



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN EL ÁREA DE ESTRUCTURAS



***“INFLUENCIA DEL TIPO DE ESCALAMIENTO DE
ACELEROGRAMAS EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS”***

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA EN EL ÁREA DE ESTRUCTURAS

PRESENTA:

Ing. Axel Tinajero Zárraga

ASESOR:

Dr. José Manuel Jara Guerrero

Morelia, Michoacán. Agosto 2019



AGRADECIMIENTOS

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme brindado apoyo económico durante mis estudios de posgrado.

Gracias a mi nueva alma máter, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) por haberme admitido en este programa de posgrado de calidad y brindarme educación académica.

Gracias a mi asesor, el Dr. José Manuel Jara Guerrero por su tiempo, paciencia, incondicional apoyo y conocimientos aportados para la realización de esta investigación, sin el cual nada de esto hubiera sido posible. Gracias.

Gracias a mis profesores por compartir sus conocimientos y enseñanzas y así formar parte de mi formación, en especial a la Dra. Bertha Alejandra Olmos Navarrete por su constante apoyo en revisiones de la investigación.

Gracias a mis padres y hermanos por su apoyo en este trabajo, su comprensión, impulso y cariño.

Gracias Itzel por tu paciencia y brindarme tu apoyo a lo largo de este proyecto de vida, no solo en esta investigación.

Gracias a mis compañeros de maestría: Eduardo, Esteban, Jorge, Lidia y Michel por compartir de manera desinteresada sus conocimientos y amistad.



RESUMEN

Se evaluó la demanda sísmica y respuesta de una familia de edificios de concreto, sometidos a un conjunto de registros sísmicos escalados mediante diferentes metodologías. Se estimó también el efecto que tiene cada método de escalamiento en la respuesta sísmica de las tipologías de edificios en diferentes sitios de la república Mexicana.

ABSTRACT

The seismic demand and response of a family of concrete buildings subjected to a suite of seismic records scaled by different methodologies are evaluated. Additionally, the effect that each methodology of scaling has in the seismic response of each building typology is assessed in different places of the Mexican Republic.

MOTIVACIÓN

El escalamiento de acelerogramas es uno de los procedimientos más utilizados para la estimación de la demanda en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica. La vulnerabilidad se determina a través de curvas de fragilidad para diversos estados límite de daño. Para alcanzar cada estado límite de daño es necesario considerar diferentes intensidades sísmicas para lo que es necesario escalar los registros sísmicos.

Existen en la literatura publicada varias propuestas para escalar las intensidades sísmicas que se utilizan normalmente sin ninguna justificación y su influencia en las demandas estructurales y estados límite de daño no está suficientemente estudiada. Por ello, es necesario estimar el efecto que tienen los métodos de escalamiento en la respuesta sísmica de edificios.

PALABRAS CLAVE

Parámetros de intensidad, Señales sísmicas, Marcos de concreto, Espectro de respuesta, Dinámico no lineal.



2.2 Sismicidad en la República Mexicana	33
2.3 Selección de acelerogramas.....	36
2.3.1 Registros y estaciones sísmicas	36
3. DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES	44
3.1 Estructuración.....	44
3.2 Normativas y reglamentos	45
3.3 Materiales	45
3.3.1 Concreto.....	45
3.3.2 Acero de refuerzo	46
3.3.3 Acero estructural A-36.....	46
3.4 Espectros de diseño	46
3.4.1 Clasificación según estructuración	47
3.4.2 Factor de comportamiento sísmico.....	47
3.4.3 Factor reductor por sobrerresistencia	47
3.4.4 Factor por redundancia	47
3.4.5 Valores de amortiguamiento estructural	47
3.4.6 Corrección por irregularidad.....	47
3.4.7 Espectros de diseño en las estaciones de interés	47
3.5 Método de análisis	48
3.5.1 Estructuración	48
3.5.2 Idealización	48
3.5.3 Software de análisis y diseño.....	49
3.5.4 Criterios de diseño.....	49
3.5.4.1 Factores de resistencia.....	49
3.5.4.2 Factores de carga	50
3.6 Análisis de cargas	50
3.6.1 Acciones permanentes.....	50
3.6.3 Combinaciones de carga.....	52
3.6.4 Nomenclatura.....	52
3.7 Sistema de piso	53
3.7.1 Diseño losa de azotea	53
3.7.2 Diseño losa de entrepiso	53
3.8 Análisis y dimensionamiento del sistema a base de marcos	54



3.8.1 Dimensiones de elementos	54
3.8.1.1 Secciones del edificio de 10N	54
3.8.1.1.1 Secciones de Grupo 1, PE, 10 Niveles	55
3.8.1.1.2 Secciones de Grupo 2, SC, 10 Niveles	55
3.8.1.1.3 Secciones de Grupo 3, OAX, 10 Niveles	56
3.8.1.1.4 Secciones de Grupo 4, HUA, 10 Niveles	57
3.8.1.2 Secciones del edificio de 5N	57
3.8.1.2.1 Secciones de Grupo 1, PE, 5 Niveles	58
3.8.1.2.2 Secciones de Grupo 2, SC, 5 Niveles	58
3.8.1.2.3 Secciones de Grupo 3, OAX, 5 Niveles	59
3.8.1.2.4 Secciones de Grupo 4, HUA, 5 Niveles	60
3.8.1.3 Secciones del edificio de 5N	60
3.8.1.3.1 Secciones de Grupo 1, PE, 5 Niveles	60
3.8.1.3.2 Secciones de Grupo 2, SC, 5 Niveles	61
3.8.1.3.3 Secciones de Grupo 3, OAX, 5 Niveles	61
4. ESCALAMIENTO DE LAS SEÑALES SÍSMICAS Y DETERMINACIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICOS	62
4.1 Espectros objetivo	62
4.1.1 Espectros objetivo con periodo de retorno TR=2500 años.....	62
4.2 Parámetros de intensidad objetivo	63
4.3 Espectros de respuesta de registros sísmicos.....	65
4.3.1 Espectros Grupo 1 PE.....	65
4.3.2 Espectros Grupo 2 SC.....	65
4.3.3 Espectros Grupo 3 OAX.....	66
4.3.4 Espectros Grupo 4 HUA.....	66
4.4 Parámetros de intensidad de registros sísmicos	67
4.5 Factores de escala	67
4.5.1 Factores de escala Grupo 1 PE	67
4.5.2 Factores de escala Grupo 2 SC.....	68
4.5.3 Factores de escala Grupo 3 OAX.....	69
4.5.4 Factores de escala Grupo 4 HUA	70
4.6 Espectros de respuesta escalados.....	71
4.6.1 Espectros escalados con PGA.....	71
4.6.1.1 Espectros escalados con PGA Grupo 1	71



