



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

**TÍTULO:**

**Métodos de Escalamiento de Registros Sísmicos para Diseño  
de Estructuras con Aislación. Evaluación y Propuesta**

**AUTOR:**

**Uvidia Leguísamo, Marcelo Geovanny**

**Proyecto de Investigación previo a la obtención del**

**Título de:  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Hernandez Barredo, Jaime Francisco**

**Guayaquil, Ecuador  
2016**



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

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Marcelo Geovanny, Uvidia Leguísamo**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR**

---

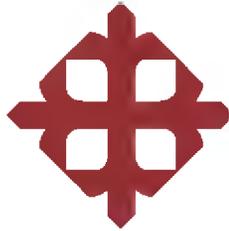
**Hernandez Barredo, Jaime Francisco**

**DIRECTORA DE LA CARRERA**

---

**Alcivar Bastidas, Stefany Esther**

**Guayaquil, a los 21 días del mes de marzo del año 2016**



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

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Marcelo Geovanny Uvidia Leguísamo**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación **Métodos de Escalamiento de Registros Sísmicos para Diseño de Estructuras con Aislación. Evaluación y Propuesta** previo a la obtención del Título **de Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

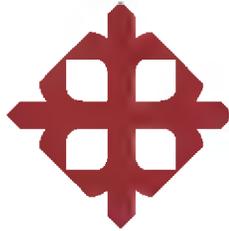
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación, de tipo Proyecto de Investigación referido.

**Guayaquil, a los 21 días del mes de marzo del año 2016**

**EL AUTOR**

---

**Marcelo Geovanny Uvidia Leguísamo**



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

## AUTORIZACIÓN

Yo, **Marcelo Geovanny Uvidia Leguísamo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Métodos de Escalamiento de Registros Sísmicos para Diseño de Estructuras con Aislación. Evaluación y Propuesta**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 21 días del mes de marzo del año 2016**

**EL AUTOR:**

---

**Marcelo Geovanny Uvidia Leguísamo**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres Geovanny Uvidia y Etel Leguísamo por las enseñanzas y valores con los cuales me formaron, su titánico esfuerzo y apoyo incondicional a lo largo de mi vida me ha demostrado el gran amor y cariño que me tienen.

A mi familia y de manera especial a mi tío Geovanny y su querida esposa Jessica por estar presente en los buenos y malos momentos.

A mis amigos, profesores y a todos los que han sido parte de esta etapa tan importante de mi vida.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por su esfuerzo y sacrificio, ustedes son mi mayor orgullo y fueron una de las principales motivaciones para que yo cumpla con esta meta.

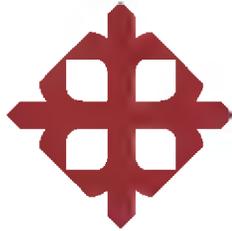
## **TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

Jaime Francisco Hernández Barredo  
TUTOR

---

Xavier Federico Casal Rodríguez  
PROFESOR DELEGADO



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

**CALIFICACIÓN**

---

Jaime Francisco Hernández Barredo  
TUTOR

# ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.....	3
1 MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Metodología.....	4
1.2 Riesgo Sísmico.....	5
1.3 Aislación en Superestructuras .....	6
1.3.1 Aislación Basal.....	6
1.4 Análisis historia-tiempo.....	8
1.5 Registros Sísmicos Seleccionados .....	9
CAPITULO 2.....	12
2 MODELOS ESTRUCTURALES PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ESCALAMIENTO DE REGISTRO DE RESPUESTA .....	12
2.1 INTRODUCCION.....	12
2.2 MODELO TRIDIMENSIONAL DEL EDIFICIO DE 7 PISOS .....	12
2.2.1 Normas y Códigos utilizados .....	15
2.2.2 MATERIALES .....	15
2.2.3 CARGAS CONSIDERADAS EN EL ANÁLISIS.....	16
2.2.4 Combinaciones de Carga .....	19
2.2.5 Análisis Estructural del modelo en el Programa Etabs 9 .....	20
2.3 Modelo Estructural de 7 pisos con Sistema de Aislación Basal.....	23
2.3.1 Cálculo de las Propiedades Lineales del Aislador .....	24
2.3.2 Cálculo de la Rigidez Efectiva del Sistema de Aislación correspondiente con el Periodo Objetivos.....	26
2.4 MODELO ESTRUCTURAL DE DOS GRADOS DE LIBERTAD .....	28
CAPÍTULO 3.....	29

3	ESCALAMIENTO DE REGISTROS EN EL TIEMPO MEDIANTE EL MÉTODO FEMA 450/ASCE 7-05.....	29
3.1	Introducción .....	29
3.2	Descripción del Método de Escalamiento FEMA 450/ASCE 7 -05 .....	29
3.3	Ejemplo de Aplicación del Método de Escalamiento FEMA 450/ASCE 7 -05. 31	
3.4	Corrección de Factores de Escala de los Registros Estudiados .....	36
	CAPÍTULO 4.....	39
4	ESCALAMIENTO DE REGISTROS EN EL TIEMPO MEDIANTE EL MÉTODO AL PERÍODO OBJETIVO.....	39
4.1	Introducción .....	39
4.2	Descripción del Método de Escalamiento al Periodo Objetivo .....	39
4.3	Ejemplo de Aplicación del Método de Escalamiento al Periodo Objetivo. 40	
	CAPÍTULO 5.....	47
5	ESCALAMIENTO DE REGISTROS EN EL TIEMPO MEDIANTE EL MÉTODO ITERATIVO DE ESCALAMIENTO (MIE).....	47
5.1	Introducción .....	47
5.2	Descripción del Método Iterativo de Escalamiento.....	47
5.3	Ejemplo de Aplicación del Método Iterativo de Escalamiento. ....	48
	CAPÍTULO 6.....	57
6	ESCALAMIENTO DE REGISTROS EN EL TIEMPO MEDIANTE EL MÉTODO DE NORMALIZACIÓN DE ESPECTRO .....	57
6.1	Introducción .....	57
6.2	Descripción del Método Iterativo de Escalamiento.....	57
6.3	Ejemplo de Aplicación del Método de Normalización de Espectro .....	58
	CAPÍTULO 7.....	65
7	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS .....	65
7.1	Introducción .....	65

7.2	Análisis Lineal Historia-Tiempo.....	65
7.2.1	Cálculo del Desplazamiento Basal .....	67
7.2.2	Cálculo de Cortante Basal.....	71
7.3	Análisis No Lineal Historia-Tiempo .....	78
7.3.1	Cálculo del Desplazamiento Basal .....	79
7.3.2	Cálculo de Cortante Basal.....	84
7.4	Comparación de los Efectos de los Métodos Analizados .....	91
CAPÍTULO 8.....		95
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	95
8.1	Conclusiones .....	95
8.2	Recomendaciones .....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		98
ANEXOS.....		100
Anexo 1: Componentes Horizontales de los Registros Sísmicos Utilizados ....		101
Anexo 2: Propiedades Dinámicas del Aislador de Base .....		102
Anexo 3: Gráficas obtenidas aplicando el Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05 .....		103
Anexo 4: Gráficas obtenidas aplicando el Método de Escalamiento al Periodo Objetivo .....		108
Anexo 5: Gráficas obtenidas aplicando el Método Iterativo de Escalamiento .....		113
Anexo 6: Gráficas obtenidas aplicando el Método de Normalización de Espectro .....		118
Anexo 7: Gráficas de Cortante Basal, obtenidas aplicando el Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05.....		123
Anexo 8: Gráficas de Cortante Basal, obtenidas aplicando el Método de Escalamiento al Periodo Objetivo .....		128

Anexo 9: Gráficas de Cortante Basal, obtenidas aplicando el Método Iterativo de Escalamiento ..... 133

Anexo 10: Gráficas de Cortante Basal, obtenidas aplicando el Método por Normalización de Espectro ..... 138

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Aislador Elastomérico Convencional.....	7
Figura 1.2. Aislador Elastomérico con núcleo de Plomo .....	8
Figura 2.1. Pórtico en el sentido X.....	13
Figura 2.2. Pórtico en el sentido Y.....	14
Figura 2.3. Vista en Planta.....	14
Figura 2.4. Detalle de Losa Nervada - Corte.....	17
Figura 2.5. Espectro Elástico e Inelástico de diseño; suelo E, Z=0.4, I=1, R=7.	19
Figura 2.6. Pórtico en “X” con sus respectivas secciones .....	21
Figura 2.7. Pórtico en “Y” con sus respectivas secciones .....	21
Figura 2.8. Ubicación de Aisladores de Base en el Modelo .....	23
Figura 2.9. Histéresis del Aislador .....	24
Figura 2.10. Esquema de modelo simplificado más el Sistema de Aislación .....	28
Figura 3.1. Componentes horizontales N00, N90 de registro sísmico CDAF (México 1985).....	31
Figura 3.2. Cálculo de la resultante SRSS.....	32
Figura 3.3. Espectro de diseño según NEC-14 para la ciudad de Guayaquil, Suelo Tipo E .....	33
Figura 3.4. Espectro de diseño amplificado según (FEMA 450, p.219).....	33
Figura 3.5. Límites 0.50 TD y 1.25 TM.....	34
Figura 3.6. Escalamiento de SRSS entre los rangos 0.50TD y 1.25 TM .....	35
Figura 3.7. Factor de Escala obtenido, aplicando el M. FEMA 450/ ASCE 7-0535	
Figura 3.8. Promedio de los espectros SRSS y espectro 0.72 SRSS .....	37
Figura 4.1. Componentes horizontales N00, N90 de registro sísmico CDAF (México 1985).....	41
Figura 4.2. Cálculo de la resultante SRSS.....	42

Figura 4.3. Espectro de diseño según NEC-14 para la ciudad de Guayaquil, Suelo Tipo E .....	42
Figura 4.4. Espectro de diseño amplificado según (FEMA 450, p.219) .....	43
Figura 4.5. Límite de periodo objetivo. ....	43
Figura 4.6. Escalamiento de SRSS al periodo objetivo .....	44
Figura 4.7. Factor de escala obtenido, aplicado el M. E. al Periodo Objetivo ....	45
Figura 5.1. Componentes horizontales N00, N90 de registro sísmico CDAF (México 1985) .....	49
Figura 5.2. Cálculo de la resultante SRSS .....	50
Figura 5.3. Espectro de diseño según NEC-14 para la ciudad de Guayaquil, Suelo Tipo E .....	50
Figura 5.4. Espectro de diseño amplificado según (FEMA 450, p.219) .....	51
Figura 5.5. Límite de Periodo Objetivo. ....	51
Figura 5.6. Primera Iteración. $T=3.0\text{seg}$ . $F=0.76$ .....	52
Figura 5.7. Rigidez Efectiva del Sistema .....	53
Figura 5.8. Segunda Iteración. $T=3.24\text{seg}$ . $F=0.9$ .....	54
Figura 5.9. Tercera Iteración. $T=3.25\text{seg}$ . $F=0.92$ .....	54
Figura 5.10. Cuarta Iteración. $T=3.25\text{seg}$ .....	55
Figura 6.1. Espectro de Diseño NEC 14. Curva Cortante-Desplazamiento .....	59
Figura 6.2. Curva bilineal de capacidad del Sistema de Aislación .....	60
Figura 6.3. SRSS Cortante-Desplazamiento. Registro CDAF .....	61
Figura 6.4. Desplazamiento al que se escalará SRSS CDAF .....	62
Figura 6.5. Escalamiento de SRSS al desplazamiento efectivo .....	62
Figura 6.6. Factor de Escala obtenido, aplicando el Método de Normalización de Espectro .....	63
Figura 7.1. Propiedades Lineales del Aislador de Base U2 .....	66
Figura 7.2. Propiedades Lineales del Aislador de base U3 .....	66
Figura 7.3. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis Lineal. FEMA 450/ ASCE 7-05 .....	71

Figura 7.4. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis Lineal. Periodo Objetivo .....	73
Figura 7.5. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis Lineal. Método Iterativo .....	74
Figura 7.6. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis Lineal. Normalización de Espectro .....	76
Figura 7.7. Propiedades No Lineales del Aislador de Base U2 .....	78
Figura 7.8. Propiedades No Lineales del Aislador de base U3 .....	79
Figura 7.9. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis No Lineal. FEMA 450/ ASCE 7-05 .....	84
Figura 7.10. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis No Lineal. Periodo Objetivo .....	86
Figura 7.11. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis No Lineal. Método Iterativo .....	87
Figura 7.12. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis No Lineal. Normalización de Espectro .....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Características Físicas de los Registros Sísmicos .....	11
Tabla 2.1. Detalle de Carga Muerta .....	16
Tabla 2.2. Condiciones de espectro de diseño .....	18
Tabla 2.3. Combinaciones de carga. Edificio de 7 pisos .....	19
Tabla 2.4. Resumen de Vigas y Columnas .....	20
Tabla 2.5. Masa participativa del Análisis Modal.....	22
Tabla 3.1. Resumen de factores obtenidos con el M. E. FEMA 450/ ASCE 7-05 .....	36
Tabla 3.2. Factores de Escalamiento Corregidos. FEMA 450/ ASCE 7-05 .....	38
Tabla 4.1. Resumen de los Factores de Escalamiento. Método al Periodo Objetivo .....	46
Tabla 5.1. Resumen del Método Iterativo de Escalamiento .....	55
Tabla 5.2. Resumen de factores obtenidos con el MIE .....	56
Tabla 6.1. Resumen de factores obtenidos con el Método de Normalización de Espectro .....	64
Tabla 7.1. Resumen de desplazamientos. Método FEMA 450/ ASCE7-05 .....	67
Tabla 7.2. Resumen de desplazamientos. Método al Periodo Objetivo .....	68
Tabla 7.3. Resumen de desplazamientos. Método Iterativo de Escalamiento... ..	69
Tabla 7.4. Resumen de desplazamientos. Método de Normalización de Espectro .....	69
Tabla 7.5. Resumen de Desplazamientos máximos. Análisis Lineal Historia-Tiempo .....	70
Tabla 7.6. Resumen de Cortantes Basales. Método FEMA 450/ ASCE 7-05....	72
Tabla 7.7. Resumen de Cortantes Basales. Periodo Objetivo.....	73
Tabla 7.8. Resumen de Cortantes Basales. Método Iterativo .....	75
Tabla 7.9. Resumen de Cortantes Basales. M. Normalización de Espectro.....	76

Tabla 7.10. Resumen de Cortantes basales máximos. Análisis Lineal Historia-Tiempo .....	77
Tabla 7.11. Resumen de desplazamientos. Método FEMA 450/ ASCE7-05. Análisis No Lineal .....	80
Tabla 7.12. Resumen de desplazamientos. Método al Periodo Objetivo. Análisis No Lineal .....	81
Tabla 7.13. Resumen de desplazamientos. Método Iterativo de Escalamiento. Análisis No Lineal .....	81
Tabla 7.14. Resumen de desplazamientos. Método de Normalización de Espectro. Análisis No Lineal .....	82
Tabla 7.15. Resumen de Desplazamientos máximos. Análisis No Lineal Historia-Tiempo .....	83
Tabla 7.16. Resumen de Cortantes Basales. Método FEMA 450/ ASCE 7-05. Análisis No Lineal .....	85
Tabla 7.17. Resumen de Cortantes Basales. Periodo Objetivo. Análisis No Lineal .....	86
Tabla 7.18. Resumen de Cortantes Basales. Método Iterativo. Análisis No Lineal .....	88
Tabla 7.19. Resumen de Cortantes Basales. M. Normalización de Espectro. Análisis No Lineal .....	89
Tabla 7.20. Resumen de cortantes basales máximos. Análisis No Lineal Historia-Tiempo .....	90
Tabla 7.21. Resumen comparativo de Desplazamientos. Análisis Lineal.....	91
Tabla 7.22. Razón de desplazamientos, métodos evaluados y teórico. Análisis Lineal.....	92
Tabla 7.23. Resumen de Cortantes Basales. Análisis Lineal .....	92
Tabla 7.24. Razón de cortantes, métodos evaluados y teórico. Análisis Lineal	93
Tabla 7.25. Resumen comparativo de Desplazamientos. Análisis No Lineal ....	93
Tabla 7.26. Resumen de Cortantes Basales. Análisis no Lineal .....	94

## RESUMEN

En este trabajo se estudió el Método de Escalamiento especificado en FEMA 450 (similar a ASCE 7-05) tal como lo indica la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 14) para estructuras con aislación sísmica. Se estudió un modelo de 2 grados de libertad, el cual representa a un edificio de 7 pisos ubicado en la ciudad de Guayaquil, al cual se aplicaron 9 registros sísmicos (CDAF, SVXI, TXSO, TORRE LATINOAMERICANA 1962, TORRE DE LA MERCED, TLHD, TLHB, SCT Y MEXICO UNAM) la mayoría de los cuales son registros producidos por una falla por subducción y ubicados en suelo blando. Se obtuvo el factor de escala para cada uno de los registros, según el FEMA 450/ASCE7-05, y se realizó un análisis lineal en el tiempo en el modelo de 2 grados de libertad con los cuales se obtuvieron los cortantes basales y los desplazamientos en el sistema de aislación para cada registro escalado.

Adicionalmente, se evaluó 3 métodos de escalamiento: Método Periodo Objetivo, Método Iterativo de Escalamiento (MIE), y Método de Normalización de Espectros (MNE). Por medio de estos métodos se obtuvo el factor de escalamiento de cada registro y se obtuvieron los cortantes basales y los desplazamientos en el sistema de aislación debido al análisis lineal en el tiempo en el modelo de 2 grados de libertad. Se compararon los resultados obtenidos en los 4 métodos de escalamiento y se los evaluó con los resultados esperados.

Finalmente, con los factores de escalamiento obtenido en los 4 métodos, se realizó un análisis no lineal para cada uno de los registros escalados, de donde se obtuvo los cortantes basales y los desplazamientos en el sistema de aislación.

De la comparación de los resultados se concluyó que el método de escalamiento especificado en FEMA 450/ASCE7-05 produce factores de escalamiento mayores a los 3 métodos presentados en este trabajo, siendo entre ellos los factores similares. A causa de ello, los cortantes basales y los desplazamientos del sistema de aislación, para el modelo de 2 grados de libertad, son mayores en el método del FEMA 450/ASCE7-05 comparados con los otros

3. Los cortantes basales y desplazamientos del sistema de aislación que resultaron más cercanos a los esperados se obtuvieron por medio del método iterativo de escalamiento. Las diferencias en los cortantes basales y desplazamientos del sistema de aislación según los métodos de escalamiento se redujeron cuando se aplicó el análisis no lineal.

**Palabras Clave:** (SRSS, NEHRP, FEMA, escalamiento,)

## INTRODUCCIÓN

El análisis historia de la respuesta es uno de los análisis más confiables para el diseño de estructuras con aislación sísmica. Este análisis se basa en la aplicación de registros sísmicos reales de tal manera que produzcan efectos similares a los esperados en el sitio. Debido a la poca cantidad de sismos de gran magnitud registrados en el mundo, y sobre todo en las zonas de estudio, es necesario hacer uso de registros de menor magnitud (en la mayoría de casos) con factores de escala que simulen las aceleraciones esperadas en el sitio.

Para estructuras con aislación sísmica, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 14) establece el uso de las disposiciones presentadas en los capítulos 13 y 15 del BSSC (2004) “NEHRP Recommended Provisions and Commentary for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures” (FEMA 450). Estas especificaciones son similares a las presentadas en el ASCE7-05 y es por ello que en este trabajo se las referirá como FEMA450/ASCE7-05.

El método de escalamiento de registros sísmicos especificado en FEMA450/ASCE7-05 ha dado como resultado, en algunos casos, valores muchos mayores a los esperados, y una de las posibles causas de ello es la definición de un rango amplio de periodos en su metodología. Debido a ello, en este trabajo se evaluará la aplicación el método de escalamiento especificado en FEMA450/ASCE7-05 y se compararán sus resultados con otros métodos de escalamiento propuestos, en los cuales no se considera el rango de periodos determinado en FEMA450/ASCE7-05. Los métodos de escalamiento propuestos en este trabajo son: Método del Periodo Objetivo, Método Iterativo de Escalamiento (MIE), y Método de Normalización de Espectros (MNE).

Para la evaluación de estos métodos se realizará un análisis lineal en el tiempo en un modelo estructural de 2 grados de libertad, que simule un edificio de 7 pisos con un sistema de aislación en su base. Se considerará que el edificio se encuentra en la ciudad de Guayaquil y está ubicado sobre suelo tipo E. Los 9 registros sísmicos a utilizarse serán en su gran mayoría mexicanos y tienen la finalidad de considerar efectos de suelo blando y tipo de falla de subducción.

De la aplicación de los registros escalados, por cada método, en el modelo estructural de 2 grados de libertad se obtendrán los cortantes basales y desplazamientos del sistema de aislación. Estos valores serán comparados entre métodos de escalamientos y serán comparados también con los valores correspondientes de los espectros de aceleración y de desplazamientos del sitio, los cuales se han considerado como “esperados”.

Finalmente, se realizará un análisis no lineal en el tiempo en el modelo estructural de 2 grados de libertad para identificar si las diferencias en el cortante basal y desplazamiento del sistema de aislación siguen la misma tendencia que en el análisis lineal.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

Los antecedentes mundiales muestran que con posterioridad a los terremotos de Northridge y Kobe, el uso de la aislación sísmica en el mundo ha crecido considerablemente puesto que las pocas estructuras existentes en ese momento con este sistema, se comportaron muy eficientemente. (Documentos técnicos Corporación de Desarrollo Tecnológico N°29,11)

Esto debido a que un requerimiento esencial para el diseño de estructuras sísmicamente aisladas es que no cumplan simplemente con la protección de la vida humana durante un sismo severo sino que también reduzca los daños estructurales. Al diseñar para el sismo máximo probable ( $S_M$ ), se induce a la estructura a comportarse elásticamente y esto es lo que la diferencia del diseño de base fija.

Para realizar este tipo de diseño es necesario hacer un análisis dinámico no lineal en el tiempo de estructuras aisladas y es ahí donde se puede apreciar la importancia de este trabajo de titulación, por el contenido académico que brindará al lector.

Cuando optamos por aisladores sísmicos buscamos cambiar el periodo natural y la rigidez de la estructura para obtener un mayor amortiguamiento y así evitar daños estructurales debido a sismos. La literatura indica que “una estructura aislada sísmicamente es al menos 5 veces más segura que una estructura empotrada al suelo y que además los esfuerzos debido al sismo en la estructura aislada son alrededor de 10 veces más pequeños que los de una estructura convencional. Esto garantiza que los elementos estructurales no tendrán daño incluso ante sismos de gran magnitud”. (Héctor Astocaza G, 2014)

## **1.1 Metodología**

Para facilitar el entendimiento del lector en este sub capítulo se indicará de manera general como se va a llevar a cabo este trabajo de titulación:

Se evaluará los métodos de escalamiento de registros en el tiempo existentes y los métodos propuestos en este trabajo de titulación con el objetivo de comparar los efectos de los diferentes métodos. Estos métodos serán aplicados a un edificio ubicado en la ciudad de Guayaquil y se obtendrán factores de escalamiento, cortantes y desplazamientos basales.

Se creará un modelo simplificado de dos grados de libertad con las características dinámicas del edificio para simular el comportamiento dinámico ante la acción de los registros y aplicado a los diferentes métodos analizados en este trabajo.

Para realizar un análisis dinámico no lineal en el tiempo en nuestro país no existe una norma vigente, pero al estar regidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-14, en el capítulo 8.2.2 se menciona que los métodos de análisis a ser utilizados son los indicados en FEMA 450.

En el capítulo 13.2.3.2 de FEMA 450 se encuentra el análisis historia tiempo, este es igual al método indicado en ASCE 7-05. Este método se encuentra en el capítulo 3.

En este trabajo de titulación se desarrollará el método aplicado a 9 registros con características similares a los suelos de Guayaquil. Estos registros se encuentran en el capítulo 1.5.

Con base en el método de análisis historia tiempo de FEMA 450/ ASCE 7-05, se desarrollarán los tres métodos propuestos (Método de Escalamiento al Período Objetivo, Método Iterativo de Escalamiento, Método de Escalamiento por

Normalización de Espectro), aplicados a los mismos registros para partir de un punto en común y comparar los resultados obtenidos. En el capítulo 7 se encuentran los resultados y observaciones obtenidas al comparar las respuestas.

Para desarrollar cada método de escalamiento se dispuso de un capítulo por cada uno, en donde de manera muy explícita se indica la descripción del método así también un ejemplo de aplicación. En el capítulo 4 se puede ver el método de escalamiento al período objetivo, el método iterativo de escalamiento se puede ver en el capítulo 5 y el método de escalamiento por espectro normalizado se puede ver en el capítulo 6.

Al final en el capítulo 8 se encuentran las conclusiones y recomendaciones para hacer de este trabajo de titulación una herramienta útil académicamente.

## **1.2 Riesgo Sísmico**

Para la determinación del peligro sísmico de Ecuador tenemos como ayuda la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-14, esta norma me permite ubicar a cada ciudad del país en una zona sísmica de acuerdo a sus características geológicas y al riesgo sísmico.

Guayaquil al encontrarse en una zona de peligro sísmico alto resulta imprescindible no tomar precaución al momento de diseñar nuestros edificios, por lo cual esto justifica el desarrollo de esta investigación al ser de gran importancia para la sociedad.

En países desarrollados y con mayor recurrencia de sismos como USA, Chile, Japón, etc, se ha adoptado el diseño de edificaciones con aislamiento sísmico de base, el cual ha tenido excelentes resultados disminuyendo los efectos de los sismos en las estructuras. Nuestro país no cuenta con el desarrollo

tecnológico necesario para producir una norma propia, por lo cual se toman estudios extranjeros y se los adapta a nuestras necesidades.

### **1.3 Aislación en Superestructuras**

La aislación sísmica es un sistema que se creó por la necesidad de salvaguardar la estructura en caso de un sismo severo ya que está comprobado que rehabilitar edificios con daños estructurales producen costos muy elevados y esto se podría evitar incorporando esta tecnología.

#### **1.3.1 Aislación Basal**

La aislación basal aplicada a cualquier superestructura tiene como finalidad separar a esta del movimiento del suelo y para lograrlo se colocan, como su nombre lo indica, en la base de la superestructura. Existen algunos tipos o sistemas de aislación basal que se mencionan a continuación:

- Aislador Elastomérico Convencional

Este tipo de aislador posee una gran rigidez vertical y permite un gran desplazamiento lateral. Es un conjunto de la vulcanización de láminas de goma con láminas de acero. Al cumplir el proceso de vulcanización este conjunto adquiere flexibilidad lateral la misma que permite el desplazamiento en ese sentido y a su vez gana una gran rigidez vertical evitando así la deformación.

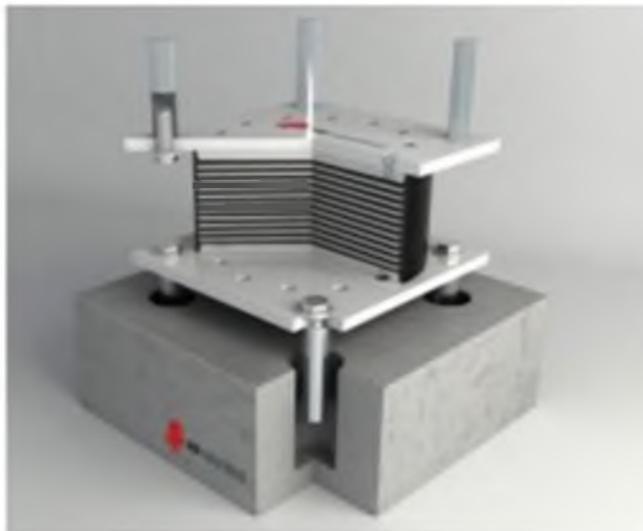
Existen aisladores de alto amortiguamiento y aisladores de bajo amortiguamiento; los de bajo amortiguamiento se caracterizan por ser de fácil manufacturación lo que sería una ventaja al usarlos, pero estos sistemas al ser

de bajo amortiguamiento la goma usada tiene bajo modulo al esfuerzo de corte y por lo tanto necesitará sistemas de amortiguación adicionales como rigidizadores.

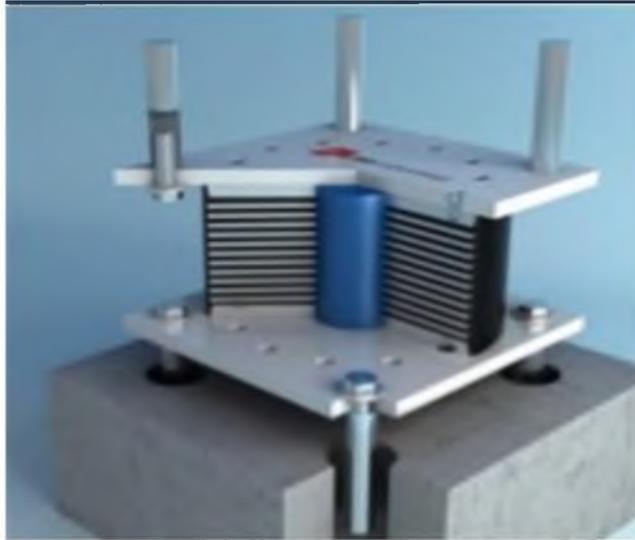
Ahora los aisladores de alto amortiguamiento están formados de igual forma que los mencionados anteriormente, la diferencia radica en la goma usada, ya que ésta es alterada con sustancias químicas y le brindan mayor amortiguamiento y flexibilidad ante grandes deformaciones.

- Aislador Elastomérico con núcleo de Plomo

Este dispositivo posee un núcleo de plomo en el centro del aislador y brinda mayor amortiguamiento. Su desempeño es superior a los anteriores, puesto que el desplazamiento lateral del aislador se ve reducido por la absorción de energía que genera el núcleo.



*Figura 1.1. Aislador Elastomérico Convencional*



*Figura 1.2. Aislador Elastomérico con núcleo de Plomo*

#### **1.4 Análisis historia-tiempo**

El análisis historia-tiempo consiste en la evaluación del comportamiento dinámico de una estructura, al estar sujeta a la acción de un registro sísmico (acelerograma) en la base a lo largo del tiempo.

Los acelerogramas que se utilicen para este análisis deben tratar de reunir en lo posible los requisitos ya mencionados (distancia a la falla, magnitud, tipo de falla, etc), además su aceleración máxima será escalada para que sea congruente con la aceleración esperada en ese sitio. De acuerdo a las recomendaciones de NEHRP se debe cumplir un mínimo de 3 acelerogramas en este análisis.

Al hacer estas consideraciones, los resultados se vuelven más reales y significativos, sin embargo es bueno mencionar que se debe ser muy cauteloso al ingresar los datos pues es un método tan sensible que un error podría cambiar drásticamente los resultados.

## **1.5 Registros Sísmicos Seleccionados**

Los registros seleccionados en este trabajo de titulación pertenecen a un sismo de gran magnitud ocurrido el 19 de septiembre de 1985 en México. Estos registros fueron tomados de la base de datos de USGS (Station List for Event). Como ya se mencionó se cuenta con nueve registros (CDFA, SXVI, TXSO, TORRE LATINOAMERICANA 1962, TORRE DE LA MERCED, TLHD, TLHB, SCT y MEXICO UNAM) y en estos se basó el análisis Historia-tiempo, cada registro tiene información de aceleración, desplazamientos y velocidades vs tiempo.

El registro CDFA, contiene 14229 puntos con un intervalo de tiempo de 0.01 segundos, su duración fue de 142.29 segundos. El registro SXVI, contiene 12915 puntos con un intervalo de tiempo de 0.01 segundos, su duración fue de 129.15 segundos. El registro TXSO, contiene 7131 puntos con un intervalo de tiempo de 0.03 segundos, su duración fue de 213.93 segundos. El registro TORRE LATINOAMERICANA, contiene 600 puntos con un intervalo de tiempo de 0.1 segundos, su duración fue de 60 segundos.

El registro TORRE DE LA MERCED, contiene 2944 puntos con un intervalo de tiempo de 0.01 segundos, su duración fue de 29.44 segundos. El registro TLHD, contiene 5001 puntos con un intervalo de tiempo de 0.03 segundos, su duración fue de 150 segundos. El registro TLHB, contiene 5001 puntos con un intervalo de tiempo de 0.03 segundos, su duración fue de 150 segundos. El registro SCT, contiene 18351 puntos con un intervalo de tiempo de 0.01 segundos, su duración fue de 183.51 segundos.

El registro MEXICO UNAM, contiene 11014 puntos con un intervalo de tiempo de 0.005 segundos, su duración fue de 55.07 segundos.

En la Tabla 1.1 se puede observar algunas características físicas (intensidad, distancia a la falla, PGA, etc) de cada componente horizontal en su estación respectiva.

### EARTHQUAKE

Event ID	Magnitude	Date	Time	Lat	Lon	Depth
1.9850919E+13	8	19-Sep-85	01:17:47 PM UTC	N18.14000	W102.71000	17.0 km

### SEISMIC STATION

SXVI: Sismex Viveros						
Agency: IIUNAM (BMDSF)						
Station	Intensity	Lat	Lon	Dist (km)	PGV (cm/s)	PGA (%g)
N	5.7	19.358	-99.171	240.55	11.1	4.2551
E	5.7	19.358	-99.171	240.55	11.3	4.1531

TLHB: Tlahuac Bombas						
Agency: IIUNAM (BMDSF)						
Station	Intensity	Lat	Lon	Dist (km)	PGV (cm/s)	PGA (%g)
N	8.1	19.279	-99.008	251.9	65.1	13.8776
E	8.1	19.279	-99.008	251.9	45	10.9184

TLHD: Tlahuac Deportivo						
Agency: IIUNAM (BMDSF)						
Station	Intensity	Lat	Lon	Dist (km)	PGV (cm/s)	PGA (%g)
N	7.3	19.293	-99.035	249.99	35.1	12.0408
E	7.3	19.293	-99.035	249.99	36.2	11.4286

TXSQ: Texcoco Sosa						
Agency: IIUNAM (BMDSF)						
Station	Intensity	Lat	Lon	Dist (km)	PGV (cm/s)	PGA (%g)
N	7	19.58	-99.019	266.23	29.4	10.5102
E	7	19.58	-99.019	266.23	26.7	10.5102

<b>CDAF: Central de Abastos Frigorífico</b>						
Agency: IIUNAM (BMDSF)						
Station	Intensity	Lat	Lon	Dist (km)	PGV (cm/s)	PGA (%g)
N	7.3	19.366	-99.086	248.76	23.9	8.8878
E	7.3	19.366	-99.086	248.76	36	11.8367

<b>SCT1: Secretaria de Comunicaciones y Transportes</b>						
Agency: IIUNAM (BMDSF)						
Station	Intensity	Lat	Lon	Dist (km)	PGV (cm/s)	PGA (%g)
N	7.9	19.39467	-99.14886	244.49	37	9.602
E	7.9	19.39467	-99.14886	244.49	58.7	16.5306

*Tabla 1.1. Características Físicas de los Registros Sísmicos*

Donde:

PGA= la aceleración máxima del suelo

PGV= la amplitud máxima del mayor pulso de velocidad.

En el Anexo 1 se encuentra una tabla con las componentes horizontales de cada registro sísmico.

## **CAPITULO 2**

# **MODELOS ESTRUCTURALES PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ESCALAMIENTO DE REGISTRO DE RESPUESTA**

### **2.1 INTRODUCCION**

Para desarrollar el análisis y evaluación de los métodos de escalamiento de registro de respuesta propuestos en este trabajo de titulación, se tomó como ejemplo un edificio de 7 pisos ubicado en la ciudad de Guayaquil. Se asumió que el suelo de cimentación es tipo E, según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 14).

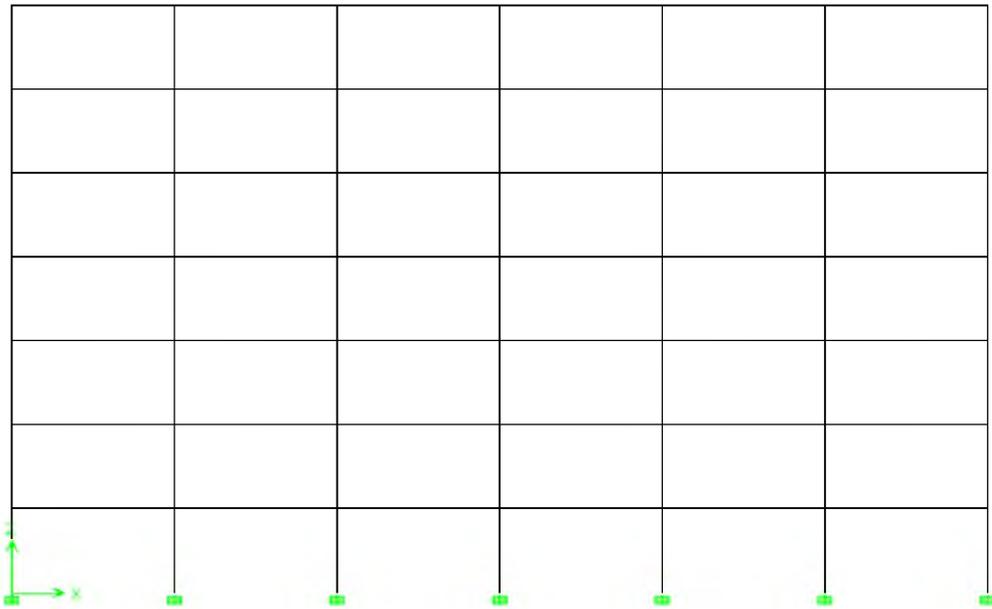
Para la obtención de resultados se realizó 2 modelos estructurales. El primer modelo consistió en un modelo tridimensional del edificio con el fin de obtener las propiedades dinámicas del mismo: peso sísmico, rigidez y periodo. El segundo modelo consistió en un modelo simplificado de 2 grados de libertad que simule el comportamiento del sistema de aislación y de la estructura, cada uno con sus respectivas características dinámicas. Se decidió obtener los resultados del modelo simplificado debido a su fácil comprensión.

### **2.2 MODELO TRIDIMENSIONAL DEL EDIFICIO DE 7 PISOS**

El objetivo principal de este modelo estructural es obtener el peso sísmico, la rigidez y el periodo de una estructura convencional de 7 pisos.

## GEOMETRIA

El edificio fue modelado con una altura de entrepiso de 3.10 metros en todos los pisos. Consistió en una estructura regular de 4 pórticos en dirección X y de 7 pórticos en dirección Y. La distancia entre columnas fue de 6.0 metros en cada dirección. Se consideró vigas secundarias apoyadas en los pórticos en dirección X.



