLABAMBA	AV11	1.38	1.33	1.34	1.36	1.33	1.41	1.36
AMBATO	AAM2	1.39	1.33	1.32	1.39	1.36	1.38	1.35
CUENCA	ACUE	1.34	1.36	1.37	1.38	1.36	1.38	1.38
IBARRA	AIB2	1.39	1.40	1.35	1.34	1.36	1.36	1.35
LATACUNGA	ALAT	1.35	1.37	1.32	1.39	1.34	1.33	1.28
MACHALA	ACH1	1.40	1.39	1.32	1.36	1.38	1.39	1.40
QUITO	AEPN	1.38	1.38	1.36	1.38	1.40	1.38	1.40
SAN LORENZO	ALOR	1.38	1.38	1.34	1.36	1.36	1.35	1.38
GUAYAQUIL	AGYE	1.37	1.37	1.36	1.31	1.32	1.30	1.33
TULCÁN	ATUL	1.38	1.35	1.35	1.37	1.36	1.36	1.40
LOJA	ALJ1	1.37	1.38	1.31	1.39	1.31	1.30	1.28
PAPALLACTA	APS4	1.40	1.33	1.36	1.32	1.26	1.25	1.35

Se observa que hay una mayor concentración de valores bajos en la zona superior, aunque hay algunos casos que se escapan a esta regla.

Los valores más rojizos corresponden a los casos donde existe mayor diferencia entre el Método propuesto por ASCE 7 y el Método RMT. El registro que presenta mayor concentración de valores altos, para todos los valores de R analizados, corresponde a la ciudad de Quito (AEPN), éste registro tiene un PGA de categoría 1 (bajo), la variación de F para los períodos de 1 a 5 se muestran en la ilustración 19.

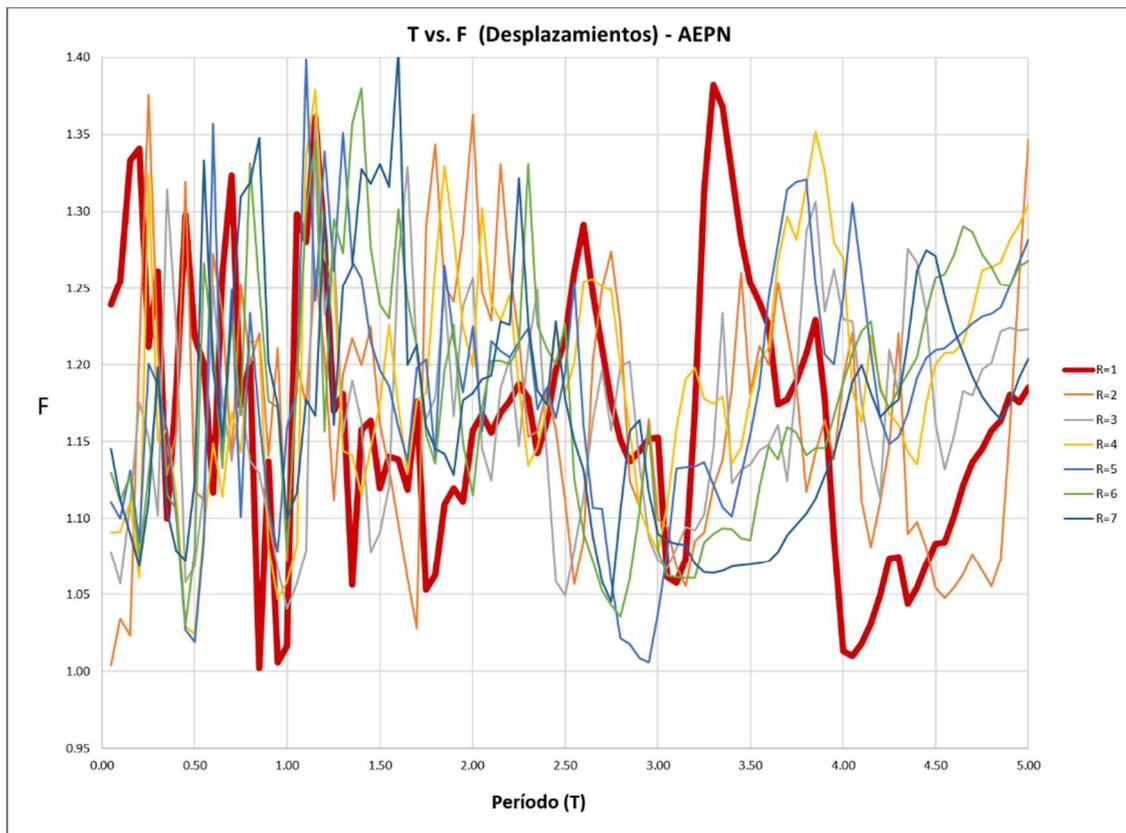


Ilustración 19. Período vs. F para desplazamientos (AEPN – Quito)

Como se muestra en la ilustración 19, donde hay mayores diferencias con respecto a los casos no lineales, es para las estructuras de períodos entre 3 y 3.5.

Los valores con tonalidad amarilla corresponden a los casos donde existe una menor diferencia entre el Método propuesto por ASCE 7 y el Método RMT. El registro que presenta mayor concentración de valores de F bajos, para todos los valores de R analizados, corresponde a la ciudad de Pedernales (PDNS).

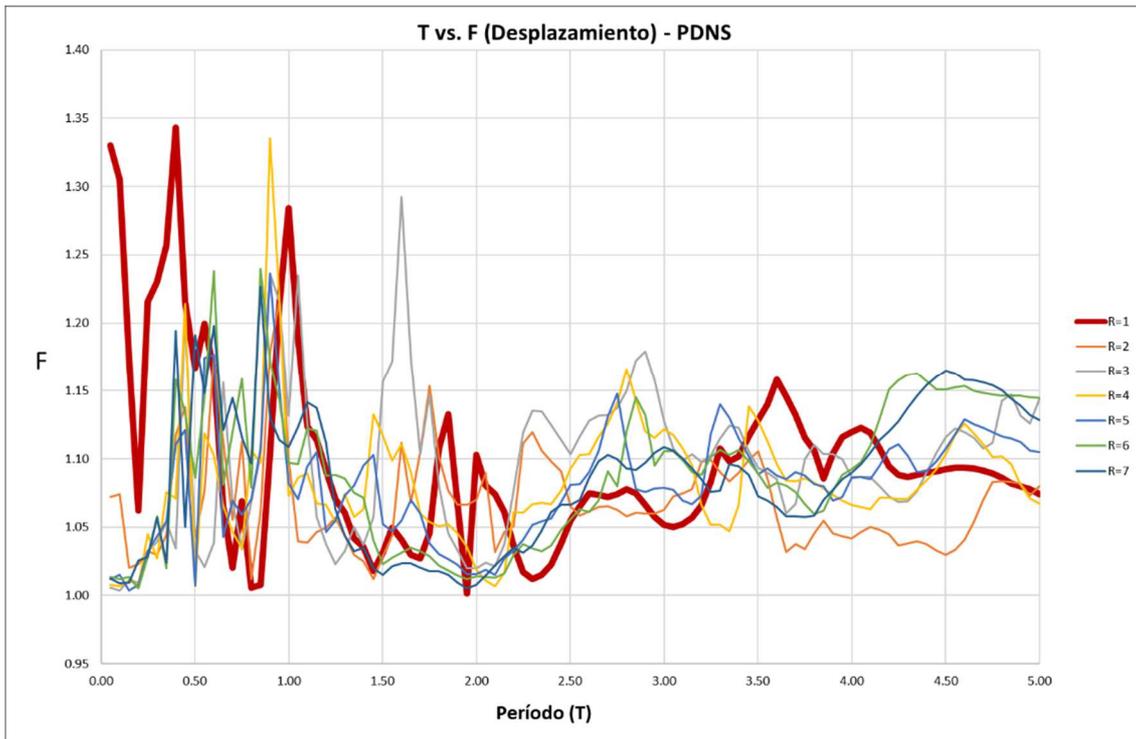


Ilustración 20. Período vs. F para desplazamientos (PDNS – Pedernales)

## 6.2. Máximos valores de F para velocidades.

La tabla 5 muestra los 29 registros obtenidos del IG-EPN ordenados según su PGA (de mayor a menor), la magnitud del valor F (velocidad) se ve reflejada en su tonalidad, donde el amarillo refleja un valor de  $F_{MAX}$  pequeño y el rojo un valor de  $F_{MAX}$  mayor.

Tabla 4. Valores de F para velocidades

F <sub>VELOCIDAD</sub>								
CIUDAD	ESTACIÓN	R=1	R=2	R=3	R=4	R=5	R=6	R=7
PEDERNALES	APED	1.29	1.33	1.40	1.33	1.39	1.29	1.30
PEDERNALES	PDNS	1.37	1.27	1.27	1.25	1.23	1.21	1.22
MANTA	AMNT	1.25	1.29	1.39	1.36	1.35	1.38	1.40
ESMERALDAS	AMA1	1.33	1.38	1.36	1.21	1.18	1.19	1.19
CHONE	ACHN	1.35	1.39	1.39	1.35	1.33	1.33	1.33
PORTOVIEJO	APO1	1.37	1.38	1.27	1.27	1.21	1.19	1.18
SANTO DOMINGO	ASDO	1.32	1.28	1.23	1.22	1.19	1.18	1.18
VICHE	AV21	1.39	1.40	1.31	1.27	1.24	1.24	1.24
ESMERALDAS	AES2	1.36	1.29	1.31	1.31	1.27	1.28	1.26
QUININDÉ	AV18	1.38	1.37	1.35	1.37	1.36	1.35	1.34
PEDRO VICENTE MALDONADO	APR2	1.37	1.37	1.33	1.33	1.29	1.28	1.28
GUAYAQUIL	AGY2	1.34	1.38	1.37	1.38	1.40	1.38	1.38
GUAYAQUIL	AGY1	1.32	1.28	1.31	1.20	1.17	1.16	1.16
IBARRA	AIB1	1.41	1.38	1.38	1.39	1.40	1.40	1.38
MILAGRO	AMIL	1.38	1.36	1.33	1.35	1.38	1.39	1.37
OTAVALO	AOTA	1.37	1.33	1.32	1.28	1.30	1.27	1.24
LA LIBERTAD	ALIB	1.39	1.36	1.35	1.34	1.39	1.34	1.30
GUAYLLABAMBA	AV11	1.36	1.34	1.35	1.38	1.40	1.38	1.34
AMBATO	AAM2	1.37	1.41	1.36	1.37	1.38	1.35	1.36
CUENCA	ACUE	1.30	1.40	1.37	1.37	1.35	1.38	1.38
IBARRA	AIB2	1.37	1.31	1.24	1.25	1.27	1.29	1.30
LATACUNGA	ALAT	1.38	1.38	1.39	1.37	1.39	1.35	1.33
MACHALA	ACH1	1.40	1.38	1.38	1.33	1.36	1.33	1.32
QUITO	AEPN	1.37	1.34	1.32	1.37	1.35	1.39	1.33
SAN LORENZO	ALOR	1.40	1.41	1.37	1.37	1.40	1.41	1.39
GUAYAQUIL	AGYE	1.37	1.36	1.40	1.40	1.38	1.40	1.38
TULCÁN	ATUL	1.39	1.37	1.35	1.37	1.40	1.38	1.39
LOJA	ALJ1	1.40	1.41	1.39	1.37	1.37	1.34	1.32
PAPALLACTA	APS4	1.40	1.41	1.39	1.40	1.38	1.38	1.37

Se observa claramente que hay una mayor concentración de valores bajos en la zona superior (PGA alto), y valores altos en la zona inferior (PGA bajo).

Los valores más rojizos corresponden a los casos donde existe mayor diferencia entre el Método propuesto por ASCE 7 y el Método RMT. El registro que presenta mayor concentración de valores altos, para todos los valores de R analizados, corresponde a ALOR (San Lorenzo), éste registro tiene un PGA de categoría 1 (bajo), la variación de F para los períodos de 1 a 5 se muestran en la ilustración 22.

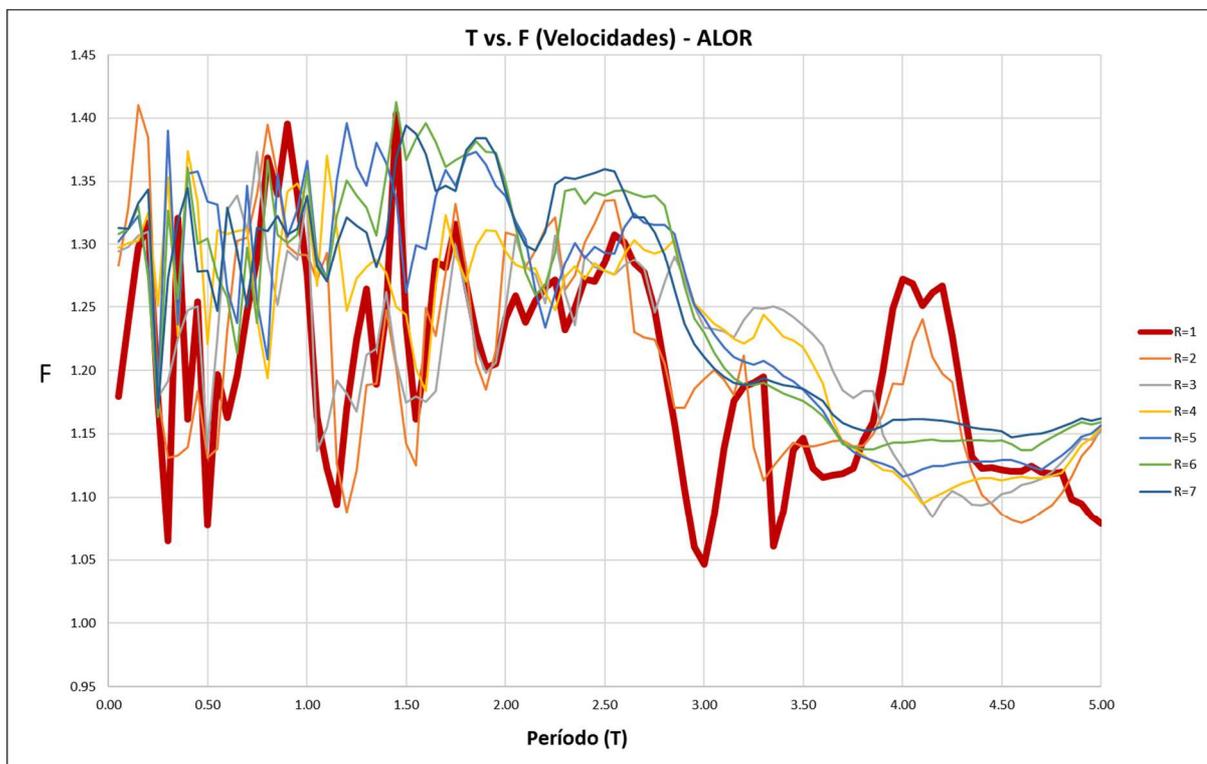


Ilustración 21. Período vs. F para velocidades (ALOR – San Lorenzo)

Como se muestra en la ilustración 22, por regla general los valores de F para casos inelásticos son parecidos al del caso lineal (R=1), siendo en gran parte de la gráfica un poco mayores que el caso lineal.

Los valores con tonalidad amarilla corresponden a los casos donde existe una menor diferencia entre el Método propuesto por ASCE 7 y el Método RMT. El registro que presenta mayor concentración de valores de F bajos, para todos los valores de R analizados, corresponde al de Santo Domingo (ASDO), cuyo PGA está clasificado como Categoría 2 (intermedio).

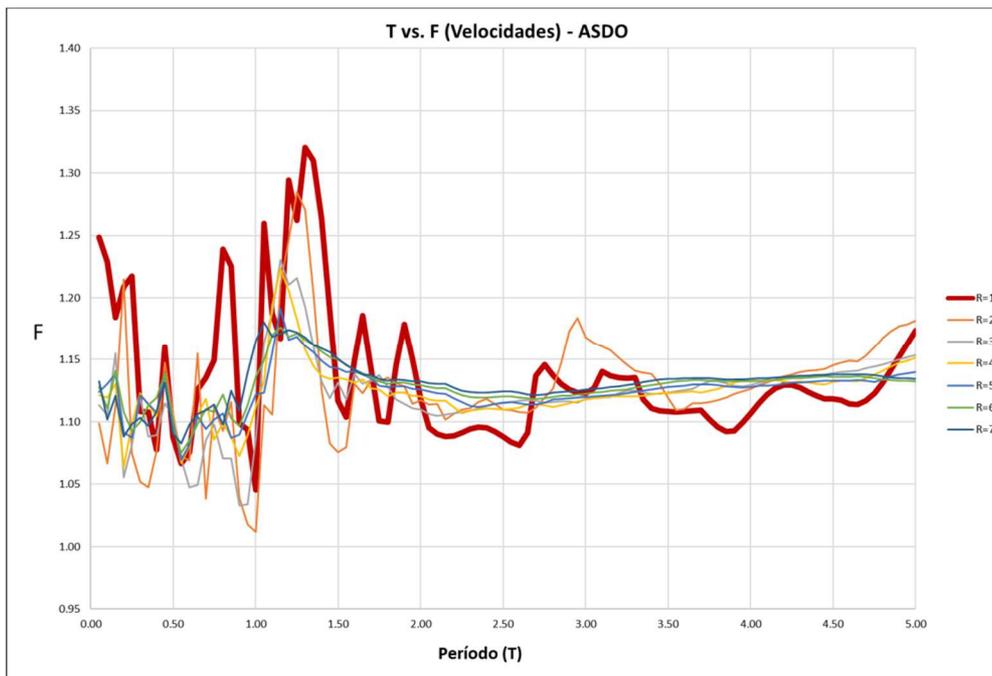


Ilustración 22. Período vs. F para velocidades (ASDO – Santo Domingo)

Los valores de F para casos inelásticos mostrados en la ilustración 23, guardan relación con respecto al del caso lineal. Se aprecian valores mayores para las estructuras de períodos menores a 1.5.

Por regla general, y al igual que en el caso lineal, para los valores de PGA bajos hay mayores diferencias entre el Método ASCE 7 y el Método RMT, y se ubican en la parte inferior de la Tabla 5, en cambio, para los valores de PGA altos hay menores diferencias, por lo que se ubican en la parte superior de la tabla.

Para los valores de F en las respuestas de velocidades, no existen grandes diferencias entre casos lineales y no lineales.

### 6.3. Máximos valores de F para aceleraciones totales.

La tabla 6 muestra los 29 registros obtenidos del IG-EPN ordenados según su PGA (de mayor a menor), la magnitud del valor F (aceleración total) se ve reflejada en su tonalidad, donde el amarillo refleja un valor de  $F_{MAX}$  pequeño y el rojo un valor de  $F_{MAX}$  mayor.

Tabla 5. Valores de F para aceleraciones totales

F ACELERACIÓN TOTAL								
CIUDAD	ESTACIÓN	R=1	R=2	R=3	R=4	R=5	R=6	R=7
PEDERNALES	APED	1.31	1.16	1.12	1.14	1.19	1.23	1.25
PEDERNALES	PDNS	1.34	1.15	1.13	1.14	1.14	1.15	1.14
MANTA	AMNT	1.36	1.17	1.19	1.20	1.21	1.23	1.24
ESMERALDAS	AMA1	1.39	1.17	1.20	1.25	1.24	1.21	1.20
CHONE	ACHN	1.37	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
PORTOVIEJO	APO1	1.39	1.10	1.07	1.06	1.05	1.06	1.06
SANTO DOMINGO	ASDO	1.38	1.35	1.25	1.25	1.24	1.25	1.20
VICHE	AV21	1.39	1.19	1.15	1.14	1.17	1.17	1.16
ESMERALDAS	AES2	1.36	1.18	1.18	1.20	1.20	1.21	1.21
QUININDÉ	AV18	1.39	1.29	1.17	1.17	1.17	1.18	1.19
PEDRO VICENTE MALDONADO	APR2	1.33	1.25	1.25	1.27	1.24	1.26	1.26
GUAYAQUIL	AGY2	1.36	1.31	1.32	1.36	1.36	1.35	1.35
GUAYAQUIL	AGY1	1.40	1.22	1.23	1.18	1.18	1.14	1.14
IBARRA	AIB1	1.41	1.18	1.25	1.29	1.31	1.30	1.29
MILAGRO	AMIL	1.39	1.18	1.17	1.20	1.22	1.24	1.26
OTAVALO	AOTA	1.39	1.29	1.23	1.30	1.32	1.25	1.24
LA LIBERTAD	ALIB	1.39	1.23	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18
GUAYLLABAMBA	AV11	1.38	1.16	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20
AMBATO	AAM2	1.39	1.22	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
CUENCA	ACUE	1.34	1.23	1.22	1.22	1.22	1.22	1.21
IBARRA	AIB2	1.39	1.26	1.23	1.22	1.20	1.22	1.23
LATACUNGA	ALAT	1.35	1.25	1.23	1.25	1.26	1.27	1.28
MACHALA	ACH1	1.40	1.20	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
QUITO	AEPN	1.38	1.14	1.16	1.19	1.20	1.21	1.23
SAN LORENZO	ALOR	1.38	1.37	1.35	1.34	1.32	1.32	1.33
GUAYAQUIL	AGYE	1.37	1.30	1.19	1.13	1.14	1.14	1.16
TULCÁN	ATUL	1.37	1.27	1.27	1.28	1.28	1.28	1.29
LOJA	ALJ1	1.37	1.34	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
PAPALLACTA	APS4	1.40	1.25	1.17	1.22	1.26	1.27	1.27

Los valores más rojizos representan valores más altos, que a su vez representan a los casos donde existe mayor diferencia entre el Método propuesto por ASCE 7 y el Método RMT, se observa una clara diferencia entre el caso lineal y los casos no lineales.

Uno de los registros que muestra mayor contraste entre el caso lineal y los casos no lineales, corresponde al de la ciudad de Guayaquil, (AGY2) acelerógrafo ubicado en el Centro-Sur de la ciudad (Antiguo Estadio Ramón Unamuno). Este registro corresponde a un PGA de categoría 1 (bajo).

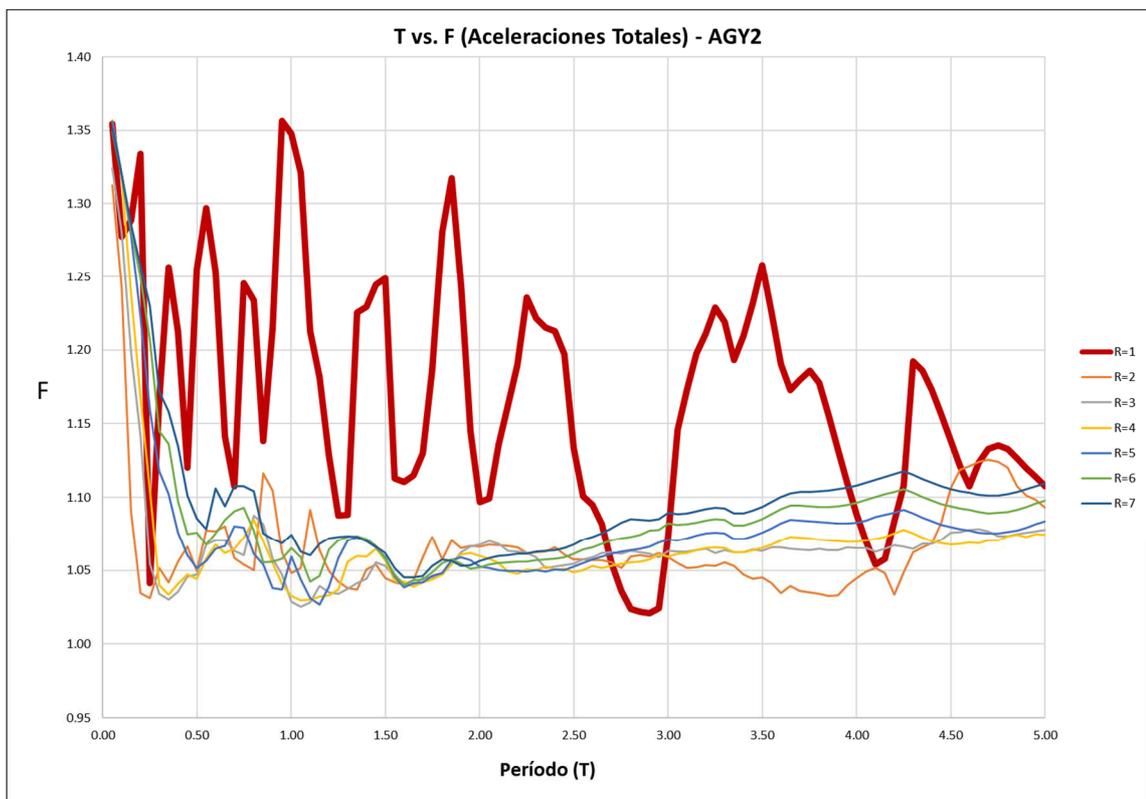


Ilustración 23. Período vs. F para aceleraciones totales (AGY2 – Guayaquil centro)

El registro correspondiente a Guayaquil (AGY2) se muestra en la ilustración 24, los valores de F para el caso lineal tienden a ser mucho mayores que los correspondientes a los casos no lineales, tan solo se asemejan para períodos muy bajos.

La ilustración 25 muestra otro caso donde hubo un claro contraste corresponde al de Portoviejo, cuyo PGA combinado está clasificado como Categoría 3 (alto) según ASCE 7 y como categoría 2 (intermedio) según

el método RMT. Para este caso, los valores de F para el caso lineal comparados con el de los casos no lineales, tienden a ser iguales para períodos mayores a 2, para valores menores, la diferencia incrementa.

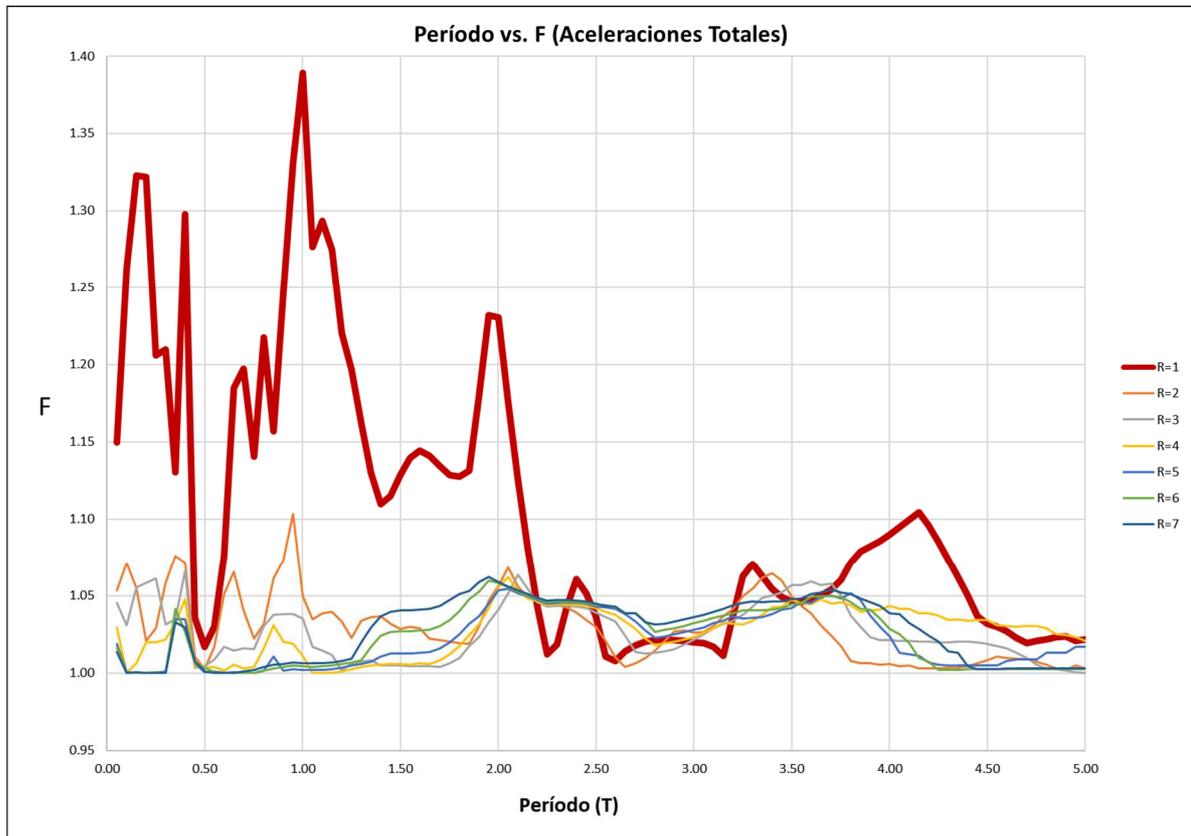


Ilustración 24. Período vs. F para aceleraciones totales (APO1 – Portoviejo)

#### 6.4. Máximos valores de F para ductilidad.

La tabla 7 muestra los 29 registros obtenidos del IG-EPN ordenados según su PGA (de mayor a menor), la magnitud del valor F (aceleración total) se ve reflejada en su tonalidad, donde el amarillo refleja un valor de FMAX pequeño y el rojo un valor de FMAX mayor. En esta tabla no se incluye la columna correspondiente al F del caso lineal (R=1) puesto que, al ser un caso elástico, no hay ductilidad.

Tabla 6. Valores de F para ductilidad

F <sub>DUCTILIDAD</sub>							
CIUDAD	ESTACIÓN	R=2	R=3	R=4	R=5	R=6	R=7
PEDERNALES	APED	1.39	1.38	1.38	1.38	1.38	1.35
PEDERNALES	PDNS	1.36	1.38	1.34	1.35	1.35	1.38
MANTA	AMNT	1.32	1.32	1.35	1.25	1.25	1.23
ESMERALDAS	AMA1	1.27	1.38	1.35	1.36	1.33	1.35
CHONE	ACHN	1.33	1.37	1.40	1.41	1.38	1.32
PORTOVIEJO	APO1	1.29	1.23	1.21	1.24	1.28	1.28
SANTO DOMINGO	ASDO	1.36	1.29	1.33	1.25	1.33	1.33
VICHE	AV21	1.34	1.33	1.40	1.40	1.38	1.34
ESMERALDAS	AES2	1.37	1.32	1.37	1.33	1.35	1.34
QUININDÉ	AV18	1.34	1.34	1.33	1.37	1.34	1.32
PEDRO VICENTE MALDONADO	APR2	1.37	1.35	1.30	1.31	1.37	1.37
GUAYAQUIL	AGY2	1.36	1.34	1.40	1.37	1.35	1.35
GUAYAQUIL	AGY1	1.31	1.40	1.40	1.38	1.38	1.39
IBARRA	AIB1	1.36	1.30	1.28	1.27	1.23	1.34
MILAGRO	AMIL	1.38	1.38	1.37	1.32	1.30	1.22
OTAVALO	AOTA	1.33	1.35	1.37	1.34	1.33	1.35
LA LIBERTAD	ALIB	1.34	1.31	1.29	1.34	1.37	1.39
GUAYLLABAMBA	AV11	1.33	1.33	1.35	1.39	1.40	1.36
AMBATO	AAM2	1.38	1.33	1.38	1.39	1.35	1.37
CUENCA	ACUE	1.37	1.36	1.37	1.31	1.40	1.33
IBARRA	AIB2	1.34	1.37	1.33	1.36	1.31	1.33
LATACUNGA	ALAT	1.36	1.36	1.35	1.38	1.38	1.37
MACHALA	ACH1	1.39	1.34	1.39	1.40	1.40	1.40
QUITO	AEPN	1.43	1.37	1.39	1.39	1.34	1.40
SAN LORENZO	ALOR	1.37	1.39	1.33	1.38	1.34	1.40
GUAYAQUIL	AGYE	1.35	1.33	1.35	1.31	1.26	1.27
TULCÁN	ATUL	1.39	1.37	1.31	1.39	1.33	1.38
LOJA	ALJ1	1.35	1.31	1.34	1.30	1.29	1.26
PAPALLACTA	APS4	1.38	1.37	1.31	1.27	1.24	1.27

Los valores más altos corresponden a los casos donde existe mayor diferencia entre el Método propuesto por ASCE 7 y el Método RMT para casos no lineales para la respuesta de ductilidades.

El valor de  $F$  oscila alrededor de 1.34 para todos los casos, no se obtuvieron resultados concluyentes que relacionen el PGA con el valor de  $F$ .

Si se analizan las diferencias entre el Período y el valor de  $F$  para los diferentes valores de  $R$ , tampoco se obtienen resultados concluyentes. Las ilustraciones 26 y 27 muestran como varía esta relación, para los casos de Quito y Portoviejo, en ambos casos se aprecia como fluctúa el valor de  $F$  sin que el período incida en dicho valor.

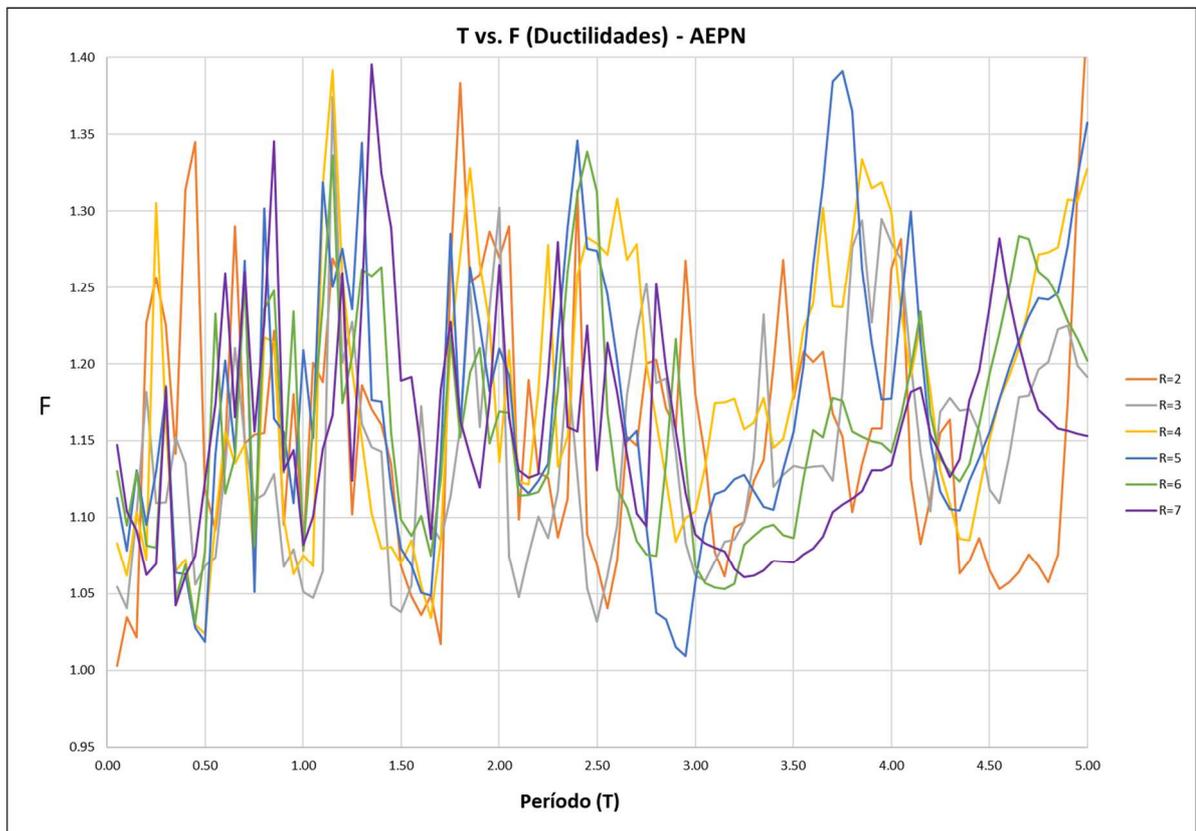
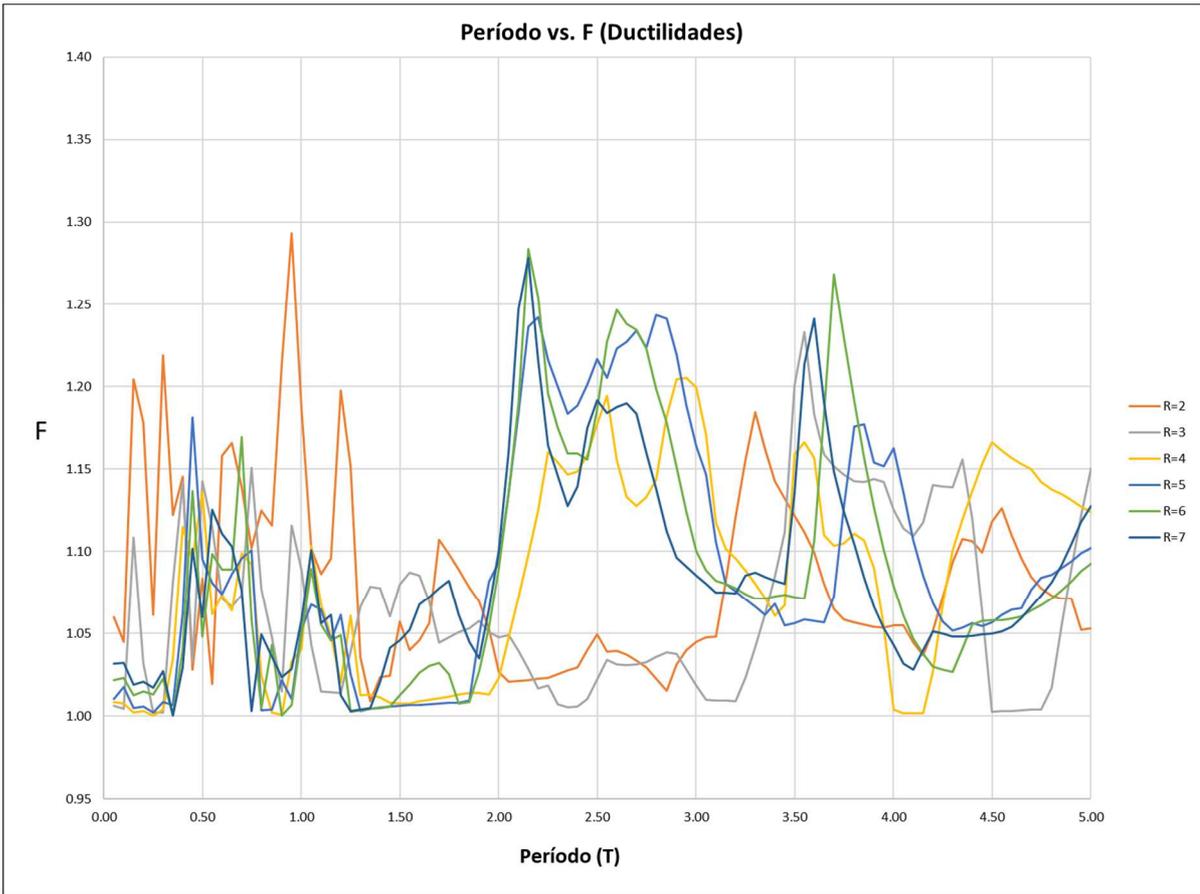


Ilustración 25. Período vs.  $F$  para ductilidades (AEPN – Quito)



*Ilustración 26. Período vs. F para ductilidades (APO1 – Portoviejo)*

### 6.5. Análisis de la respuesta combinada de desplazamientos.

Para realizar un análisis de la respuesta combinada de desplazamientos, se seleccionó el registro AGY2, correspondiente a Guayaquil (Centro). Esto debido a que es un registro donde se observan claramente 3 tipos de comportamientos.

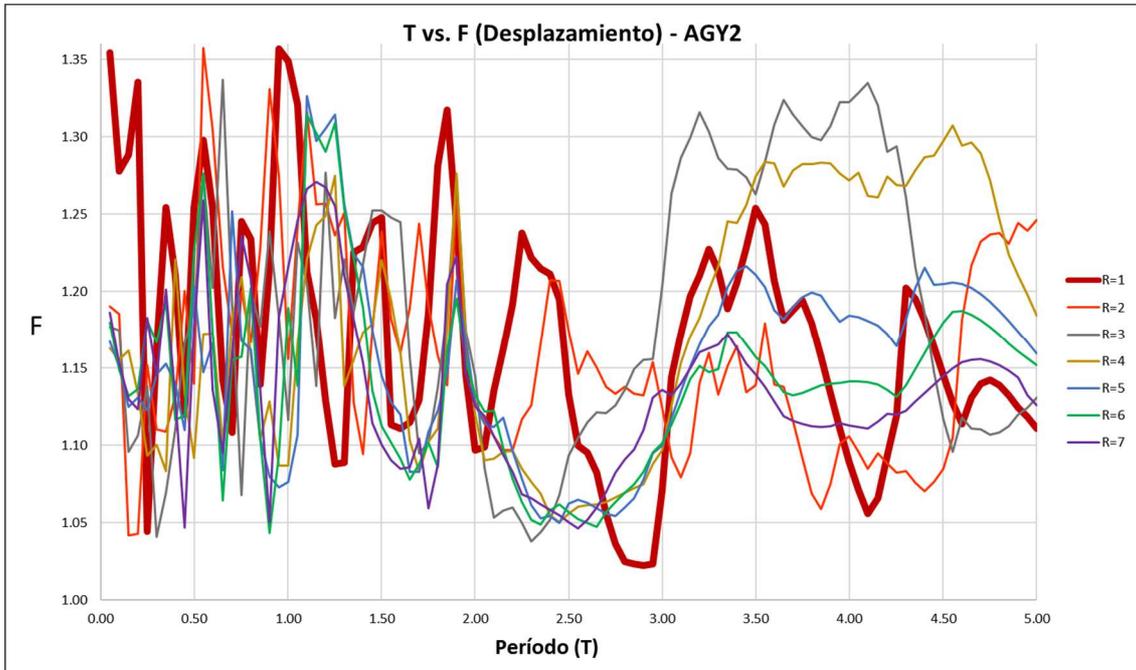


Ilustración 27. Variación de F (MAX) según el Período - AGY2

#### 6.5.1. Zona donde el factor $F_{MAX}$ para el caso lineal es menor que para los casos no lineales.

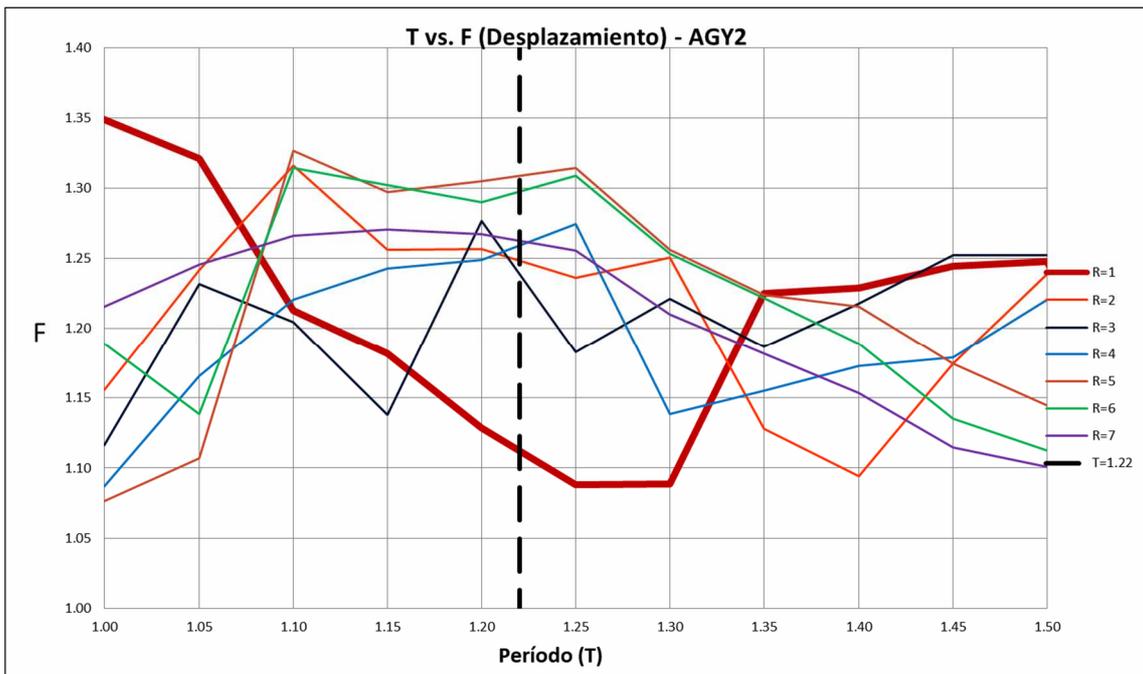


Ilustración 28. Variación de F - AGY2

La ilustración 28 muestra la variación del factor F para varios periodos correspondientes a la estación AGY2. Se ha escogido estudiar la respuesta para el periodo 1.22 donde el valor de F máximo de la respuesta lineal es menor a los casos no lineales.

La ilustración 29 muestra la respuesta combinada de desplazamientos para el caso lineal ( $R=1$ ). Se observa una forma elíptica, lo que según las conclusiones de Lascano (2018), resulta en un valor de F bajo, tal como se muestra en la Tabla 7.

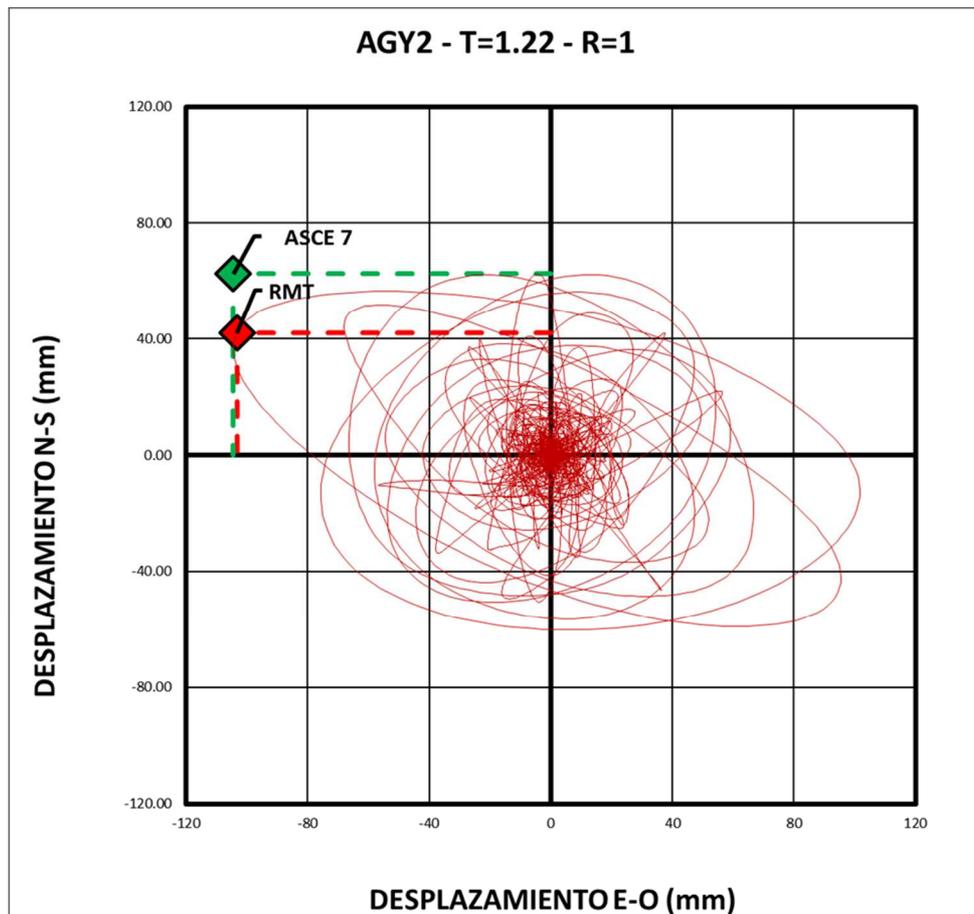


Ilustración 29. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=1.22, R=1)

Tabla 7. Factor F (AGY2, T=1.22, R=1)

<b>ASCE 7</b>	<b>MAX EO</b>	-104.416	mm
	<b>MAX NS</b>	62.53	mm
	<b>COMB</b>	121.71	mm
<b>RMT</b>	<b>MAX EO</b>	-103.249	mm
	<b>MAX NS</b>	42.04	mm
	<b>COMB</b>	111.48	mm
<b>F</b>	<b>1.09</b>		

La ilustración 30 muestra la respuesta combinada de desplazamientos para el caso no lineal de  $R=3$ , se observa que la forma elíptica empieza a “redondearse” lo que según las conclusiones de Lascano (2018), resulta en un valor de  $F$  más alto que en el caso lineal, tal como se muestra en la Tabla 8.

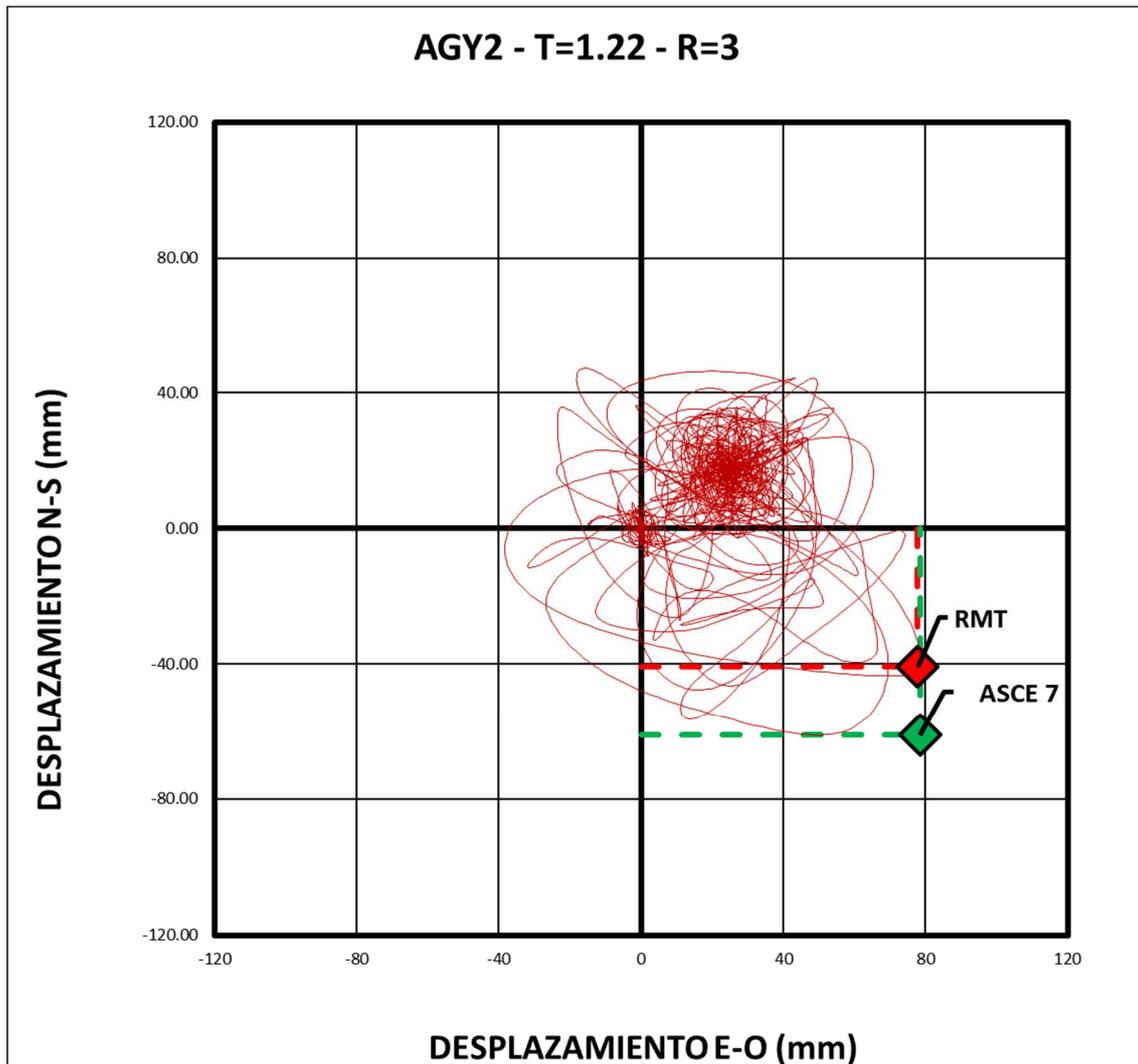


Ilustración 30. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2,  $T=1.22$ ,  $R=3$ )

Tabla 8. Factor  $F$  (AGY2,  $T=1.22$ ,  $R=3$ )

<b>ASCE 7</b>	<b>MAX EO</b>	78.47075	mm
	<b>MAX NS</b>	-61.16	mm
	<b>COMB</b>	99.49	mm
<b>RMT</b>	<b>MAX EO</b>	77.85667	mm
	<b>MAX NS</b>	-40.92	mm
	<b>COMB</b>	87.96	mm
<b>F</b>	<b>1.13</b>		

La ilustración 31 muestra la respuesta combinada de desplazamientos para el caso no lineal de  $R=5$ , se observa un comportamiento aún más redondeado, lo que según las conclusiones de Lascano (2018), resulta en un valor de  $F$  mayor, tal como se muestra en la Tabla 9.

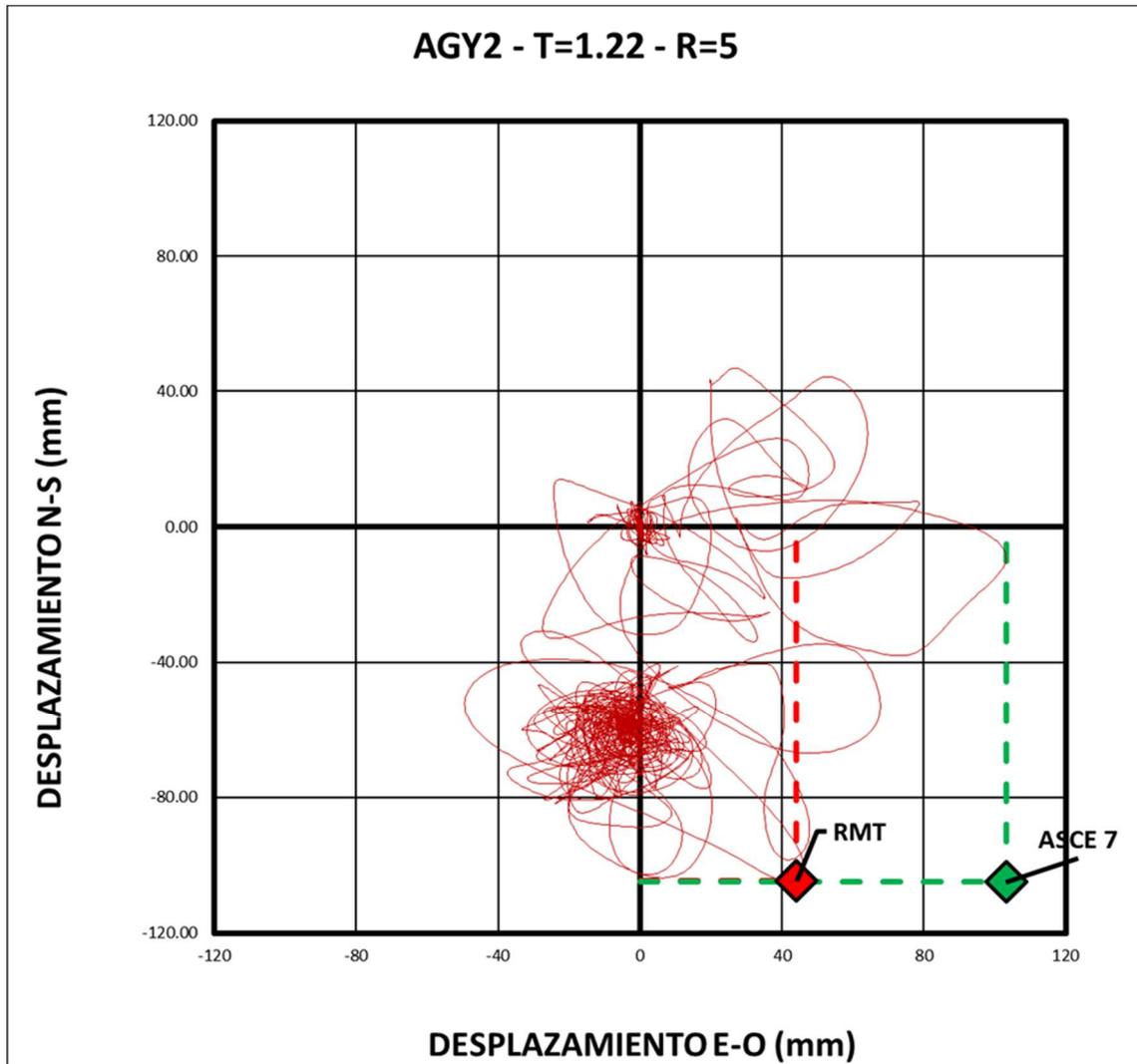


Ilustración 31. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2,  $T=1.22$ ,  $R=5$ )

Tabla 9. Factor  $F$  (AGY2,  $T=1.22$ ,  $R=5$ )

<b>ASCE 7</b>	<b>MAX EO</b>	103.2011	mm
	<b>MAX NS</b>	-105.01	mm
	<b>COMB</b>	147.23	mm
<b>RMT</b>	<b>MAX EO</b>	44.03562	mm
	<b>MAX NS</b>	-104.66	mm
	<b>COMB</b>	113.55	mm
<b>F</b>	<b>1.30</b>		

**6.5.2. Zona donde el factor  $F_{MAX}$  para el caso lineal es mayor que para los casos no lineales.**

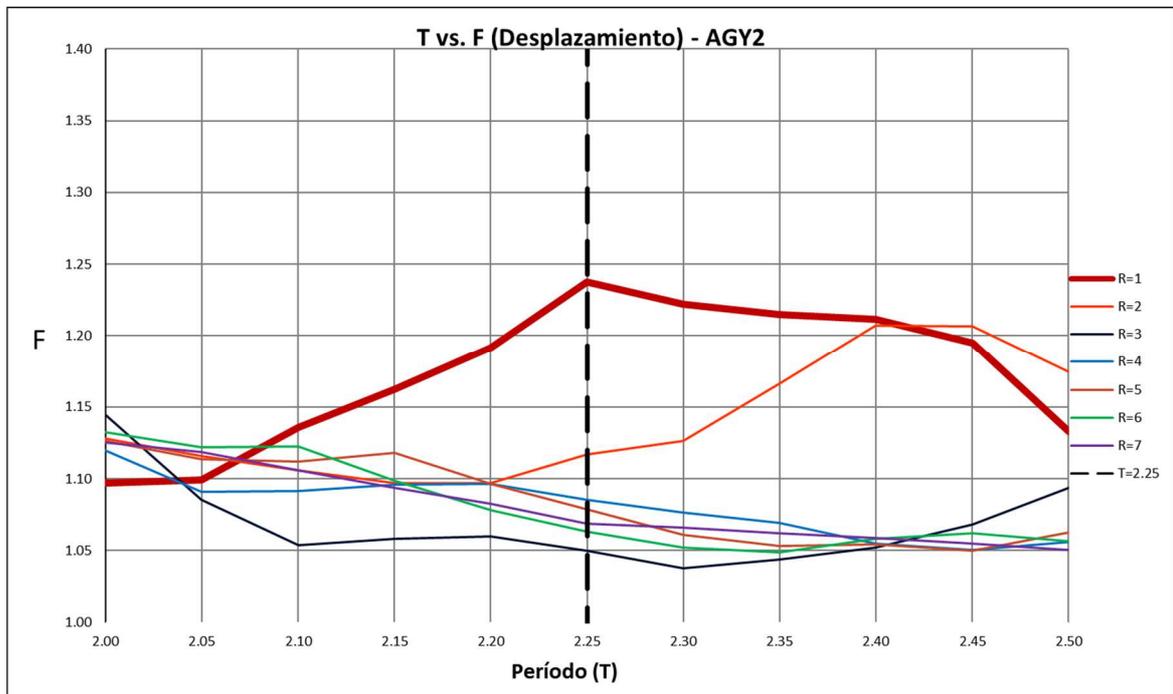
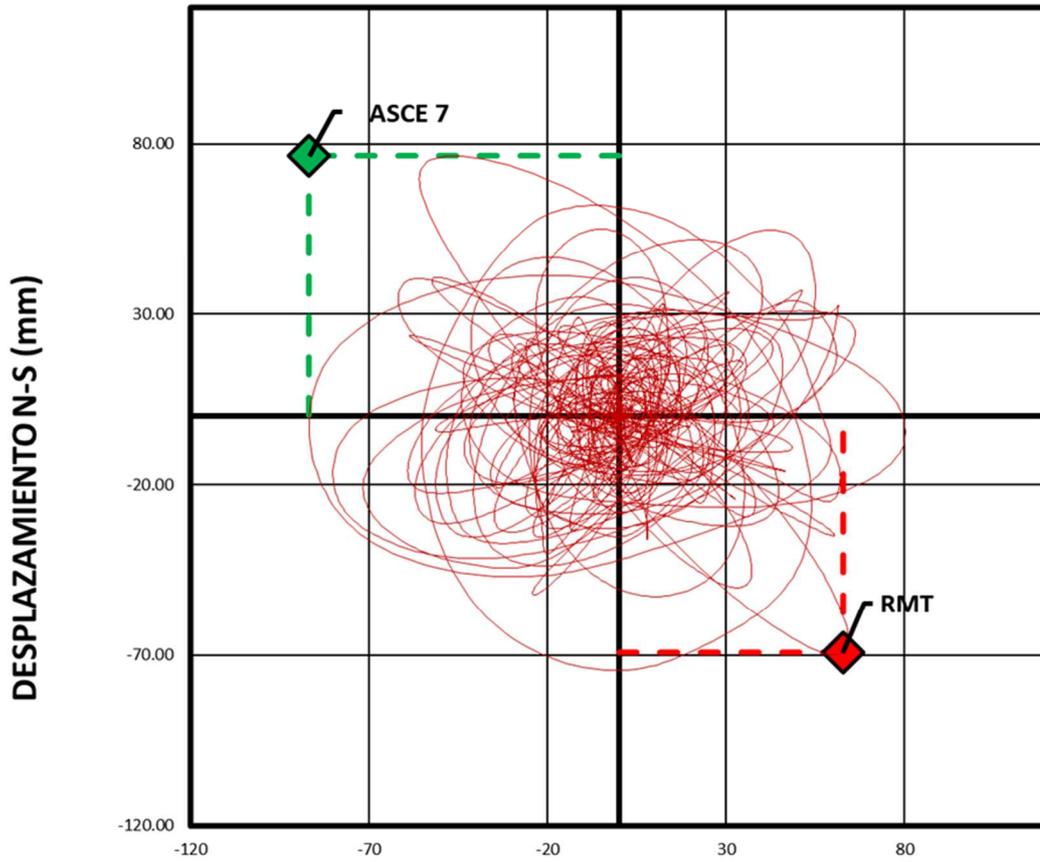


Ilustración 32. Variación de F – AGY2

La ilustración 32 muestra la variación del factor F para un rango de periodos de 2.00 a 2.50 segundos; se analizará el caso correspondiente al período 2.25 donde el valor de F del caso lineal es mayor a los casos no lineales.