4.6.1.2 Espectros escalados con PGA Grupo 2	72
4.6.1.3 Espectros escalados con PGA Grupo 3	72
4.6.1.4 Espectros escalados con PGA Grupo 4	73
4.6.2 Espectros escalados con EPA	73
4.6.2.1 Espectros escalados con EPA Grupo 1	73
4.6.2.2 Espectros escalados con EPA Grupo 2	74
4.6.2.3 Espectros escalados con EPA Grupo 3	74
4.6.2.4 Espectros escalados con EPA Grupo 4	75
4.6.3 Espectros escalados con EVP	75
4.6.3.1 Espectros escalados con EVP Grupo 1	75
4.6.3.2 Espectros escalados con EVP Grupo 2	76
4.6.3.3 Espectros escalados con EVP Grupo 3	76
4.6.3.4 Espectros escalados con EVP Grupo 4	77
4.6.4 Espectros escalados con MIV	77
4.6.4.1 Espectros escalados con MIV Grupo 1	77
4.6.4.2 Espectros escalados con MIV Grupo 2	78
4.6.4.3 Espectros escalados con MIV Grupo 3	78
4.6.4.4 Espectros escalados con MIV Grupo 4	79
4.6.5 Espectros escalados con Sa(T)	79
4.6.5.1 Espectros escalados con Sa(T) Grupo 1	79
4.6.5.2 Espectros escalados con Sa(T) Grupo 2	80
4.6.5.3 Espectros escalados con Sa(T) Grupo 3	80
4.6.5.4 Espectros escalados con Sa(T) Grupo 4	81
4.6.6 Espectros escalados con Sa(T-T)	81
4.6.6.1 Espectros escalados con Sa(T-T) Grupo 1	81
4.6.6.2 Espectros escalados con Sa(T-T) Grupo 2	82
4.6.6.3 Espectros escalados con Sa(T-T) Grupo 3	82
4.6.6.4 Espectros escalados con Sa(T-T) Grupo 4	83
4.6.7 Espectros escalados con ASI	83
4.6.7.1 Espectros escalados con ASI Grupo 1	83
4.6.7.2 Espectros escalados con ASI Grupo 2	84
4.6.7.3 Espectros escalados con ASI Grupo 3	84
4.6.7.4 Espectros escalados con ASI Grupo 4	85



4.6.8 Espectros escalados con IA.....	85
4.6.8.1 Espectros escalados con IA Grupo 1.....	85
4.6.8.2 Espectros escalados con IA Grupo 2.....	86
4.6.8.3 Espectros escalados con IA Grupo 3.....	86
4.6.8.4 Espectros escalados con IA Grupo 4.....	87
4.6.9 Espectros escalados con CAV.....	87
4.6.9.1 Espectros escalados con CAV Grupo 1.....	87
4.6.9.2 Espectros escalados con CAV Grupo 2.....	88
4.6.9.3 Espectros escalados con CAV Grupo 3.....	88
4.6.9.4 Espectros escalados con CAV Grupo 4.....	89
4.6.10 Espectros escalados con HI.....	89
4.6.10.1 Espectros escalados con HI Grupo 1	89
4.6.10.2 Espectros escalados con HI Grupo 2	90
4.6.10.3 Espectros escalados con HI Grupo 3	90
4.6.10.4 Espectros escalados con HI Grupo 4	91
5. ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES	92
5.1 Características del modelo no lineal.....	92
5.2 Software Perform 3D.....	92
5.3 Articulaciones plásticas.....	92
5.4 Degradación de la rigidez	93
5.5 Comparación de modelos idealizado con pruebas experimentales	93
5.6 demandas de ingeniería.....	94
5.6.1 Cortante basal resultante	94
5.6.2 Velocidades máximas en cada nivel.....	97
5.6.3 Aceleraciones máximas en cada nivel.....	100
5.6.4 Distorsiones máximas en cada nivel.....	103
5.6.5 Rotación máxima en la base	106
5.6.6 Rotación máxima en la base.....	108
6. EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA COMO FUNCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ESCALAMIENTO	111
6.1 Resultante del cortante máximo	111
6.1.1 Edificio de 10 Niveles	111



6.1.2 Edificio de 5 Niveles	112
6.1.3 Edificio de 2 Niveles	112
6.2 Velocidad máxima por nivel	113
6.2.1 Edificio de 10 Niveles	113
6.2.2 Edificio de 5 Niveles	113
6.2.3 Edificio de 2 Niveles	114
6.3 Aceleración máxima por nivel	114
6.3.1 Edificio de 10 Niveles	114
6.3.2 Edificio de 5 Niveles	115
6.3.3 Edificio de 2 Niveles	115
6.4 Distorsión máxima de entrepiso.....	116
6.4.1 Edificio de 10 Niveles	116
6.4.2 Edificio de 5 Niveles	116
6.4.3 Edificio de 2 Niveles	117
6.5 Rotación máxima en la base.....	117
6.5.1 Edificio de 10 Niveles	117
6.5.2 Edificio de 5 Niveles	118
6.5.3 Edificio de 2 Niveles	118
6.6 Desplazamiento máximo absoluto por nivel.....	119
6.6.1 Edificio de 10 Niveles	119
6.6.2 Edificio de 5 Niveles	119
6.6.3 Edificio de 2 Niveles	120
6.7 Evaluación de los estados limite.....	121
6.7.1 Estados Limite edificios de 10N SC.....	121
6.7.3 Estados Limite edificios de 2N SC.....	122
6.8 Discusión de resultados	124
CONCLUSIONES.....	125
REFERENCIAS	126



INTRODUCCIÓN

Cuando las estructuras son sometidas a sismos severos es común que experimenten deformaciones permanentes y comportamiento no lineal. Los ingenieros de la práctica e investigadores, realizan análisis dinámicos no lineales, ya sea por requerimientos impuestos por códigos o en la realización de estudios de comportamiento estructural.