*Figura 2.1. Pórtico en el sentido X*

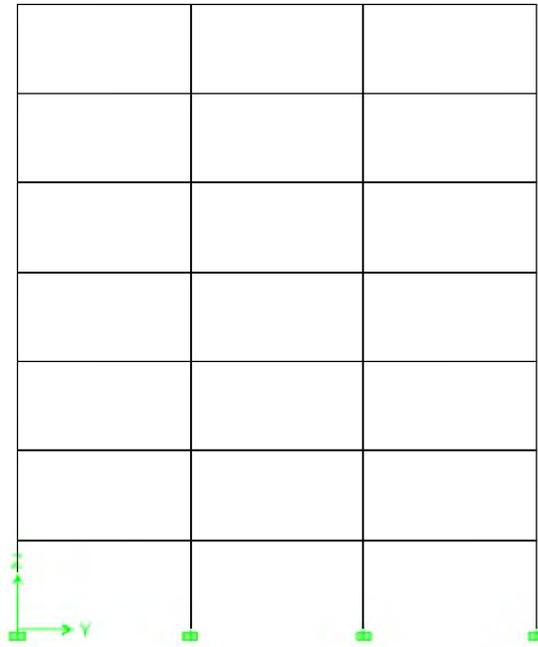


Figura 2.2. Pórtico en el sentido Y

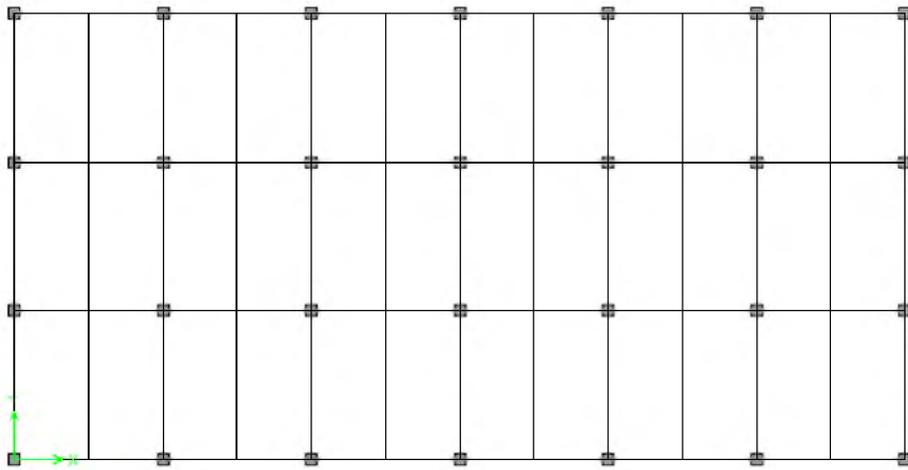


Figura 2.3. Vista en Planta

### 2.2.1 Normas y Códigos utilizados

Para definir las dimensiones de las vigas y columnas del edificio se realizó un prediseño basado en las siguientes normas:

*ACI 318-011: Building Code Requirements for Structural Concrete – American Concrete Institute.*

*NEC 2014: Norma Ecuatoriana de la Construcción 2014 ASCE 7-05: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures – American Society of Civil Engineers. ASCE 7-05.*

### 2.2.2 MATERIALES

Se consideró que el edificio sea de concreto reforzado para lo cual se definieron las siguientes propiedades de los materiales: ales:

Peso específico del Hormigón Armado: 2400 kg/m<sup>3</sup>

Peso específico del Acero: 7850 kg/m<sup>3</sup>

Resistencia a la Compresión del Hormigón: 280 kg/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo de Fluencia del Acero: 4200 kg/cm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidad del Hormigón: 252671.33 kg/cm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidad de Acero: 2.10x10<sup>6</sup> kg/cm<sup>2</sup>

### 2.2.3 CARGAS CONSIDERADAS EN EL ANÁLISIS

Las cargas consideradas en el análisis del edificio de 7 pisos son las siguientes:

- **Cargas Permanentes (D)**

Se consideró el peso de todos los elementos estructurales, tales como: losa, paredes, vigas, columnas, recubrimientos, instalaciones eléctricas y todo artefacto integrado permanentemente a la estructura. A continuación se muestra un detalle de las cargas consideradas:

<b>Elemento</b>	<b>Carga (Ton/m<sup>2</sup>)</b>
Losa nervada	0.216
Peso adicional	0.29
Peso muerto Total	0.51

*Tabla 2.1. Detalle de Carga Muerta*

El valor correspondiente a la losa nervada en la Tabla 2.1, fue calculada a partir de la geometría de la losa mostrada en la Figura 2.4. El peso adicional considera cargas por paredes e instalaciones varias.

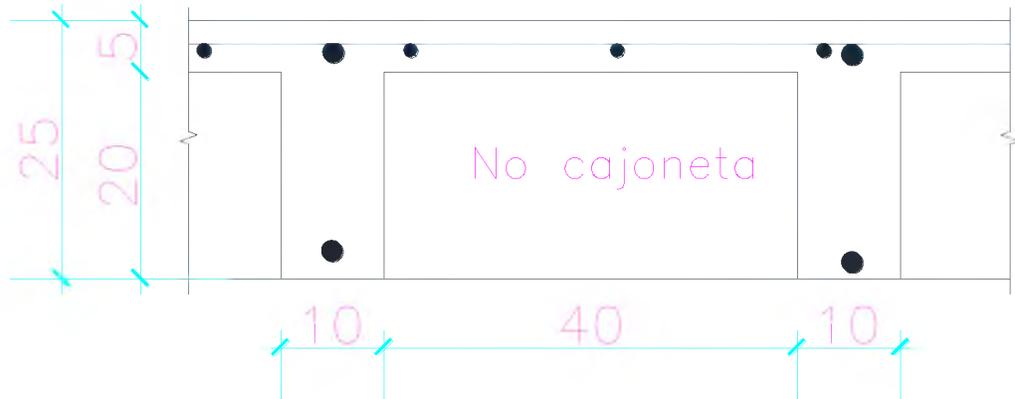


Figura 2.4. Detalle de Losa Nervada - Corte

- **Carga Viva (L)**

Se consideró una carga viva uniformemente distribuida de 240 Kg/m<sup>2</sup> sobre las losas de oficinas. De igual manera se utilizó una carga viva de cubierta (Lr) uniformemente distribuida en la losa de cubierta sin acceso de 100 Kg/m<sup>2</sup>. Estos valores obtenidos del NEC 2014, capítulo 1.

- **Carga Sísmica (EQ)**

Los efectos sísmicos fueron considerados de acuerdo la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-14). Se construyó el espectro de diseño, el cual tiene una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años (475 años de periodo de retorno) para la ciudad de Guayaquil, suelo tipo E.

Los valores que caracterizan al sismo de diseño se muestran en la siguiente tabla:

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>E</b>
<b>Zona Sísmica</b>	V
<b>Valor de Factor Z</b>	0.4
<b>Fa</b>	1
<b>Fd</b>	1.6
<b>Fs</b>	1.9
<b>I</b>	1
<b>R</b>	7
<b><math>\Phi_P</math></b>	1
<b><math>\Phi_E</math></b>	1
<b>r</b>	1.5
<b>n</b>	1.8
<b>Tc</b>	1.67
<b>To</b>	0.30

*Tabla 2.2. Condiciones de espectro de diseño*

Para el prediseño del edificio, se utilizó el Espectro Inelástico, el cual considera el factor de reducción de resistencia (R). Este valor fue considerado igual a 7 según lo establece el NEC 14. En la Figura 2.5 se muestra el Espectro Elástico de Diseño y el Espectro Inelástico de Diseño.

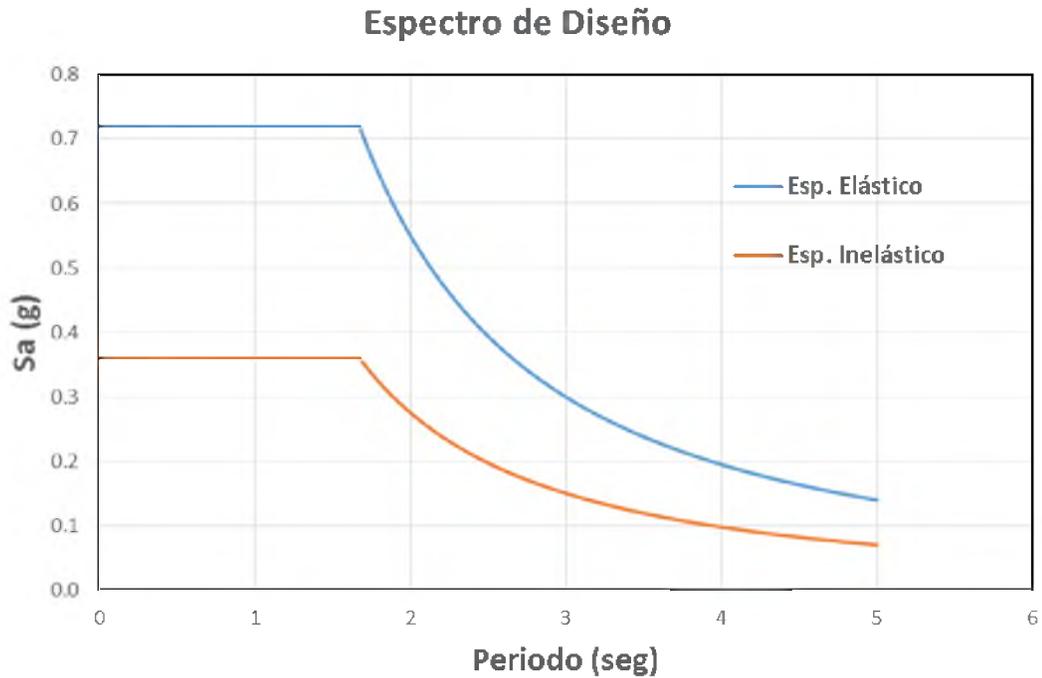


Figura 2.5. Espectro Elástico e Inelástico de diseño; suelo E,  $Z=0.4$ ,  $I=1$ ,  $R=7$

#### 2.2.4 Combinaciones de Carga

Se consideró el estado límite de resistencia especificado en el NEC 14. Las combinaciones de cargas utilizadas se muestran en la Tabla 2.3.

	DL	LL	Sx	Sy
<b>Comb 1</b>	1.4			
<b>Comb 2</b>	1.2	1.6		
<b>Comb 3</b>	1.2	1	1	0.3
<b>Comb 4</b>	1.2	1	0.3	1
<b>Envolvente</b>	Comb 1, Comb2, Comb3, Comb4			

Tabla 2.3. Combinaciones de carga. Edificio de 7 pisos

### 2.2.5 Análisis Estructural del modelo en el Programa Etabs 9

Para realizar el análisis estructural del modelo se hicieron algunas consideraciones:

- Una vez determinadas las dimensiones y materiales se utilizó elementos frame para el modelamiento tanto de vigas como columnas.
- En cada piso se considera un diafragma rígido, para que se cumpla la homogeneidad en sus desplazamientos laterales.
- En la base se consideró a todas sus columnas empotradas.

En la Tabla 2.4 se indica el resumen de las secciones de vigas y columnas de hormigón armado obtenidas del prediseño y diseño basado en la norma NEC 14 y ACI 318-11. Estas secciones se ingresaron en los elementos del modelo estructural.

PISO	V.PRINCIP. EN X	V.PRINCIP. EN Y	V. SECUNDARIA	COL. ESQUINA	COL. BORDE	COL. INTERIOR
7	30x70	30x70	30X55	45x45	45x45	45x45
6	30x70	30x70	30X55	50x50	50x50	50x50
5	30x70	30x70	30X55	55x55	55x55	55x55
4	30x70	30x70	30X55	60x60	60x60	60x60
3	30x70	30x70	30X55	65x65	65x65	65x65
2	30x70	30x70	30X55	70x70	70x70	70x70
1	30x70	30x70	30X55	75x75	75x75	75x75

*Tabla 2.4. Resumen de Vigas y Columnas*

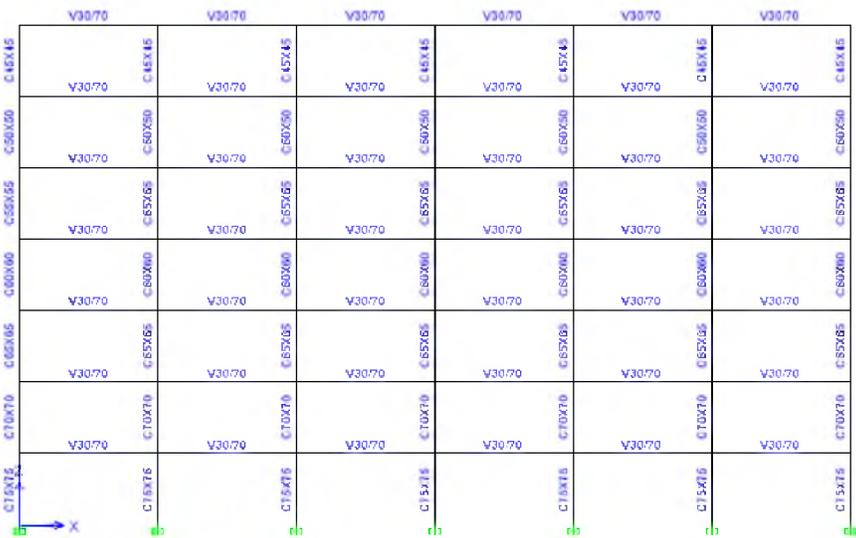


Figura 2.6. Pórtico en “X” con sus respectivas secciones

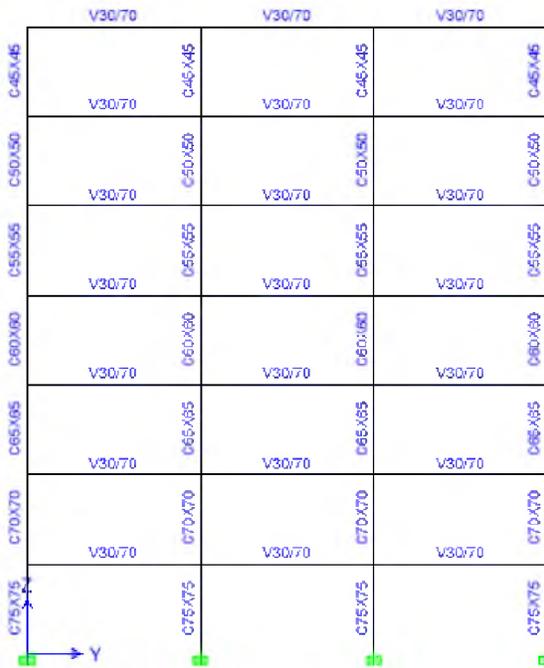


Figura 2.7. Pórtico en “Y” con sus respectivas secciones

### 2.2.5.1 Análisis Modal

Con el fin de determinar el periodo fundamental de la estructura, se definió la masa participativa (mass source), como el 100% de la carga muerta, más un 25% de la carga viva para el análisis modal.

Según NEC 14, se deben considerar en el análisis todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura, es decir todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas.

En la Tabla 2.5 se muestra los resultados obtenidos del programa Etabs 9 y consiste en un resumen de la masa participativa de la estructura para los 12 modos de vibración en las dos direcciones horizontales principales.

Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
1	0.80	0.00	75.64	0.00	75.64
2	0.77	75.88	0.00	75.88	75.64
3	0.70	0.00	0.00	75.88	75.64
4	0.28	0.00	11.56	75.88	87.20
5	0.27	11.43	0.00	87.31	87.20
6	0.25	0.00	0.00	87.31	87.20
7	0.16	0.00	4.79	87.31	91.99
8	0.16	4.75	0.00	92.05	91.99
9	0.14	0.00	0.00	92.05	91.99
10	0.11	0.00	2.74	92.05	94.73
11	0.11	2.71	0.00	94.76	94.73
12	0.10	0.00	0.00	94.76	94.73

*Tabla 2.5. Masa participativa del Análisis Modal*

### 2.3 Modelo Estructural de 7 pisos con Sistema de Aislación Basal

Al modelo descrito en la Sección 2.2 de este trabajo se le adiciono un sistema de aislación en la base. Este sistema consiste en elementos “link” tipo “Isolator 1” bajo cada columna (ver Figura 2.8). A los elementos tipo “link” se les puede asignar propiedades lineales y/o no lineales según el tipo de análisis que se requiera realizar.



Figura 2.8. Ubicación de Aisladores de Base en el Modelo

Para un análisis lineal, el programa requiere de la asignación de la rigidez efectiva ( $K_{eff}$ ) de cada uno de los aisladores. Es posible también, asignar una constante de amortiguamiento,  $C$ , el cual no es mandatorio. Para el análisis no lineal se deben asignar 3 propiedades: La rigidez inicial, la fuerza de fluencia, y

la razón entre la rigidez post elástica. Estas 3 propiedades pueden ser observadas en la histéresis del aislador de la Figura 2.9.

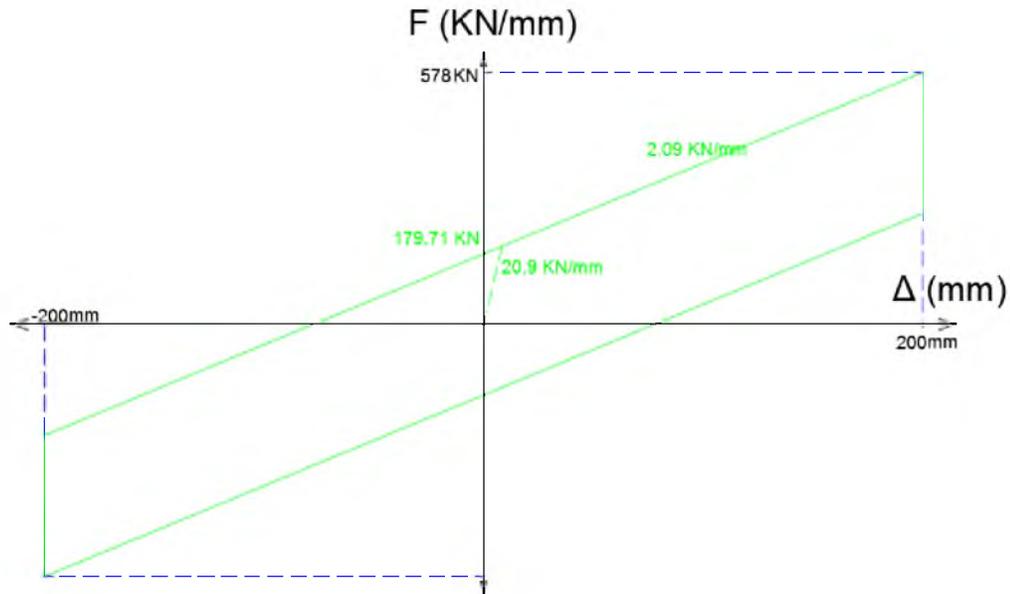


Figura 2.9. Histéresis del Aislador

Además del sistema de aislación, fue necesario incorporar al modelo estructural una losa de planta baja debido a los requerimientos constructivos de este tipo de estructuras.

### 2.3.1 Cálculo de las Propiedades Lineales del Aislador

Como se indicó anteriormente, para poder realizar análisis lineales en estructuras con sistemas de aislación en la base es necesario primero definir la rigidez efectiva ( $K_{eff}$ ) y el amortiguamiento ( $c$ ).

La rigidez efectiva del sistema de aislación será igual a la suma de las rigideces efectivas de todos los aisladores que la componen. Esta propiedad influye directamente en el periodo natural de vibración de la estructura aislada.

Debido a que uno de los objetivos de la aislación es incrementar el periodo natural de vibración con el objetivo de reducir las fuerzas inerciales, la rigidez efectiva debe ser calculada a partir del periodo objetivo de diseño de la estructura con aislación.

Un edificio aislado puede ser considerado como un sistema de 2 grados de libertad, el primero compuesto por el sistema de aislación y el segundo compuesto por el edificio. Por ende, la rigidez de todo el sistema dependerá tanto de la rigidez de estas dos sub estructuras.

Para la determinación de la rigidez necesaria en el sistema de aislación es necesario el cálculo de la rigidez del edificio sin aislación y de la rigidez de la estructura aislada correspondiente al periodo objetivo. La fórmula para el cálculo de la rigidez efectiva de estos dos casos es la siguiente:

$$K_E = \frac{4\pi^2}{T_E^2} \left( \frac{W_E}{g} \right) \quad Ec. (2.2)$$

$$K_T = \frac{4\pi^2}{T_{objetivo}^2} \left( \frac{W_E}{g} \right) \quad Ec. (2.3)$$

Donde;

$W_E$ = peso sísmico sobre el sistema de aislación.

$T_E$ = Periodo del Edificio sin Aislación

$K_T$ = Rigidez del Edificio + Sistema de Aislación

$g$ = aceleración debido a la gravedad

Con las rigideces efectivas definidas con las ecuaciones 2.2 y 2.3 se calcula la rigidez efectiva requerida por el sistema de aislación únicamente. Esta rigidez se calcula por medio de la siguiente formula:

$$\frac{1}{K_T} = \frac{1}{K_E} + \frac{1}{K_{Ais}} \quad Ec. (2.4)$$

Donde:

$K_E$ = Rigidez del Edificio sin Aislación

$K_{Ais}$ = Rigidez del Sistema de Aislación

$K_T$ = Rigidez del Edificio + Sistema de Aislación

En este trabajo se considerara el amortiguamiento,  $c$ , igual a cero, debido a que el estudio se centra en la influencia del o los periodos de vibración en los métodos de escalamiento de registros en el tiempo.

### **2.3.2 Cálculo de la Rigidez Efectiva del Sistema de Aislación correspondiente con el Periodo Objetivos.**

Basados en la Sección 2.3.1 de este trabajo, a continuación se presentaran los cálculos de la rigidez efectiva del sistema de aislación para el edificio de 7 pisos considerados en este estudio.

Siendo el periodo de la estructura sin aislación igual a 0.8 segundos, se decidió llevar a la estructura, por medio del sistema de aislación, a un periodo

objetivo de 3 segundos. El peso del edificio resulto igual a 4645.38 Ton. A partir de estos datos se obtuvieron las siguientes propiedades:

Rigidez Efectiva del Edificio sin Aislación.

$$K_E = \frac{4\pi^2(4645.38 \text{ Ton})}{(0.8 \text{ seg})^2(9.81 \text{ m/s}^2)} = 29210.03 \text{ Ton/m}$$

Rigidez Efectiva del Edificio Aislado

$$K_T = \frac{4\pi^2(5231.84 \text{ Ton})}{(3 \text{ seg})^2(9.81 \text{ m/s}^2)} = 2339.39 \text{ Ton/m}$$

Rigidez Efectiva del Sistema de Aislación

$$\frac{1}{2339.39 \text{ Ton/m}} = \frac{1}{29210.03 \text{ Ton/m}} + \frac{1}{K_{Ais}}$$

$$K_{Ais} = 2543.06 \text{ Ton/m}$$

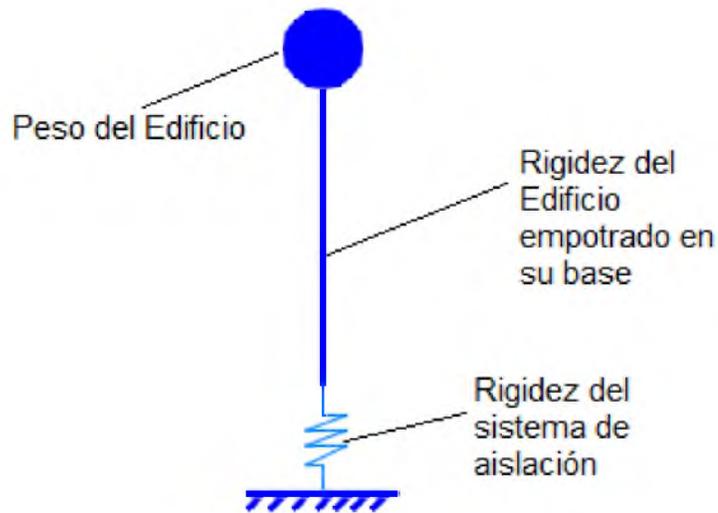
Rigidez Efectiva del cada uno de los Aisladores

$$K_{1 \text{ aislador}} = \frac{K_{Ais}}{28} = 90.82 \text{ Ton/m}$$

## 2.4 MODELO ESTRUCTURAL DE DOS GRADOS DE LIBERTAD

Se realizó un modelo estructural de 2 grados de libertad con las propiedades calculadas en las secciones anteriores. El primer grado de libertad posee las propiedades del sistema de aislación completo. Para esto solo se necesita definir la rigidez efectiva del sistema de aislación, ya que se considera que este no aporta con masa adicional. El segundo grado de libertad está compuesto por las propiedades del edificio calculadas anteriormente. Estas propiedades son: la rigidez del edificio empotrado en su base y el peso de todo el edificio.

En la Figura 2.10 se muestra el modelo simplificado de 2 grados de libertad y las propiedades de cada subsistema.



*Figura 2.10. Esquema de modelo simplificado más el Sistema de Aislación*

## **CAPÍTULO 3**

### **ESCALAMIENTO DE REGISTOS EN EL TIEMPO MEDIANTE EL MÉTODO FEMA 450/ASCE 7-05**

#### **3.1 Introducción**

En el Capítulo 13 del FEMA 450 (NEHRP Recommended Provisions For Seismic Regulations For Buildings and Other Structures) se presentan requisitos mínimos para el diseño de estructuras con aislamiento sísmico. Entre estos requisitos se encuentra el método de escalamiento de registros sísmicos en el tiempo.

Este método de escalamiento es el mismo especificado en ASCE 7-05. El escalamiento de registros tiene como propósito permitir que se realice el análisis en el tiempo de una estructura mediante un registro que produzca aceleraciones similares a las esperadas en el estudio de riesgo sísmico del lugar, del cual se obtienen los espectros de respuesta.

#### **3.2 Descripción del Método de Escalamiento FEMA 450/ASCE 7 -05**

Para la aplicación del método de escalamiento presentado en FEMA 450 y en ASCE 7-05 se deben seguir los siguientes pasos especificados en la Sección 13.2.3.2 del FEMA 450:

- Los registros sísmicos deben consistir en pares de componentes horizontales de aceleraciones de suelo.

- Se deben considerar registros sísmicos obtenidos en eventos de magnitudes, distancia a la falla, y mecanismos de ruptura de placas consistentes con los que producirán el sismo máximo considerado.
- En el caso de no contar con el número mínimo de registros, FEMA recomienda usar registros simulados o sintéticos.
- Para cada par de componentes horizontales de aceleraciones de suelo se debe construir el espectro SRSS tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del espectro de respuesta del 5% de amortiguamiento de las componentes horizontales de aceleraciones de suelo escaladas.
- Se deben aplicar el mismo factor de escala a las dos componentes horizontales de aceleración de suelo.
- Cada par debe ser escalado de tal manera que el promedio de los espectros SRSS (de todos los registros estudiados) esté por debajo de 1.3 veces el espectro de respuesta por más de 10%, entre los periodos 0.50 TD y 1.25 TM. TD y TM están definidos en la Sección 13.3.2

Además de lo especificado en la Sección 13.2.3.2, en la Sección 13.4.2.3 del FEMA 450 establece un mínimo de 3 movimientos de suelo (pares de componentes horizontales). De usarse 7 o más movimientos de suelo, el FEMA 450 permite usar el promedio de las respuestas obtenidas (desplazamiento); caso contrario debe usarse la respuesta máxima de movimientos estudiados.

### 3.3 Ejemplo de Aplicación del Método de Escalamiento FEMA 450/ASCE 7 -05.

Se presenta a continuación un ejemplo de la aplicación del Método de Escalamiento presentado en FEMA 450 / ASCE 7 -05. Para este ejemplo se utilizarán las componentes horizontales del registro CDAF obtenido en el sismo de México DF de 1985.

1. Se escogen las componentes horizontales de aceleraciones de un registro sísmico (CDAF) como se muestra en la Figura 3.1.

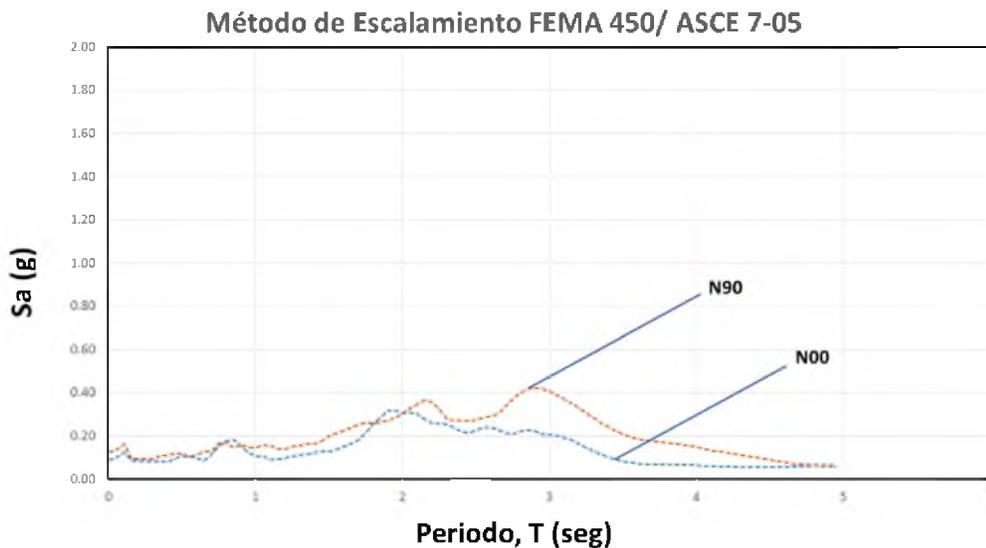


Figura 3.1. Componentes horizontales N00, N90 de registro sísmico CDAF (México 1985)

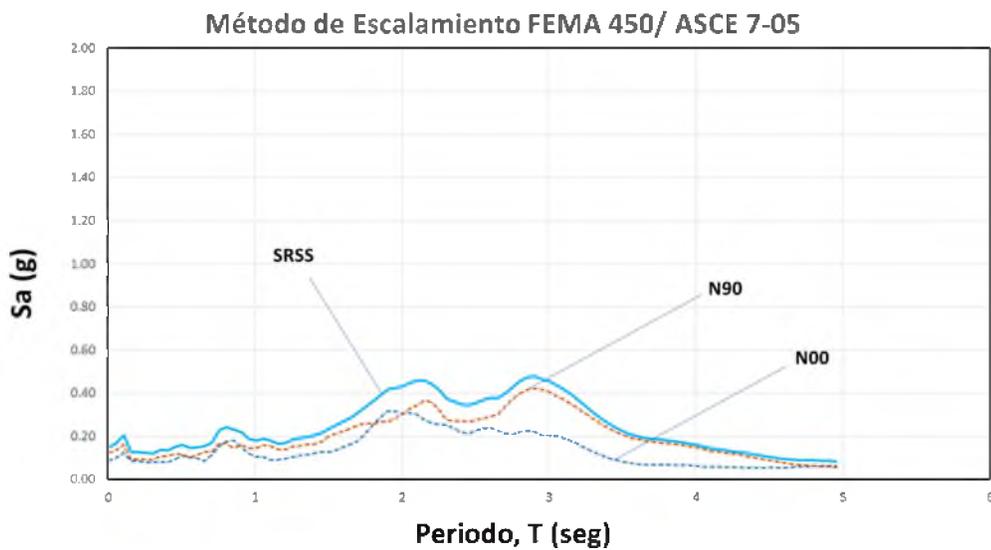
2. Se calcula la combinación SRSS de las dos componentes horizontales, Ver la Figura 3.2.

$$SRSS = \sqrt{S a_x^2 + S a_y^2}$$

Donde:

$S_{ax}$  = aceleración espectral de la componente horizontal en el sentido x del registro escogido.

$S_{ay}$  = aceleración espectral de la componente horizontal en el sentido y del registro escogido.



*Figura 3.2. Cálculo de la resultante SRSS*

3. Se calcula el espectro del sitio en estudio. En este caso se presenta el espectro de diseño especificado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 14) para la ciudad de Guayaquil para un tipo de suelo E. Ver Figura 3.3.

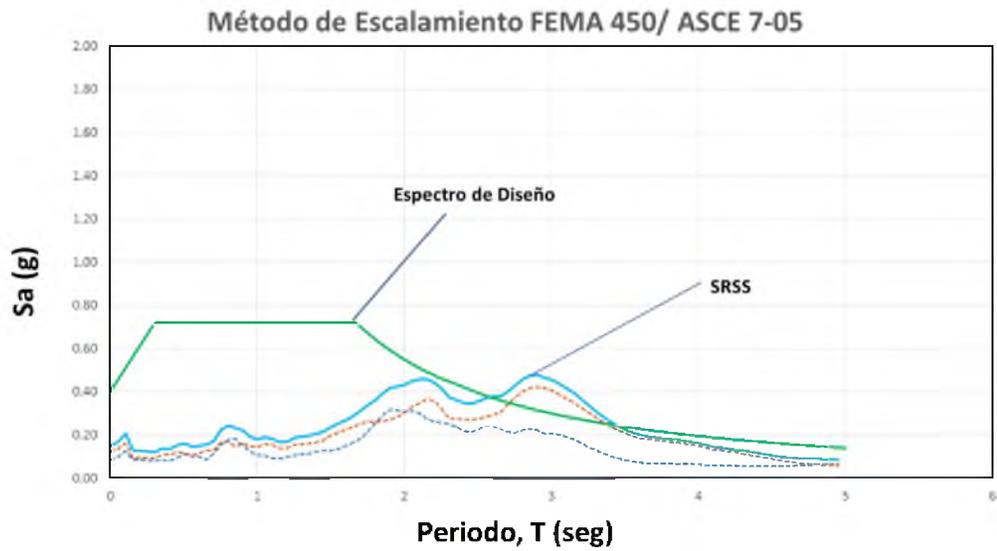


Figura 3.3. Espectro de diseño según NEC-14 para la ciudad de Guayaquil, Suelo Tipo E

- Se amplifica el espectro de diseño por un factor de 1.17 (10% debajo de 1.3 veces el espectro). Ver la figura 3.4.

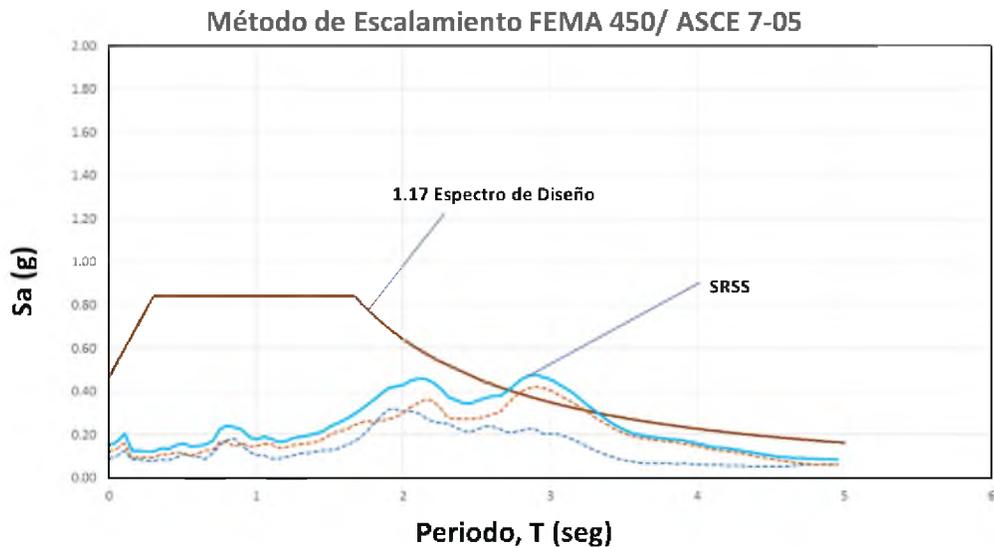


Figura 3.4. Espectro de diseño amplificado según (FEMA 450, p.219)

5. Se trazan los límites  $0.50 T_D$  y  $1.25 T_M$ . En este ejemplo se consideró a  $T_D$  y  $T_M$  igual al periodo objetivo que se estableció igual a 3.0 seg. Ver Figura 3.5.

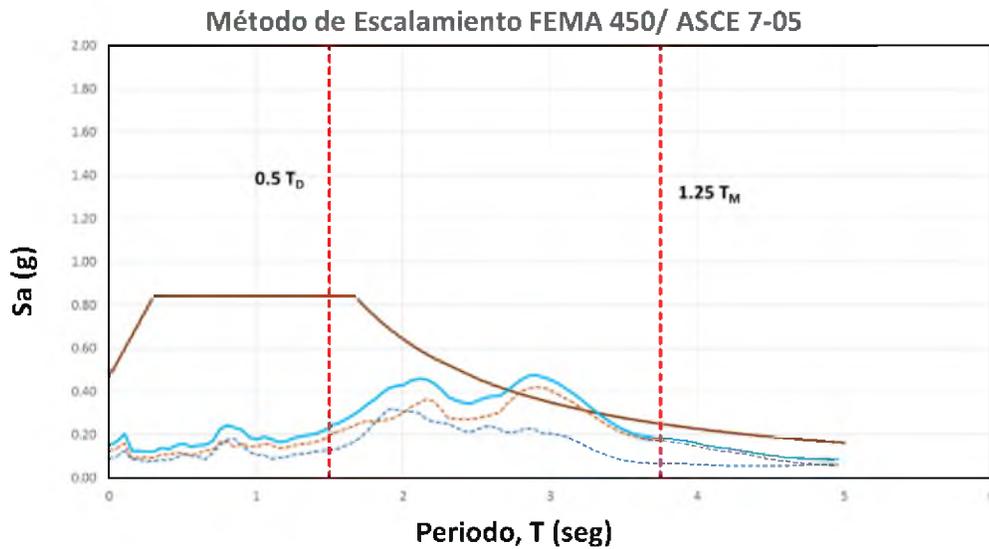


Figura 3.5. Límites  $0.50 T_D$  y  $1.25 T_M$ .

6. Se escala la resultante SRSS, de tal manera que los valores del espectro SRSS entre los rangos mostrados se encuentren por encima del espectro de diseño. En la Figura 3.6 se observa que el escalamiento se completa una vez que cada punto del espectro "3.60 SRSS" que está dentro del rango de período establecido queda por encima de la curva "1.17 Espectro de diseño".

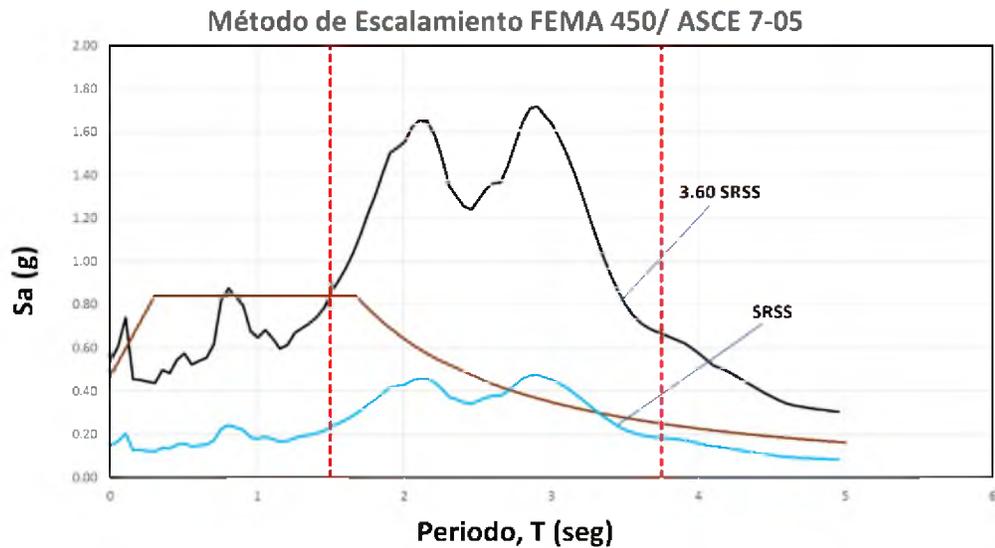


Figura 3.6. Escalamiento de SRSS entre los rangos  $0.50T_D$  y  $1.25T_M$

En la Figura 3.7 se puede observar el factor de escala necesario para cumplir con lo especificado en el Método de Escalamiento del FEMA 450 / ASCE 7 -05. El factor de escala resultó igual a 3.60.