La ilustración 33 muestra la respuesta combinada de desplazamientos para el caso lineal (R=1). Se observa una forma relativamente circular, el valor de F se muestra en la Tabla 10.

### AGY2 - T=2.25 - R=1



### DESPLAZAMIENTO E-O (mm)

Ilustración 33. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=2.25, R=1)

Tabla 10. Factor F (AGY2, T=2.25, R=1)

<b>ASCE 7</b>	<b>MAX EO</b>	-86.846	mm
	<b>MAX NS</b>	76.48	mm
	<b>COMB</b>	115.72	mm
<b>RMT</b>	<b>MAX EO</b>	62.69389	mm
	<b>MAX NS</b>	-69.35	mm
	<b>COMB</b>	93.49	mm
<b>F</b>	<b>1.24</b>		

La ilustración 34 muestra la respuesta combinada de desplazamientos para el caso no lineal de  $R=3$ , se observa una forma elíptica, lo que según las conclusiones de Lascano (2018), resulta en un valor de  $F$  bajo, tal como se muestra en la Tabla 11.

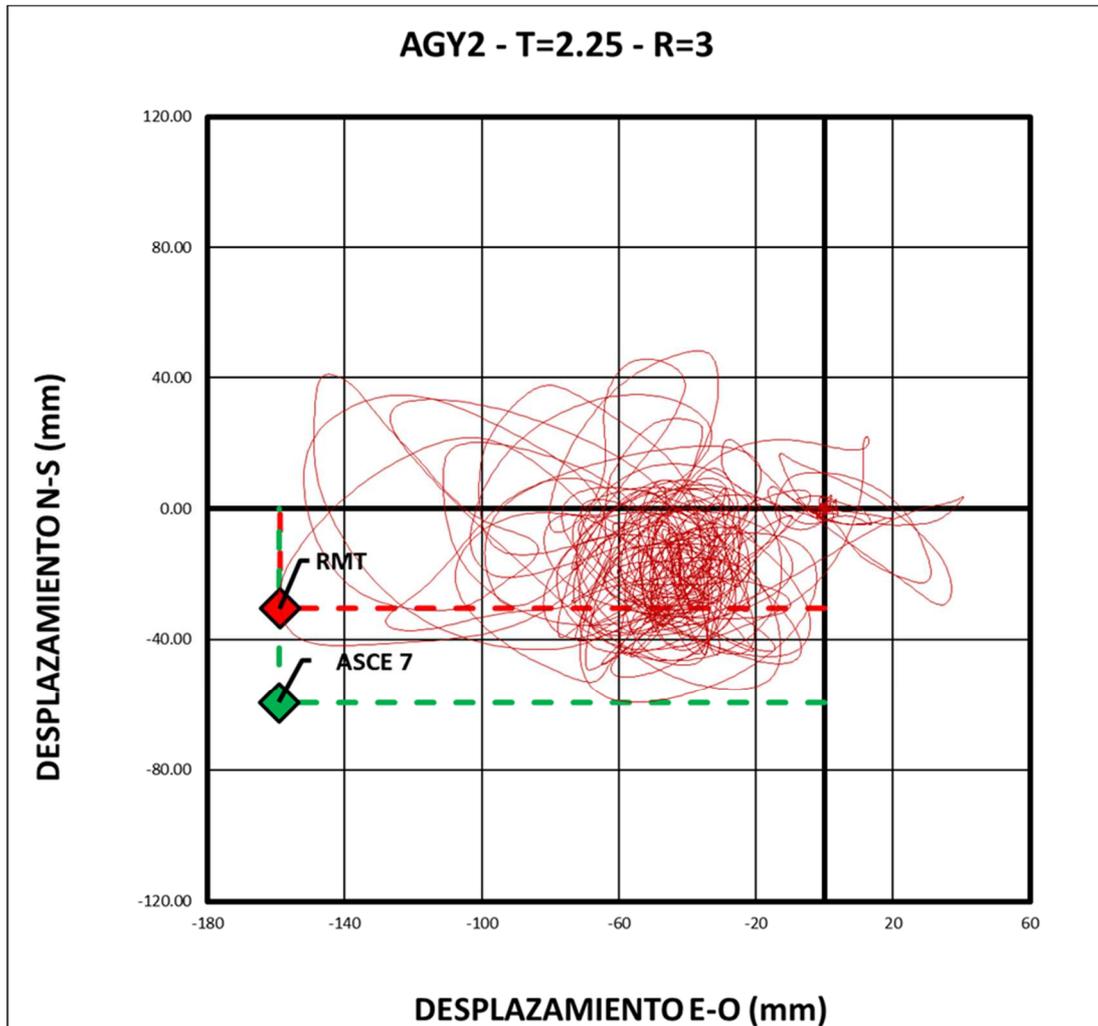


Ilustración 34. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2,  $T=2.25$ ,  $R=3$ )

Tabla 11. Factor  $F$  (AGY2,  $T=2.25$ ,  $R=3$ )

<b>ASCE 7</b>	<b>MAX EO</b>	-159.161	mm
	<b>MAX NS</b>	-59.35	mm
	<b>COMB</b>	169.87	mm
<b>RMT</b>	<b>MAX EO</b>	-158.888	mm
	<b>MAX NS</b>	-30.52	mm
	<b>COMB</b>	161.79	mm
<b>F</b>	<b>1.05</b>		

La ilustración 35 muestra la respuesta combinada de desplazamientos para el caso no lineal de  $R=5$ , se observa una forma elíptica, lo que según las conclusiones de Lascano (2018), resulta en un valor de  $F$  bajo, tal como se muestra en la Tabla 12.

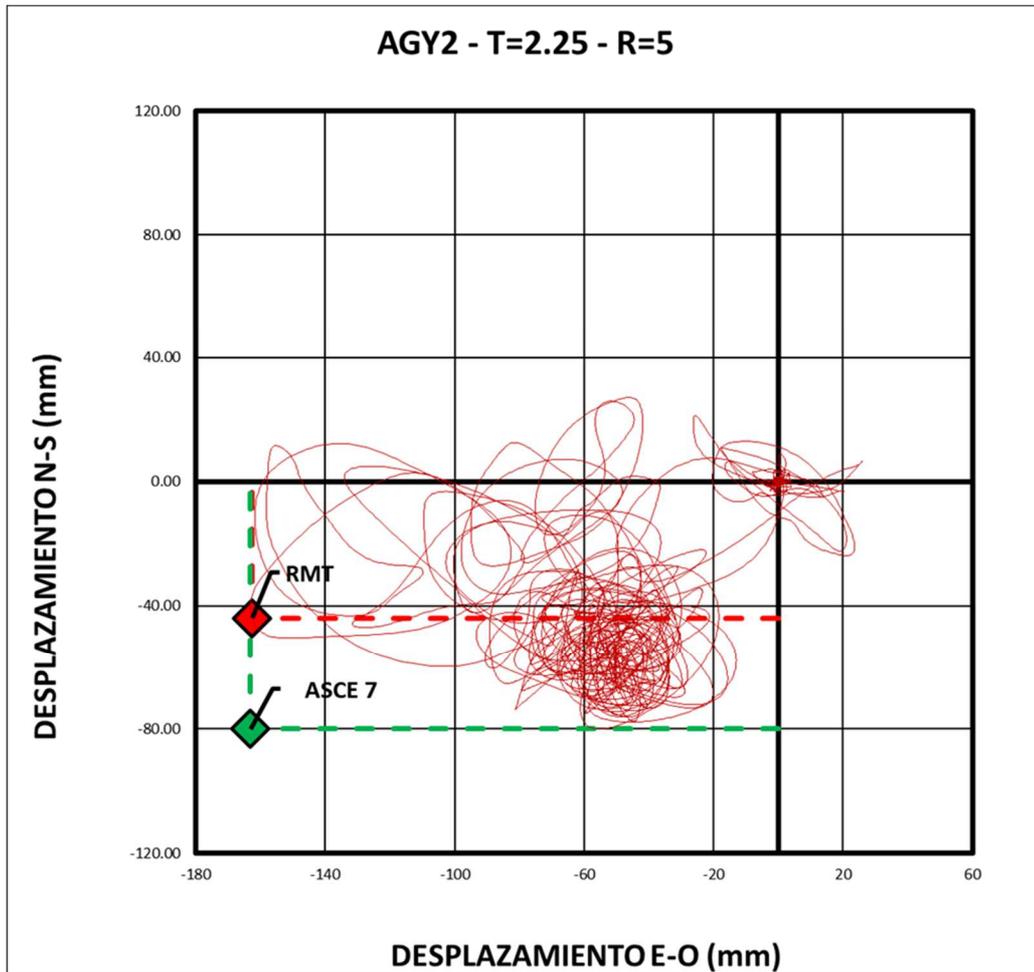


Ilustración 35. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2,  $T=2.25$ ,  $R=5$ )

Tabla 12. Factor  $F$  (AGY2,  $T=2.25$ ,  $R=5$ )

<b>ASCE 7</b>	<b>MAX EO</b>	-163.101	mm
	<b>MAX NS</b>	-80.01	mm
	<b>COMB</b>	181.67	mm
<b>RMT</b>	<b>MAX EO</b>	-162.625	mm
	<b>MAX NS</b>	-43.96	mm
	<b>COMB</b>	168.46	mm
<b>F</b>	<b>1.08</b>		

### 6.5.3. Zona con valores de $F_{MAX}$ similares entre el caso lineal y los casos no lineales.

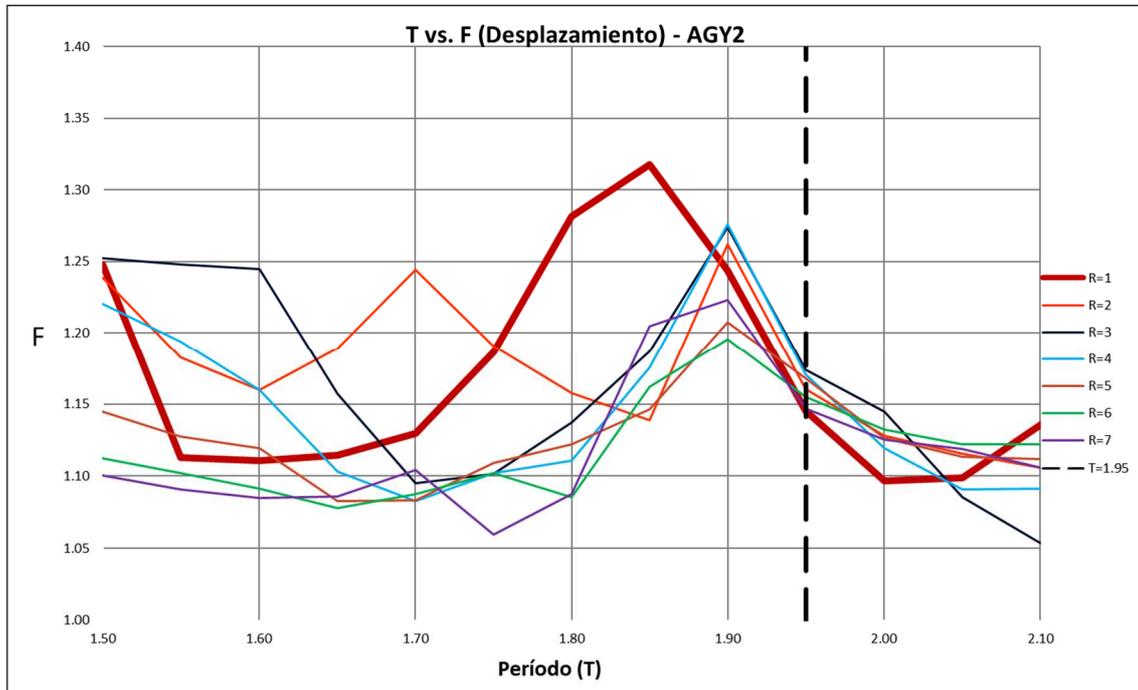


Ilustración 36. Variación de  $F$  – AGY2

La ilustración 36 muestra la variación del factor  $F$  para una serie de períodos correspondientes a la estación AGY2, para períodos de entre 1.5 y 2.1, se analizará el caso correspondiente al período 1.95.

La ilustración 37 muestra la respuesta combinada de desplazamientos para el caso lineal ( $R=1$ ). Se observa una forma entre circular y elíptica, el valor de  $F$  se muestra en la Tabla 7.

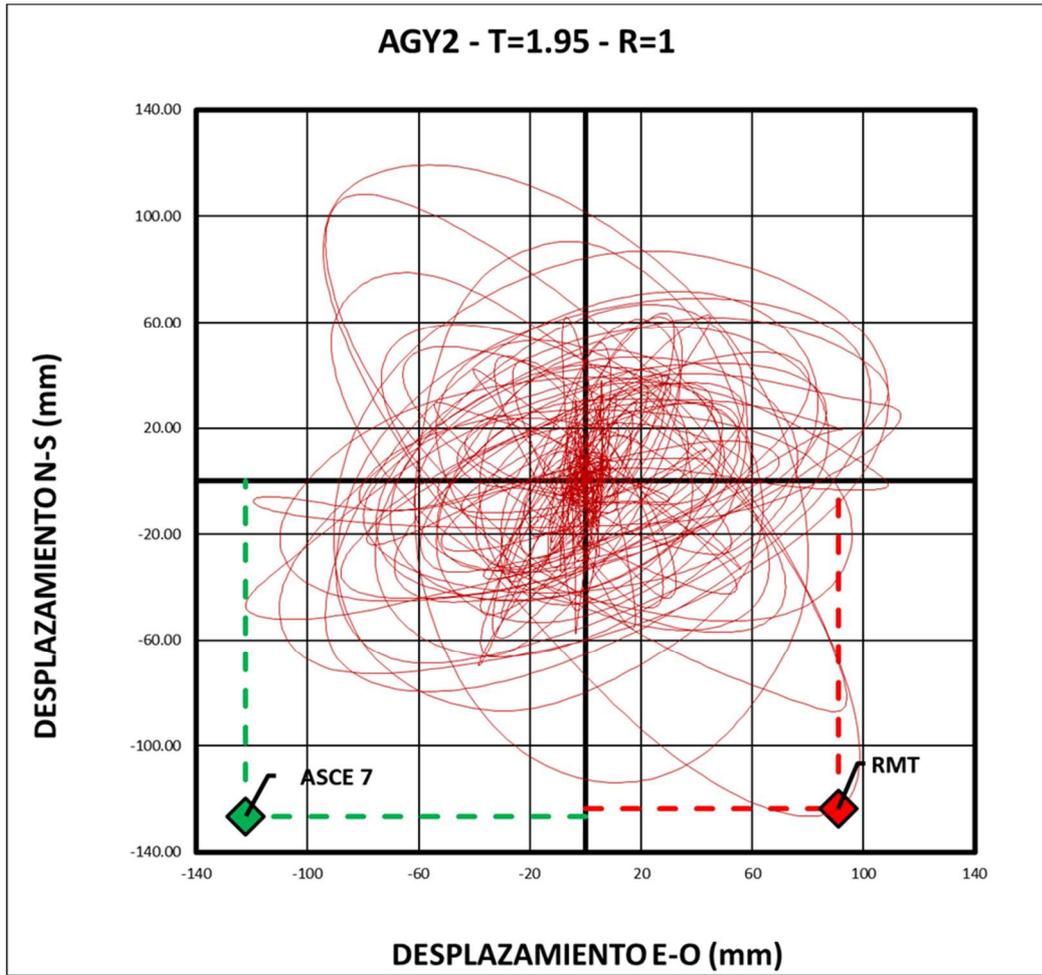


Ilustración 37. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=2.25, R=1)

Tabla 13. Factor F (AGY2, T=2.25, R=1)

<b>ASCE 7</b>	<b>MAX EO</b>	-122.132	mm
	<b>MAX NS</b>	-126.47	mm
	<b>COMB</b>	175.81	mm
<b>RMT</b>	<b>MAX EO</b>	90.83435	mm
	<b>MAX NS</b>	-123.74	mm
	<b>COMB</b>	153.50	mm
<b>F</b>	<b>1.15</b>		

La ilustración 38 muestra la respuesta combinada de desplazamientos para el caso lineal (R=3). Como se pudo observar en la ilustración 36, los valores de F para todos los valores de R son muy parecidos, por tanto, es de esperarse que el comportamiento sea parecido. En esta ilustración, se observa que a pesar que el comportamiento ha cambiado, su forma general se mantiene. La tabla 14 muestra los valores de F para este caso.

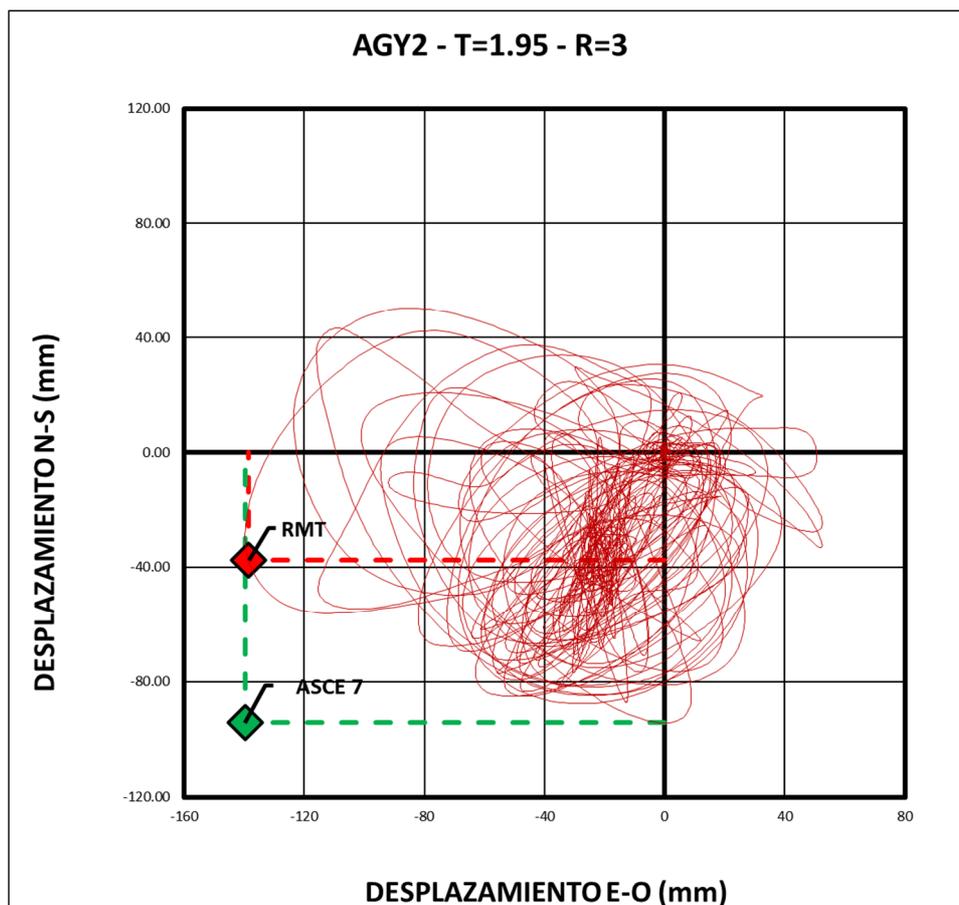


Ilustración 38. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=1.95, R=3)

Tabla 14. Factor F (AGY2, T=1.95, R=3)

<b>ASCE 7</b>	<b>MAX EO</b>	-139.675	mm
	<b>MAX NS</b>	-94.31	mm
	<b>COMB</b>	168.53	mm
<b>RMT</b>	<b>MAX EO</b>	-138.517	mm
	<b>MAX NS</b>	-37.59	mm
	<b>COMB</b>	143.53	mm
<b>F</b>	<b>1.17</b>		

La ilustración 39 muestra la respuesta combinada de desplazamientos para el caso lineal (R=5). Como se pudo observar en la ilustración 36, los valores de F para todos los valores de R son muy parecidos, por tanto, es de esperarse que el comportamiento sea parecido. En esta ilustración, se observa que a pesar que el comportamiento ha cambiado, su forma general se mantiene. La tabla 15 muestra los valores de F para este caso.

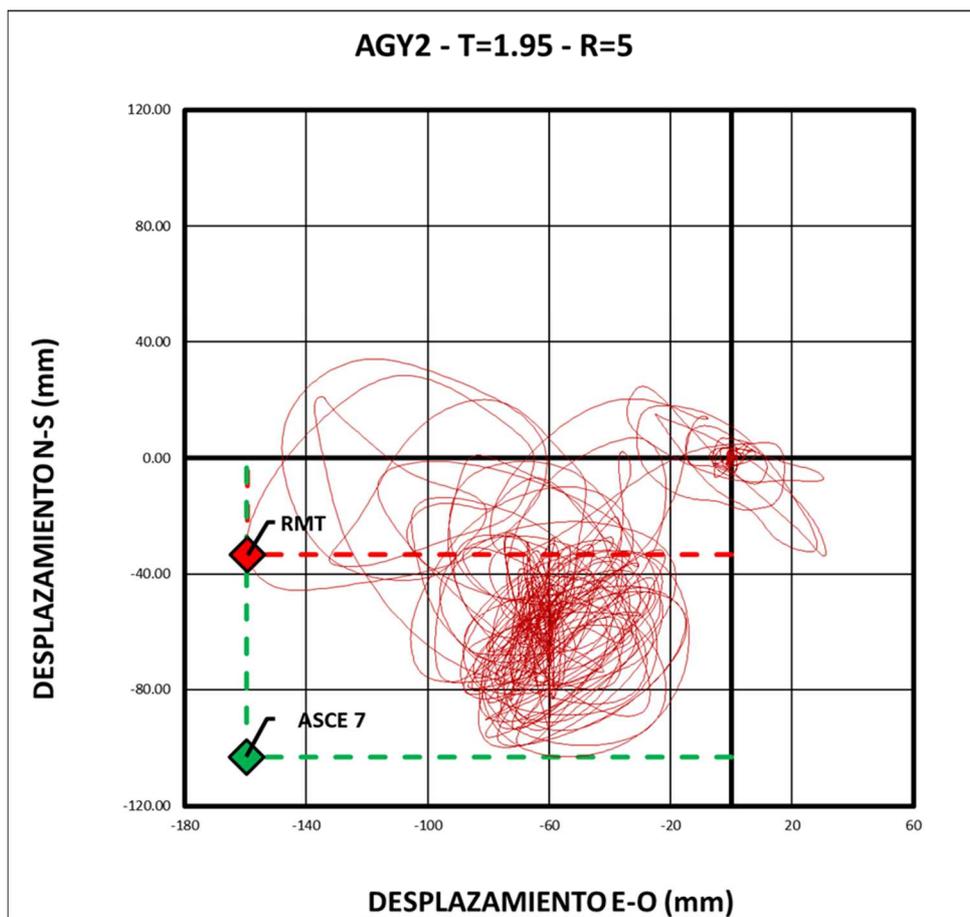


Ilustración 39. Respuesta combinada de desplazamientos (AGY2, T=1.95, R=5)

Tabla 15. Factor F (AGY2, T=1.95, R=5)

<b>ASCE 7</b>	<b>MAX EO</b>	-159.649	mm
	<b>MAX NS</b>	-103.14	mm
	<b>COMB</b>	190.07	mm
<b>RMT</b>	<b>MAX EO</b>	-159.273	mm
	<b>MAX NS</b>	-33.31	mm
	<b>COMB</b>	162.72	mm
<b>F</b>	<b>1.17</b>		

## CAPÍTULO 7

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 7.1. Conclusiones.

- Para las respuestas no lineales de desplazamientos, y velocidades el método ASCE 7 sobreestima la respuesta real en alrededor de un 34%, un valor similar para el del caso elástico, donde se sobreestima la respuesta en alrededor de 37%. Al igual que en el caso lineal, mientras mayor sea el valor del PGA, la sobrestimación tiende a ser menor.
- Debido a la naturaleza de la metodología empleada en el presente trabajo, al realizar la combinatoria tienden a existir desplazamientos inelásticos permanentes.
- Para las respuestas no lineales de aceleraciones totales, el método ASCE 7 sobreestima la respuesta real en alrededor de un 22%, un valor muy inferior que el promedio de los obtenidos para el del caso elástico, donde se sobreestima la respuesta en alrededor de 38%. A mayor valor de R, la sobrestimación tiende a ser menor.
- Para las respuestas de ductilidades, no se obtuvieron datos concluyentes que relacionen el PGA con la variación del Método ASCE 7 con respecto al Método RMT. Sin embargo, se puede concluir que los valores máximos están sobreestimados alrededor de un 34% para todos los casos, sin importar la magnitud de su PGA.
- En líneas generales, y para cualquier tipo de respuesta, el método RMT es altamente recomendable para combinación espectral elástica e inelástica de registros con PGA bajos, ya que, para estos casos, la sobrestimación que hace ASCE 7 es muy alta.

## **7.2.Recomendaciones.**

- Analizar registros diferentes a los del sismo de Pedernales
- Estudiar la posibilidad de fluencia en un plano ajeno al de los ejes ortogonales.
- Estudiar el método RMT considerando valores de  $f_y$  iguales para ambos sentidos, en consecuencia, valores de R distintos para cada dirección.
- Investigar la influencia de parámetros geotécnicos, como el tipo de suelo, en las diferencias entre el método RMT y SRSS.

## REFERENCIAS

- Chopra, A. K. (2014). Dinámica de estructuras. México: Pearson.
- Laurendeau, A., Singaicho, J., & Ruiz, M. (2016, mayo 20). Observaciones del sismo del 16 de abril de 2016 de magnitud Mw 7.8. Intensidades y aceleraciones. Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional.
- Wakabayashi, M. (1986). Design of earthquake-resistant buildings. New York: McGraw-Hill.
- Lascano, G. (2018). Combinación de componentes horizontales de registros sísmicos considerando la dirección y tiempo donde se producen las aceleraciones máximas. Comparación con el método de combinación espectral SRSS (ASCE 7). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10125>
- Bray, J. (2018, julio). Deterministic Design Rock Motions & Near-Fault Forward-Directivity Pulse Motions. Geotechnical Earthquake Engineering International Course. Guayaquil, Ecuador.
- Lara, O., Hernández, J. & Toro, D. (2018, septiembre). Bases para el predimensionamiento del Sistema de aislación. Presentado en Taller de Ingeniería Sísmica «Jorge Nuques Cobo», Cámara de la construcción de Guayaquil.
- Moore, H. (2007). MATLAB para ingenieros. México: Pearson Prentice Hall.
- Newmark, N.M. y Hall W.J. (1982). Earthquake Spectra and Design. EERI Monograph Series, EERI, Oakland, California.

## **ANEXOS**

En los anexos a continuación se muestran los programas en MATLAB realizados en el desarrollo de este trabajo de titulación, además se muestran los resultados calculados para todos los registros obtenidos del sismo del 16 de abril del 2016.

## Programa en MATLAB: COMB\_Response\_NNL (Cálculo de respuestas combinadas)

```
clear all %#ok<CLALL>
clc

disp('Este programa calcula las respuestas de estructuras ante el Sismo del 16/04
(Ecuador)');

dat=0;
while dat~=31
    disp('1) Pedernales (APED)');
    disp('2) Pedernales Norte (PDNS)');
    disp('3) Manta (AMNT)');
    disp('4) Chone (ACHN)');
    disp('5) Portoviejo (APO1)');
    disp('6) Esmeraldas, Puerto Balao (AMA1)');
    disp('7) Esmeraldas (AES2)');
    disp('8) Quinindé (AV18)');
    disp('9) Viche - Esmeraldas (AV21)');
    disp('10) Santo Domingo (ASDO)');
    disp('11) Guayaquil Centro (AGY2)');
    disp('12) Guayaquil Sur (AGY1)');
    disp('13) Guayaquil Norte (AGYE)');
    disp('14) Ibarra - Centro (AIB1)');
    disp('15) Ibarra - Ext. PUCE (AIB2)');
    disp('16) Milagro (AMIL)');
    disp('17) La Libertad (ALIB)');
    disp('18) Otavalo (AOTA)');
    disp('19) Cuenca (ACUE)');
    disp('20) Ambato (AAM2)');
    disp('21) Latacunga (ALAT)');
    disp('22) San Lorenzo (ALOR)');
    disp('23) Machala (ACH1)');
    disp('24) Quito - EPN (AEPN)');
    disp('25) Tulcán (ATUL)');
    disp('26) Loja (ALJ1)');
    disp('27) Pedro Vicente Maldonado - Pichincha (APR2)');
    disp('28) Guayllabamba - Pichincha (AV11)');
    disp('29) Papallacta - Napo (APS4)');
    disp('30) Registro Particular');
    disp('31) Salir');

    dat=input('Elija una opción: ');

    switch dat
        case 1
            load('APEDE.mat');
            load('APEDN.mat');
            RegistroEO=APEDE;
            RegistroNS=APEDN;
            disp('Pedernales');
            disp('RENAC');
            dt=0.01;
            break
```

```

case 2
    load('PDNSE.mat');
    load('PDNSN.mat');
    RegistroEO=PDNSE;
    RegistroNS=PDNSN;
    disp('Pedernales norte, Ruta del Spondylus');
    disp('ADN');
    dt=0.008;
    break

case 3
    load('AMNTE.mat');
    load('AMNTN.mat');
    RegistroEO=AMNTE;
    RegistroNS=AMNTN;
    disp('Manta');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 4
    load('ACHNE.mat');
    load('ACHNN.mat');
    RegistroEO=ACHNE;
    RegistroNS=ACHNN;
    disp('Chone');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 5
    load('APO1E.mat');
    load('APO1N.mat');
    RegistroEO=APO1E;
    RegistroNS=APO1N;
    disp('Portoviejo');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 6
    load('AMA1E.mat');
    load('AMA1N.mat');
    RegistroEO=AMA1E;
    RegistroNS=AMA1N;
    disp('Esmeraldas, Puerto Balao');
    disp('OCP');
    dt=0.01;
    break

case 7
    load('AES2E.mat');
    load('AES2N.mat');
    RegistroEO=AES2E;
    RegistroNS=AES2N;
    disp('Esmeraldas');
    disp('RENAC');

```

```

dt=0.01;
break

case 8
load('AV18E.mat');
load('AV18N.mat');
RegistroE0=AV18E;
RegistroNS=AV18N;
disp('Quinindé');
disp('OCP');
dt=0.01;
break

case 9
load('AV21E.mat');
load('AV21N.mat');
RegistroE0=AV21E;
RegistroNS=AV21N;
disp('Viche, Esmeraldas');
disp('OCP');
dt=0.01;
break

case 10
load('ASDOE.mat');
load('ASDON.mat');
RegistroE0=ASDOE;
RegistroNS=ASDON;
disp('Santo Domingo');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 11
load('AGY2E.mat');
load('AGY2N.mat');
RegistroE0=AGY2E;
RegistroNS=AGY2N;
disp('Guayaquil Centro (R. Unamuno)');
disp('Suelo blando');
dt=0.01;
break

case 12
load('AGY1E.mat');
load('AGY1N.mat');
RegistroE0=AGY1E;
RegistroNS=AGY1N;
disp('Guayaquil sur (Fertisa)');
disp('Suelo blando');
dt=0.01;
break

case 13
load('AGYEE.mat');
load('AGYEN.mat');
RegistroE0=AGYEE;

```

```

RegistroNS=AGYEN;
disp('Guayaquil Norte (Pascuales)');
disp('Suelo firme');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 14
load('AIB1E.mat');
load('AIB1N.mat');
RegistroEO=AIB1E;
RegistroNS=AIB1N;
disp('Ibarra (Centro)');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 15
load('AIB2E.mat');
load('AIB2N.mat');
RegistroEO=AIB2E;
RegistroNS=AIB2N;
disp('Ibarra (PUCE)');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 16
load('AMILE.mat');
load('AMILN.mat');
RegistroEO=AMILE;
RegistroNS=AMILN;
disp('Milagro (R. Astudillo)');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 17
load('ALIBE.mat');
load('ALIBN.mat');
RegistroEO=ALIBE;
RegistroNS=ALIBN;
disp('La Libertad');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 18
load('AOTAE.mat');
load('AOTAN.mat');
RegistroEO=AOTAE;
RegistroNS=AOTAN;
disp('Otavalo');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

```

```

case 19
    load('ACUEE.mat');
    load('ACUEN.mat');
    RegistroEO=ACUEE;
    RegistroNS=ACUEN;
    disp('Cuenca');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 20
    load('AAM2E.mat');
    load('AAM2N.mat');
    RegistroEO=AAM2E;
    RegistroNS=AAM2N;
    disp('Ambato');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 21
    load('ALATE.mat');
    load('ALATN.mat');
    RegistroEO=ALATE;
    RegistroNS=ALATN;
    disp('Latacunga');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 22
    load('ALORE.mat');
    load('ALORN.mat');
    RegistroEO=ALORE;
    RegistroNS=ALORN;
    disp('San Lorenzo');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 23
    load('ACH1E.mat');
    load('ACH1N.mat');
    RegistroEO=ACH1E;
    RegistroNS=ACH1N;
    disp('Machala');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 24
    load('EPNLE.mat');
    load('EPNLN.mat');
    RegistroEO=EPNLE;
    RegistroNS=EPNLN;
    disp('Quito (EPN)');
    disp('RENAC');

```

```

dt=0.01;
break

case 25
load('ATULE.mat');
load('ATULN.mat');
RegistroEO=ATULE;
RegistroNS=ATULN;
disp('Tulcán');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 26
load('ALJ1E.mat');
load('ALJ1N.mat');
RegistroEO=ALJ1E;
RegistroNS=ALJ1N;
disp('Loja');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 27
load('APR2E.mat');
load('APR2N.mat');
RegistroEO=APR2E;
RegistroNS=APR2N;
disp('Pedro Vicente Maldonado (Pichincha)');
disp('OCP');
dt=0.01;
break

case 28
load('AV11E.mat');
load('AV11N.mat');
RegistroEO=AV11E;
RegistroNS=AV11N;
disp('Guayllabamba (Pichincha)');
disp('OCP');
dt=0.01;
break

case 29
load('APS4E.mat');
load('APS4N.mat');
RegistroEO=APS4E;
RegistroNS=APS4N;
disp('Papallacta (Napo)');
disp('OCP');
dt=0.01;
break

case 30
disp('Registro particular');
dt=input('Ingrese el dt de su registro: ');
RegistroEO=RX;

```

```

RegistroNS=RY;

    otherwise
        disp('Saliendo...');
        exit
    end
end

[VCol_E0] = Peer_Vcol(RegistroE0);
[VCol_NS] = Peer_Vcol(RegistroNS);

T=input('Ingrese el Periodo a Analizar: ');
FactorR=input('Ingrese el valor del Factor R: ');

m=1; % Valor de
la masa asumido
wn=(2*pi)./T; % Frecuencia
natural de la estructura
k=m*(wn^2); % Rigidez
inicial (En estado lineal) asumida
xi=0.05; %
Amortiguamiento para el caso de una estructura de concreto (5%)
ce=2*xi*wn; % Valor del
coeficiente de amortiguamiento viscoso

%*****
%***** PARTE LINEAL *****
%*****

[f,c]=size(VCol_E0);
[f21,c21]=size(VCol_NS);

% Asignación de memoria

l_u_E0=zeros(f,c); % u ->
Desplazamiento
l_u1_E0=zeros(f,c); % u1 ->
velocidad
l_u2_E0=zeros(f,c); % u2 ->
Aceleración
l_fs_E0=zeros(f,c); % fs ->
Fuerza restauradora estática
l_pc_E0=zeros(f,c); % pc ->
Fuerza excitadora

l_u_NS=zeros(f,c); % u ->
Desplazamiento
l_u1_NS=zeros(f,c); % u1 ->
velocidad
l_u2_NS=zeros(f,c); % u2 ->
Aceleración
l_fs_NS=zeros(f,c); % fs ->
Fuerza restauradora estática
l_pc_NS=zeros(f,c); % pc ->
Fuerza excitadora

% Valores iniciales

```

```

l_fso_EO=0; % Valor
inicial de la fuerza restauradora estática
l_uo_EO=0; %
Desplazamiento inicial
l_u1o_EO=0; %
Velocidad inicial
l_u2o_EO=(-(VCo1_EO(1,1))-(ce*l_u1o_EO)-(l_fso_EO))./m;
% Aceleración inicial

l_u_EO(1)=l_uo_EO; %
Asignación del desplazamiento inicial
l_u1_EO(1)=l_u1o_EO; %
Asignación de la velocidad inicial
l_u2_EO(1)=l_u2o_EO; %
Asignación de la aceleración inicial
l_pc_EO(1)=0; %
Asignación de la fuerza excitadora inicial

l_fso_NS=0; % Valor
inicial de la fuerza restauradora estática
l_uo_NS=0; %
Desplazamiento inicial
l_u1o_NS=0; %
Velocidad inicial
l_u2o_NS=(-(VCo1_NS(1,1))-(ce*l_u1o_NS)-(l_fso_NS))./m;
% Aceleración inicial

l_u_NS(1)=l_uo_NS; %
Asignación del desplazamiento inicial
l_u1_NS(1)=l_u1o_NS; %
Asignación de la velocidad inicial
l_u2_NS(1)=l_u2o_NS; %
Asignación de la aceleración inicial
l_pc_NS(1)=0; %
Asignación de la fuerza excitadora inicial

% Constantes (simplificadas, ya que para el método de la aceleración promedio constante
gamma= 0.5 y beta=0.25)

l_a1=(4./(dt.^2)).*m+(2.*ce./dt);
l_a2=(4.*m./(dt))+ce);
l_a3=(m);
ks=k+l_a1;

for i=1:f-1
    l_pc_EO(i+1)=-(VCo1_EO(i+1))+l_a1.*l_u_EO(i)+l_a2.*l_u1_EO(i)+l_a3.*l_u2_EO(i);
    l_u_EO(i+1)=l_pc_EO(i+1)./ks;
    l_u1_EO(i+1)=((2/(dt)).*(l_u_EO(i+1)-l_u_EO(i)))-l_u1_EO(i);
    l_u2_EO(i+1)=((4/(dt^2)).*(l_u_EO(i+1)-l_u_EO(i)))-((4.*l_u1_EO(i))/dt)-l_u2_EO(i);
    l_fs_EO(i+1)=k.*l_u_EO(i+1);

    l_pc_NS(i+1)=-(VCo1_NS(i+1))+l_a1.*l_u_NS(i)+l_a2.*l_u1_NS(i)+l_a3.*l_u2_NS(i);
    l_u_NS(i+1)=l_pc_NS(i+1)./ks;
    l_u1_NS(i+1)=((2/(dt)).*(l_u_NS(i+1)-l_u_NS(i)))-l_u1_NS(i);
    l_u2_NS(i+1)=((4/(dt^2)).*(l_u_NS(i+1)-l_u_NS(i)))-((4.*l_u1_NS(i))/dt)-l_u2_NS(i);
    l_fs_NS(i+1)=k.*l_u_NS(i+1);

```

```

end

%*****
%***** PARTE NO LINEAL *****
%*****

fy_E0=(max(abs(l_fs_E0(:,1))))/FactorR;
fy_NS=(max(abs(l_fs_NS(:,1))))/FactorR;

Er=(10^-3);

% Asignación de memoria
u_E0=zeros(f,c); % u ->
Desplazamiento
u1_E0=zeros(f,c); % u1 ->
Velocidad
u2_E0=zeros(f,c); % u2 ->
Aceleración
du_E0=zeros(f,c); % du ->
Desfase de los desplazamientos
fs_E0=zeros(f,c); % fs ->
Fuerza restauradora estática
kT_E0=zeros(f,c); % kT ->
Rigidez tangente
kTs_E0=zeros(f,c); % kTs ->
Rigidez secante
pc_E0=zeros(f,c); % pc ->
Fuerza excitadora
R_E0=ones(f,c); % R ->
Fuerza residual

u_NS=zeros(f,c); % u ->
Desplazamiento
u1_NS=zeros(f,c); % u1 ->
Velocidad
u2_NS=zeros(f,c); % u2 ->
Aceleración
du_NS=zeros(f,c); % du ->
Desfase de los desplazamientos
fs_NS=zeros(f,c); % fs ->
Fuerza restauradora estática
kT_NS=zeros(f,c); % kT ->
Rigidez tangente
kTs_NS=zeros(f,c); % kTs ->
Rigidez secante
pc_NS=zeros(f,c); % pc ->
Fuerza excitadora
R_NS=ones(f,c); % R ->
Fuerza residual

% Valores iniciales

fso=0; % Valor
inicial de la fuerza restauradora estática
kTo=k; % Rigidez
tangente inicial

```

```

uo=0; %
Desplazamiento inicial
u1o=0; % Velocidad
inicial
u2o_EO=(-(VCol_EO(1,1))-(ce*u1o)-(fso))./m; %
Aceleración inicial
u2o_NS=(-(VCol_NS(1,1))-(ce*u1o)-(fso))./m; %
Aceleración inicial

u_EO(1)=uo; %
Asignación del desplazamiento inicial
u1_EO(1)=u1o; %
Asignación de la velocidad inicial
u2_EO(1)=u2o_EO; %
Asignación de la aceleración inicial
fs_EO(1)=fso; %
Asignación de la fuerza restauradora estática inicial
kT_EO(1)=kTo; %
Asignación de la rigidez tangente inicial
kTs_EO(1)=0; %
Asignación de la rigidez secante inicial
pc_EO(1)=0; %
Asignación de la fuerza excitadora inicial
R_EO(1)=0; %
Asignación de la fuerza residual inicial

u_NS(1)=uo; %
Asignación del desplazamiento inicial
u1_NS(1)=u1o; %
Asignación de la velocidad inicial
u2_NS(1)=u2o_NS; %
Asignación de la aceleración inicial
fs_NS(1)=fso; %
Asignación de la fuerza restauradora estática inicial
kT_NS(1)=kTo; %
Asignación de la rigidez tangente inicial
kTs_NS(1)=0; %
Asignación de la rigidez secante inicial
pc_NS(1)=0; %
Asignación de la fuerza excitadora inicial
R_NS(1)=0; %
Asignación de la fuerza residual inicial

% Constantes (simplificadas, ya que para el método de la aceleración promedio constante
gamma= 0.5 y beta=0.25)

a1=(4./(dt.^2)).*m+(2.*ce./dt);
a2=(4.*m./(dt))+ce;
a3=(m);

for i=1:f-1 % Primera
Iteración (i)
pc_EO(i+1)=(-(VCol_EO(i+1)))+(a1*u_EO(i))+(a2*u1_EO(i))+(a3*u2_EO(i));
u_EO(i+1)=u_EO(i);
fs_EO(i+1)=fs_EO(i);
kT_EO(i+1)=kT_EO(i);

```

```

while (max(abs(R_EO(i+1)))>Er) % Segunda
Iteración (j) (Newton Raphson)
    R_EO(i+1)=pc_EO(i+1)-fs_EO(i+1)-a1.*u_EO(i+1);
    kTs_EO(i+1)=kT_EO(i+1)+a1;
    du_EO(i+1)=R_EO(i+1)./kTs_EO(i+1);
    u_EO(i+1)=u_EO(i+1)+du_EO(i+1); %
Cálculo del desplazamiento
    fs_EO(i+1)=fs_EO(i)+k.*(u_EO(i+1)-u_EO(i));
% Cálculo de la fuerza restauradora estática

    if abs(fs_EO(i+1))>=fy_EO %
Definición de la no linealidad
    if fs_EO(i+1)<0
        fs_EO(i+1)=-fy_EO;
        kT_EO(i+1)=0;
    else
        fs_EO(i+1)=fy_EO;
        kT_EO(i+1)=0;
    end
else
    continue
end

end

u1_EO(i+1)=((2/(dt)).*(u_EO(i+1)-u_EO(i)))-u1_EO(i);
% Cálculo de la velocidad
u2_EO(i+1)=((4/(dt^2)).*(u_EO(i+1)-u_EO(i)))-((4.*u1_EO(i))/dt)-u2_EO(i);
% Cálculo de la aceleración
end

clear i;

for i=1:f-1 % Primera
Iteración (i)
    pc_NS(i+1)=(-(VCo1_NS(i+1)))+(a1*u_NS(i))+(a2*u1_NS(i))+(a3*u2_NS(i));
    u_NS(i+1)=u_NS(i);
    fs_NS(i+1)=fs_NS(i);
    kT_NS(i+1)=kT_NS(i);

    while (max(abs(R_NS(i+1)))>Er) % Segunda
Iteración (j) (Newton Raphson)
        R_NS(i+1)=pc_NS(i+1)-fs_NS(i+1)-a1.*u_NS(i+1);
        kTs_NS(i+1)=kT_NS(i+1)+a1;
        du_NS(i+1)=R_NS(i+1)./kTs_NS(i+1);
        u_NS(i+1)=u_NS(i+1)+du_NS(i+1); %
Cálculo del desplazamiento
        fs_NS(i+1)=fs_NS(i)+k.*(u_NS(i+1)-u_NS(i));
% Cálculo de la fuerza restauradora estática

        if abs(fs_NS(i+1))>=fy_NS %
Definición de la no linealidad
        if fs_NS(i+1)<0
            fs_NS(i+1)=-fy_NS;
            kT_NS(i+1)=0;
        else
            fs_NS(i+1)=fy_NS;

```

```

        kT_NS(i+1)=0;
    end
    else
        continue
    end

end

u1_NS(i+1)=((2/(dt)).*(u_NS(i+1)-u_NS(i)))-u1_NS(i);
% Cálculo de la velocidad
u2_NS(i+1)=((4/(dt^2)).*(u_NS(i+1)-u_NS(i)))-((4.*u1_NS(i))/dt)-u2_NS(i);
% Cálculo de la aceleración
end

uy_EO=fy_EO/k;
umax_EO=max(abs(u_EO));
mi_EO=(umax_EO)/(uy_EO);

disp('La ductilidad del sistema en X es: ');
disp(mi_EO);

uy_NS=fy_NS/k;
umax_NS=max(abs(u_NS));
mi_NS=(umax_NS)/(uy_NS);

disp('La ductilidad del sistema en Y es: ');
disp(mi_NS);

pos_d_EO=find(abs(u_EO)==umax_EO);
pos_d_NS=find(abs(u_NS)==umax_NS);

maximu1=sqrt((umax_EO.^2)+((u_NS(pos_d_EO)).^2));
maximu2=sqrt((umax_NS.^2)+((u_EO(pos_d_NS)).^2));

SRSS_d=sqrt((umax_EO^2)+(umax_NS^2));
RMT_d=max(maximu1,maximu2);

disp('Máximo valor del desplazamiento combinado según ASCE 7: ');
disp(SRSS_d);
disp('Máximo valor del desplazamiento combinado según RMT: ');
disp(RMT_d);

plot(u_EO,u_NS)

```

## Programa en MATLAB: COMB\_SPECTRUM\_NNL (Cálculo de Combinación espectral)

```
*****
%**      Espectros de Respuesta no lineales de combinación de      **
%**      componentes horizontales de registros sísmicos usando el  **
%**      Método de Respuestas Máximas en el Tiempo (RMT)         **
%**      @David Ávila - UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL **
*****

%*****
% Este programa realiza la combinación espectral de las componentes **
% horizontales de los registros sísmicos - sismo del 16/04/16 (ECUADOR) **
%*****

% INPUTS:
% Componente Este-Oeste del Registro Sísmico
% Componente Norte-Sur del Registro Sísmico
% dt -> Intervalo de tiempo del Registro
% tf -> Periodo hasta el cual se busca calcular el espectro
% paso -> Intervalo entre Periodos

% OUTPUTS:
% espec_d -> Espectro de desplazamientos, Método RMT
% SRSS_d -> Espectro de desplazamientos, Método ASCE 7-10
% espec_v -> Espectro de velocidades, Método RMT
% SRSS_v -> Espectro de velocidades, Método ASCE 7-10
% espec_a -> Espectro de aceleraciones, Método RMT
% SRSS_a -> Espectro de aceleraciones, Método ASCE 7-10
% espec_aT -> Espectro de aceleraciones totales, Método RMT
% SRSS_aT -> Espectro de aceleraciones totales, Método ASCE 7-10
% espec_mi -> Espectro de ductilidad, Método RMT
% SRSS_mi -> Espectro de ductilidad, Método ASCE 7-10

disp('Combinación espectral lineal/no lineal según ASCE y RMT');
disp('Este programa tiene precargados los datos del sismo del 16/04/16 (Ecuador)');
disp('En caso de usar un registro particular, salga del programa y antes de
ejecutarlo');
disp('cargue los registros en el workspace (como matrices), nómbrelos de la siguiente
manera: ');
disp('RX -> Componente Este-Oeste del registro');
disp('RY -> Componente Norte-Sur del registro');
disp('seleccione una ciudad o el registro particular previamente cargado: ');

dat=0;
while dat~=31
    disp('1) Pedernales (APED)');
    disp('2) Pedernales Norte (PDNS)');
    disp('3) Manta (AMNT)');
    disp('4) Chone (ACHN)');
    disp('5) Portoviejo (AP01)');
    disp('6) Esmeraldas, Puerto Balao (AMA1)');
    disp('7) Esmeraldas (AES2)');
    disp('8) Quinindé (AV18)');
    disp('9) Viche - Esmeraldas (AV21)');
    disp('10) Santo Domingo (ASDO)');
    disp('11) Guayaquil Centro (AGY2)');
```

```

disp('12) Guayaquil Sur (AGY1)');
disp('13) Guayaquil Norte (AGYE)');
disp('14) Ibarra - Centro (AIB1)');
disp('15) Ibarra - Ext. PUCE (AIB2)');
disp('16) Milagro (AMIL)');
disp('17) La Libertad (ALIB)');
disp('18) Otavalo (AOTA)');
disp('19) Cuenca (ACUE)');
disp('20) Ambato (AAM2)');
disp('21) Latacunga (ALAT)');
disp('22) San Lorenzo (ALOR)');
disp('23) Machala (ACH1)');
disp('24) Quito - EPN (AEPN)');
disp('25) Tulcán (ATUL)');
disp('26) Loja (ALJ1)');
disp('27) Pedro Vicente Maldonado - Pichincha (APR2)');
disp('28) Guayllabamba - Pichincha (AV11)');
disp('29) Papallacta - Napo (APS4)');
disp('30) Registro Particular');
disp('31) Salir');

dat=input('Elija una opción: ');

switch dat

    case 1
        load('APEDE.mat');
        load('APEDN.mat');
        RegistroEO=APEDE;
        RegistroNS=APEDN;
        disp('Pedernales');
        disp('RENAC');
        dt=0.01;
        break

    case 2
        load('PDNSE.mat');
        load('PDNSN.mat');
        RegistroEO=PDNSE;
        RegistroNS=PDNSN;
        disp('Pedernales norte, Ruta del spondylus');
        disp('ADN');
        dt=0.008;
        break

    case 3
        load('AMNTE.mat');
        load('AMNTN.mat');
        RegistroEO=AMNTE;
        RegistroNS=AMNTN;
        disp('Manta');
        disp('RENAC');
        dt=0.01;
        break

    case 4
        load('ACHNE.mat');

```

```

    load('ACHNN.mat');
    RegistroE0=ACHNE;
    RegistroNS=ACHNN;
    disp('Chone');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 5
    load('APO1E.mat');
    load('APO1N.mat');
    RegistroE0=APO1E;
    RegistroNS=APO1N;
    disp('Portoviejo');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 6
    load('AMA1E.mat');
    load('AMA1N.mat');
    RegistroE0=AMA1E;
    RegistroNS=AMA1N;
    disp('Esmeraldas, Puerto Balao');
    disp('OCP');
    dt=0.01;
    break

case 7
    load('AES2E.mat');
    load('AES2N.mat');
    RegistroE0=AES2E;
    RegistroNS=AES2N;
    disp('Esmeraldas');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 8
    load('AV18E.mat');
    load('AV18N.mat');
    RegistroE0=AV18E;
    RegistroNS=AV18N;
    disp('Quinindé');
    disp('OCP');
    dt=0.01;
    break

case 9
    load('AV21E.mat');
    load('AV21N.mat');
    RegistroE0=AV21E;
    RegistroNS=AV21N;
    disp('Viche, Esmeraldas');
    disp('OCP');
    dt=0.01;
    break

```

```

case 10
    load('ASDOE.mat');
    load('ASDON.mat');
    RegistroEO=ASDOE;
    RegistroNS=ASDON;
    disp('Santo Domingo');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 11
    load('AGY2E.mat');
    load('AGY2N.mat');
    RegistroEO=AGY2E;
    RegistroNS=AGY2N;
    disp('Guayaquil Centro (R. Unamuno)');
    disp('Suelo blando');
    dt=0.01;
    break

case 12
    load('AGY1E.mat');
    load('AGY1N.mat');
    RegistroEO=AGY1E;
    RegistroNS=AGY1N;
    disp('Guayaquil Sur (Fertisa)');
    disp('Suelo blando');
    dt=0.01;
    break

case 13
    load('AGYEE.mat');
    load('AGYEN.mat');
    RegistroEO=AGYEE;
    RegistroNS=AGYEN;
    disp('Guayaquil Norte (Pascuales)');
    disp('Suelo firme');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 14
    load('AIB1E.mat');
    load('AIB1N.mat');
    RegistroEO=AIB1E;
    RegistroNS=AIB1N;
    disp('Ibarra (Centro)');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 15
    load('AIB2E.mat');
    load('AIB2N.mat');
    RegistroEO=AIB2E;
    RegistroNS=AIB2N;

```

```

disp('Ibarra (PUCE)');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 16
load('AMILE.mat');
load('AMILN.mat');
RegistroEO=AMILE;
RegistroNS=AMILN;
disp('Milagro (R. Astudillo)');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 17
load('ALIBE.mat');
load('ALIBN.mat');
RegistroEO=ALIBE;
RegistroNS=ALIBN;
disp('La Libertad');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 18
load('AOTAE.mat');
load('AOTAN.mat');
RegistroEO=AOTAE;
RegistroNS=AOTAN;
disp('Otavalo');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 19
load('ACUEE.mat');
load('ACUEN.mat');
RegistroEO=ACUEE;
RegistroNS=ACUEN;
disp('Cuenca');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 20
load('AAM2E.mat');
load('AAM2N.mat');
RegistroEO=AAM2E;
RegistroNS=AAM2N;
disp('Ambato');
disp('RENAC');
dt=0.01;
break

case 21
load('ALATE.mat');

```

```

    load('ALATN.mat');
    RegistroEO=ALATE;
    RegistroNS=ALATN;
    disp('Latacunga');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 22
    load('ALORE.mat');
    load('ALORN.mat');
    RegistroEO=ALORE;
    RegistroNS=ALORN;
    disp('San Lorenzo');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 23
    load('ACH1E.mat');
    load('ACH1N.mat');
    RegistroEO=ACH1E;
    RegistroNS=ACH1N;
    disp('Machala');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 24
    load('EPNLE.mat');
    load('EPNLN.mat');
    RegistroEO=EPNLE;
    RegistroNS=EPNLN;
    disp('Quito (EPN)');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 25
    load('ATULE.mat');
    load('ATULN.mat');
    RegistroEO=ATULE;
    RegistroNS=ATULN;
    disp('Tulcán');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

case 26
    load('ALJ1E.mat');
    load('ALJ1N.mat');
    RegistroEO=ALJ1E;
    RegistroNS=ALJ1N;
    disp('Loja');
    disp('RENAC');
    dt=0.01;
    break

```

```

case 27
    load('APR2E.mat');
    load('APR2N.mat');
    RegistroEO=APR2E;
    RegistroNS=APR2N;
    disp('Pedro Vicente Maldonado (Pichincha)');
    disp('OCP');
    dt=0.01;
    break

case 28
    load('AV11E.mat');
    load('AV11N.mat');
    RegistroEO=AV11E;
    RegistroNS=AV11N;
    disp('Guayllabamba (Pichincha)');
    disp('OCP');
    dt=0.01;
    break

case 29
    load('APS4E.mat');
    load('APS4N.mat');
    RegistroEO=APS4E;
    RegistroNS=APS4N;
    disp('Papallacta (Napo)');
    disp('OCP');
    dt=0.01;
    break

case 30
    disp('Registro particular');
    dt=input('Ingrese el dt de su registro: ');
    RegistroEO=RX;
    RegistroNS=RY;

otherwise
    disp('Saliendo...');
    exit

end
end

tf=5;
%%%%%%%%%%tf=input('Ingrese el Periodo Final: ');
% Período hasta el cual se calcula el espectro
paso=0.05;
%%%%%%%%%%paso=input('Ingrese el "paso": ');
% Intervalo entre Periodos del espectro

fin=tf/paso;
% Número de
Periodos

global FactorR
FactorR=input('Ingrese el valor del Factor R: ');
% Factor de
Reducción

```

```

[VCo1_EO] = Peer_Vco1(RegistroEO); % Registro
en dirección Este-Oeste
[VCo1_NS] = Peer_Vco1(RegistroNS); % Registro
en dirección Norte-Sur

pga_EO=max(abs(VCo1_EO(:))); % PGA -
Componente Este-Oeste
pos_pga_EO=find(abs(VCo1_EO)==pga_EO); % Posición
del PGA (EO) en el vector de Aceleraciones
disp('PGA de la Componente EO: ');
disp(pga_EO);

pga_NS=max(abs(VCo1_NS(:))); % PGA -
Componente Norte-Sur
pos_pga_NS=find(abs(VCo1_NS)==pga_NS); % Posición
del PGA (NS) en el vector de Aceleraciones
disp('PGA de la Componente NS: ');
disp(pga_NS);

pga_ASCE7=sqrt(((pga_EO)^2)+((pga_NS)^2)); %
Combinación según ASCE 7 (Máximos Absolutos)
disp('PGA combinado, según ASCE 7: ');
disp(pga_ASCE7);

pga_RMT_EO=sqrt(((pga_EO)^2)+((VCo1_NS(pos_pga_EO))^2)); % 1°
Combinación-PGA en sentido EO con su correspondiente aceleración NS
pga_RMT_NS=sqrt(((pga_NS)^2)+((VCo1_EO(pos_pga_NS))^2)); % 2°
Combinación-PGA en sentido NS con su correspondiente aceleración EO
pga_RMT=max(pga_RMT_EO,pga_RMT_NS); % Máximo
valor de ambas combinaciones -> PGA según RMT
disp('PGA combinado, según método RMT: ');
disp(pga_RMT);

[mx,nx]=size(VCo1_EO); % Conversión
de los registros
[my,ny]=size(VCo1_NS); % en
vectores columna

tx=0:dt:mx*dt-dt;
ty=0:dt:my*dt-dt;

subplot(2,1,1); % Gráfico
del Registro en dirección Este-Oeste
plot(tx,VCo1_EO);
title('Registro en Sentido EO');
xlabel('Tiempo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Aceleracion (m/seg^2)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight',
'bold');

subplot(2,1,2); % Gráfico
del Registro en dirección Norte-Sur
plot(ty,VCo1_NS);
title('Registro en Sentido NS');
xlabel('Tiempo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Aceleracion (m/seg^2)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight',
'bold');

```

```

hold on
figure()

dEO=zeros(mx,fin); % Pre-
asignación de memoria
VEO=zeros(mx,fin); % Pre-
asignación de memoria
aEO=zeros(mx,fin); % Pre-
asignación de memoria
miEO=zeros(my,fin); % Pre-
asignación de memoria

dNS=zeros(my,fin); % Pre-
asignación de memoria
VNS=zeros(my,fin); % Pre-
asignación de memoria
aNS=zeros(my,fin); % Pre-
asignación de memoria
miNS=zeros(my,fin); % Pre-
asignación de memoria

p=1;

global T

for T=0:paso:tf
    [dEOi,vEOi,aEOi,miEOi] = Newmark_no_lineal(VCol_EO);
    dEO(:,p)=dEOi; % Vector de
    desplazamientos Este-Oeste
    vEO(:,p)=vEOi; % Vector de
    velocidades Este-Oeste
    aEO(:,p)=aEOi; % Vector de
    aceleraciones Este-Oeste
    miEO(:,p)=miEOi; % Vector de
    ductilidades Este-Oeste

    [dNSi,vNSi,aNSi,miNSi] = Newmark_no_lineal(VCol_NS);
    dNS(:,p)=dNSi; % Vector de
    desplazamientos Norte-Sur
    vNS(:,p)=vNSi; % Vector de
    velocidades Norte-Sur
    aNS(:,p)=aNSi; % Vector de
    aceleraciones Norte-Sur
    miNS(:,p)=miNSi; % Vector de
    ductilidades Norte-Sur

    p=p+1;
end

aTEO=aEO+VCol_EO; %
Aceleración Total Este-Oeste
aTNS=aNS+VCol_NS; %
Aceleración Total Norte-Sur

clear dEOi;
clear dNSi;
clear vEOi;