Los análisis dinámicos no lineales requieren registros sísmicos para analizar la respuesta de las estructuras. Estos deben ser apropiados para representar lo mejor posible el escenario sísmico que se desea evaluar, tomando en cuenta parámetros como magnitud, distancia, profundidad de la falla y mecanismo de falla. En cuanto a los análisis dinámicos no lineales, los registros sísmicos son escalados con la intención de que representen de mejor manera una intensidad específica, ya sea la que produce el colapso o intensidades asociadas a diferentes estados límite. El proceso de selección y escalamiento de registros sísmicos es esencial en este tipo de análisis. YeongAe et al. (2011) considera que la selección de las señales sísmicas es la mayor fuente de incertidumbre y variabilidad en estos análisis.

El nivel de peligro sísmico puede ser representado por diversas medidas o parámetros de intensidad sísmica. Existen numerosas medidas de intensidad asociadas a los registros sísmicos, de las que se distinguen dos grupos de parámetros de intensidad: El primero son los calculados a partir de los datos del registro sísmico como: aceleración máxima del terreno (PGA), velocidad máxima del terreno (PGV), velocidad absoluta acumulada (CAV), parámetro de intensidad de Arias (AI), Intensidad característica (IC), Máxima Velocidad Incremental (MIV), etc; y el segundo grupo los calculados a partir de los espectros de respuesta, como: un intervalo ($Sa(T_i-T_f)$) o valor ($Sa(T)$) de pseudoaceleración con relación al periodo de vibración de la estructura, aceleración máxima efectiva (EPA), velocidad máxima efectiva (EPV), intensidad de Housner (HI), intensidad espectral de aceleración (ASI), intensidad espectral de velocidad (VSI), etc. Los parámetros de intensidad son utilizados para representar el efecto de un evento sísmico y su relación directa con el daño en las edificaciones sujetas a dicho escenario.

Habiendo seleccionado y escalado un conjunto de acelerogramas se someterá la estructura a dichas señales obteniendo la respuesta estructural y algunos parámetros de demanda ingenieril, uno de los utilizado es la demanda máxima de distorsiones de entrepiso. Se menciona también en los estudios de Algan (1982), Moehle (1994), Miranda (1999) y Gülkan et al. (1999), que la demanda de desplazamientos posee una fuerte relación con el índice de daño que experimenta un edificio.



La respuesta estructural obtenida a partir de análisis no lineales suele ser sumamente sensible a los métodos y procedimientos de selección y escalamiento de acelerogramas, así como al número de acelerogramas que se utilicen para llevar a cabo el análisis. Hasselton et al. (2009) recomienda que este tipo de investigaciones se realicen con un gran número de registros sísmicos, para observar de forma más clara y precisa la influencia que tendrá el método de escalamiento, evitando la dispersión por realizar los análisis con pocos registros sísmicos.

Sin estudios que sirvan de guía y hablen de la influencia de cada uno de los métodos utilizados en la práctica, se estaría dejando a los ingenieros mal informados, con la interrogante e importante decisión de como estimar la demanda sísmica para llevar a cabo sus análisis y predecir la respuesta estructural lo más aproximado a la real posible. Por ello resulta importante conocer y cuantificar la influencia del método de escalamiento en la demanda sísmica esperada, la respuesta estructural y la vulnerabilidad sísmica.

Dependiendo de los procedimientos que se realicen para la estimación de la demanda sísmica en un análisis dinámico no lineal, se podría sobreestimar la demanda esperada lo que conduciría a un sobre diseño y costo excesivo, por el contrario se podría subestimar la demanda a la cual sería sometida la estructura, resultando en un peligroso diseño.

En este estudio se analizara el efecto de los diferentes parámetros de intensidad en las metodologías de escalamiento de acelerogramas, para cuantificar su influencia en la respuesta sísmica de una familia de edificios ubicados en diferentes zonas de interés en la república Mexicana.



1. MÉTODOS DE ESCALAMIENTO DE SEÑALES SÍSMICAS

Existe una gran cantidad de métodos de selección y escalamiento de acelerogramas, con diferencias en procedimiento, objetivo, resultados. Algunos métodos están más enfocados en el diseño y las consideraciones pertinentes a los reglamentos y códigos, como son algunos de los métodos de compatibilidad o igualación de espectros, estos métodos se enfocan en la selección de las señales sísmicas y su forma espectral, buscando que sea compatible con los espectros de diseño, su procedimiento de modificación y escalamiento consiste en mantenerse dentro de cierto margen por encima del espectros objetivo. YeongAe et al. (2011) comenta que un método de escalamiento enfocado en la igualación o compatibilidad con un espectro, es generalmente más estable que los métodos de escalamiento en amplitud, ofreciendo menor variación y dispersión en la predicción de la respuesta estructural.

Los métodos de escalamiento en amplitud suelen ser más simples, consisten en modificar la magnitud de las ordenadas de la señal sísmica. Existen múltiples criterios y parámetros que para obtener el escalar respecto al cual deberán de crecer o disminuir las ordenadas. Algunos métodos toman en cuenta una o varias características de la estructura a analizar y evidentemente las características del escenario sísmico. Los autores Nau et al. (1984), Vidic et al. (1994) y Shome et al. (1998) observaron que los métodos que utilizan el escalamiento de igualación espectral respecto el método de escalamiento en amplitud de los acelerogramas con parámetros como PGA o PGV, estos últimos arrojan predicciones de respuesta estructural con mayor grado de variación y dispersión. El escalamiento en amplitud no alteran el contenido de frecuencias de la señal sísmica escalada y por el contrario los métodos de igualación o compatibilidad espectral pueden alterar las características y propiedades naturales del acelerograma.