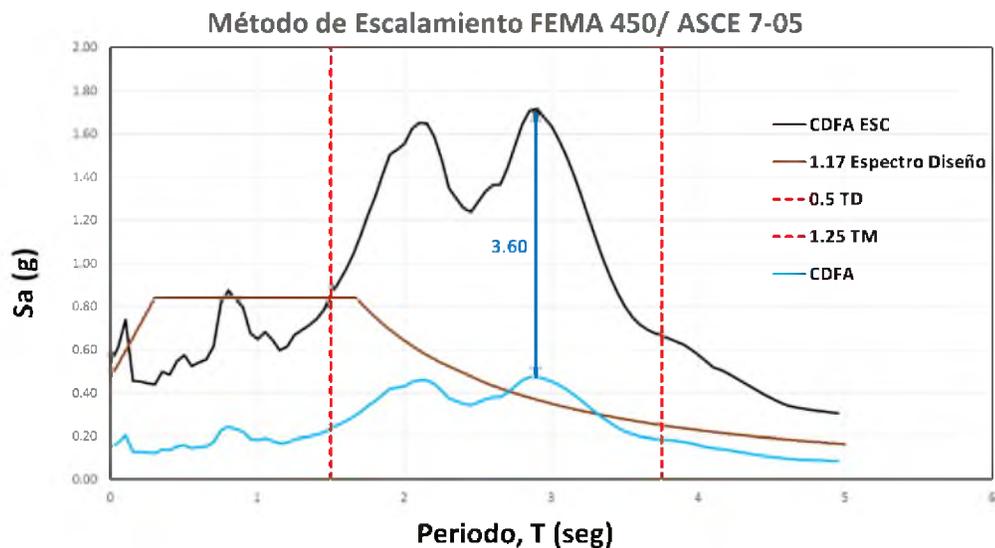


Figura 3.7. Factor de Escala obtenido, aplicando el M. FEMA 450/ ASCE 7-05

Este método de escalamiento debe ser aplicado a al menos 3 registros según lo especifica el FEMA 450 en la Sección 13.4.2.3. En este trabajo se han utilizado 9 registros o pares de componentes horizontales (incluido el registro CDAF). El proceso de escalamiento aplicado en los otros registros se encuentra detallado en el Anexo 3. Los factores de escala obtenidos mediante el Método de Escalamiento especificado en FEMA 450 se muestran resumidos en la Tabla 3.1.

	<b>Factor de Escalamiento</b>
<b>Registro</b>	<b>FEMA 450</b>
<b>CDAF</b>	<b>3.6</b>
<b>SXVI</b>	<b>9.8</b>
<b>TXSO</b>	<b>2.7</b>
<b>Torre Latinoamericana 1962</b>	<b>1.04</b>
<b>Torre de la Merced</b>	<b>24.6</b>
<b>TLHD</b>	<b>2.25</b>
<b>TLHB</b>	<b>2.8</b>
<b>SCT</b>	<b>1.85</b>
<b>UNAM MEXICO</b>	<b>4.3</b>

*Tabla 3.1. Resumen de factores obtenidos con el M. E. FEMA 450/ ASCE 7-05*

### **3.4 Corrección de Factores de Escala de los Registros Estudiados**

En el método de escalamiento del FEMA 450 no es necesario que el espectro SRSS de todos los registros por separado se encuentren por encima del 1.17 veces el espectro de diseño, sino que sea EL PROMEDIO de ellos el que cumpla con esta característica.

Debido a que en los ejemplos estudiados en este trabajo se ha aplicado el método de escalamientos a los registros por separado, se permite aplicar un factor de corrección de tal manera que considere EL PROMEDIO de ellos.

Al considerar el escalamiento de los registros por separado se obtendrían factores de escala más altos de los que se espera aplicando las recomendaciones.

A continuación se muestra el promedio de los espectros SRSS de todos los registros estudiados en este trabajo. En la Figura 3.8 también se muestra el promedio corregido de los espectros SRSS mediante un factor de escala igual a 0.72.

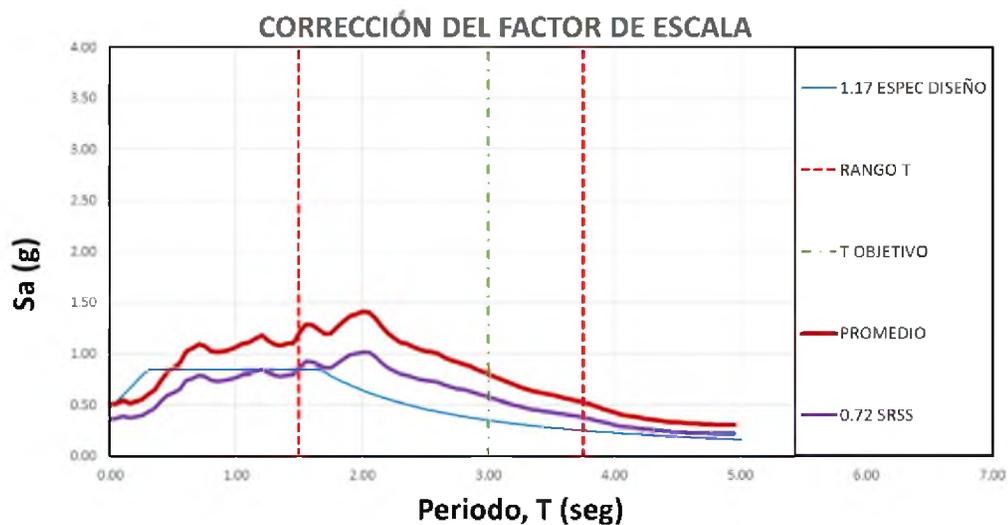


Figura 3.8. Promedio de los espectros SRSS y espectro 0.72 SRSS

Este factor de escala o de corrección debe ser aplicado a los registros escalados individualmente. En la Tabla 3.2 se muestra dicha corrección.

	<b>Factor de Escalamiento</b>	
<b>Registro</b>	<b>FEMA 450</b>	<b>FEMA 450 CORREGIDO</b>
CDAF	3.6	2.59
SXVI	9.8	7.06
TXSO	2.7	1.94
Torre Latinoamericana 1962	1.04	0.75
Torre de la Merced	24.6	17.71
TLHD	2.25	1.62
TLHB	2.8	2.02
SCT	1.85	1.33
UNAM MEXICO	4.3	3.10

*Tabla 3.2. Factores de Escalamiento Corregidos. FEMA 450/ ASCE 7-05*

## **CAPÍTULO 4**

### **ESCALAMIENTO DE REGISTROS EN EL TIEMPO MEDIANTE EL MÉTODO AL PERÍODO OBJETIVO**

#### **4.1 Introducción**

Este capítulo abarca el primer método de escalamiento propuesto en este trabajo de titulación. En este análisis el escalamiento se realiza únicamente al período objetivo de la estructura aislada. Este método difiere del método expuesto en el capítulo 3 porque no existe un rango de períodos.

El escalamiento de registros tiene como propósito permitir que se realice el análisis en el tiempo de una estructura mediante un registro que produzca aceleraciones similares a las esperadas en el estudio de riesgo sísmico del lugar, del cual se obtienen los espectros de respuesta.

#### **4.2 Descripción del Método de Escalamiento al Período Objetivo**

Para la aplicación del método de escalamiento propuesto en este capítulo se seguirán las recomendaciones de la sección 13.2.3.2 del FEMA 450 con la excepción del uso de un rango de períodos de  $0.5T_D$  y  $1.25T_M$ , se deben seguir los siguientes pasos especificados a continuación:

- Los registros sísmicos deben consistir en pares de componentes horizontales de aceleraciones de suelo.

- Se deben considerar registros sísmicos obtenidos en eventos de magnitudes, distancia a la falla, y mecanismos de ruptura de placas consistentes con los que producirán el sismo máximo considerado.

En el caso de no contar con el número mínimo de registros, FEMA recomienda usar registros simulados o sintéticos.

- Para cada par de componentes horizontales de aceleraciones de suelo se debe construir el espectro SRSS tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del espectro de respuesta del 5% de amortiguamiento de las componentes horizontales de aceleraciones de suelo escaladas.

- Se deben aplicar el mismo factor de escala a las dos componentes horizontales de aceleración de suelo.

- Cada par debe ser escalado de tal manera que el promedio de los espectros SRSS (de todos los registros estudiados) esté por debajo de 1.3 veces el espectro de respuesta por más de 10%, al coincidir con el período objetivo.

Además de lo especificado en la Sección 13.2.3.2, en la Sección 13.4.2.3 del FEMA 450 establece un mínimo de 3 movimientos de suelo (pares de componentes horizontales). De usarse 7 o más movimientos de suelo, el FEMA 450 permite usar el promedio de las respuestas obtenidas (desplazamiento); caso contrario debe usarse la respuesta máxima de movimientos estudiados.

#### **4.3 Ejemplo de Aplicación del Método de Escalamiento al Periodo Objetivo.**

Se presenta a continuación un ejemplo de la aplicación del Método de Escalamiento al Periodo Objetivo propuesto en este trabajo de titulación. Para

este ejemplo se utilizarán las componentes horizontales del registro CDAF obtenido en el sismo de México DF de 1985.

1. Se escogen las componentes horizontales de aceleraciones de un registro sísmico (CDAF) como se muestra en la Figura 4.1.



Figura 4.1. Componentes horizontales N00, N90 de registro sísmico CDAF (México 1985)

2. Se calcula la combinación SRSS de las dos componentes horizontales, Ver la Figura 4.2.

$$SRSS = \sqrt{S_{a_x}^2 + S_{a_y}^2}$$

Donde

$S_{ax}$  = aceleración espectral de la componente horizontal en el sentido x del registro escogido.

$S_{ay}$  = aceleración espectral de la componente horizontal en el sentido y del registro escogido.

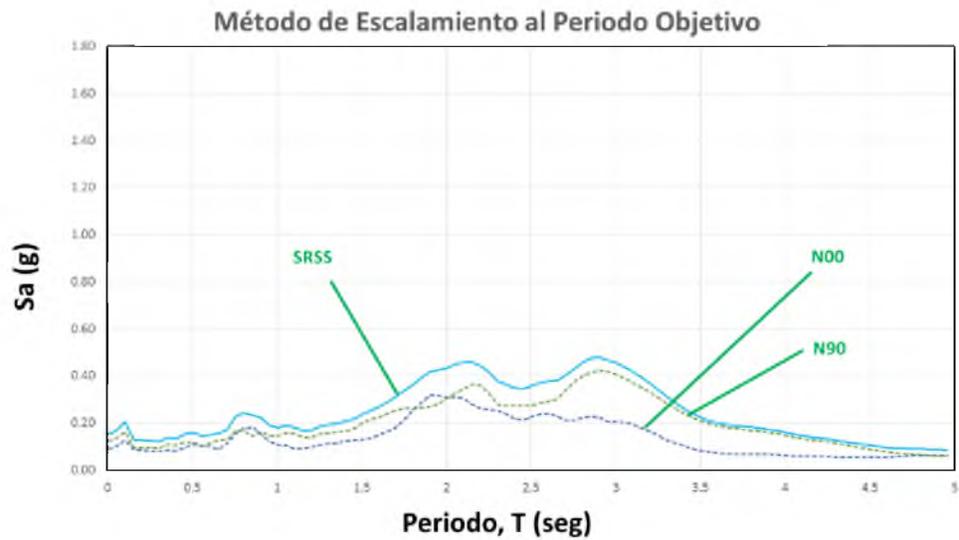


Figura 4.2. Cálculo de la resultante SRSS

3. Se calcula el espectro del sitio en estudio. En este caso se presenta el espectro de diseño especificado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 14) para la ciudad de Guayaquil para un tipo de suelo E. Ver Figura 4.3.

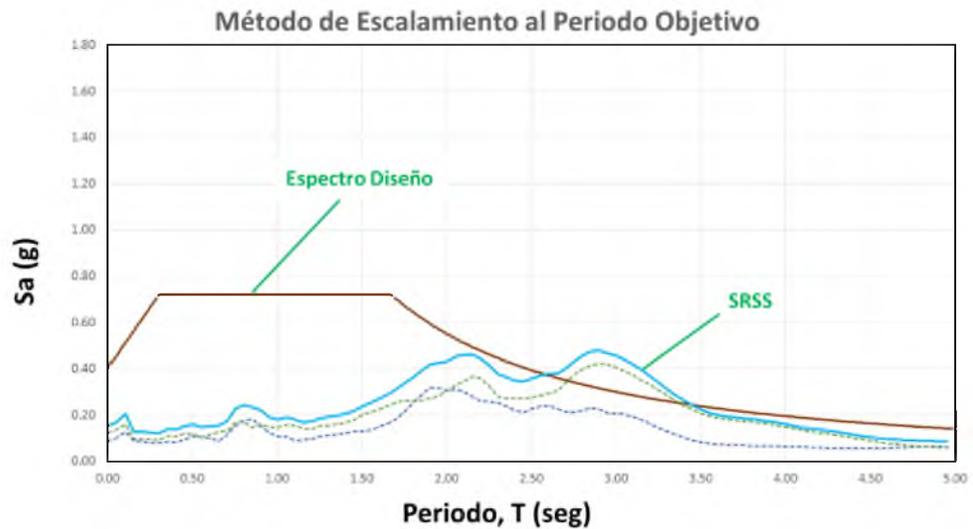


Figura 4.3. Espectro de diseño según NEC-14 para la ciudad de Guayaquil, Suelo Tipo E

4. Se amplifica el espectro de diseño por un factor de 1.17 (10% debajo de 1.3 veces el espectro). Ver la Figura 4.4.

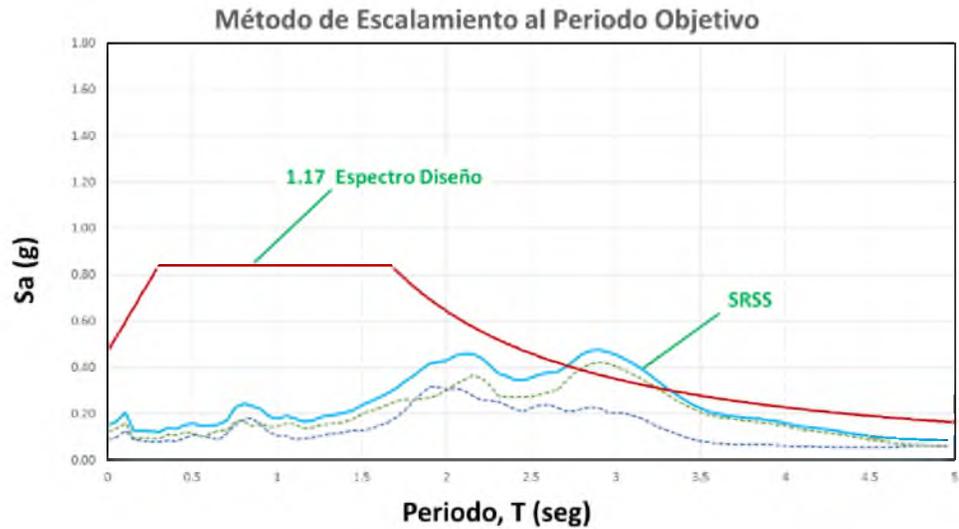


Figura 4.4. Espectro de diseño amplificado según (FEMA 450, p.219)

5. Se traza la línea de periodo objetivo. En este ejemplo se estableció el periodo objetivo igual a 3.0 seg. Ver Figura 4.5.

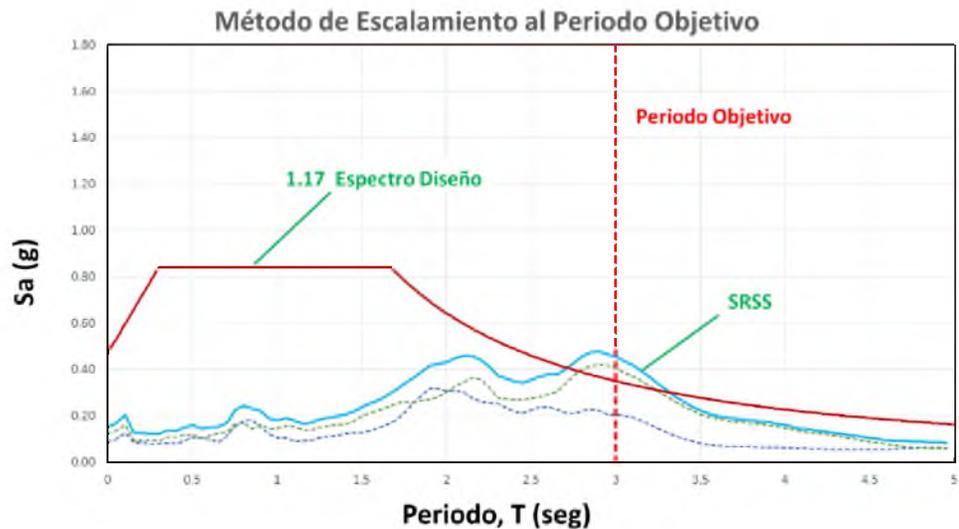


Figura 4.5. Límite de periodo objetivo.

6. Se escala la resultante SRSS, de tal manera que coincidan en un punto los valores del espectro SRSS y el espectro de diseño al periodo objetivo. En la Figura 4.6 se observa que el escalamiento se completa una vez que el espectro "0.76 SRSS" coincide con la curva "1.17 Espectro de diseño" en el periodo objetivo establecido en 3 seg.

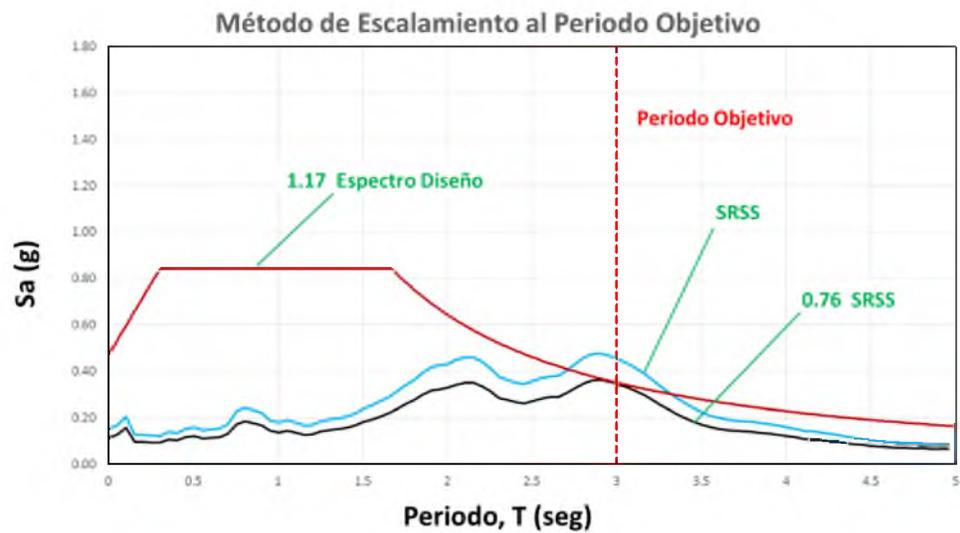


Figura 4.6. Escalamiento de SRSS al periodo objetivo

7. En la Figura 4.7 se puede observar el factor de escala necesario para cumplir con lo especificado en el Método de Escalamiento al Periodo Objetivo. El factor de escala resultó igual a 0.76.

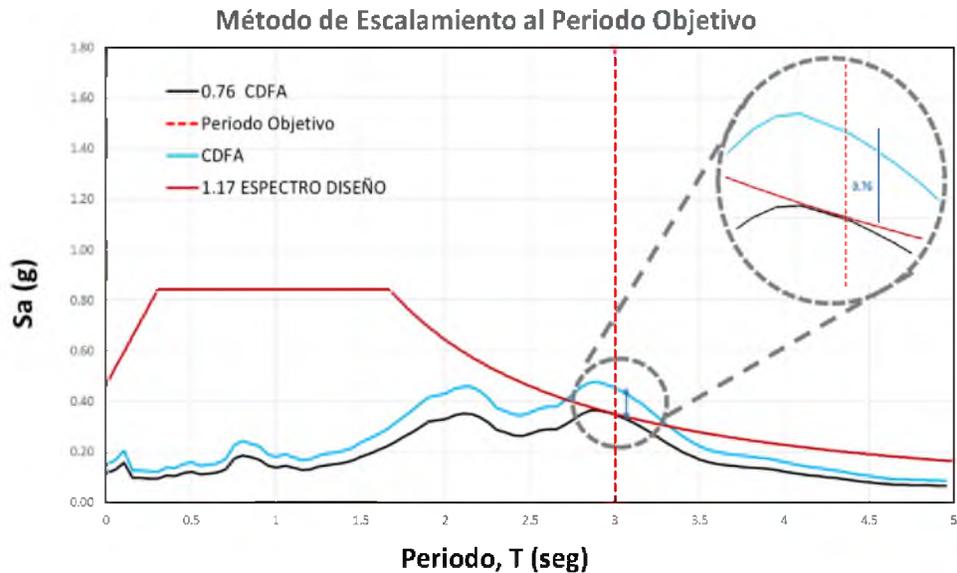


Figura 4.7. Factor de escala obtenido, aplicado el M. E. al Periodo Objetivo

Este método de escalamiento debe ser aplicado a al menos 3 registros según lo especifica el FEMA 450 en la Sección 13.4.2.3. En este trabajo se han utilizado 9 registros o pares de componentes horizontales (incluido el registro CDAF). El proceso de escalamiento aplicado en los otros registros se encuentra detallado en el Anexo 4. Los factores de escala obtenidos mediante el Método de Escalamiento al Periodo Objetivo se muestran resumidos en la Tabla 4.1.

	<b>Factor de Escalamiento</b>
<b>Registro</b>	<b>T<sub>objetivo</sub></b>
<b>CDAF</b>	<b>0.76</b>
<b>SXVI</b>	<b>3.1</b>
<b>TXSO</b>	<b>1.65</b>
<b>Torre Latinoamericana 1962</b>	<b>0.60</b>
<b>Torre de la Merced</b>	<b>22</b>
<b>TLHD</b>	<b>1.55</b>
<b>TLHB</b>	<b>0.85</b>
<b>SCT</b>	<b>0.92</b>
<b>UNAM MEXICO</b>	<b>3</b>

*Tabla 4.1. Resumen de los Factores de Escalamiento. Método al Periodo Objetivo*

## **CAPÍTULO 5**

### **ESCALAMIENTO DE REGISTROS EN EL TIEMPO MEDIANTE EL MÉTODO ITERATIVO DE ESCALAMIENTO (MIE)**

#### **5.1 Introducción**

El MIE es el segundo método propuesto en este trabajo de titulación y consiste en un proceso de iteración de desplazamientos hasta que la diferencia entre estos sea muy pequeña.

Este método nos permitirá realizar un análisis en el tiempo de una estructura mediante un registro que produzca aceleraciones similares a las esperadas en el estudio de riesgo sísmico del lugar.

#### **5.2 Descripción del Método Iterativo de Escalamiento**

Para la aplicación de este método de escalamiento se tomó en consideración algunas recomendaciones de FEMA 450 que son aplicables a este método propuesto, se deben seguir los siguientes pasos especificados a continuación:

- Los registros sísmicos deben consistir en pares de componentes horizontales de aceleraciones de suelo.
- Se deben considerar registros sísmicos obtenidos en eventos de magnitudes, distancia a la falla, y mecanismos de ruptura de placas consistentes con los que producirán el sismo máximo considerado.

- En el caso de no contar con el número mínimo de registros, FEMA recomienda usar registros simulados o sintéticos.

- Para cada par de componentes horizontales de aceleraciones de suelo se debe construir el espectro SRSS tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del espectro de respuesta del 5% de amortiguamiento de las componentes horizontales de aceleraciones de suelo escaladas.

- Se deben aplicar el mismo factor de escala a las dos componentes horizontales de aceleración de suelo.

- Cada par debe ser escalado de tal manera que el promedio de los espectros SRSS (de todos los registros estudiados) esté por debajo de 1.3 veces el espectro de respuesta por más de 10%, al coincidir con el período objetivo.

Además de lo especificado en la Sección 13.2.3.2, en la Sección 13.4.2.3 del FEMA 450 establece un mínimo de 3 movimientos de suelo (pares de componentes horizontales). De usarse 7 o más movimientos de suelo, el FEMA 450 permite usar el promedio de las respuestas obtenidas (desplazamiento); caso contrario debe usarse la respuesta máxima de movimientos estudiados.

### **5.3 Ejemplo de Aplicación del Método Iterativo de Escalamiento.**

Se presenta a continuación un ejemplo de la aplicación del Método Iterativo de Escalamiento propuesto en este trabajo de titulación. Para este ejemplo se utilizarán las componentes horizontales del registro CDAF obtenido en el sismo de México DF de 1985.

1. Se escogen las componentes horizontales de aceleraciones de un registro sísmico (CDAF) como se muestra en la Figura 5.1.

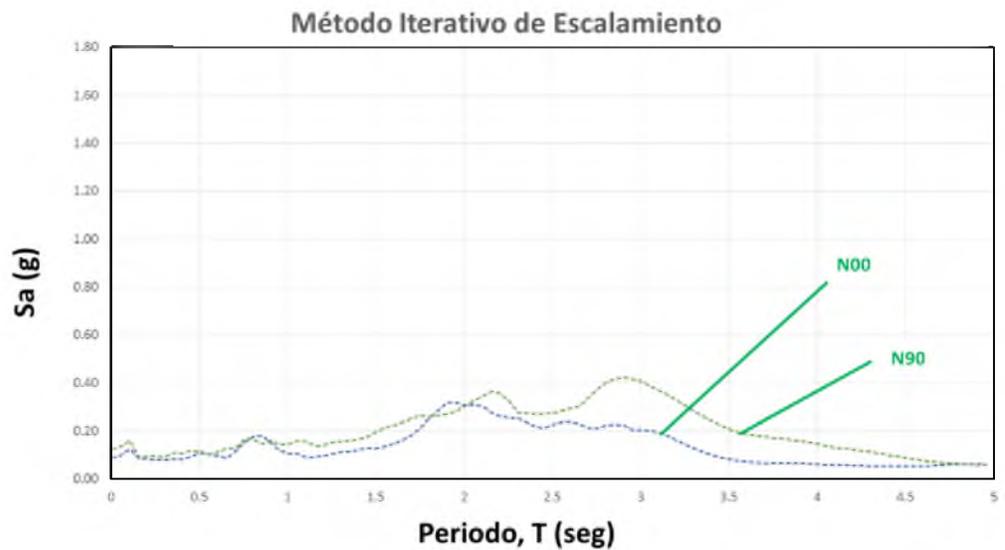


Figura 5.1. Componentes horizontales N00, N90 de registro sísmico CDAF (México 1985)

2. Se calcula la combinación SRSS de las dos componentes horizontales, Ver la figura 5.2.

$$SRSS = \sqrt{Sa_x^2 + Sa_y^2}$$

Donde

$S_{ax}$  = aceleración espectral de la componente horizontal en el sentido x del registro escogido.

$S_{ay}$  = aceleración espectral de la componente horizontal en el sentido y del registro escogido.

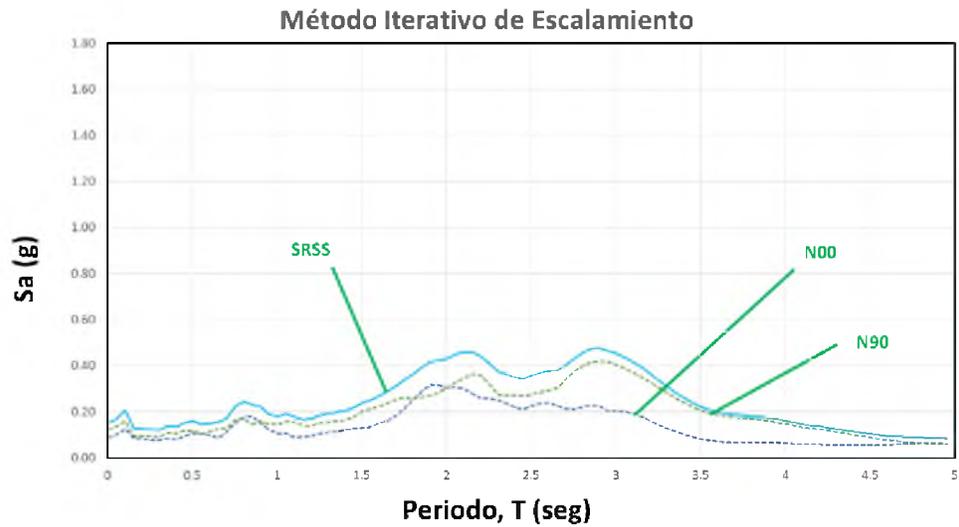


Figura 5.2. Cálculo de la resultante SRSS

3. Se calcula el espectro del sitio en estudio. En este caso se presenta el espectro de diseño especificado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 14) para la ciudad de Guayaquil para un tipo de suelo E. Ver Figura 5.3.

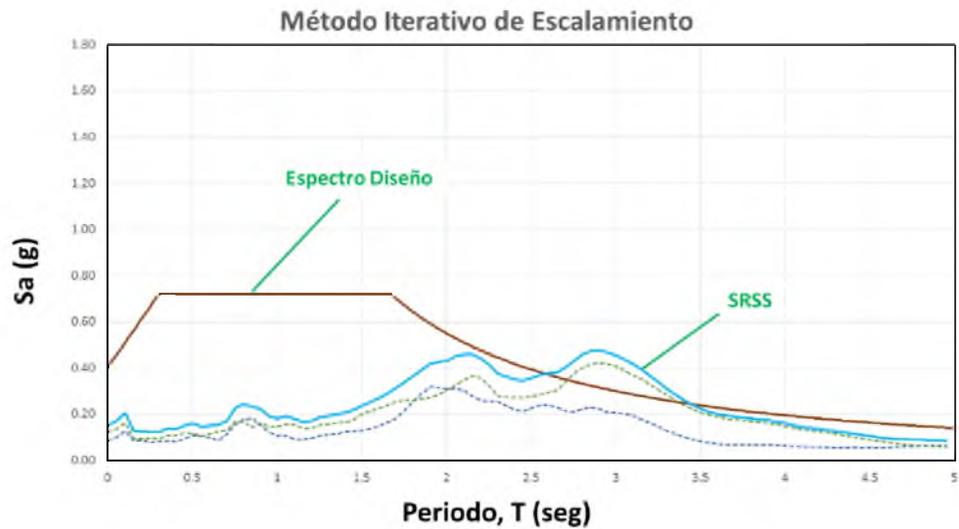


Figura 5.3. Espectro de diseño según NEC-14 para la ciudad de Guayaquil, Suelo Tipo E

4. Se amplifica el espectro de diseño por un factor de 1.17 (10% debajo de 1.3 veces el espectro). Ver la figura 5.4.

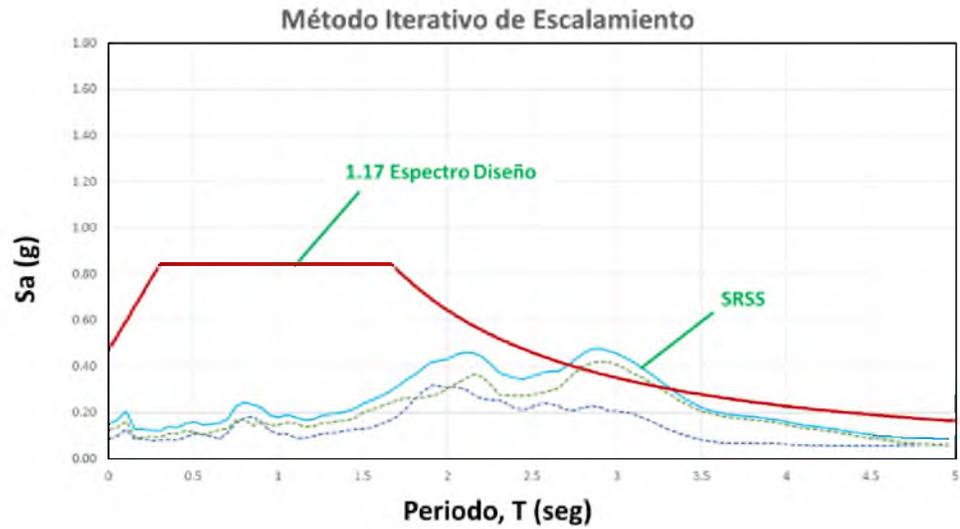


Figura 5.4. Espectro de diseño amplificado según (FEMA 450, p.219)

5. Se traza la línea de periodo objetivo. En este ejemplo se estableció el periodo objetivo igual a 3.0 seg. Ver Figura 5.5.

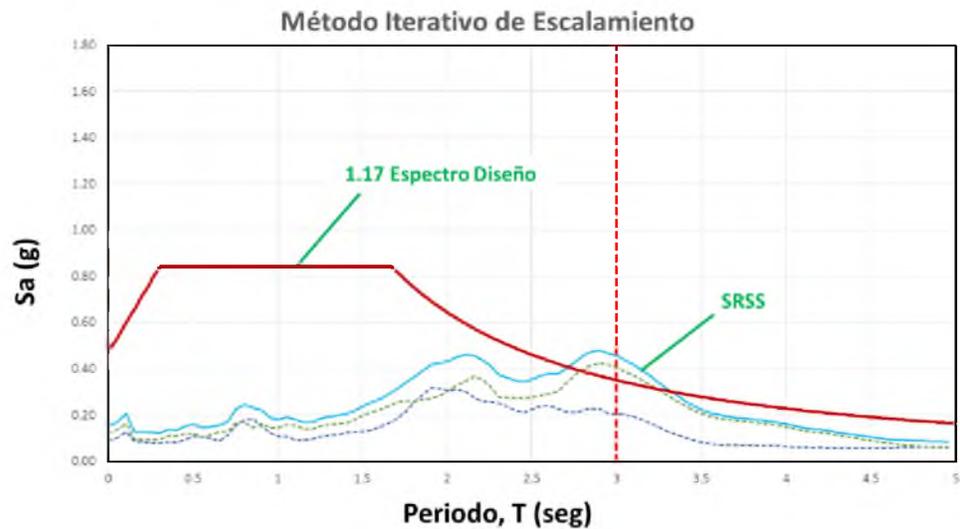


Figura 5.5. Límite de Periodo Objetivo.

6. Se escala la resultante SRSS, de tal manera que coincidan en un punto los valores del espectro SRSS y el espectro de diseño al periodo objetivo.

En la Figura 5.6 se observa la primera iteración de este método propuesto. El escalamiento se cumple una vez que el espectro “0.76 SRSS” coincide con la curva “1.17 Espectro de diseño” en el periodo objetivo establecido en 3 seg.

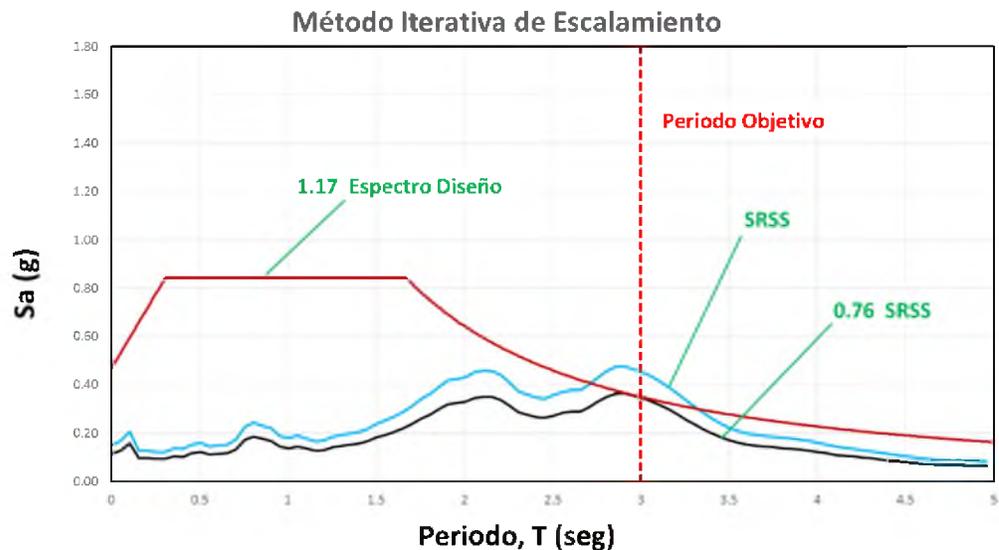


Figura 5.6. Primera Iteración.  $T=3.0$ seg.  $F=0.76$

7. Se obtiene el desplazamiento máximo del sistema de aislación debido a la aplicación de las componentes horizontales escaladas. El desplazamiento será la suma vectorial de las deformaciones en X y Y, este desplazamiento producirá una variación en el periodo y la rigidez de la estructura.
8. Obtener la rigidez efectiva del aislador al desplazamiento máximo obtenido en el paso 7 por medio de la curva bilineal fuerza-desplazamiento del sistema de aislación. La rigidez efectiva es la pendiente de la línea que

une el origen con el punto de desplazamiento máximo sobre la curva bilineal fuerza-deformación. En la figura 5.7 se muestra dicho cálculo.

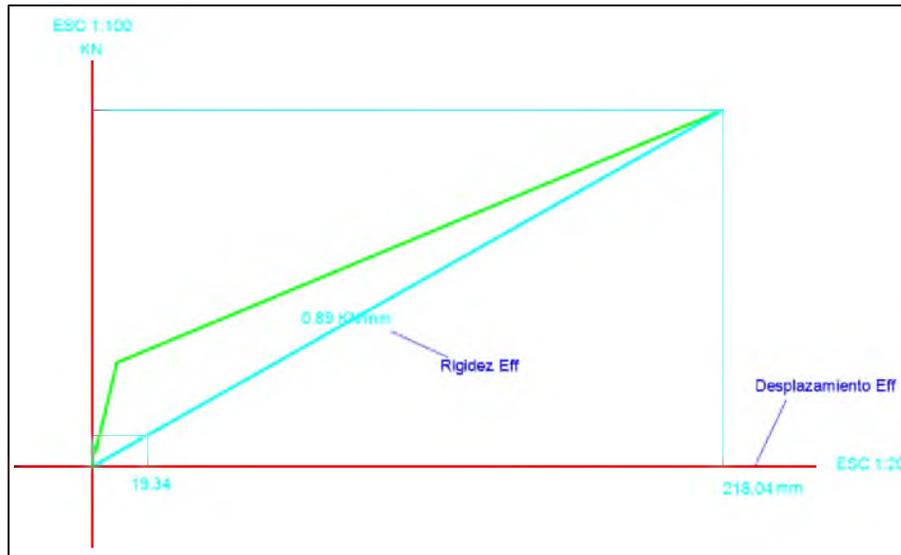


Figura 5.7. Rigidez Efectiva del Sistema

La curva de esta gráfica obedece a la siguiente ecuación:

$$K_{aistador} = \frac{Q_d + k_{final} * Desp}{Desp}$$

9. Se repite el procedimiento desde 2 a 8 hasta que la variación del desplazamiento sea mínimo. Cuando este punto se cumpla el método iterativo finalizará y se habrá obtenido la rigidez efectiva y el periodo de la estructura correspondiente al desplazamiento efectivo.

La Figura 5.8 muestra la segunda iteración para un  $T=3.24\text{seg}$ , se obtuvo un factor de 0.9. La Figura 5.9 muestra la tercera iteración para un  $T=3.25\text{seg}$  y un factor de 0.92. De la cuarta iteración resultó un factor de

0.92 igual a la iteración 3, por lo tanto su desplazamiento máximo fue el mismo.