```

```

clear vNSi;
clear aEOi;
clear aNSi;
clear miEOi;
clear miNSi;
clear T;
clear p;

d_COMB=sqrt(dEO.^2+dNS.^2); %
Combinación según el método RMT (Propuesto)
v_COMB=sqrt(vEO.^2+vNS.^2); %
Combinación según el método RMT (Propuesto)
a_COMB=sqrt(aEO.^2+aNS.^2); %
Combinación según el método RMT (Propuesto)
aT_COMB=sqrt(aTEO.^2+aTNS.^2); %
Combinación según el método RMT (Propuesto)
mi_COMB=sqrt(miEO.^2+miNS.^2); %
Combinación según el método RMT (Propuesto)

espec_a=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro según el método RMT (Propuesto)
espec_v=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro según el método RMT (Propuesto)
espec_d=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro según el método RMT (Propuesto)
espec_aT=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro según el método RMT (Propuesto)
espec_mi=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro según el método RMT (Propuesto)

espec_aEO=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro ASCE 7-10 EO
espec_vEO=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro ASCE 7-10 EO
espec_dEO=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro ASCE 7-10 EO
espec_aTEO=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro ASCE 7-10 EO
espec_miEO=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro ASCE 7-10 EO
espec_aNS=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro ASCE 7-10 NS
espec_vNS=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro ASCE 7-10 NS
espec_dNS=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro ASCE 7-10 NS
espec_aTNS=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro ASCE 7-10 NS
espec_miNS=zeros(1,fin); %
Preasignación de memoria para Espectro ASCE 7-10 NS

for i=1:fin
    espec_dEO(1,i)=max(abs(dEO(:,i))); % Espectro
de desplazamientos según el Método ASCE 7-10 (EO)
    espec_vEO(1,i)=max(abs(vEO(:,i))); % Espectro
de velocidades según el Método ASCE 7-10 (EO)
    espec_aEO(1,i)=max(abs(aEO(:,i))); % Espectro

```

```

de aceleraciones según el Método ASCE 7-10 (EO)
    espec_aTEO(1,i)=max(abs(aTEO(:,i))); % Espectro
de aceleraciones Totales según el Método ASCE 7-10 (EO)
    espec_miEO(1,i)=max(abs(miEO(:,i))); % Espectro
de ductilidad según el Método ASCE 7-10 (EO)

    espec_dNS(1,i)=max(abs(dNS(:,i))); % Espectro
de desplazamientos según el Método ASCE 7-10 (NS)
    espec_vNS(1,i)=max(abs(vNS(:,i))); % Espectro
de velocidades según el Método ASCE 7-10 (NS)
    espec_aNS(1,i)=max(abs(aNS(:,i))); % Espectro
de aceleraciones según el Método ASCE 7-10 (NS)
    espec_aTNS(1,i)=max(abs(aTNS(:,i))); % Espectro
de aceleraciones Totales según el Método ASCE 7-10 (NS)
    espec_miNS(1,i)=max(abs(miNS(:,i))); % Espectro
de ductilidad según el Método ASCE 7-10 (NS)

    espec_d(1,i)=max(abs(d_COMB(:,i))); % Espectro
de desplazamientos según el Método RMT
    espec_v(1,i)=max(abs(v_COMB(:,i))); % Espectro
de velocidades según el Método RMT
    espec_a(1,i)=max(abs(a_COMB(:,i))); % Espectro
de aceleraciones según el Método RMT
    espec_aT(1,i)=max(abs(aT_COMB(:,i))); % Espectro
de aceleraciones Totales según el Método RMT
    espec_mi(1,i)=max(abs(mi_COMB(:,i))); % Espectro
de ductilidad según el Método RMT
end

SRSS_d=sqrt(espec_dNS.^2+espec_dEO.^2); %
Combinación de Espectros según el Método ASCE 7-10 (Desplazamientos)
SRSS_v=sqrt(espec_vNS.^2+espec_vEO.^2); %
Combinación de Espectros según el Método ASCE 7-10 (Velocidades)
SRSS_a=sqrt(espec_aNS.^2+espec_aEO.^2); %
Combinación de Espectros según el Método ASCE 7-10 (Aceleraciones)
SRSS_aT=sqrt(espec_aTNS.^2+espec_aTEO.^2); %
Combinación de Espectros según el Método ASCE 7-10 (Aceleraciones Totales)
SRSS_mi=sqrt(espec_miNS.^2+espec_miEO.^2); %
Combinación de Espectros según el Método ASCE 7-10 (Ductilidad)

subplot(3,2,1);
plot(0.05:0.05:5, espec_d)
title('Espectro de Desplazamientos');
xlabel('Periodo (Segundos)', 'fontSize', 10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Dezplazamiento (m)', 'fontSize', 10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
hold on
plot(0.05:0.05:5, SRSS_d, 'r')
legend('RMT', 'ASCE 7-10')

subplot(3,2,2);
plot(0.05:0.05:5, espec_v)
title('Espectro de Velocidades');
xlabel('Periodo (Segundos)', 'fontSize', 10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Velocidad (m/seg)', 'fontSize', 10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
hold on
plot(0.05:0.05:5, SRSS_v, 'r')
legend('RMT', 'ASCE 7-10')

```

```

subplot(3,2,3)
plot(0.05:0.05:5,espec_a)
title('Espectro de Aceleraciones');
xlabel('Periodo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Aceleración (m/seg^2)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight',
'bold');
hold on
plot(0.05:0.05:5,SRSS_a,'r')
legend('RMT', 'ASCE 7-10')

subplot(3,2,4);
plot(0.05:0.05:5,espec_aT)
title('Espectro de Aceleraciones totales');
xlabel('Periodo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Aceleración Total (m/seg^2)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight',
'bold');
hold on
plot(0.05:0.05:5,SRSS_aT,'r')
legend('RMT', 'ASCE 7-10')

subplot(3,2,5:6);
semilogy(0.05:0.05:5,espec_mi)
title('Espectro de Ductilidad');
xlabel('Periodo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Ductilidad (Escala logarítmica)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri',
'fontWeight', 'bold');
hold on
semilogy(0.05:0.05:5,SRSS_mi,'r')
legend('RMT', 'ASCE 7-10')

hold on
figure()

Fd=SRSS_d./espec_d;
Fd=Fd';
Fv=SRSS_v./espec_v;
Fv=Fv';
Fa=SRSS_a./espec_a;
Fa=Fa';
FaT=SRSS_aT./espec_aT;
FaT=FaT';
Fmi=SRSS_mi./espec_mi;
Fmi=Fmi';

subplot(2,2,1);
plot(0.05:0.05:5,Fd);
title('FACTOR F (Desplazamiento)');
xlabel('Periodo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('F','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');

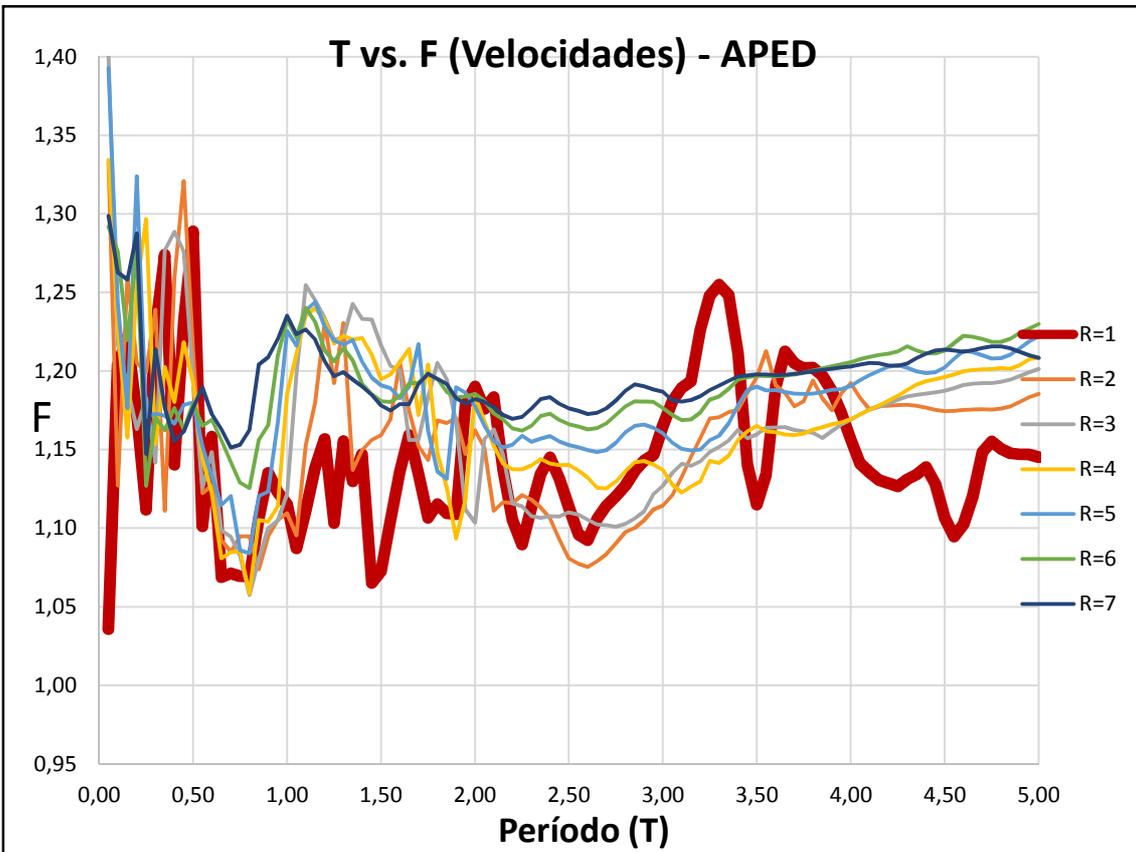
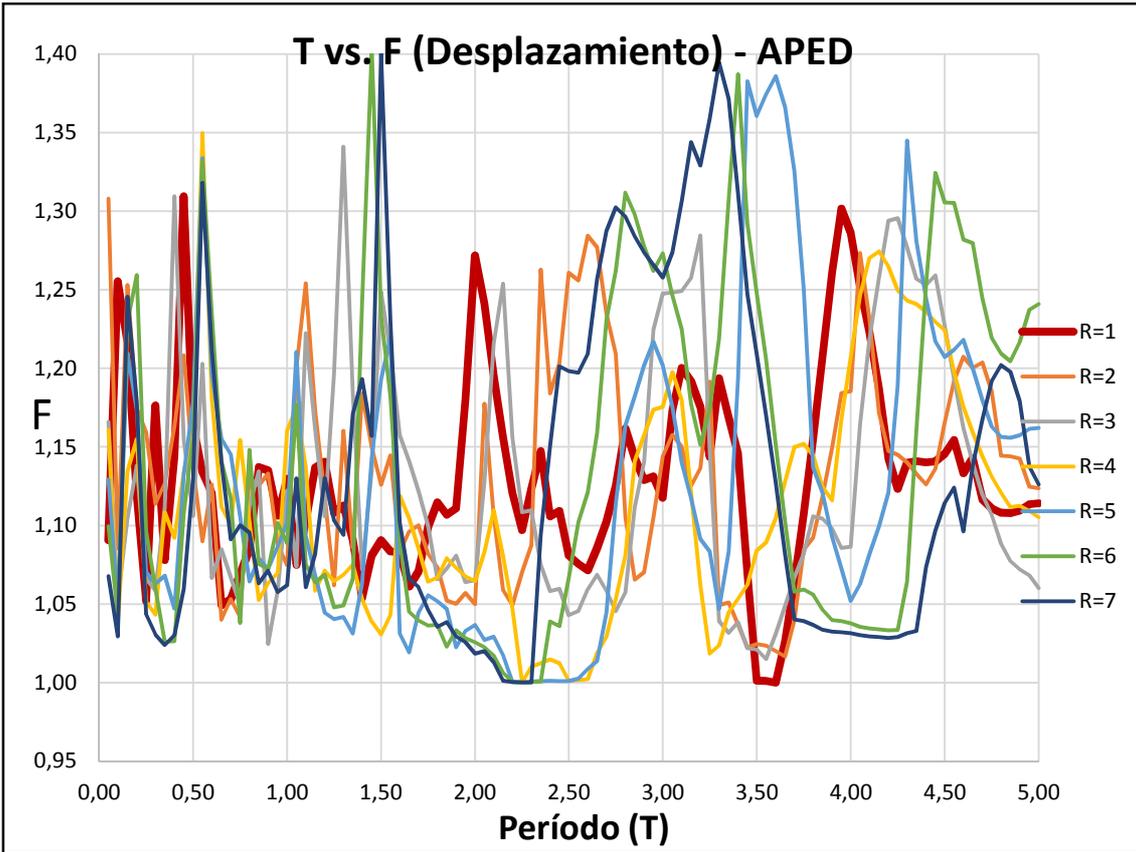
subplot(2,2,2);
plot(0.05:0.05:5,Fv);
title('FACTOR F (velocidad)');
xlabel('Periodo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('F','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');

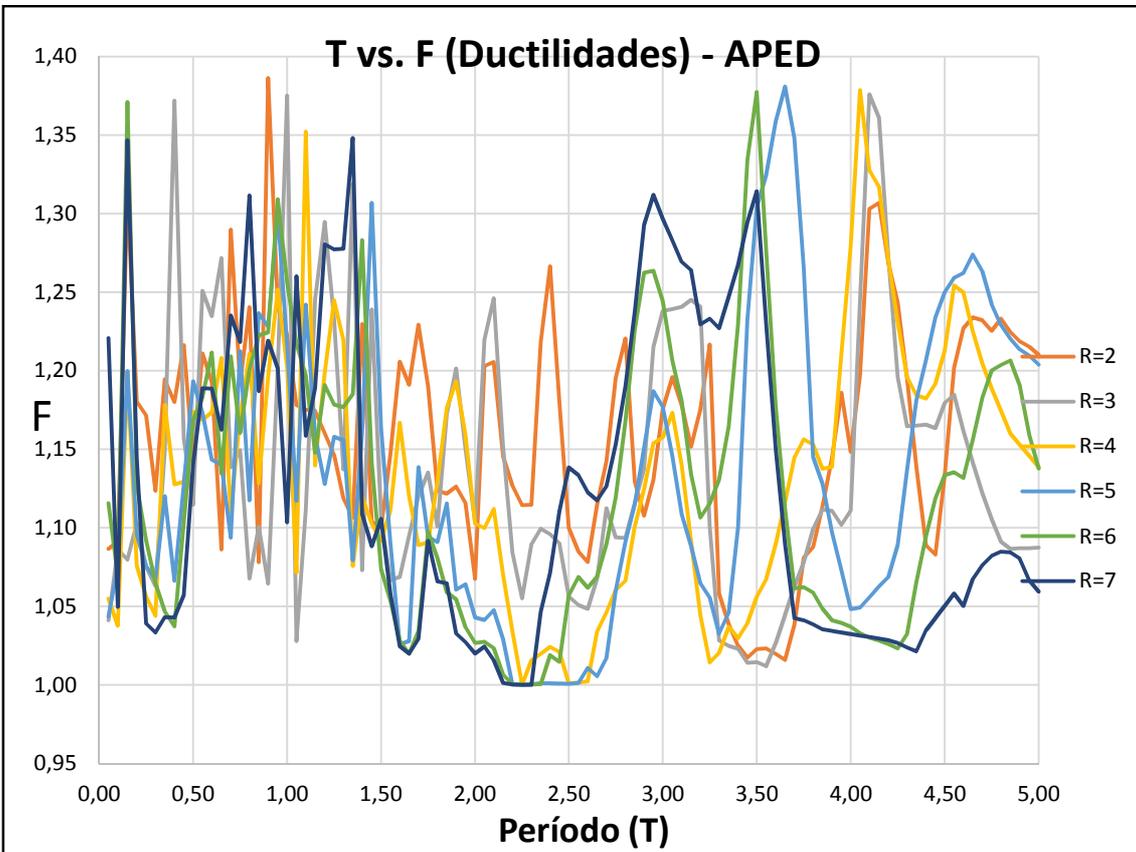
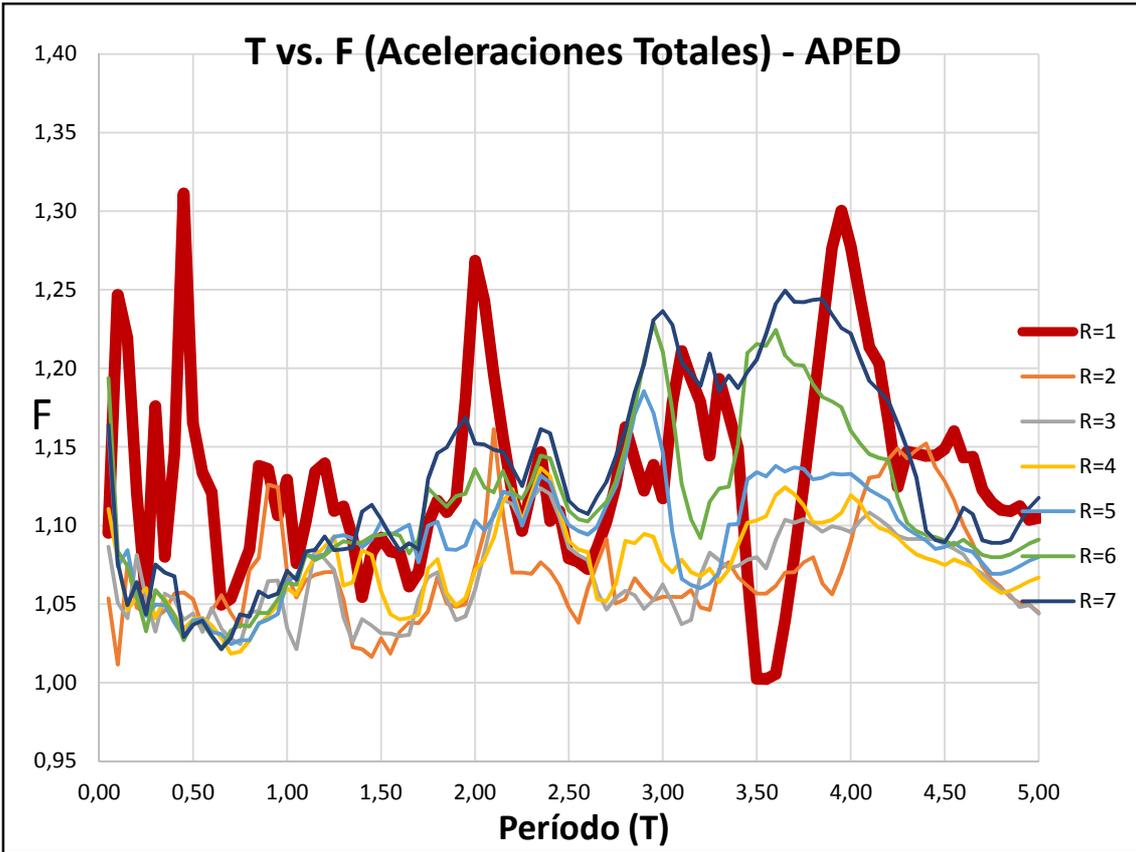
```

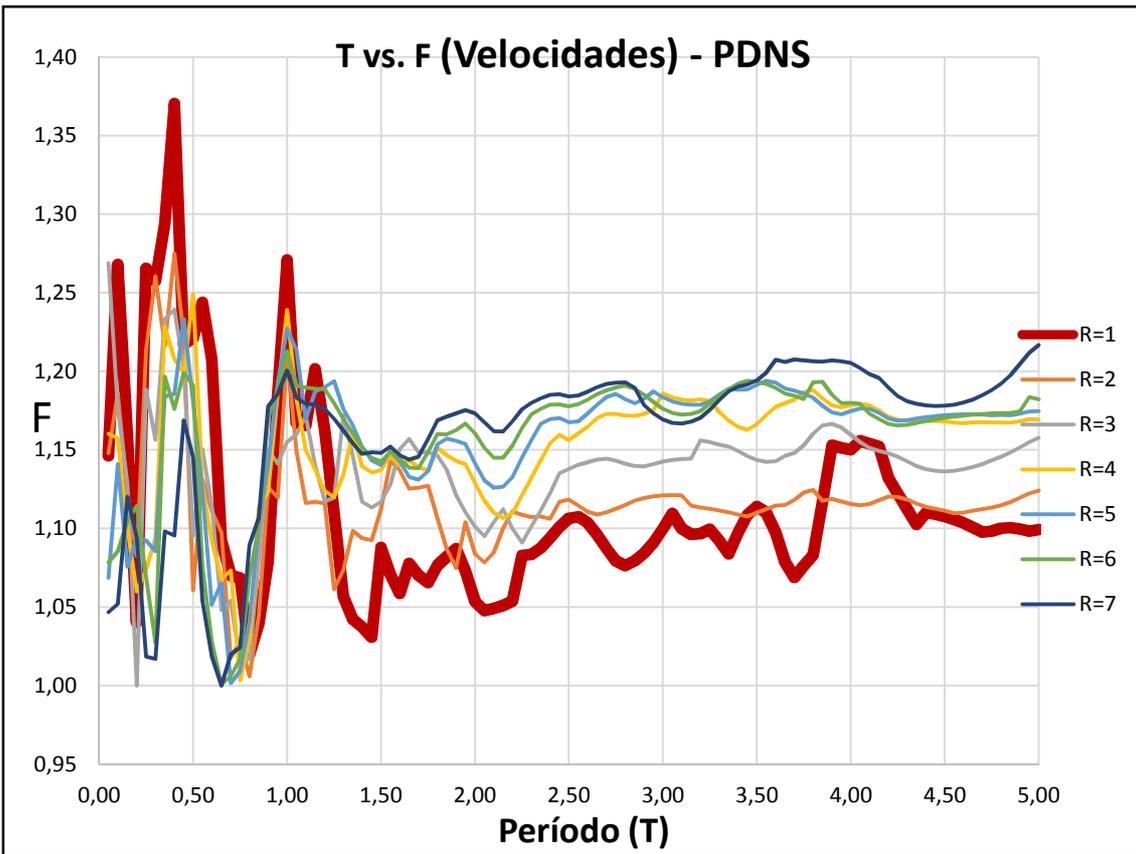
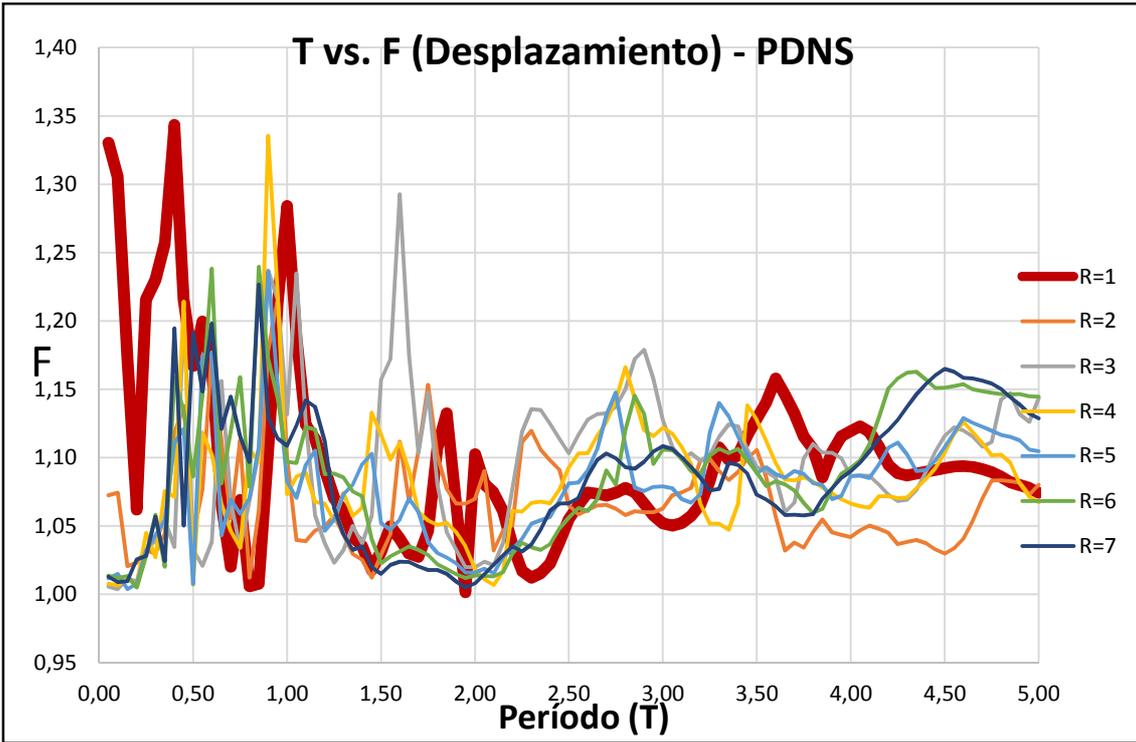
```
subplot(2,2,3);
plot(0.05:0.05:5,Fa);
title('FACTOR F (Aceleración)');
xlabel('Período (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('F','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');

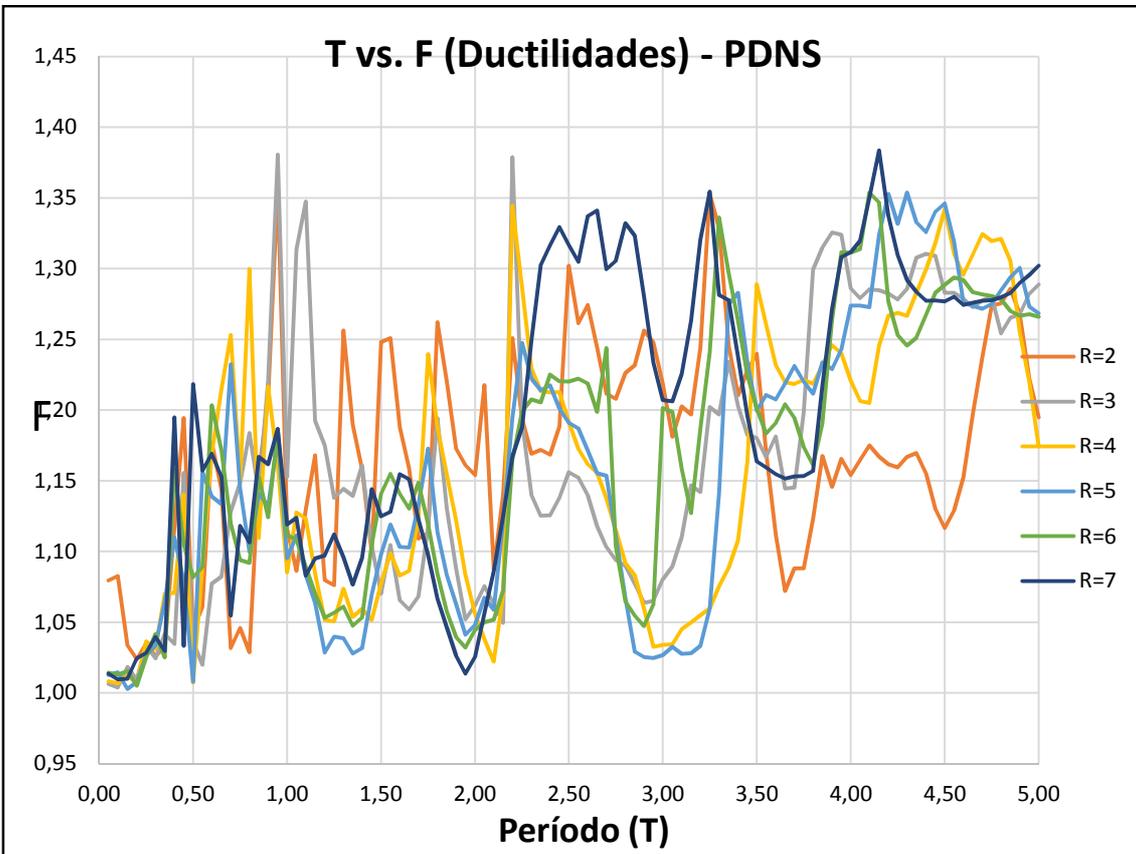
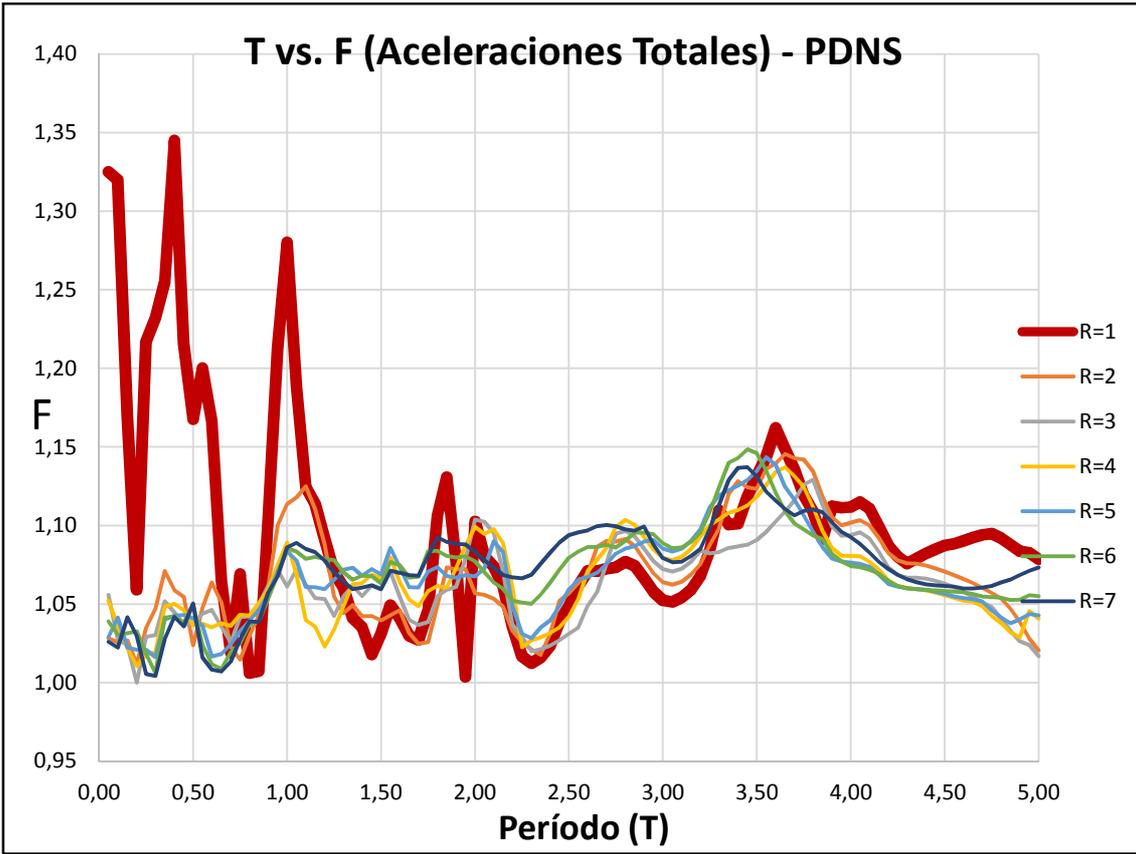
subplot(2,2,4);
plot(0.05:0.05:5,FaT);
title('FACTOR F (Aceleración Total)');
xlabel('Período (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('F','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
```

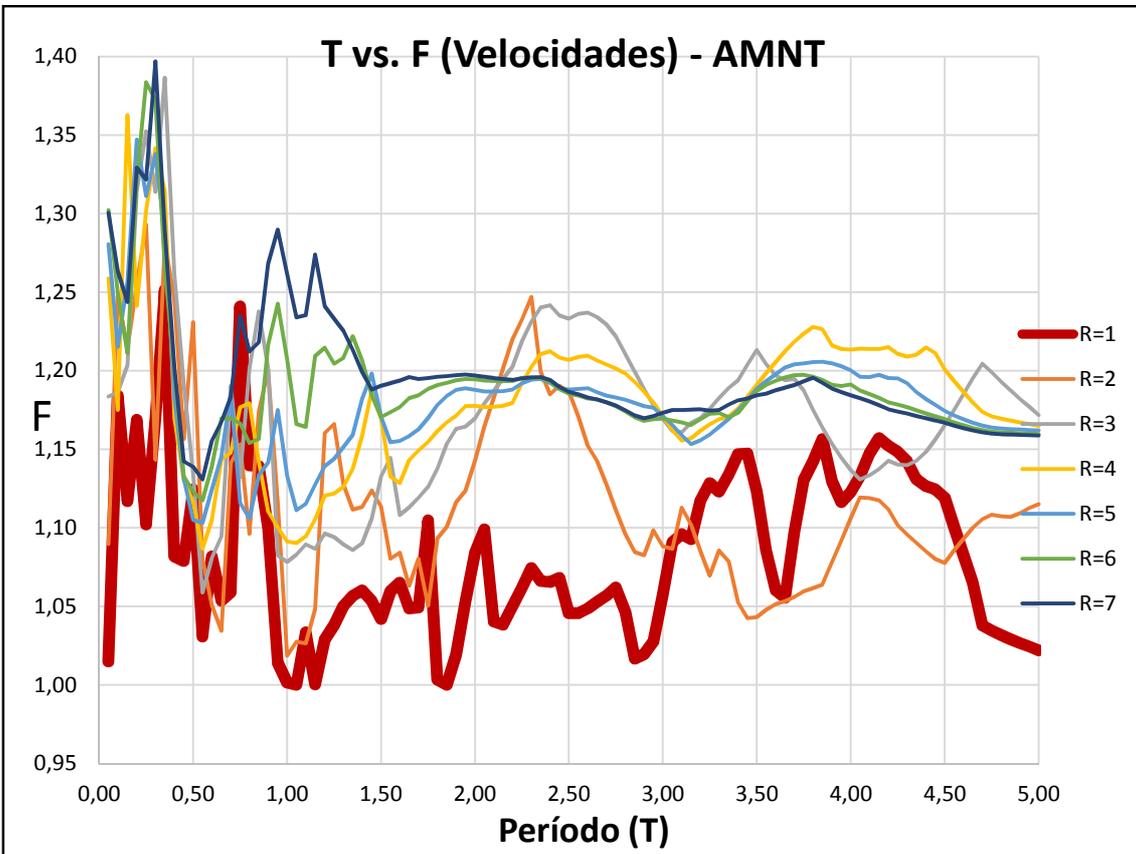
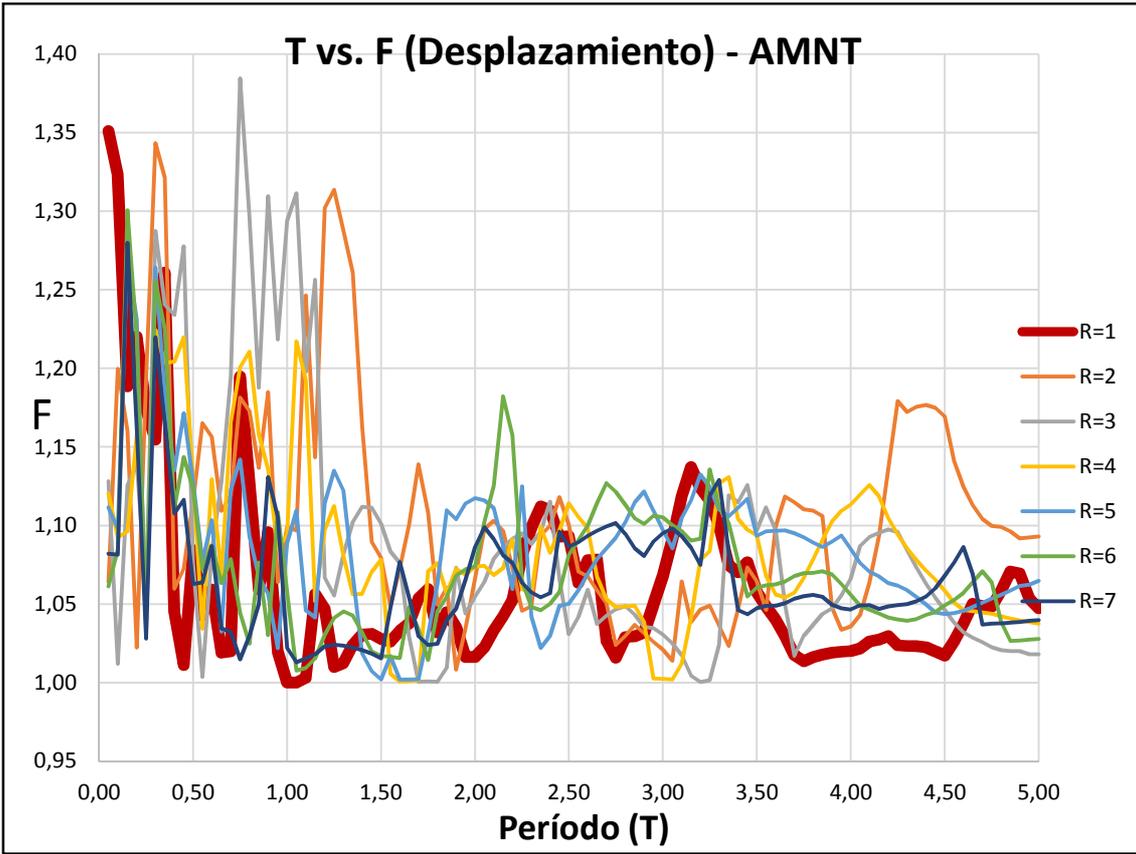
*Published with MATLAB® R2017b*

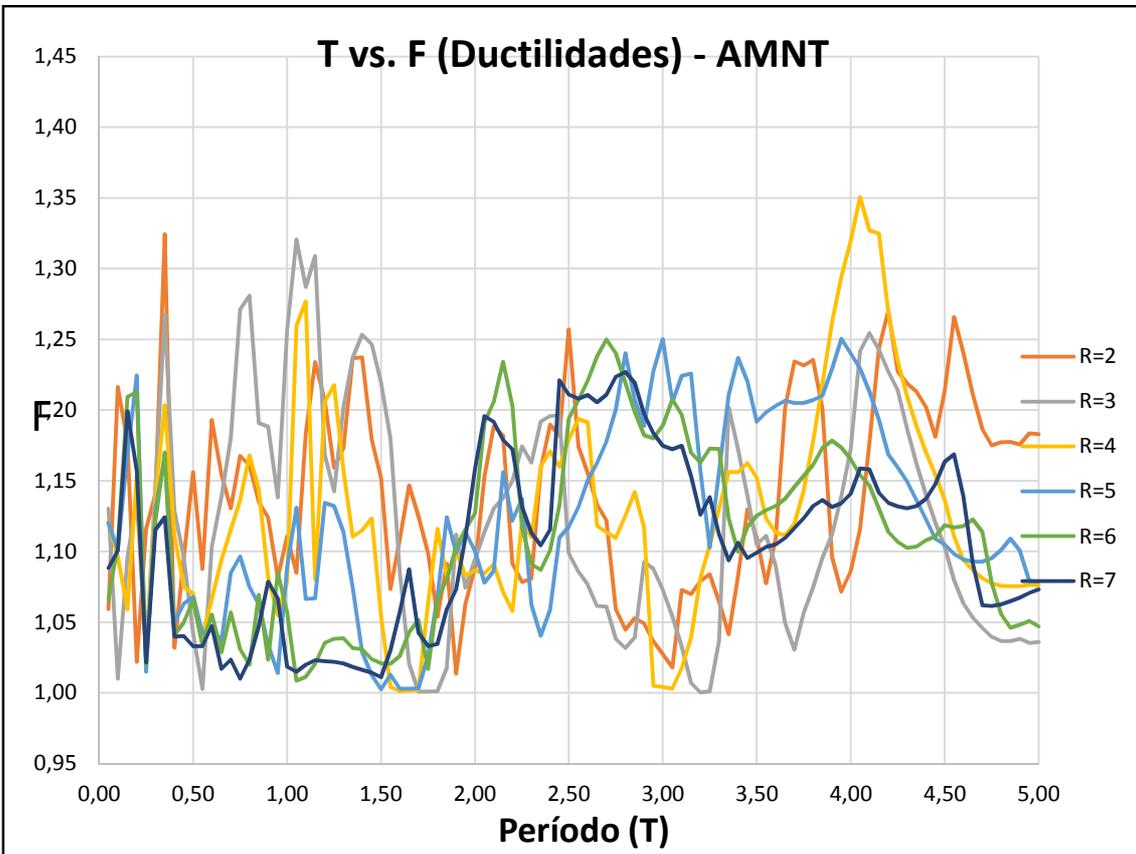
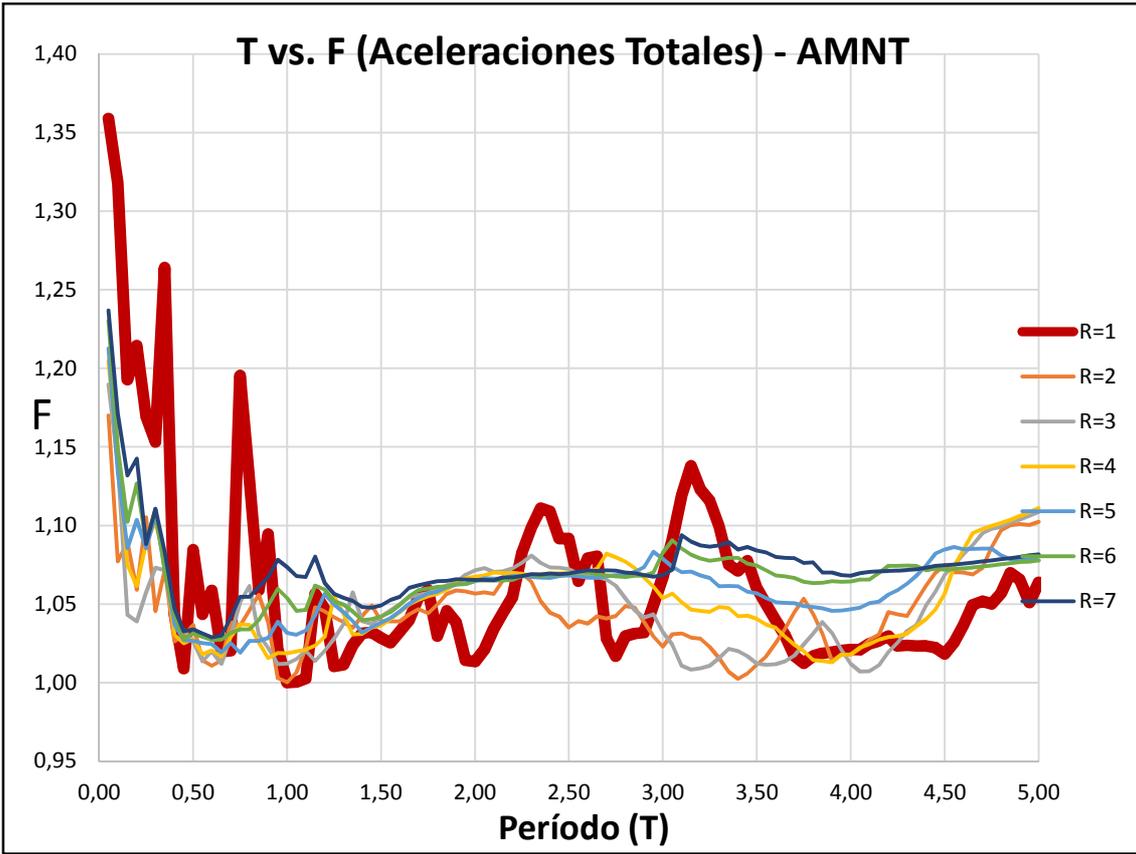


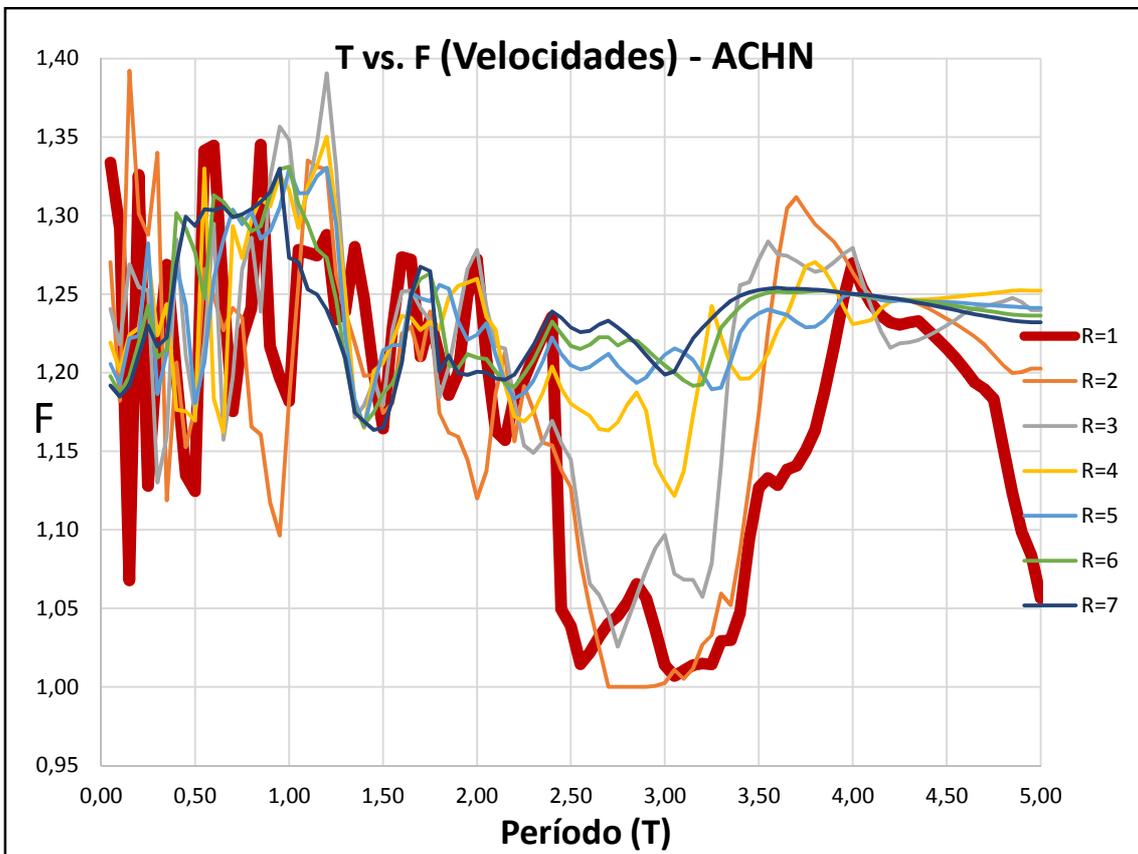
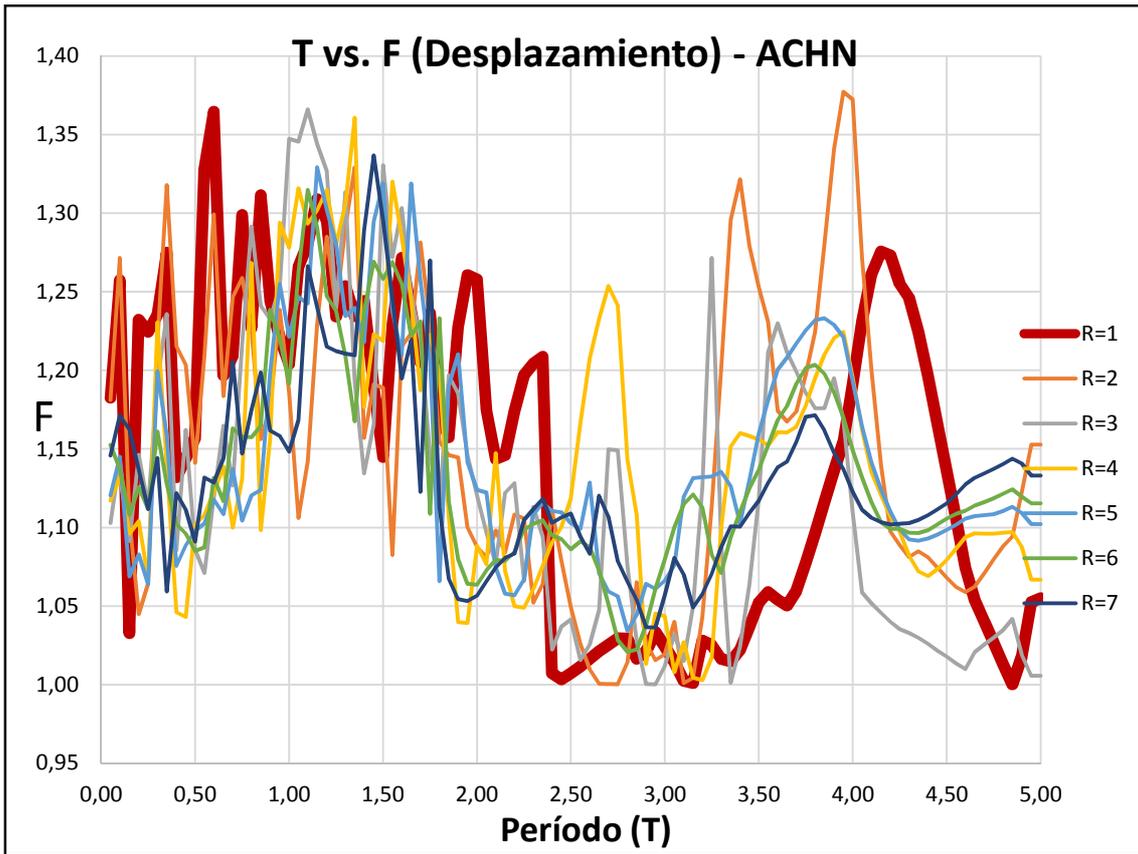


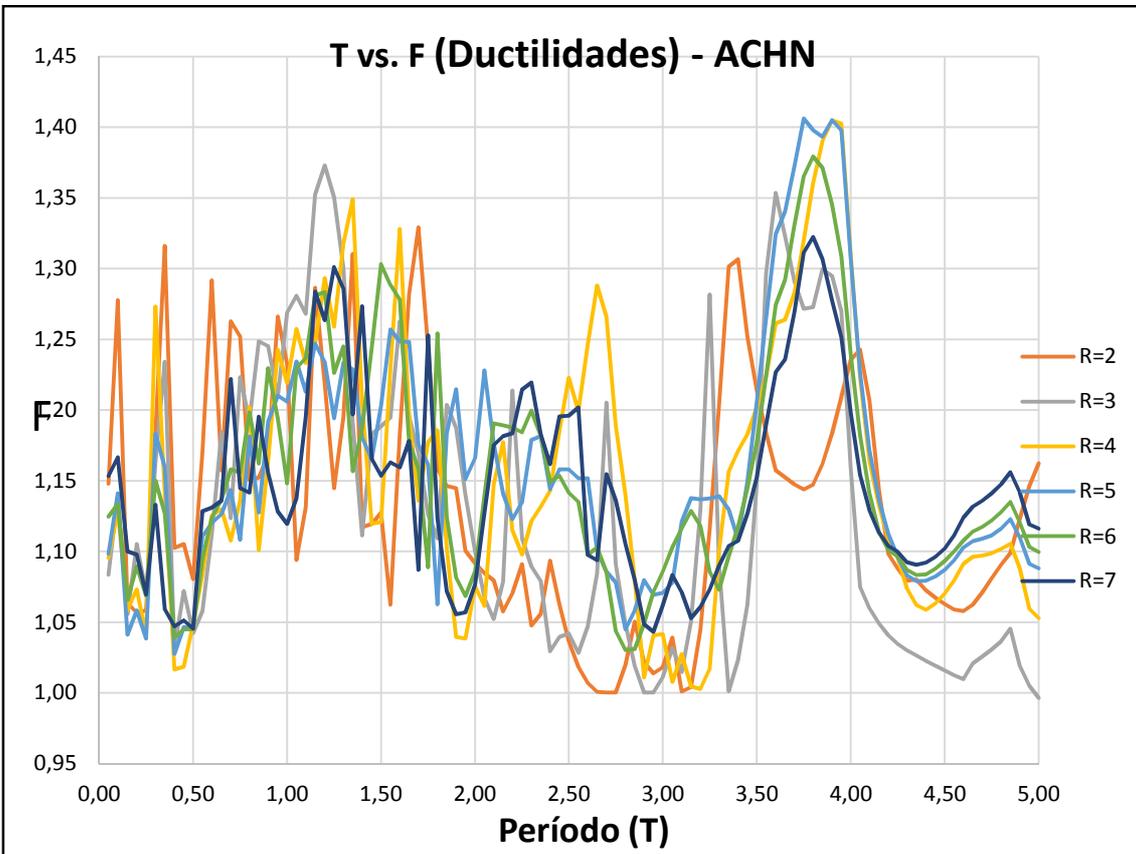
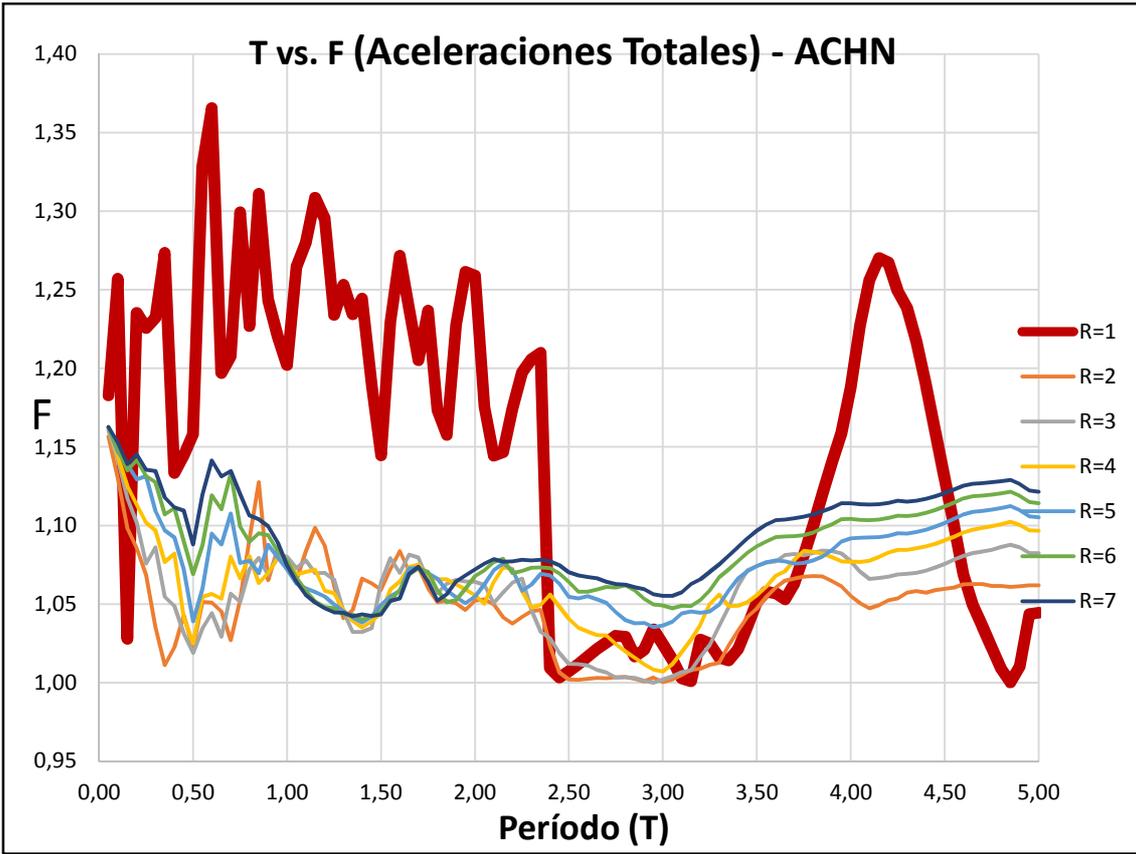


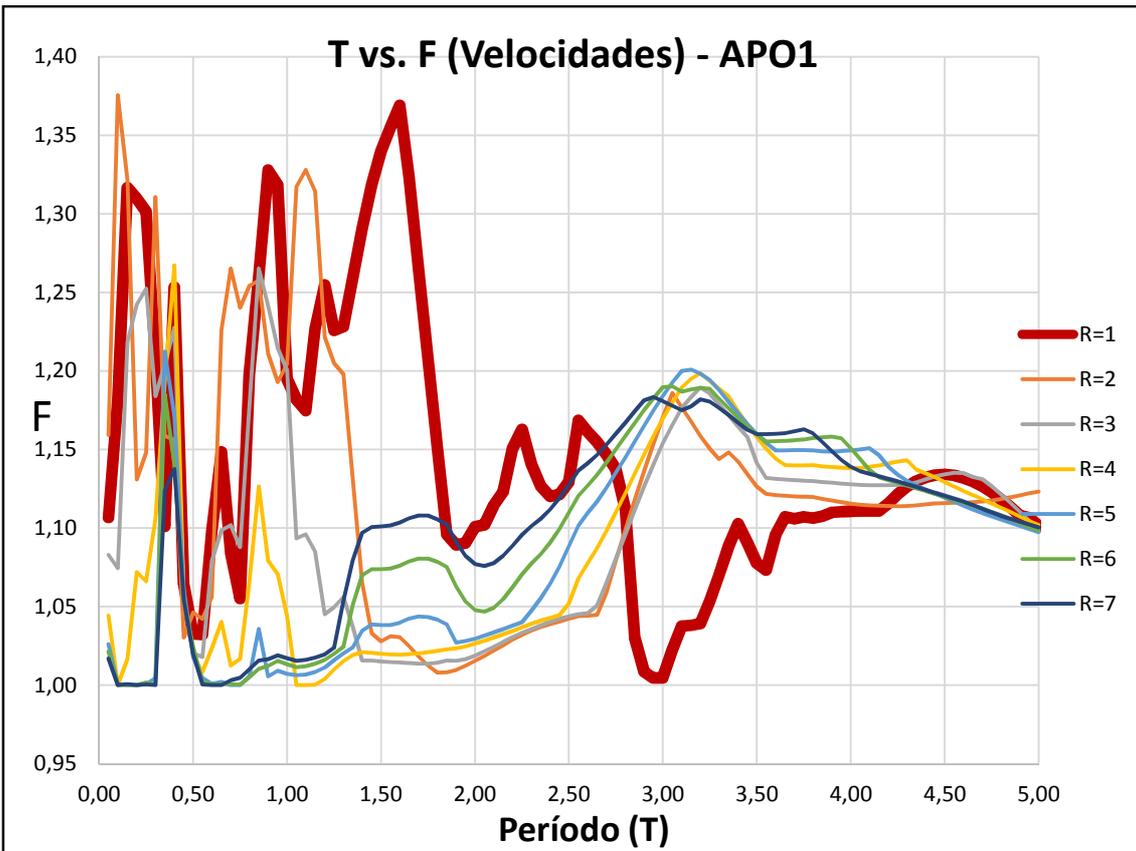
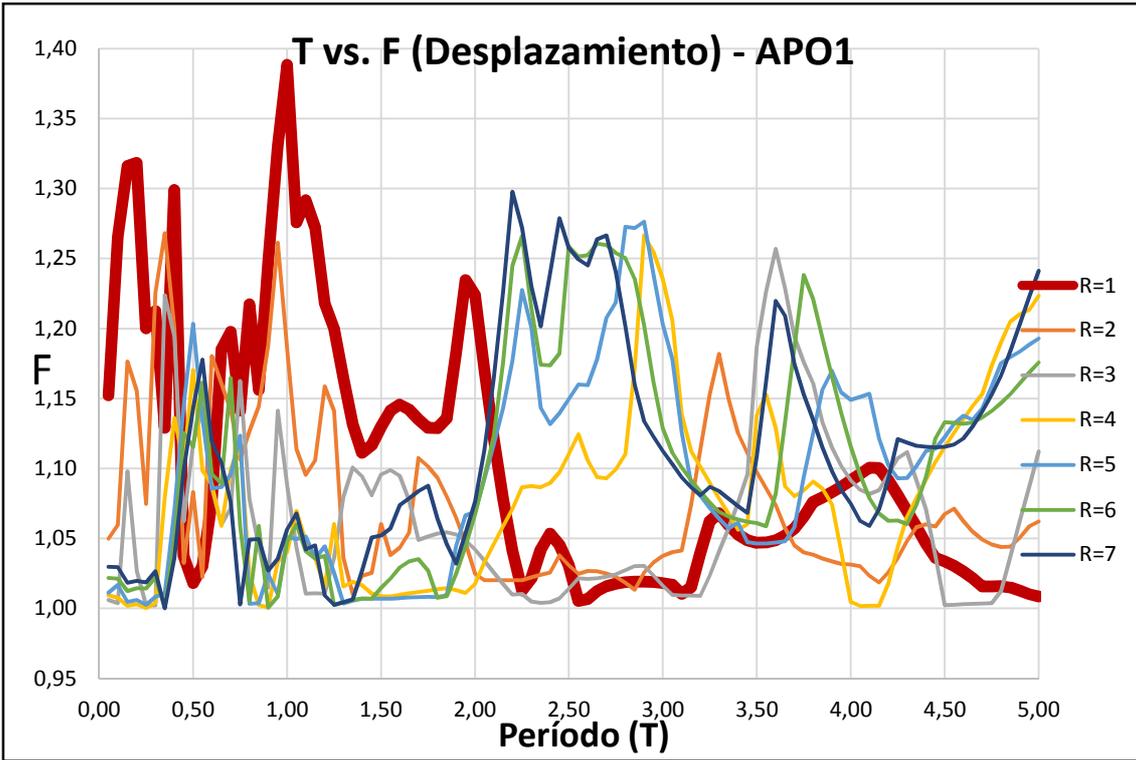