En otros estudios de Kunnath et al. (2006), Shome y Cornell (1998) y Shome, Cornell y Bazzurro (1998) se muestra la fuerte relación que existe entre la demanda sísmica y la respuesta oscilatoria en aceleración de un sistema lineal de un grado de libertad para el periodo fundamental del sistema, lo que permite modelar una edificación de forma simplista con un sistema de un grado de libertad. Parámetros como la pseudoaceleración espectral $S_a(T)$ o un intervalo de ordenadas de pseudoaceleración $S_a(T_i-T_f)$ consideran directamente el periodo de fundamental de un sistema en vibración.

Debido a que la mayoría de los métodos de escalamiento en amplitud no consideran directamente el comportamiento inelástico que podrá tener la estructura, no se consideran adecuados para el análisis con registros de sismos de campo cercano, ya que en este caso las estructuras podrían estar sujetas a grandes deformaciones inelásticas muy diferentes a las previstas en el sistema lineal correspondiente.



Hasselton et al. (2009) analizó métodos de selección y escalamiento basados en el escalamiento en amplitud como $S_a(T)$ y métodos de compatibilidad espectral como el espectro medio condicional (CMS) y algoritmos genéticos, todos estos contenidos en la investigación realizada por el PEER (2009). Con métodos basados en la pseudoaceleración asociada a un periodo fundamental específico $S_a(T_1)$ al igual que las investigaciones de Luco y Cornell (2007). Cuando el método sólo considera la ordenada espectral se encontró que la predicción de las distorsiones de entrepiso eran 36% más grandes que las máximas predicciones de referencia (Obtenidas de una gran cantidad de análisis estructurales y mediante el uso de análisis estadísticos, estas son consideradas los valores de respuesta más exactos). Lo cual se considera una gran sobreestimación de la respuesta estructural y una propuesta muy conservadora. El segundo método se escaló respecto el valor de la pseudoaceleración para un periodo específico y adicionalmente se consideró la forma espectral. Los resultados para este método mostraron una menor dispersión y en promedio solo superaron a la máxima predicción de referencia en un 1% lo cual es una predicción con una gran precisión. Watson-Lamprey (2007) introdujo el concepto de punto de comparación, lo que sería considerado como el comportamiento real o la predicción más precisa (estadísticamente), a partir de análisis llevados a cabo con una gran base de datos de registros sísmicos.

PEER (2009) observó que los métodos basados en $S_a(T_1)$ y el escalamiento respecto a códigos presentan mayor dispersión en la respuesta del índice de máxima distorsión de entrepiso mientras sea mayor el comportamiento no lineal en el edificio, ya que esto incrementa el periodo efectivo de la estructura y modifica la respuesta estructural. Esto implica que si la estructura incursiona en el intervalo inelástico, producto de las grandes sollicitaciones de un sismo severo, es conveniente tomar en cuenta el cambio en su periodo fundamental, como se sugiere con el método de aceleración espectral para un intervalo de periodos $S_a(T_o-T_\mu)$. En el estudio de Kurama et al. (2003) se observó que el método $S_a(T_o-T_\mu)$, al considerar la incursión en el intervalo inelástico, presenta menor dispersión que los resultados del método $S_a(T_1)$, aunque las diferencias no son muy significativas. Se encontró también que ambos métodos pueden no ser efectivos para todos los tipos de suelo e intervalos de periodos espectrales.

El mismo estudio PEER (2009) ordenó, de mayor a menor precisión, los métodos por su capacidad para predecir la respuesta estructural, respecto sus procedimientos.

1. Grupo III [Método CMS] (Métodos de compatibilidad con espectros)
2. Grupo IV [Método ε] (Métodos de forma espectral)
3. Grupo V [Método inelástico]
4. Grupo II [Método de código]
5. Grupo I [Método $S_a(T_1)$] (Métodos de escalamiento en amplitud)



A pesar de que los métodos de escalamiento en amplitud no son los que cuentan con más precisión respecto las predicciones de parámetros de demanda ingenieril, son los métodos que se utilizaron en el desarrollo de este estudio, ya que no modifican el contenido de frecuencias del registro sísmico y su comportamiento natural aleatorio. Representan una forma más simple y mayormente usada en la actualidad por los ingenieros de la práctica e investigadores: Y a pesar de no ser el método más eficiente, bajo ciertas características arroja resultados con una precisión razonable.

Kurama et al. (2003) investigaron varios métodos de escalamiento en amplitud de la intensidad sísmica de PGA, PGV, EPA, EPV, MIV. Los autores muestran que este tipo de métodos de escalamiento tienen un correcto funcionamiento tratándose de suelos firmes y de señales de campo lejano, siendo menos efectivos para suelos blandos y sismos de campo cercano. Se observó que al escalar los registros con base en el parámetro MIV para suelos firmes, y periodos largos resulta más efectivo y se reduce la dispersión en comparación con utilizar PGA. Entre más decrece el periodo el parámetro MIV es menos efectivo.

El método con el cual se obtiene la menor dispersión en la demanda sísmica, de forma simple y para un mayor número de escenarios y estructuras, según Kurama et al. (2003) es mediante el uso de MIV.

Miranda (1993) y Shome et al. (1998), al realizar el proceso de escalamiento respecto parámetros máximos de movimiento, como la aceleración (PGA) observaron un incremento en la dispersión de las predicciones de respuesta estructural.

Dhakal et al. (2007) y Akkar et al. (2005) mencionan que el escalamiento respecto PGA y PGV es el más simple y común de los métodos de escalamiento. No obstante, produce una gran dispersión de los resultados de respuesta estructural, excepto para estructuras con periodos fundamentales de vibración pequeños. Se ha encontrado que en el caso de estructuras muy rígidas este método requiere de un menor número de registros sísmicos para obtener resultados aceptables en comparación con métodos como $S_a(T_1)$ o de códigos como el de NZS1170.5.