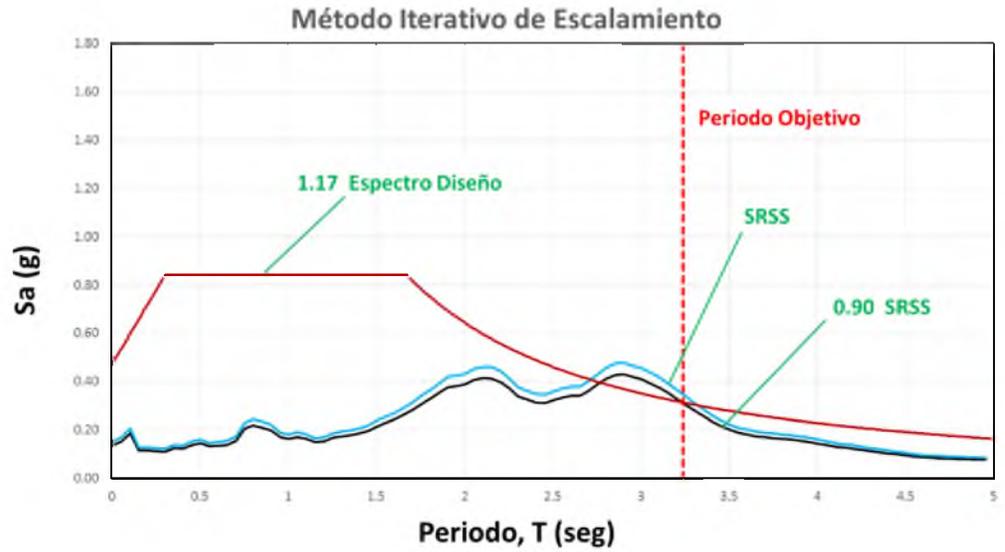


Figura 5.8. Segunda Iteración.  $T=3.24$ seg.  $F=0.9$

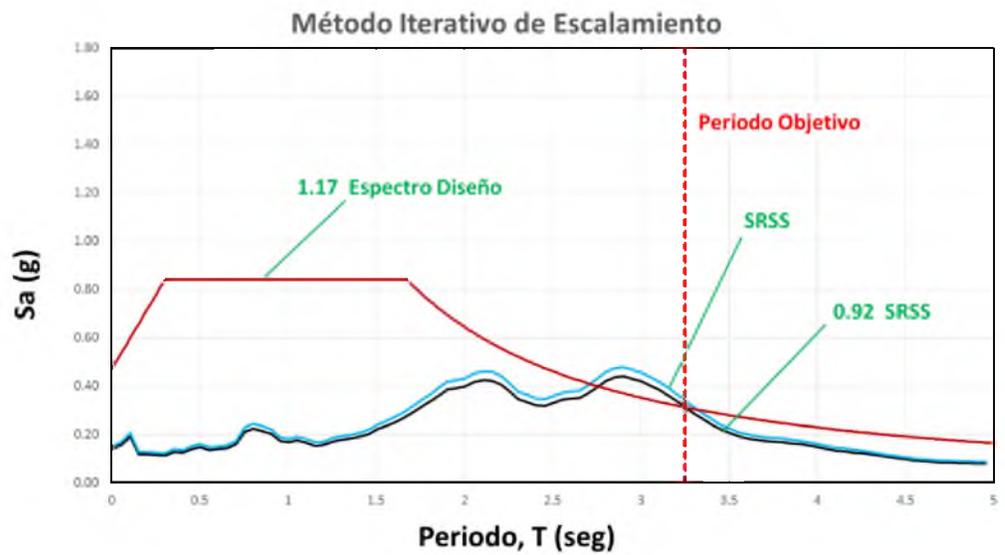


Figura 5.9. Tercera Iteración.  $T=3.25$ seg.  $F=0.92$

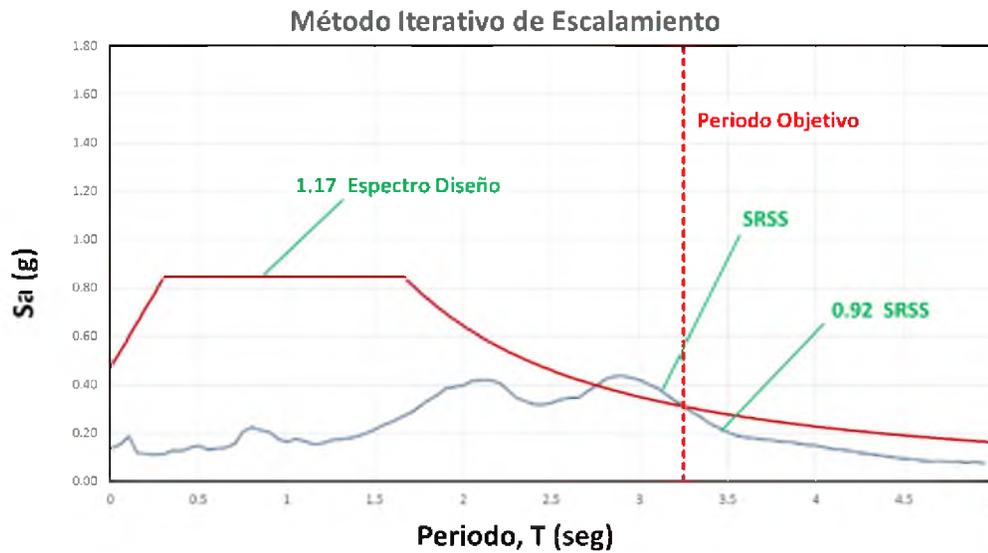


Figura 5.10. Cuarta Iteración.  $T=3.25\text{seg}$

La Tabla 5.1 muestra el resumen del Método Iterativo aplicado al registro CDAF. Este método de escalamiento debe ser aplicado al menos a 3 registros según lo especifica el FEMA 450 en la Sección 13.4.2.3. En este trabajo se han utilizado 9 registros o pares de componentes horizontales (incluido el registro CDAF). El proceso de escalamiento aplicado a los otros registros se encuentra detallado en el Anexo 5. La Tabla 5.2 muestra el resumen de factores de escala obtenidos mediante el Método Iterativo de Escalamiento.

	1 aislador	$K_{\text{aisl}}$	$K_T$	T	$F_{\text{ESC}}$	D	$K_E$
	KN/mm	Ton/m	Ton/m	seg		mm	KN/mm
Iteración				3.00			
1	0.89	2540.27	2337.02	3.00	0.76	718.38	0.81
2	0.81	2311.93	2142.36	3.13	0.9	740.62	0.71
3	0.71	2026.50	1895.03	3.33	0.92	751.71	0.71
4	0.71	2026.50	1895.03	3.33	0.92		

Tabla 5.1. Resumen del Método Iterativo de Escalamiento

Donde:

$K_{\text{aisl}}$ = Rigidez correspondiente al sistema de aislación

$K_T$ = Rigidez Total del sistema

$K_E$ = Rigidez Efectiva calculada

$T$ = Periodo de vibración

$F_{\text{ESC}}$ = Factor de escalamiento

	<b>Factor de Escalamiento</b>
<b>Registro</b>	<b>MIE</b>
<b>CDAF</b>	<b>0.92</b>
<b>SXVI</b>	<b>3.51</b>
<b>TXSO</b>	<b>1.95</b>
<b>Torre Latinoamericana 1962</b>	<b>0.71</b>
<b>Torre de la Merced</b>	<b>22</b>
<b>TLHD</b>	<b>1.45</b>
<b>TLHB</b>	<b>0.71</b>
<b>SCT</b>	<b>1.14</b>
<b>UNAM MEXICO</b>	<b>2.85</b>

*Tabla 5.2. Resumen de factores obtenidos con el MIE*

## **CAPÍTULO 6**

### **ESCALAMIENTO DE REGISTROS EN EL TIEMPO MEDIANTE EL MÉTODO DE NORMALIZACIÓN DE ESPECTRO**

#### **6.1 Introducción**

En este capítulo abarca el tercer método de escalamiento propuesto en este trabajo de titulación. En este análisis el escalamiento se realiza una sola vez a las propiedades reales del sistema de aislación.

En este método se emplea la técnica del espectro de capacidad, el mismo requiere que tanto las curvas de espectro de respuesta como la de capacidad estructural (push over) sean capaces de dibujarse en una gráfica aceleración espectral versus desplazamiento espectral. A este tipo de gráficas se las conoce como espectros de respuesta Aceleración-Desplazamiento.

#### **6.2 Descripción del Método Iterativo de Escalamiento**

Para la aplicación de este método de escalamiento se tomó en consideración algunas recomendaciones de FEMA 450 que son aplicables a este método propuesto:

- Los registros sísmicos deben consistir en pares de componentes horizontales de aceleraciones de suelo.

- Se deben considerar registros sísmicos obtenidos en eventos de magnitudes, distancia a la falla, y mecanismos de ruptura de placas consistentes con los que producirán el sismo máximo considerado.

En el caso de no contar con el número mínimo de registros, FEMA recomienda usar registros simulados o sintéticos.

- Para cada par de componentes horizontales de aceleraciones de suelo se debe construir el espectro SRSS tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del espectro de respuesta del 5% de amortiguamiento de las componentes horizontales de aceleraciones de suelo escaladas.

- Se deben aplicar el mismo factor de escala a las dos componentes horizontales de aceleración de suelo.

Además de lo especificado en la Sección 13.2.3.2, en la Sección 13.4.2.3 del FEMA 450 establece un mínimo de 3 movimientos de suelo (pares de componentes horizontales). De usarse 7 o más movimientos de suelo, el FEMA 450 permite usar el promedio de las respuestas obtenidas (desplazamiento); caso contrario debe usarse la respuesta máxima de movimientos estudiados.

### **6.3 Ejemplo de Aplicación del Método de Normalización de Espectro**

Se presenta a continuación un ejemplo de la aplicación del Método de Normalización de Espectro (MNE) propuesto en este trabajo de titulación. Para este ejemplo se utilizarán las componentes horizontales del registro CDAF obtenido en el sismo de México DF de 1985.

1. Del espectro de diseño para Guayaquil de acuerdo a NEC 14, se calcula la curva Cortante-Desplazamiento mostrada en la Figura 6.1. Para transformar la aceleración espectral a fuerza cortante se utiliza la ecuación 6.1. El desplazamiento espectral se lo obtiene con la ecuación 6.2.

$$V = S_a * W * 1.17 \quad Ec. (6.1)$$

$$S_d = \frac{S_a * T^2 * g}{4\pi^2} \quad Ec. (6.2)$$

Donde:

S<sub>a</sub>= aceleración espectral

T= periodo al desplazamiento espectral

g= gravedad

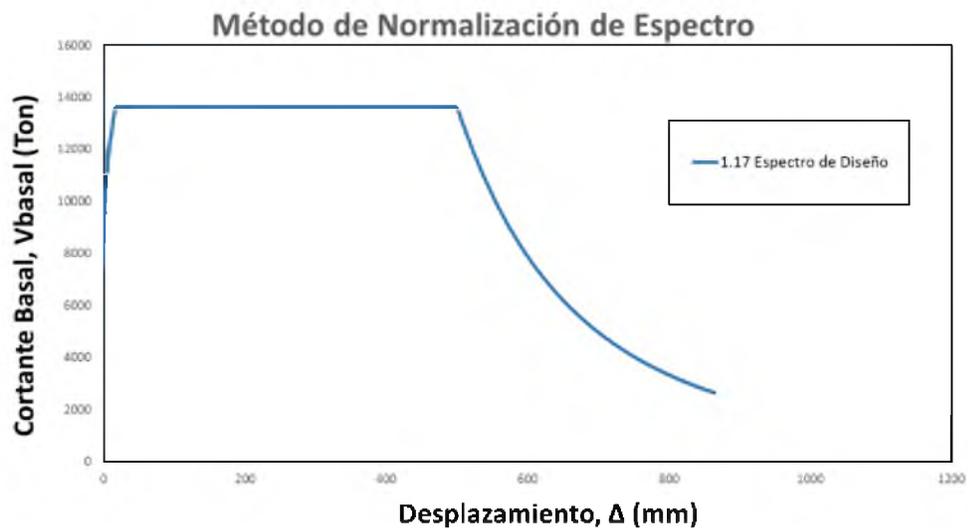
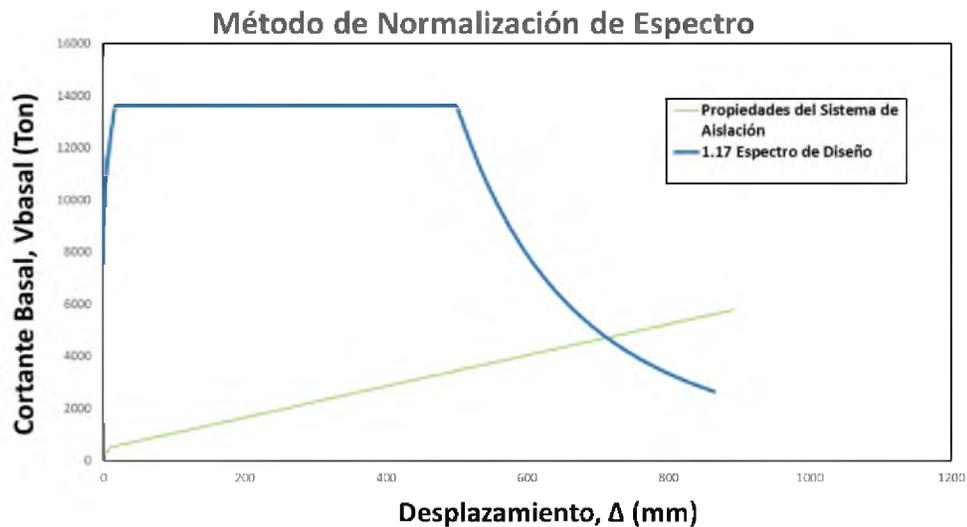


Figura 6.1. Espectro de Diseño NEC 14. Curva Cortante-Desplazamiento

2. Se calcula la curva bilineal de capacidad del sistema de aislación. Como se muestra en la Figura 6.2.



*Figura 6.2. Curva bilineal de capacidad del Sistema de Aislación*

3. Se calcula la curva SRSS Cortante-Desplazamiento del registro sísmico mediante los siguientes pasos:
  - Primero se escogen las componentes horizontales de aceleraciones del registro sísmico CDAF.
  - Se calcula la combinación SRSS del desplazamiento espectral de las dos componentes horizontales.

$$SRSS = \sqrt{Sd_x^2 + Sd_y^2} \quad Ec. (6.3)$$

Donde

$S_{dx}$  = desplazamiento espectral de la componente horizontal en el sentido x del registro escogido.

$S_{dy}$  = desplazamiento espectral de la componente horizontal en el sentido y del registro escogido.

- Se calcula la combinación SRSS de la fuerza lateral “real” de las dos componentes horizontales.

$$SRSS = \sqrt{(S_{a_x} * W)^2 + (S_{a_y} * W)^2} \quad Ec. (6.4)$$

Donde

$S_{ax}$  = aceleración espectral de la componente horizontal en el sentido x del registro escogido.

$S_{ay}$  = aceleración espectral de la componente horizontal en el sentido y del registro escogido.

W= carga real del análisis

En la Figura 6.3 se muestra la curva SRSS Cortante-Desplazamiento del registro CDAF.

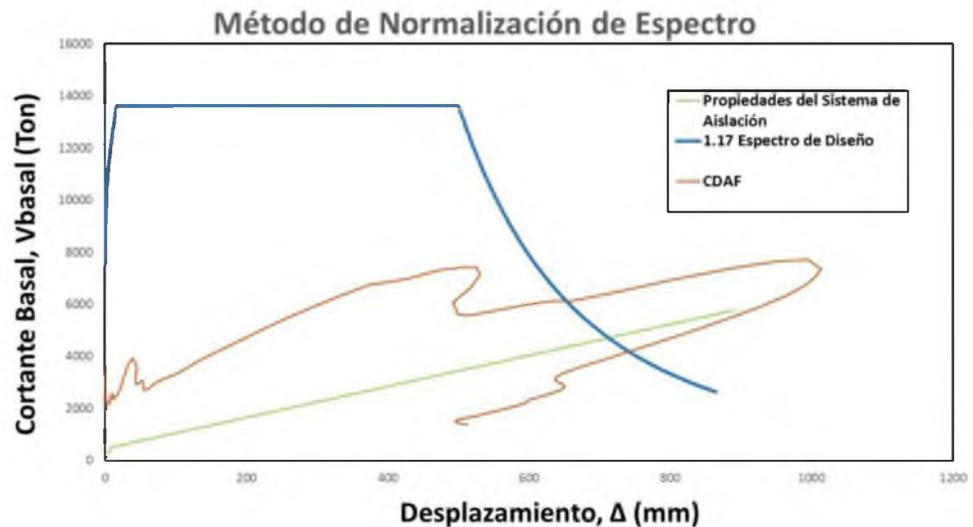


Figura 6.3. SRSS Cortante-Desplazamiento. Registro CDAF

4. Cálculo del desplazamiento al que será escalado el registro SRSS CDAF. En la Figura 6.4 se ubica el desplazamiento ocasionado por las propiedades del sistema de aislación.

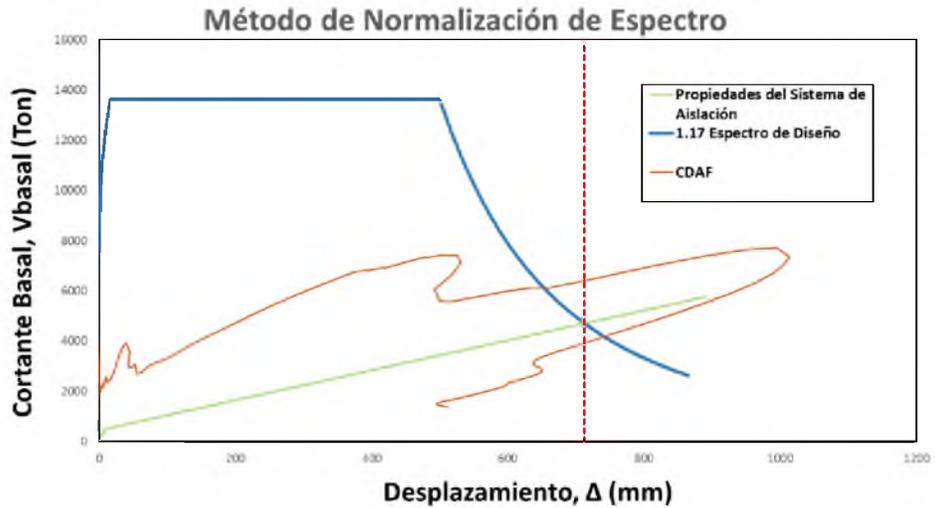


Figura 6.4. Desplazamiento al que se escalará SRSS CDAF

5. Escalar la curva SRSS CDAF a las propiedades del sistema de aislación. En la Figura 6.5 se muestra la curva SRSS escalada y sin escalar.

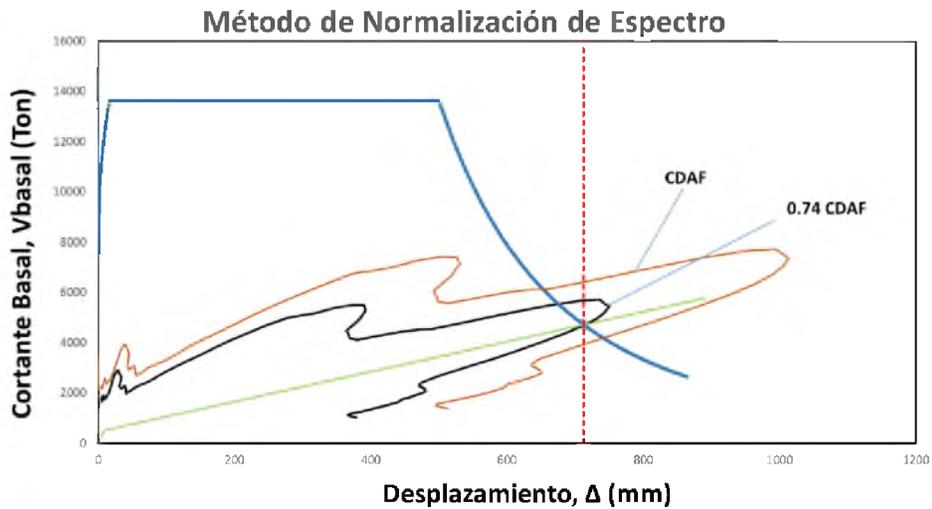


Figura 6.5. Escalamiento de SRSS al desplazamiento efectivo

En la Figura 6.6 se puede observar el factor de escala necesario para cumplir con lo especificado en el Método de Normalización de Espectro. El factor de escala resultó igual a 0.74.

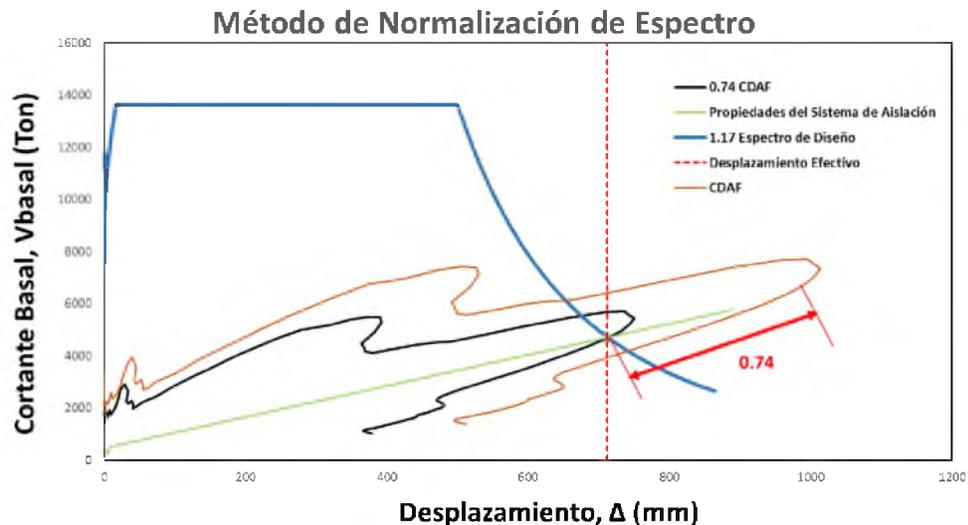


Figura 6.6. Factor de Escala obtenido, aplicando el Método de Normalización de Espectro

Este método de escalamiento debe ser aplicado a al menos 3 registros según los especifica el FEMA 450 en la Sección 13.4.2.3. En este trabajo se han utilizado 9 registros o pares de componentes horizontales (incluido el registro CDAF). El proceso de escalamiento aplicado en los otros registros se encuentra detallado en el Anexo 6. Los factores de escala obtenidos mediante el Método de Escalamiento por Normalización de Espectro se muestran resumidos en la Tabla 6.1.

	<b>Factor de Escalamiento</b>
<b>Registro</b>	<b>Normal Esp</b>
<b>CDAF</b>	<b>0.74</b>
<b>SXVI</b>	<b>2.8</b>
<b>TXSO</b>	<b>1.6</b>
<b>Torre Latinoamericana 1962</b>	<b>0.65</b>
<b>Torre de la Merced</b>	<b>18.8</b>
<b>TLHD</b>	<b>1.3</b>
<b>TLHB</b>	<b>0.69</b>
<b>SCT</b>	<b>0.65</b>
<b>UNAM MEXICO</b>	<b>2.6</b>

*Tabla 6.1. Resumen de factores obtenidos con el Método de Normalización de Espectro*

## CAPÍTULO 7

### ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

#### 7.1 Introducción

Para el análisis y la comparación de los efectos ocasionados por los métodos de escalamiento estudiados en este trabajo de titulación. Se tomó como elemento de estudio el Modelo Simplificado más el Sistema de Aislación en la Base, mostrado en la sección 2.3.

Primero se realizará un análisis lineal Historia-Tiempo y luego un análisis no lineal Historia-Tiempo, para obtener cortantes y desplazamientos basales utilizando los registros sísmicos indicados en la sección 1.5 de este trabajo.

#### 7.2 Análisis Lineal Historia-Tiempo

Para este análisis se tomaron los factores de cada método de escalamiento y se los ingresó al programa Etabs 9 aplicados a su respectivo registro. En la Figura 7.1 y 7.2 se puede observar las propiedades lineales del aislador en los dos sentidos principales calculadas en la sección 2.3.1.

**Link/Support Directional Properties**

Identification

Property Name: ISOLATOR

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: No

Properties Used For All Analysis Cases

Effective Stiffness: 2543.06

Effective Damping: 0.

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

*Figura 7.1. Propiedades Lineales del Aislador de Base U2*

**Link/Support Directional Properties**

Identification

Property Name: ISOLATOR

Direction: U3

Type: Rubber Isolator

NonLinear: No

Properties Used For All Analysis Cases

Effective Stiffness: 2543.06

Effective Damping: 0.

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

*Figura 7.2. Propiedades Lineales del Aislador de base U3*

### 7.2.1 Cálculo del Desplazamiento Basal

El desplazamiento generado en la base del modelo estructural se lo calculó como la suma vectorial de las deformaciones en X y Y. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada método.

#### Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05

En la Tabla 7.1 se muestra el resumen de los desplazamientos obtenidos por el Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05. El desplazamiento promedio obtenido por este método es igual a 989.12 mm.

	FEMA450/ ASCE 7-05	
	Factor <sub>corregido</sub>	Desplazamiento
		mm
<b>CDAF</b>	2.59	2254.66
<b>SXVI</b>	7.06	1187.12
<b>TXSO</b>	1.94	809.12
<b>TL</b>	0.75	804.81
<b>TM</b>	17.71	505.35
<b>TLHD</b>	1.62	565.16
<b>TLHB</b>	2.02	1348
<b>SCT</b>	1.33	837.61
<b>MEX</b>	3.10	590.29
	<b>Promedio</b>	989.12

*Tabla 7.1. Resumen de desplazamientos. Método FEMA 450/ ASCE7-05*

### Método de Escalamiento al Periodo Objetivo

En la Tabla 7.2 se muestra el resumen de los desplazamientos obtenidos por el Método de Escalamiento al Periodo Objetivo. El desplazamiento promedio obtenido por este método es igual a 605.74 mm.

	PERIODO OBJETIVO	
	Factor	Desplazamiento
		mm
CDAF	0.76	661.39
SXVI	3.10	572.50
TXSO	1.65	688.19
TL	0.60	643.82
TM	22.00	627.56
TLHD	1.55	540.90
TLHB	0.85	567.04
SCT	0.92	579.55
MEX	3.00	570.74
	<b>Promedio</b>	605.74

*Tabla 7.2. Resumen de desplazamientos. Método al Periodo Objetivo*

### Método Iterativo de Escalamiento

En la Tabla 7.3 se muestra el resumen de los desplazamientos obtenidos por el Método Iterativo de Escalamiento. El desplazamiento promedio obtenido por este método es igual a 648.19 mm.

	MÉTODO ITERATIVO	
	Factor	Desplazamiento
		mm
CDAF	0.92	801.00
SXVI	3.51	590.39
TXSO	1.95	813.31
TL	0.71	761.78

TM	22.00	627.56
TLHD	1.45	505.93
TLHB	0.71	473.58
SCT	1.14	717.95
MEX	2.85	542.21
	<b>Promedio</b>	648.19

*Tabla 7.3. Resumen de desplazamientos. Método Iterativo de Escalamiento*

#### Método de Escalamiento por Espectro Normalizado

En la Tabla 7.4 se muestra el resumen de los desplazamientos obtenidos por el Método de Escalamiento por Espectro Normalizado. El desplazamiento promedio obtenido por este método es igual a 537.10 mm.

	NORMALIZACION DE ESP.	
	Factor	Desplazamiento
		mm
CDAF	0.74	644.03
SXVI	2.80	470.74
TXSO	1.60	667.31
TL	0.65	697.50
TM	18.80	536.23
TLHD	1.30	453.47
TLHB	0.69	460.58
SCT	0.65	409.43
MEX	2.60	494.64
	<b>Promedio</b>	537.10

*Tabla 7.4. Resumen de desplazamientos. Método de Normalización de Espectro*

En la Tabla 7.5 se muestra el resumen de los desplazamientos basales máximos obtenidos por el Análisis Lineal Historia-Tiempo.

	FEMA450/ ASCE 7-05		PERIODO OBJETIVO		MÉTODO ITERATIVO		NORMALIZACION DE ESP.	
	Factor <small>corregido</small>	Desplazamiento	Factor	Desplazamiento	Factor	Desplazamiento	Factor	Desplazamiento
		mm		mm		mm		mm
<b>CDAF</b>	2.59	2254.66	0.76	661.39	0.92	801.00	0.74	644.03
<b>SXVI</b>	7.06	1187.12	3.10	572.50	3.51	590.39	2.80	470.74
<b>TXSO</b>	1.94	809.12	1.65	688.19	1.95	813.31	1.60	667.31
<b>TL</b>	0.75	804.81	0.60	643.82	0.71	761.78	0.65	697.50
<b>TM</b>	17.71	505.35	22.00	627.56	22.00	627.56	18.80	536.23
<b>TLHD</b>	1.62	565.16	1.55	540.90	1.45	505.93	1.30	453.47
<b>TLHB</b>	2.02	1348	0.85	567.04	0.71	473.58	0.69	460.58
<b>SCT</b>	1.33	837.61	0.92	579.55	1.14	717.95	0.65	409.43
<b>MEX</b>	3.10	590.29	3.00	570.74	2.85	542.21	2.60	494.64
	<b>Promedio</b>	989.12	<b>Promedio</b>	605.74	<b>Promedio</b>	648.19	<b>Promedio</b>	537.10

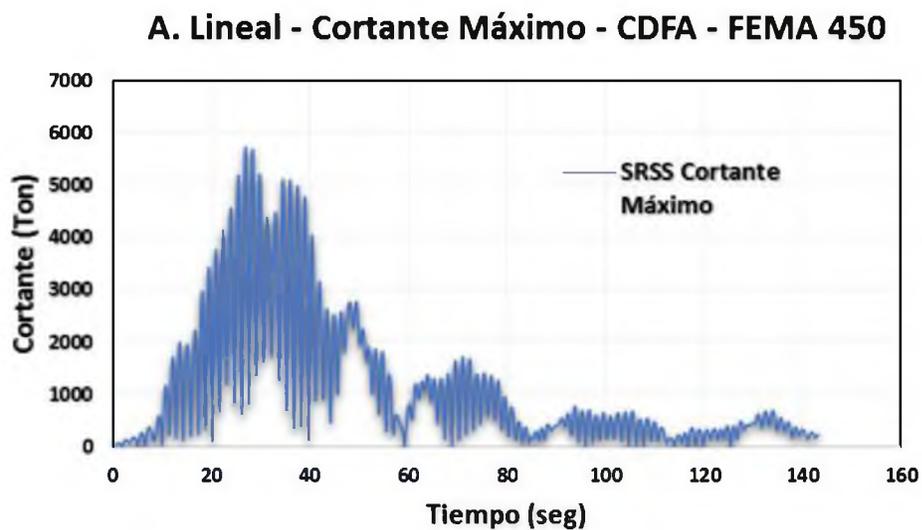
*Tabla 7.5. Resumen de Desplazamientos máximos. Análisis Lineal Historia-Tiempo*

## 7.2.2 Cálculo de Cortante Basal

El cortante basal generado en la base del modelo estructural se lo calculó como la suma vectorial del cortante basal en el sentido X y Y. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada método.

### Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05

La Figura 7.3 muestra la curva Cortante Basal-Tiempo para el registro CDFA, además se puede ver el cortante basal máximo. Las gráficas de los otros registros se los pueden ver en el Anexo 7. En la Tabla 7.6 se puede ver el resumen de los cortantes basales para este método de escalamiento.



*Figura 7.3. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis Lineal. FEMA 450/ ASCE 7-05*

	<b>FEMA450/ ASCE 7-05</b>	
	<b>Factor<sub>corregido</sub></b>	<b>Cortante</b>
		Ton
<b>CDAF</b>	2.59	5733.79
<b>SXVI</b>	7.06	3018.92
<b>TXSO</b>	1.94	2057.54
<b>TL</b>	0.75	2046.67
<b>TM</b>	17.71	1285.12
<b>TLHD</b>	1.62	1437.23
<b>TLHB</b>	2.02	3428.05
<b>SCT</b>	1.33	2130.08
<b>MEX</b>	3.10	1501.14
	<b>Promedio</b>	2515.39

*Tabla 7.6. Resumen de Cortantes Basales. Método FEMA 450/ ASCE 7-05*

#### Método de Escalamiento al Periodo Objetivo

La Figura 7.4 muestra la curva Cortante Basal -Tiempo para el registro CDFA, además se puede ver el cortante basal máximo. Las gráficas de los demás registros se los pueden ver en el Anexo 8. En la Tabla 7.7 se puede ver el resumen de los cortantes basales para este método de escalamiento.

### A. Lineal - Cortante Máximo - CDFA - T. Obj

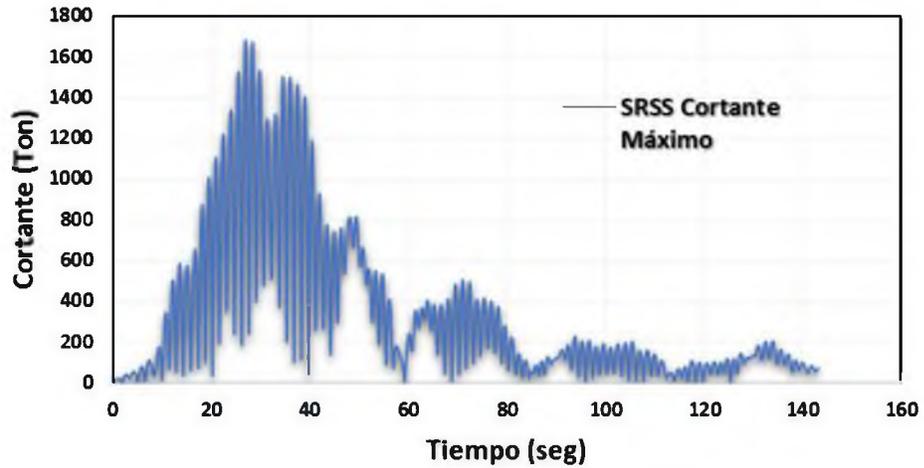


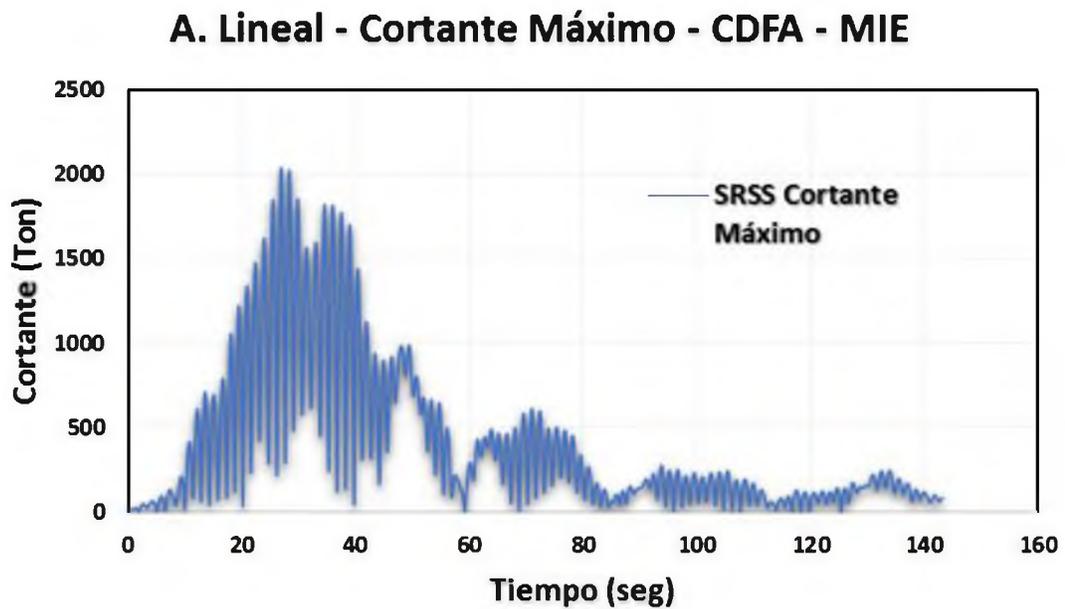
Figura 7.4. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis Lineal. Periodo Objetivo

	PERIODO OBJETIVO	
	Factor	Cortante
		Ton
<b>CDAF</b>	0.76	1681.97
<b>SXVI</b>	3.10	1455.90
<b>TXSO</b>	1.65	1750.10
<b>TL</b>	0.60	1637.27
<b>TM</b>	22.00	1595.92
<b>TLHD</b>	1.55	1375.54
<b>TLHB</b>	0.85	1442.03
<b>SCT</b>	0.92	1473.84
<b>MEX</b>	3.00	1451.42
	<b>Promedio</b>	1540.44

Tabla 7.7. Resumen de Cortantes Basales. Periodo Objetivo

### Método Iterativo de Escalamiento

La Figura 7.5 muestra la curva Cortante Basal -Tiempo para el registro CDFA, además se puede ver el cortante basal máximo. Las gráficas de los demás registros se los pueden ver en el Anexo 9. En la Tabla 7.8 se puede ver el resumen de los cortantes basales para este método de escalamiento.



*Figura 7.5. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis Lineal. Método Iterativo*

	<b>MÉTODO ITERATIVO</b>	
	<b>Factor</b>	<b>Cortante</b>
		Ton
<b>CDAF</b>	0.92	2037.01
<b>SXVI</b>	3.51	1501.38
<b>TXSO</b>	1.95	2068.32
<b>TL</b>	0.71	1937.26
<b>TM</b>	22.00	1595.92
<b>TLHD</b>	1.45	1286.61
<b>TLHB</b>	0.71	1204.35
<b>SCT</b>	1.14	1825.79
<b>MEX</b>	2.85	1378.85
	<b>Promedio</b>	1648.39

*Tabla 7.8. Resumen de Cortantes Basales. Método Iterativo*

#### Método por Normalización de Espectro

La Figura 7.6 muestra la curva Cortante Basal -Tiempo para el registro CDFA, además se puede ver el cortante basal máximo. Las gráficas de los demás registros se los pueden ver en el Anexo 10. En la Tabla 7.9 se puede ver el resumen de los cortantes basales para este método de escalamiento.

### A. Lineal - Cortante Máximo - CDFA - MNE

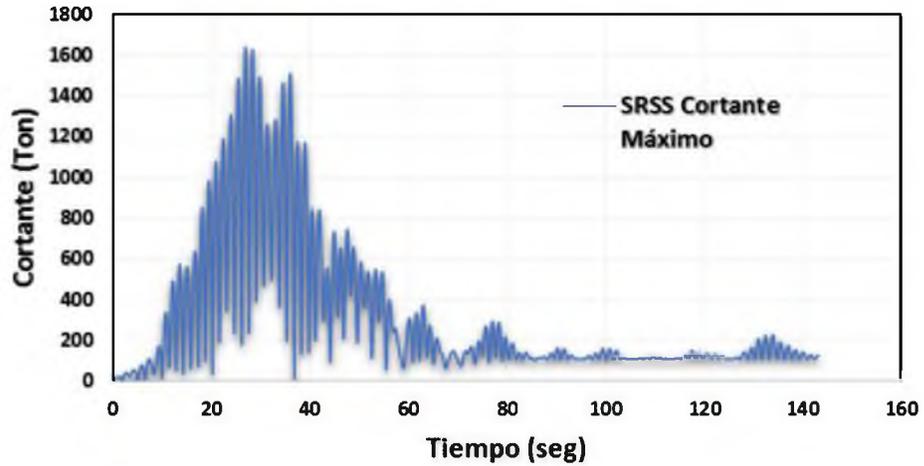


Figura 7.6. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis Lineal. Normalización de Espectro

	NORMALIZACION DE ESP.	
	Factor	Cortante
		Ton
<b>CDAF</b>	0.74	1637.80
<b>SXVI</b>	2.80	1197.11
<b>TXSO</b>	1.60	1697.00
<b>TL</b>	0.65	1773.79
<b>TM</b>	18.80	1363.66
<b>TLHD</b>	1.30	1153.21
<b>TLHB</b>	0.69	1171.27
<b>SCT</b>	0.65	1041.22
<b>MEX</b>	2.60	1257.90
	<b>Promedio</b>	1365.88

Tabla 7.9. Resumen de Cortantes Basales. M. Normalización de Espectro

En la Tabla 7.10 se muestra el resumen de los cortantes basales máximos obtenidos por el Análisis Lineal Historia-Tiempo.