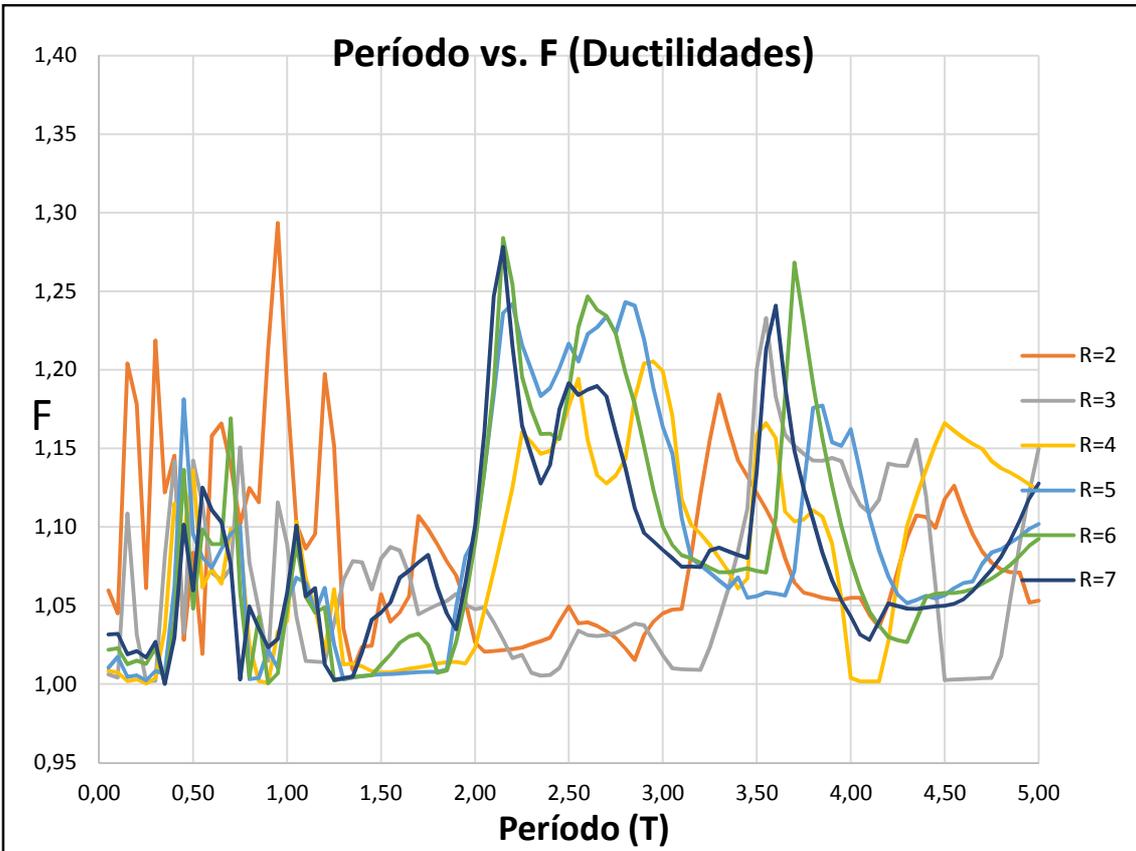
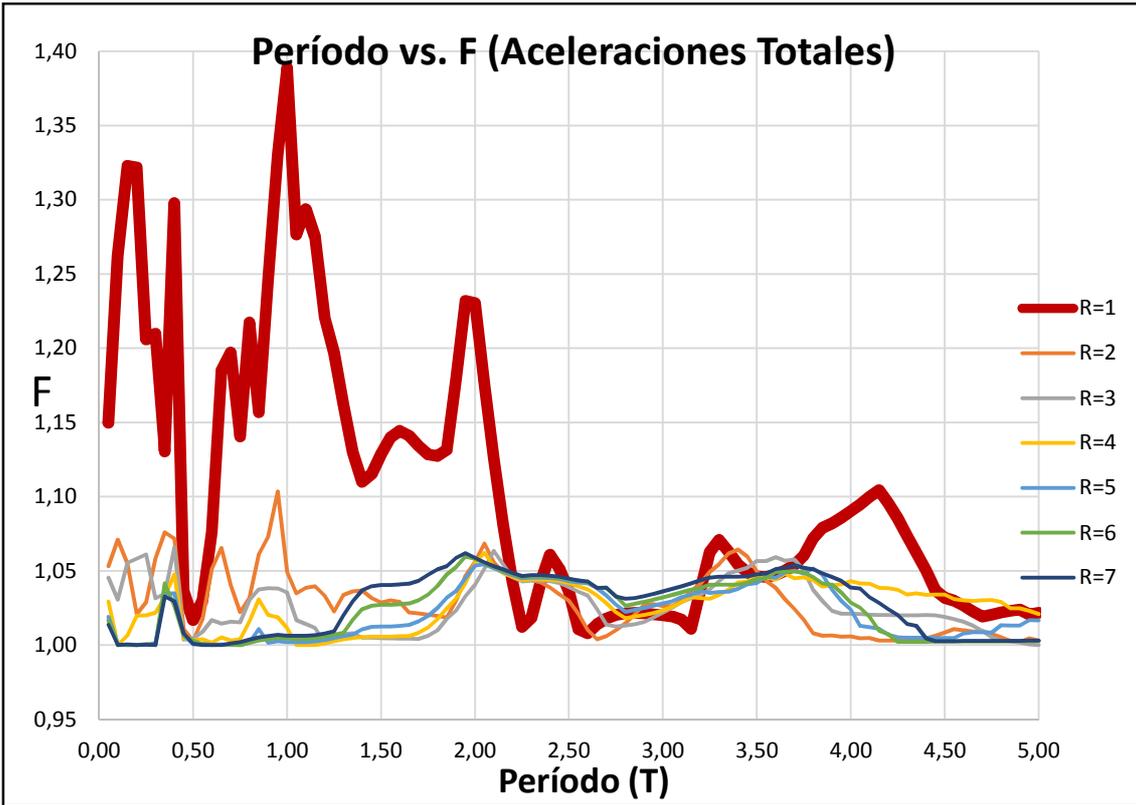


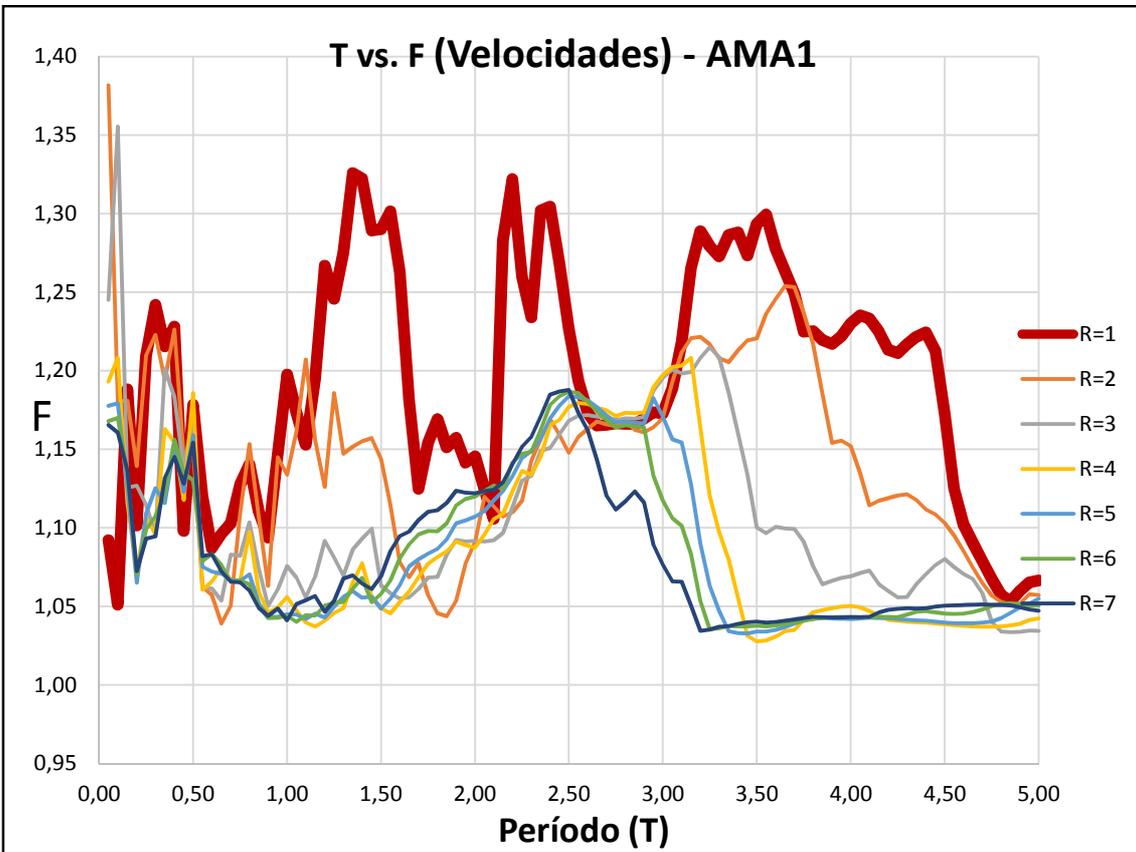
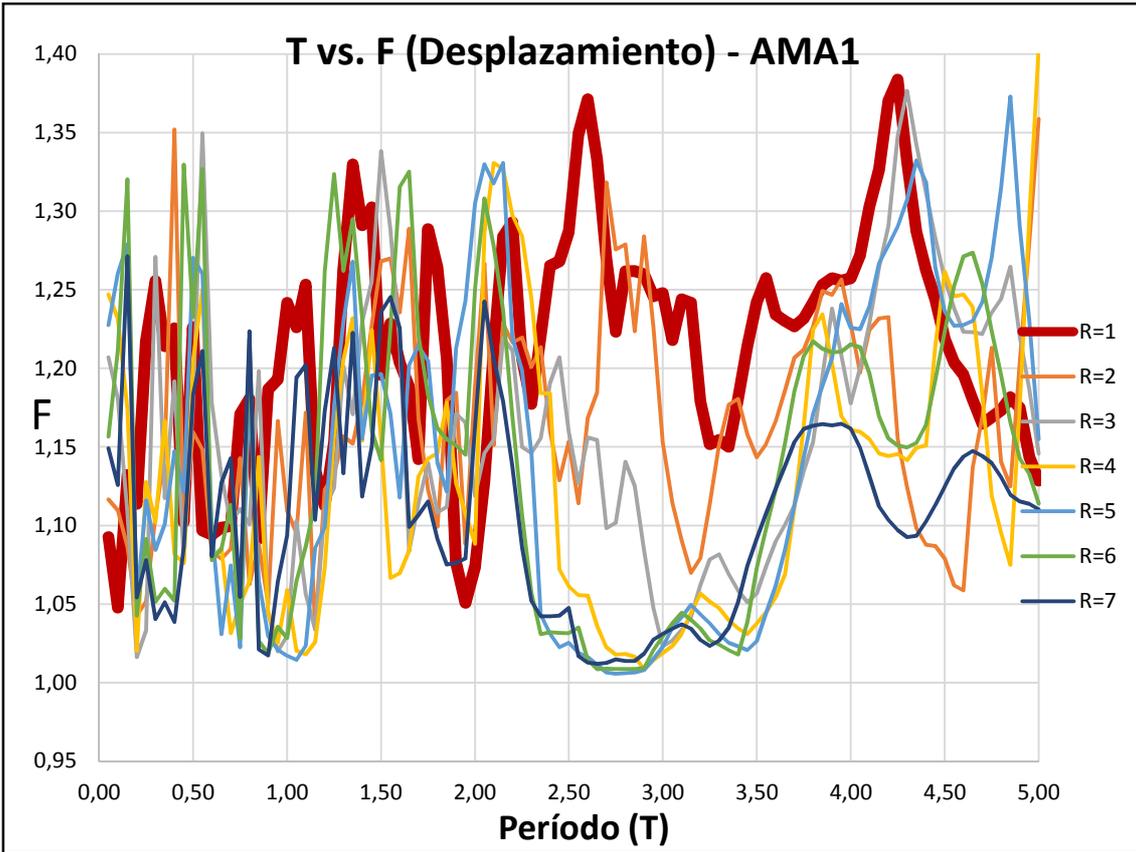


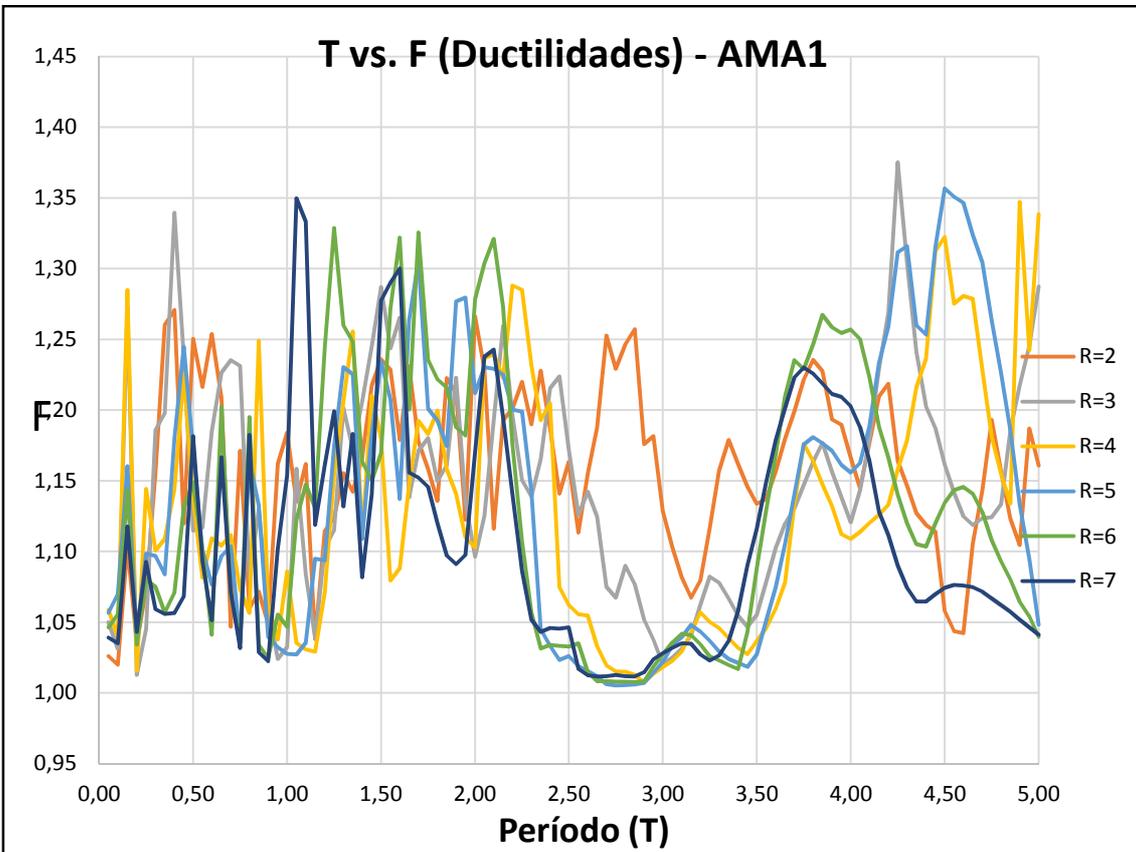
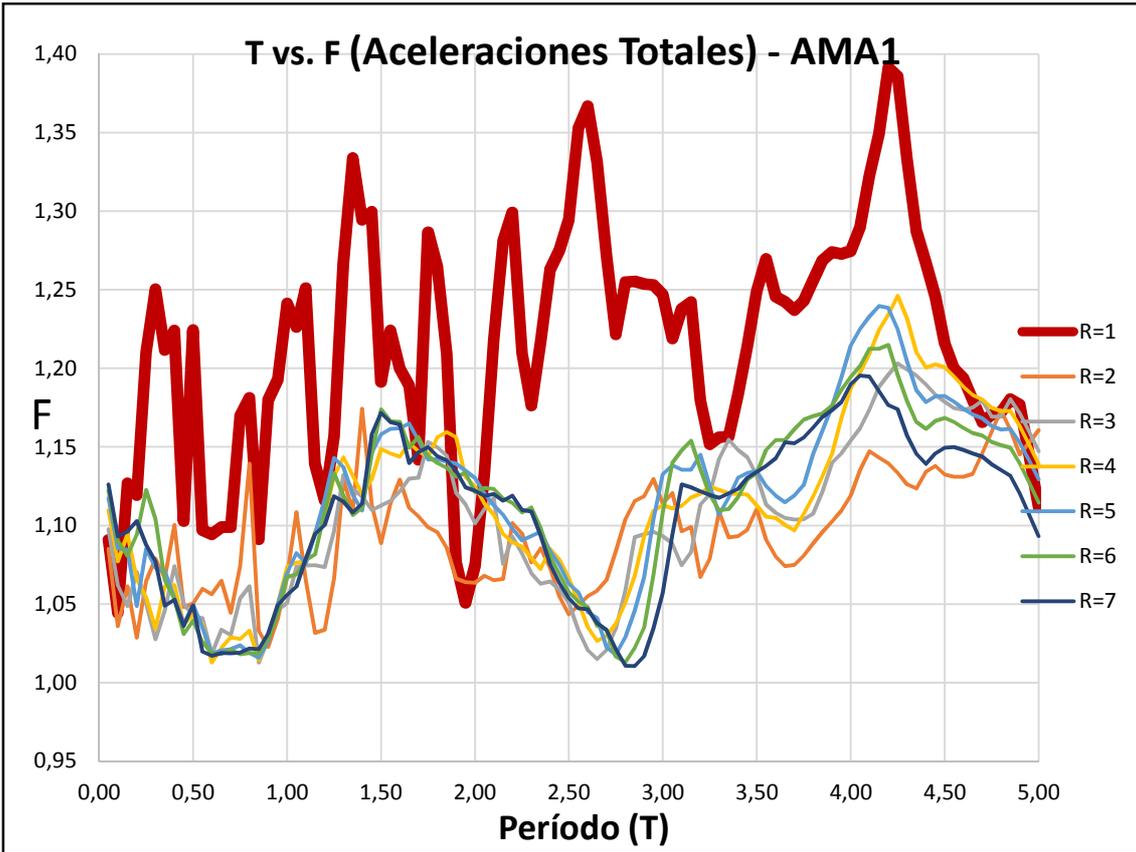


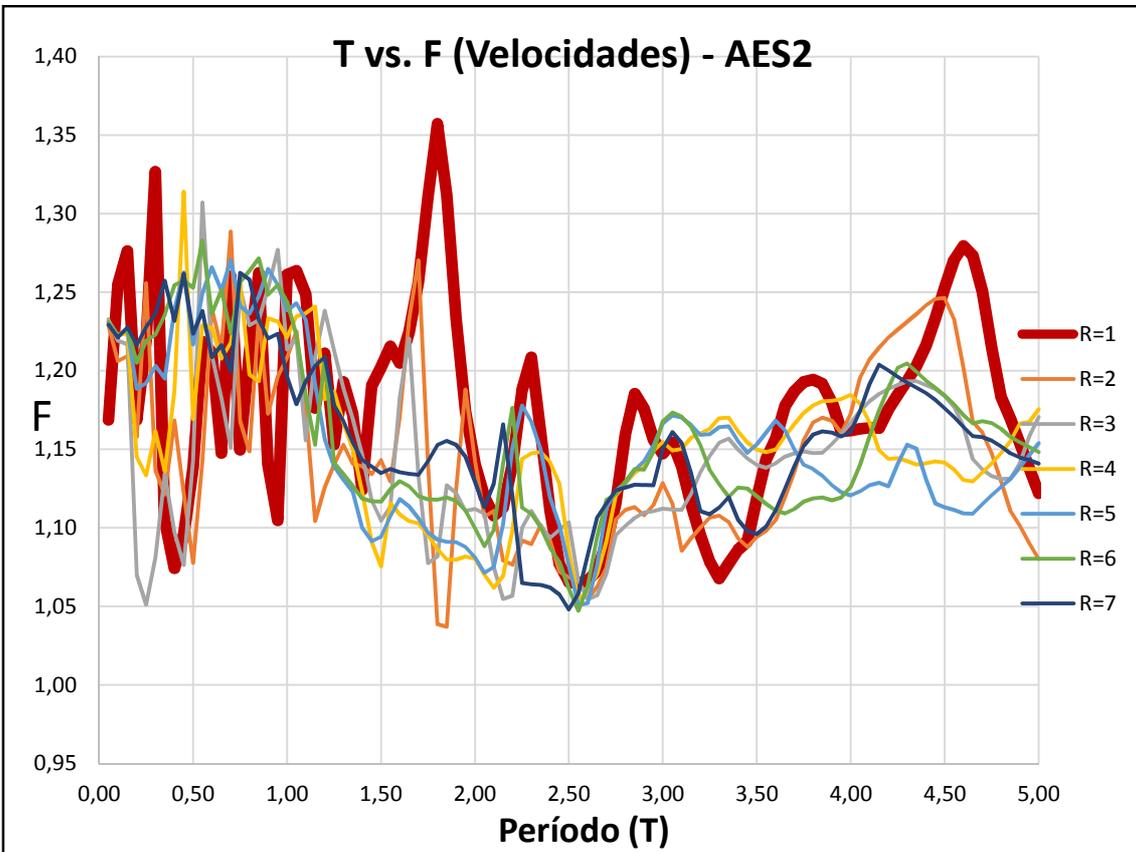
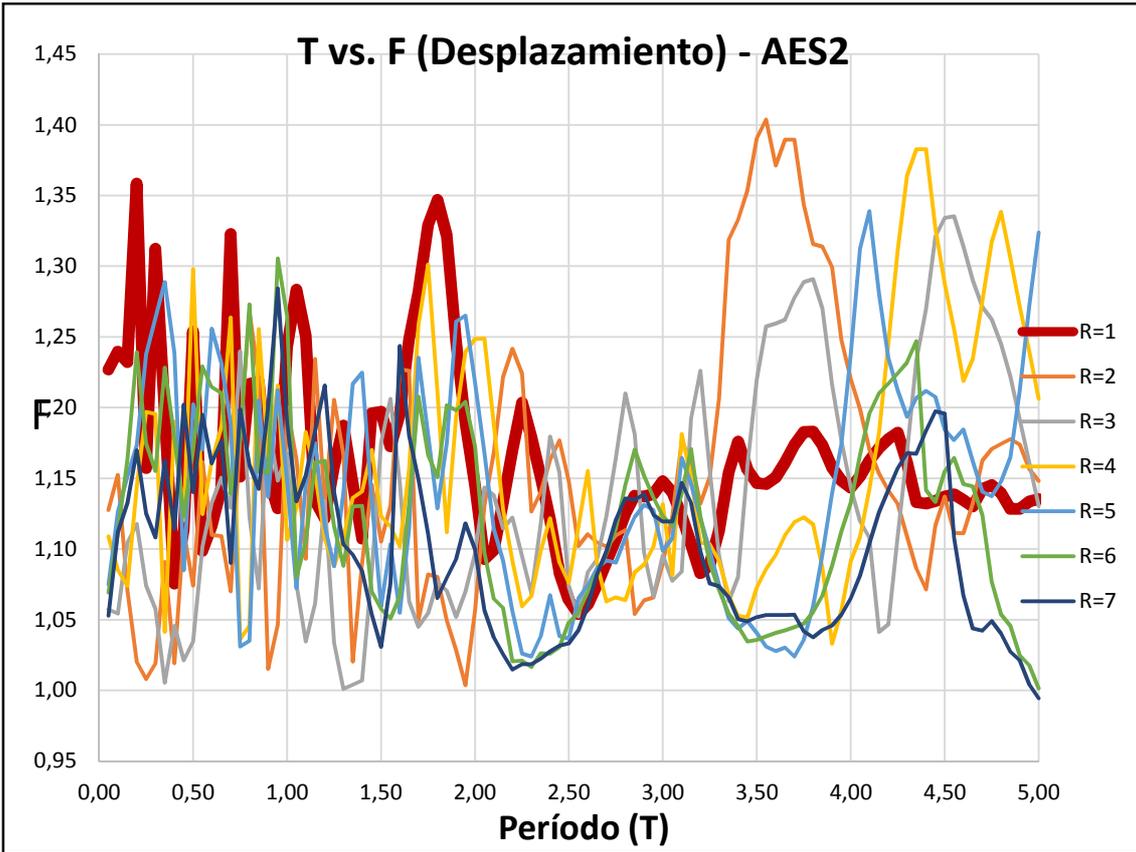


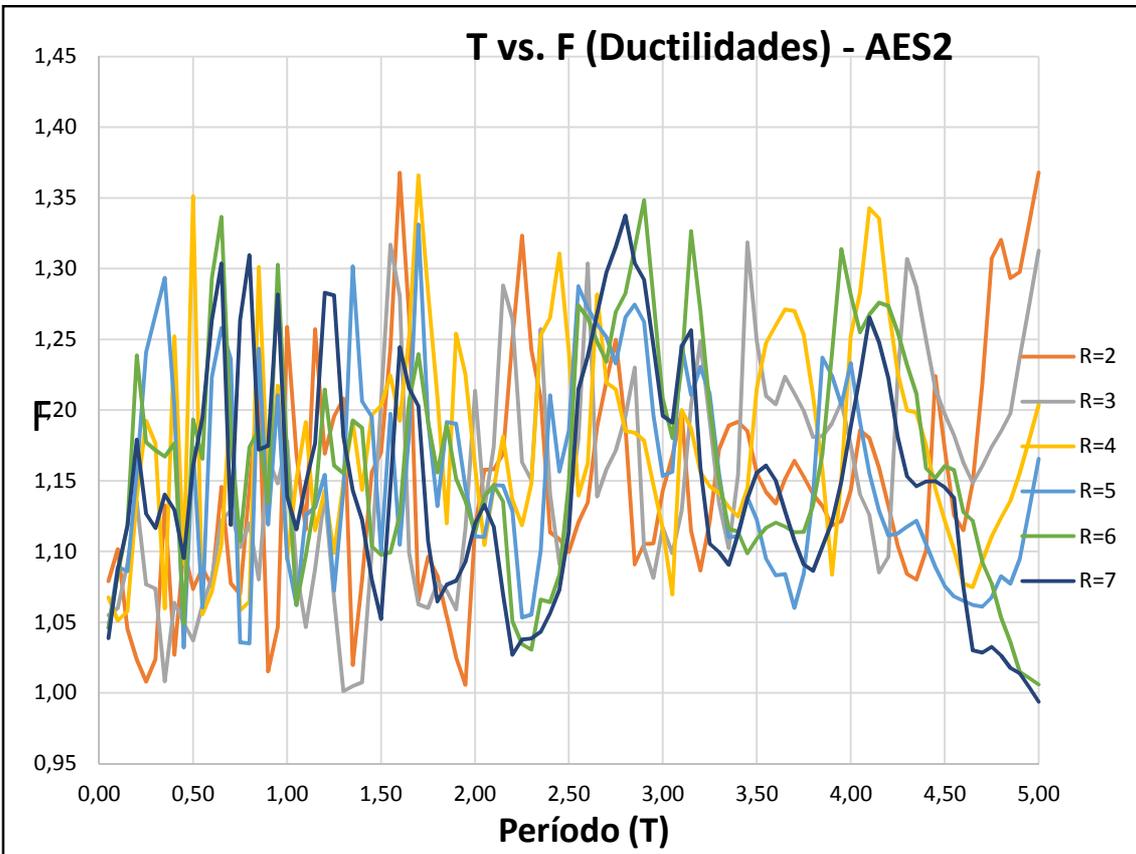
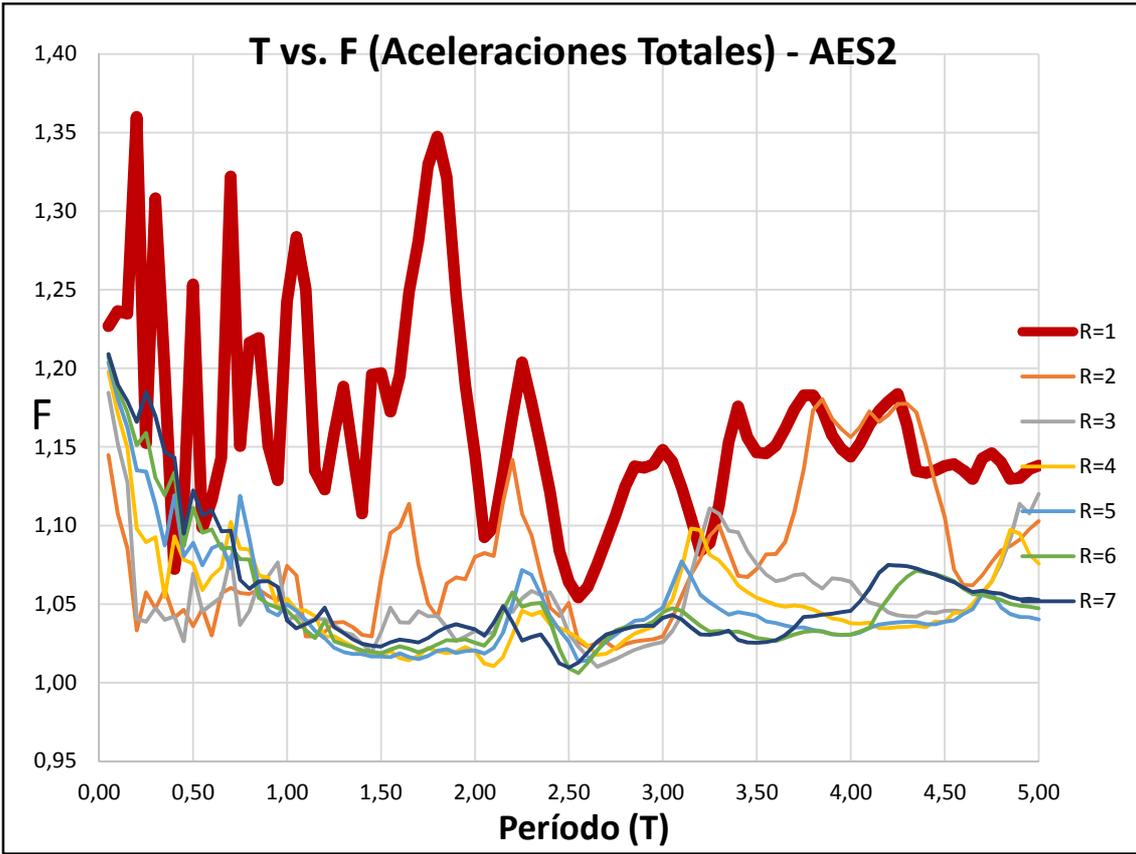


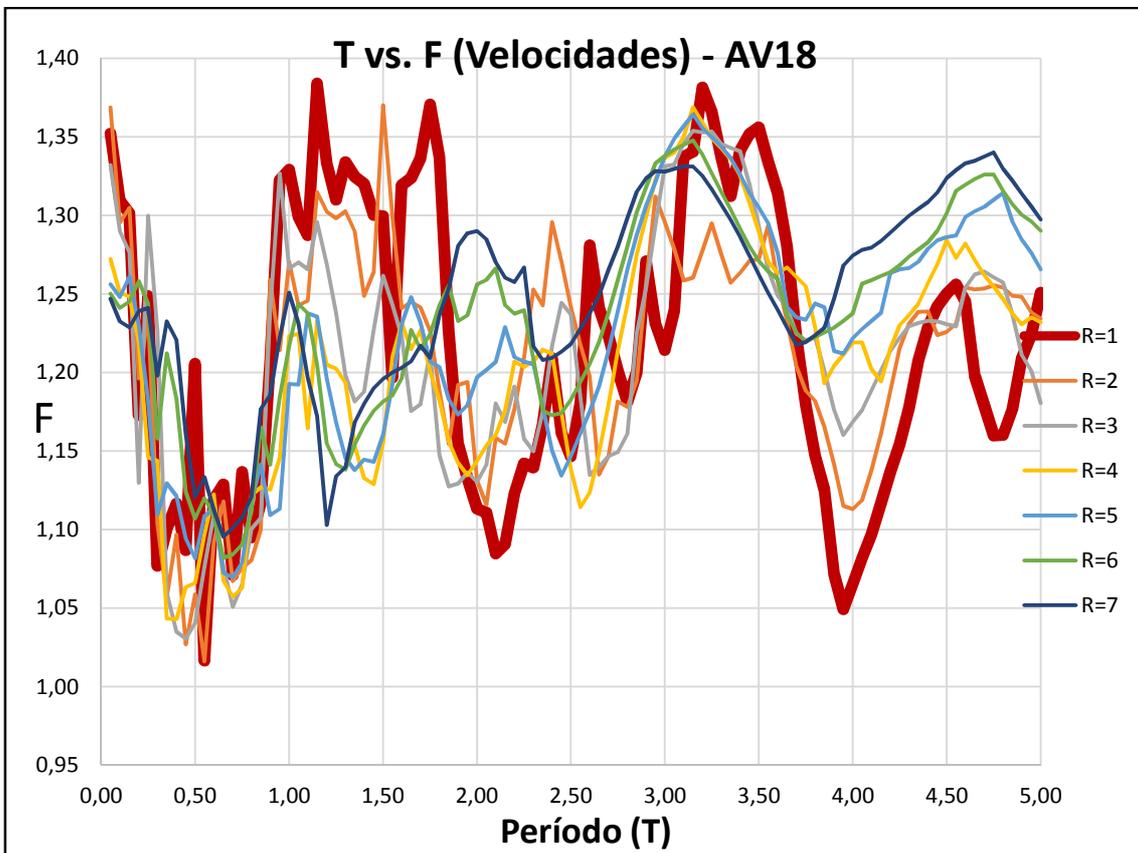
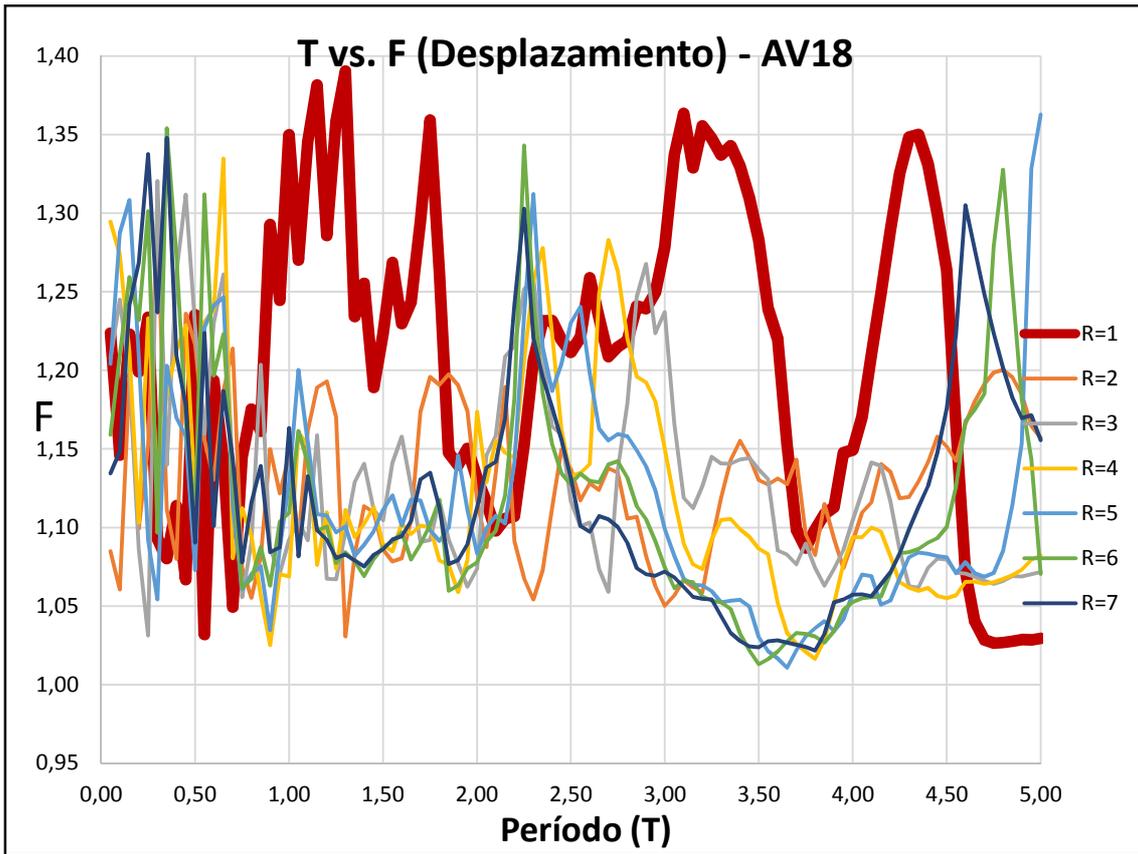


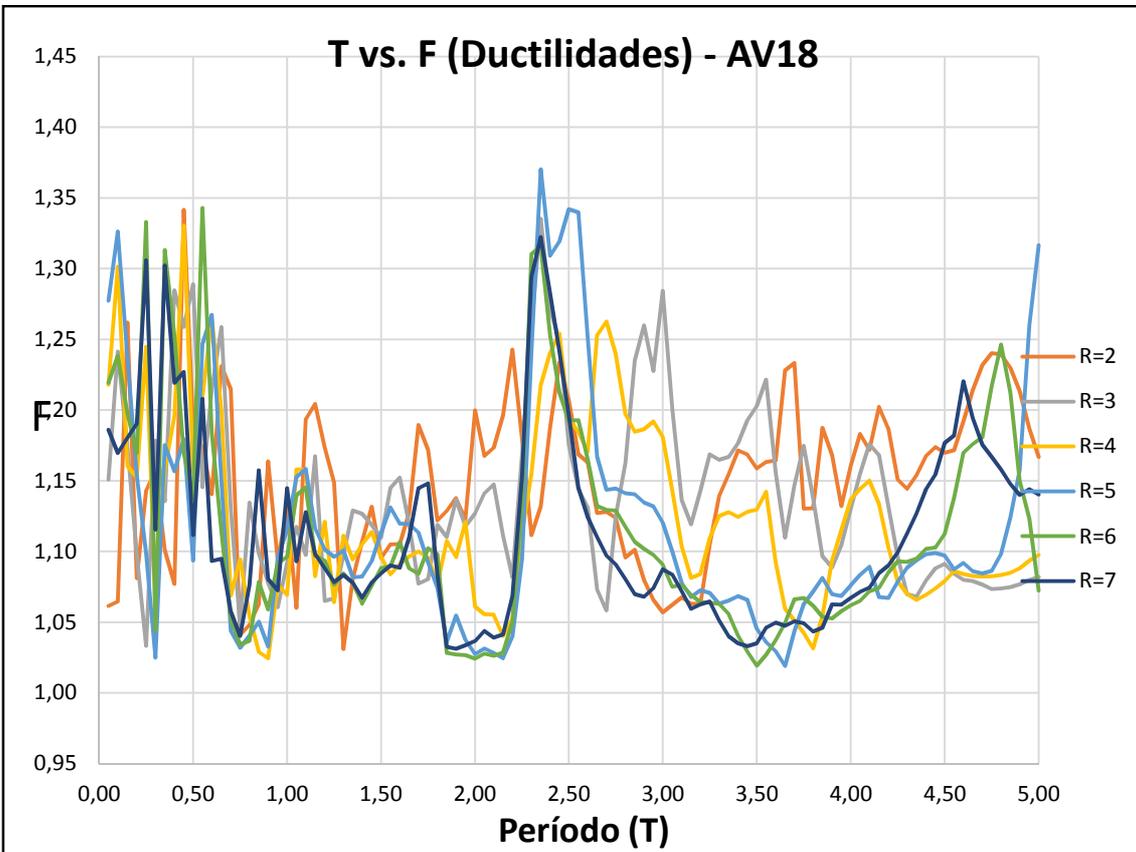
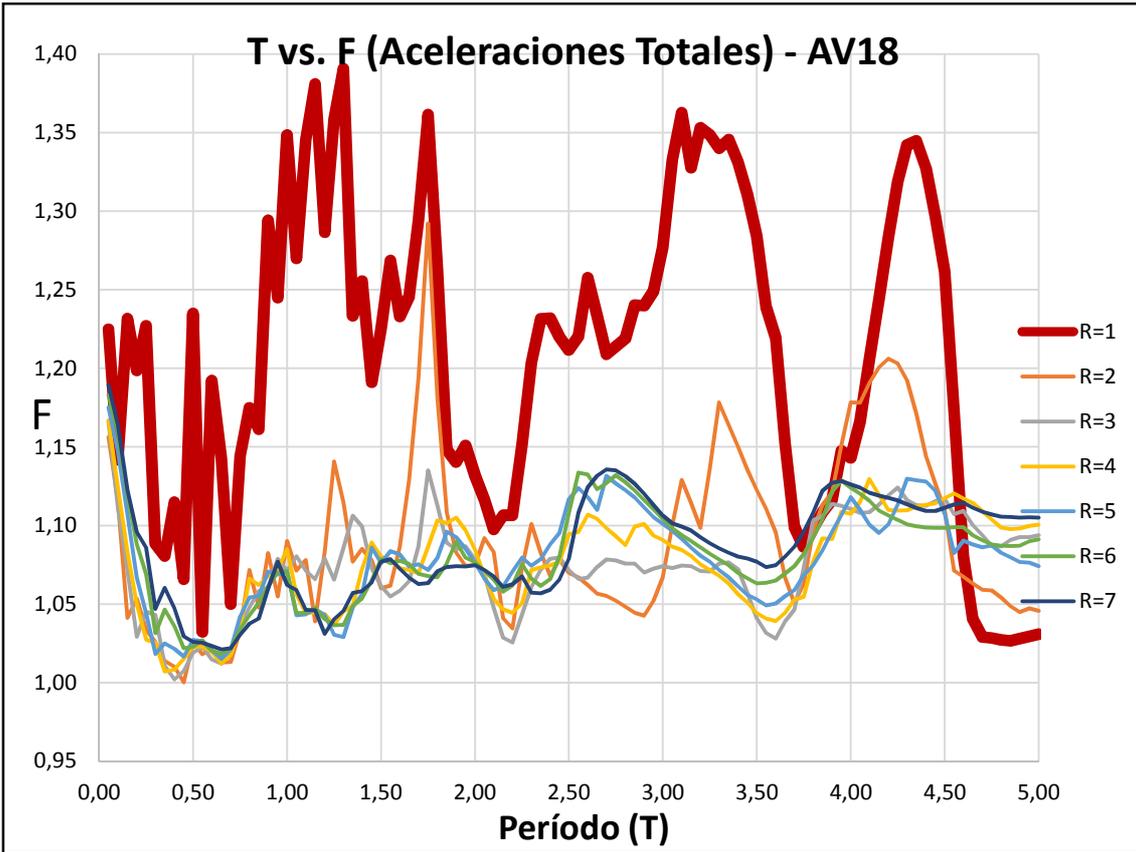


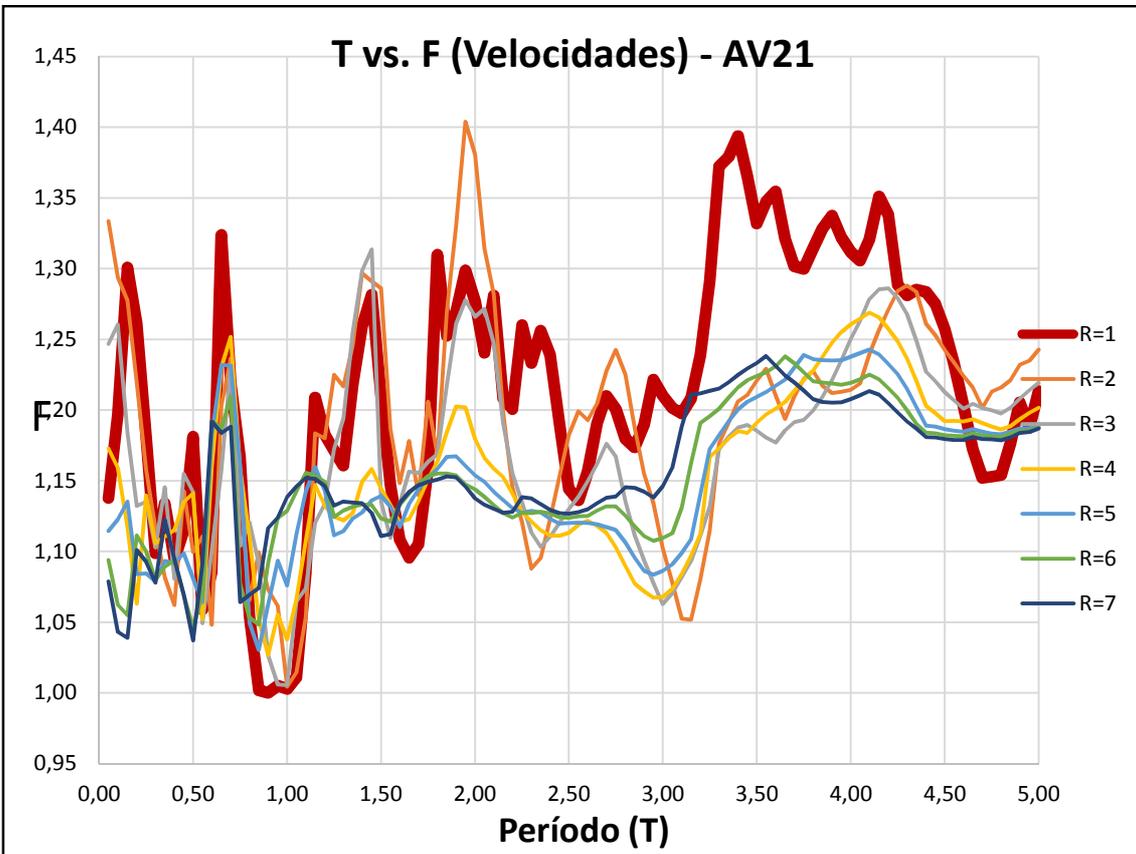
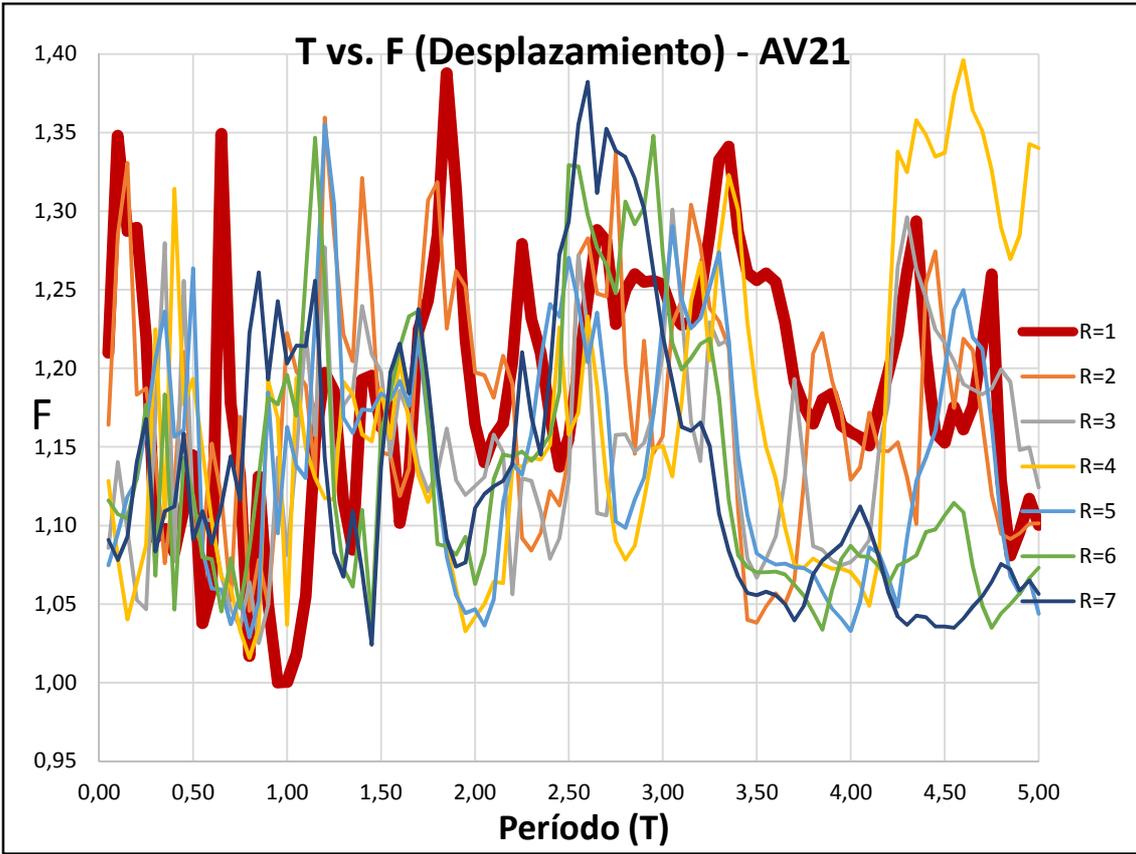


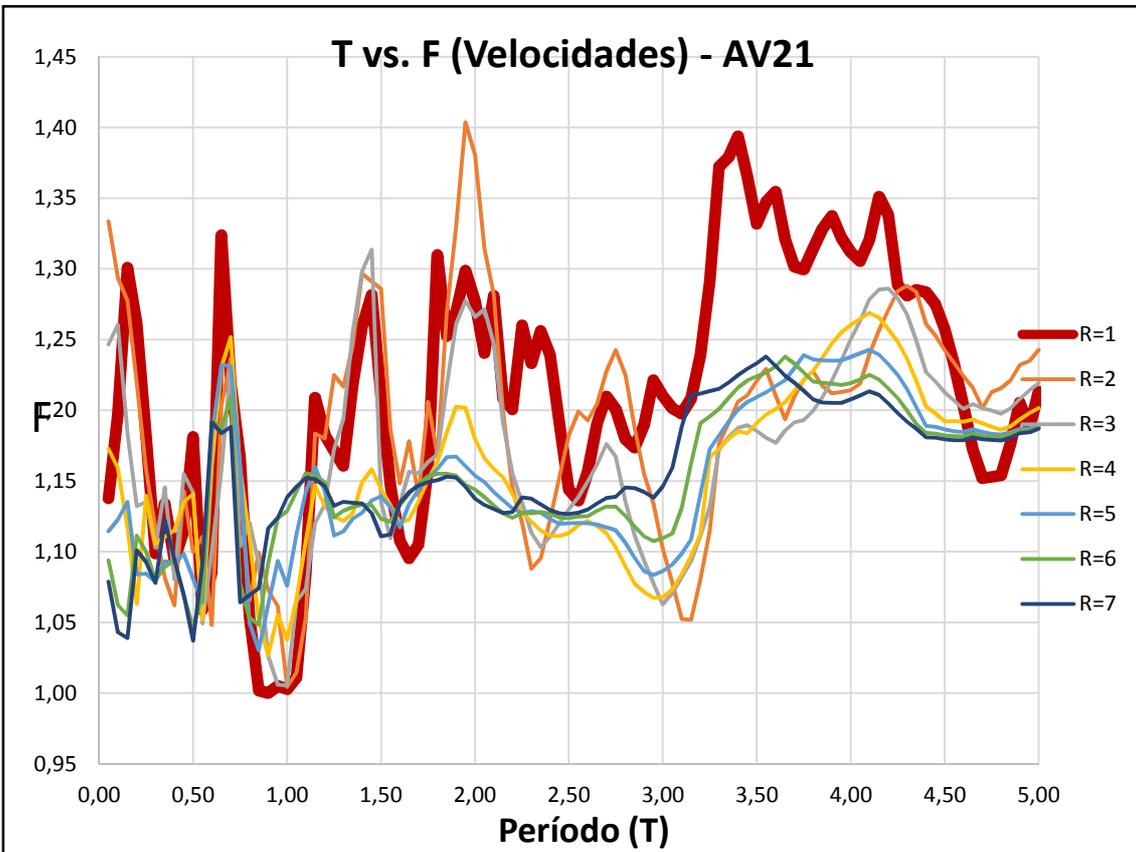
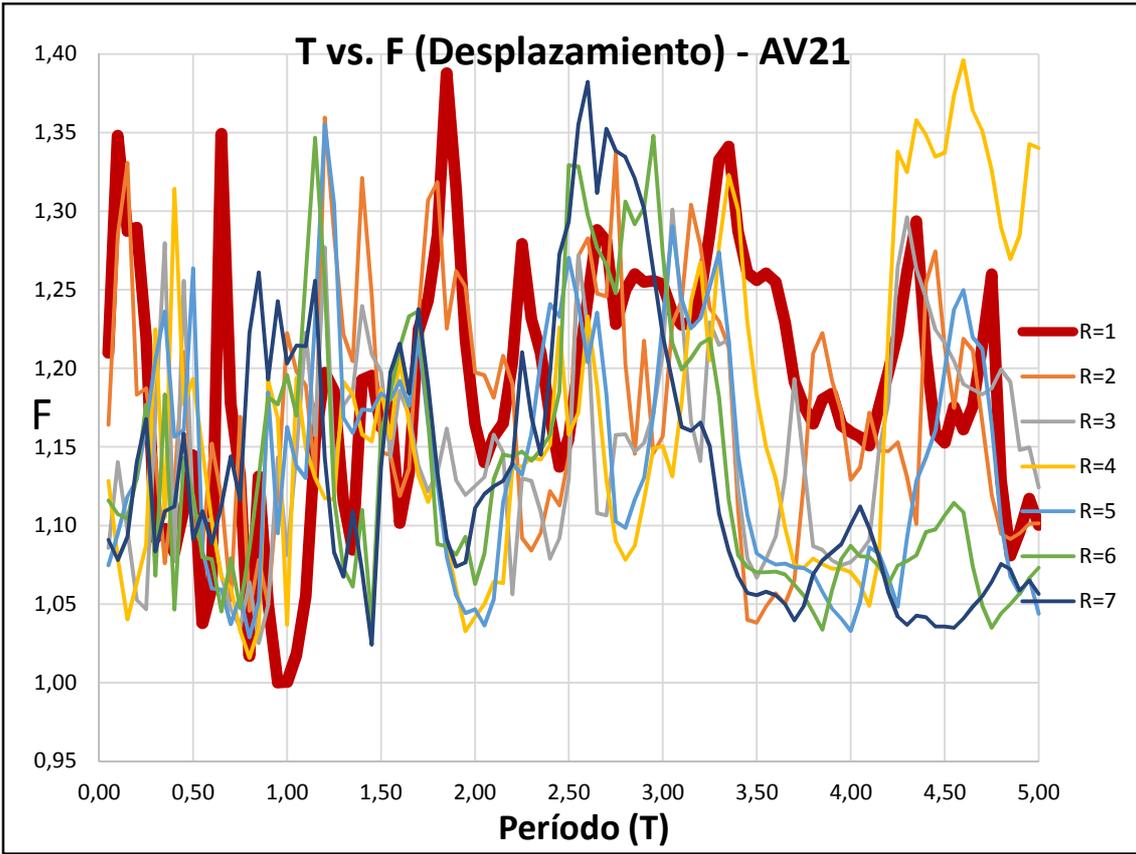


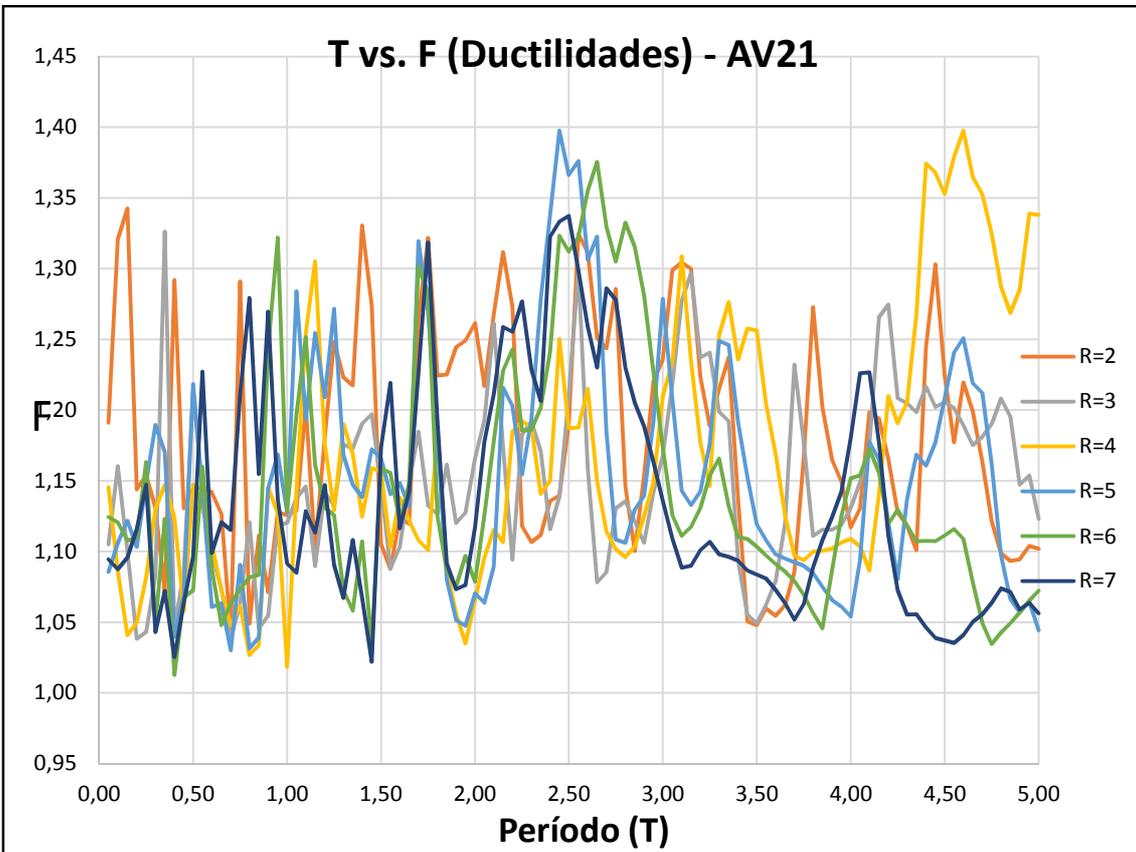
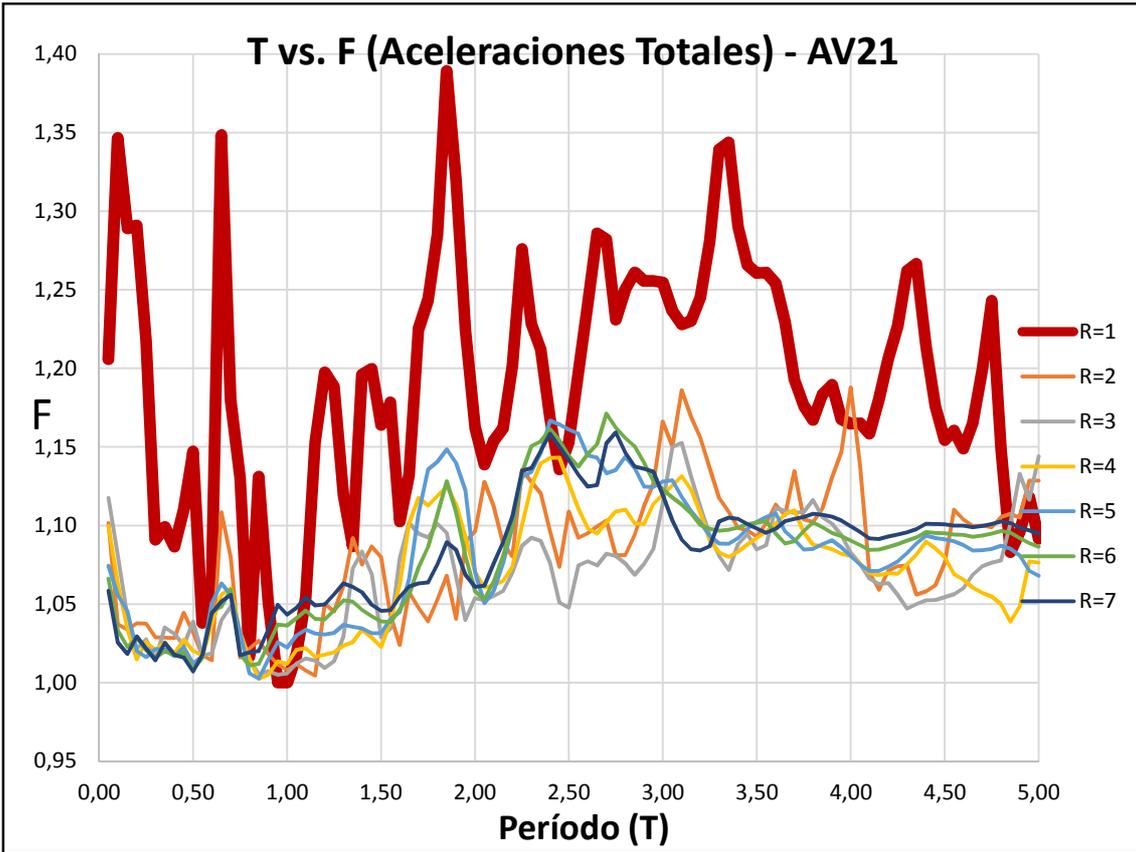