El método $S_a(T_1)$ tiene una menor dispersión en la predicción de la respuesta estructural y representa un mayor esfuerzo en cuanto a su proceso de cálculo, ya que es necesaria la obtención del espectro de respuesta de pseudoaceleración (S_a) para cada registro que se escala. Al tratarse de un método de escalamiento que solo considera la intensidad para un periodo (T), correspondiente al periodo fundamental de la estructura en su primer modo de vibrar (T_1), no es posible capturar el efecto y la respuesta que tendrían estructuras con modos superiores de vibrar, o que sean sometidas a grandes demandas de desplazamiento (comportamiento inelástico). Con base en esto,



Yakut et al. (2008) concluye que utilizar una S_a para escalar es eficiente en la predicción de la respuesta, mientras la estructura sea sometida a un comportamiento elástico. Lo mismo sucede si el escalamiento es realizado respecto parámetros como EPA, ASI, I_c y PGA.

Con la finalidad de conocer el número mínimo de registros sísmicos, para llevar a cabo un análisis con un buen grado de confiabilidad Chan et al. (2005) comparó el método $S_a(T_1, \xi)$ con varios criterios de escalamiento, cambiando la demanda de ductilidad, el porcentaje de amortiguamiento efectivo y el periodo fundamental de la estructura. Encontró similitudes en los resultados de confiabilidad de los criterios de escalamiento, concluyendo que la confiabilidad esta inherente en la estructura y no en los criterios que se tomen para escalar. Por otro lado, se encontró que el número de acelerogramas sí afecta el grado de confiabilidad.

Un estudio llevado a cabo por Akkar y Özen (2005) comparó la correlación utilizando los parámetros PGV y PGA en análisis de sistemas de un grado de libertad basados en espectros inelásticos de desplazamientos, encontrando mejor desempeño para PGV en el caso de periodos fundamentales cortos a medios. En los trabajos de Elenas (2000) y Elenas et al. (2001) se encontró que el parámetro de intensidad sísmica Arias (AI) que toma en cuenta la energía de entrada tiene una buena correlación con el daño que se puede presentar en la estructura.

Los mejores parámetros de intensidad para las zonas sensibles a la aceleración y velocidad son los parámetros PGA e Intensidad de Housner (HI), respectivamente, según un amplio estudio llevado a cabo por Riddell (2007), en el que se estudiaron 23 medidas de intensidad sísmica, diferenciando si están basadas en aceleración, velocidad o desplazamiento y ninguna de ellas logró tener un correcto desempeño en las tres zonas del espectro al mismo tiempo (todo el intervalo de periodos). Se observó que si el parámetro de intensidad está basado en la aceleración, velocidad o desplazamiento tendrá un mejor desempeño en cada una de las zonas sensibles a ese parámetro en el espectro. Dentro de los parámetros de intensidad basados en la velocidad se reporta que la de Housner's es la que presentó mejores valores de correlación en la zona sensible a la velocidad, y un desempeño medio en la zona sensible los desplazamientos. De los parámetros basados en la aceleración uno de los más utilizados es la intensidad Arias, se observó que es adecuado, al tratarse de estructuras y sistemas rígidos.

Yakut et al. (2008), considerando parámetros de intensidad obtenidos directamente del acelerograma, como AI, CAV e I_c , observaron coeficientes de correlación mayores a 0.90 en la predicción de parámetros de demanda ingenieril como las máximas distorsiones de entrepiso. Por otro lado si el parámetro de intensidad es obtenido con base en un espectro, como HI, VSI y ASI se ha observado que estos tienen una relación directa con la fuerza a la que será



sometida la estructura debida al sismo. HI y VSI mostraron coeficientes de correlación cercanos a 1.0. VSI, HI, Sa(T) y PGA son los parámetros que presentaron mayor correlación (ordenados de mayor a menor) respecto a la demanda ingenieril; I_c y PGV presentaron una correlación menor, contrario a lo observado por Akkar y Özen (2005). Se observó que VSI tiene resultados razonablemente precisos en el intervalo elástico e inelástico. PGA, ASI y EPA tienen mayor correlación en el intervalo de periodos cortos a medianos. Si el periodo es menor que 0.5 s los parámetros PGA, I_c, ASI, VSI y Sa(T) tienen altos valores de correlación; el mejor método resultó ser PGA, lo cual también fue observado por Riddell (2007). Los parámetros CAV y PGV presentaron la menor correlación con la respuesta sísmica. En el intervalo de periodos de 0.5 a 1.1 seg el mejor parámetro fue VSI, seguido por HI y Sa(T), en estos periodos de medio a largo también PGV mostro una buena aproximación.

Los parámetros I_c e I_F consideran la duración y amplitud del movimiento sísmico, pero ignoran las propiedades de la estructura como el periodo fundamental, al igual que los parámetros AI, PGV, PGA y CAV, sabiendo que son de mucha importancia estas propiedades estructurales en la respuesta. Por otro lado VSI, ASI, HI y Sa(T) consideran las ordenadas del registro sísmico y también el periodo de la estructura. La razón por la que ASI podría no presentar buenos resultados es por el corto intervalo de periodos para el que fue creado originalmente (0.1-0.5 seg), dejando fuera estructuras con periodos más grandes como altas edificaciones, por lo que algunas propuestas incrementan el intervalo a (0.1-2.0 seg) para edificios.

Con base en lo encontrado por Yakut et al. (2008) los parámetros de intensidad sísmica que toman en cuenta las características estructurales (Periodo fundamental) son la mejor medida de intensidad, sobre todo para el intervalo de periodos de (0.2-1.1 seg). VSI, ASI y HI en el intervalo de 0.1-2.5 seg, son de los métodos con mejores predicciones. En el intervalo 0.2-0.5 s, los parámetros PGA, VSI e I_c (en orden descendente) fueron los de mejor comportamiento. Si la estructura tiene un periodo entre 0.5 y 1.1 seg, VSI y HI son los parámetros con mejor correlación.