	FEMA450/ ASCE 7-05		PERIODO OBJETIVO		MÉTODO ITERATIVO		NORMALIZACION DE ESP.	
	Factor <sub>corregido</sub>	Cortante	Factor	Cortante	Factor	Cortante	Factor	Cortante
		Ton		Ton		Ton		Ton
<b>CDAF</b>	2.59	5733.79	0.76	1681.97	0.92	2037.01	0.74	1637.80
<b>SXVI</b>	7.06	3018.92	3.10	1455.90	3.51	1501.38	2.80	1197.11
<b>TXSO</b>	1.94	2057.54	1.65	1750.10	1.95	2068.32	1.60	1697.00
<b>TL</b>	0.75	2046.67	0.60	1637.27	0.71	1937.26	0.65	1773.79
<b>TM</b>	17.71	1285.12	22.00	1595.92	22.00	1595.92	18.80	1363.66
<b>TLHD</b>	1.62	1437.23	1.55	1375.54	1.45	1286.61	1.30	1153.21
<b>TLHB</b>	2.02	3428.05	0.85	1442.03	0.71	1204.35	0.69	1171.27
<b>SCT</b>	1.33	2130.08	0.92	1473.84	1.14	1825.79	0.65	1041.22
<b>MEX</b>	3.10	1501.14	3.00	1451.42	2.85	1378.85	2.60	1257.90
	<b>Promedio</b>	2515.39	<b>Promedio</b>	1540.44	<b>Promedio</b>	1648.39	<b>Promedio</b>	1365.88

Tabla 7.10. Resumen de Cortantes basales máximos. Análisis Lineal Historia-Tiempo

### 7.3 Análisis No Lineal Historia-Tiempo

Este análisis toma en cuenta la no linealidad de las leyes constitutivas de los materiales y la no aplicabilidad de la hipótesis de deformaciones pequeñas, es decir no linealidad geométrica. (Recuero, 1981).

Para este análisis se tomaron los factores de cada método de escalamiento y se los ingresó al programa Etabs 9 aplicados a su respectivo registro. En la Figura 7.7 y 7.8 se puede observar las propiedades no lineales del aislador en los dos sentidos principales.

Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	ISOLATOR
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes
Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	2543.06
Effective Damping	0.
Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	5965.4
Yield Strength	512.12
Post Yield Stiffness Ratio	0.1
OK   Cancel	

Figura 7.7. Propiedades No Lineales del Aislador de Base U2

**Link/Support Directional Properties**

<b>Identification</b>	
Property Name	ISOLATOR
Direction	U3
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes
<b>Properties Used For Linear Analysis Cases</b>	
Effective Stiffness	2543.06
Effective Damping	0.
<b>Shear Deformation Location</b>	
Distance from End-J	0.
<b>Properties Used For Nonlinear Analysis Cases</b>	
Stiffness	5965.4
Yield Strength	512.12
Post Yield Stiffness Ratio	0.1

*Figura 7.8. Propiedades No Lineales del Aislador de base U3*

### 7.3.1 Cálculo del Desplazamiento Basal

El desplazamiento generado en la base del modelo estructural se lo calculó como la suma vectorial de las deformaciones en X y Y. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada método.

### Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05

En la Tabla 7.11 se muestra el resumen de los desplazamientos obtenidos por el Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05. El desplazamiento promedio obtenido por este método es igual a 748.33 mm.

	<b>FEMA450/ ASCE 7-05</b>	
	<b>Factor<sub>corregido</sub></b>	<b>Desplazamiento</b>
		mm
<b>CDAF</b>	2.59	505.58
<b>SXVI</b>	7.06	687.29
<b>TXSO</b>	1.94	395.95
<b>TL</b>	0.75	523.57
<b>TM</b>	17.71	473.51
<b>TLHD</b>	1.62	568.3
<b>TLHB</b>	2.02	1360.8
<b>SCT</b>	1.33	392.61
<b>MEX</b>	3.10	1827.36
	<b>Promedio</b>	748.33

*Tabla 7.11. Resumen de desplazamientos. Método FEMA 450/ ASCE7-05. Análisis No Lineal*

### Método de Escalamiento al Periodo Objetivo

En la Tabla 7.12 se muestra el resumen de los desplazamientos obtenidos por el Método de Escalamiento al Periodo Objetivo. El desplazamiento promedio obtenido por este método es igual a 417.97 mm.

	<b>PERIODO OBJETIVO</b>	
	<b>Factor</b>	<b>Desplazamiento</b>
		mm
<b>CDAF</b>	0.76	190.98
<b>SXVI</b>	3.10	316.26

<b>TXSO</b>	1.65	362.66
<b>TL</b>	0.60	454.26
<b>TM</b>	22.00	571.38
<b>TLHD</b>	1.55	550.04
<b>TLHB</b>	0.85	321.31
<b>SCT</b>	0.92	292.74
<b>MEX</b>	3.00	702.11
<b>Promedio</b>		417.97

*Tabla 7.12. Resumen de desplazamientos. Método al Periodo Objetivo. Análisis No Lineal*

#### Método Iterativo de Escalamiento

En la Tabla 7.13 se muestra el resumen de los desplazamientos obtenidos por el Método Iterativo de Escalamiento. El desplazamiento promedio obtenido por este método es igual a 414.72 mm.

	<b>MÉTODO ITERATIVO</b>	
	<b>Factor</b>	<b>Desplazamiento</b>
		mm
<b>CDAF</b>	0.92	213.32
<b>SXVI</b>	3.51	302.15
<b>TXSO</b>	1.95	396.88
<b>TL</b>	0.71	505.03
<b>TM</b>	22.00	571.38
<b>TLHD</b>	1.45	521.28
<b>TLHB</b>	0.71	242.65
<b>SCT</b>	1.14	350.30
<b>MEX</b>	2.85	629.47
<b>Promedio</b>		414.72

*Tabla 7.13. Resumen de desplazamientos. Método Iterativo de Escalamiento. Análisis No Lineal*

### Método de Escalamiento por Espectro Normalizado

En la Tabla 7.14 se muestra el resumen de los desplazamientos obtenidos por el Método de Escalamiento por Espectro Normalizado. El desplazamiento promedio obtenido por este método es igual a 360.52 mm.

	<b>NORMALIZACION DE ESP.</b>	
	<b>Factor</b>	<b>Desplazamiento</b>
		mm
<b>CDAF</b>	0.74	255.08
<b>SXVI</b>	2.80	241.25
<b>TXSO</b>	1.60	356.44
<b>TL</b>	0.65	477.41
<b>TM</b>	18.80	499.17
<b>TLHD</b>	1.30	407.63
<b>TLHB</b>	0.69	269.15
<b>SCT</b>	0.65	215.91
<b>MEX</b>	2.60	522.68
	<b>Promedio</b>	360.52

*Tabla 7.14. Resumen de desplazamientos. Método de Normalización de Espectro. Análisis No Lineal*

En la Tabla 7.15 se muestra el resumen de los desplazamientos basales máximos obtenidos por el Análisis No Lineal Historia-Tiempo.

	FEMA450/ ASCE 7-05		PERIODO OBJETIVO		MÉTODO ITERATIVO		NORMALIZACION DE ESP.	
	Factor <sub>corregido</sub>	Desplazamiento	Factor	Desplazamiento	Factor	Desplazamiento	Factor	Desplazamiento
		mm		mm		mm		mm
<b>CDAF</b>	2.59	505.58	0.76	190.98	0.92	213.32	0.74	255.08
<b>SXVI</b>	7.06	687.29	3.10	316.26	3.51	302.15	2.80	241.25
<b>TXSO</b>	1.94	395.95	1.65	362.66	1.95	396.88	1.60	356.44
<b>TL</b>	0.75	523.57	0.60	454.26	0.71	505.03	0.65	477.41
<b>TM</b>	17.71	473.51	22.00	571.38	22.00	571.38	18.80	499.17
<b>TLHD</b>	1.62	568.3	1.55	550.04	1.45	521.28	1.30	407.63
<b>TLHB</b>	2.02	1360.8	0.85	321.31	0.71	242.65	0.69	269.15
<b>SCT</b>	1.33	392.61	0.92	292.74	1.14	350.30	0.65	215.91
<b>MEX</b>	3.10	1827.36	3.00	702.11	2.85	629.47	2.60	522.68
	<b>Promedio</b>	748.33	<b>Promedio</b>	417.97	<b>Promedio</b>	414.72	<b>Promedio</b>	360.52

*Tabla 7.15. Resumen de Desplazamientos máximos. Análisis No Lineal Historia-Tiempo*

### 7.3.2 Cálculo de Cortante Basal

El cortante basal generado en la base del modelo estructural se lo calculó como la suma vectorial del cortante basal en el sentido X y Y. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada método.

#### Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05

La Figura 7.9 muestra la curva Cortante Basal-Tiempo para el registro CDFA, además se puede ver el cortante basal máximo. En la Tabla 7.16 se puede ver el resumen de los cortantes basales obtenidos para este método de escalamiento.

#### A. No Lineal - Cortante Máximo - CDFA

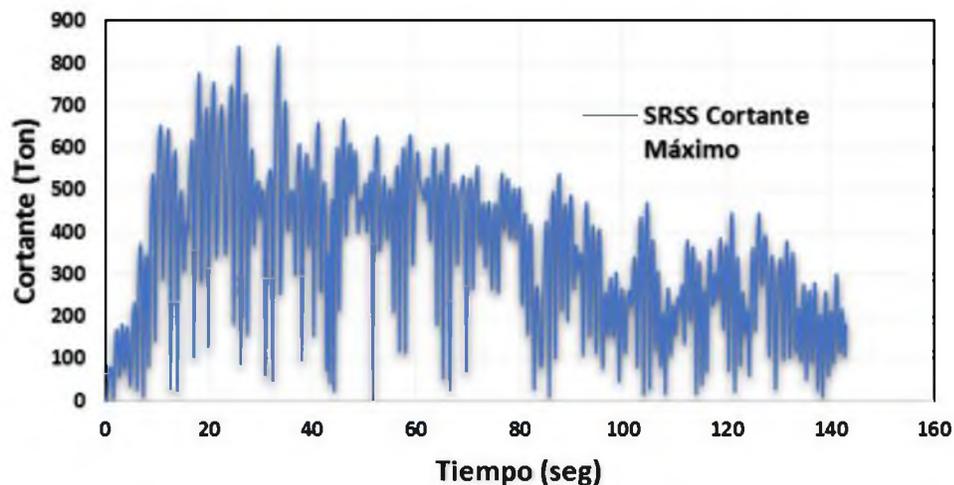


Figura 7.9. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis No Lineal. FEMA 450/ ASCE 7-05

	<b>FEMA450/ ASCE 7-05</b>	
	<b>Factor<sub>corregido</sub></b>	<b>Cortante</b>
		Ton
<b>CDAF</b>	2.59	840.29
<b>SXVI</b>	7.06	757.27
<b>TXSO</b>	1.94	648.67
<b>TL</b>	0.75	693.57
<b>TM</b>	17.71	652.76
<b>TLHD</b>	1.62	692.88
<b>TLHB</b>	2.02	1030.18
<b>SCT</b>	1.33	745.67
<b>MEX</b>	3.10	1201.25
	<b>Promedio</b>	806.95

*Tabla 7.16. Resumen de Cortantes Basales. Método FEMA 450/ ASCE 7-05. Análisis No Lineal*

#### Método de Escalamiento al Periodo Objetivo

La Figura 7.10 muestra la curva Cortante Basal-Tiempo para el registro CDFA, además se puede ver el cortante basal máximo. En la Tabla 7.17 se puede ver el resumen de los cortantes basales para este método de escalamiento.

### A. No Lineal - Cortante Máximo - CDFA - T. Obj

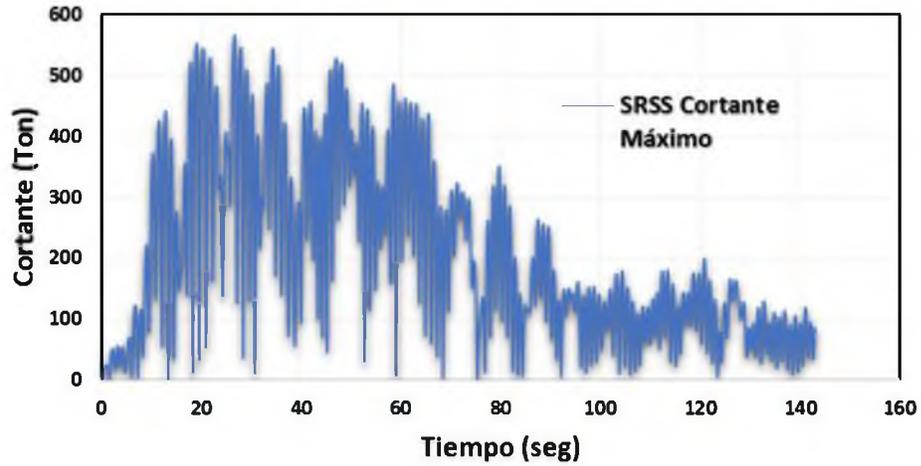


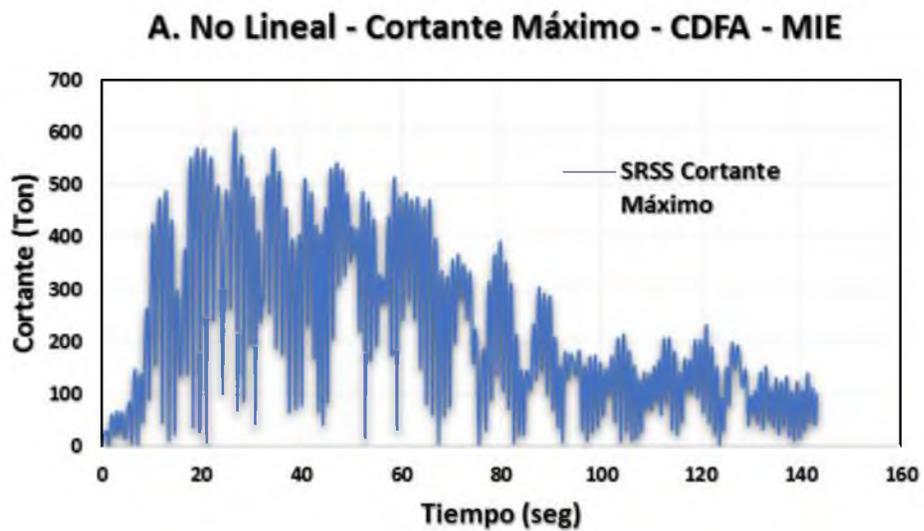
Figura 7.10. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis No Lineal. Periodo Objetivo

	PERIODO OBJETIVO	
	Factor	Cortante
		Ton
<b>CDAF</b>	0.76	565.39
<b>SXVI</b>	3.10	605.05
<b>TXSO</b>	1.65	616.98
<b>TL</b>	0.60	646.47
<b>TM</b>	22.00	690.40
<b>TLHD</b>	1.55	688.25
<b>TLHB</b>	0.85	613.07
<b>SCT</b>	0.92	646.45
<b>MEX</b>	3.00	1166.97
	<b>Promedio</b>	693.23

Tabla 7.17. Resumen de Cortantes Basales. Periodo Objetivo. Análisis No Lineal

### Método Iterativo de Escalamiento

La Figura 7.11 muestra la curva Cortante Basal-Tiempo para el registro CDFA, además se puede ver el cortante basal máximo. En la Tabla 7.18 se puede ver el resumen de los cortantes basales para este método de escalamiento.



*Figura 7.11. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis No Lineal. Método Iterativo*

	<b>MÉTODO ITERATIVO</b>	
	<b>Factor</b>	<b>Cortante</b>
		Ton
<b>CDAF</b>	0.92	605.48
<b>SXVI</b>	3.51	613.20
<b>TXSO</b>	1.95	649.69
<b>TL</b>	0.71	681.68
<b>TM</b>	22.00	690.40
<b>TLHD</b>	1.45	679.45
<b>TLHB</b>	0.71	593.15
<b>SCT</b>	1.14	704.37
<b>MEX</b>	2.85	1118.78
	<b>Promedio</b>	704.02

*Tabla 7.18. Resumen de Cortantes Basales. Método Iterativo. Análisis No Lineal*

#### Método por Normalización de Espectro

La Figura 7.12 muestra la curva Cortante Basal-Tiempo para el registro CDFA, además se puede ver el cortante basal máximo. En la Tabla 7.19 se puede ver el resumen de los cortantes basales para este método de escalamiento.

### A. No Lineal - Cortante Máximo - CDFA - MNE

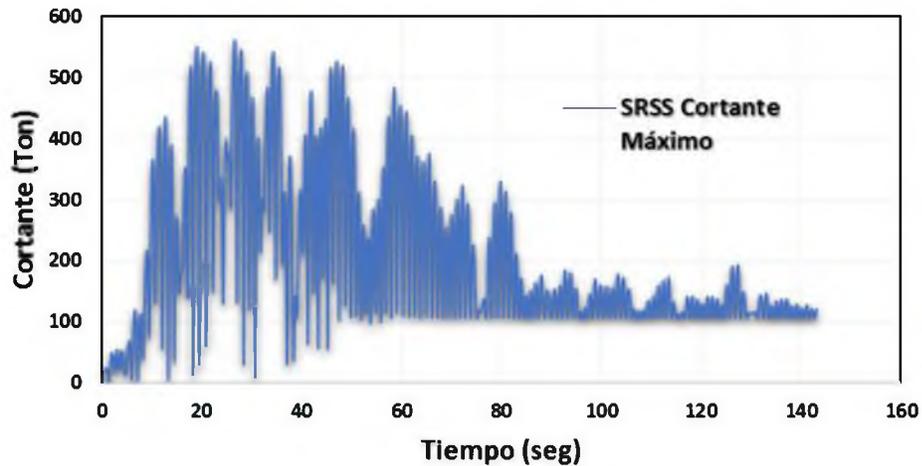


Figura 7.12. Curva Cortante Basal – Tiempo. Registro CDFA. Análisis No Lineal. Normalización de Espectro

	NORMALIZACION DE ESP.	
	Factor	Cortante
		Ton
<b>CDAF</b>	0.74	560.38
<b>SXVI</b>	2.80	581.58
<b>TXSO</b>	1.60	611.17
<b>TL</b>	0.65	663.49
<b>TM</b>	18.80	663.07
<b>TLHD</b>	1.30	659.90
<b>TLHB</b>	0.69	590.11
<b>SCT</b>	0.65	596.49
<b>MEX</b>	2.60	1038.49
	<b>Promedio</b>	662.74

Tabla 7.19. Resumen de Cortantes Basales. M. Normalización de Espectro. Análisis No Lineal

En la Tabla 7.20 se muestra el resumen de los cortantes basales máximos obtenidos por el Análisis No Lineal Historia-Tiempo.

	FEMA450/ ASCE 7-05		PERIODO OBJETIVO		MÉTODO ITERATIVO		NORMALIZACION DE ESP.	
	Factor <sub>corregido</sub>	Cortante	Factor	Cortante	Factor	Cortante	Factor	Cortante
		Ton		Ton		Ton		Ton
<b>CDAF</b>	2.59	840.29	0.76	565.39	0.92	605.48	0.74	560.38
<b>SXVI</b>	7.06	757.27	3.10	605.05	3.51	613.20	2.80	581.58
<b>TXSO</b>	1.94	648.67	1.65	616.98	1.95	649.69	1.60	611.17
<b>TL</b>	0.75	693.57	0.60	646.47	0.71	681.68	0.65	663.49
<b>TM</b>	17.71	652.76	22.00	690.40	22.00	690.40	18.80	663.07
<b>TLHD</b>	1.62	692.88	1.55	688.25	1.45	679.45	1.30	659.90
<b>TLHB</b>	2.02	1030.18	0.85	613.07	0.71	593.15	0.69	590.11
<b>SCT</b>	1.33	745.67	0.92	646.45	1.14	704.37	0.65	596.49
<b>MEX</b>	3.10	1201.25	3.00	1166.97	2.85	1118.78	2.60	1038.49
	<b>Promedio</b>	806.95	<b>Promedio</b>	693.23	<b>Promedio</b>	704.02	<b>Promedio</b>	662.74

*Tabla 7.20. Resumen de cortantes basales máximos. Análisis No Lineal Historia-Tiempo*

## 7.4 Comparación de los Efectos de los Métodos Analizados

### Cálculo de Desplazamiento y Cortante Basal Teórico

Se realizaron estos cálculos con la finalidad de compararlos con los métodos estudiados y ver cuál es el método que más se asemeja a los resultados teóricos, de acuerdo de NEC 14.

- *Para un periodo objetivo de 3 segundos*

Aceleración Espectral;	$S_a=0.35g$
Desplazamiento Espectral;	$S_d=S_a*g*T^2/4\pi^2$ <b><math>S_d=783mm</math></b>
Cortante Basal;	$V=S_a*W=0.35(5231Ton)=1569 Ton$

### Desplazamiento Basal – Análisis Lineal

La Tabla 7.21 indica un resumen comparativo de desplazamientos del análisis lineal. El mayor desplazamiento se produjo con el método de escalamiento propuesto por FEMA450/ ASCE 7-05, lo cual se considera razonable debido a que ese método considera un rango de periodo grande comparado con los métodos propuestos en este trabajo. Para tener una mejor apreciación de la diferencia entre los desplazamientos, en la Tabla 7.22 se ha calculado la razón entre el promedio de cada método y los cálculos teóricos.

	<b>Promedio (mm)</b>
<b>FEMA 450/ ASCE 7-05</b>	989.12
<b>T. OBJ</b>	605.74
<b>MIE</b>	648.19
<b>MNE</b>	537.1

*Tabla 7.21. Resumen comparativo de Desplazamientos. Análisis Lineal*

	Promedio (mm)	Promedio/Teórico
<b>Teórico</b>	<b>783</b>	
<b>FEMA 450/ ASCE 7-05</b>	<b>989.12</b>	<b>126%</b>
<b>T. OBJ</b>	<b>605.74</b>	<b>77%</b>
<b>MIE</b>	<b>648.19</b>	<b>83%</b>
<b>MNE</b>	<b>537.1</b>	<b>69%</b>

*Tabla 7.22. Razón de desplazamientos, métodos evaluados y teórico. Análisis Lineal*

Se puede observar que el desplazamiento que más se asemeja al teórico es el producido por el MIE.

#### Cortante Basal – Análisis Lineal

La Tabla 7.23 muestra el resumen de los cortantes basales obtenidos del análisis. Para tener una mejor apreciación de los resultados de muestra la Tabla 7.24, se ha calculado la razón entre el promedio de cada método y los cálculos teóricos.

	Cortante Basal
	Ton
<b>FEMA450/ ASCE 7-05</b>	1883.22
<b>T. OBJ</b>	1167.56
<b>MIE</b>	1223.44
<b>MNE</b>	1134.22

*Tabla 7.23. Resumen de Cortantes Basales. Análisis Lineal*

	Promedio (Ton)	Promedio/Teórico
Teórico	1569	
FEMA 450/ ASCE 7-05	2515.39	160%
T. OBJ	1540.44	98%
MIE	1648.39	105%
MNE	1365.88	87%

Tabla 7.24. Razón de cortantes, métodos evaluados y teórico. Análisis Lineal

Se puede observar que el cortante obtenido con el método FEMA 450 es un 60% mayor, mientras que los métodos propuestos nos dan resultados más aproximados al teórico.

#### Desplazamiento Basal – Análisis No Lineal

La Tabla 7.25 indica un resumen comparativo de desplazamientos del análisis no lineal. Para tener una mejor apreciación de la diferencia entre los desplazamientos.

	Desplazamiento Máx.
	mm
FEMA450/ ASCE 7-05	748.33
PERIODO OBJETIVO	417.97
MÉTODO ITERATIVO	414.72
NORMALIZACION DE ESP.	360.52

Tabla 7.25. Resumen comparativo de Desplazamientos. Análisis No Lineal

### Cortante Basal – Análisis No Lineal

La Tabla 7.26 muestra el resumen de los cortantes basales obtenidos del análisis no lineal.

	<b>Cortante Basal</b>
	<b>Ton</b>
<b>FEMA450/ ASCE 7-05</b>	626.78
<b>PERIODO OBJETIVO</b>	611.67
<b>MÉTODO ITERATIVO</b>	608.89
<b>NORMALIZACION DE ESP.</b>	578.22

*Tabla 7.26. Resumen de Cortantes Basales. Análisis no Lineal*

## CAPÍTULO 8

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 Conclusiones

El uso del sistema de aislación en Estructuras de Edificaciones evidentemente resultó ser eficiente esto se pudo apreciar al revisar los desplazamientos máximos y las derivas de piso en el análisis espectral lineal. La reducción se produjo debido a que los aisladores de base absorben la energía provocada por un movimiento de suelo.

El método de escalamiento FEMA 450/ASCE 7-05 tuvo factores de escala corregidos mucho mayores a los obtenidos por el método de escalamiento al Periodo Objetivo como se sospechó al comienzo del trabajo de titulación. En algunos casos como es el registro SXVI el factor llegó a ser el doble. Es posible que esto se deba a que los registros sísmicos de suelo blando utilizados no coinciden con el sitio de estudio en todos sus requerimientos. Otra causa podría ser que el rango de periodos de FEMA es muy extenso.

El Método Iterativo de Escalamiento (MIE), intenta capturar el efecto del cambio en la rigidez (periodo) del sistema de aislación debido a la excitación sísmica. El MIE intenta respetar la ley constitutiva de los aisladores sísmicos (relación fuerza-desplazamiento) y sus características dinámicas (periodo natural de vibración).

En el Método de Normalización de Espectros (MNE) el factor de escalamiento depende de las propiedades “reales” del sistema de aislación. En general, el MNE da factores de escalamiento menores que los calculados en el MIE y el escalamiento al Periodo Objetivo. En todos los casos el factor de

escalamiento obtenido en el MNE es mucho menor al método especificado en FEMA 450/ASCE 7-05.

El análisis Historia-Tiempo realizado en el modelo simplificado más el sistema de aislación sísmica, permitió hacer las siguientes conclusiones. En el análisis lineal tanto el cortante basal como el desplazamiento máximo fueron consistentes con los factores de escala obtenidos, es decir el modelo mostró resultados mayores para el método FEMA 450/ ASCE 7-05, al compararlo con los demás métodos evaluados.

Los cortantes basales y desplazamientos del sistema de aislación que resultaron más cercanos a los esperados se obtuvieron por medio del método iterativo de escalamiento.

En el análisis no lineal las repuestas de cortante basal y desplazamientos mantuvieron el mismo patrón mostrado en el análisis lineal.

Al comparar los resultados obtenidos en el análisis lineal con el análisis no lineal el desplazamiento máximo se ve reducido en todos los métodos de escalamiento, esto pudo ser debido a que el análisis no lineal considera la histéresis del aislador y por lo tanto se produce un amortiguamiento de los efectos del sismo.

De esta forma se completó el cálculo de los efectos que tienen los métodos estudiados en un análisis Historia-Tiempo lineal y no lineal. Como queda demostrado los métodos propuestos presentan valores muy congruentes al ser comparados con el método recomendado por FEMA 450.

## **8.2 Recomendaciones**

Se recomienda realizar una búsqueda más exhaustiva para encontrar registros sísmicos de Guayaquil que cumplan con los requisitos propuestos por FEMA 450.

Este trabajo de titulación se limitó a calcular los efectos de los métodos de escalamiento propuestos y se podría ampliar su estudio realizando un diseño de un edificio mediante un análisis Historia-Tiempo utilizando aisladores de base o algún tipo de disipador de energía y comparar los efectos a nivel de fuerzas internas y eficiencia de los elementos versus un diseño convencional, es decir utilizando un análisis espectral lineal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society of Civil Engineers. (2005). En A. S. ENGINEERS, *Minimum Design Loads and Others Structures*. Reston, Virginia.

American Society of Civil Engineers. (2005). CHAPTER 17: SEISMIC DESIGN REQUIREMENTS FOR SEISMICALLY ISOLATED STRUCTURES. En A. S. Engineer, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Reston, Virginia 2019 : American Society of Civil Engineers 1801 Alexander Bell Drive .

American Society of Civil Engineers. (2010). SEISMIC DESIGN REQUIREMENTS FOR SEISMICALLY ISOLATED STRUCTURES. En A. S. Engineers, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Reston, Virginia 20191: American Society of Civil Engineers 1801 Alexander Bell Drive .

Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency . (2004). SEISMICALLY ISOLATED STRUCTURE DESIGN REQUIREMENTS . En *NEHRP RECOMMENDED PROVISIONS FOR SEISMIC REGULATIONS FOR NEW BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES (FEMA 450)* . Washington, D.C.

CALIFORNIA SEISMIC SAFETY COMMISSION. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. California.

CHOPRA, A. K. (2014). *Dinámica de Estructuras*. MEXICO: PEARSON EDUCACIÓN.

CLOUHG, R. W., & PENZIEN, J. (1995). *DINAMICS OF STRUCTURES*. BERKELEY.

Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción. (2015). Protección Sísmica de Estructuras Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía. *Documentos Técnicos Corporación de Desarrollo Tecnológico N° 29*, 43.

EARTHQUAKE, U. (Noviembre de 2015). *USGS EARTHQUAKE*. Obtenido de [http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/events/1985\\_09\\_19.php](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/events/1985_09_19.php)

Norma Ecuatoriana de la Construcción Nec-14. (2014). En *Capítulo 1: Cargas No Sísmicas*.

Norma Ecuatoriana de la Construcción Nec-14. (2014). En *PELIGRO SÍSMICO Diseño Sismo resistente*.

Recuero Forniés, A. (1981). *ANÁLISIS NO LINEAL Y REDISEÑO DE ESTRUCTURAS DE EDIFICACIÓN DE HORMIGÓN ARMADO*. España.

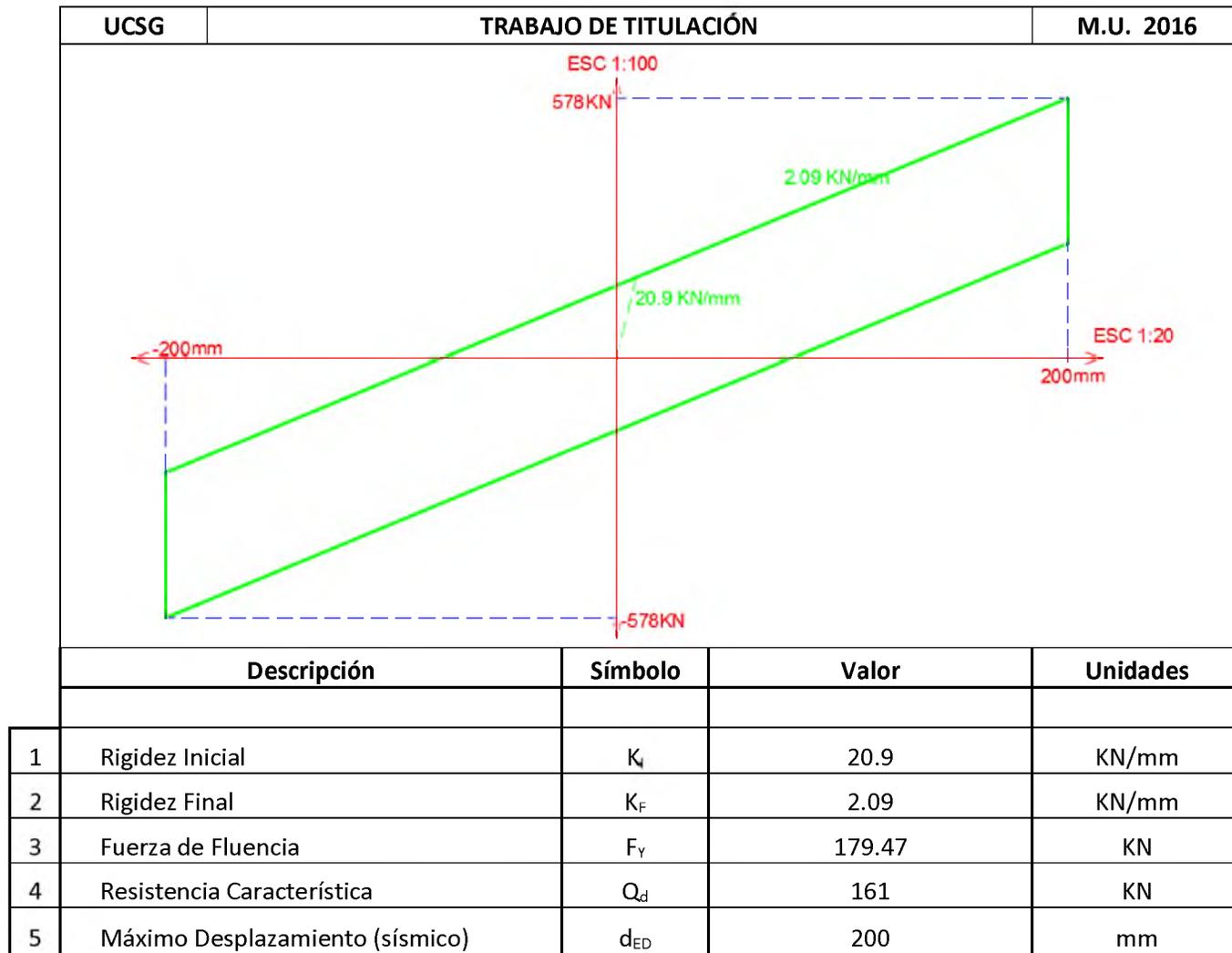
USGS. (Noviembre de 2015). *USGS EARTHQUAKE*. Obtenido de <http://earthquake.usgs.gov/archive/product/shakemap/atlas19850919131747/atlas/1422999205494/stationlist.html>

# **ANEXOS**

**Anexo 1: Componentes Horizontales de los Registros Sísmicos Utilizados**

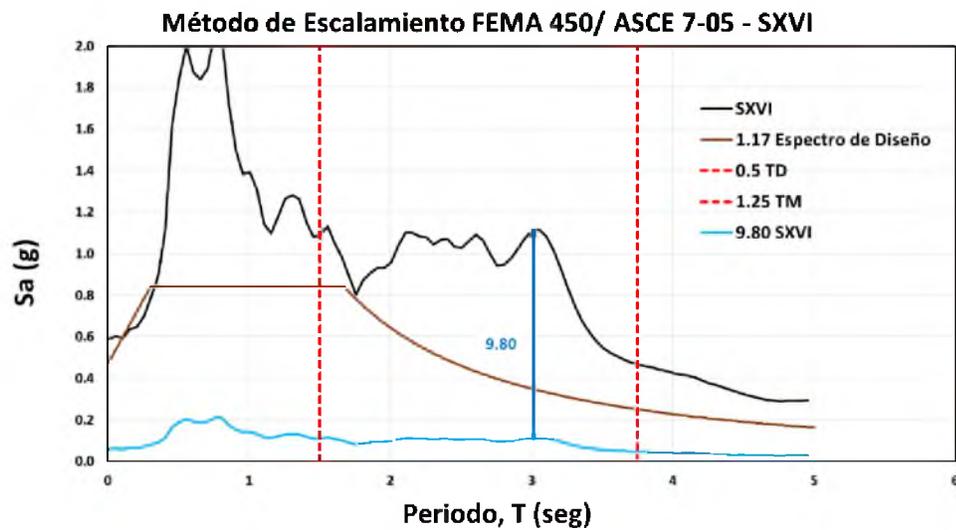
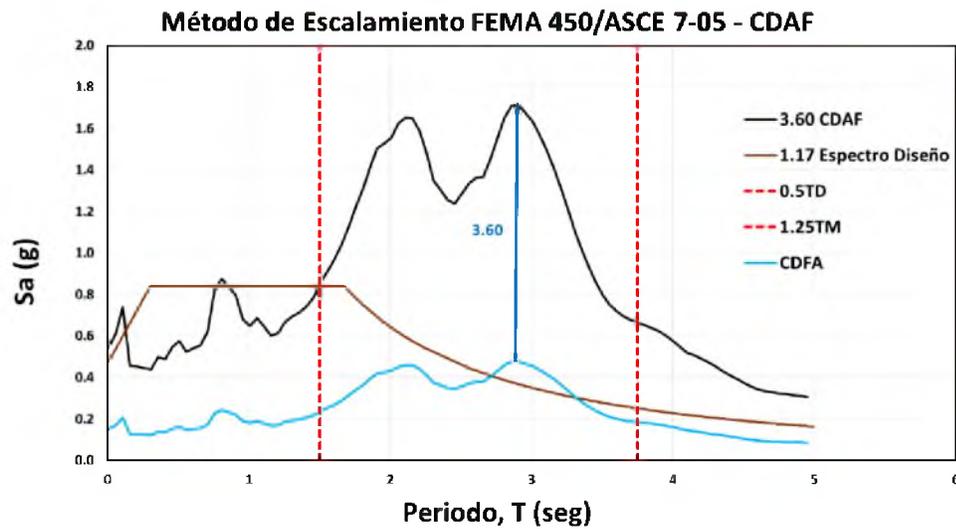
	<b>COMPONENTES</b>
CDAF	N00E
	N90E
SXVI	N32W
	N58E
TXSO	N00E
	N90W
TL	N00E
	N90W
TM	EW
	NS
TLHD	N90E
	S00E
TLHB	N90E
	S00E
SCT	N00E
	N90E
MEX	N00
	N90

## Anexo 2: Propiedades Dinámicas del Aislador de Base

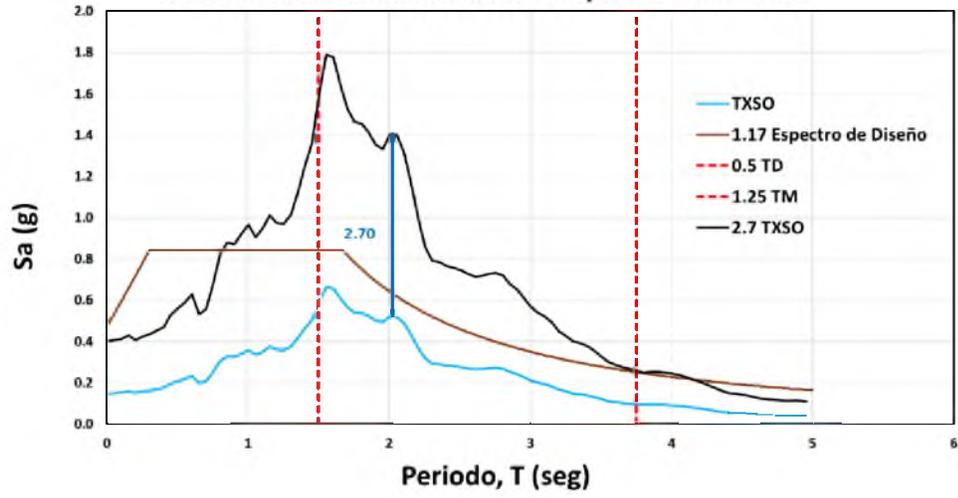


### Anexo 3: Gráficas obtenidas aplicando el Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05

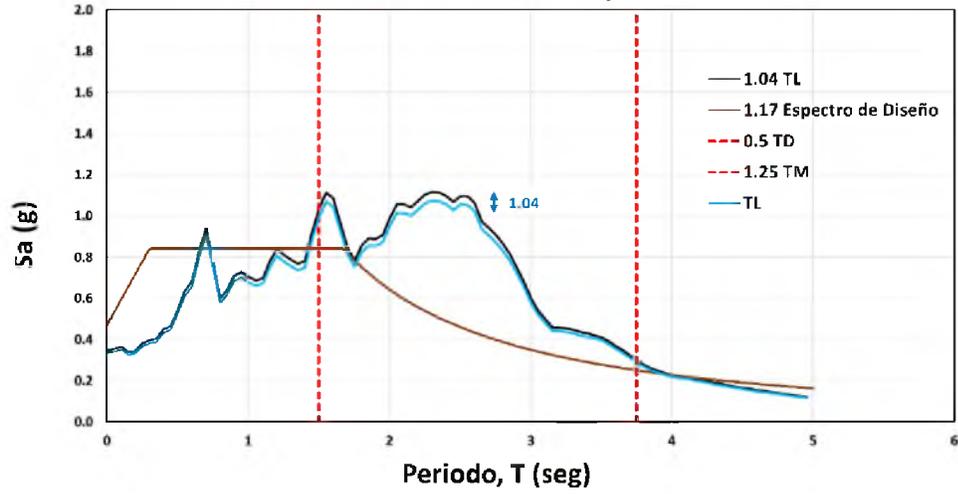
Las gráficas mostradas a continuación son el resultado de la aplicación del Método FEMA 450/ ASCE 7-05 a los 9 Registros Sísmicos Utilizados en este trabajo de titulación.