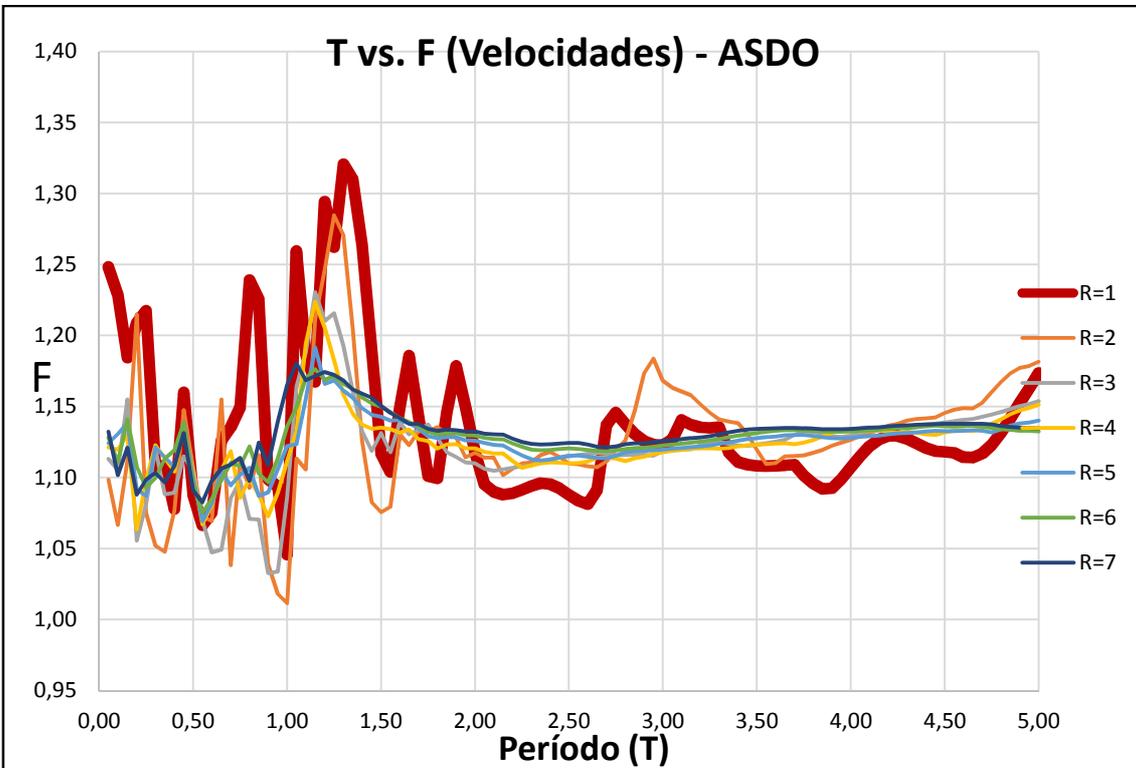
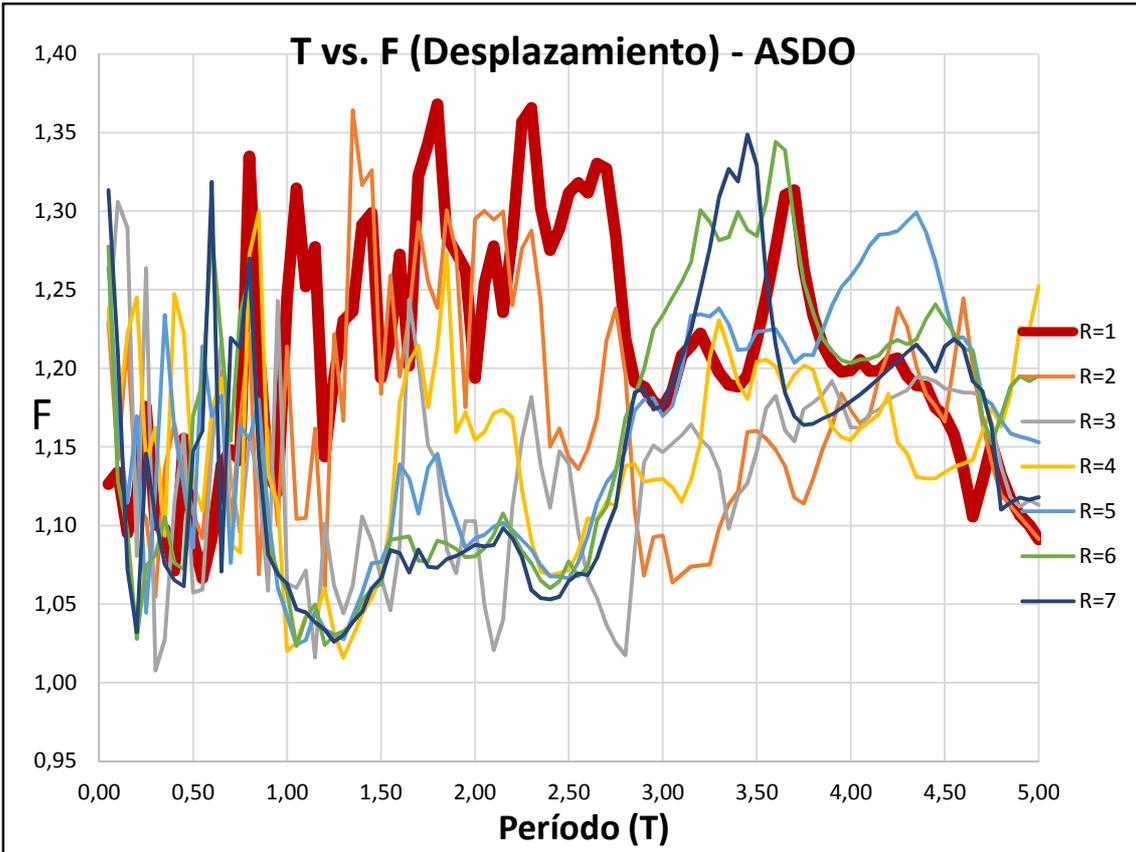


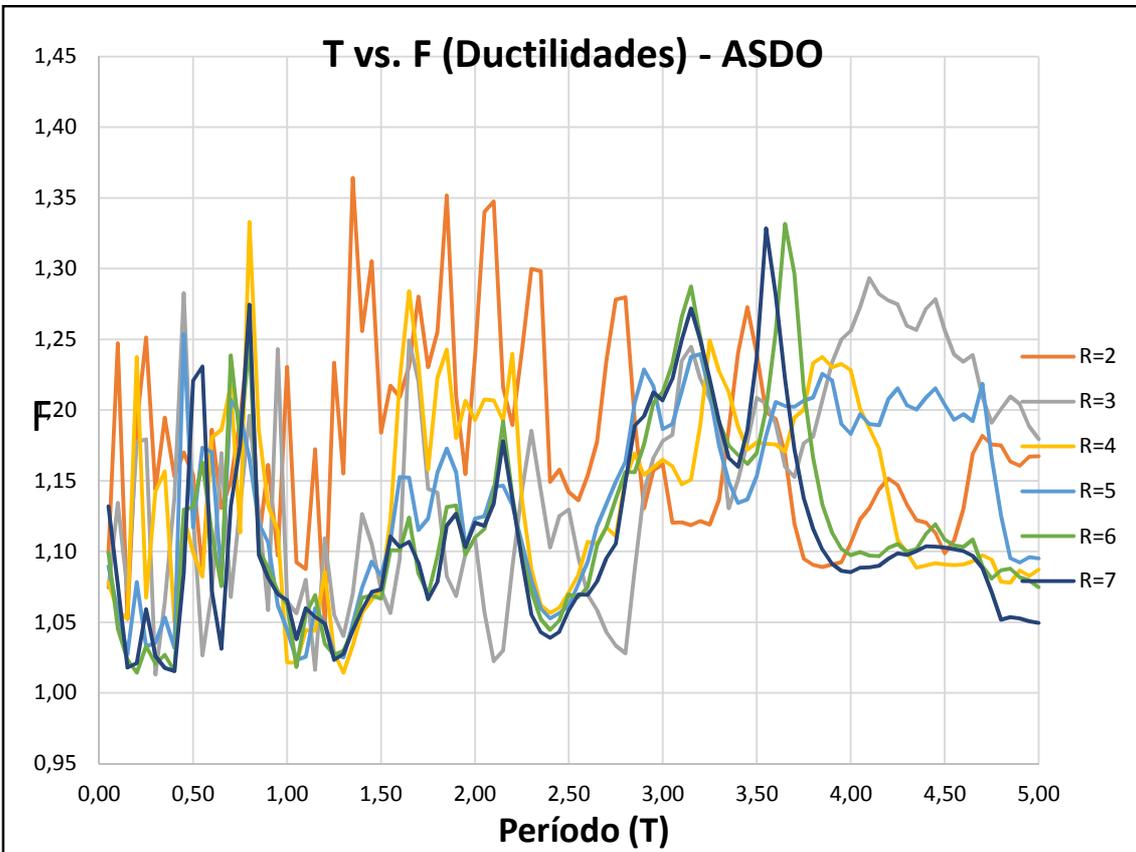
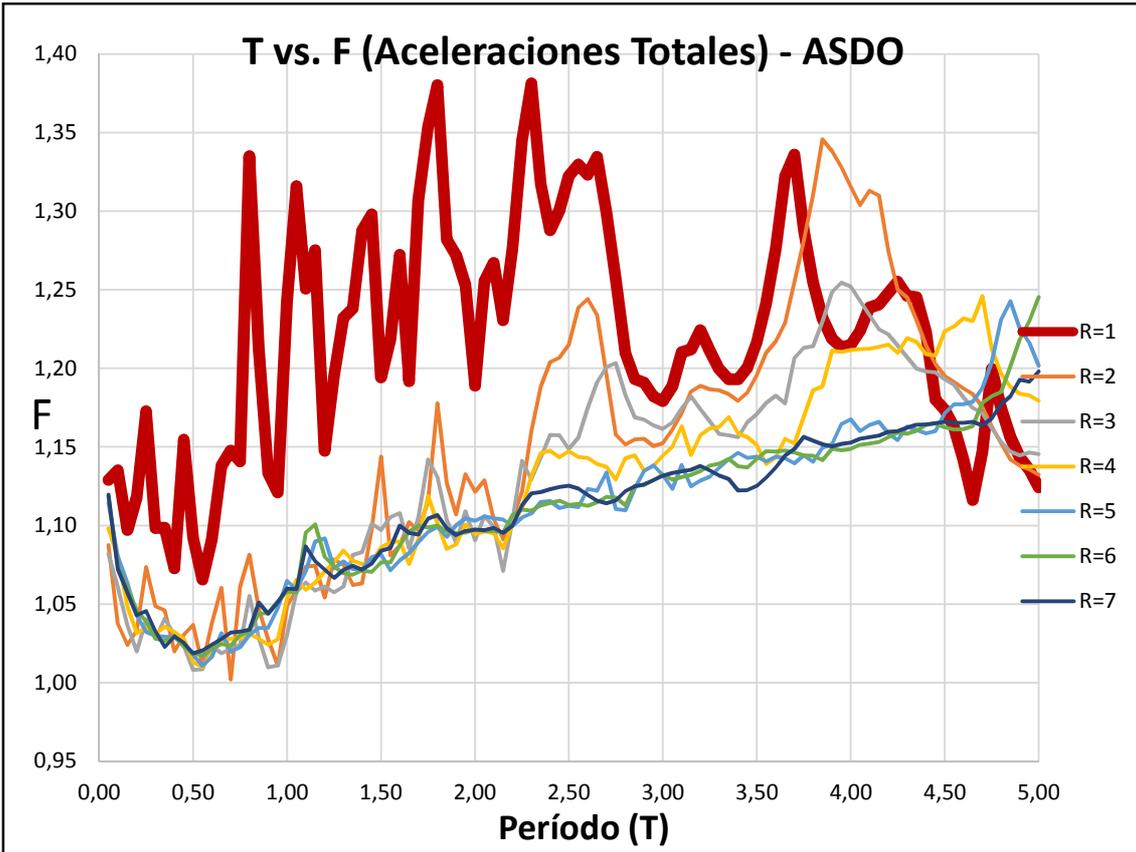


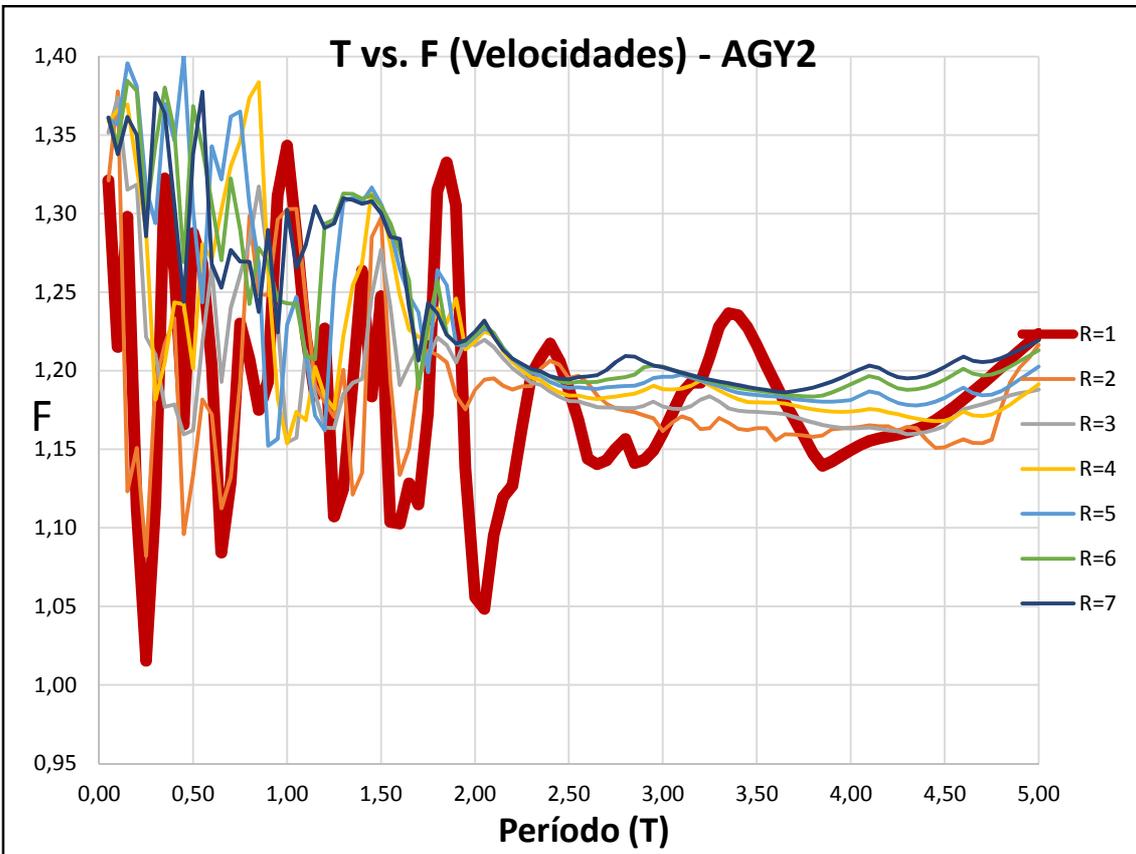
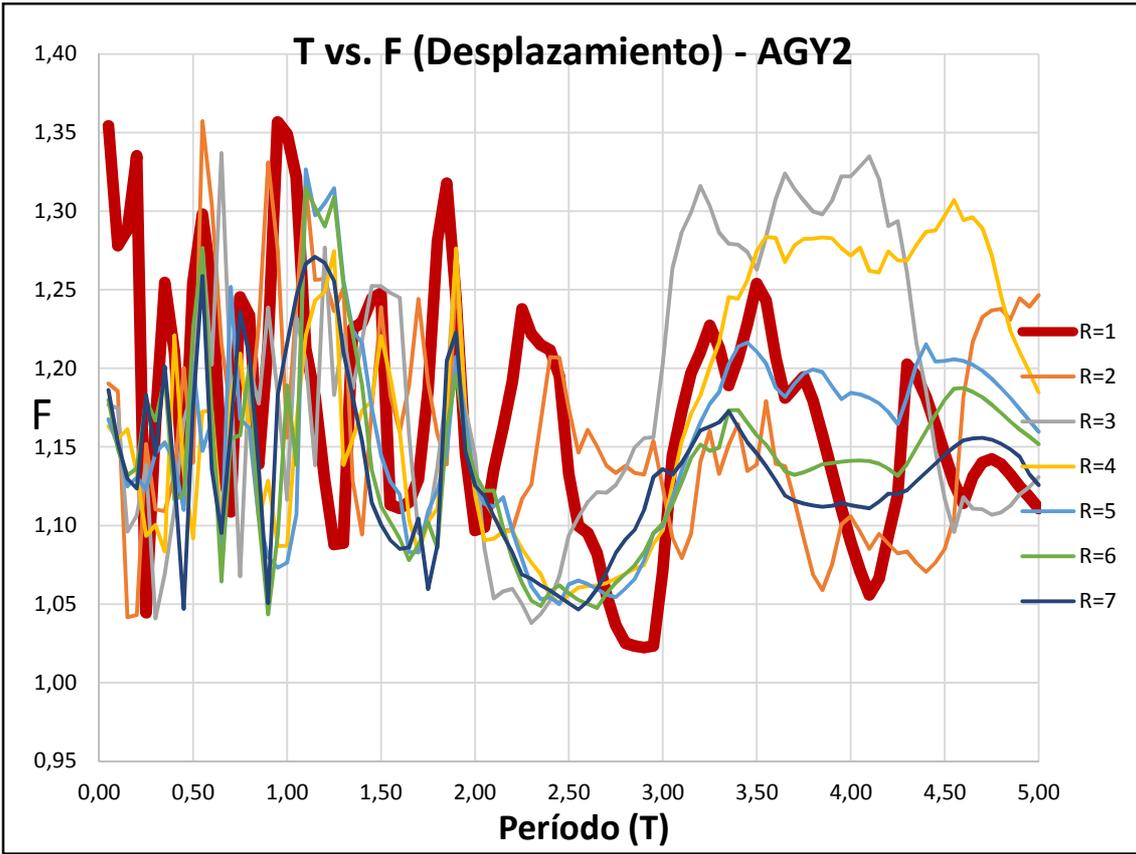


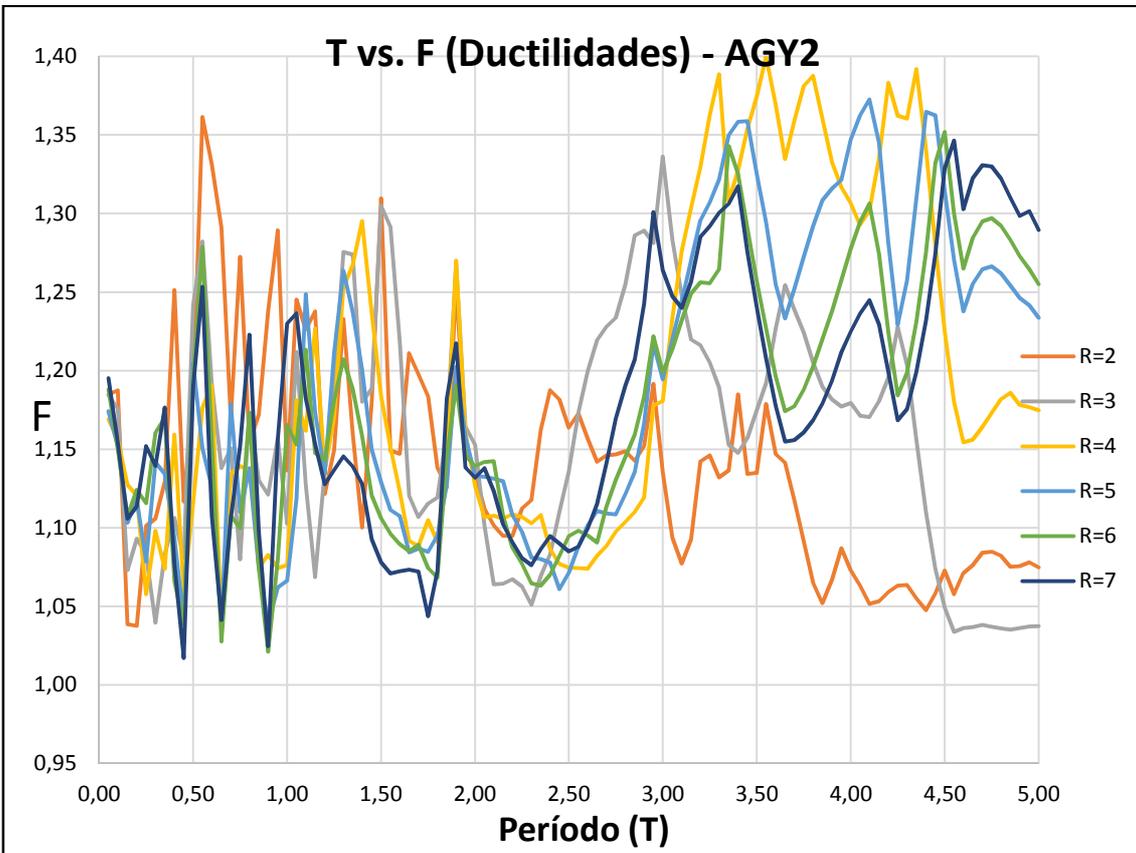
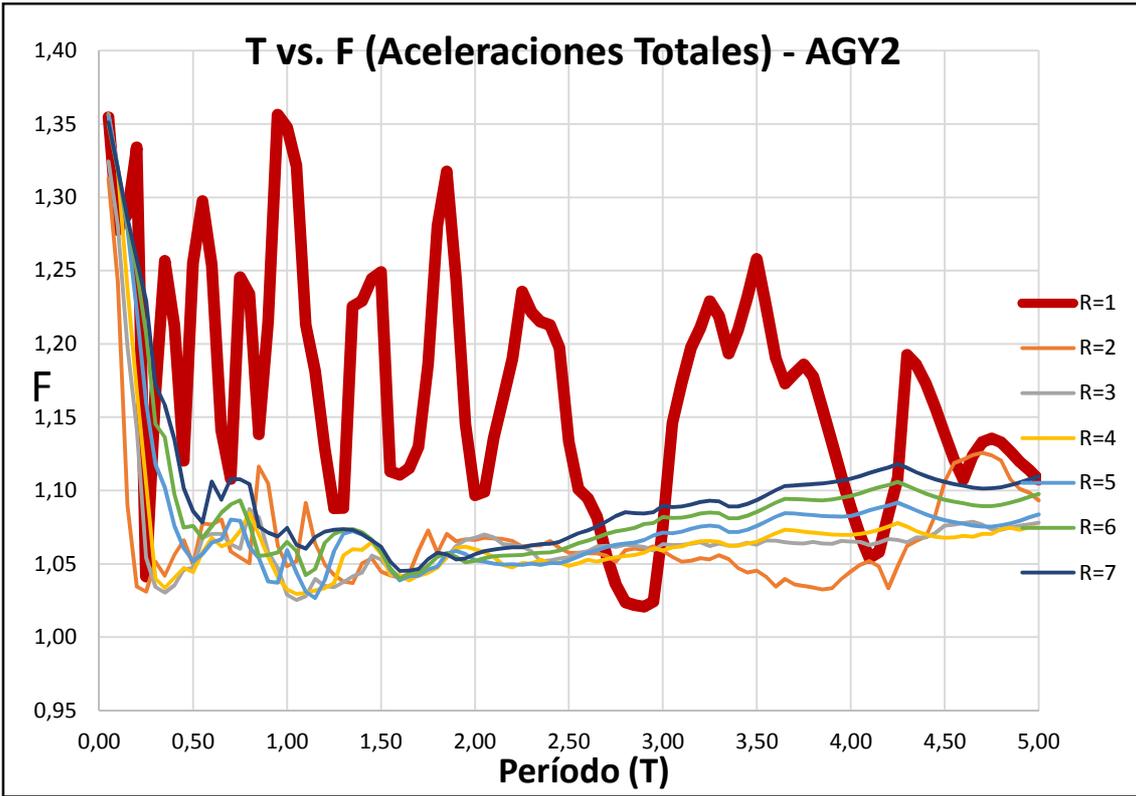


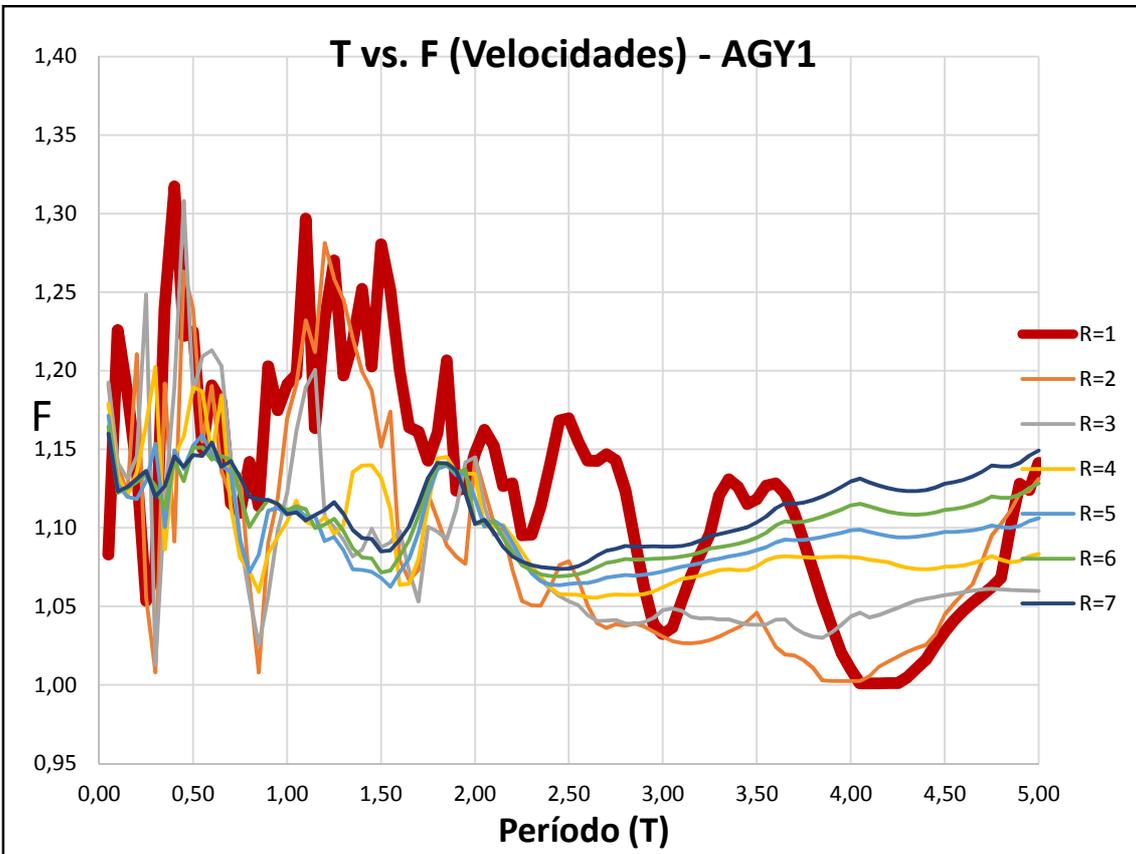
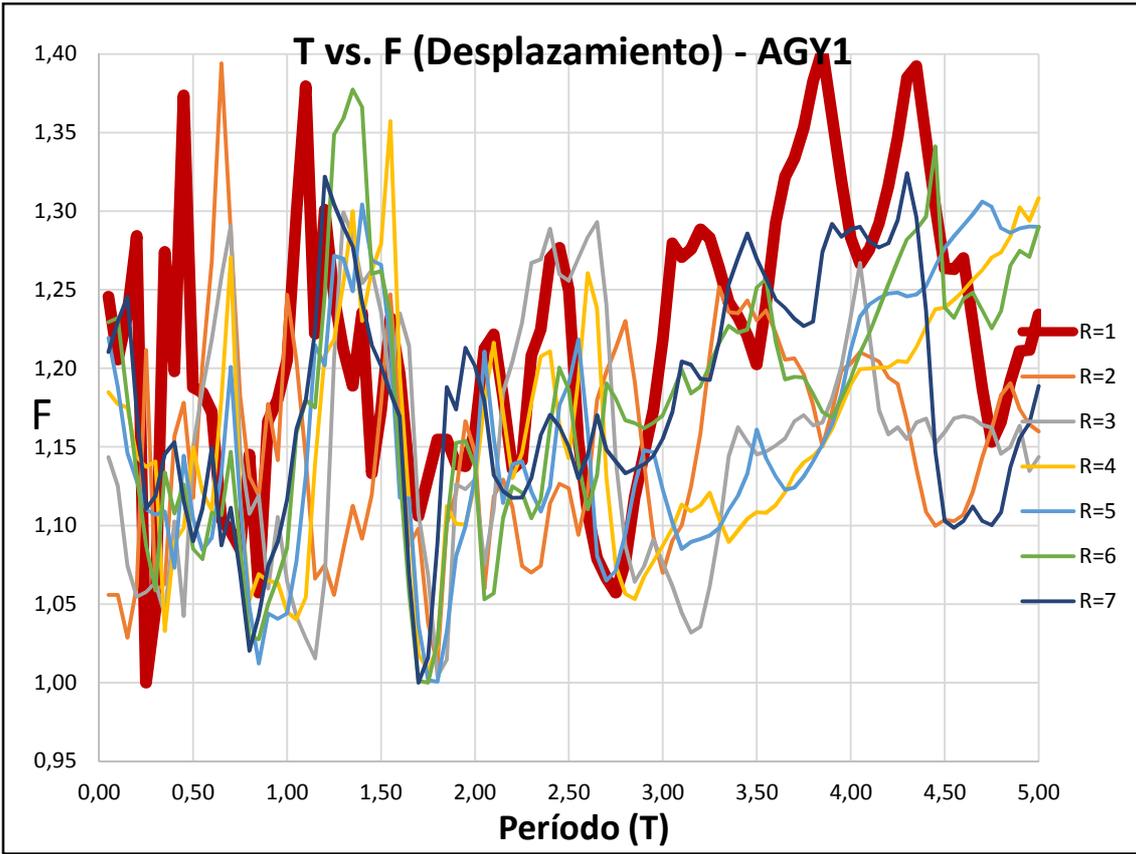


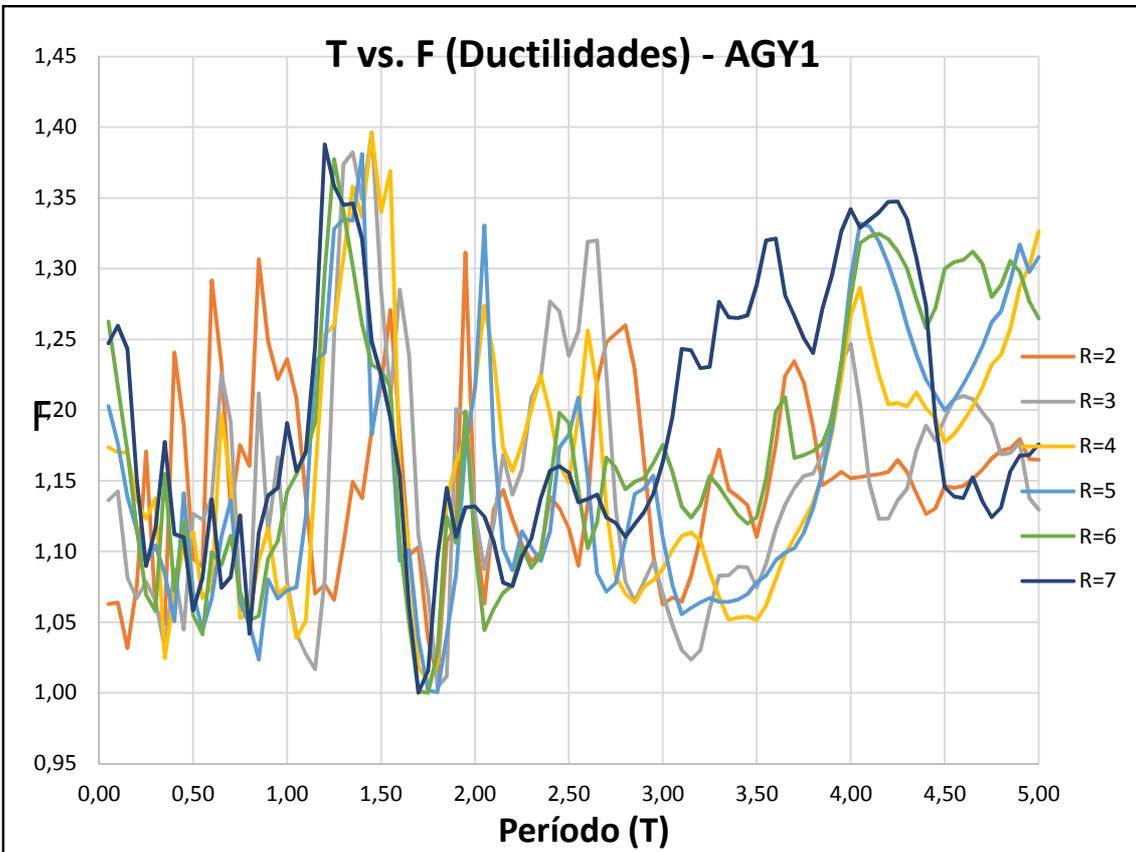
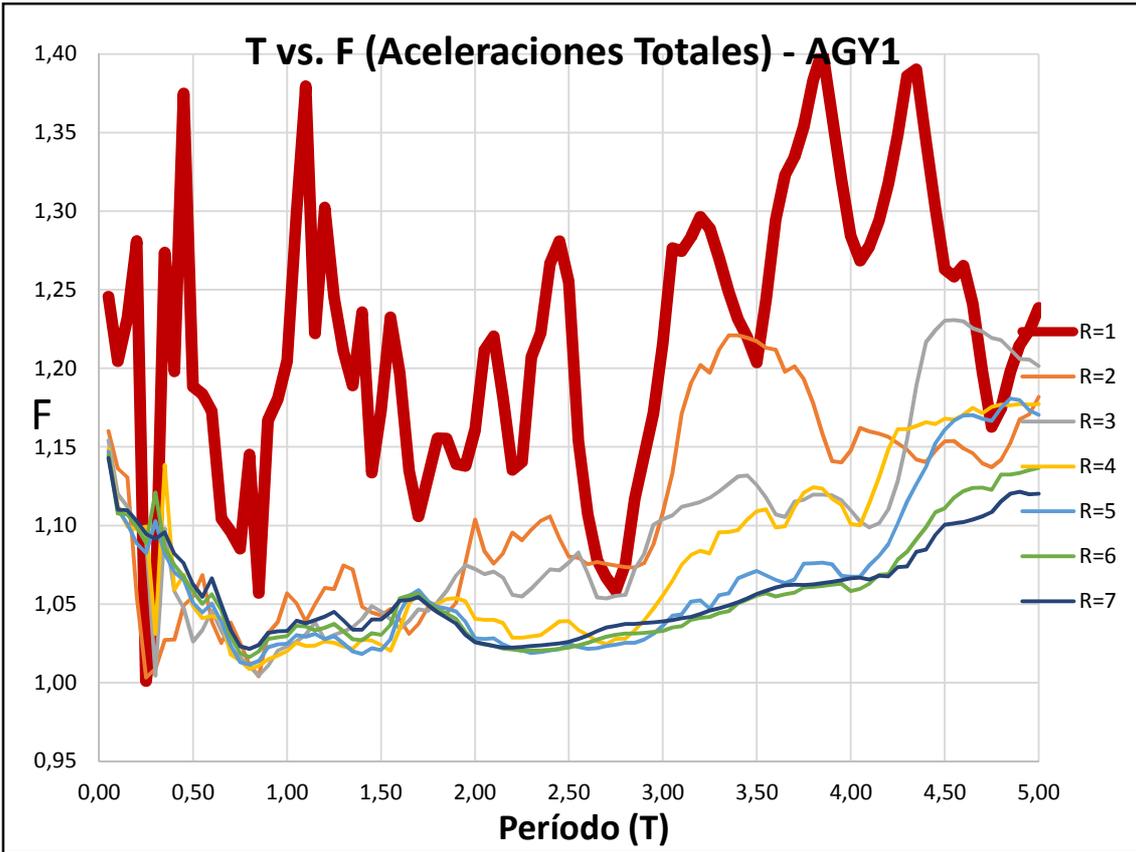


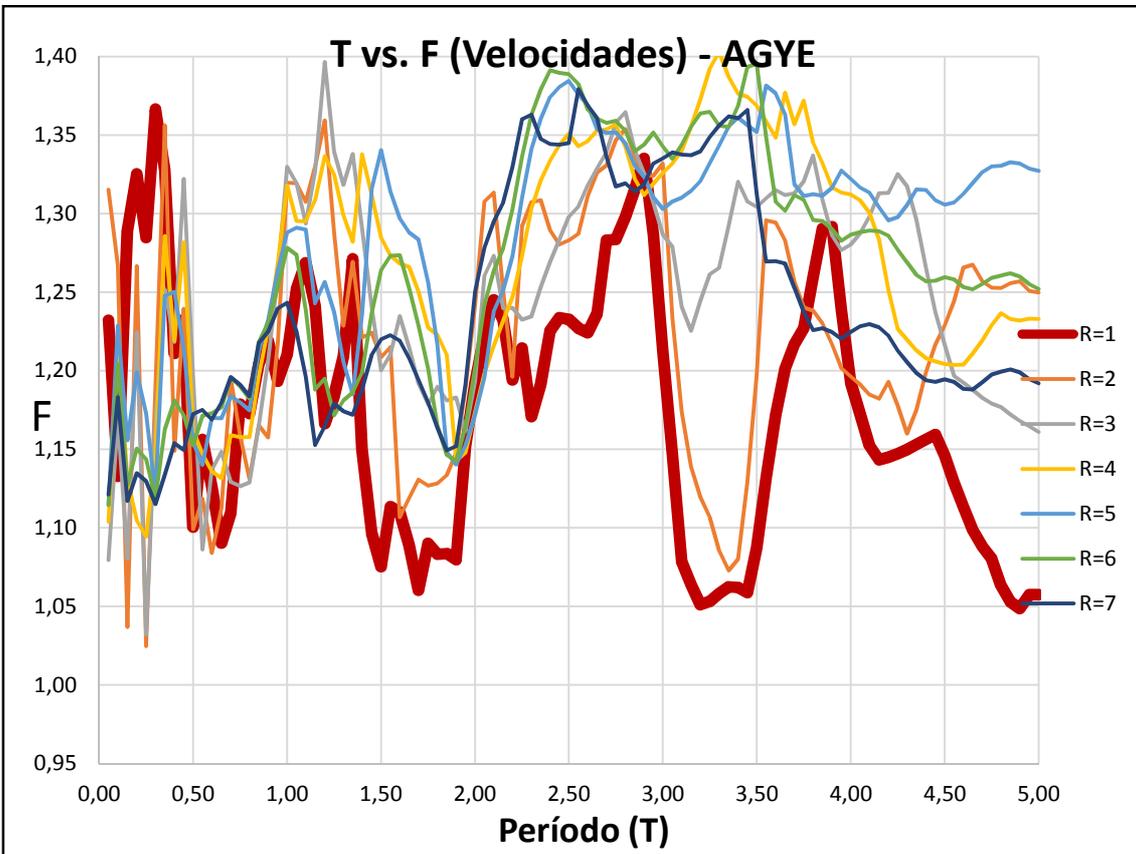
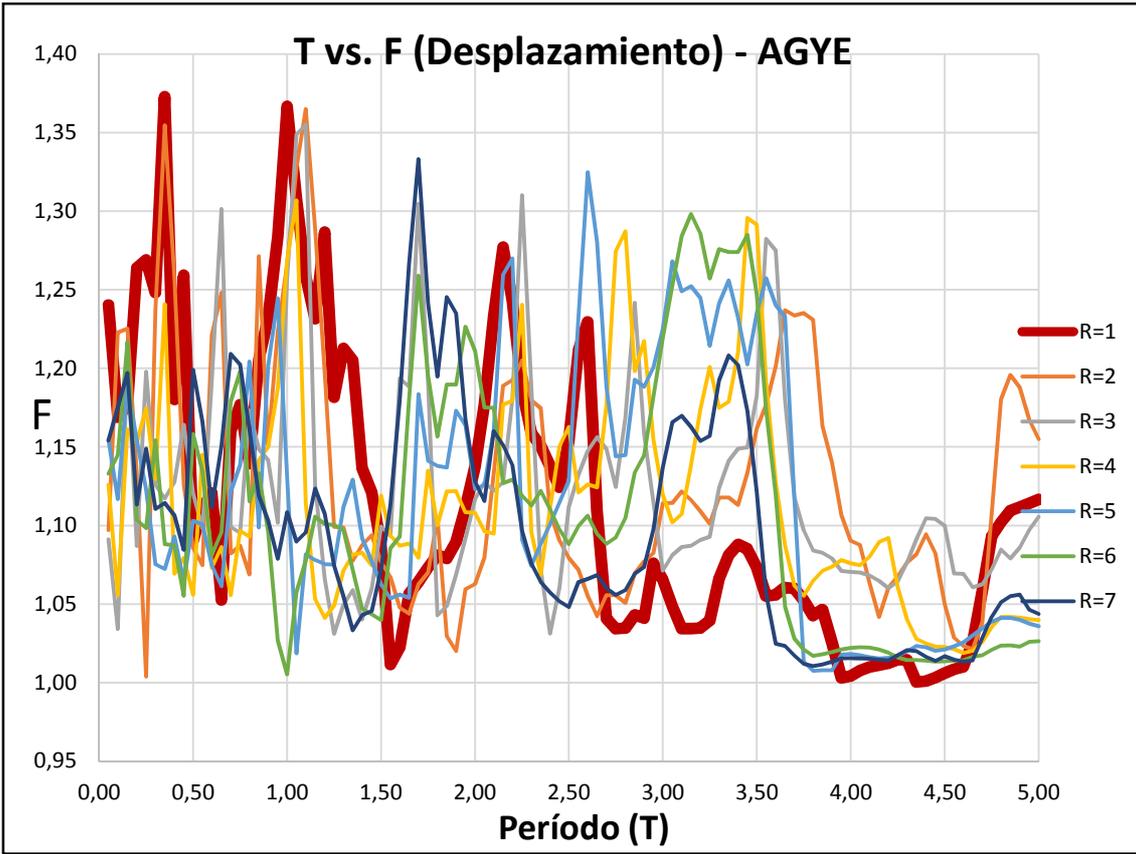


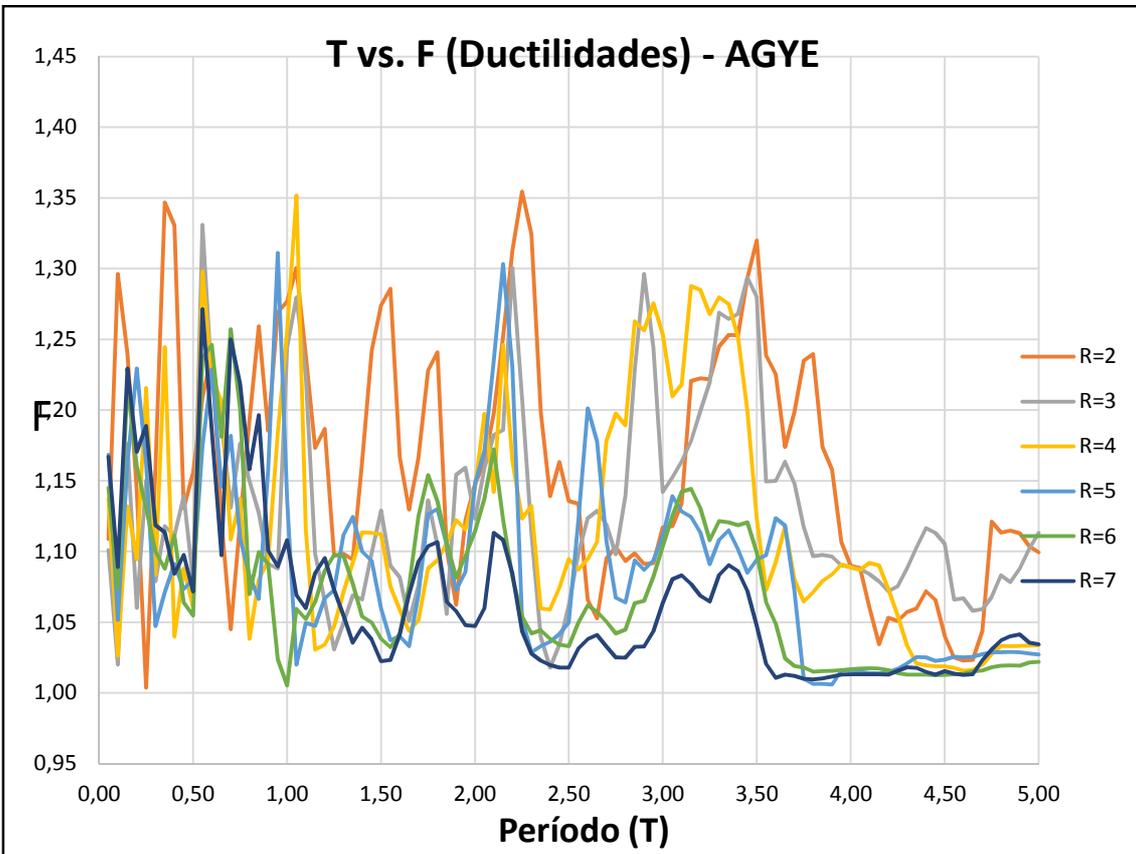
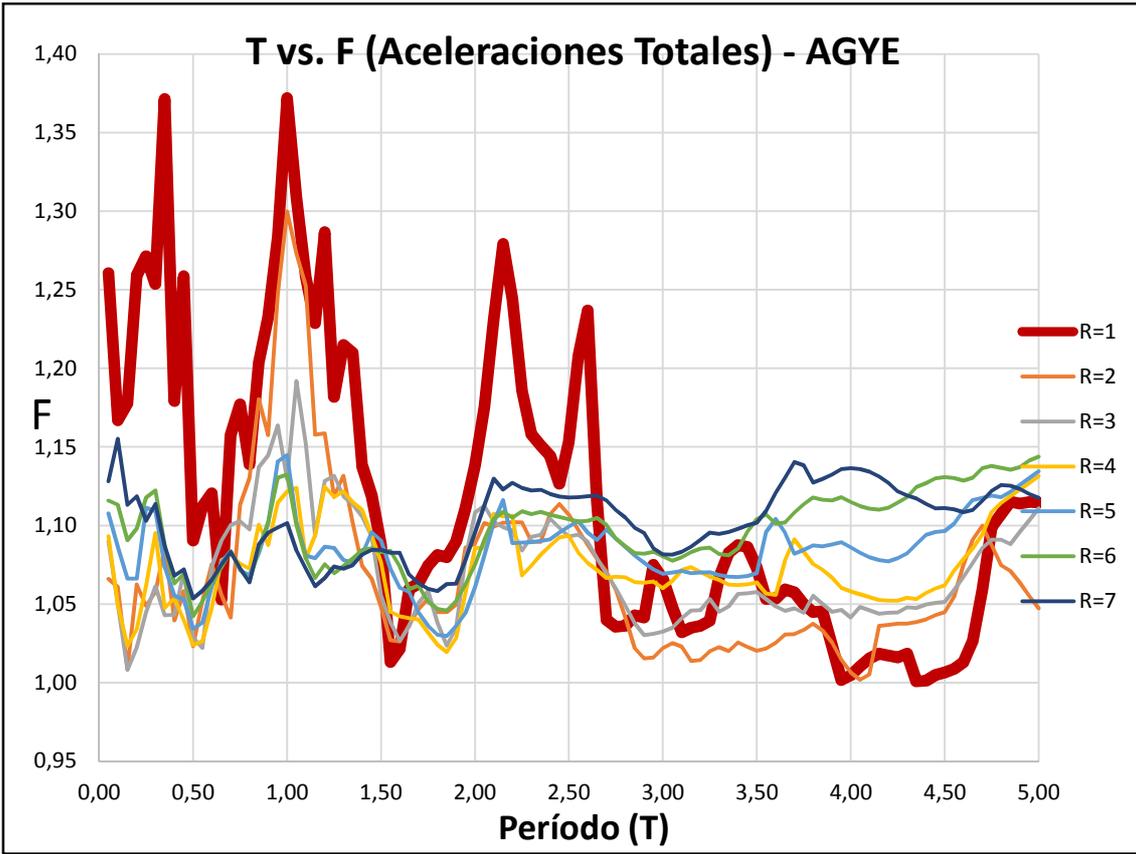


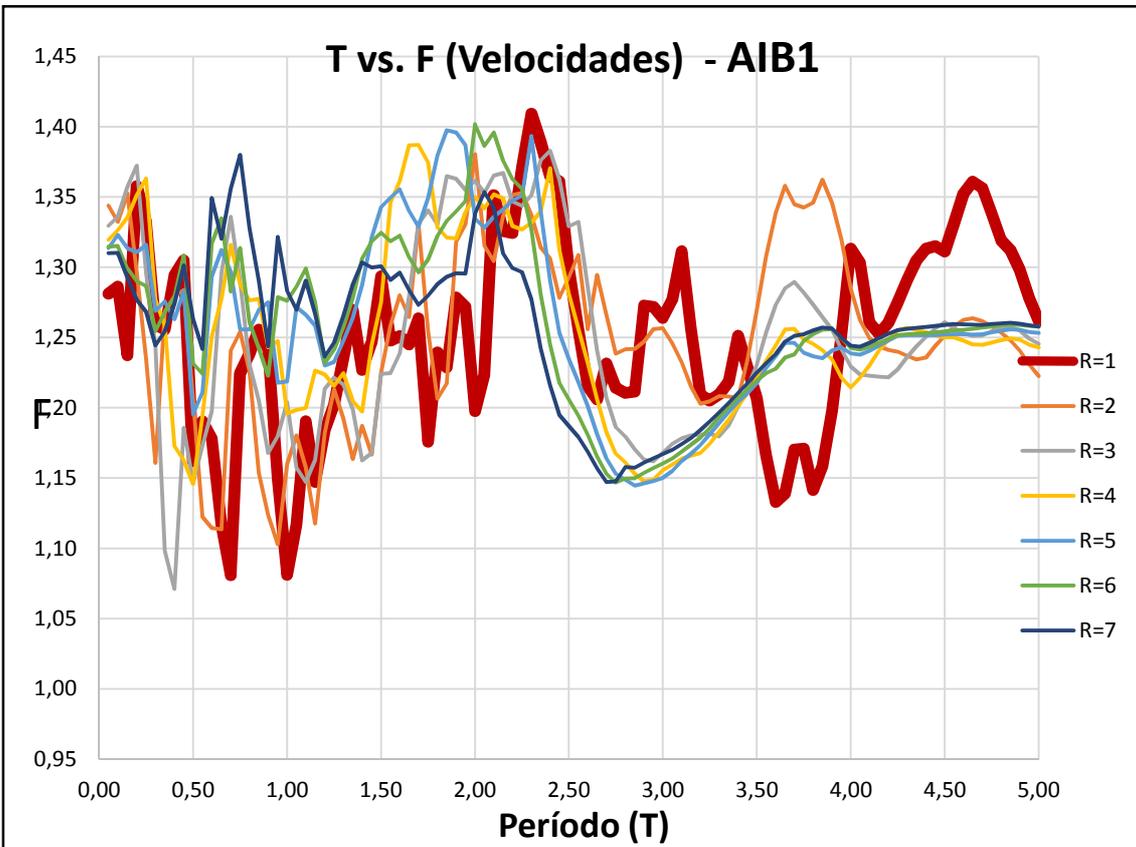
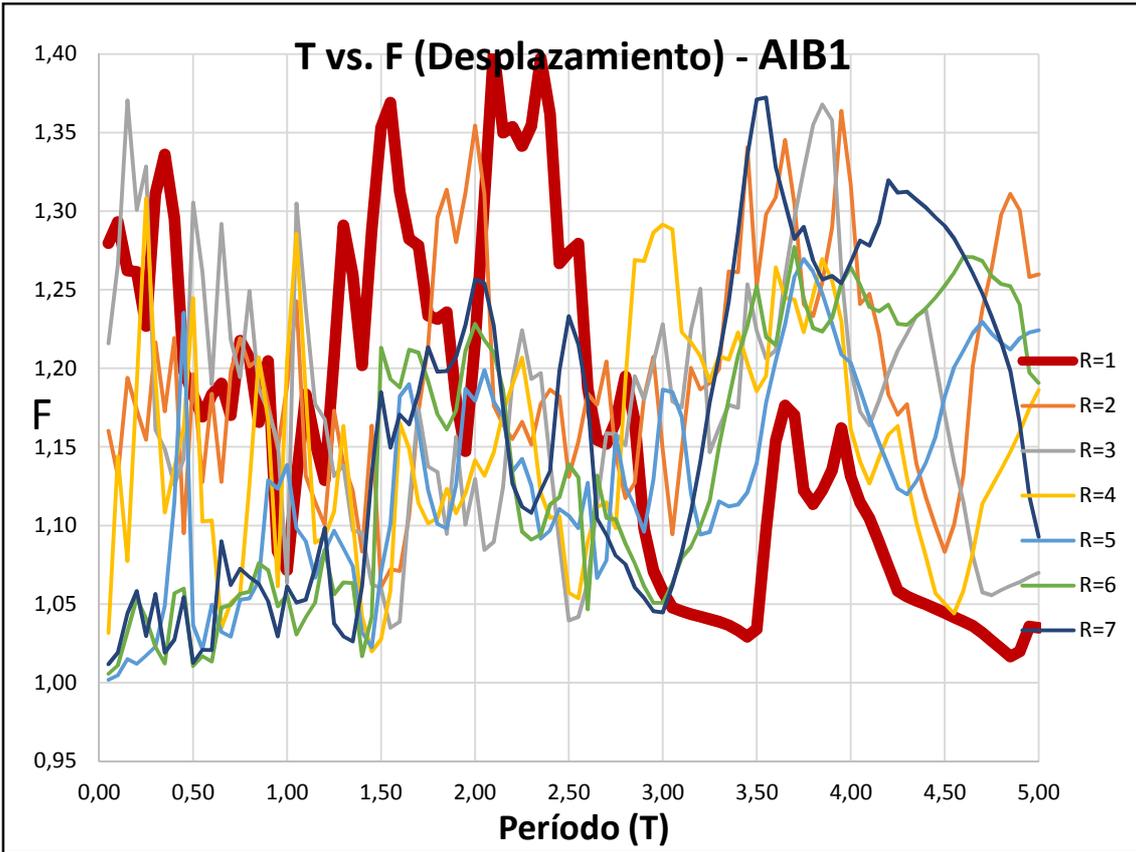


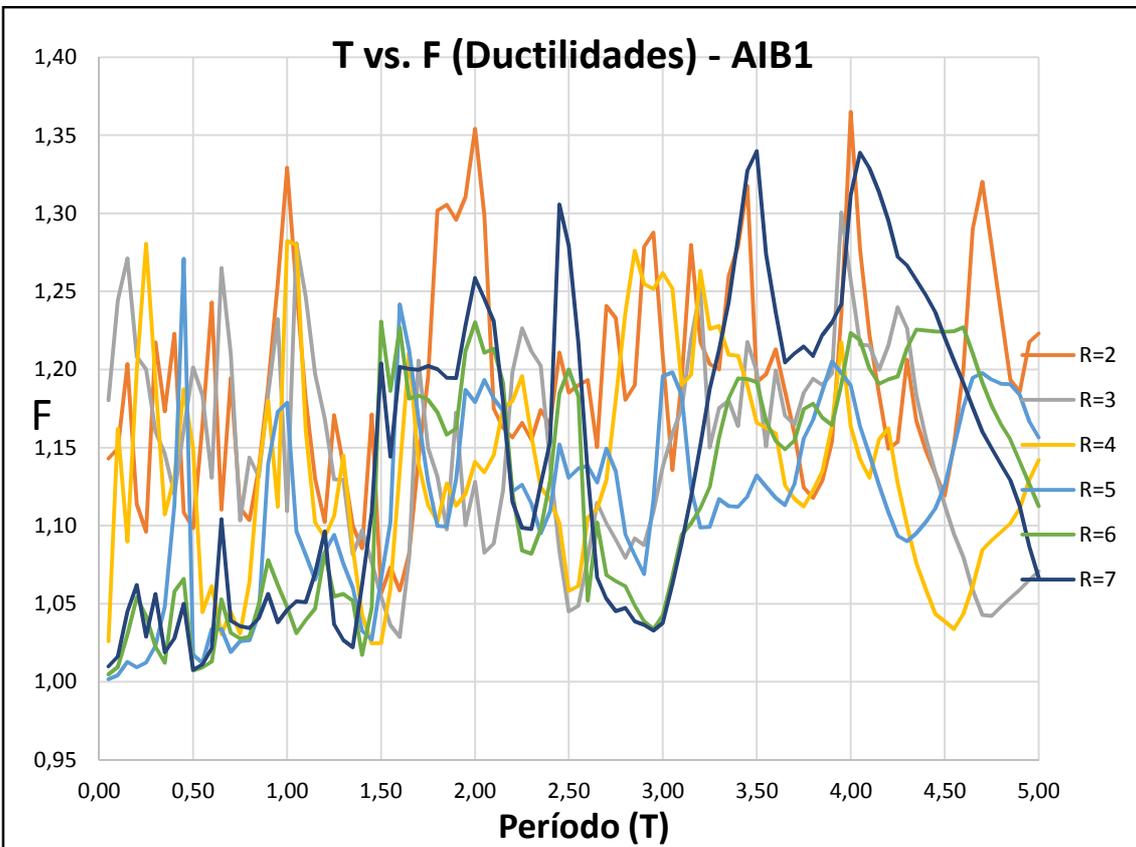
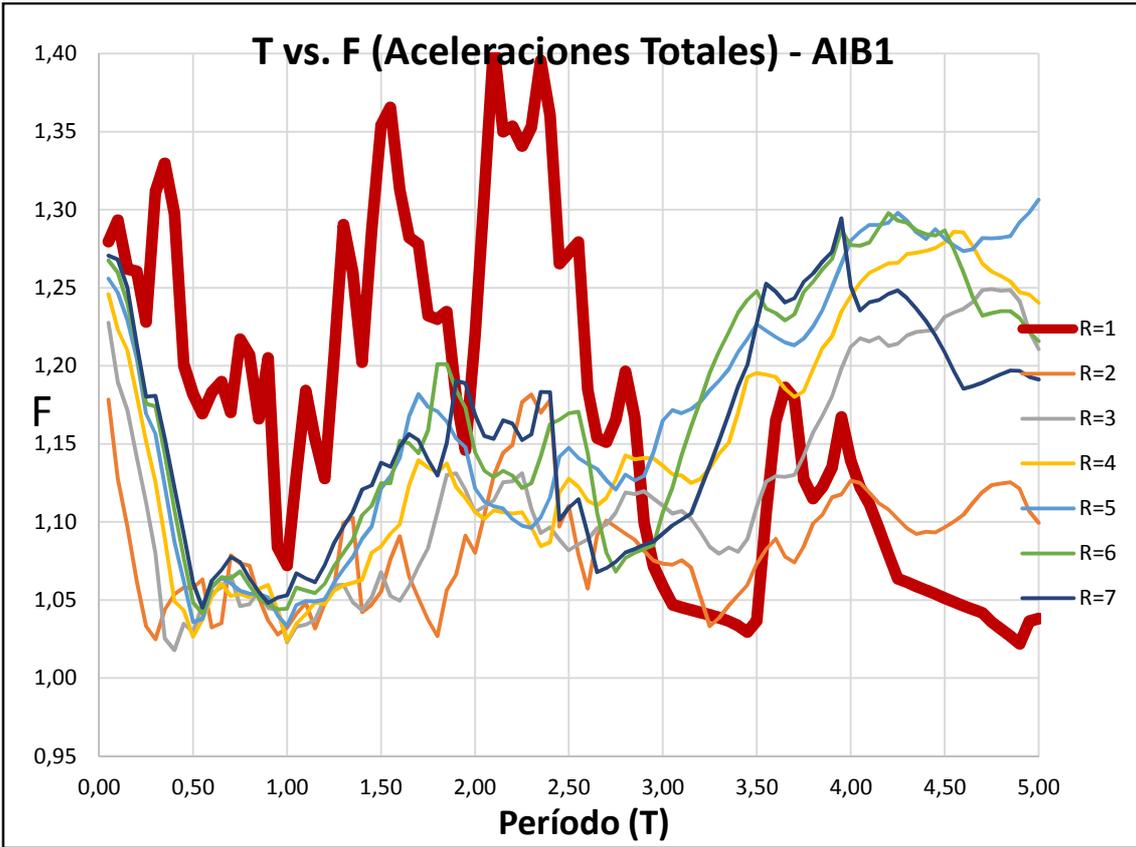