El estudio de Bradley (2012) compara la medida de intensidad CAV con otras, como ASI, PGA, PGV, S_a(T) y DSI (Intensidad de desplazamiento espectral). Ninguno de los parámetros de intensidad resultó con una correlación fuerte ($\rho > 0.9$). La mayor se obtuvo para periodos cortos con las intensidades PGA (0.7) y ASI (0.703) y para periodos intermedios con las intensidades PGV (0.691) y SI (0.681)

Avsar et al. (2011) realizaron un estudio en el que obtuvieron curvas de fragilidad para estimar la vulnerabilidad sísmica de puentes con geometrías comunes. Se comparó el efecto de varias medidas de intensidad sísmica (ASI, PGA y PGV), observando que ASI y PGV presentaron una mejor correlación con la demanda



sísmica de los puentes, estimando mejor los estados límite y obteniendo curvas de fragilidad más realistas.

La dispersión en los resultados de las predicciones puede reducirse sin afectar mucho su distribución al seguir las siguientes recomendaciones:

- Escalar los acelerogramas al valor medio del conjunto de registros, no solo para un periodo fundamental en específico si no para un intervalo de periodos como indican Shome y Cornell (1998), Shome, Cornell y Bazzurro (1998) Martinez et al. (1998) y Kennedy et al. (1984).
- Escalar utilizando espectros con niveles de amortiguamiento mayores como indica Shome y Cornell (1998), y Kennedy et al. (1984).

1.1 Métodos de escalamiento y parámetros de intensidad sísmica

Se presenta un breve resumen de los métodos de escalamiento y cálculo de parámetros de intensidad que se abordaran en esta investigación.

1.1.1 Ejemplo de escalamiento (UNIO8509.191)

Como ejemplo se escalara el sismo “UNIO8509.191” registrado en la estación “LA UNION” ubicada en Unión, Guerrero con coordenadas (17.98762 LAT. N, 101.810623 LONG. W) punto amarillo en la Fig. 1, con una magnitud $M_s=8.10$, registrado sobre roca en las coordenadas epicentrales (18.081 LAT. N, 102.942 LONG. W) estrella roja en la Fig. 1, la fecha del sismo es 19/09/1985, con una profundidad focal de 15 km. Se muestra también el acelerograma en la Fig. 2.

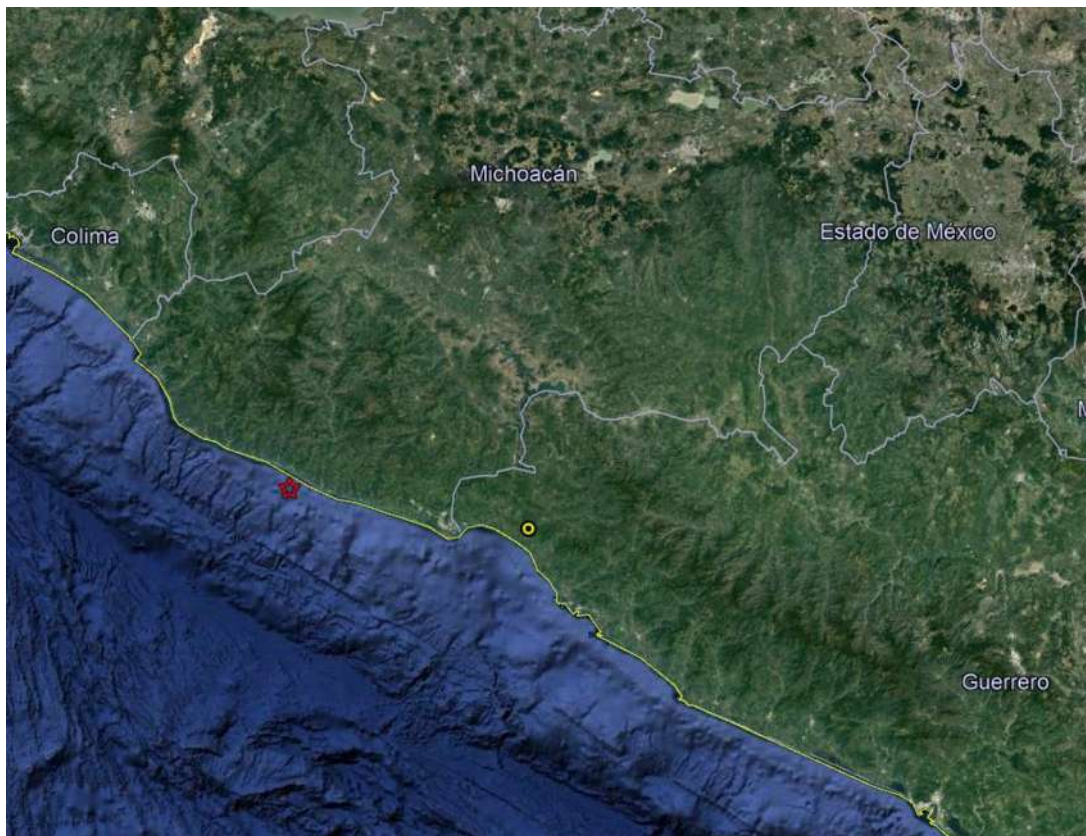


Fig. 1 Localización del epicentro y estación del sismo UNIO8509.191 en rojo y amarillo respectivamente.