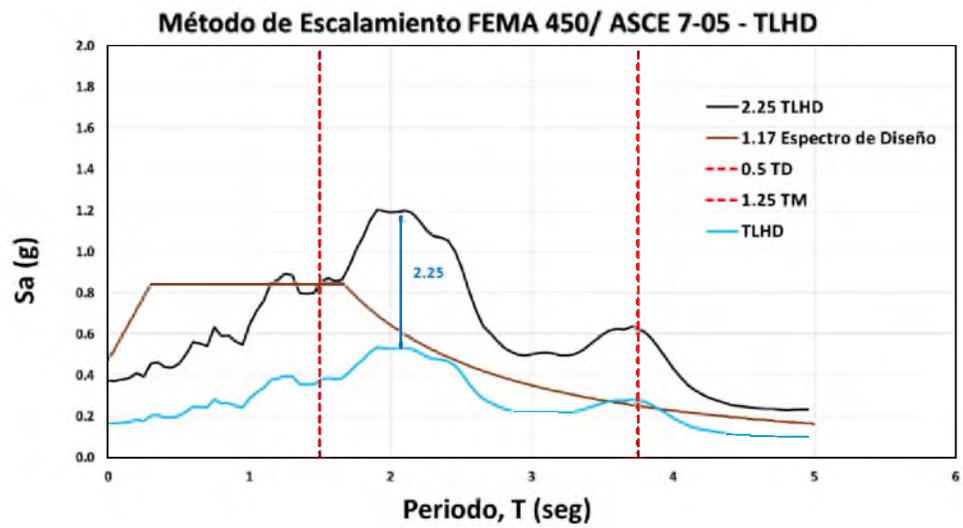
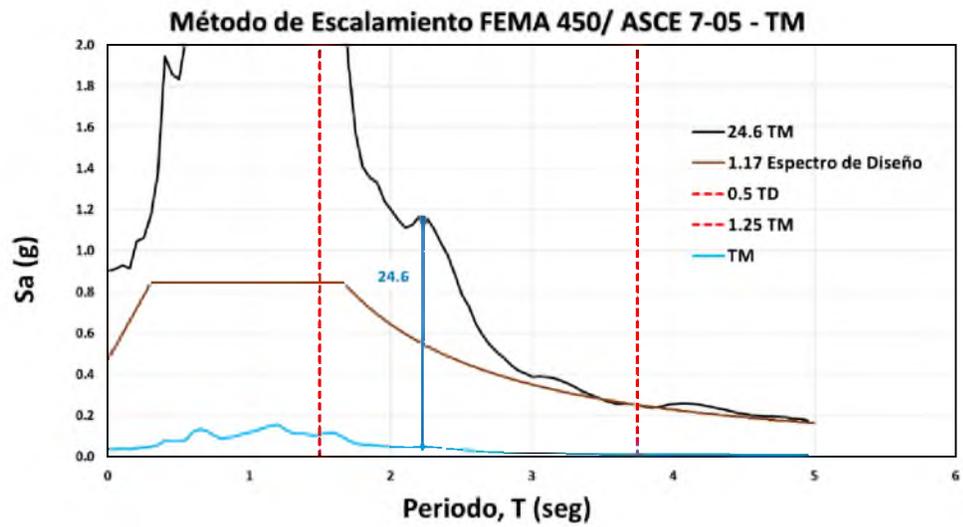


Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05 - TXSO

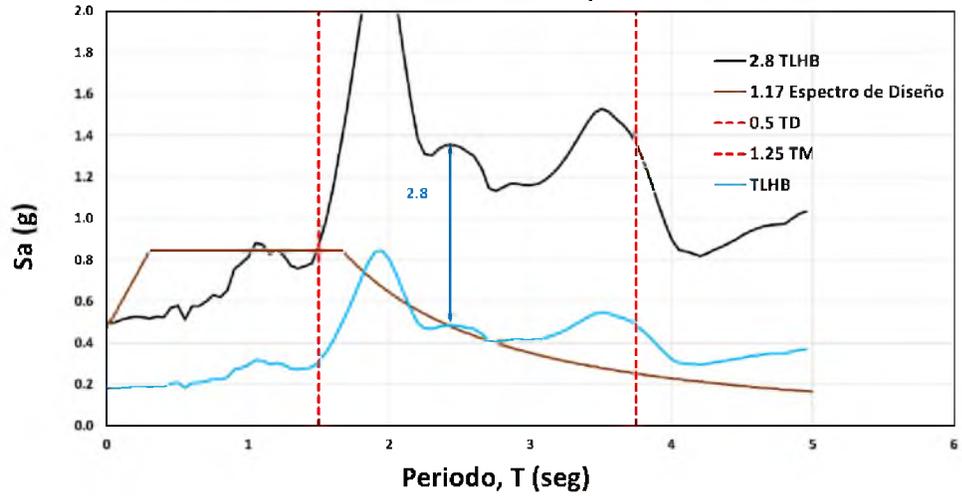


Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05 - TL

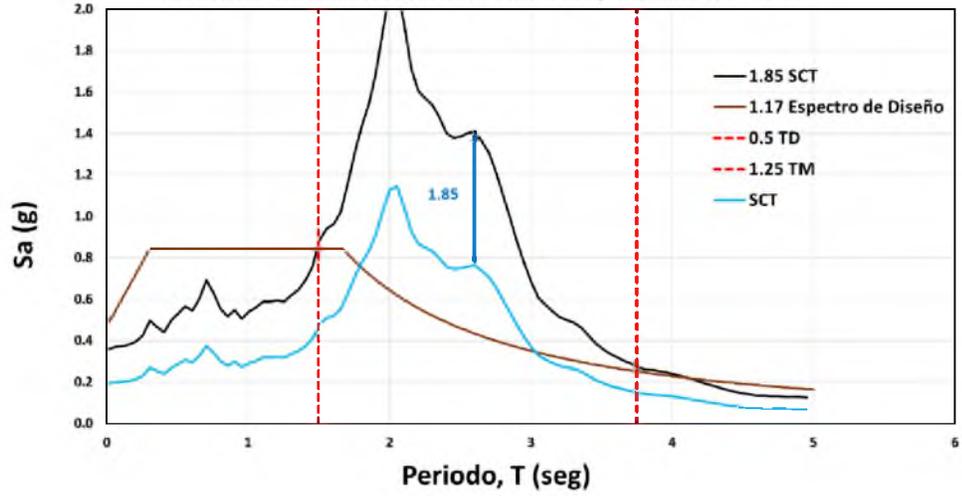




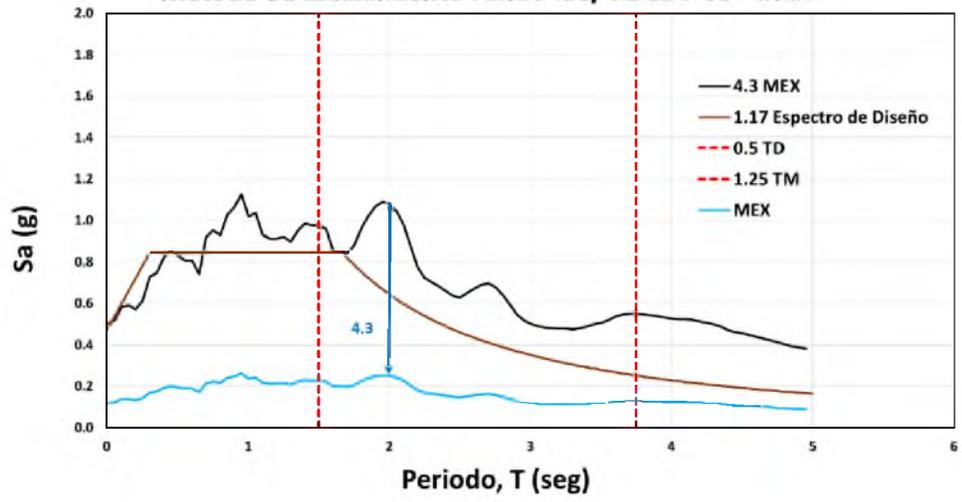
Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05 - TLHB



Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05 - SCT

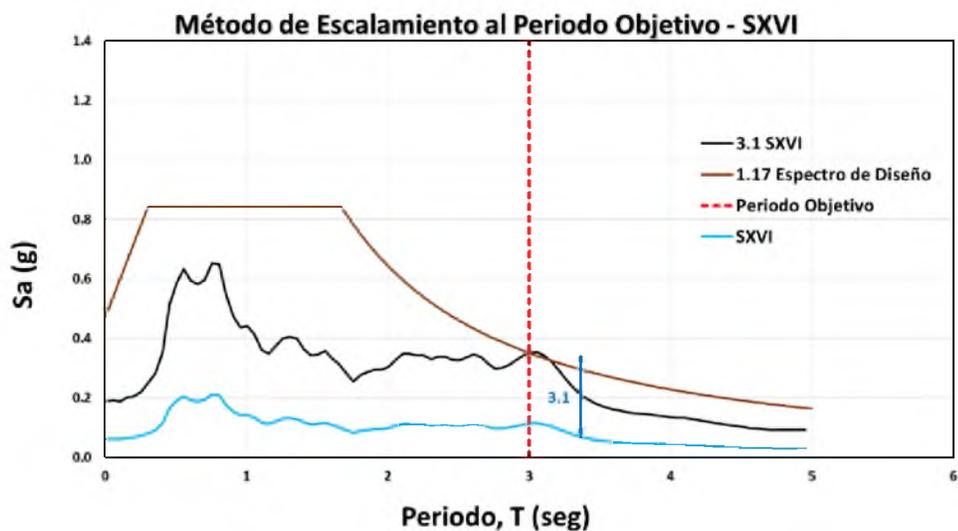
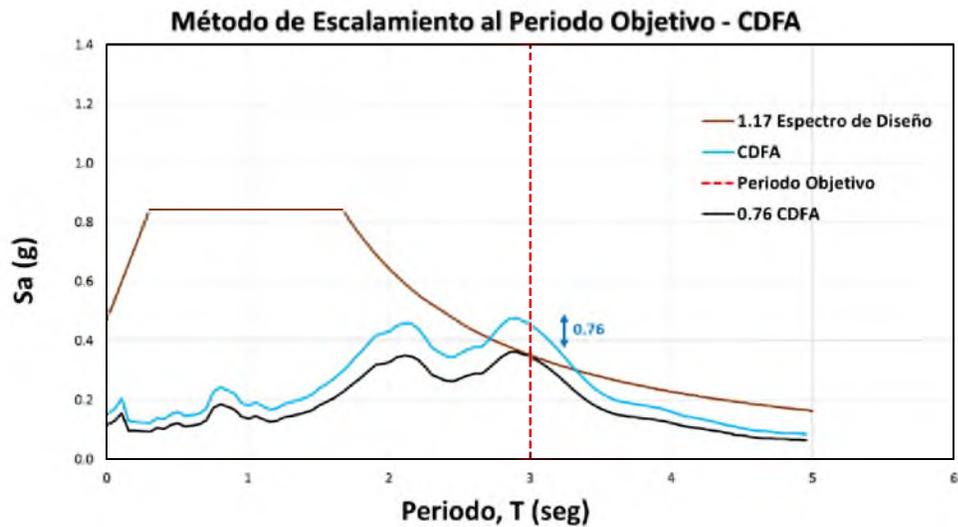


### Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05 - MEX

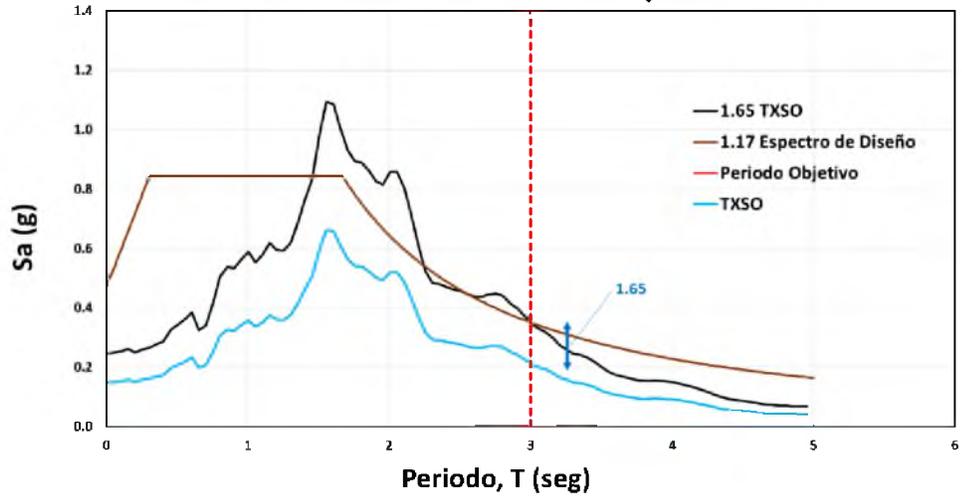


## Anexo 4: Gráficas obtenidas aplicando el Método de Escalamiento al Periodo Objetivo

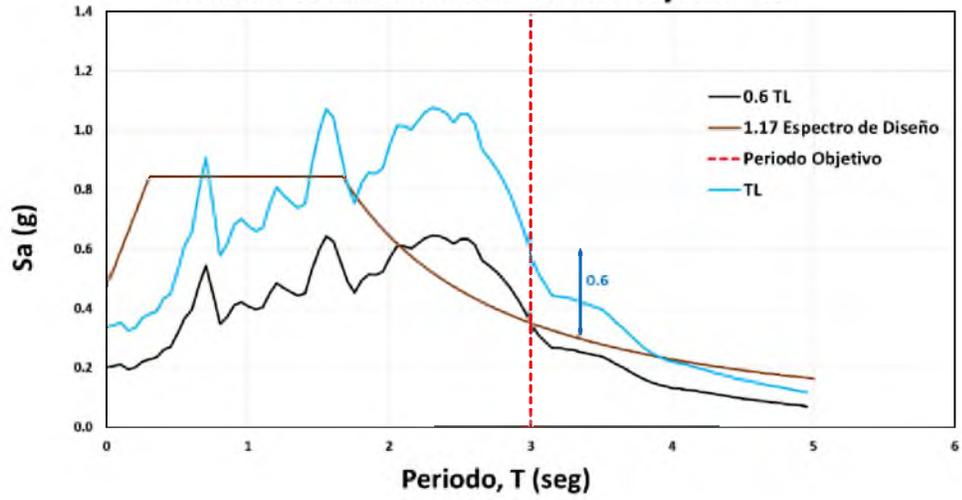
Las gráficas mostradas a continuación son el resultado de la aplicación del Método de Escalamiento al Periodo Objetivo a los 9 Registros Sísmicos utilizados en este trabajo de titulación.

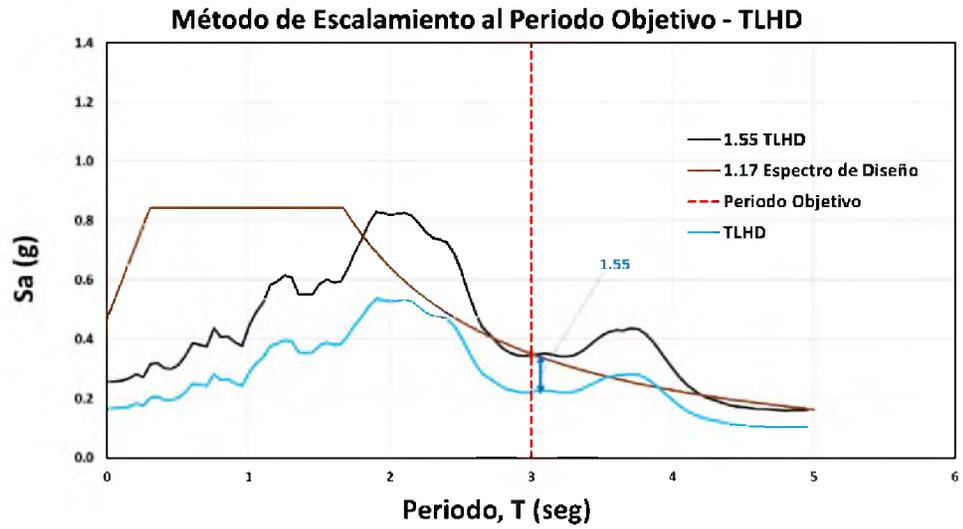
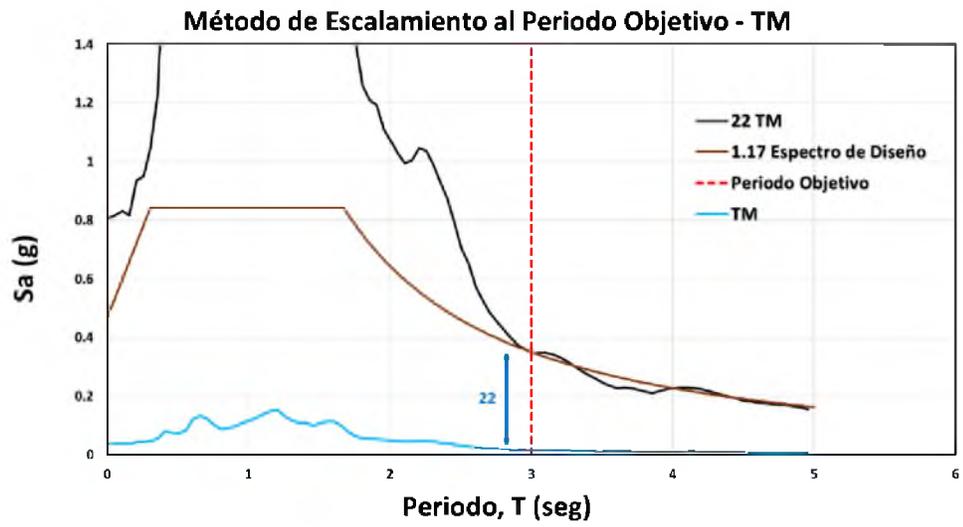


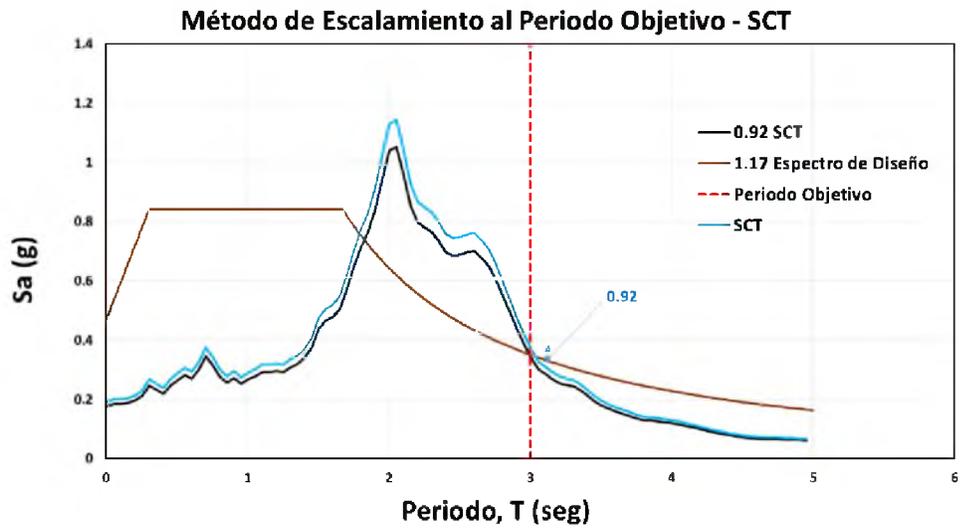
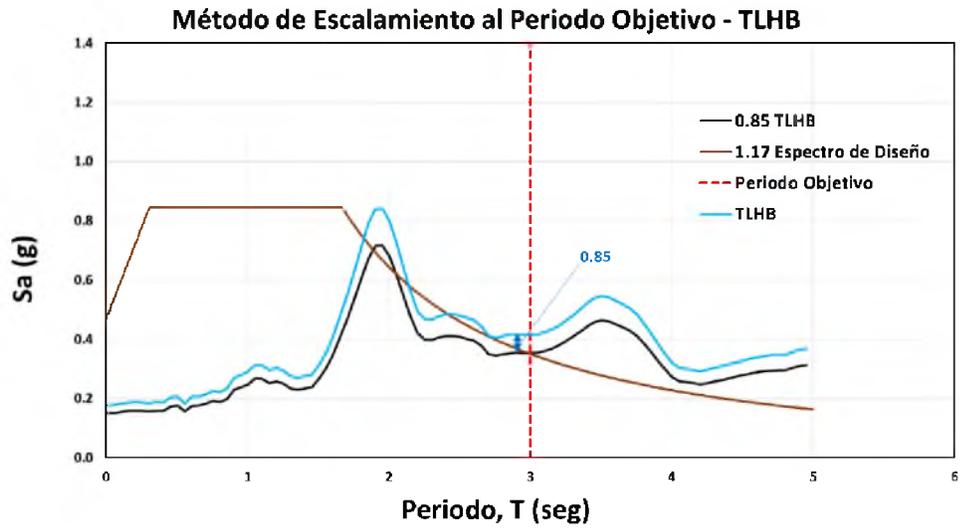
Método de Escalamiento al Periodo Objetivo - TXSO

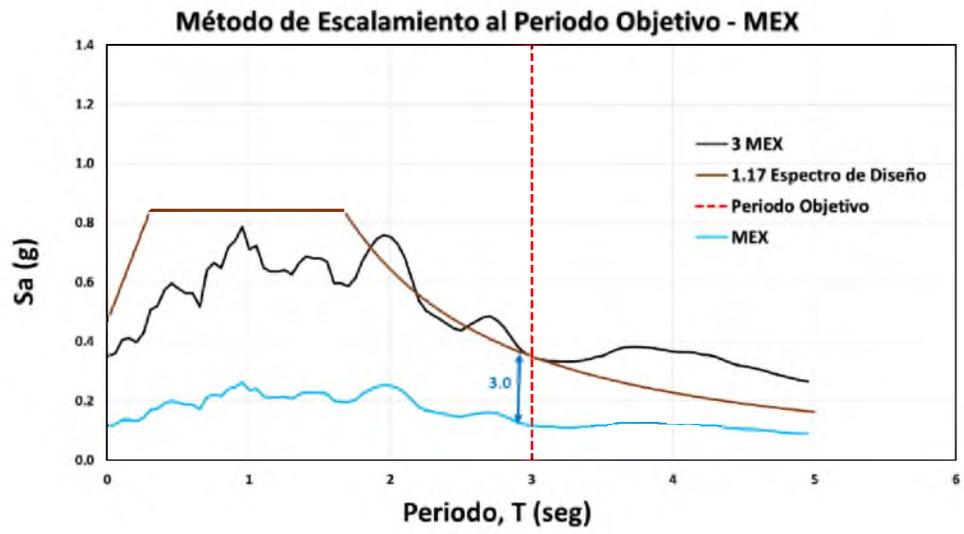


Método de Escalamiento al Periodo Objetivo - TL



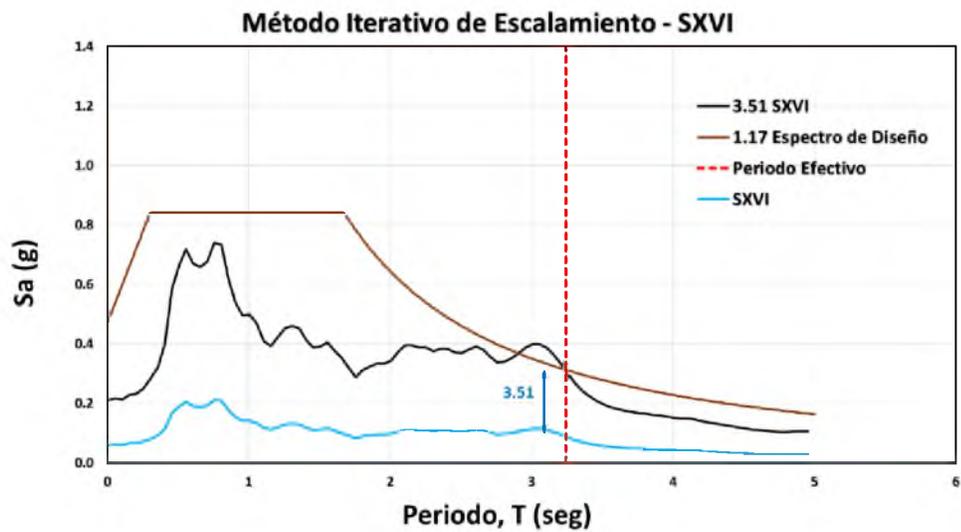
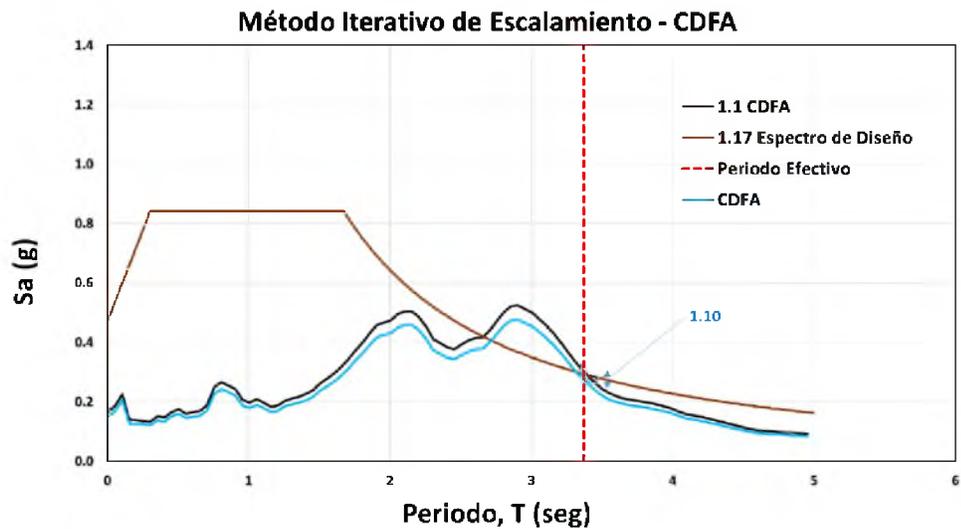


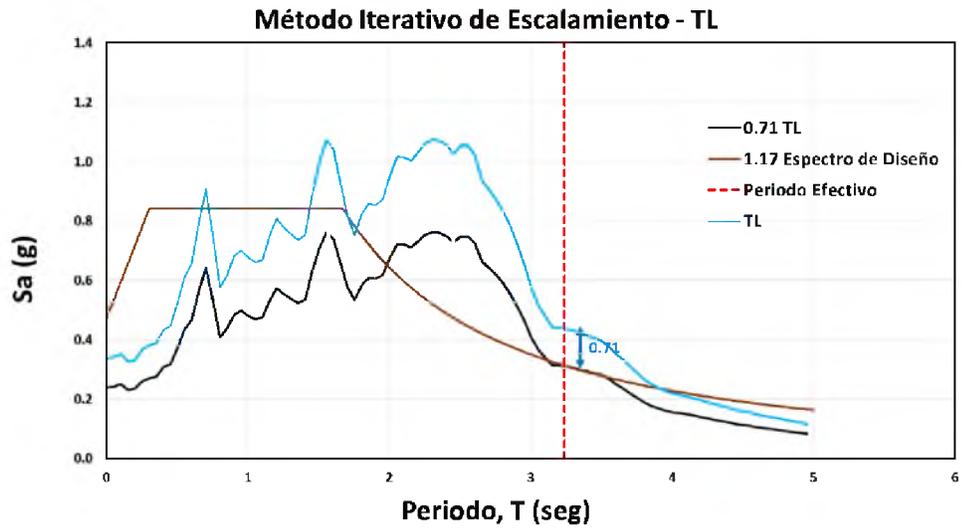
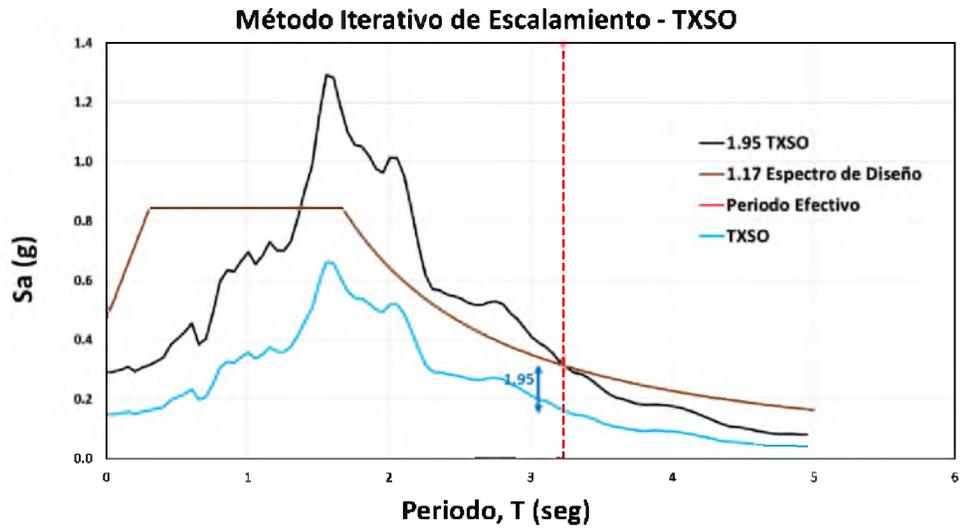


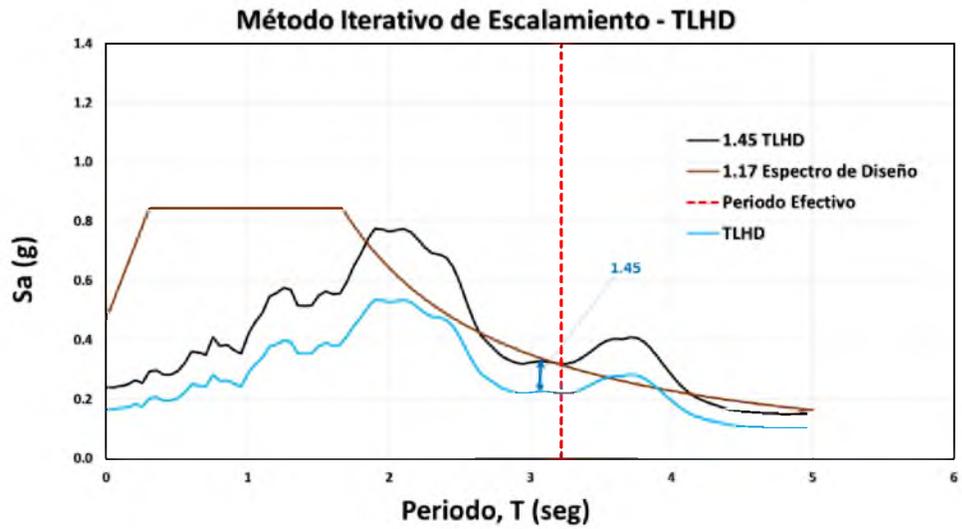
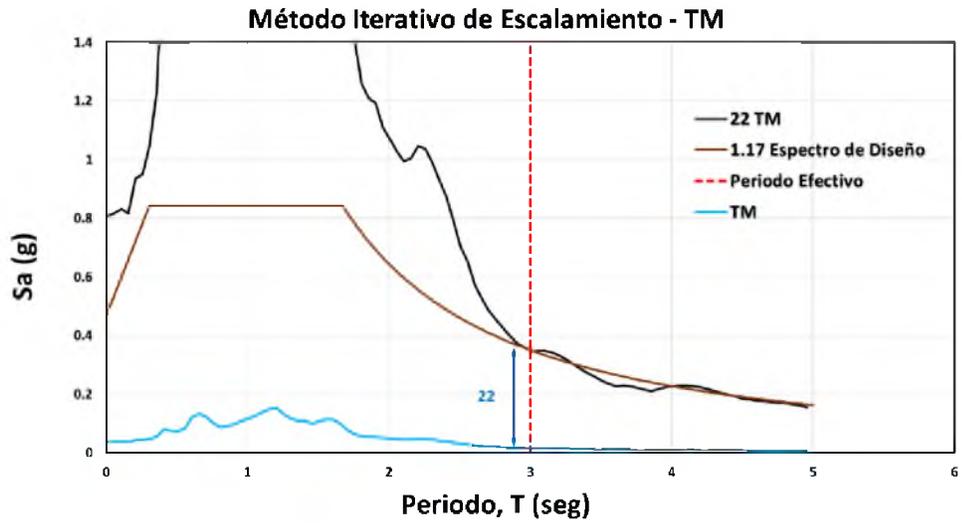


## Anexo 5: Gráficas obtenidas aplicando el Método Iterativo de Escalamiento

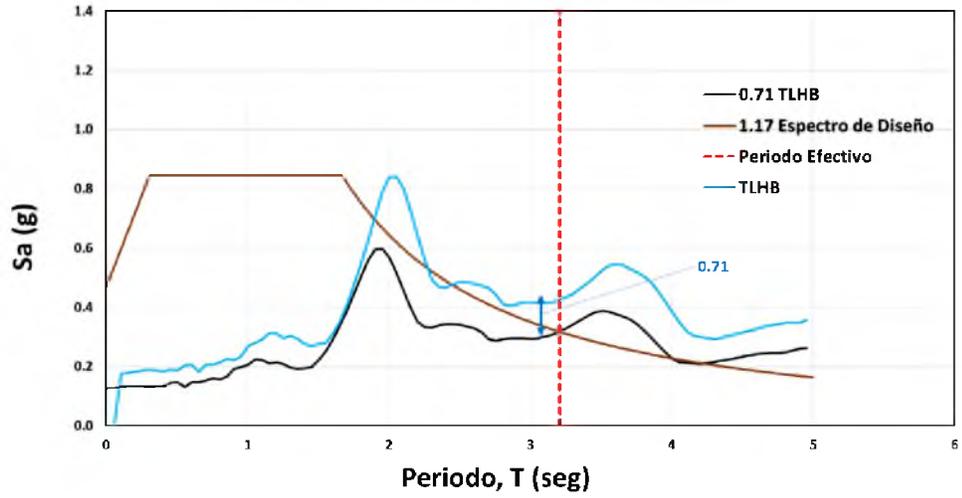
Las gráficas mostradas a continuación son el resultado de la aplicación del Método Iterativo de Escalamiento a los 9 Registros Sísmicos utilizados en este trabajo de titulación.