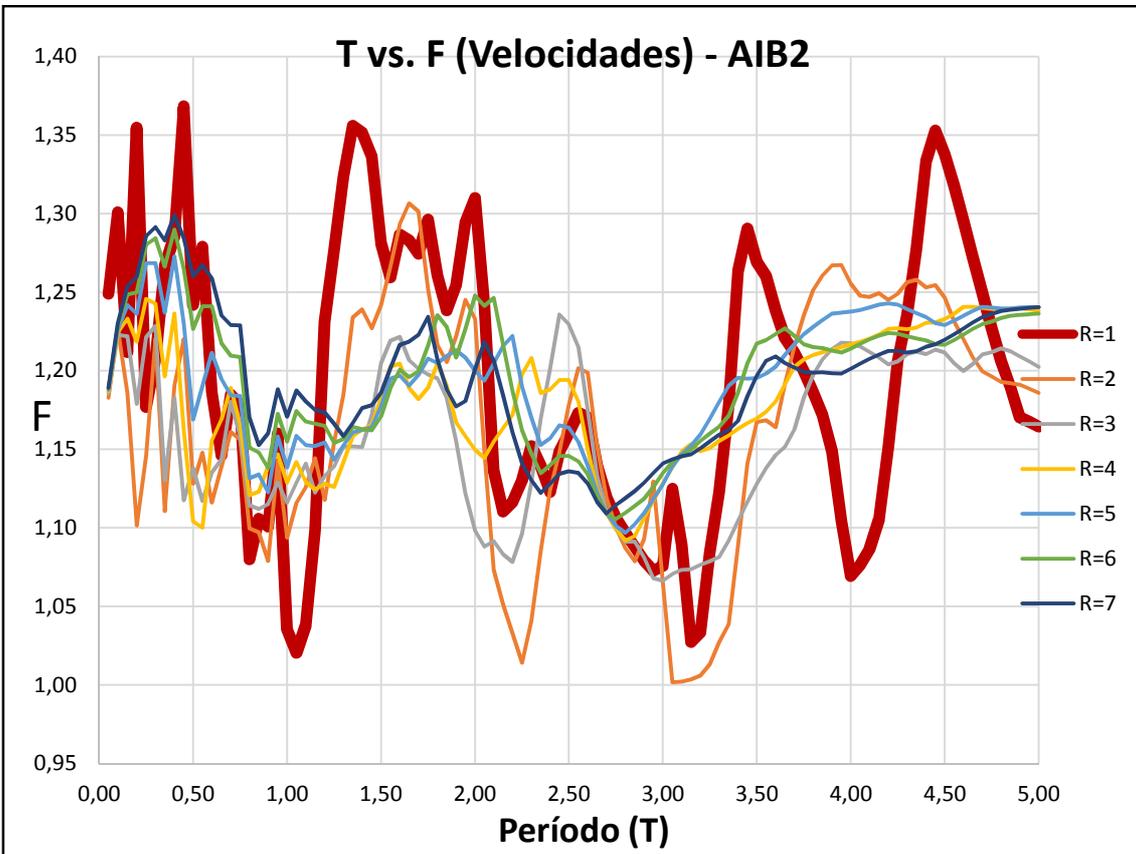
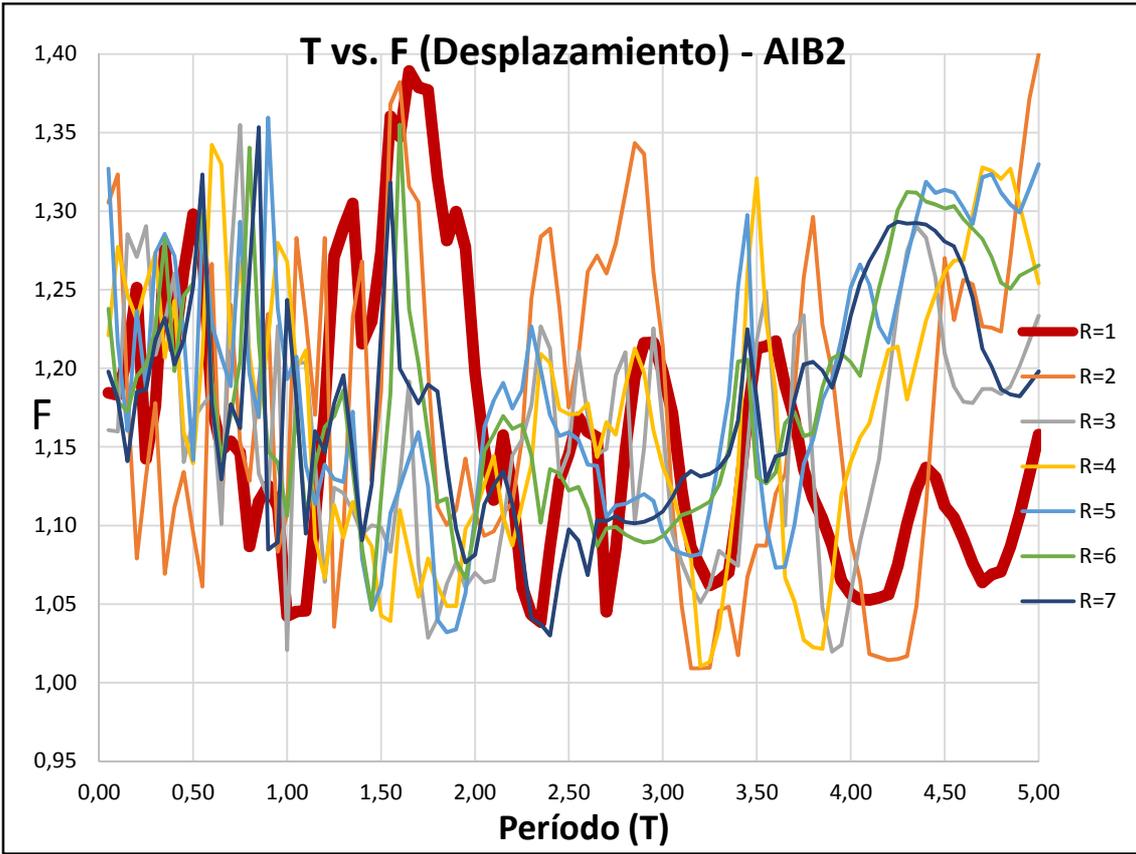


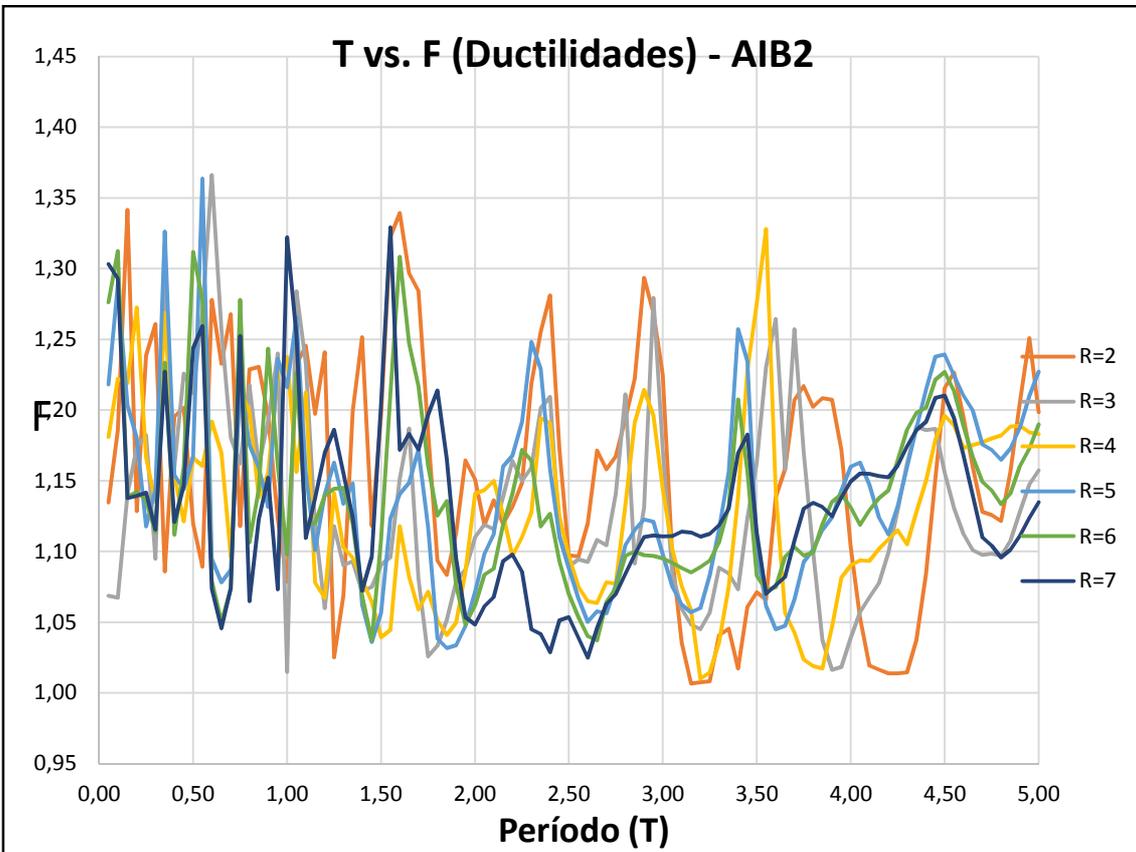
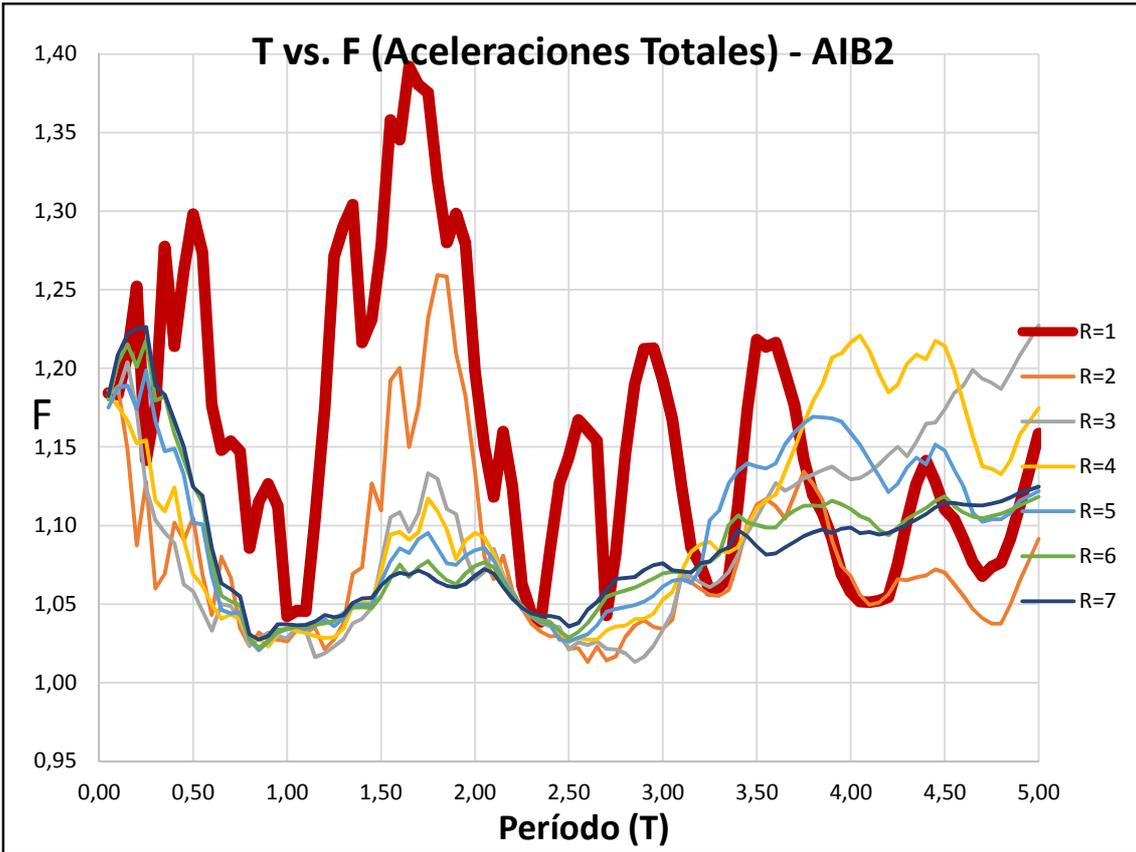


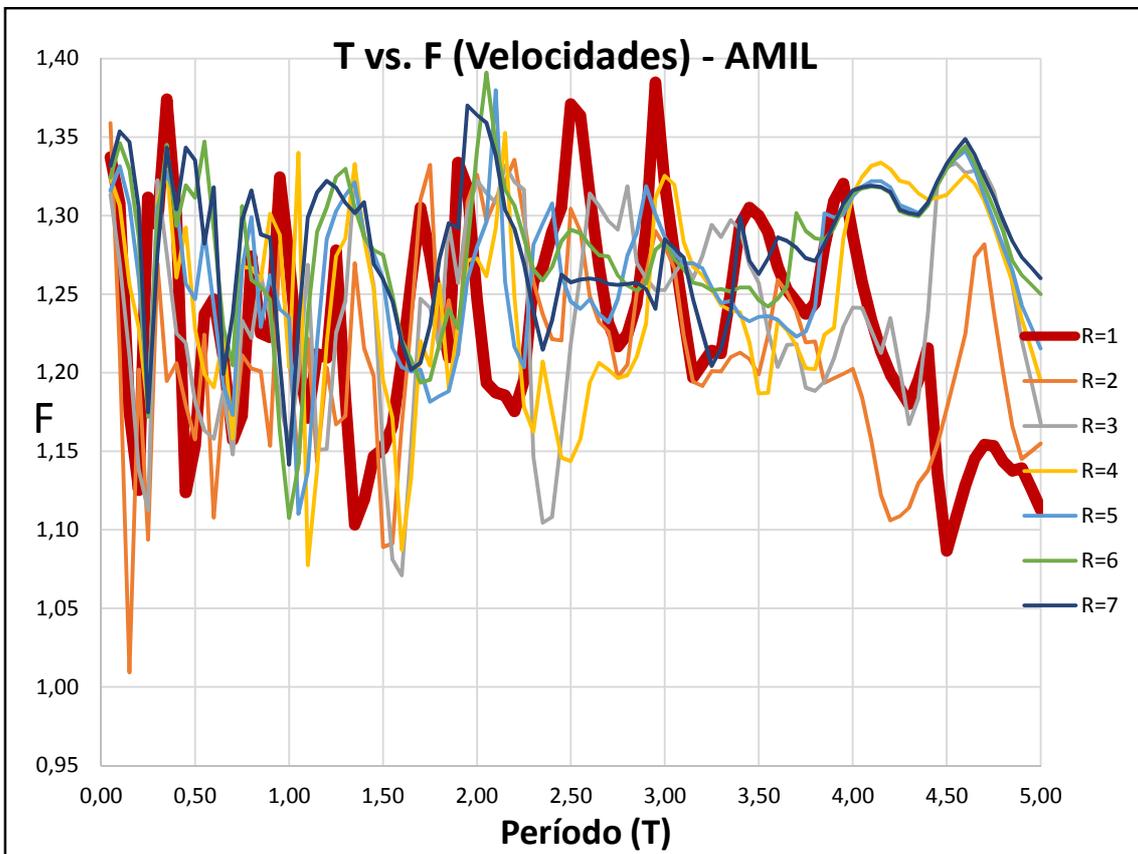
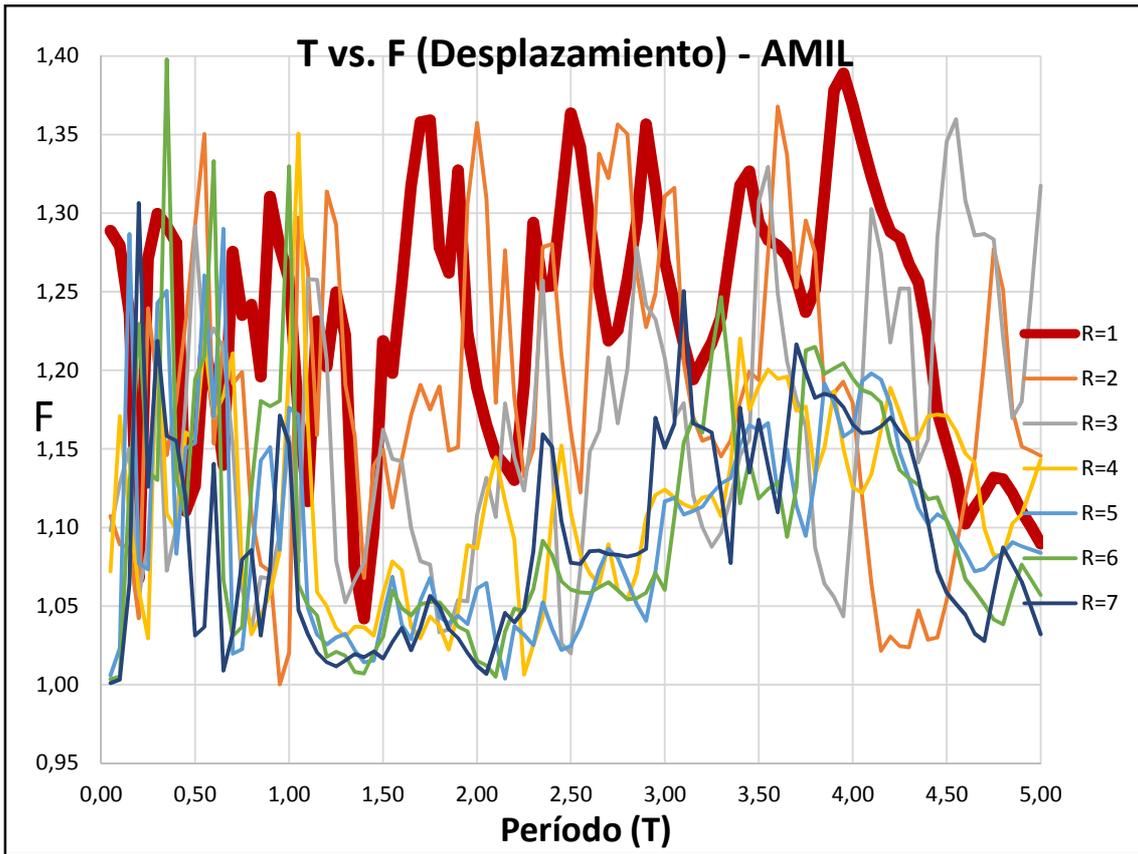


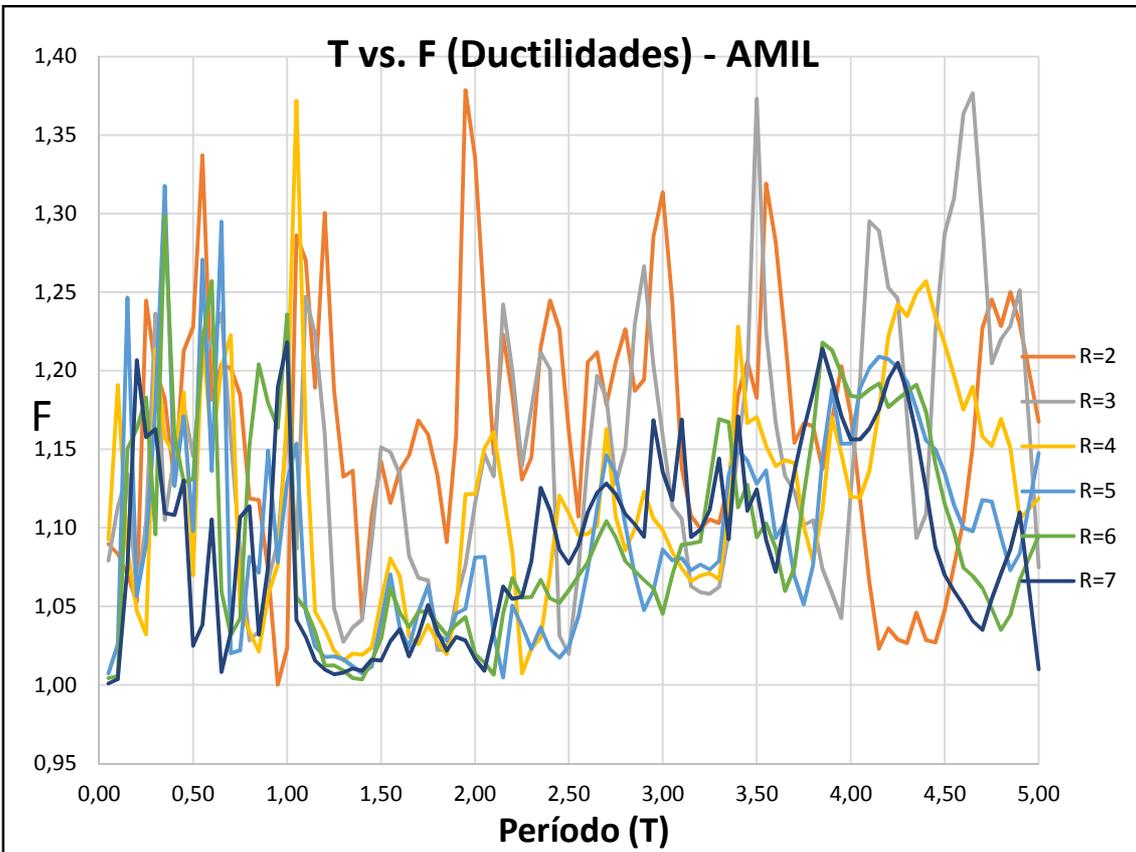
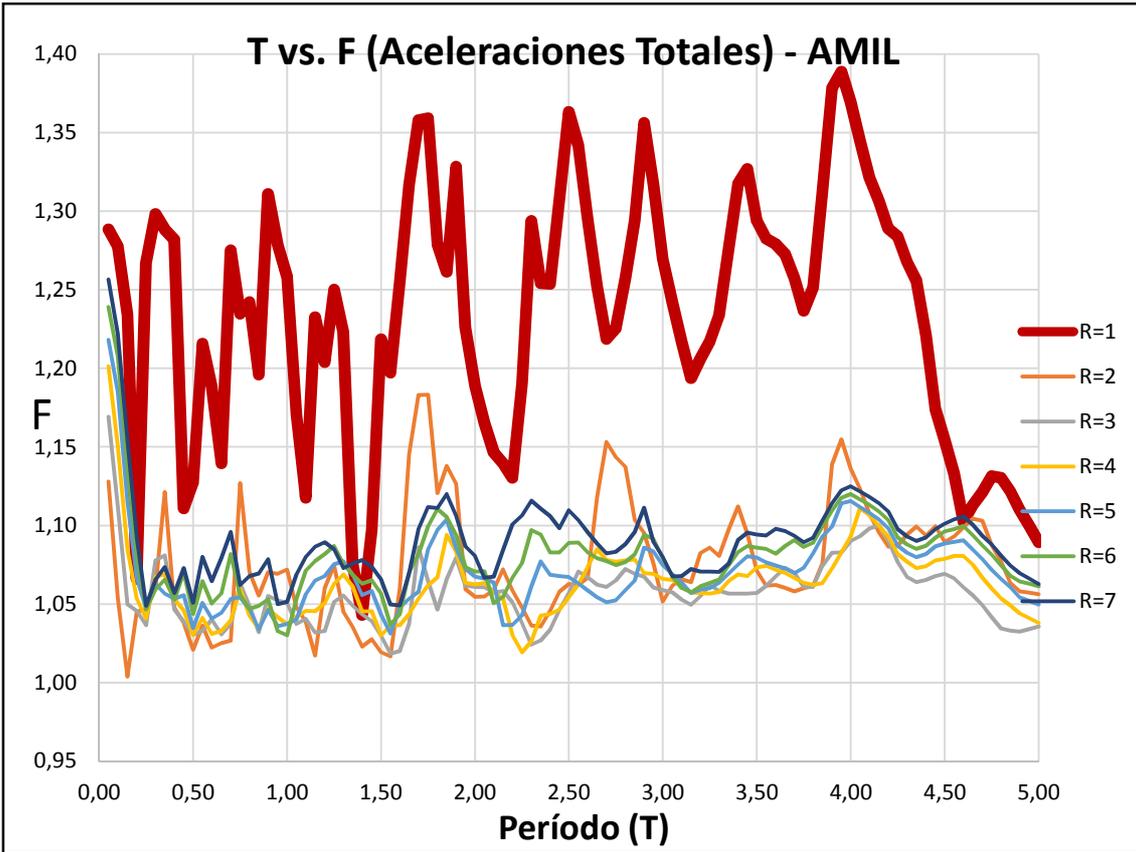


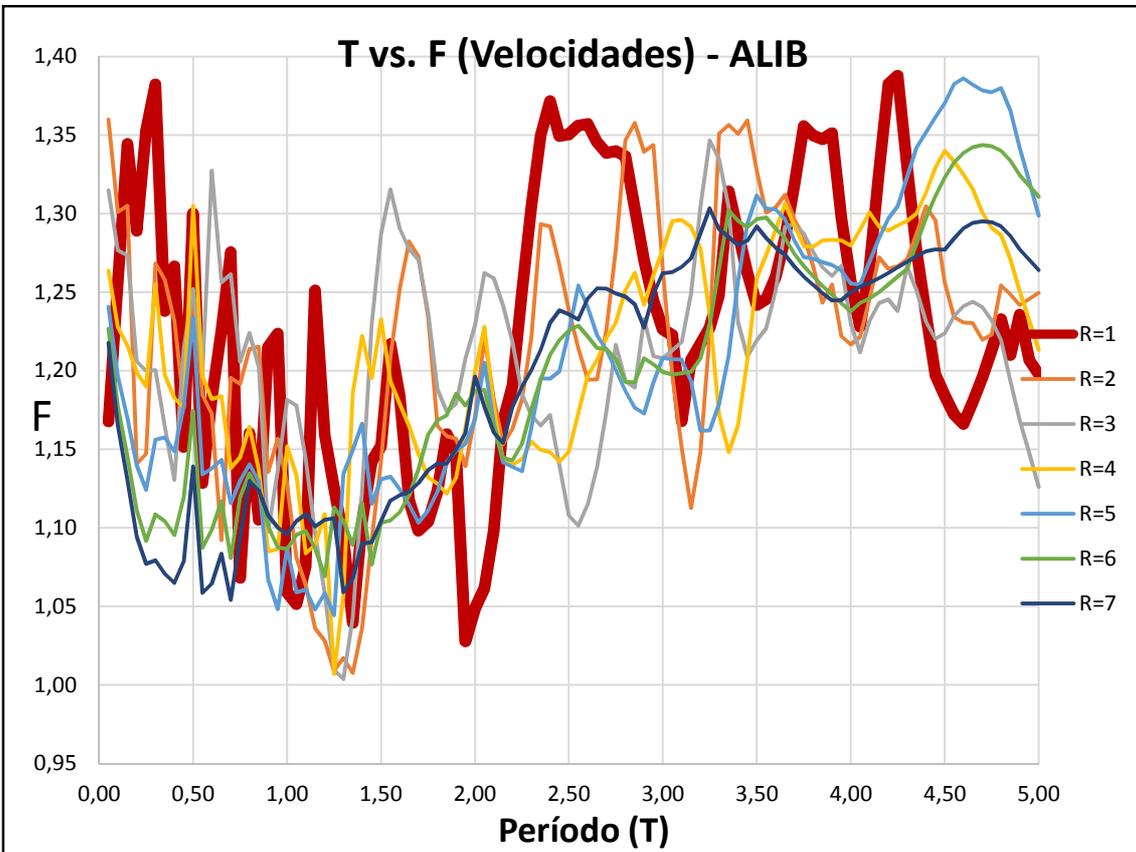
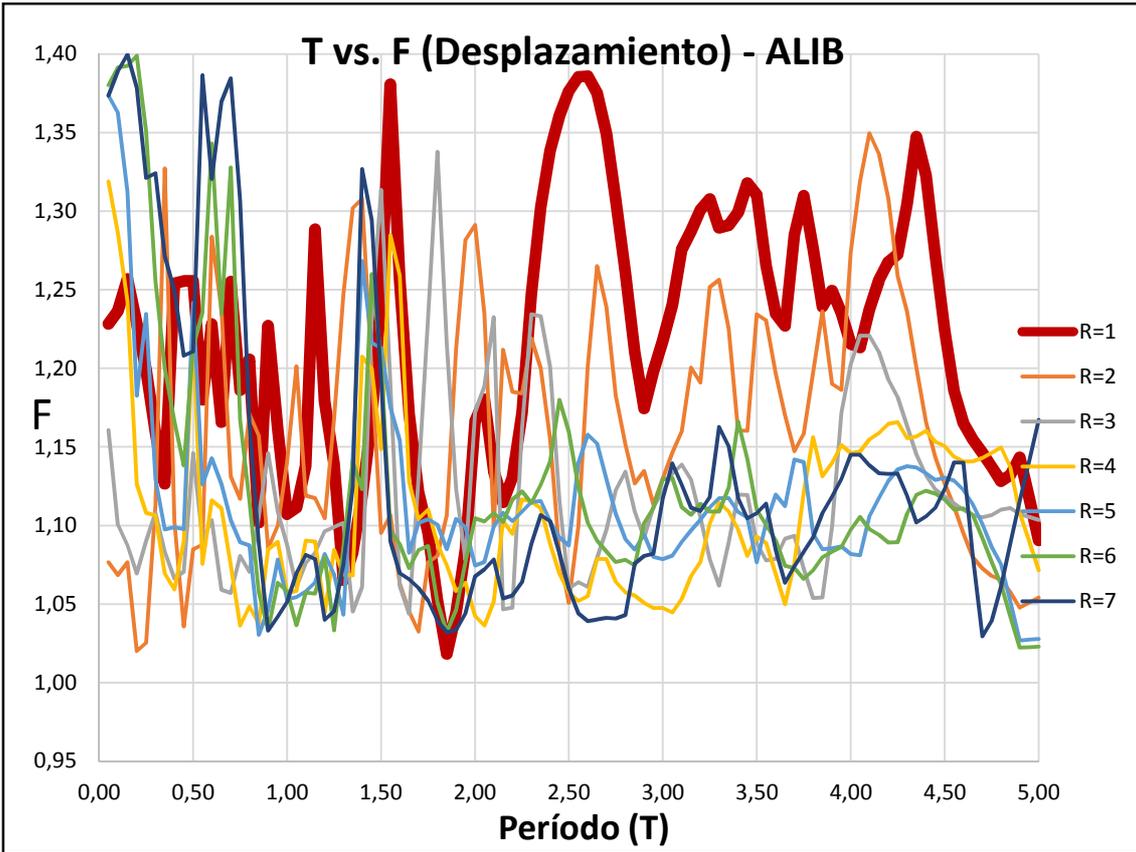


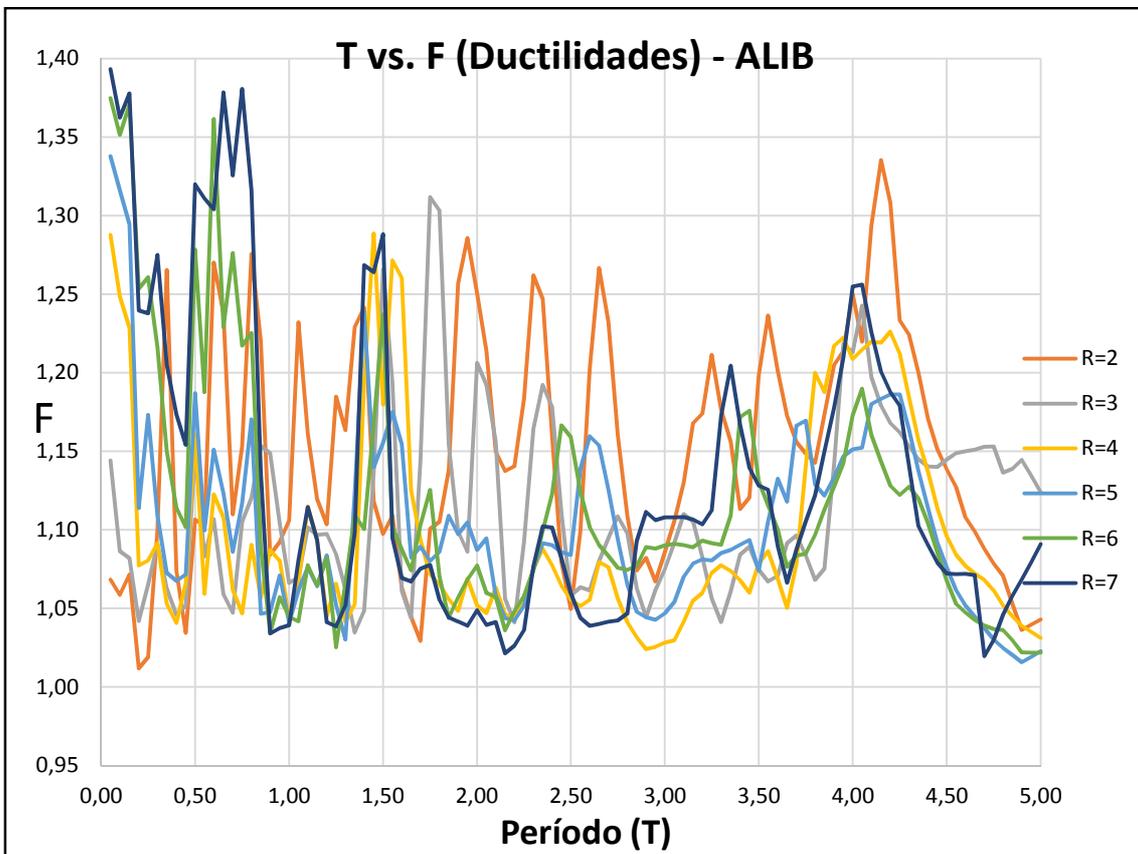
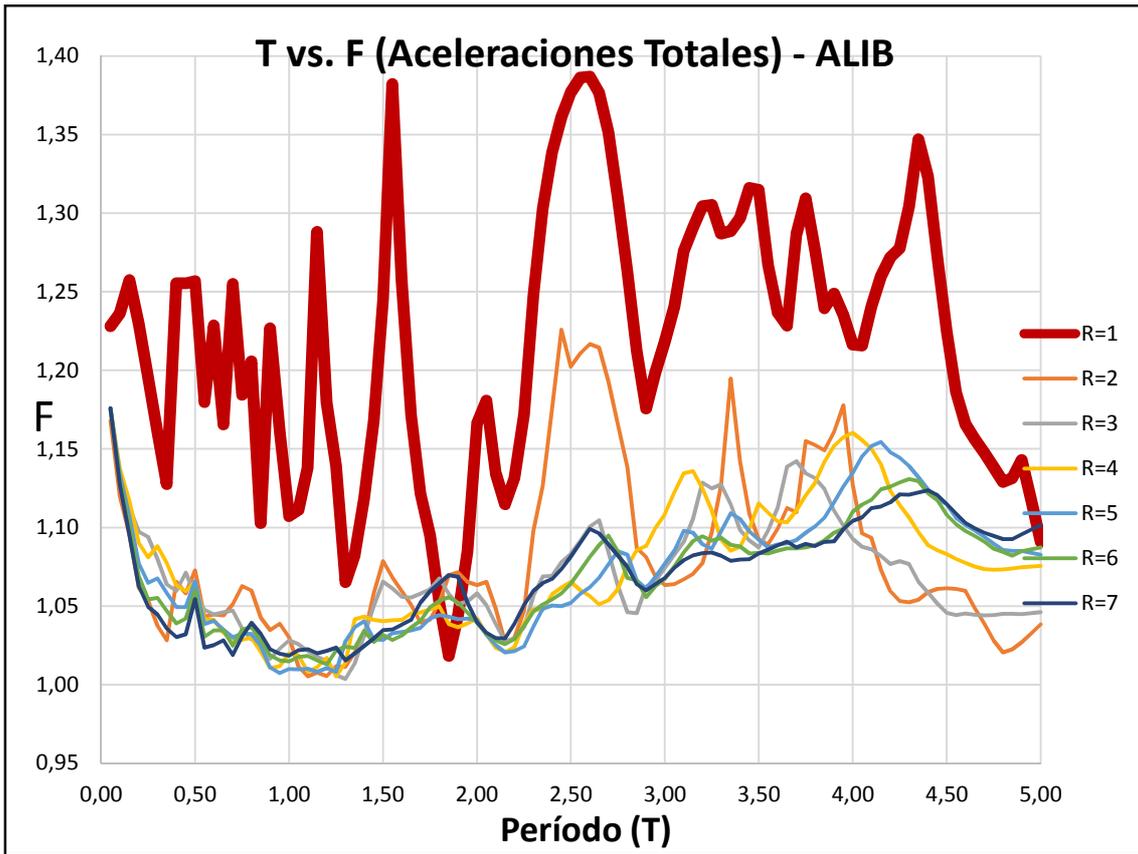


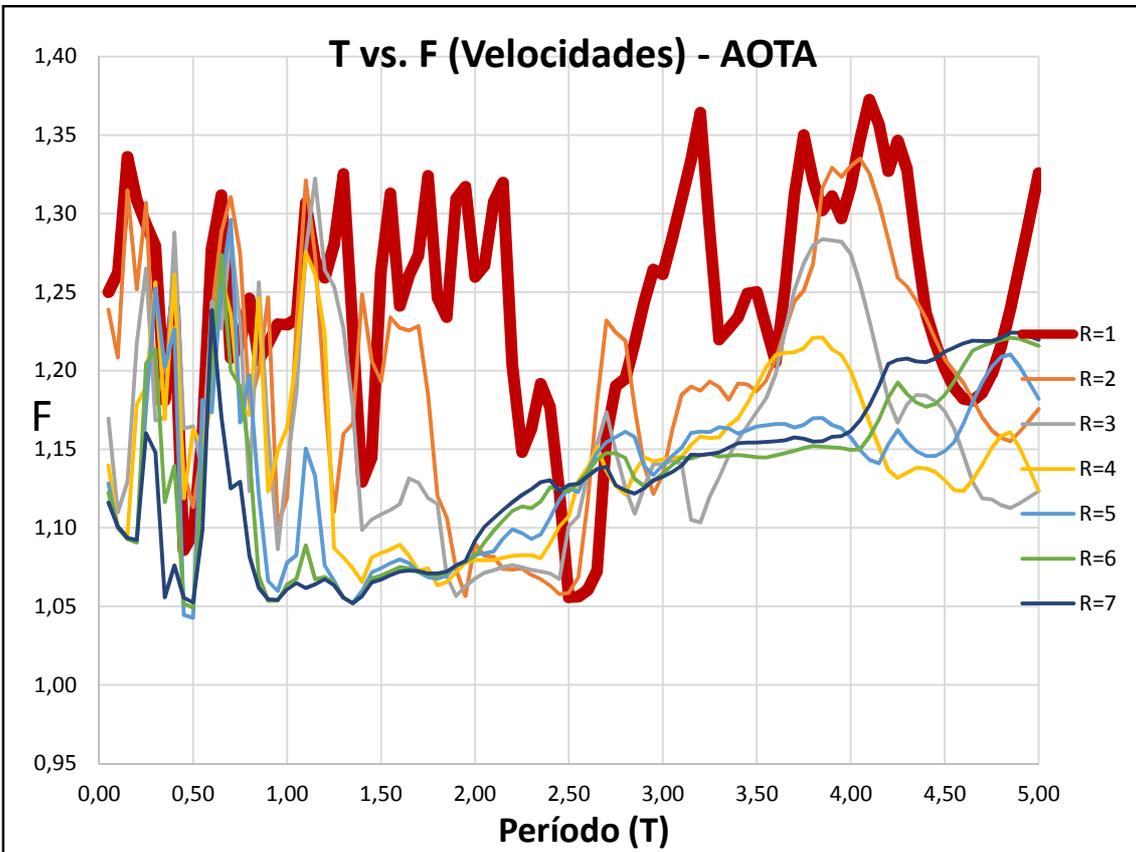
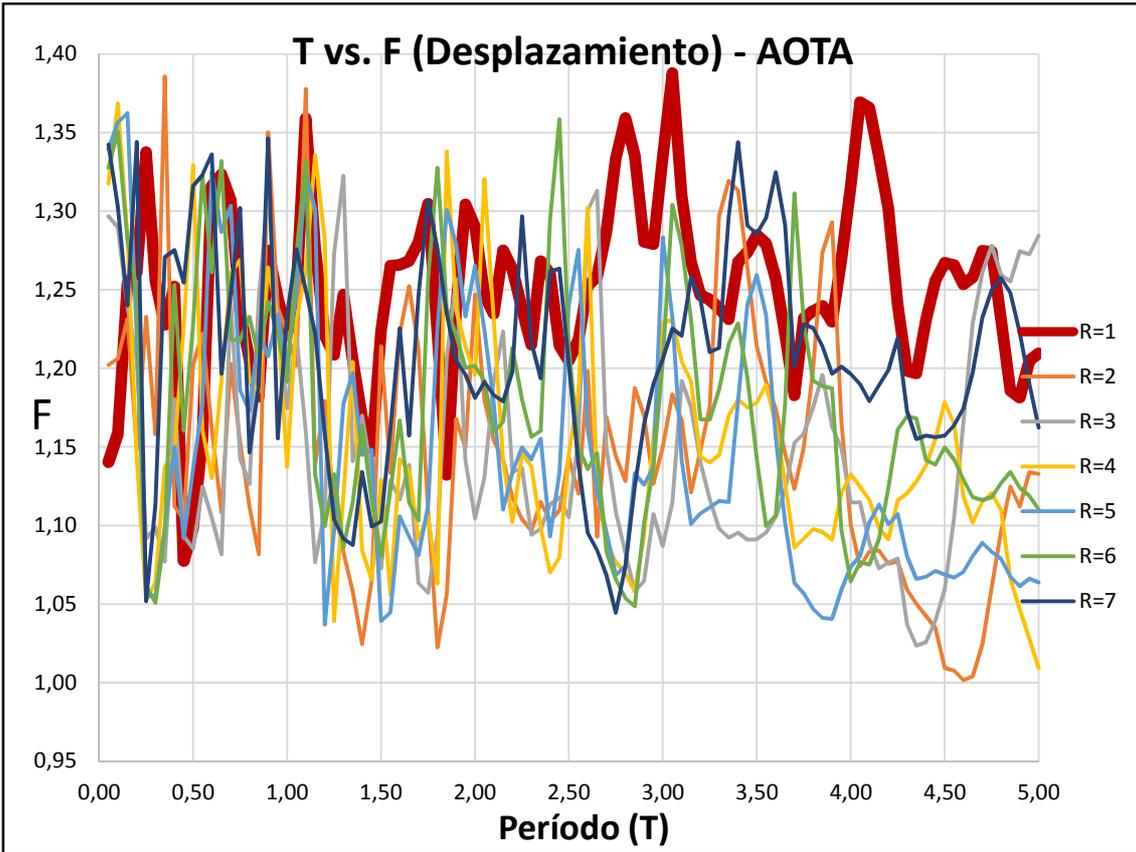


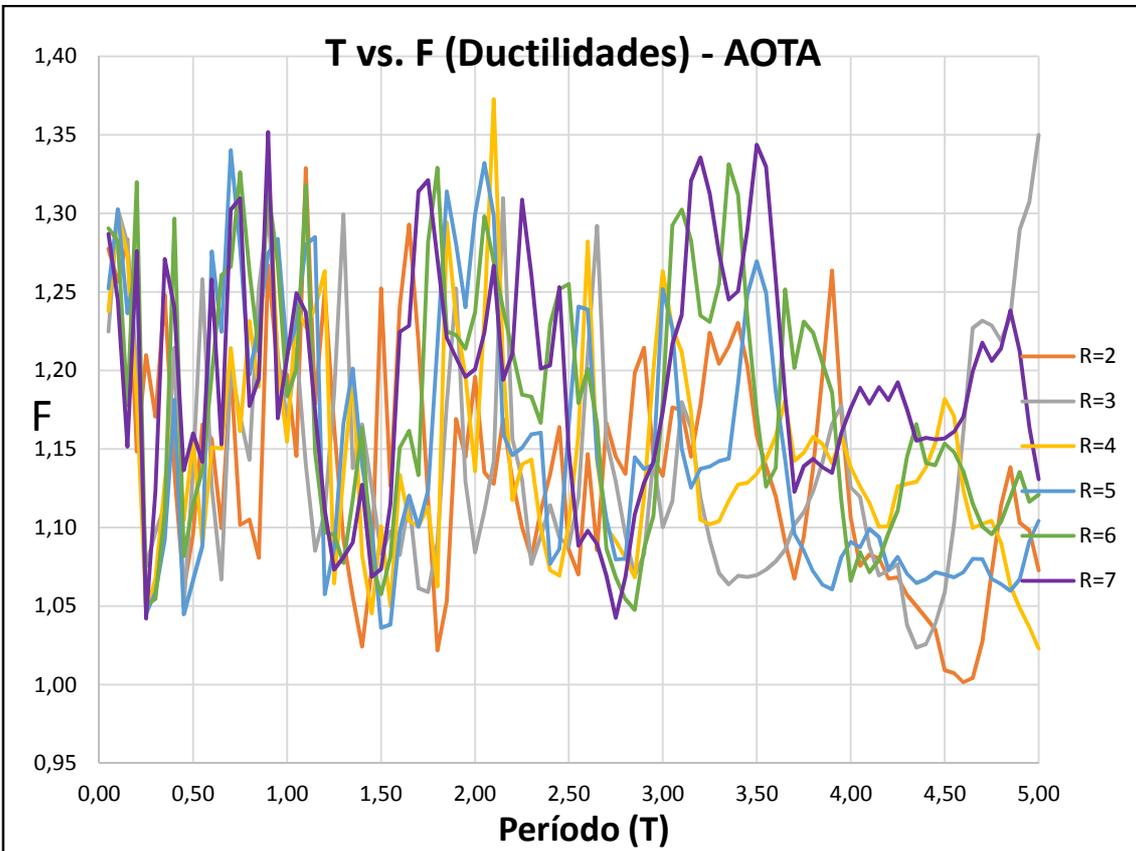
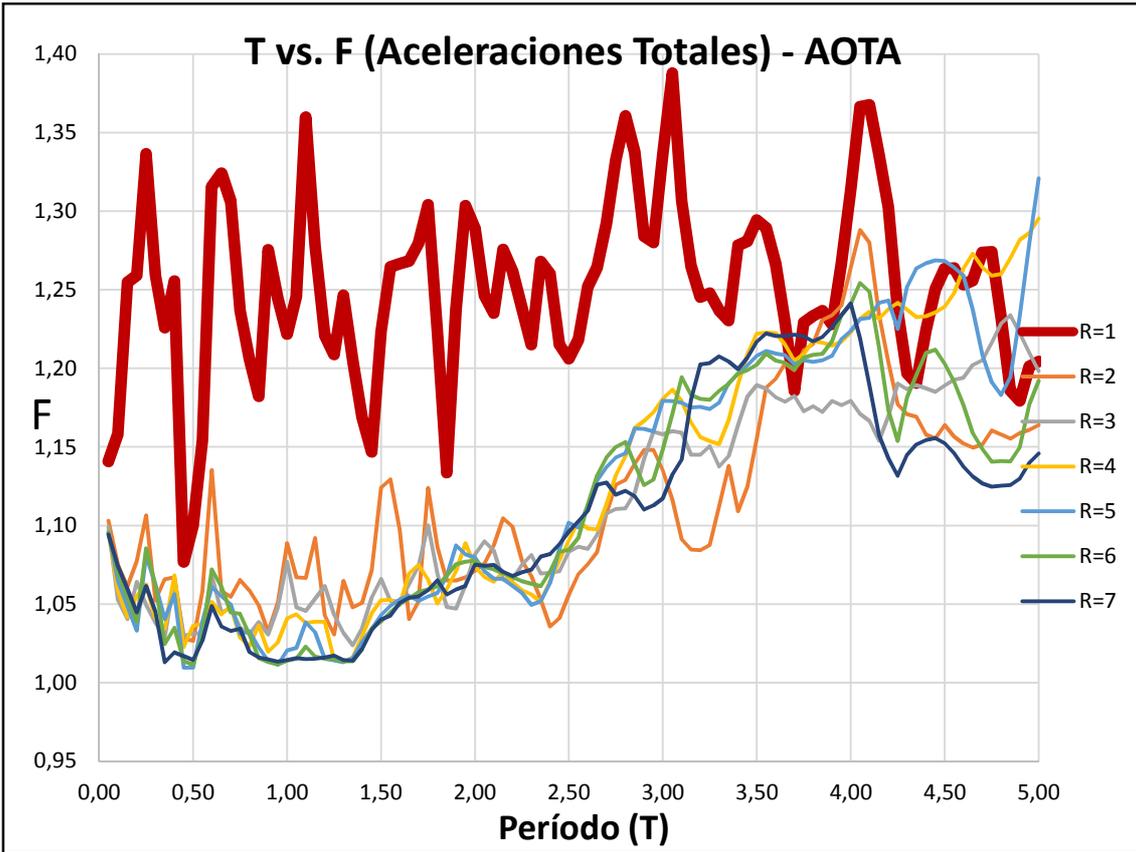


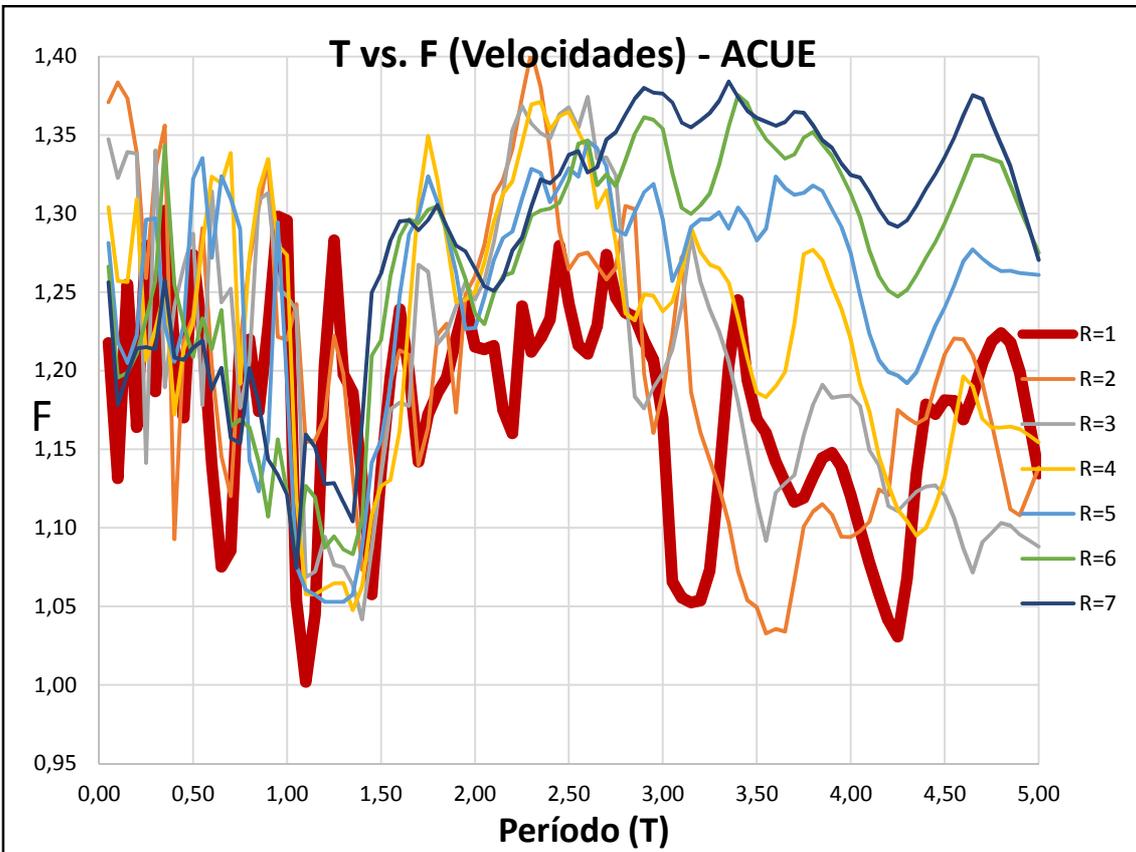
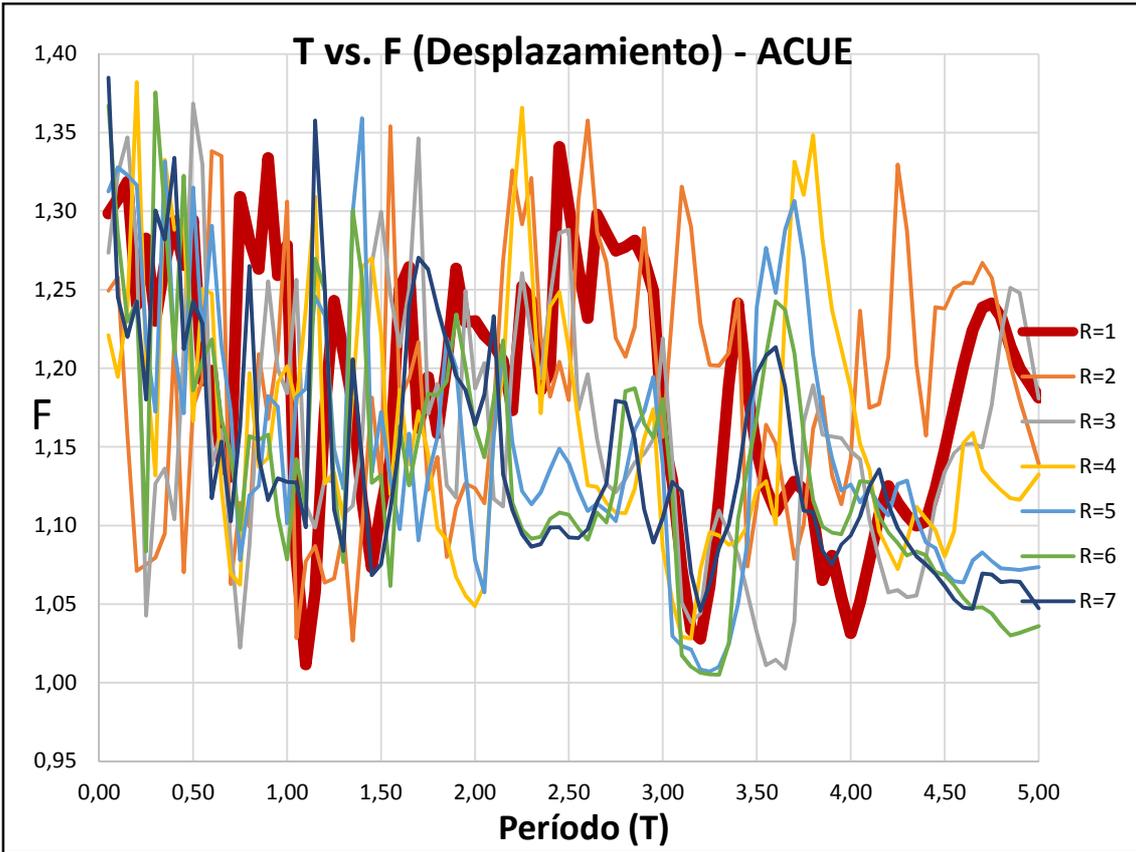


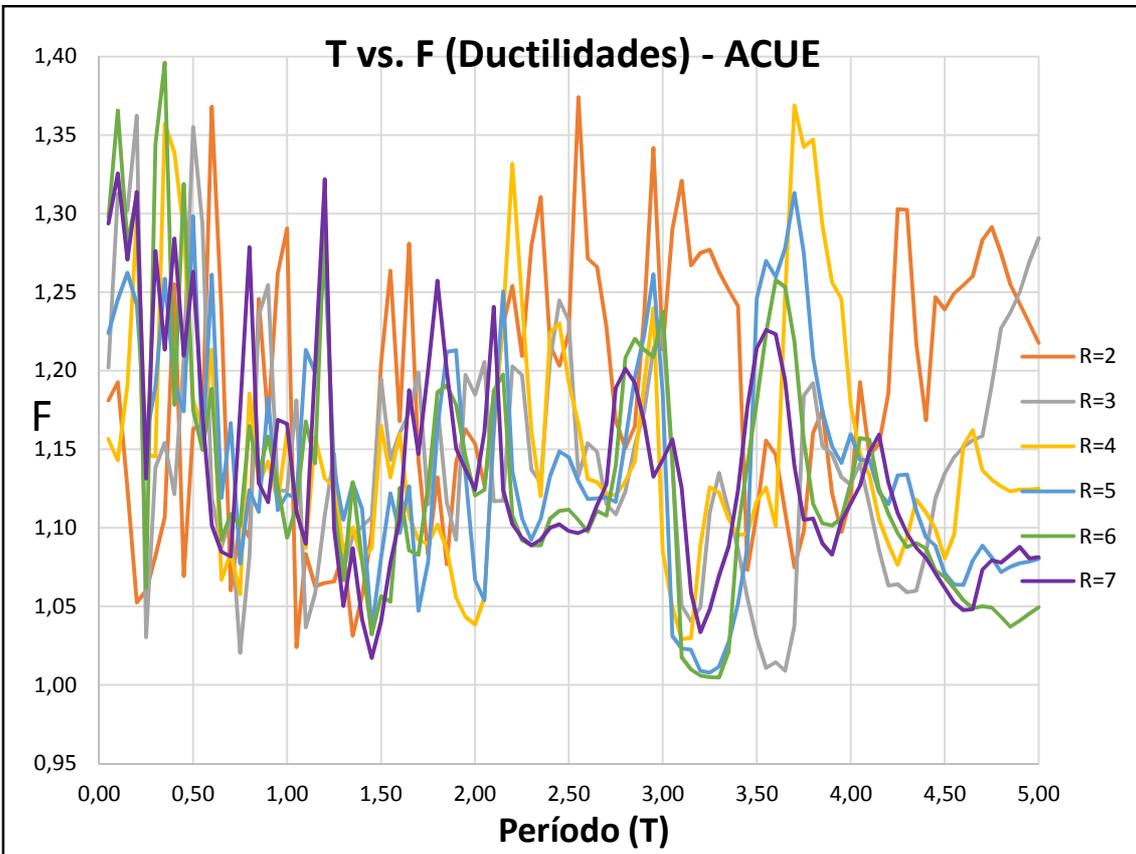
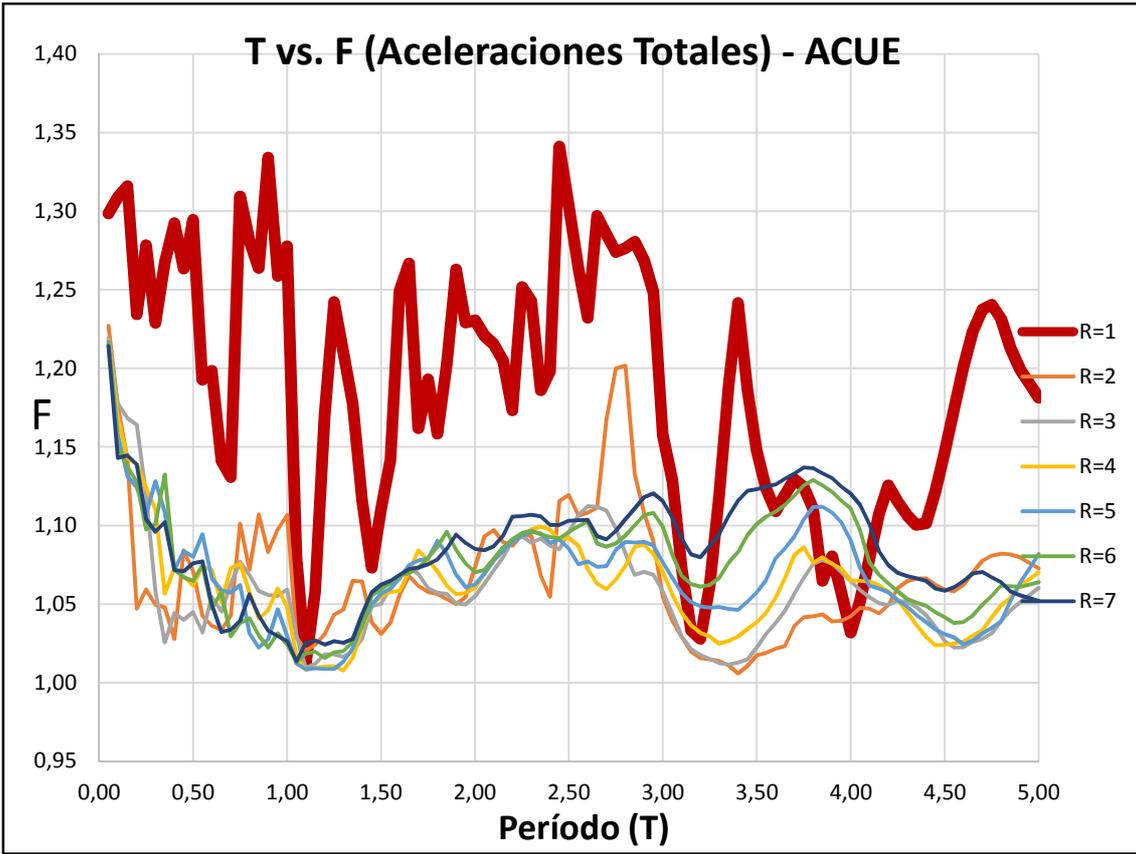