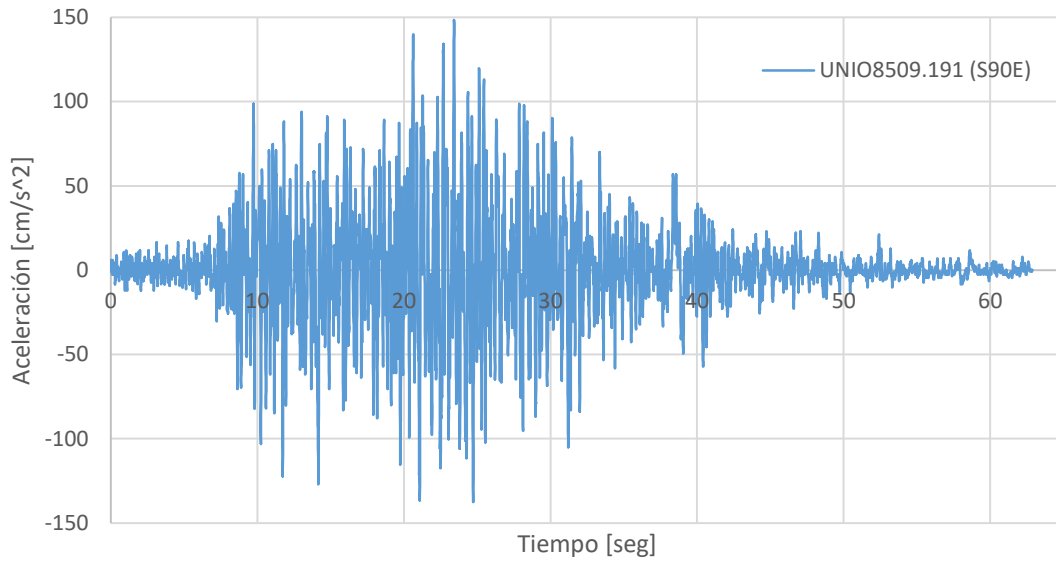


Fig. 2 Registro de aceleraciones del sismo UNIO8509.191 (S90E).

Como objetivo se tomara el espectro de respuesta para un periodo de 500 años Fig. 4 obtenido mediante PRODISIS v4.1 para la ciudad de Puerto Escondido, Oaxaca, en las coordenadas 15.86 LAT, 97.06 LONG mostradas en la Fig. 3.

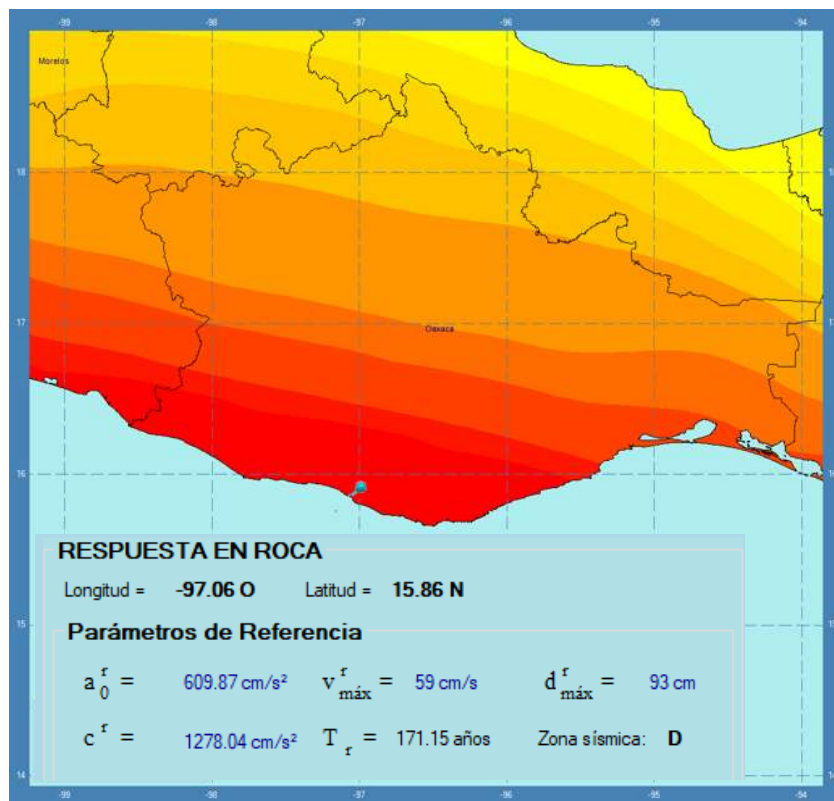


Fig. 3 Localización y parámetros para la ciudad de Puerto Escondido, Oaxaca (Obtenida de PRODISIS V4.1).

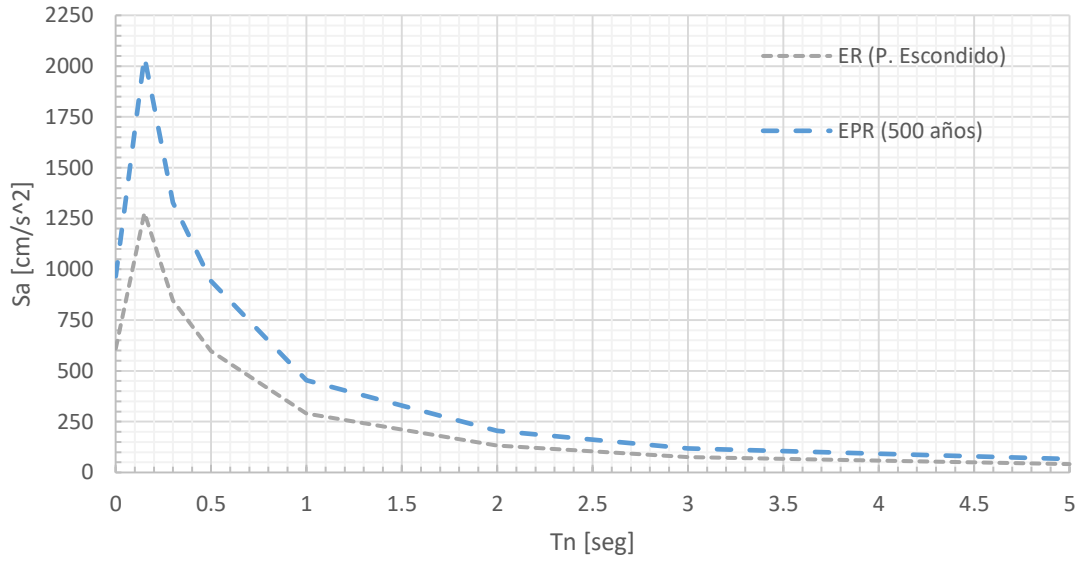


Fig. 4 Espectro de Respuesta (ER) y Espectro de respuesta para un Periodo de Retorno de 500 años (EPR), ambos para la ciudad de Puerto Escondido.

Para el caso de escalamiento respecto parámetros basados en el registro sísmico se obtuvieron 4 acelerogramas sintéticos Fig. 5 correspondientes al espectro de respuesta del sitio Fig. 6.