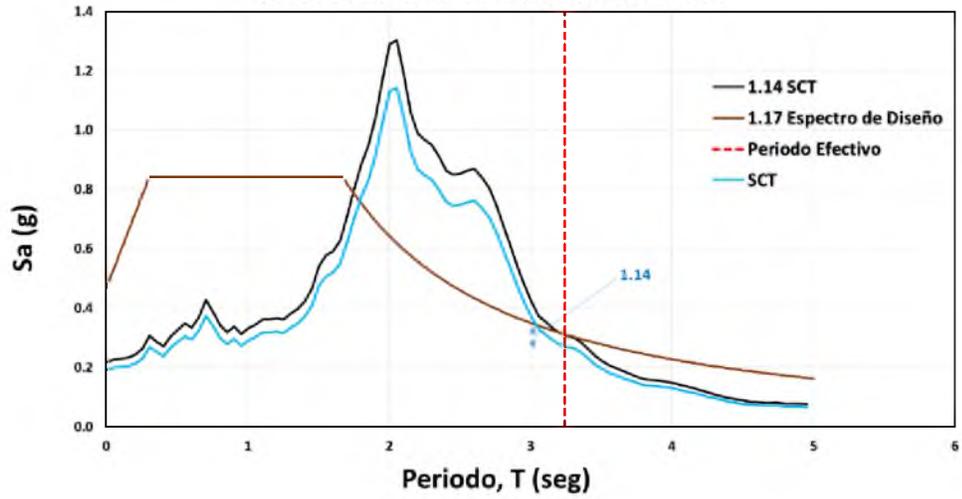




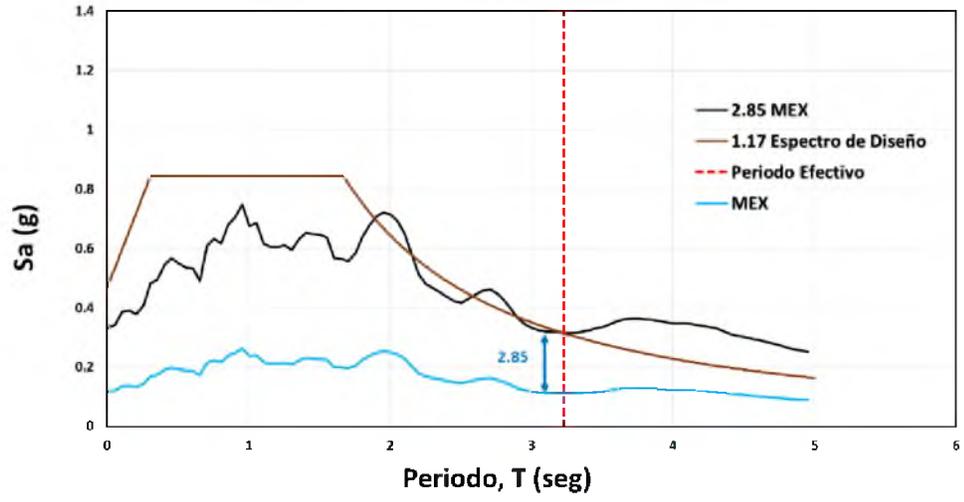
Método Iterativo de Escalamiento - TLHB



Método Iterativo de Escalamiento - SCT

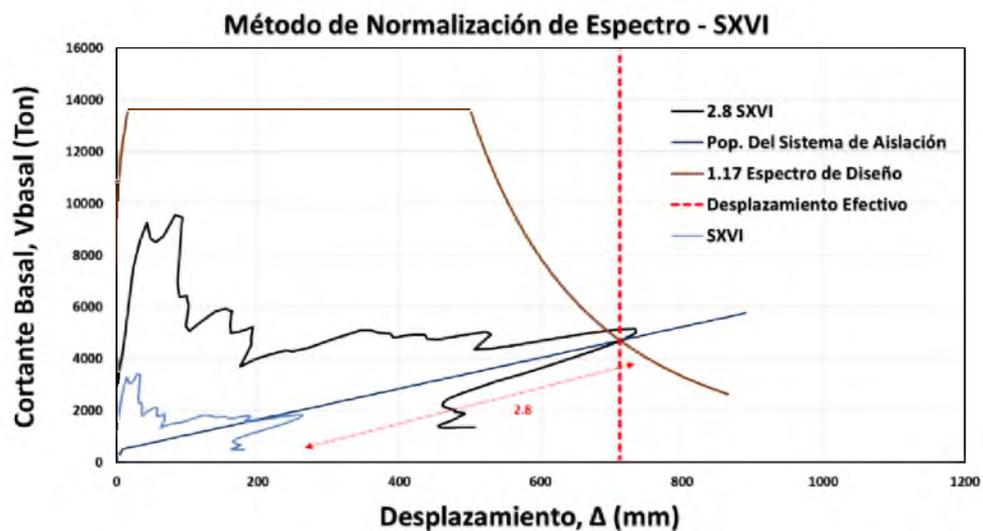
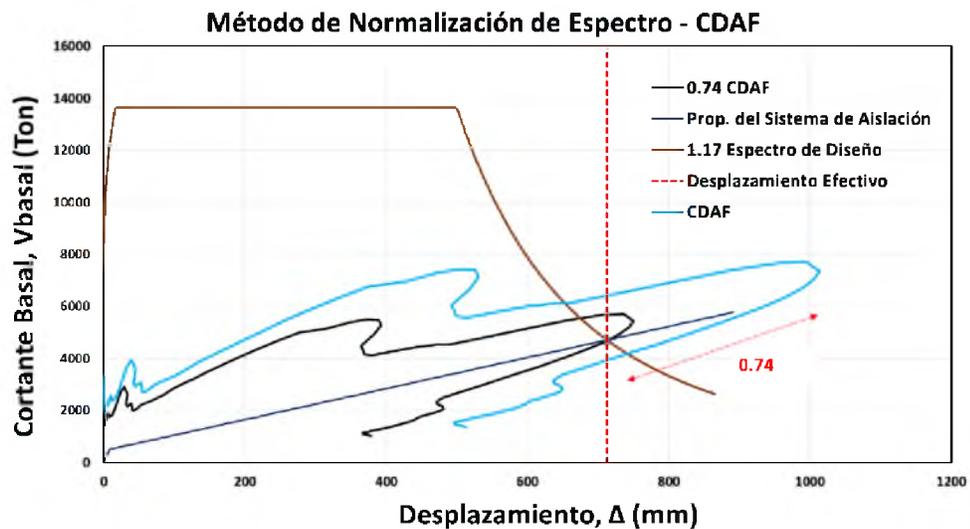


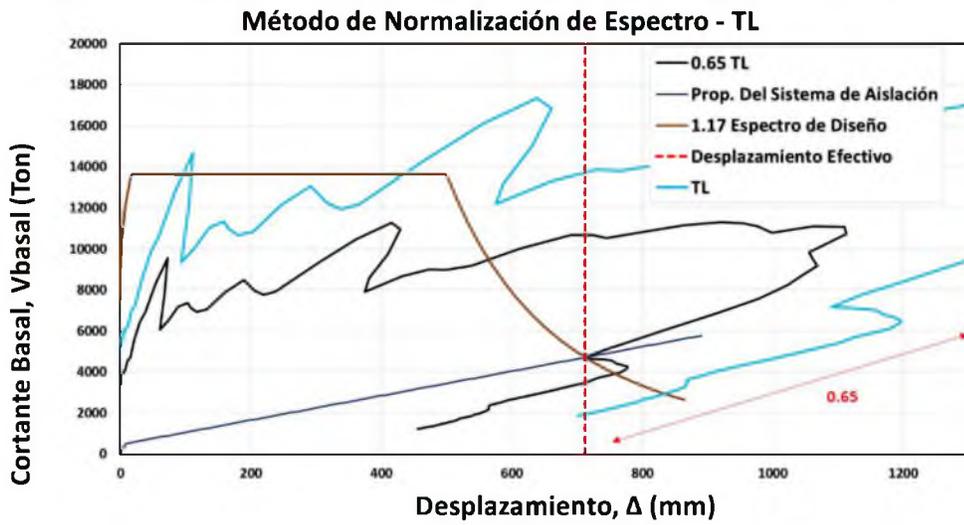
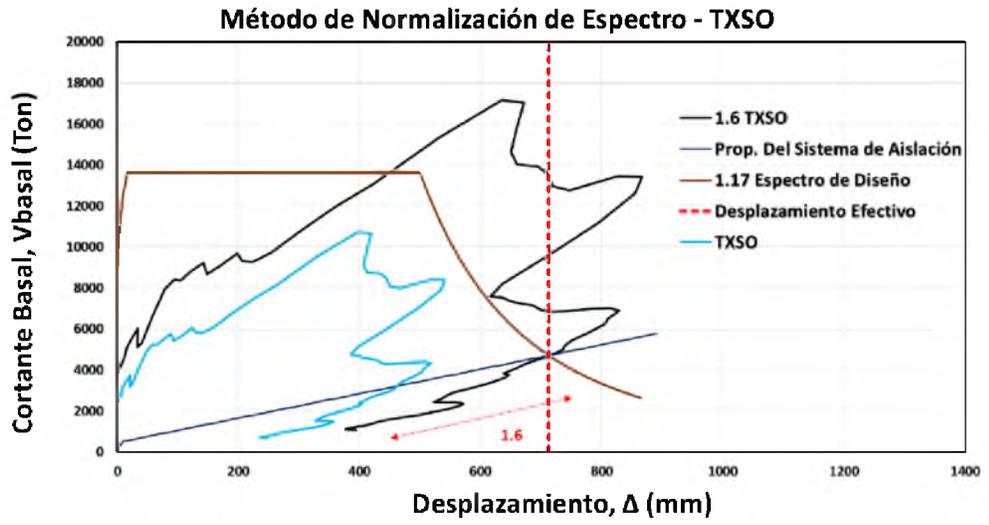
### Método Iterativo de Escalamiento - MEX



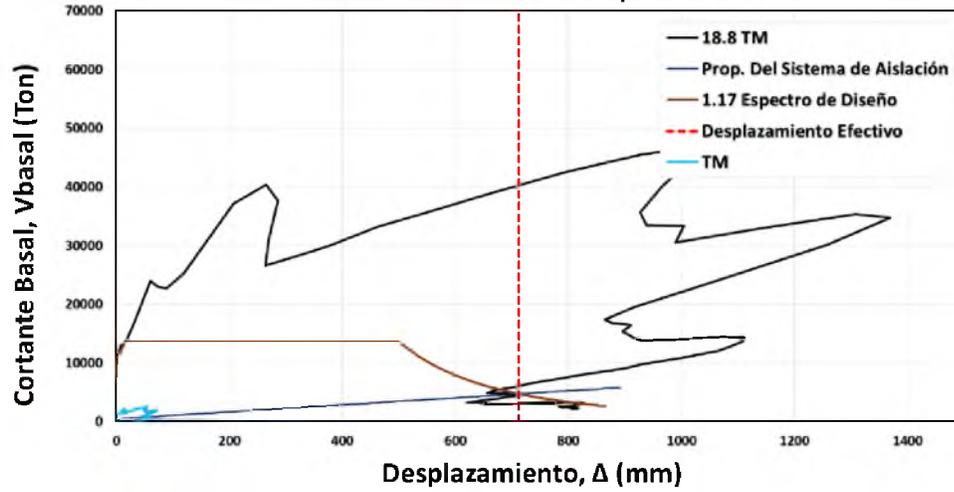
## Anexo 6: Gráficas obtenidas aplicando el Método de Normalización de Espectro

Las gráficas mostradas a continuación son el resultado de la aplicación del Método de Normalización de Espectro a los 9 Registros Sísmicos utilizados en este trabajo de titulación.

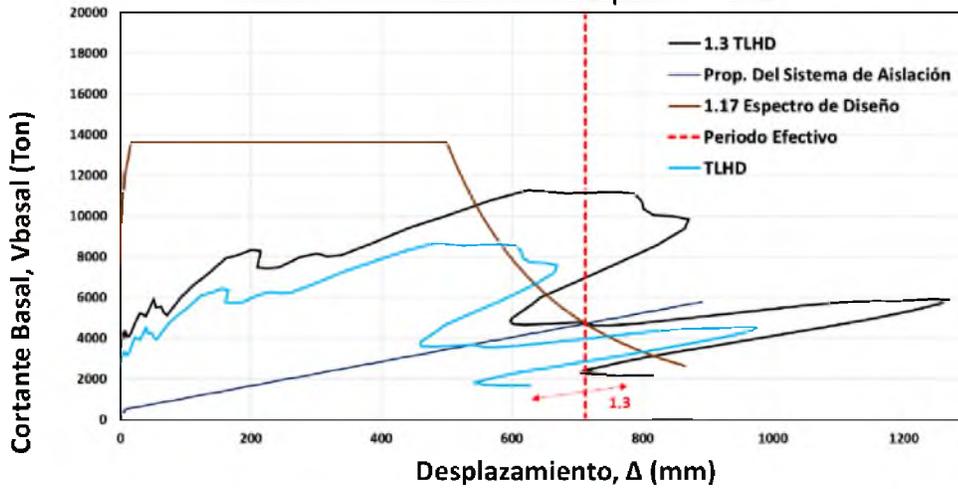


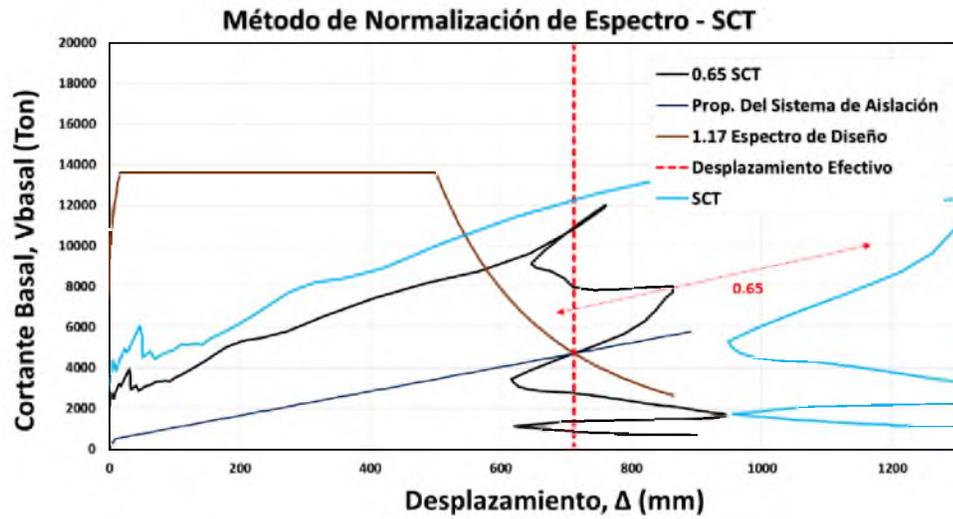
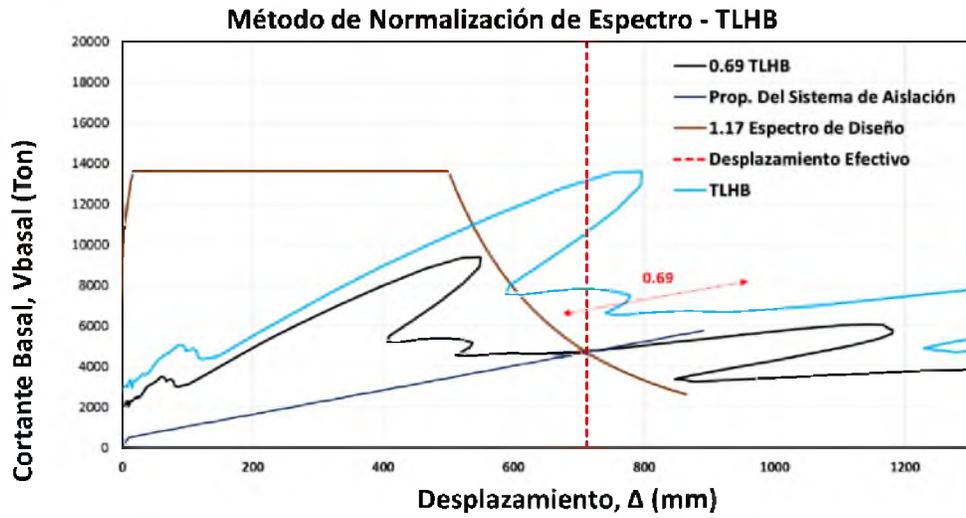


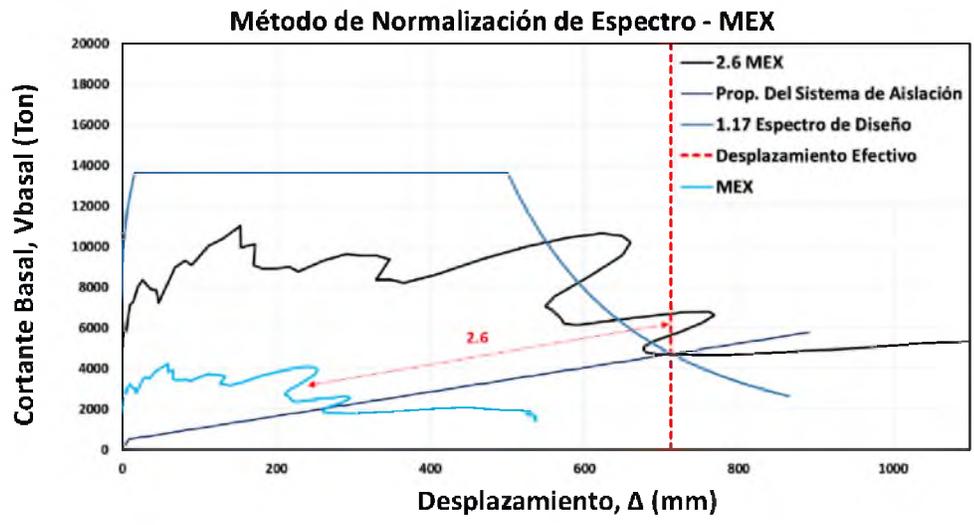
Método de Normalización de Espectro - TM



Método de Normalización de Espectro - TLHD



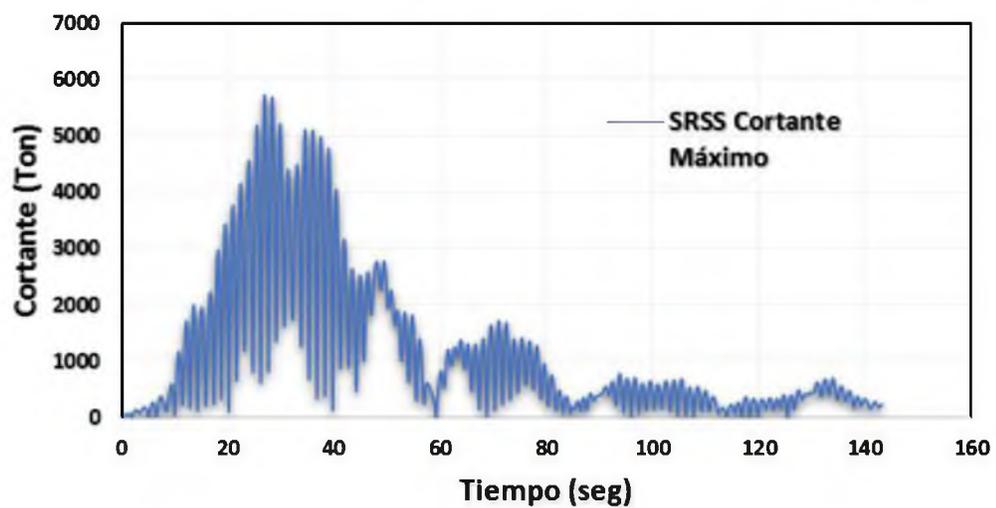




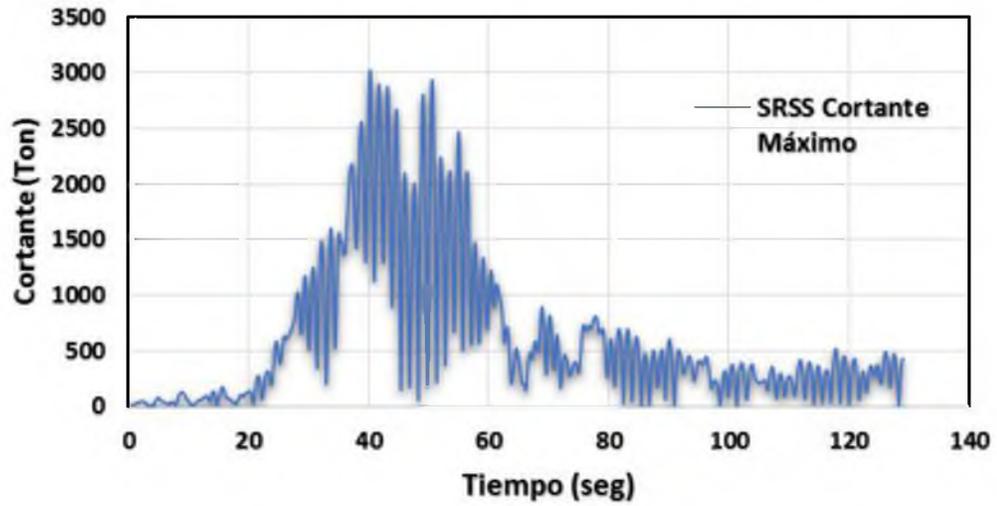
## Anexo 7: Gráficas de Cortante Basal, obtenidas aplicando el Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05

Las gráficas mostradas a continuación son el resultado de la aplicación del Método de Escalamiento FEMA 450/ ASCE 7-05 a los 9 Registros Sísmicos utilizados en este trabajo de titulación.

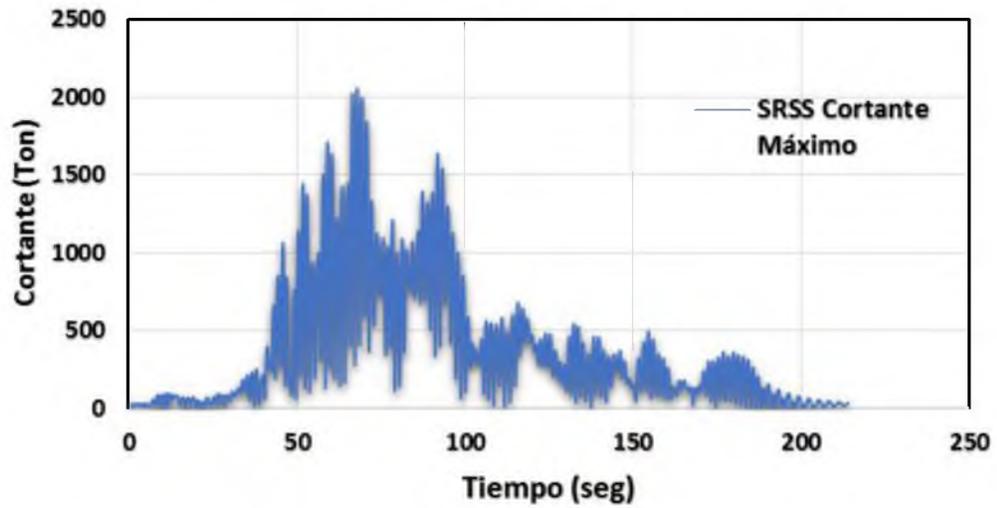
### A. Lineal - Cortante Máximo - CDFA - FEMA 450



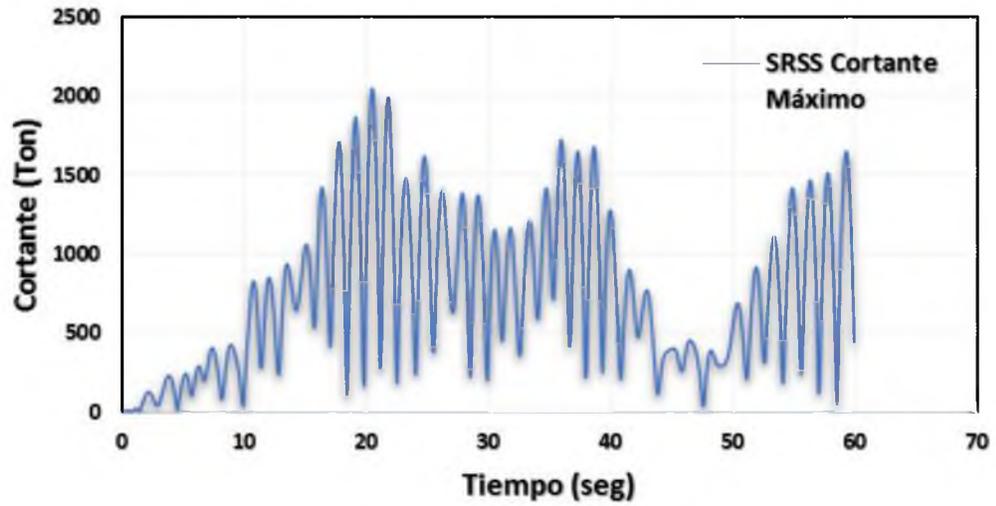
### A. Lineal - Cortante Máximo - SXVI - FEMA 450



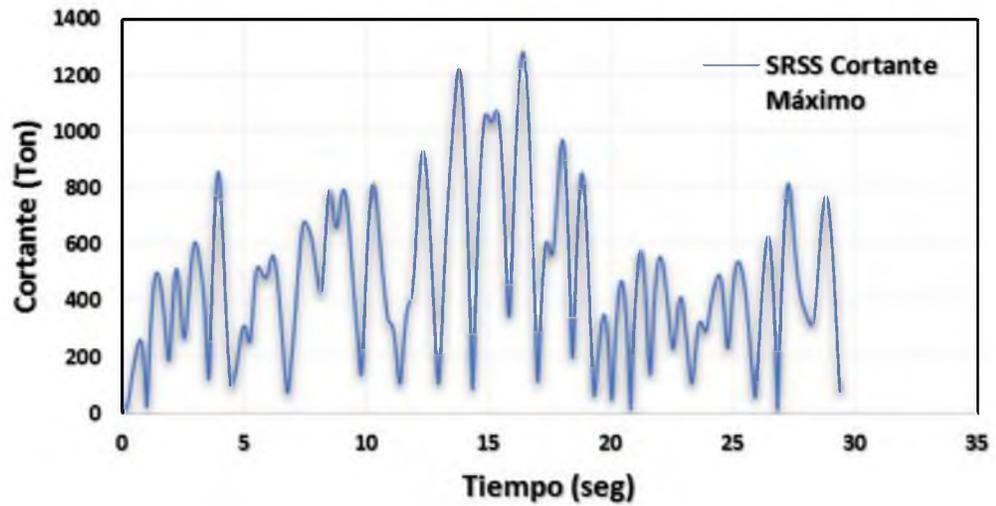
### A. Lineal - Cortante Máximo - TXSO - FEMA 450



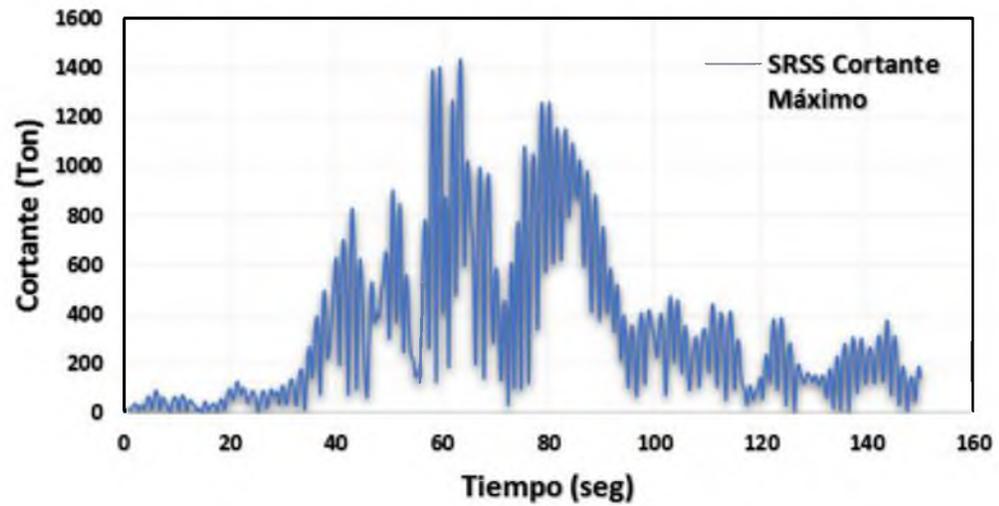
### A. Lineal - Cortante Máximo - TL - FEMA 450



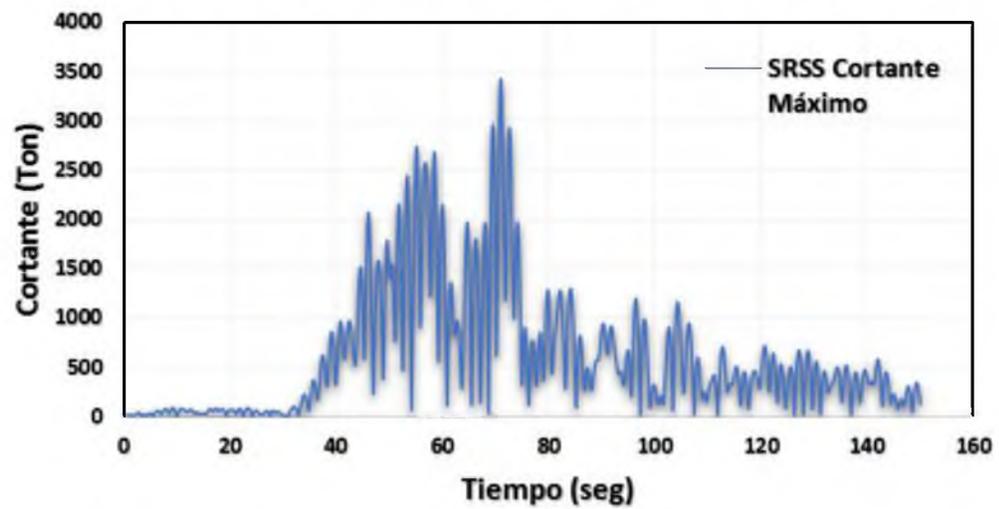
### A. Lineal - Cortante Máximo - TM - FEMA 450



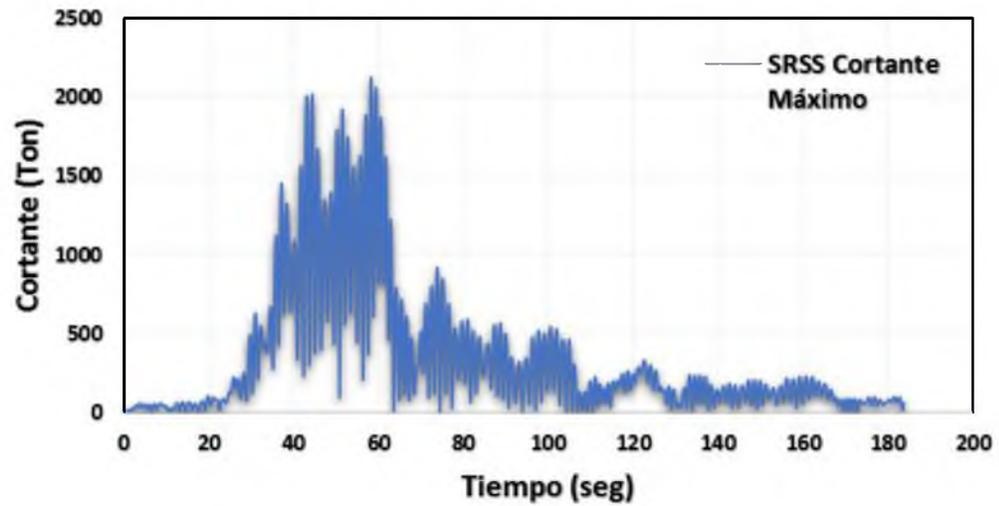
### A. Lineal - Cortante Máximo - TLHD - FEMA 450



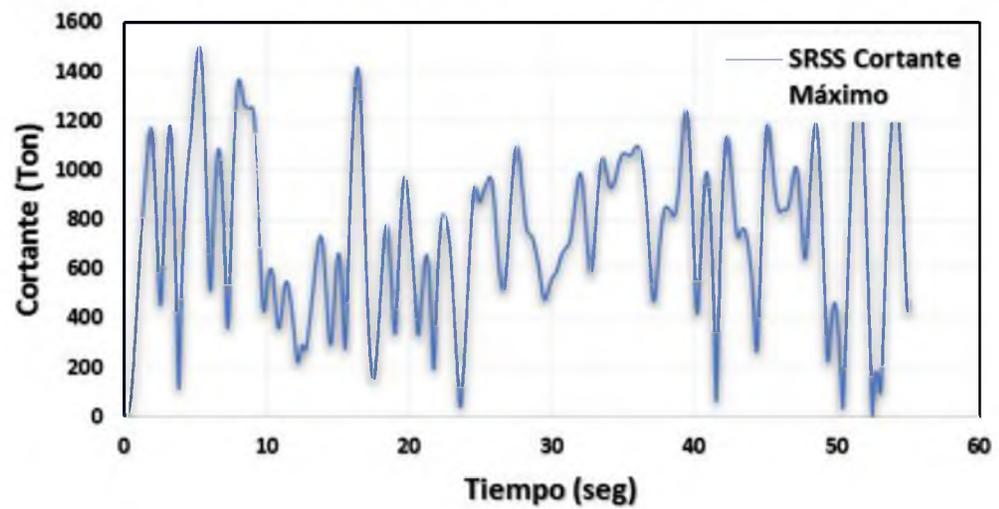
### A. Lineal - Cortante Máximo - TLHB - FEMA 450



### A. Lineal - Cortante Máximo - SCT - FEMA 450



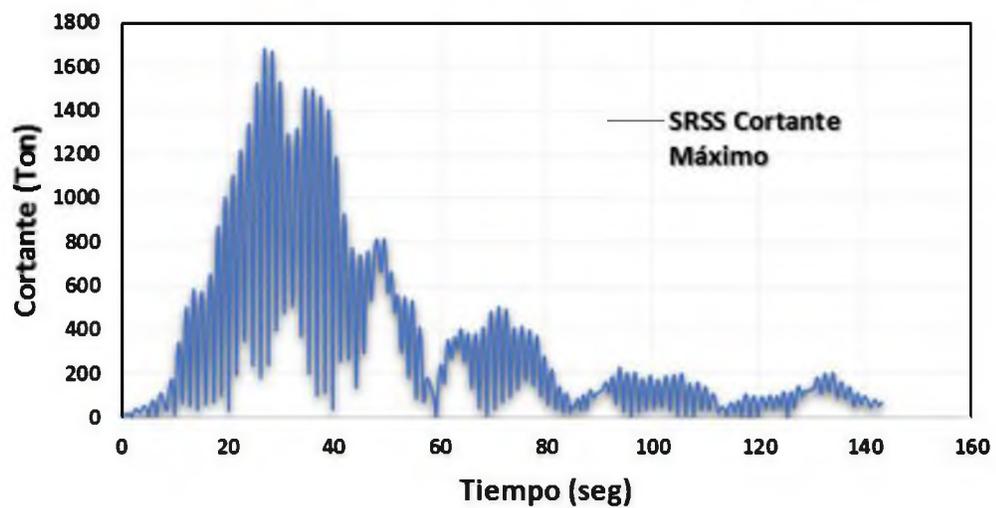
### A. Lineal - Cortante Máximo - MEX - FEMA 450



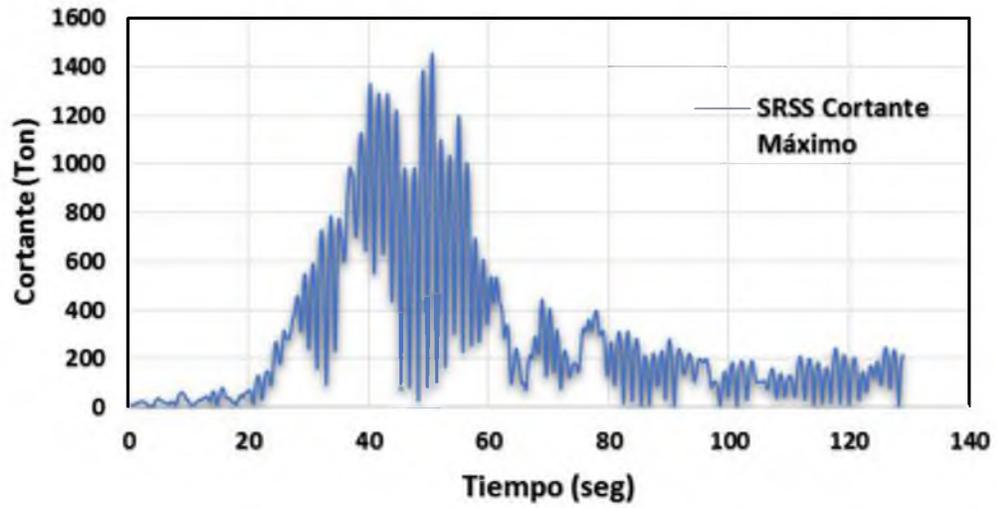
## Anexo 8: Gráficas de Cortante Basal, obtenidas aplicando el Método de Escalamiento al Periodo Objetivo

Las gráficas mostradas a continuación son el resultado de la aplicación del Método de Escalamiento al Periodo Objetivo a los 9 Registros Sísmicos utilizados en este trabajo de titulación.

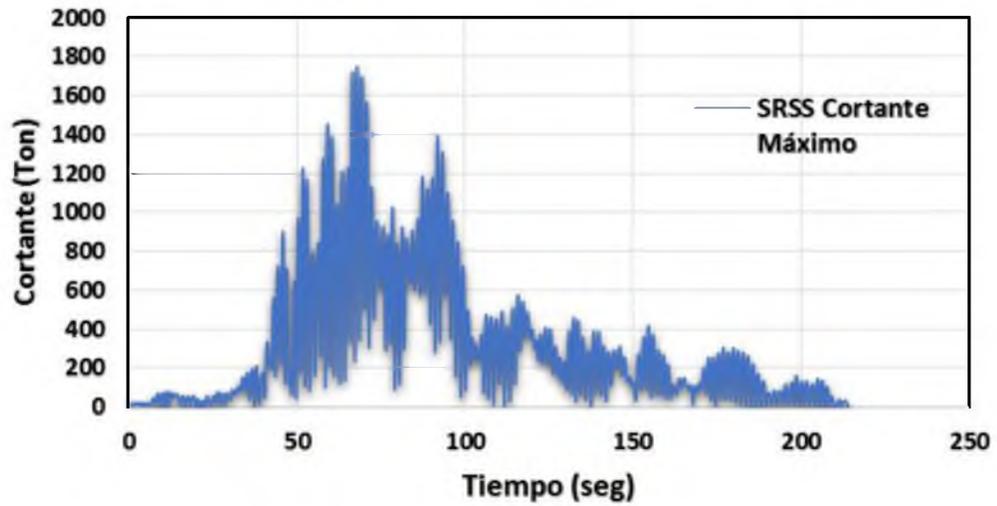
### A. Lineal - Cortante Máximo - CDFA - T. Obj



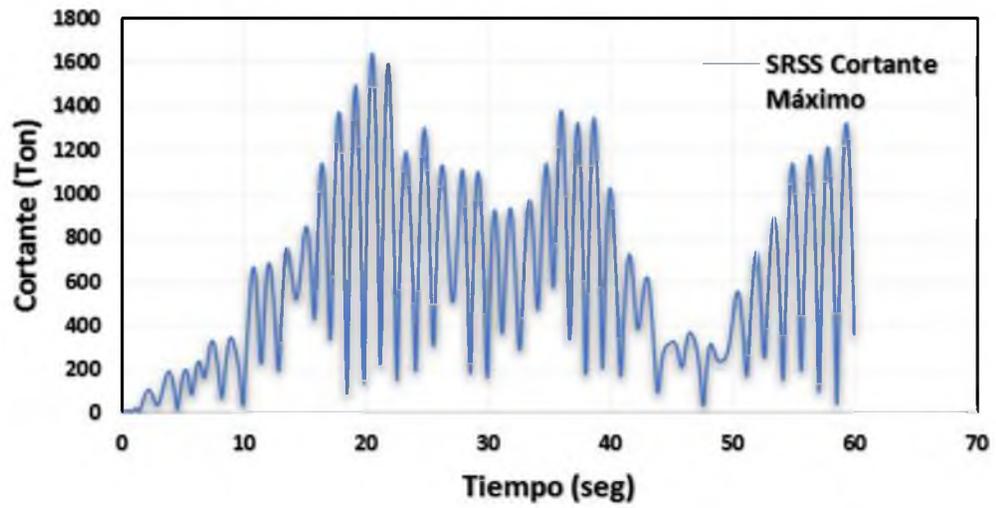
### A. Lineal - Cortante Máximo - SXVI - Periodo Ob.