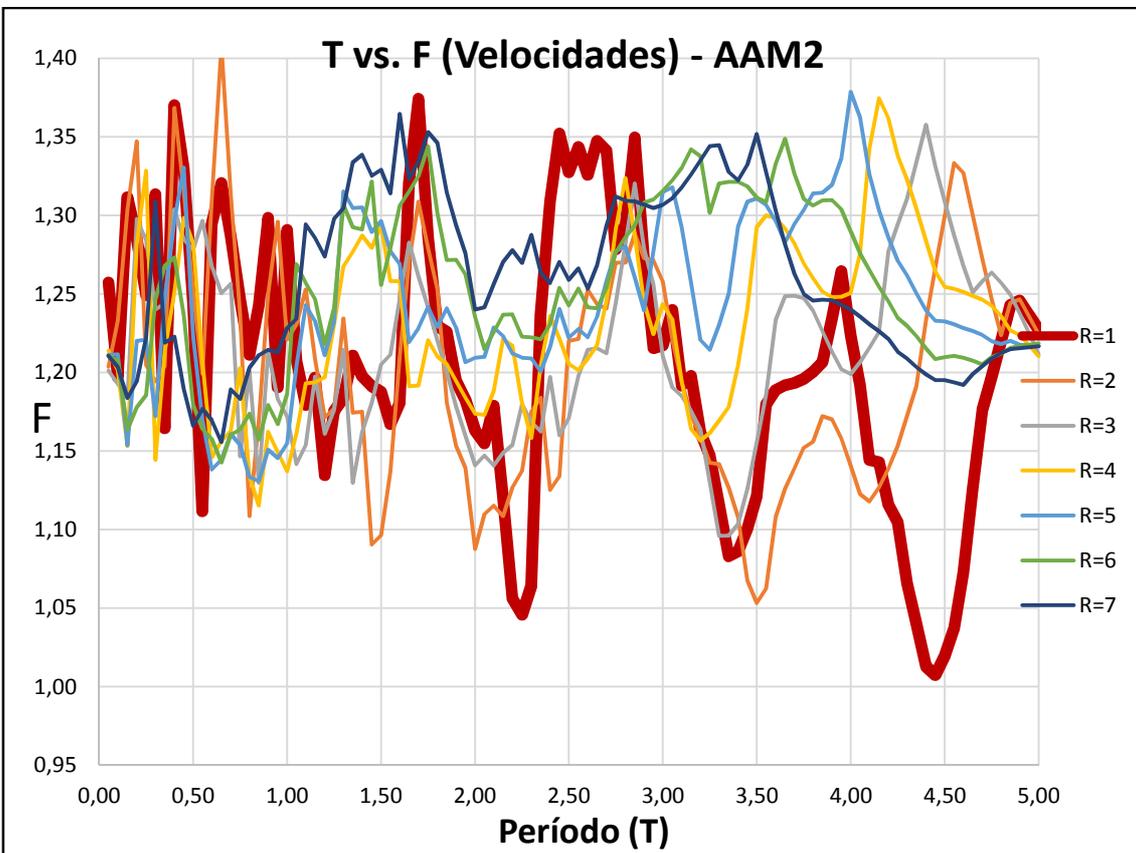
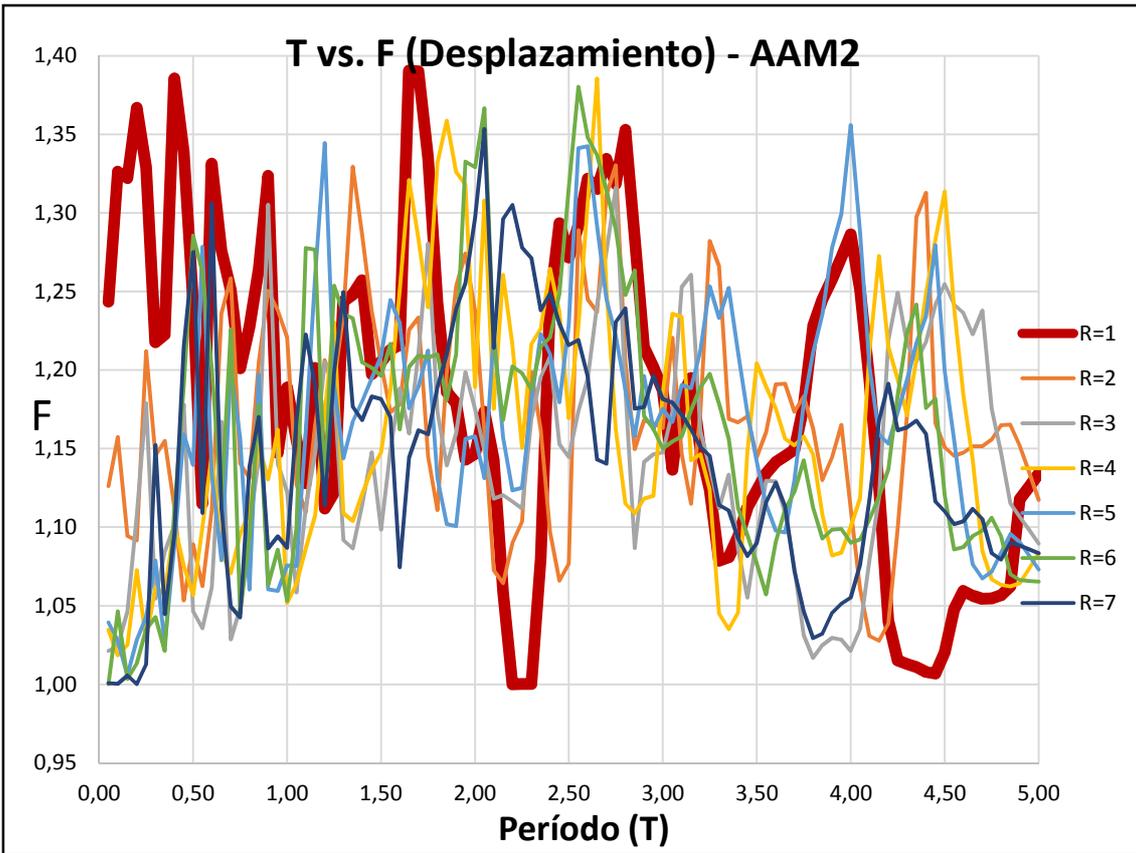


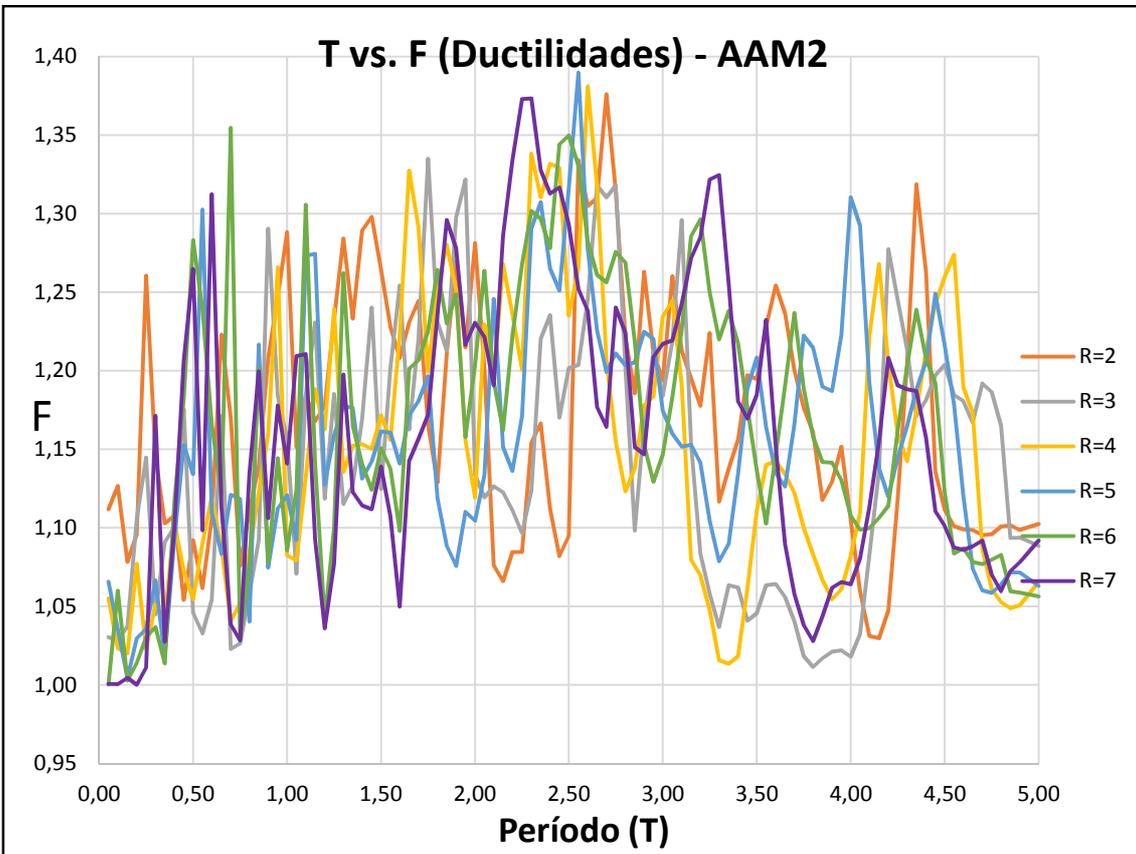
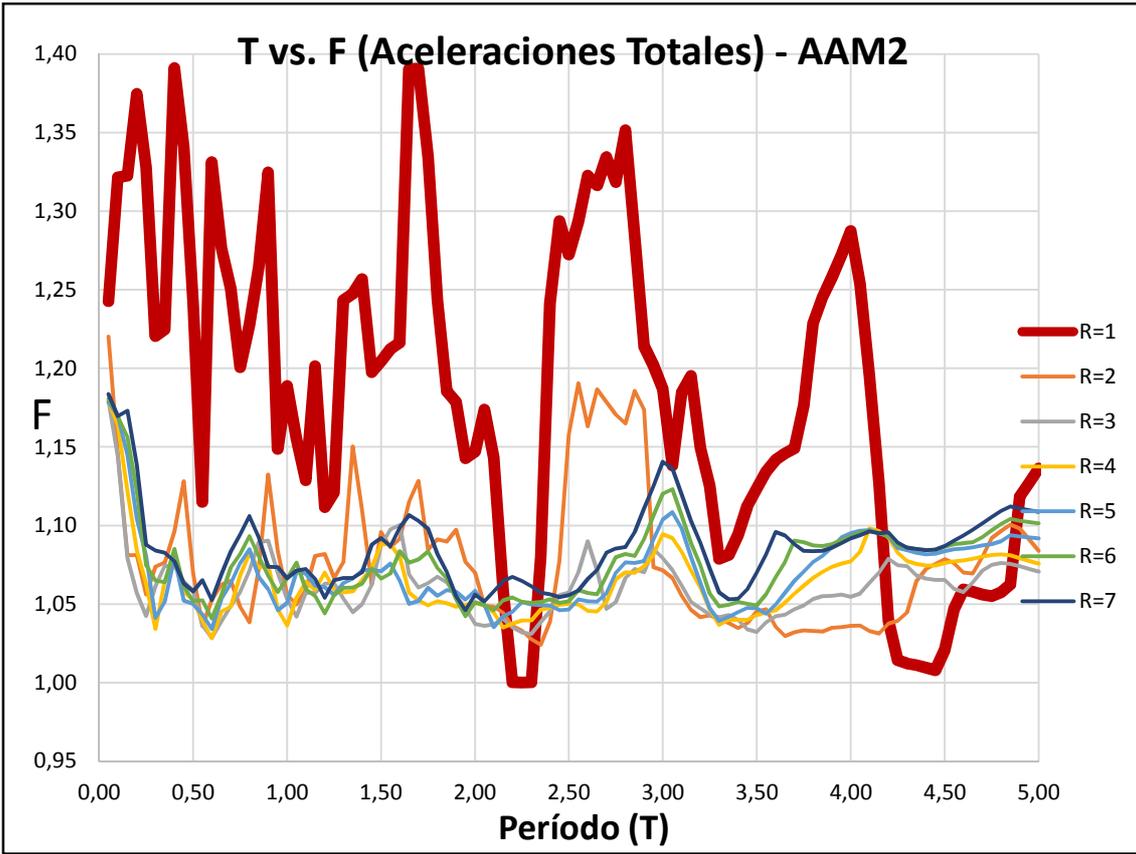


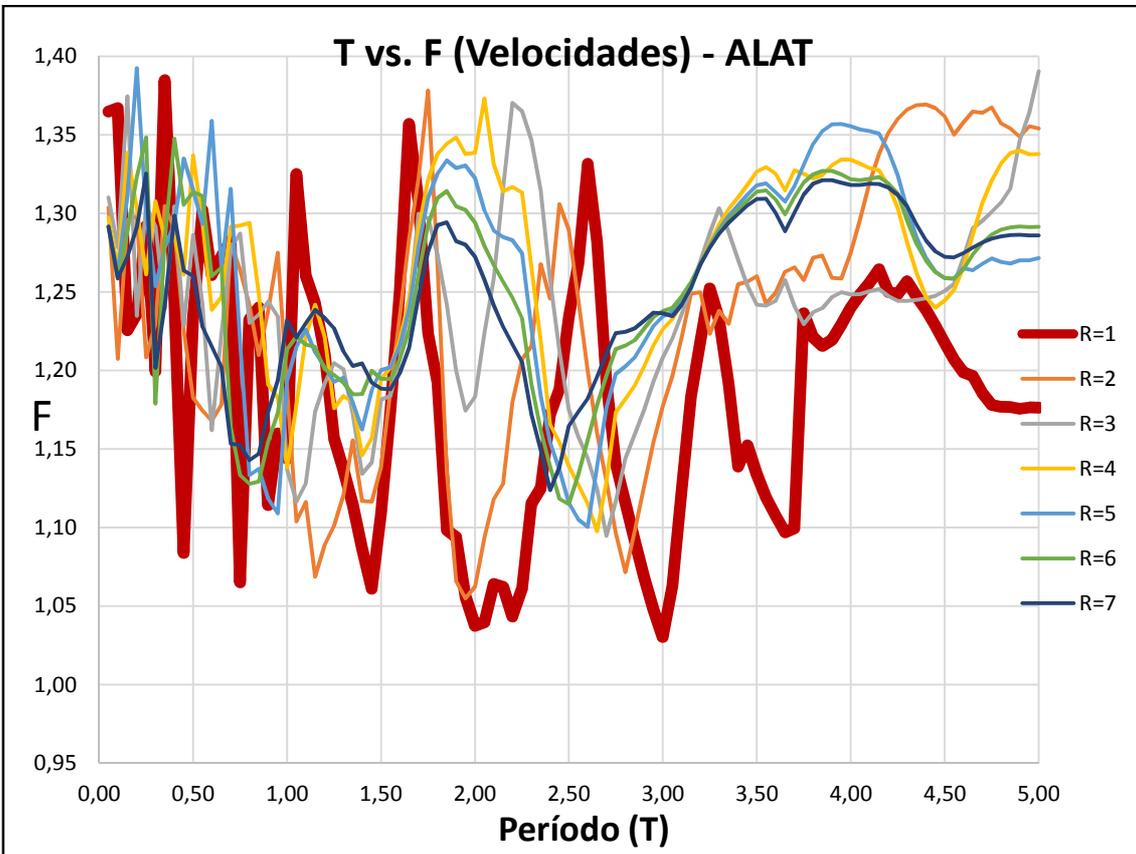
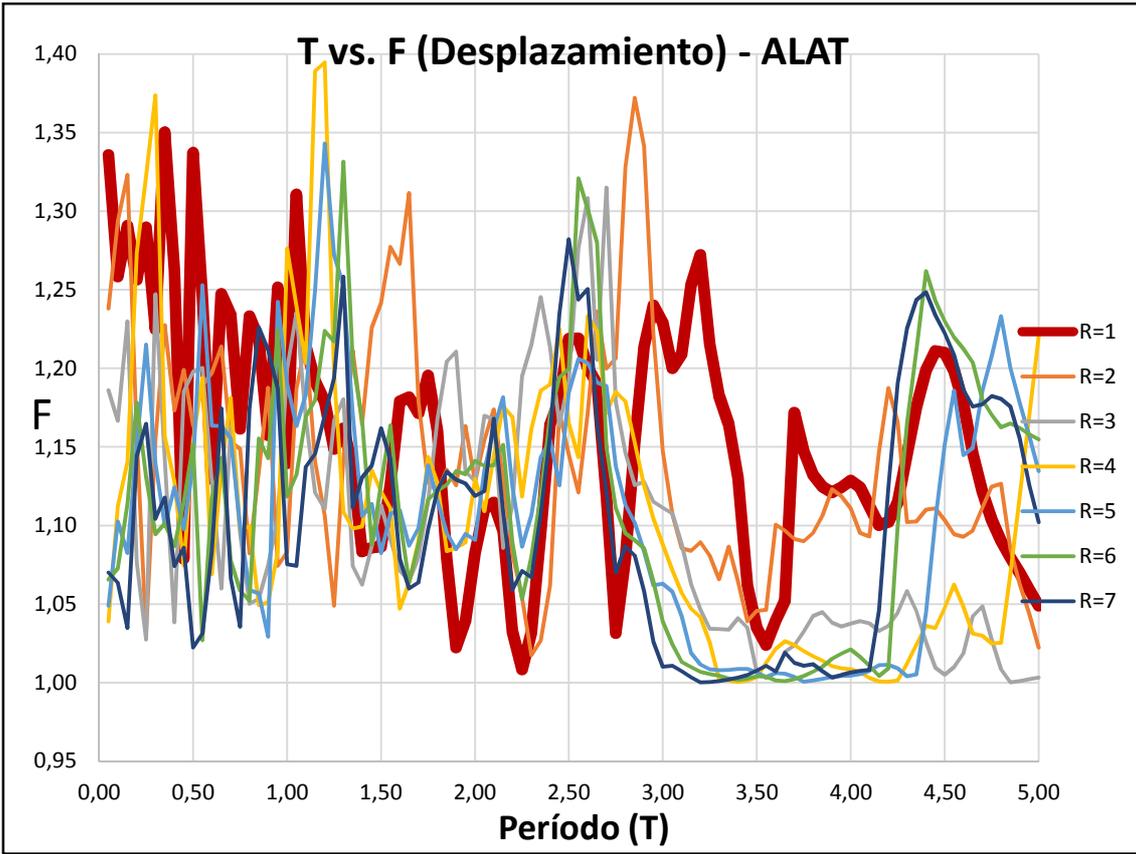


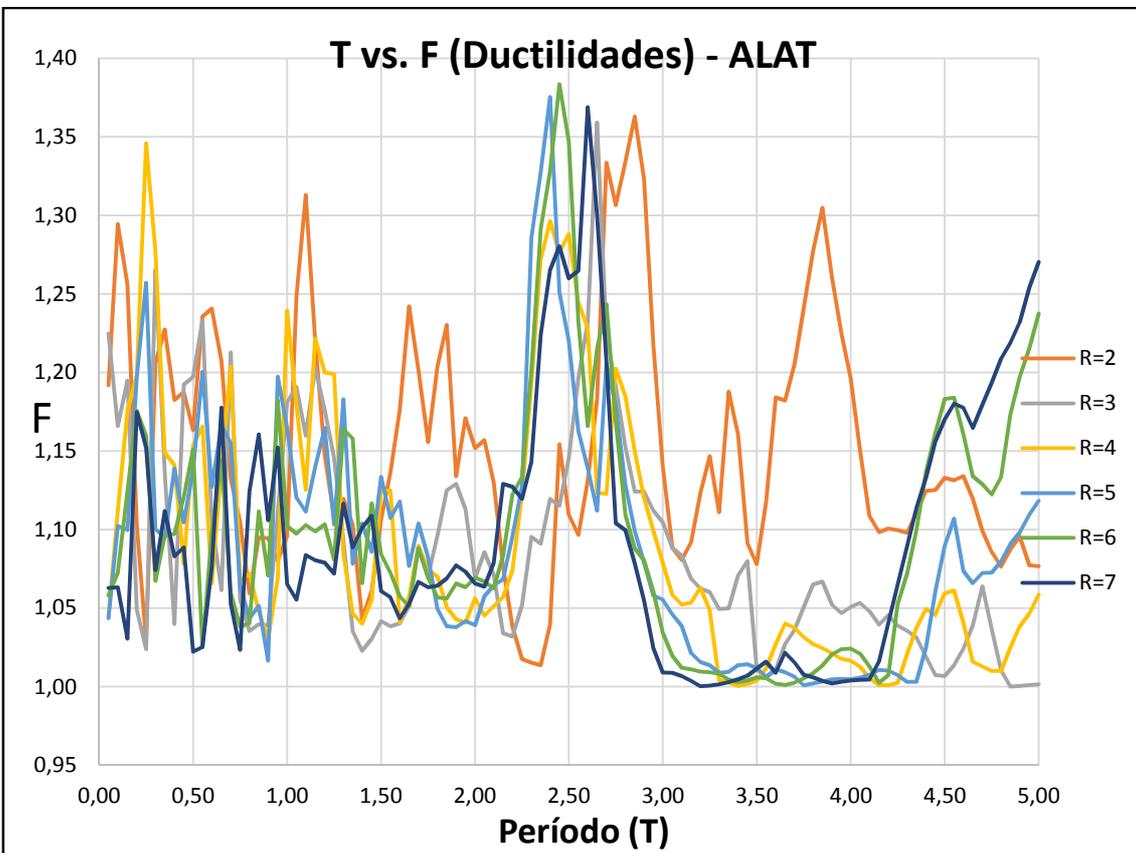
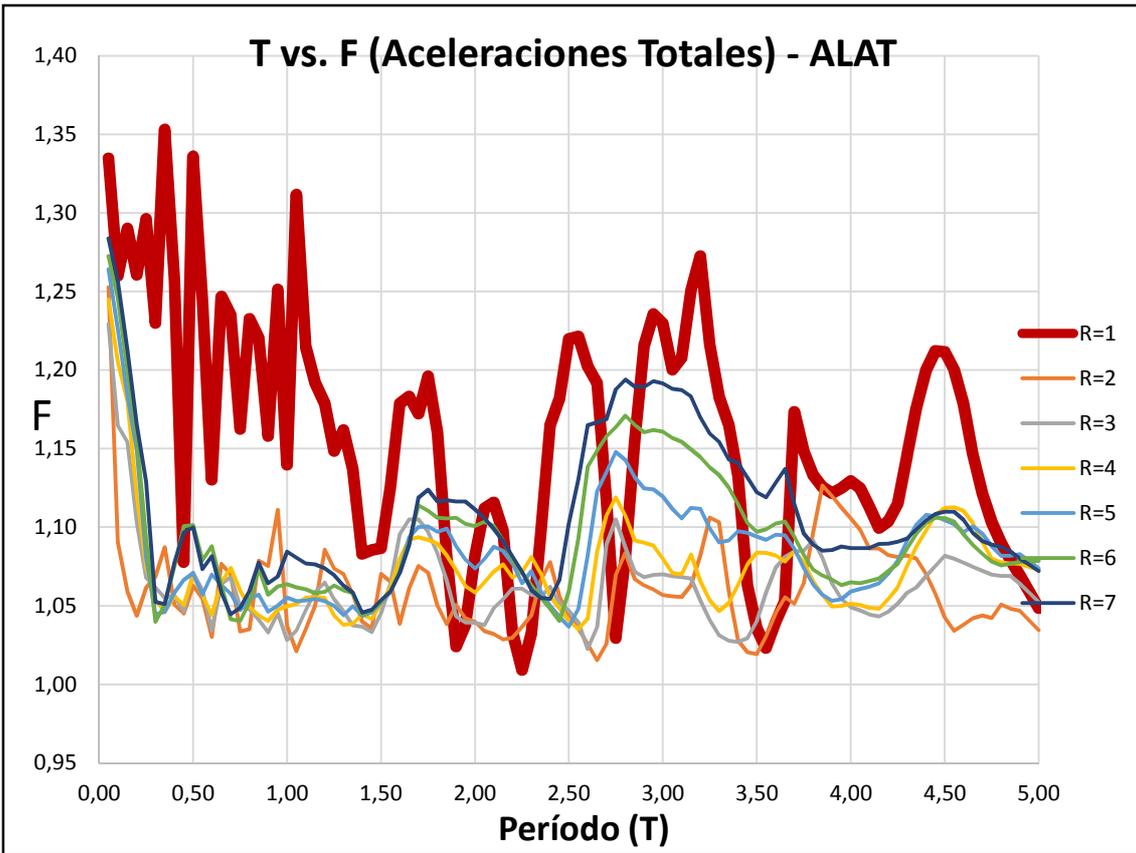


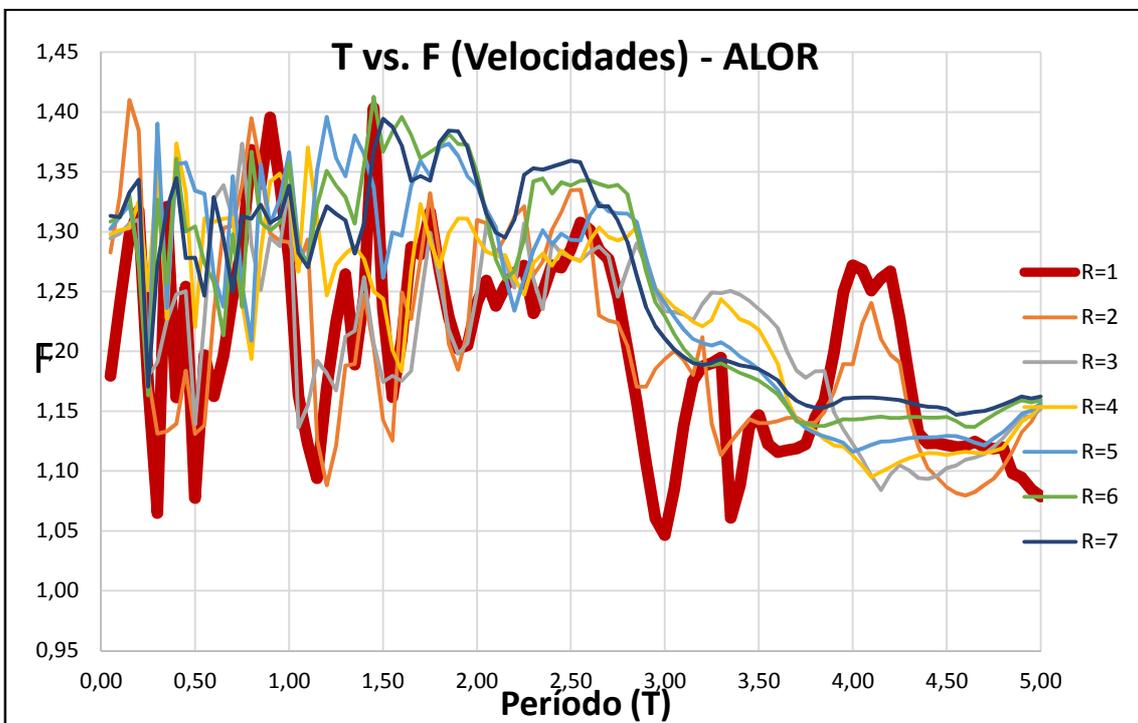
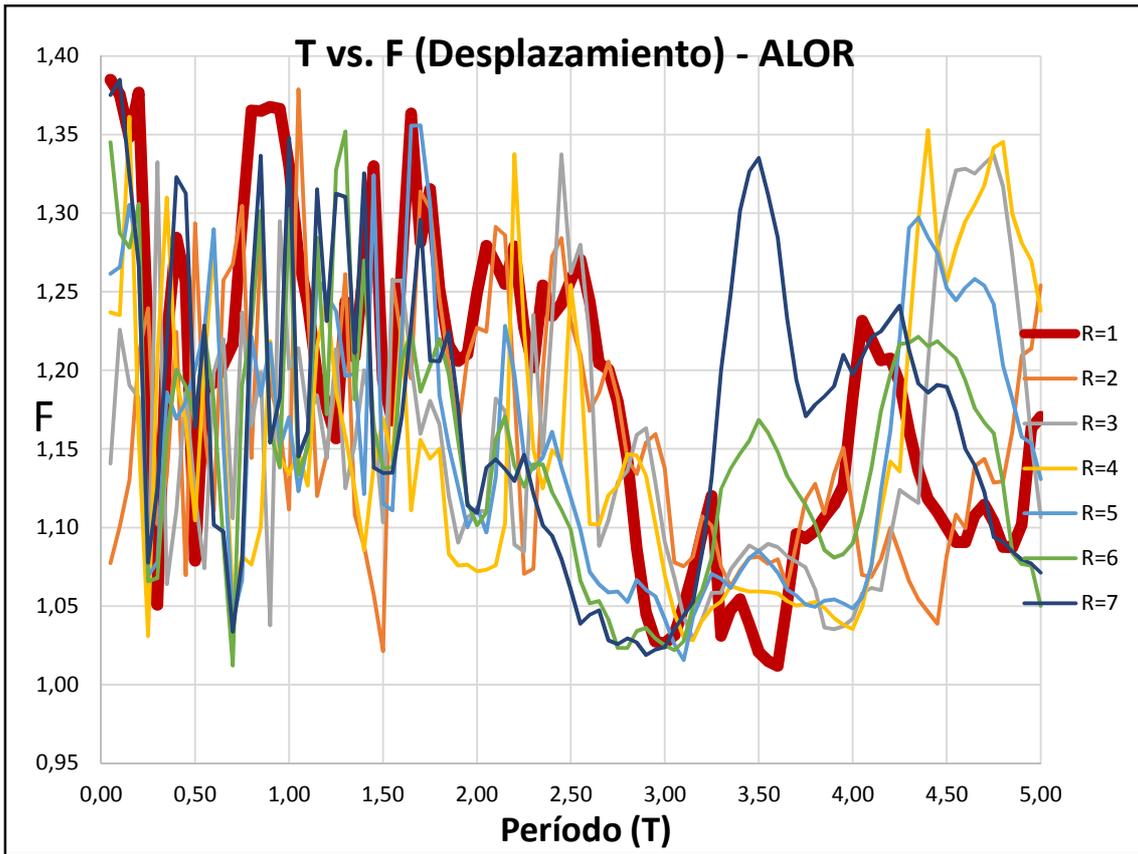


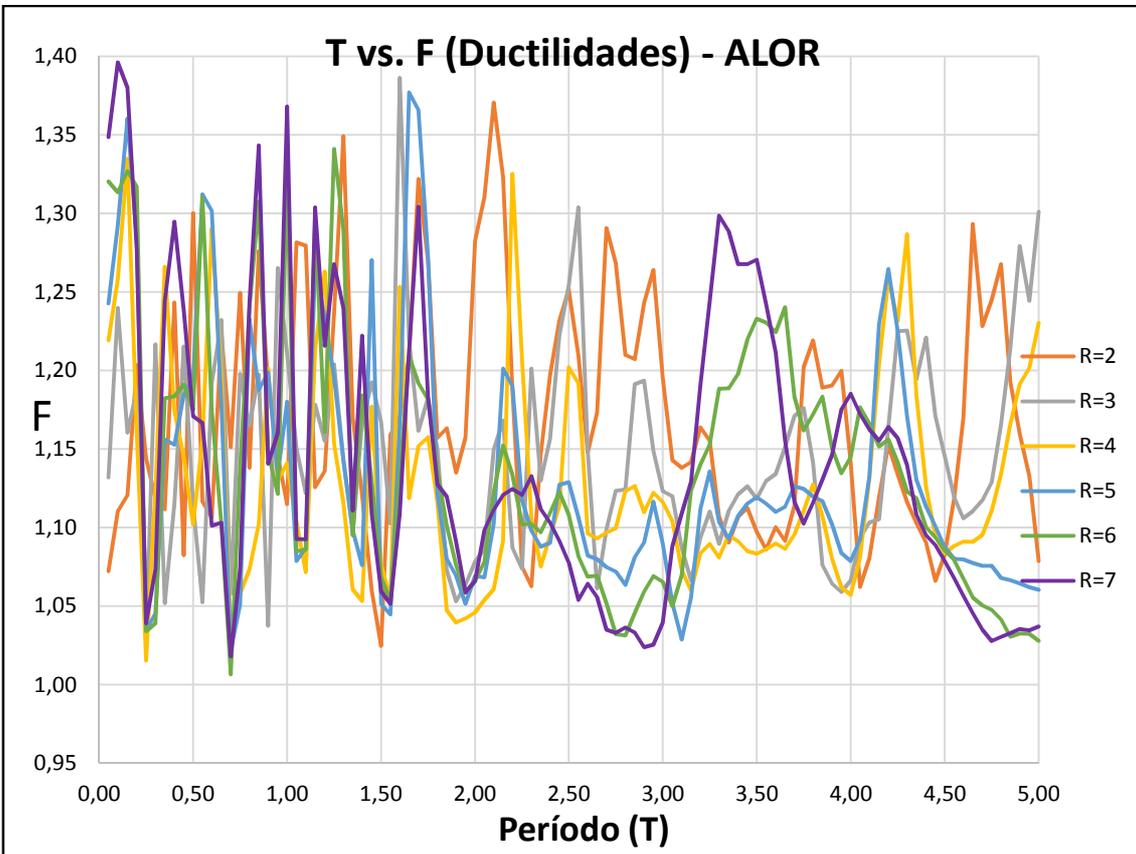
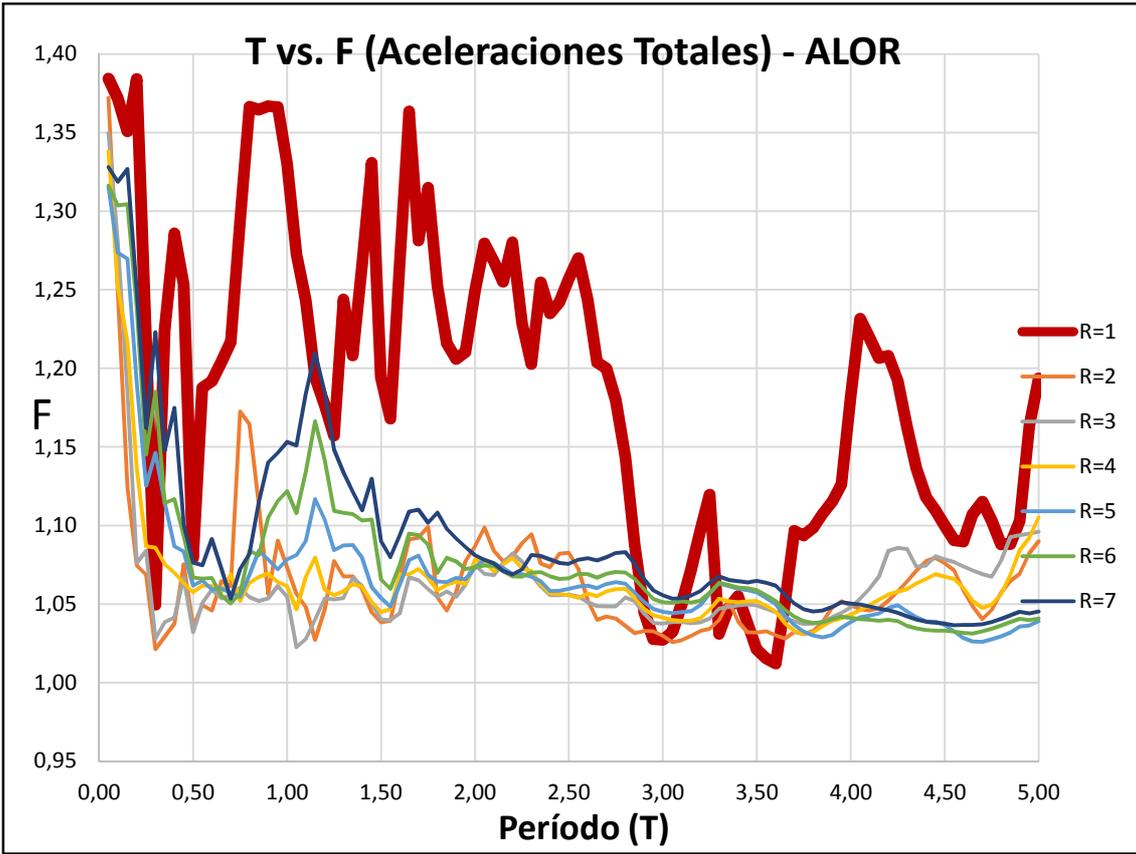


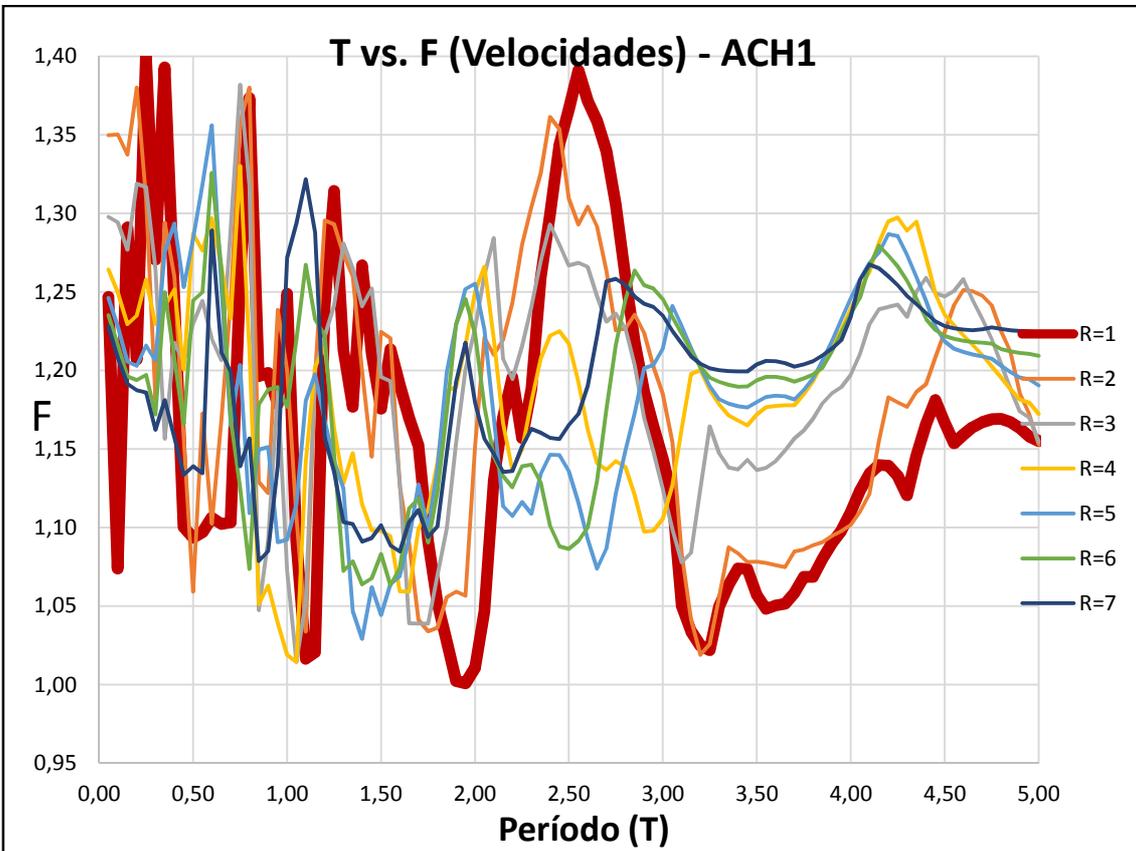
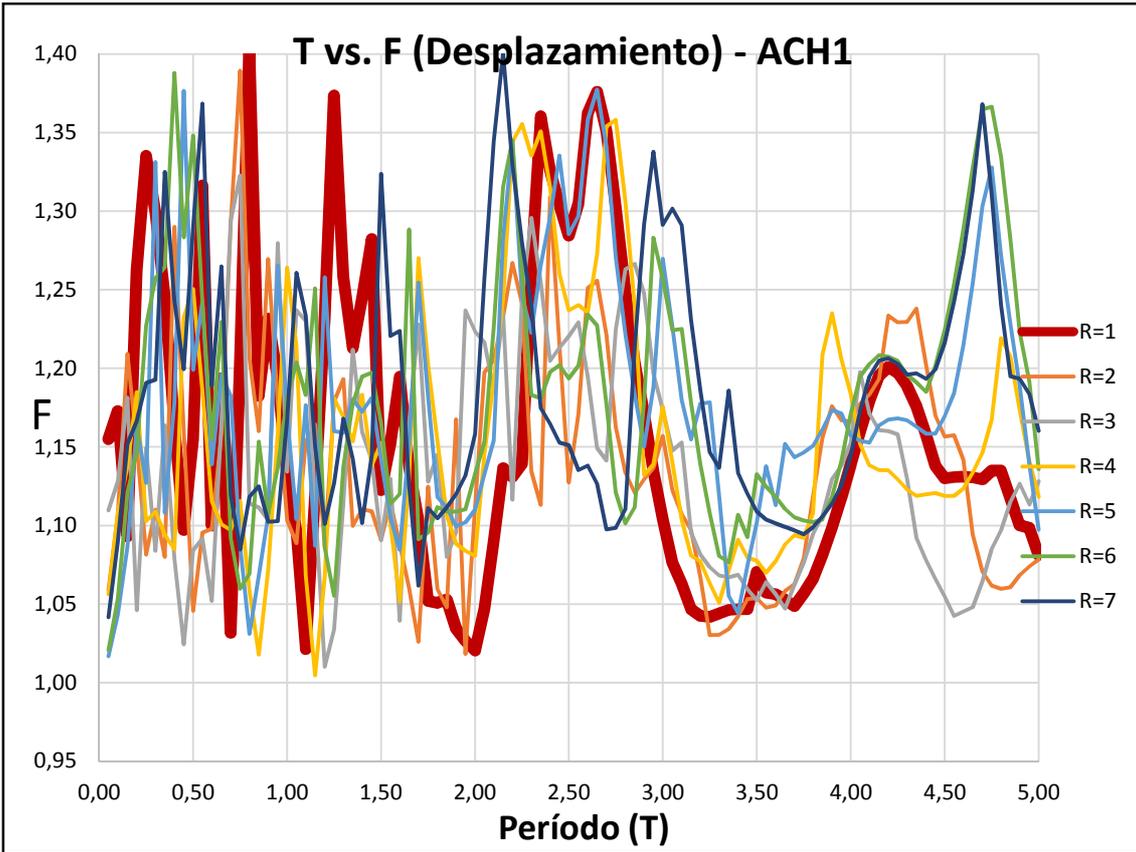


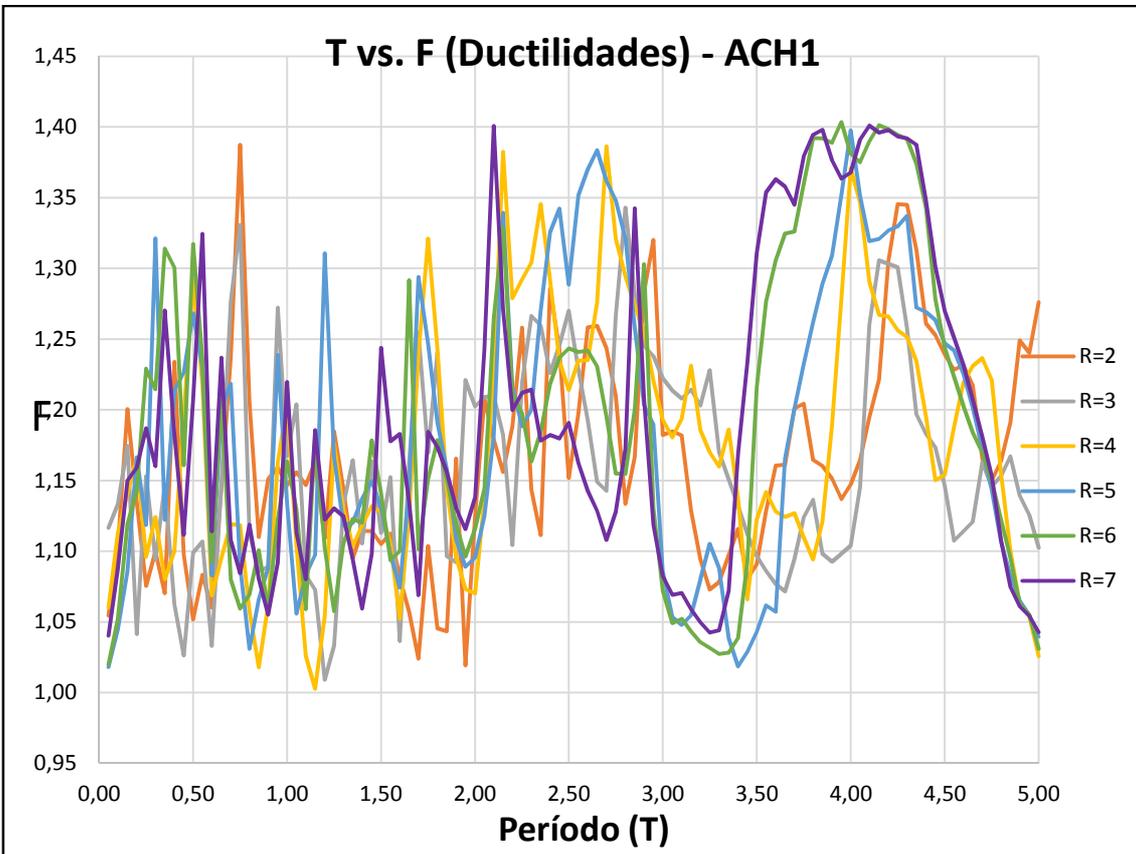
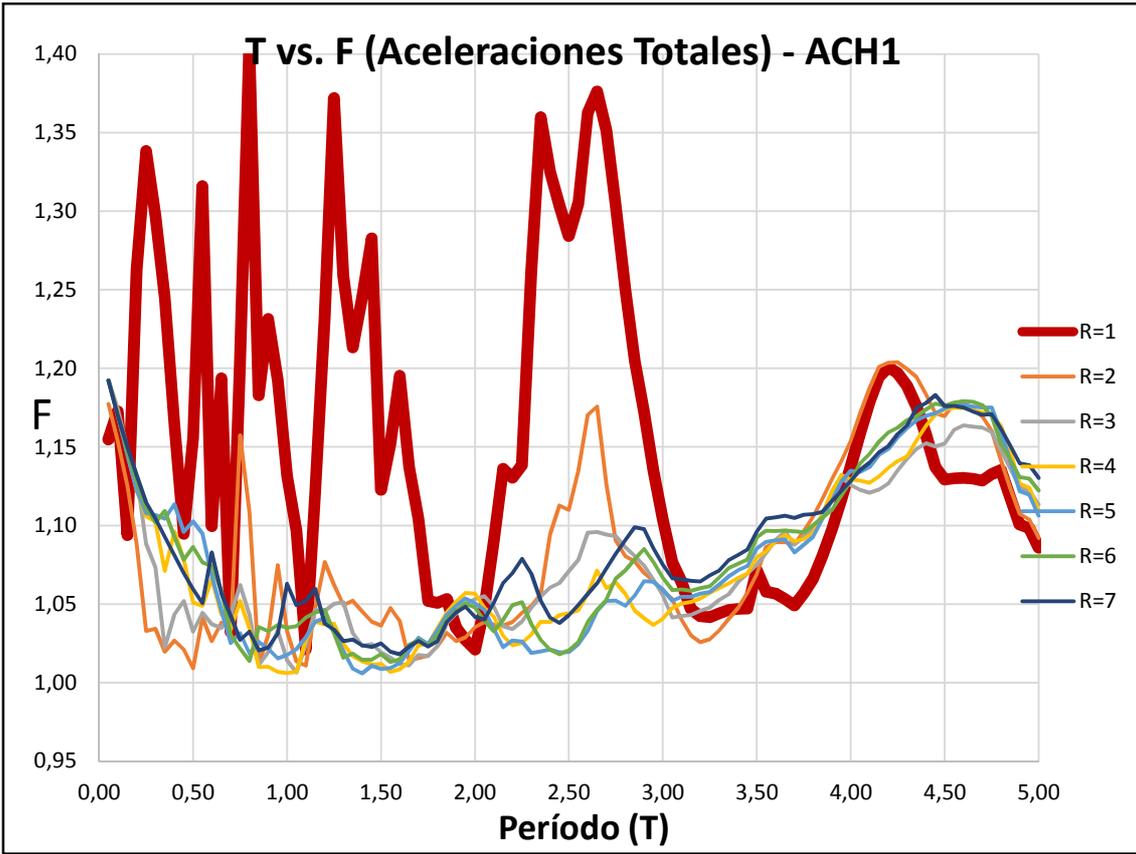


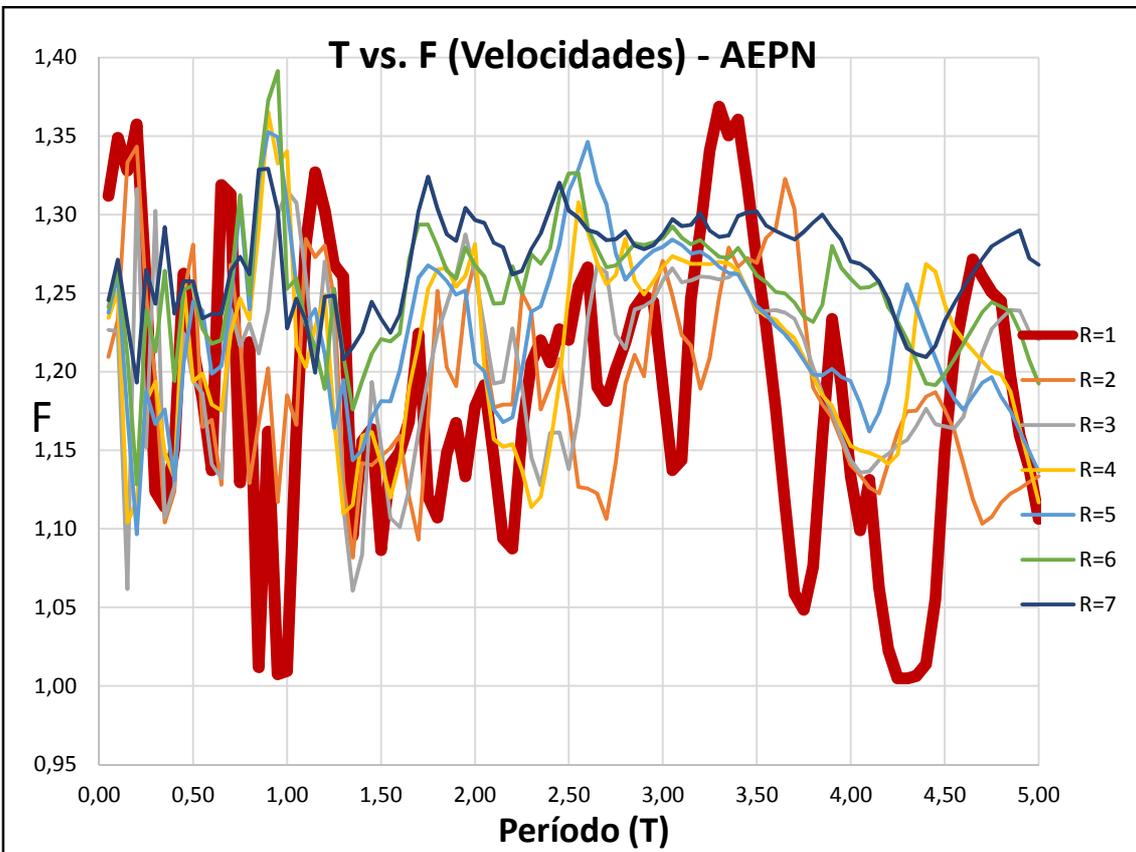
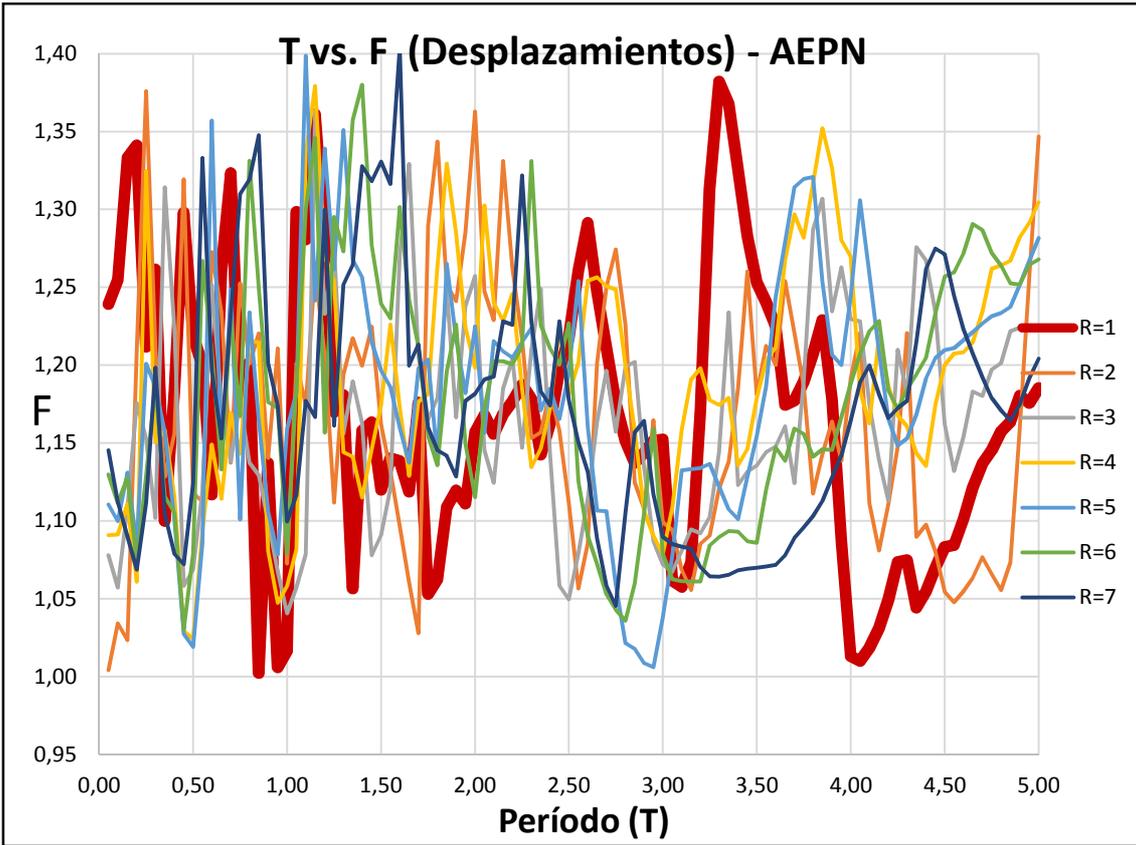


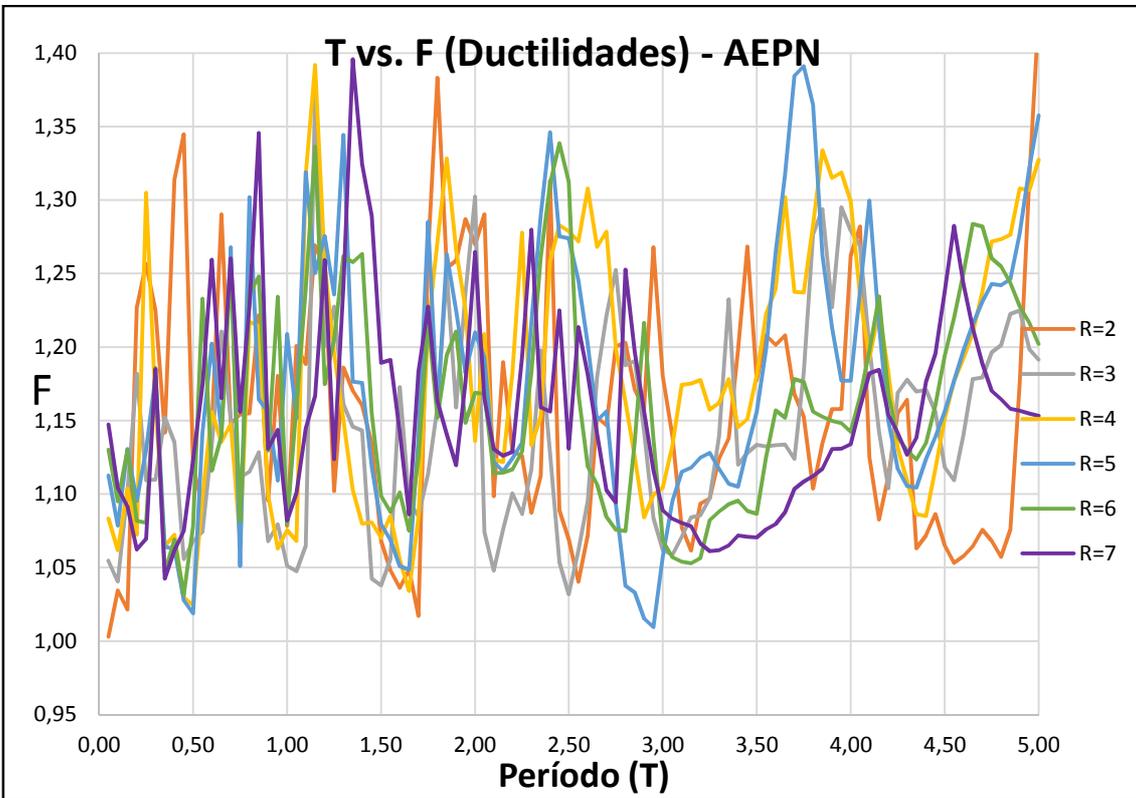
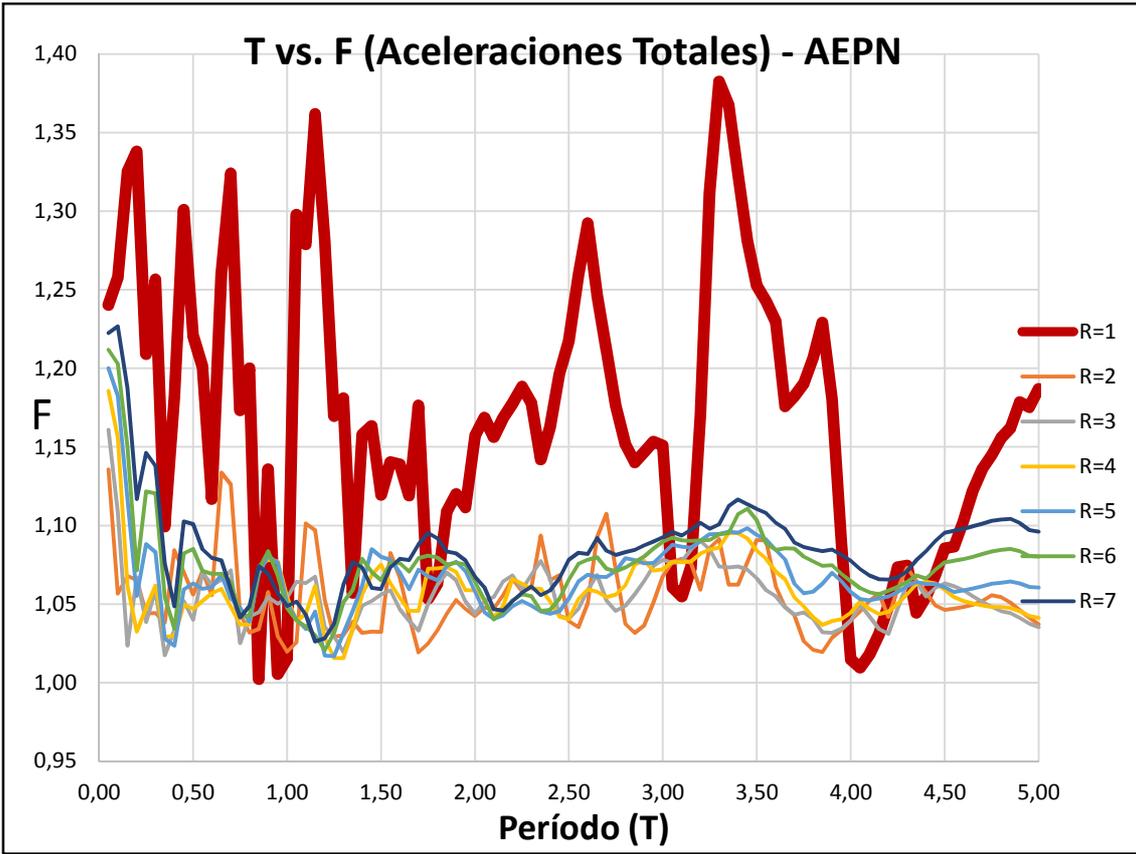


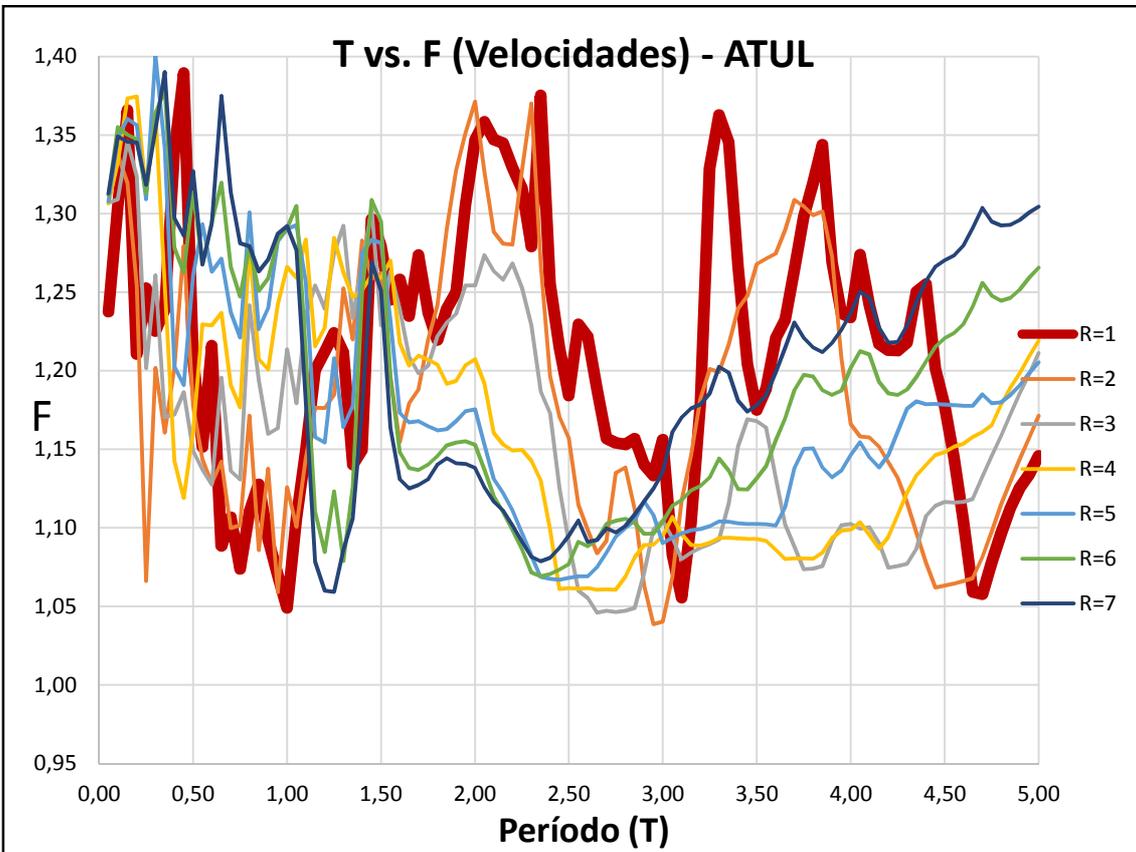
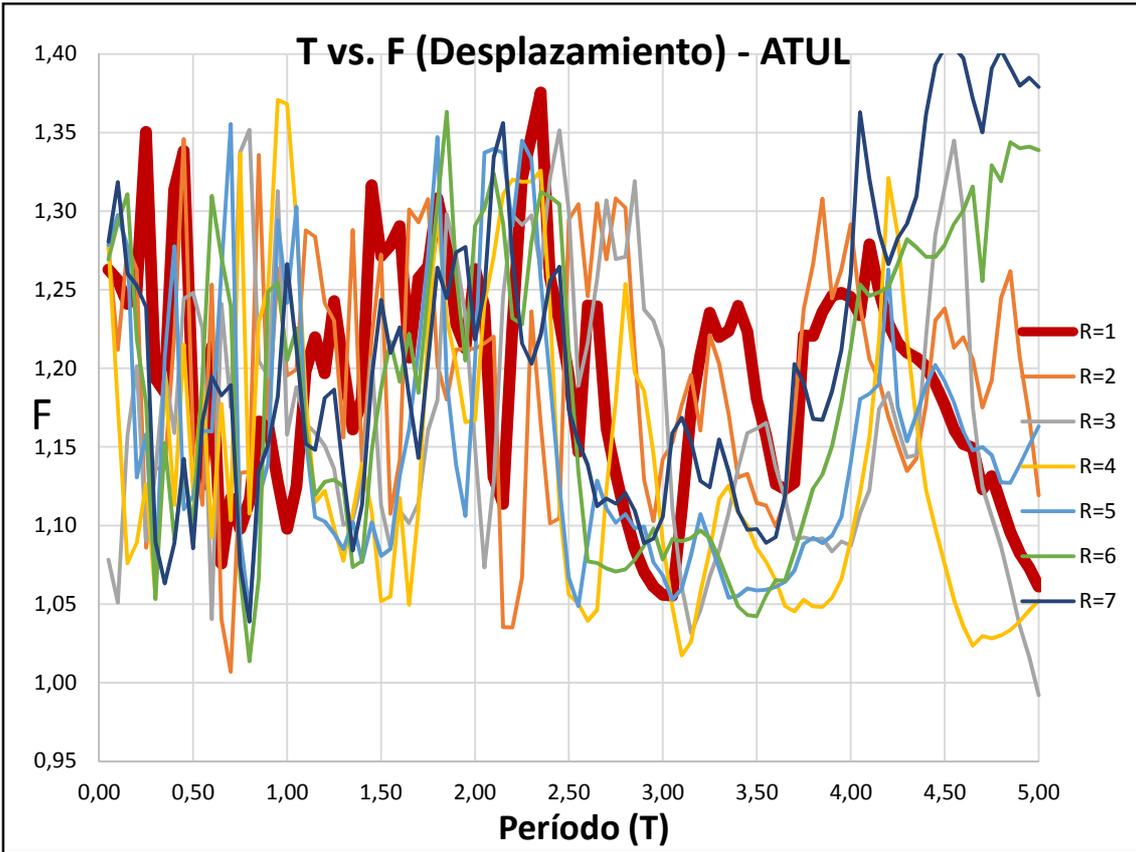


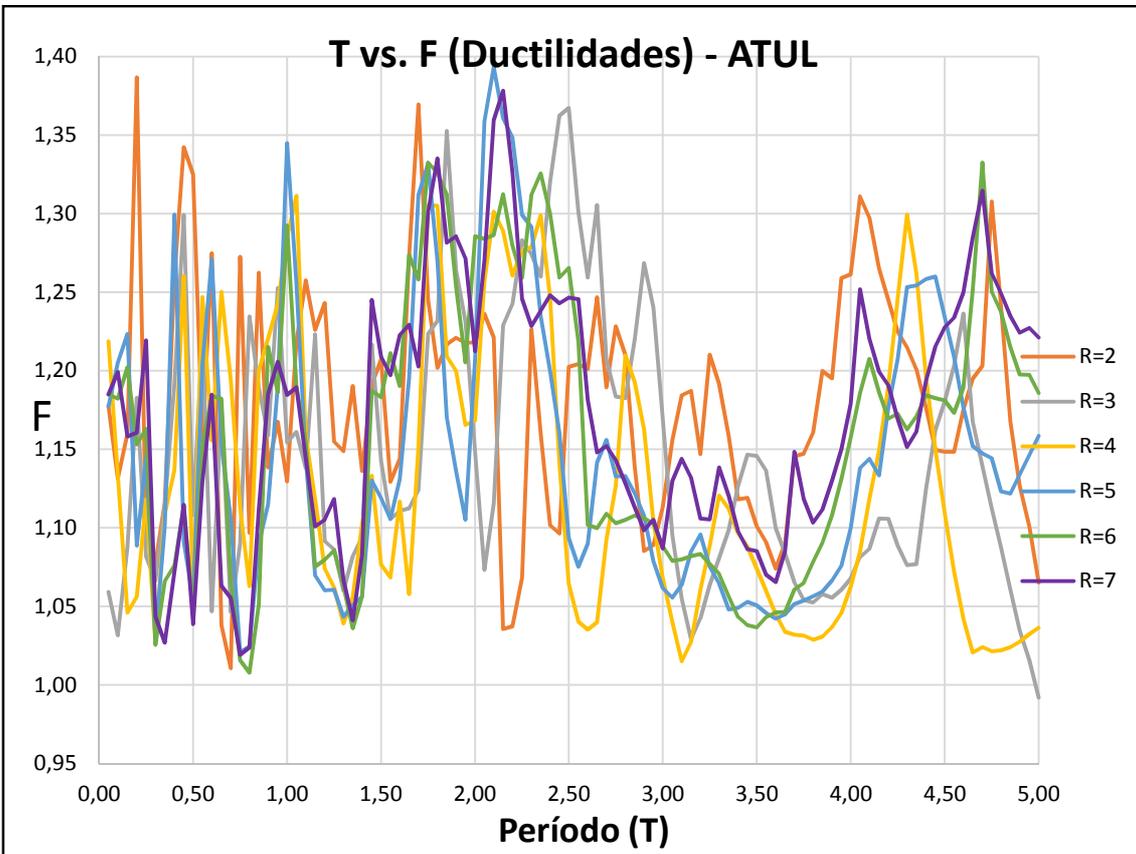
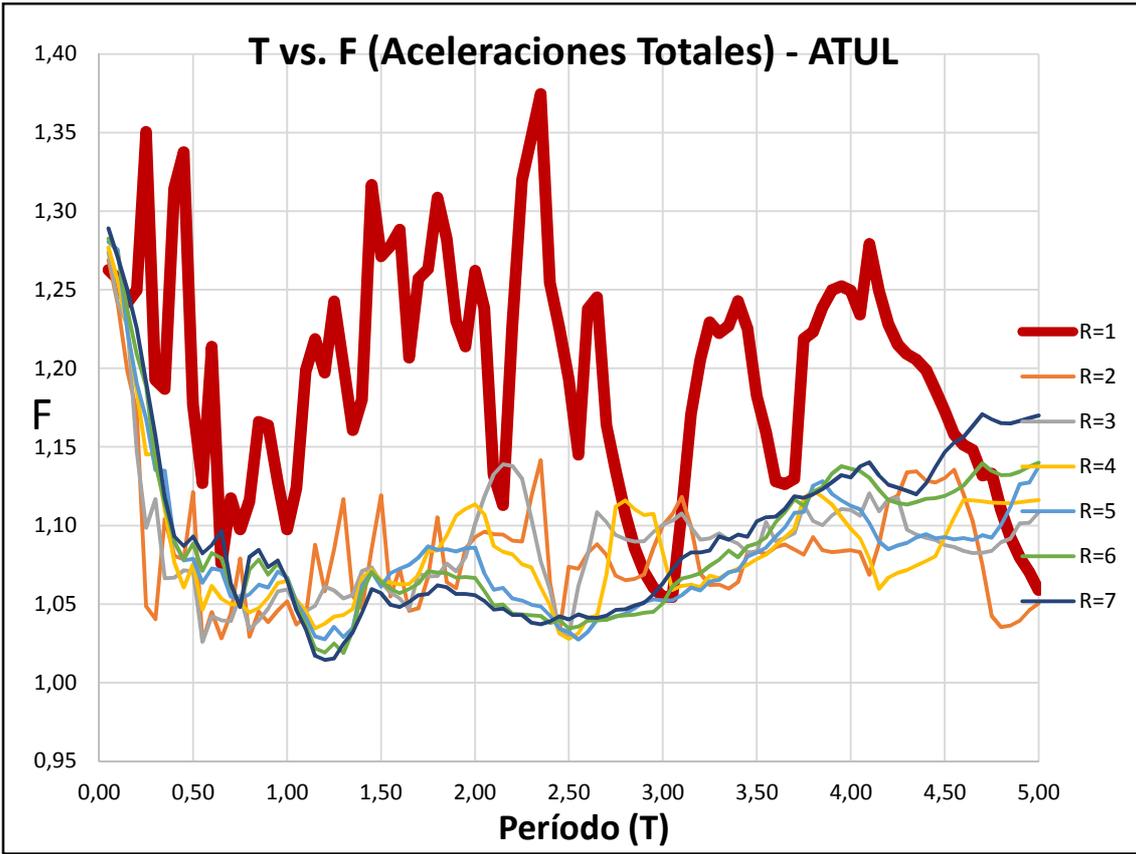


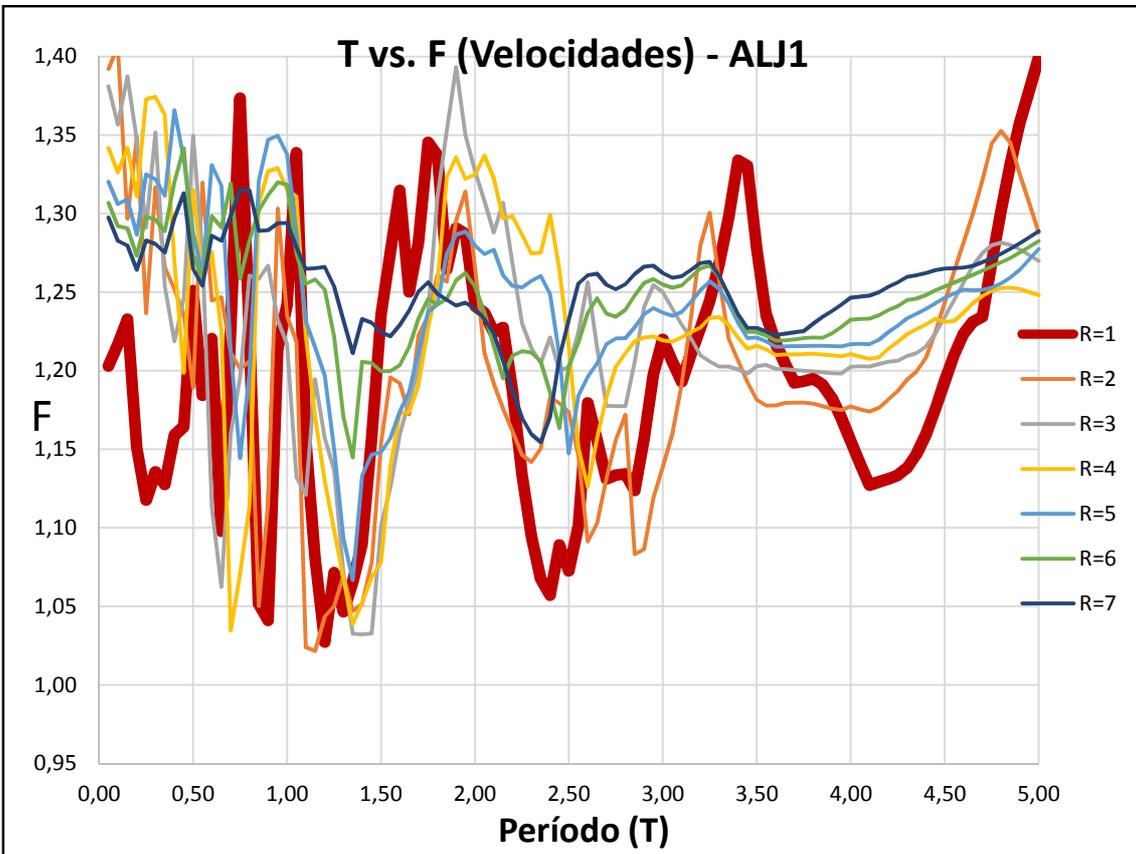
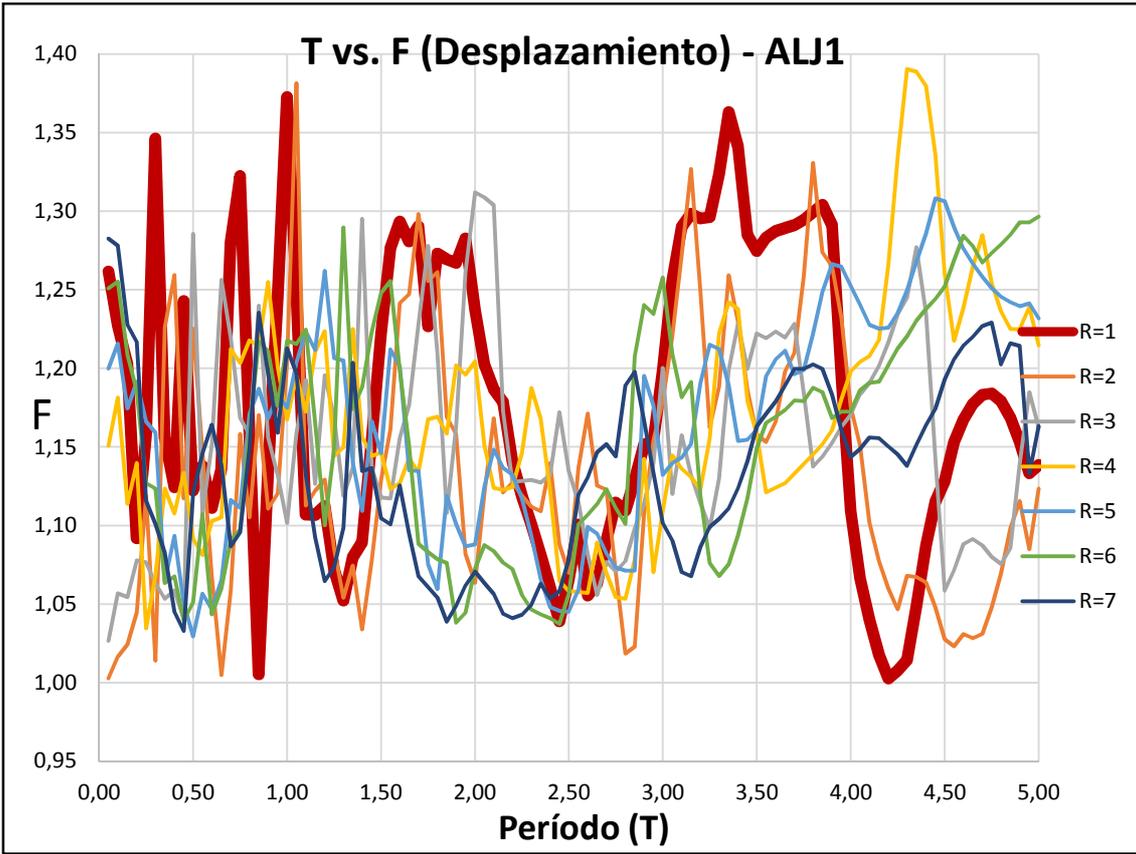


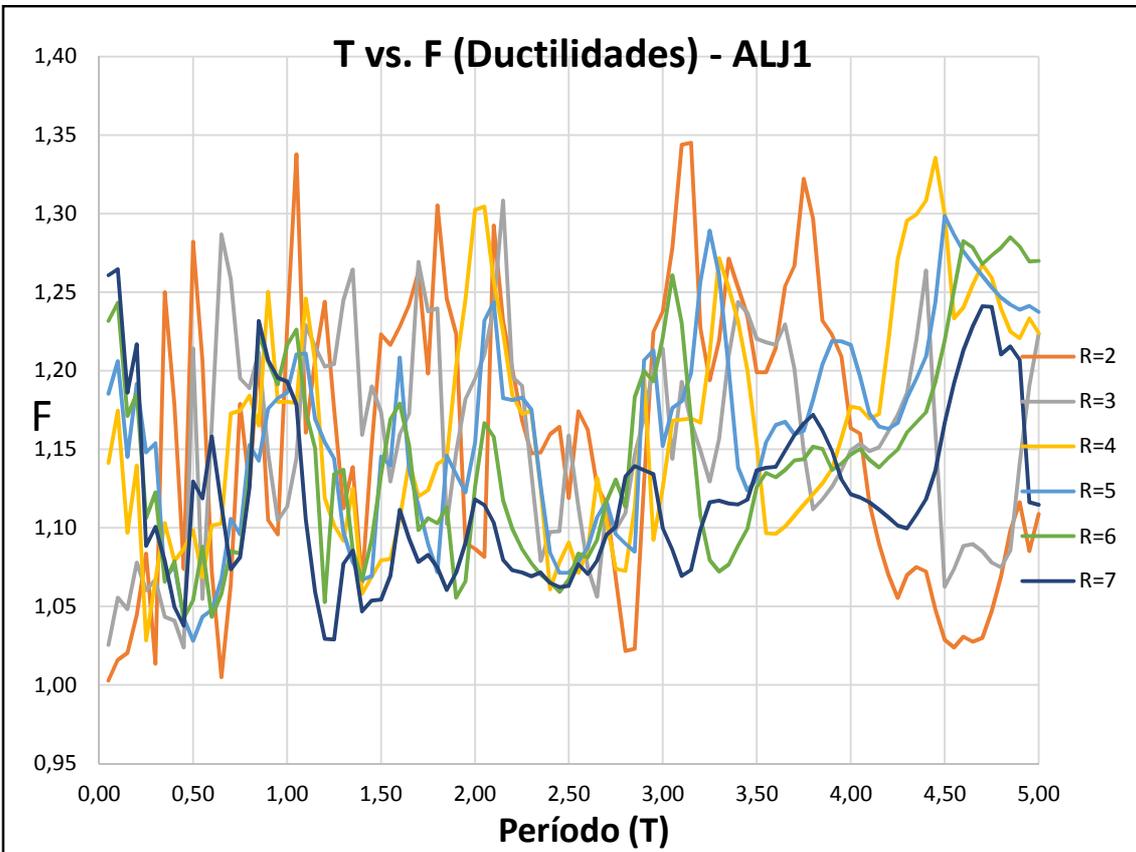
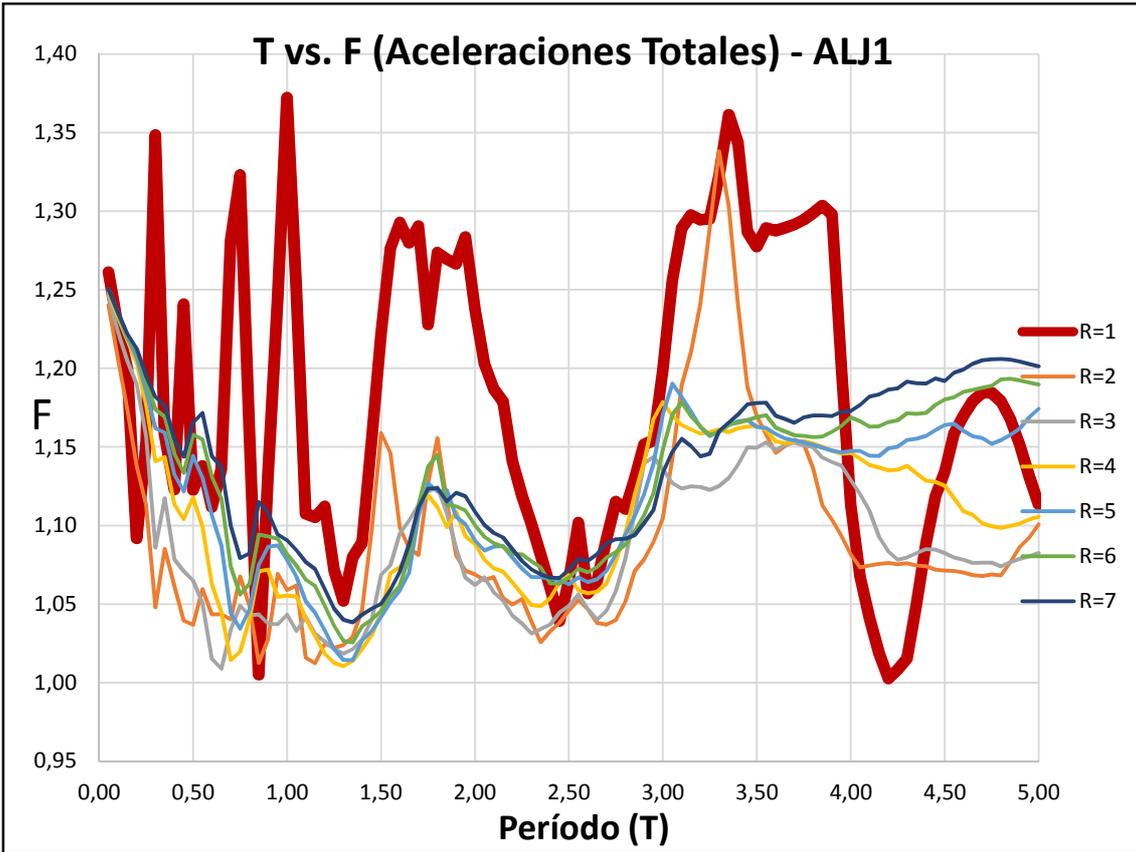


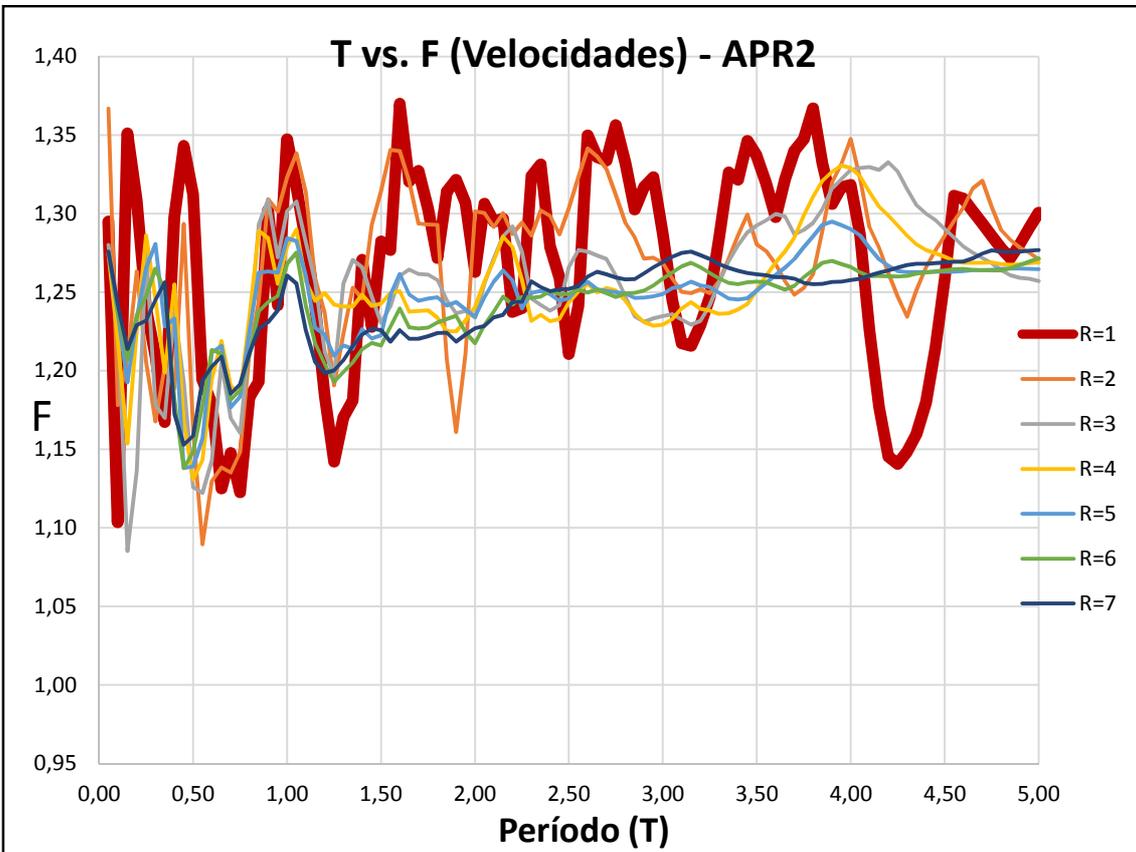
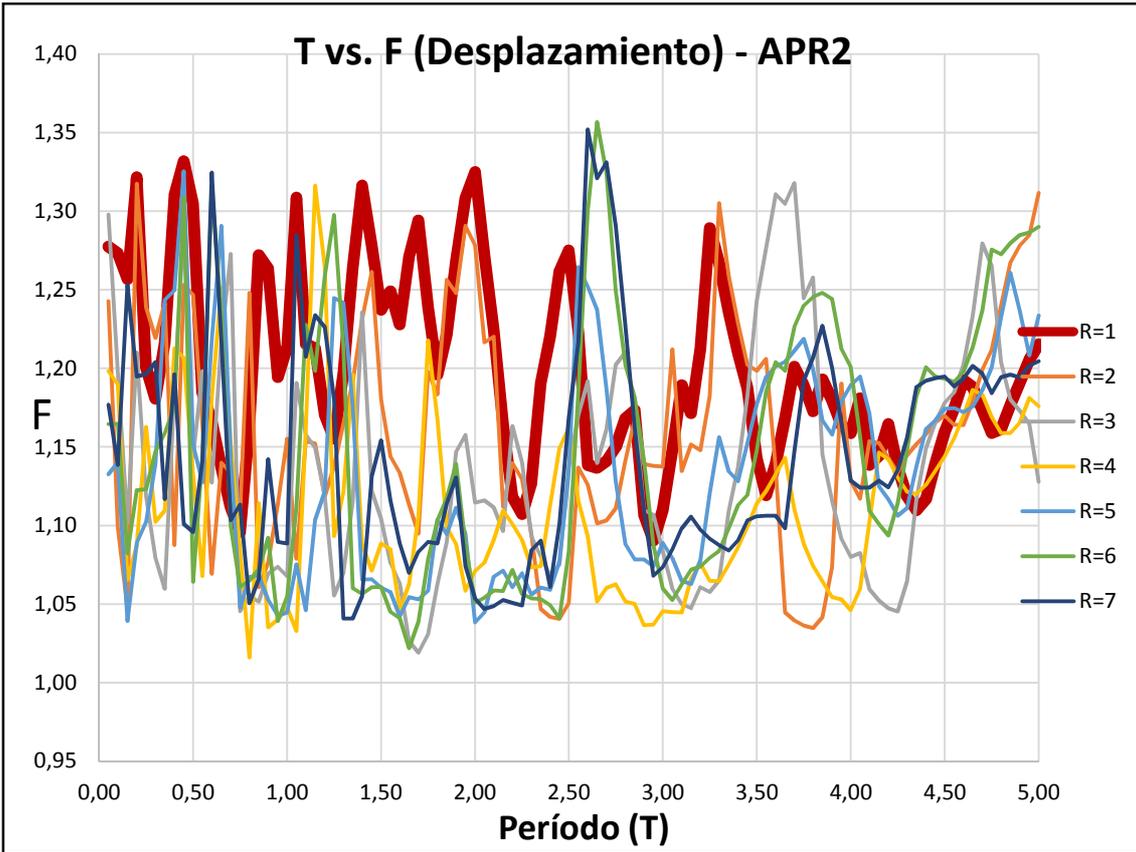


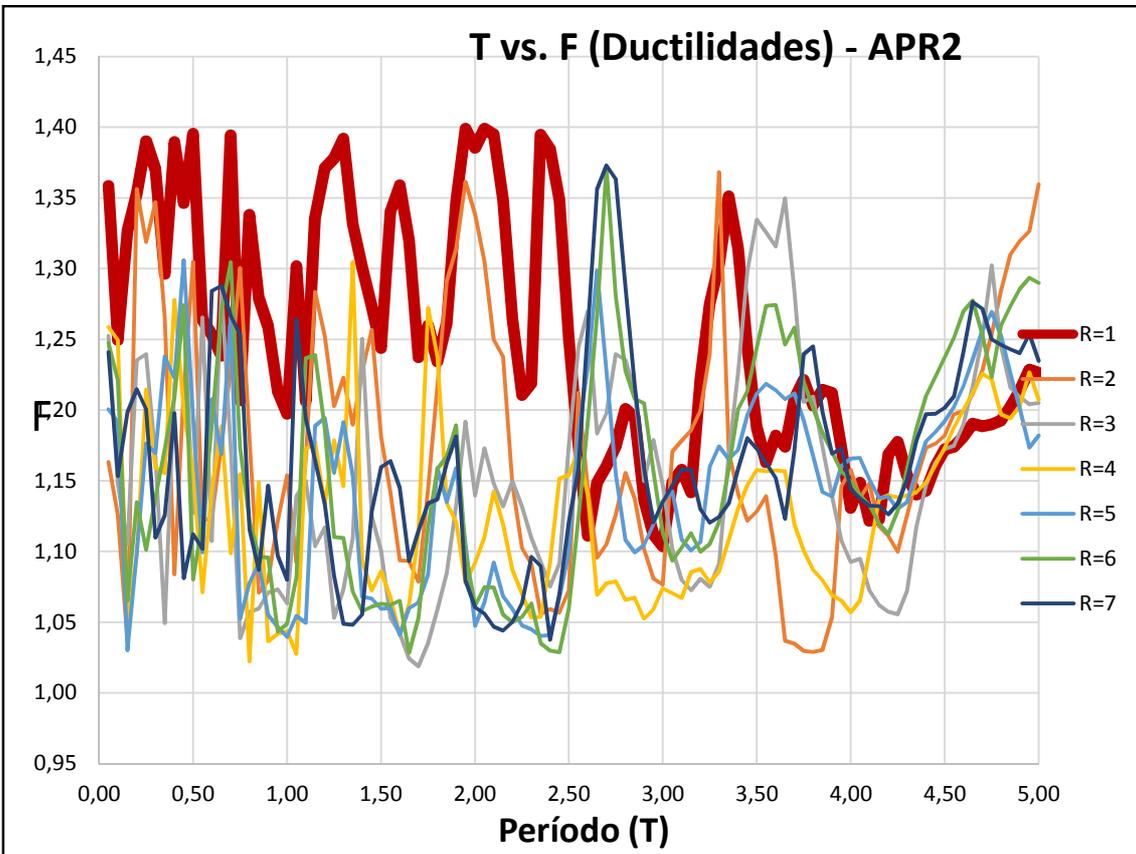
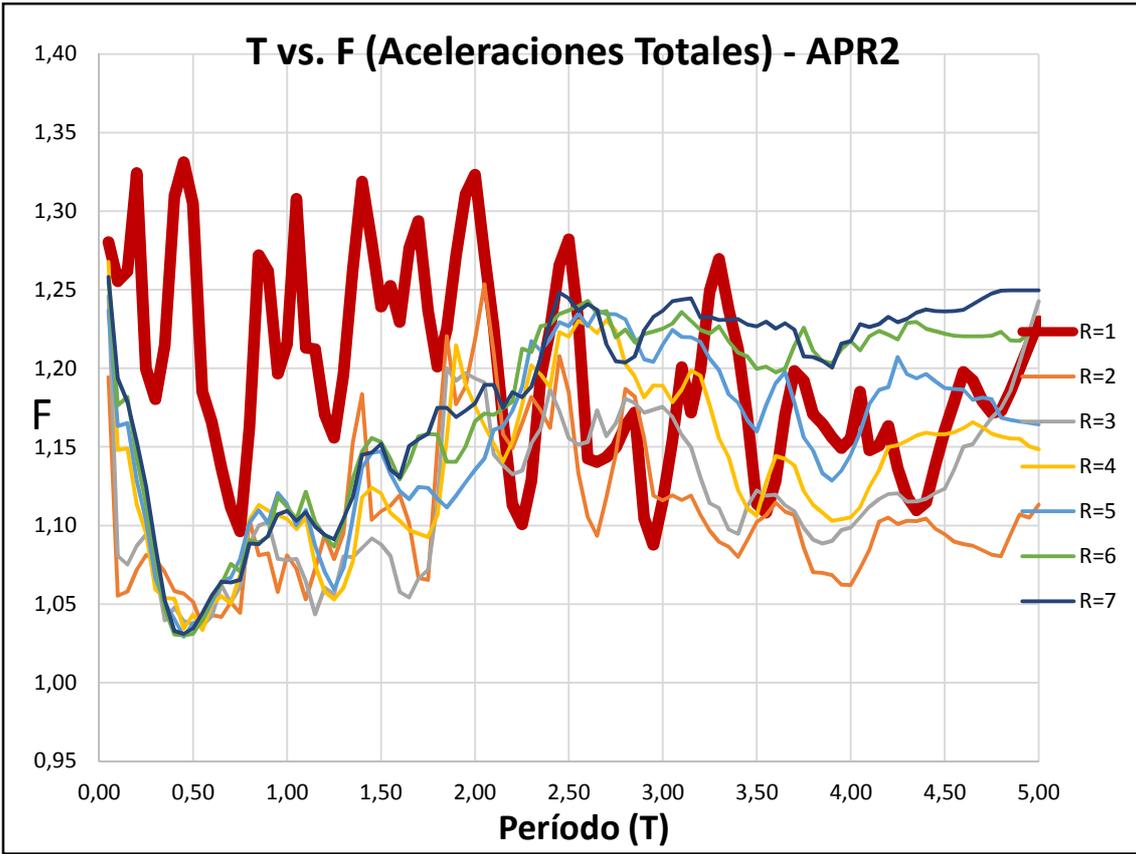


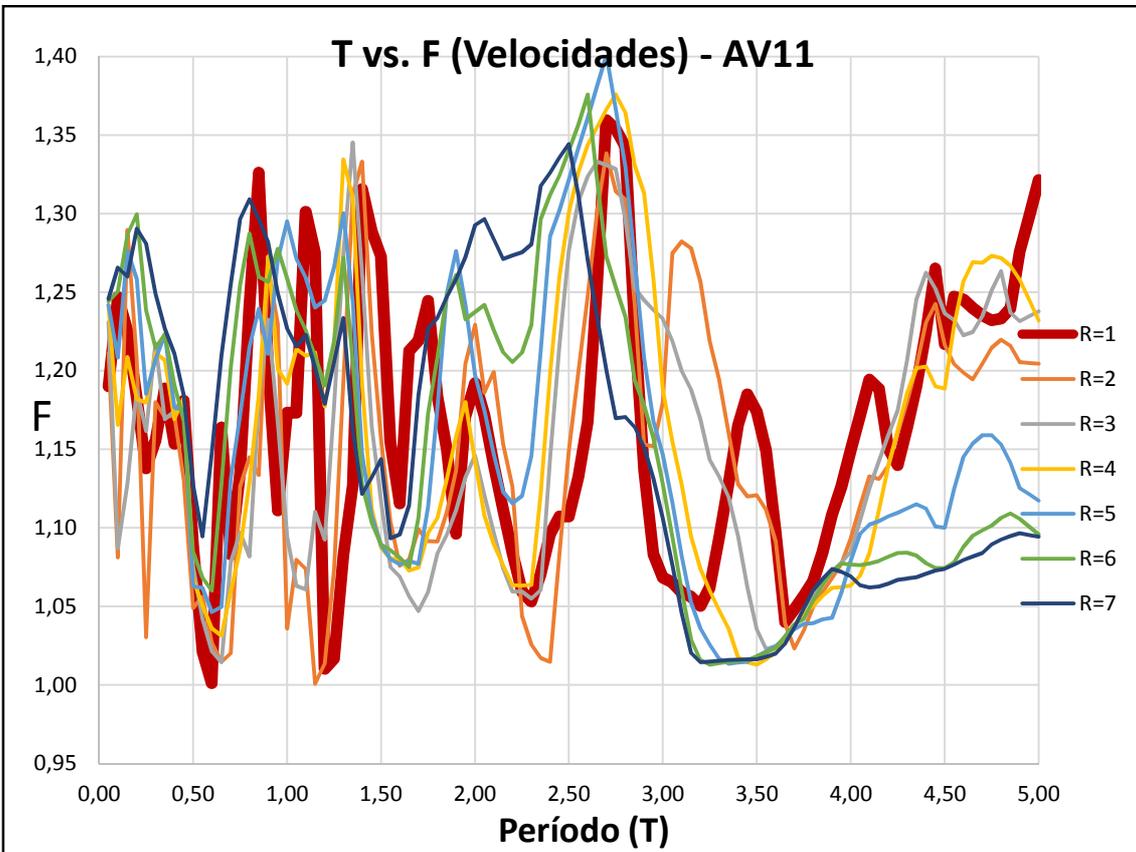
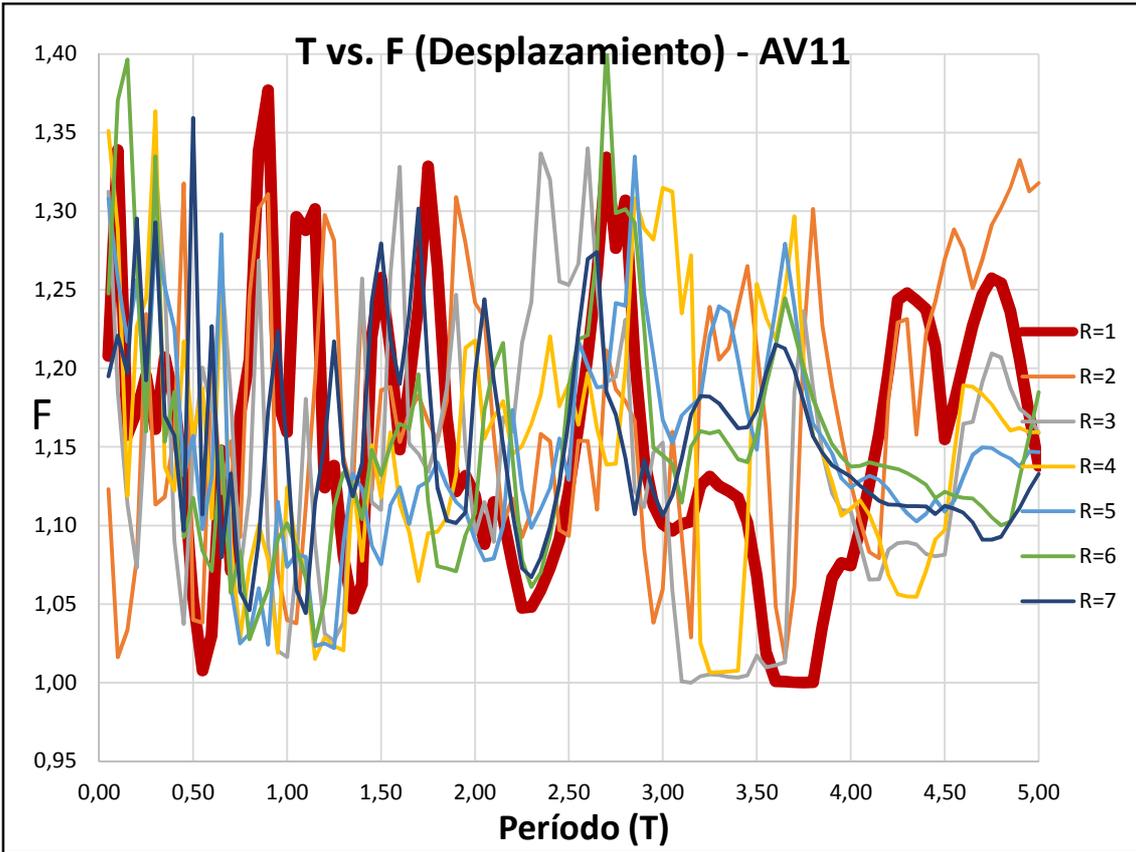


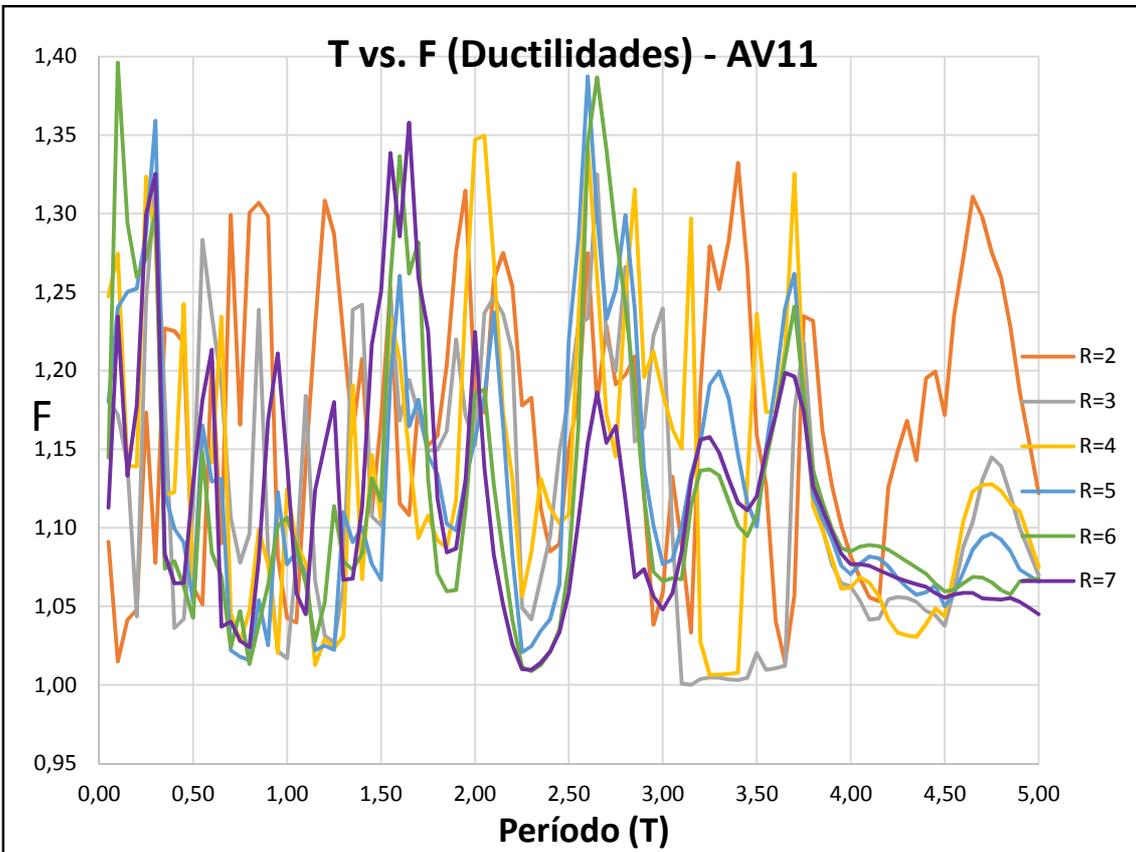
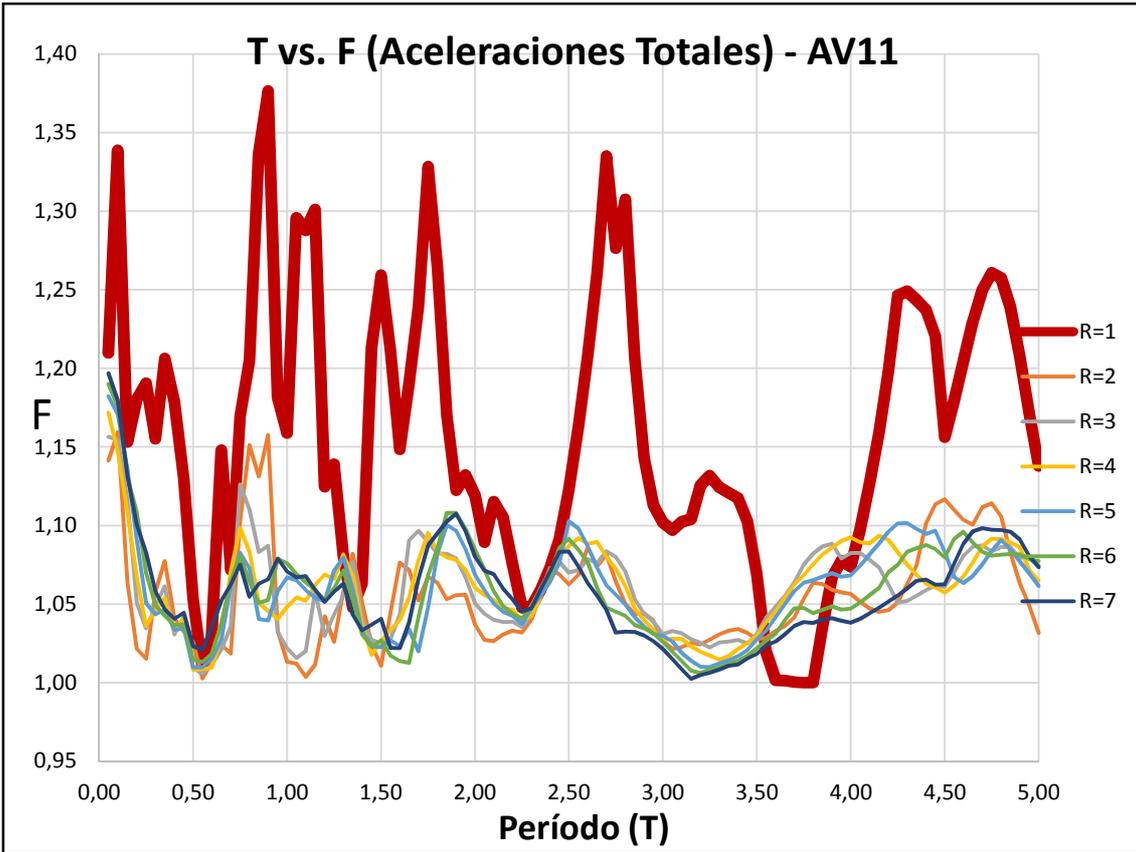


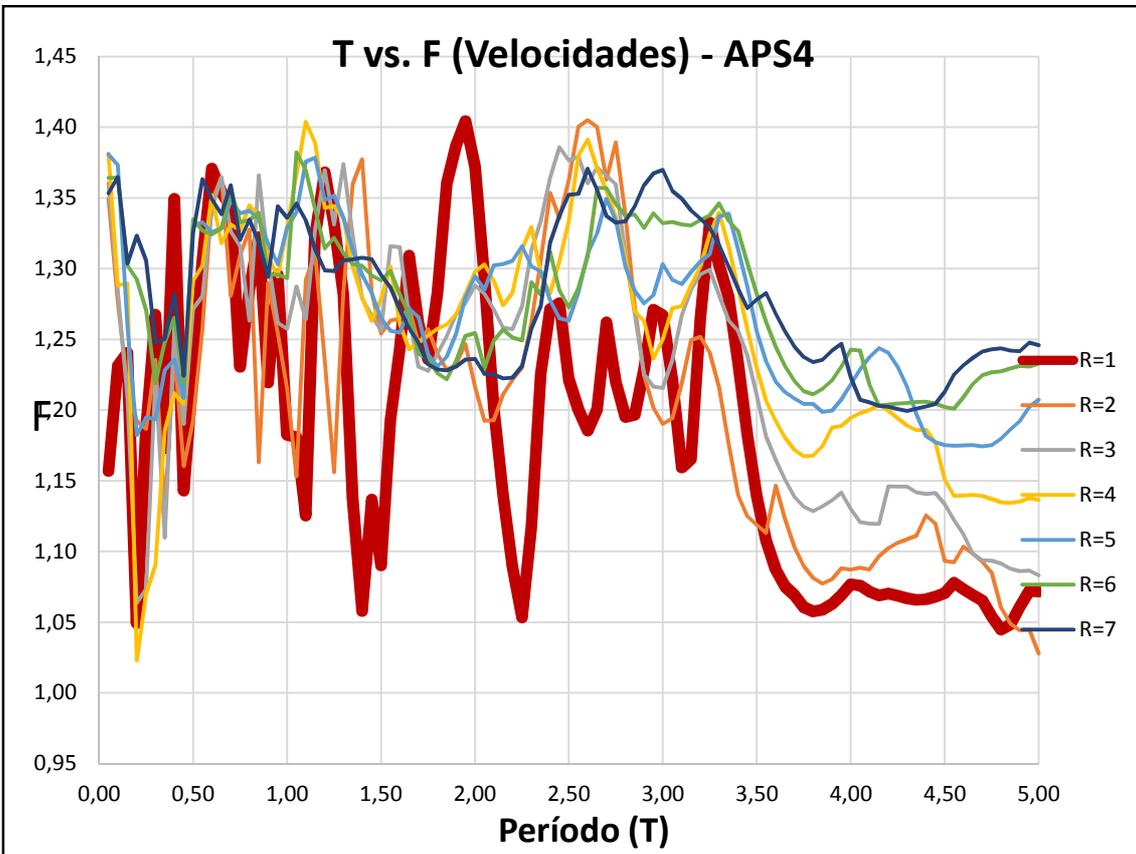
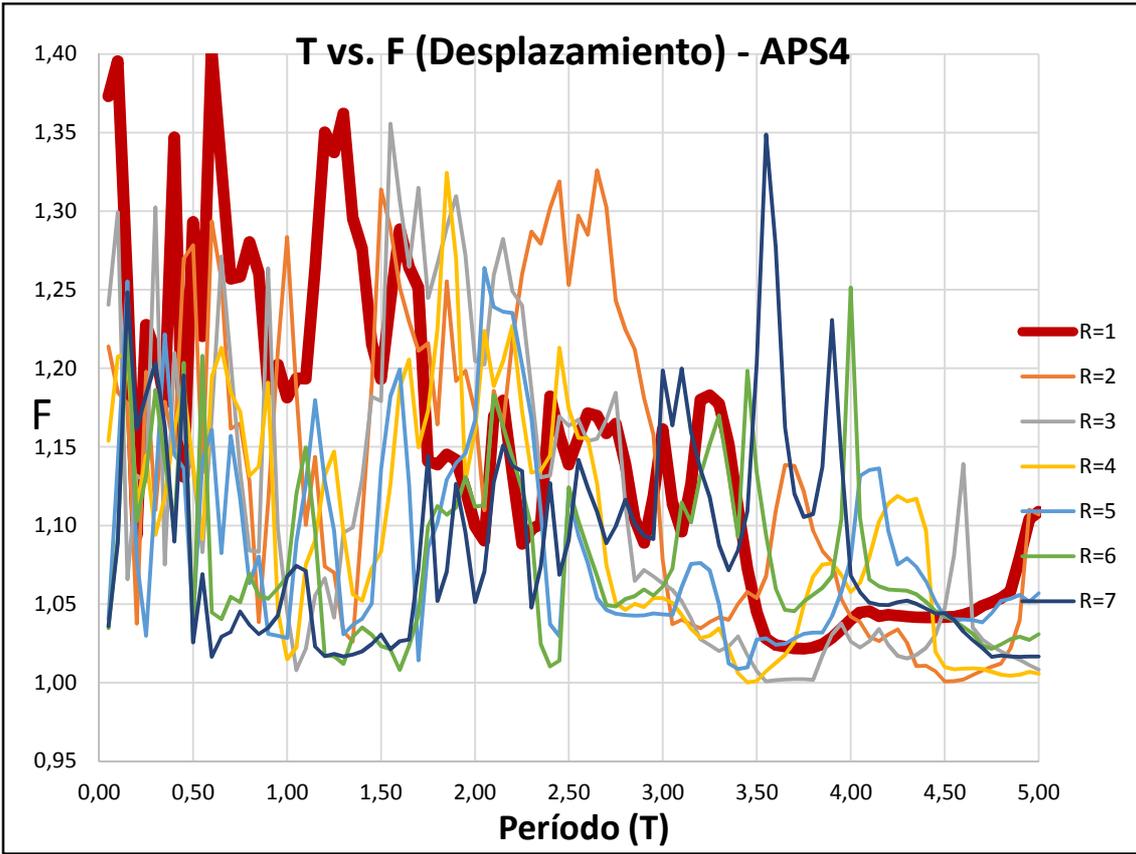


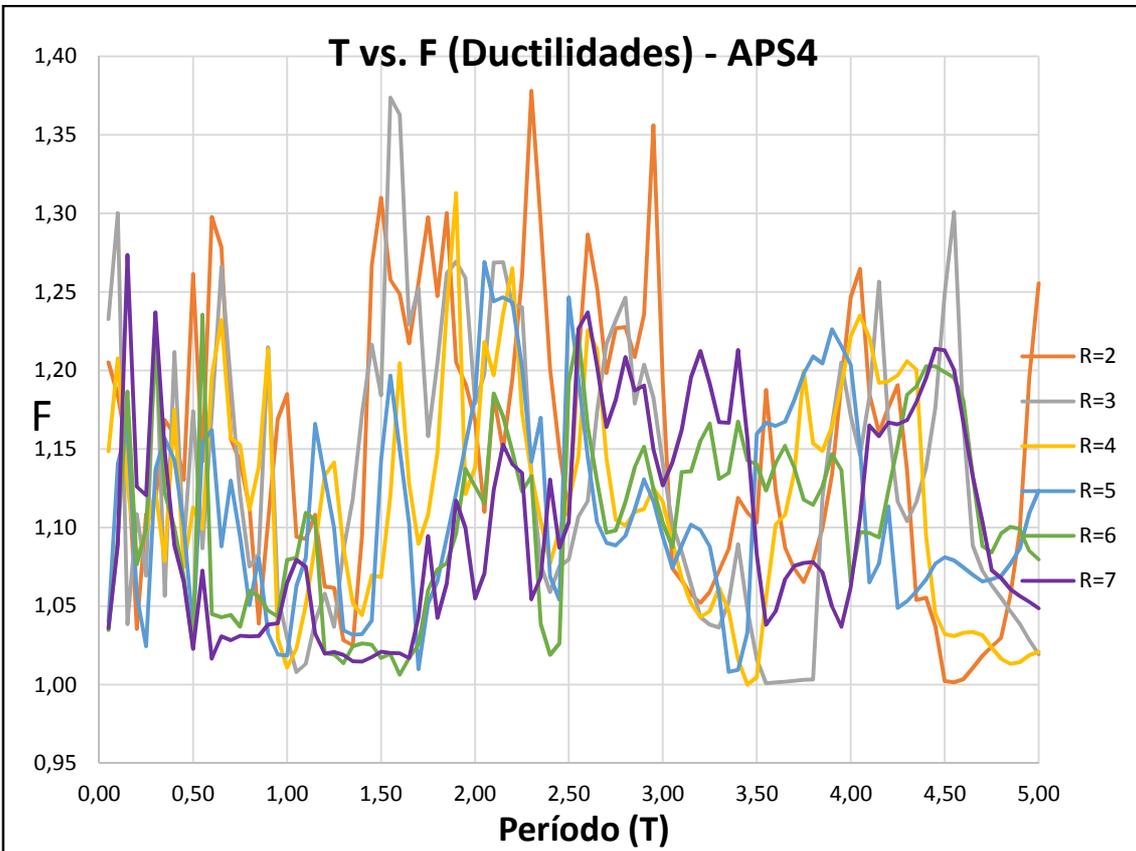
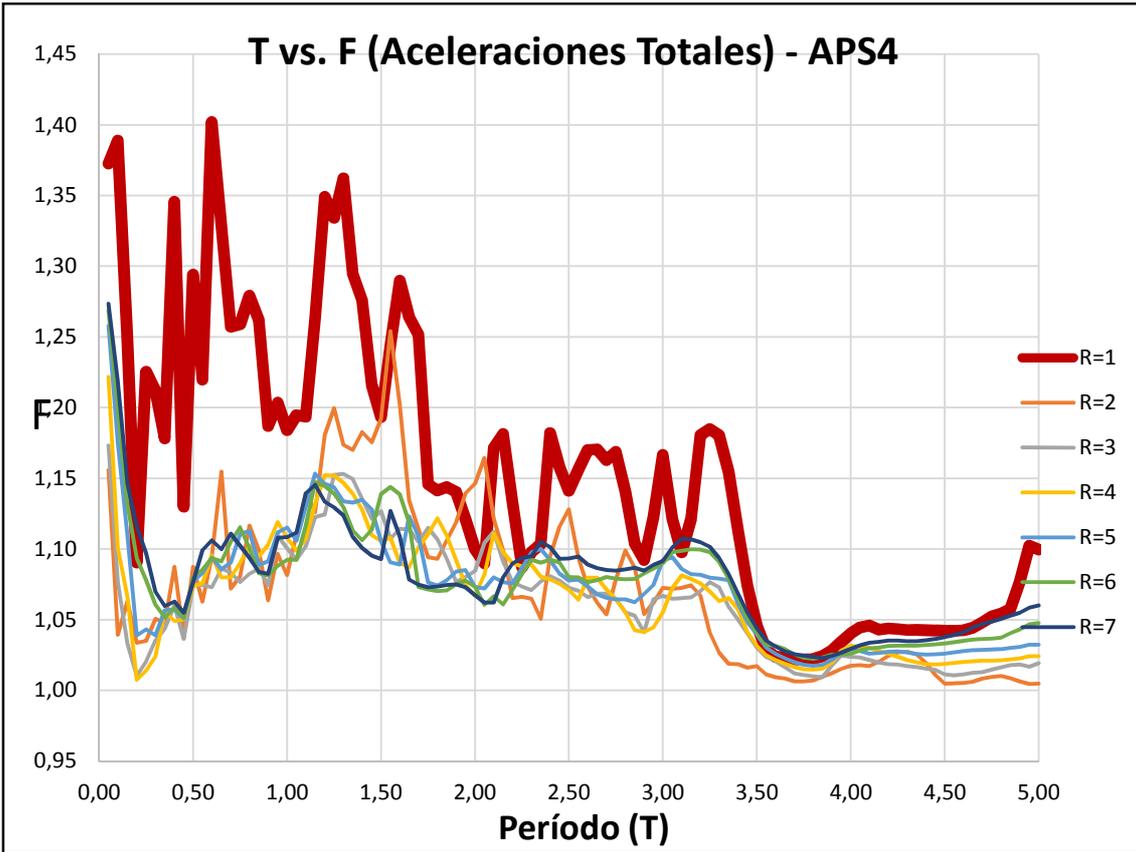












## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Ávila Oñate, Luis David**, con C.C: # 0926304676 autor del 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)** 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, **14 de septiembre de 2018**

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Ávila Oñate, Luis David**

C.C: **0926304676**

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Espectros de Respuesta no lineales de combinación de Componentes horizontales de registros sísmicos usando el Método de Respuestas Máximas en el Tiempo (RMT).		
<b>AUTOR(ES)</b>	Luis David, Ávila Oñate		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Hernández Barredo, Jaime Francisco		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	14 de septiembre de 2018	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	168
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Ingeniería Sísmica, Registros sísmicos, Combinación espectral.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Registros sísmicos, Espectro de Respuesta, Combinación espectral, Método RMT.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>En el presente trabajo se investigan los espectros de respuesta de la combinación de componentes horizontales para estructuras que incursionan en el rango inelástico. El método de combinación de componentes horizontales utilizado en este estudio es el método de Respuestas Máximas en el Tiempo (RMT) propuesto por Lascano (2018).</p> <p>Para el cálculo de la combinación espectral no lineal, se desarrollaron 2 programas, uno que calcula las respuestas para un período determinado y otro que calcula espectros, ambos utilizan la metodología RMT desarrollada en el Trabajo de Titulación de Lascano (2018).</p> <p>Al igual que en el trabajo de Lascano (2018), se compararon los resultados del método RMT con el método de la norma ASCE 7 (SRSS) mediante un factor F que caracteriza las máximas variaciones entre ambos métodos.</p> <p>La evaluación de los resultados se centró en los factores F para los siguientes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desplazamiento</li> <li>▪ Velocidad</li> <li>▪ Aceleración</li> <li>▪ Ductilidad</li> </ul>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	Teléfono: +593-4-970454	E-mail: davidavila@outlook.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):::</b>	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			