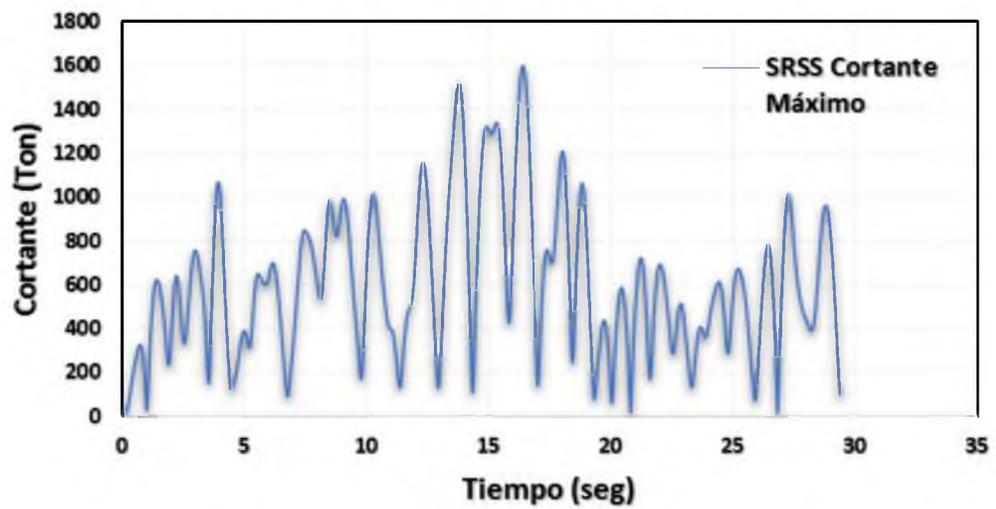
### A. Lineal - Cortante Máximo - TXSO - T. Obj



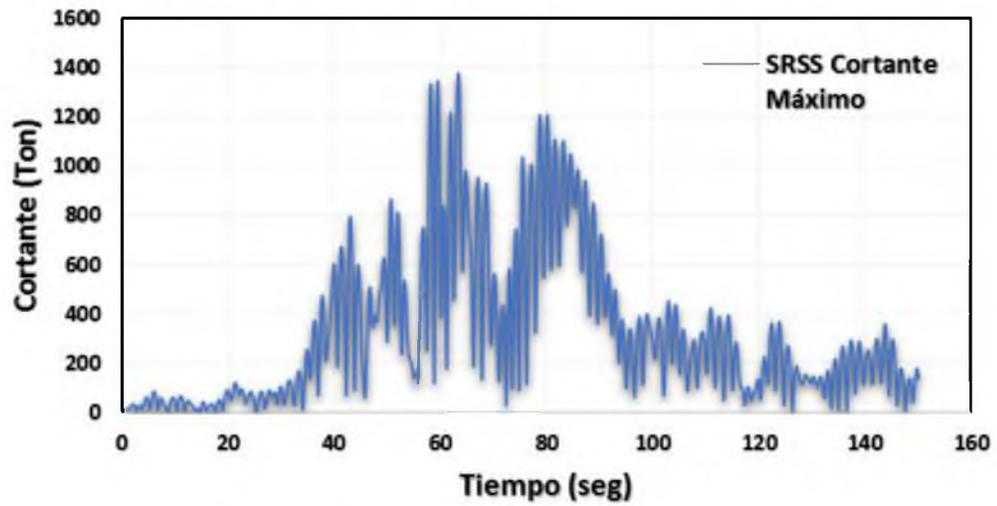
### A. Lineal - Cortante Máximo - TL - T. Obj



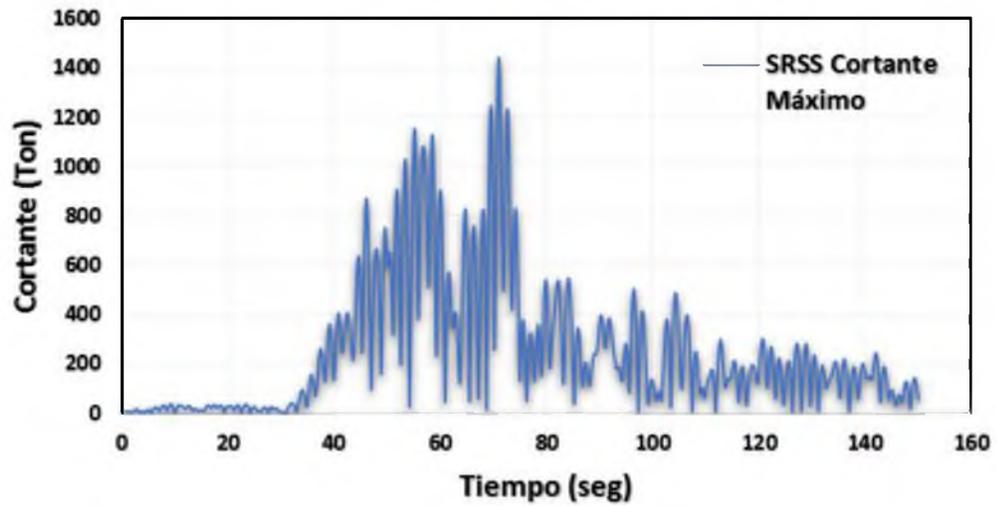
### A. Lineal - Cortante Máximo - TM - T. Obj



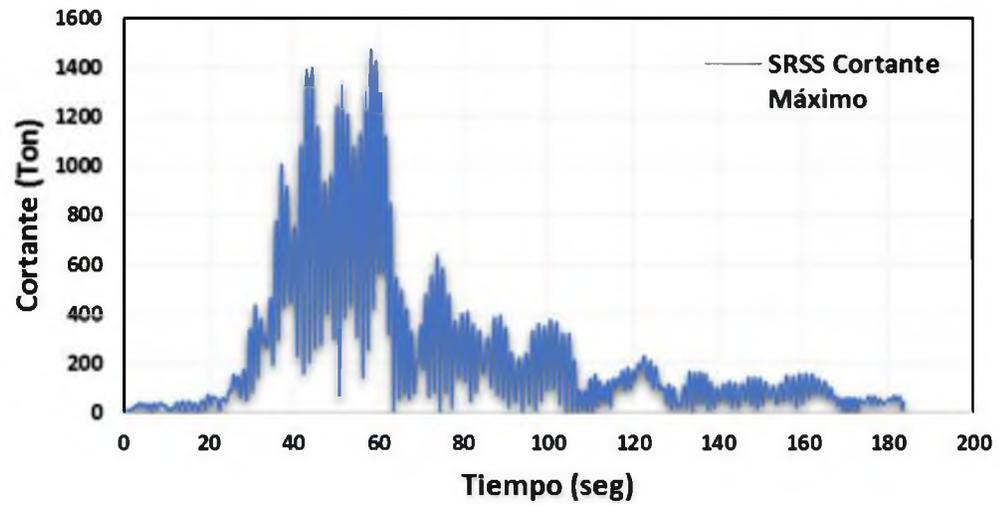
### A. Lineal - Cortante Máximo - TLHD - T. Obj



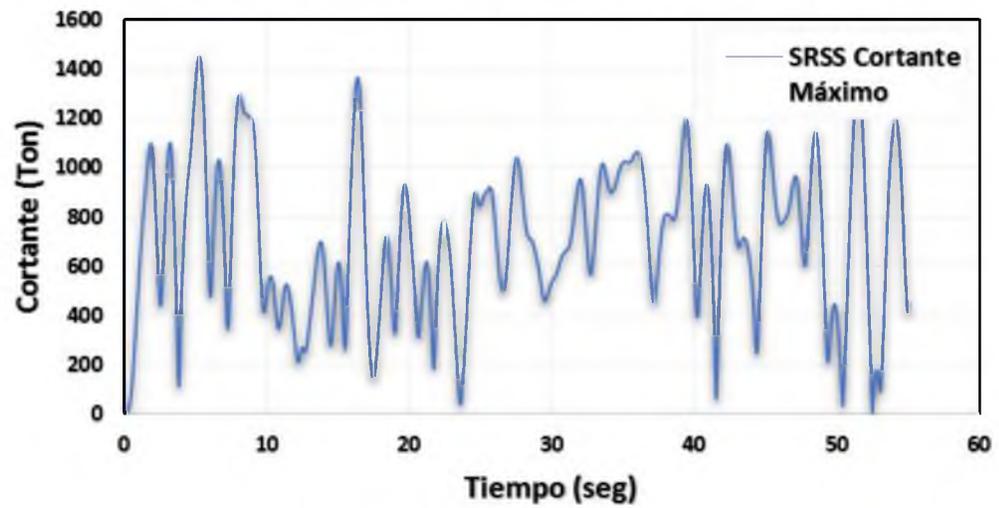
### A. Lineal - Cortante Máximo - TLHB - T. Obj



### A. Lineal - Cortante Máximo - SCT - T. Obj



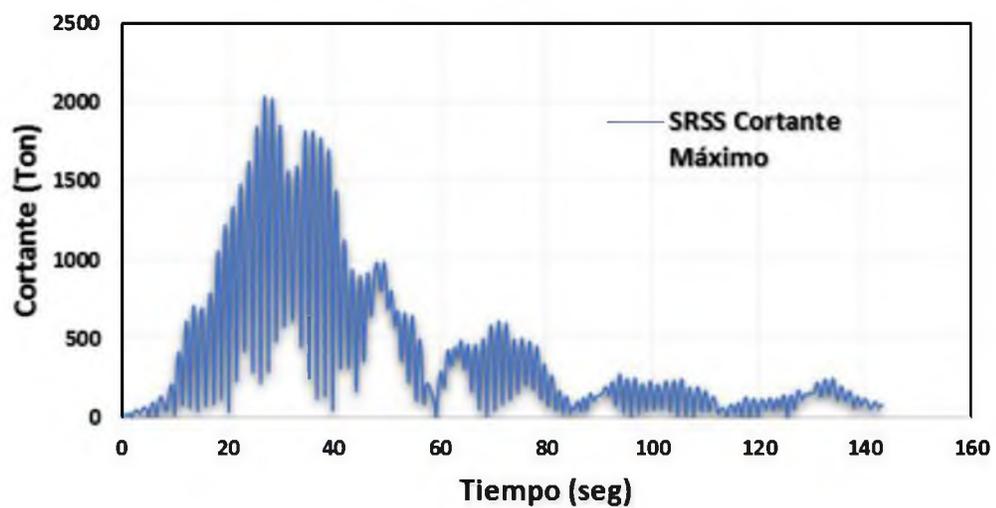
### A. Lineal - Cortante Máximo - MEX - T. Obj



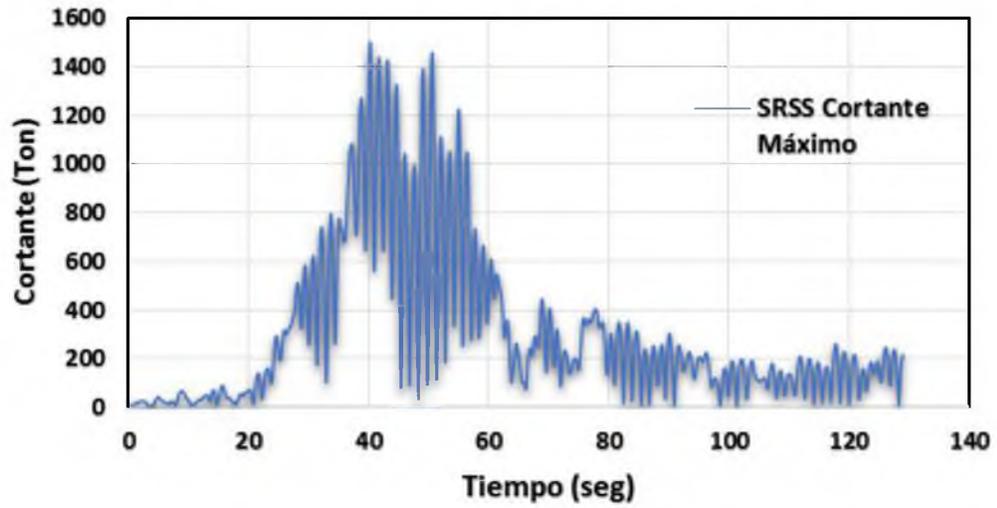
## Anexo 9: Gráficas de Cortante Basal, obtenidas aplicando el Método Iterativo de Escalamiento

Las gráficas mostradas a continuación son el resultado de la aplicación del Método Iterativo de Escalamiento a los 9 Registros Sísmicos utilizados en este trabajo de titulación.

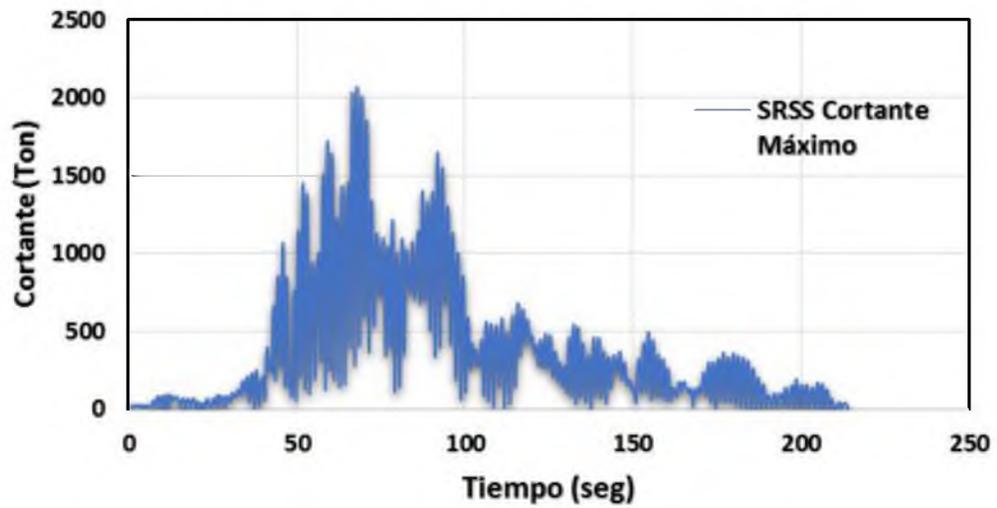
### A. Lineal - Cortante Máximo - CDFA - MIE



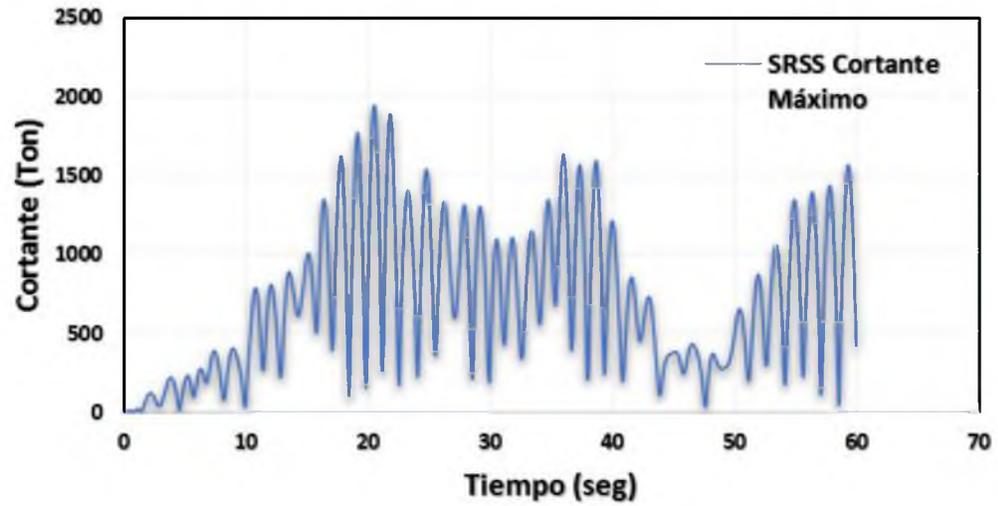
### A. Lineal - Cortante Máximo - SXVI - MIE



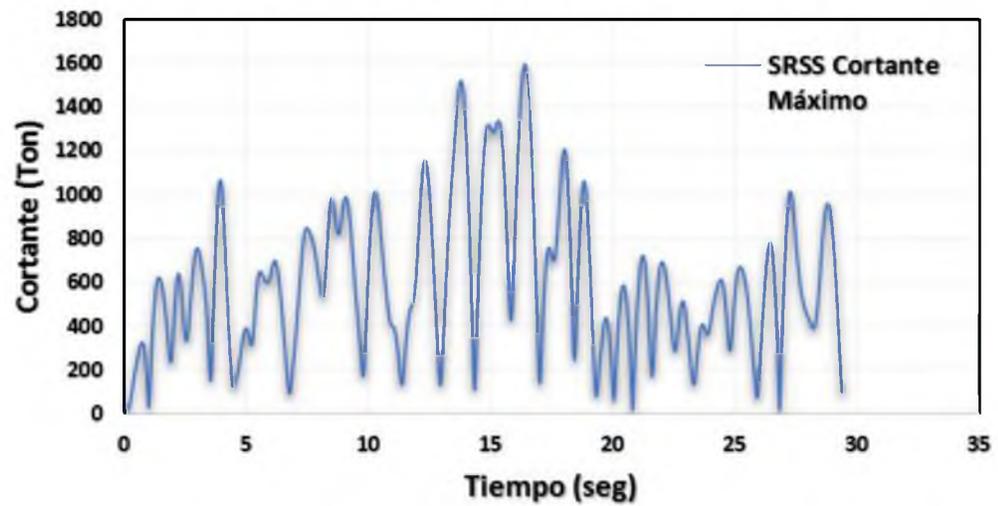
### A. Lineal - Cortante Máximo - TXSO - MIE



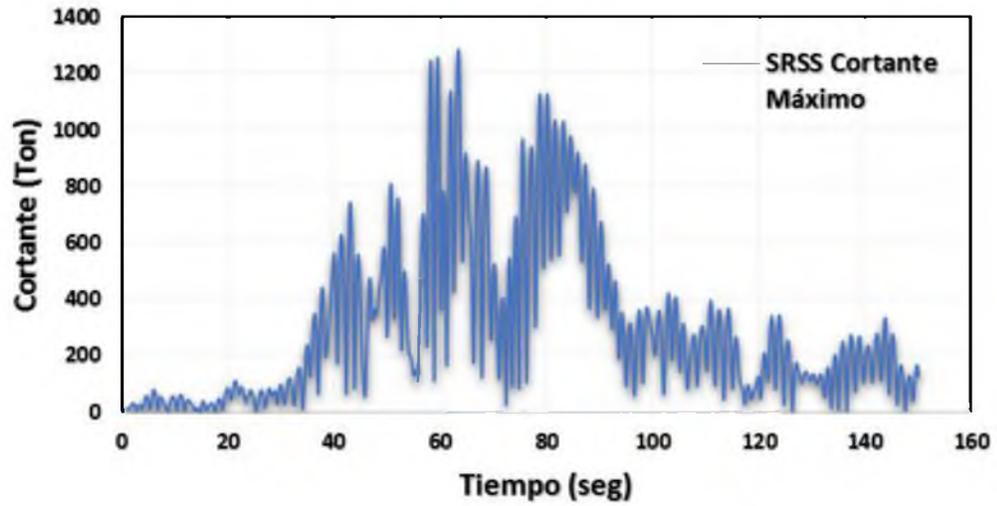
### A. Lineal - Cortante Máximo - TL - MIE



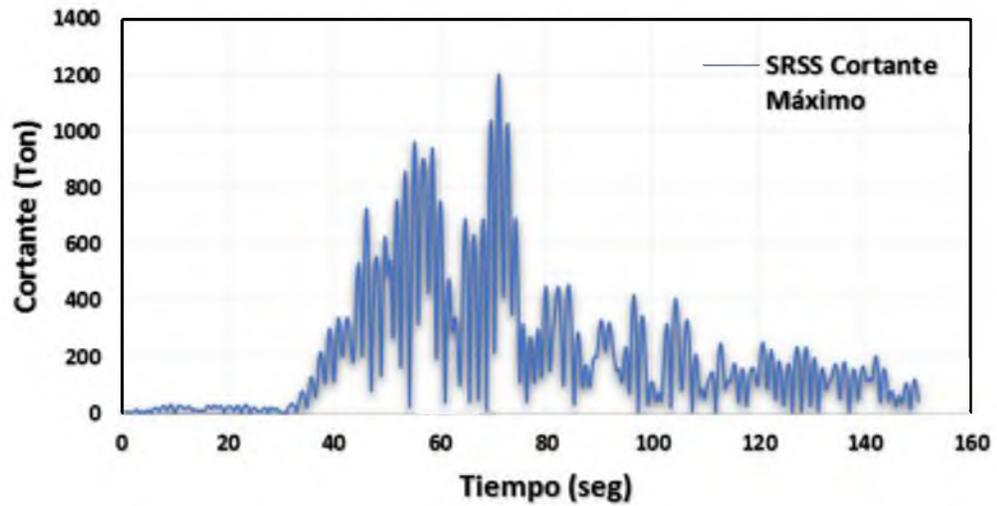
### A. Lineal - Cortante Máximo - TM - MIE



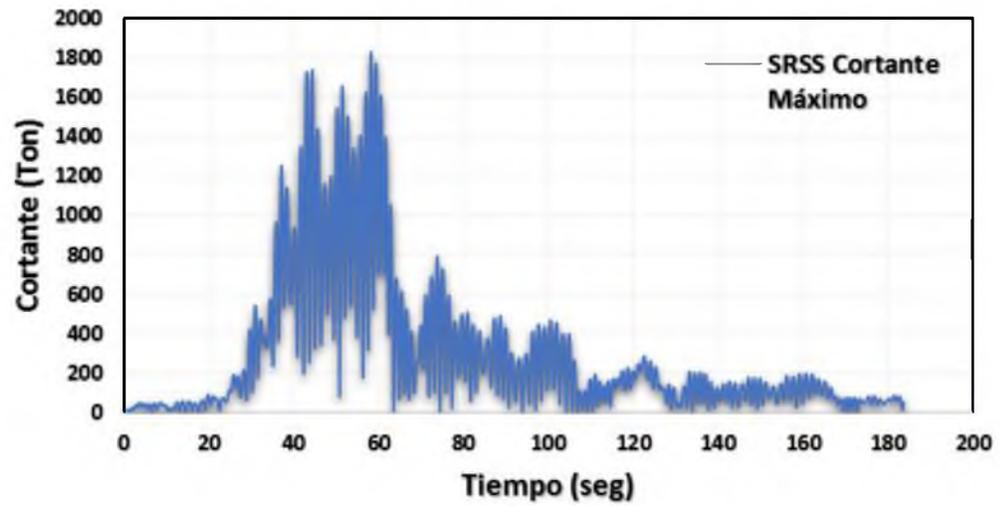
### A. Lineal - Cortante Máximo - TLHD - MIE



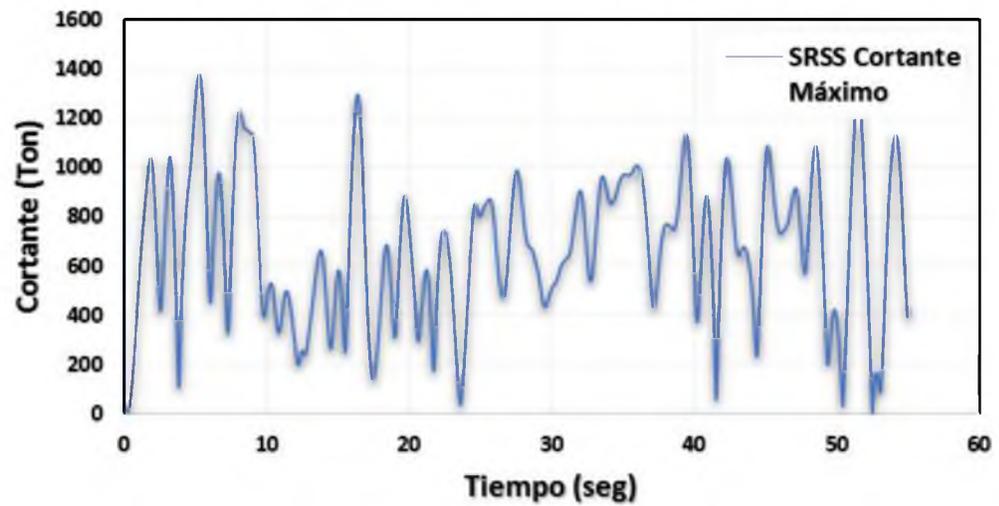
### A. Lineal - Cortante Máximo - TLHB - MIE



### A. Lineal - Cortante Máximo - SCT - MIE



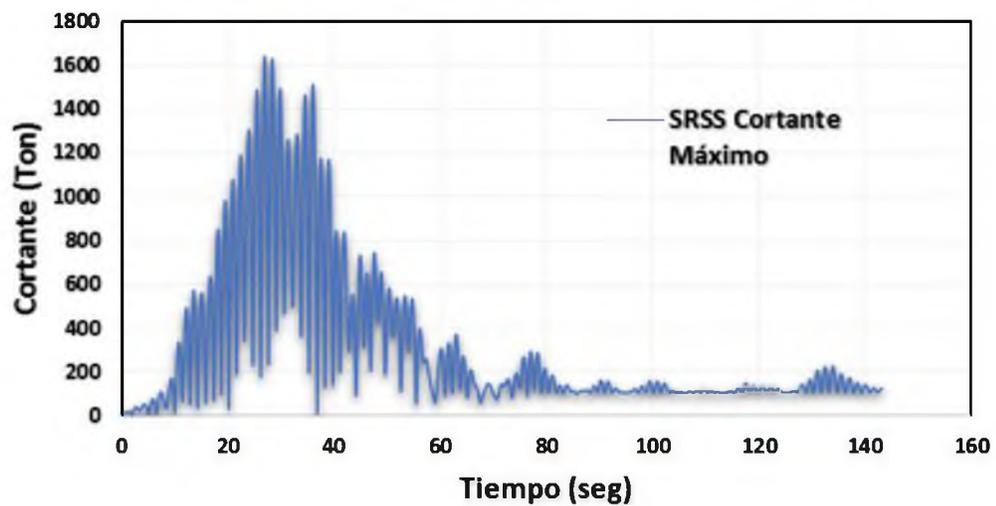
### A. Lineal - Cortante Máximo - MEX - MIE



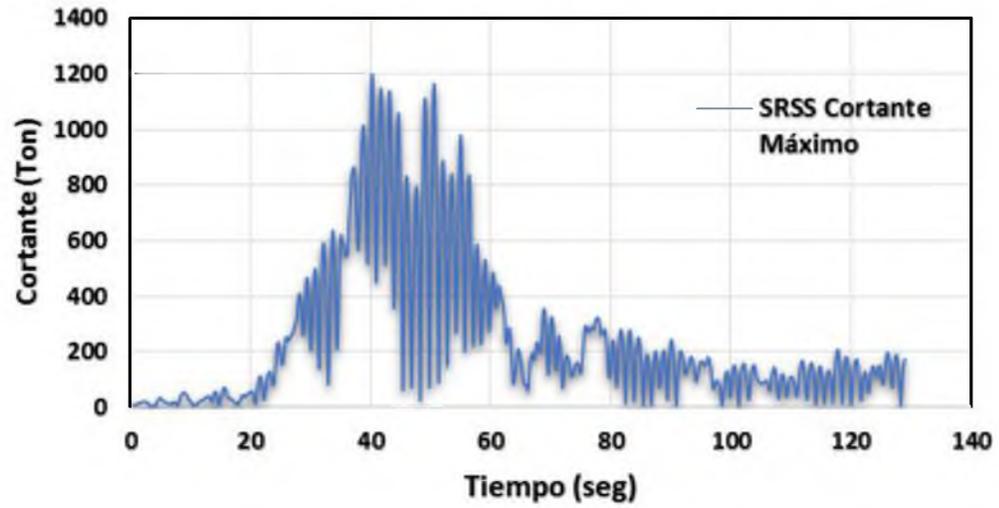
## Anexo 10: Gráficas de Cortante Basal, obtenidas aplicando el Método por Normalización de Espectro

Las gráficas mostradas a continuación son el resultado de la aplicación del Método por Normalización de Espectro a los 9 Registros Sísmicos utilizados en este trabajo de titulación.

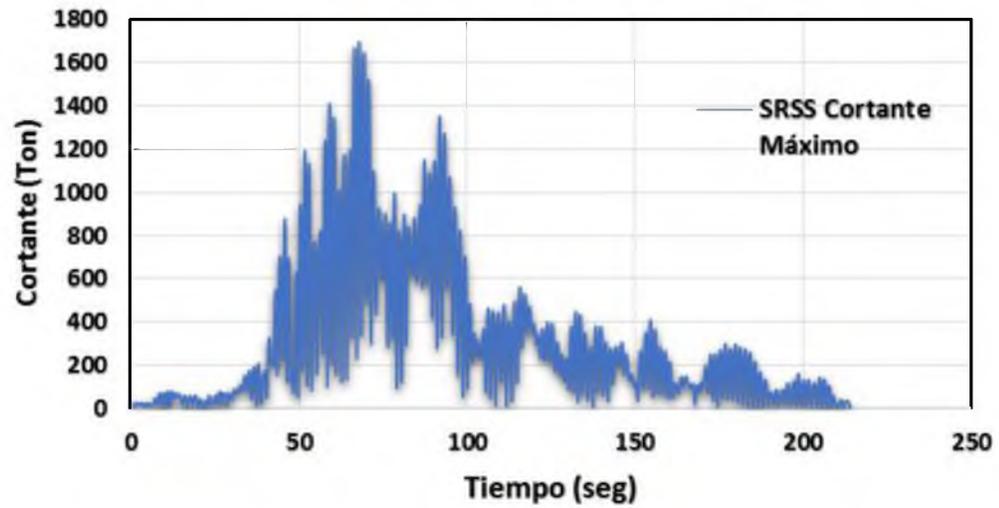
### A. Lineal - Cortante Máximo - CDFA - MNE



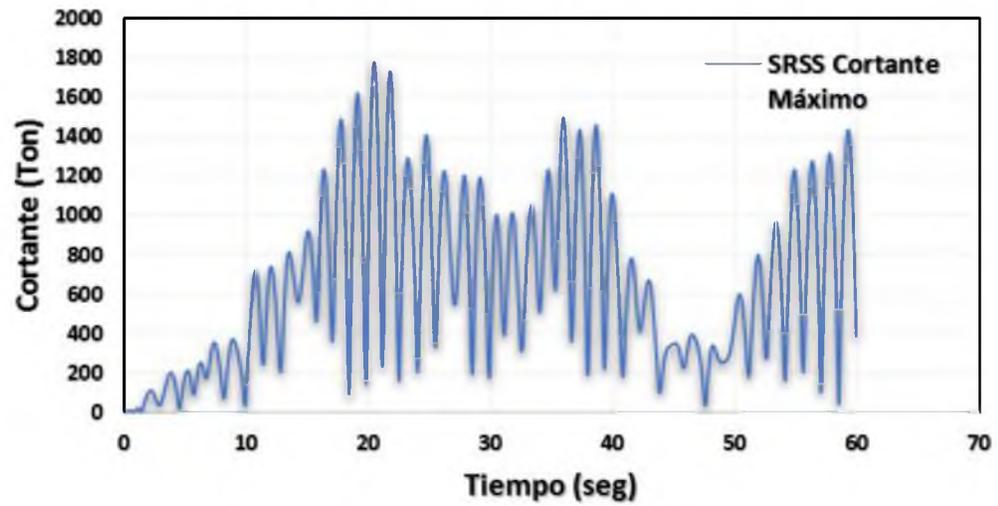
### A. Lineal - Cortante Máximo - SXVI - MNE



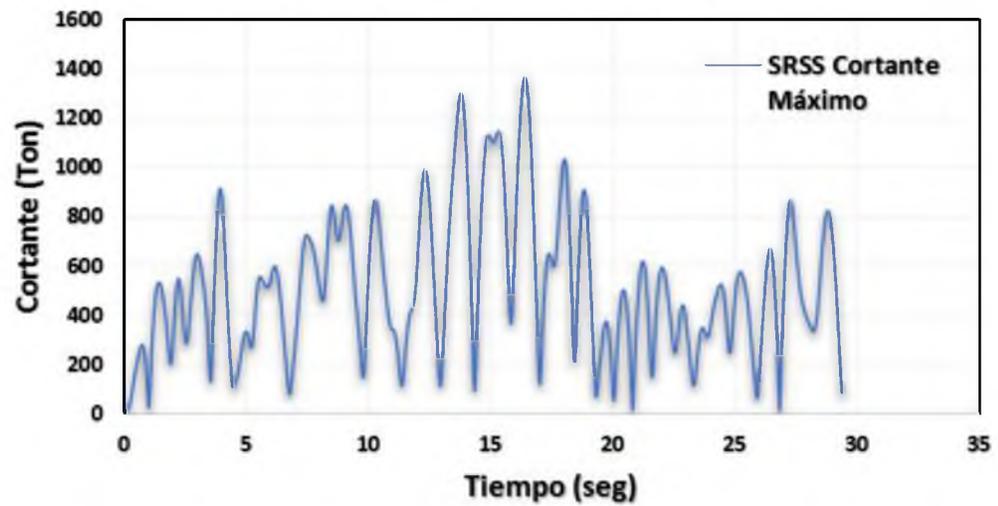
### A. Lineal - Cortante Máximo - TXSO - MNE



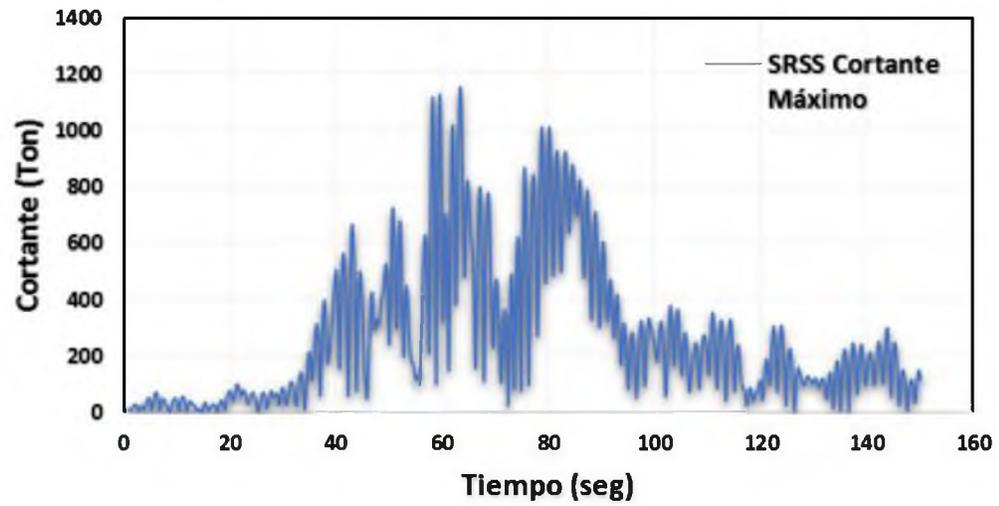
### A. Lineal - Cortante Máximo - TL - MNE



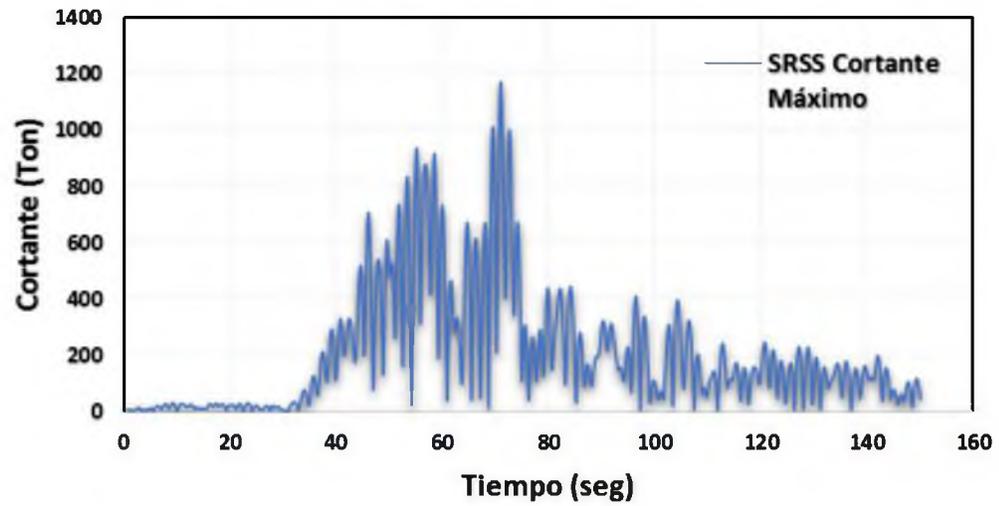
### A. Lineal - Cortante Máximo - TM - MNE



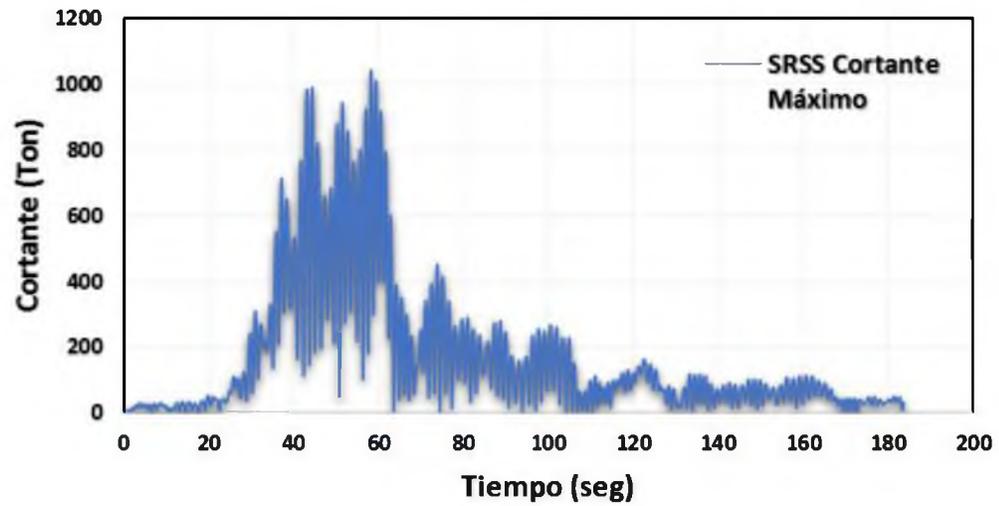
### A. Lineal - Cortante Máximo - TLHD - MNE



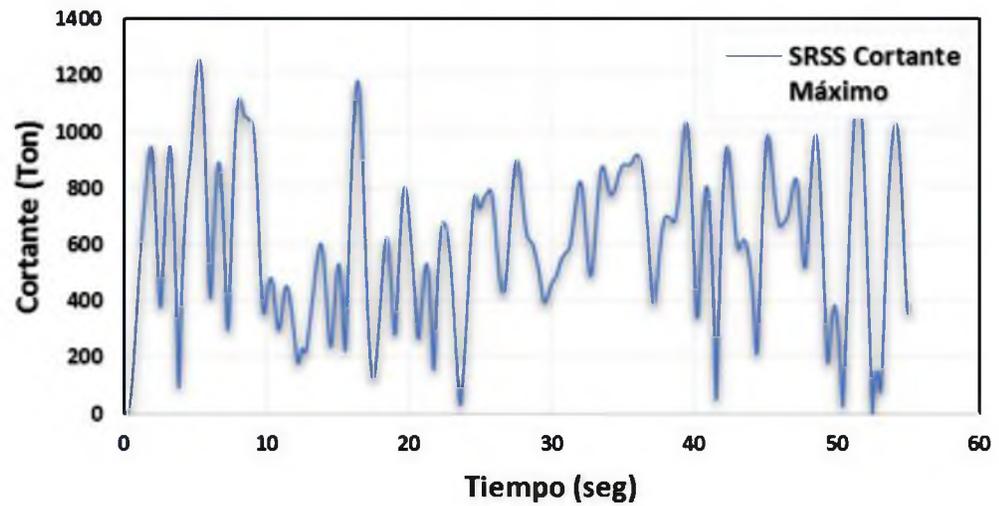
### A. Lineal - Cortante Máximo - TLHB - MNE



### A. Lineal - Cortante Máximo - SCT - MNE



### A. Lineal - Cortante Máximo - MEX - MNE





Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Uvidia Leguísamo Marcelo Geovanny, con C.C: # 1500750193 autor del trabajo de titulación: **Métodos de escalamiento de registros sísmicos para diseño de estructuras con aislación, evaluación y propuesta**, 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, 21 de marzo de 2016

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

Nombre: Uvidia Leguísamo Marcelo Geovanny

C.C: 1500750193



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

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

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	MÉTODOS DE ESCALAMIENTO DE REGISTROS SÍSMICOS PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AISLACIÓN. EVALUACIÓN Y PROPUESTA		
AUTOR(ES)	UVIDIA LEGUÍSAMO, MARCELO GEOVANNY		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	ING. HERNÁNDEZ BARREDO, JAIME FRANCISCO		
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL		
FACULTAD:	FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA:	INGENIERÍA CIVIL		
TÍTULO OBTENIDO:	INGENIERO CIVIL		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	21 DE MARZO DEL 2016	NO. DE PÁGINAS:	163
ÁREAS TEMÁTICAS:	ESTRUCTURAS		
PALABRAS CLAVES:	(SRSS, NEHRP, FEMA, ESCALAMIENTO)		

**RESUMEN/ABSTRACT** En este trabajo se estudió el Método de Escalamiento especificado en FEMA 450 (similar a ASCE 7-05) tal como lo indica la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 14) para estructuras con aislación sísmica. Se estudió un modelo de 2 grados de libertad, el cual representa a un edificio de 7 pisos ubicado en la ciudad de Guayaquil, al cual se aplicaron 9 registros sísmicos (CDAF, SVXI, TXSO, TORRE LATINOAMERICANA 1962, TORRE DE LA MERCED, TLHD, TLHB, SCT Y MEXICO UNAM) la mayoría de los cuales son registros producidos por una falla por subducción y ubicados en suelo blando. Se obtuvo el factor de escala para cada uno de los registros, según el FEMA 450/ASCE7-05, y se realizó un análisis lineal en el tiempo en el modelo de 2 grados de libertad con los cuales se obtuvieron los cortantes basales y los desplazamientos en el sistema de aislación para cada registro escalado.

Adicionalmente, se evaluó 3 métodos de escalamiento: Método Periodo Objetivo, Método Iterativo de Escalamiento (MIE), y Método de Normalización de Espectros (MNE). Por medio de estos métodos se obtuvo el factor de escalamiento de cada registro y se obtuvieron los cortantes basales y los desplazamientos en el sistema de aislación debido al análisis lineal en el tiempo en el modelo de 2 grados de libertad. Se compararon los resultados obtenidos en los 4 métodos de escalamiento y se los evaluó con los resultados esperados. Finalmente, con los factores de escalamiento obtenido en los 4 métodos, se realizó un análisis no lineal para cada uno de los registros escalados, de donde se obtuvo los cortantes basales y los desplazamientos en el sistema de aislación.

De la comparación de los resultados se concluyó que el método de escalamiento especificado en FEMA 450/ASCE7-05 produce factores de escalamiento mayores a los 3 métodos presentados en este trabajo, siendo entre ellos los factores similares. A causa de ello, los cortantes basales y los desplazamientos del sistema de aislación, para el modelo de 2 grados de libertad, son mayores en el método del FEMA 450/ASCE7-05 comparados con los otros XIX.

3. Los cortantes basales y desplazamientos del sistema de aislación que resultaron más cercanos a los esperados se obtuvieron por medio del método iterativo de escalamiento. Las diferencias en los cortantes basales y desplazamientos del sistema de aislación según los métodos de escalamiento se redujeron cuando se aplicó el análisis no lineal.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593- 987552673	E-mail: marcelo.uvidia@gmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: ING. HERNÁNDEZ BARREDO, JAIME FRANCISCO	
	Teléfono: +593-4-202763	
	E-mail: jaime.hernandez@cu.uscg.edu.ec	

#### SECCION PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	