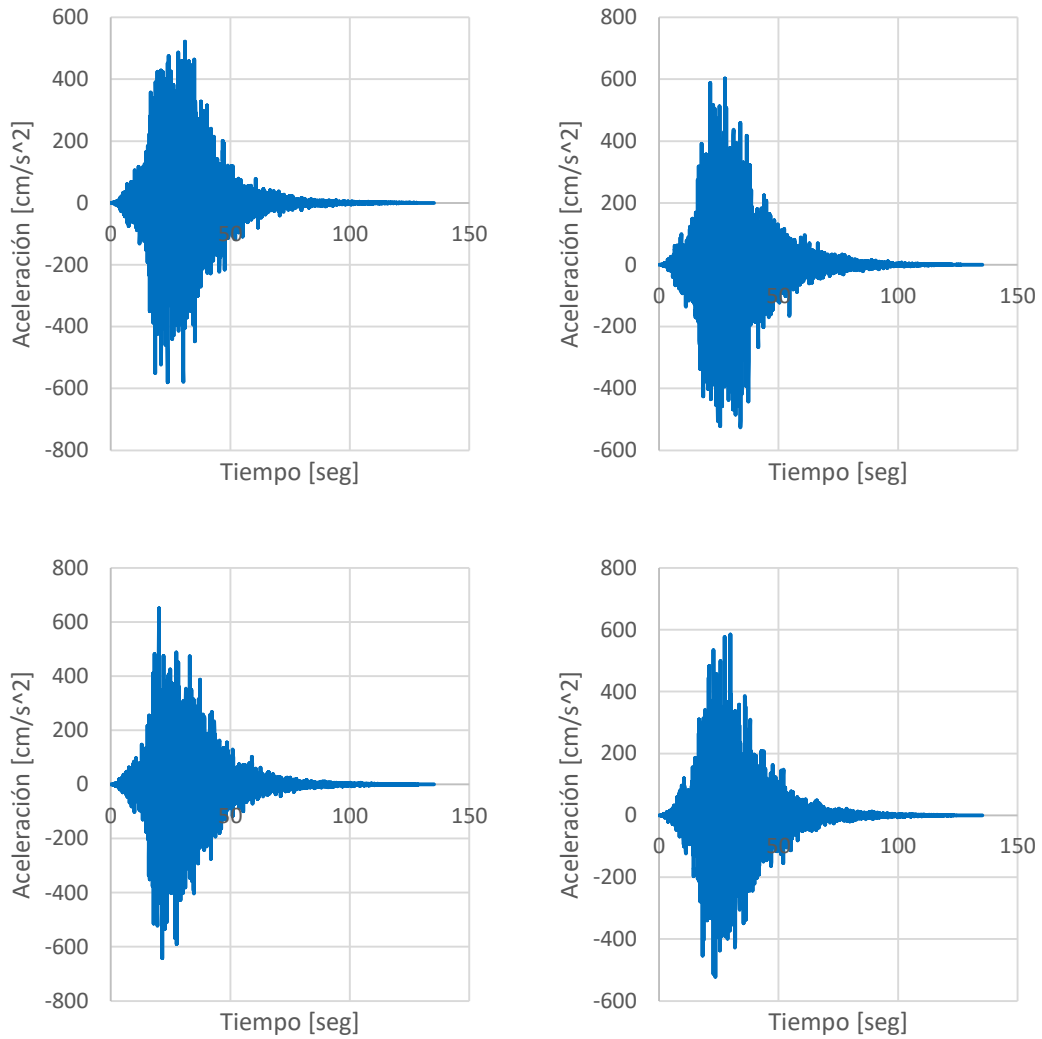


Fig. 5 Cuatro acelerogramas sintéticos referentes al espectro de respuesta de Puerto Escondido.

Correspondencia entre espectro de respuesta y espectros de acelerogramas sintéticos

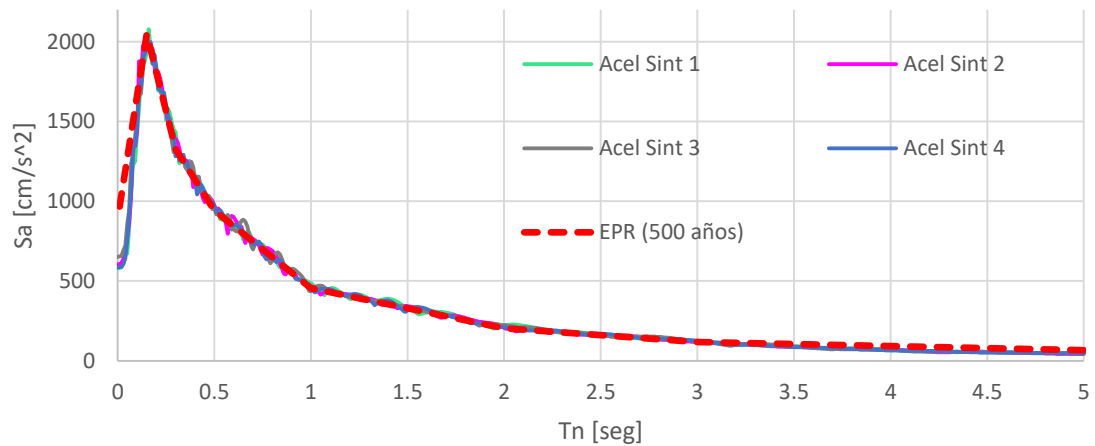


Fig. 6 Comparación entre los espectros de respuesta de los cuatro acelerogramas sintéticos y el espectro objetivo con un periodo de retorno de 500 años para Puerto Escondido (EPR)



1.1.2 Parámetros de intensidad

1.1.2.1 PGA - Aceleración Máxima del Suelo (Peak Ground Acceleration)

El registro sísmico se escala en amplitud al valor de aceleración máxima del suelo (PGA) del registro sísmico.

Este valor se obtiene fácilmente del máximo de los valores absolutos del registro de aceleraciones del sismo Fig. 7 o de la ordenada del espectro de pseudoaceleración para un periodo igual a cero Fig. 8.

Para el registro UNIO8509.191 (S90E) el valor PGA es igual a 148.258 cm/s^2

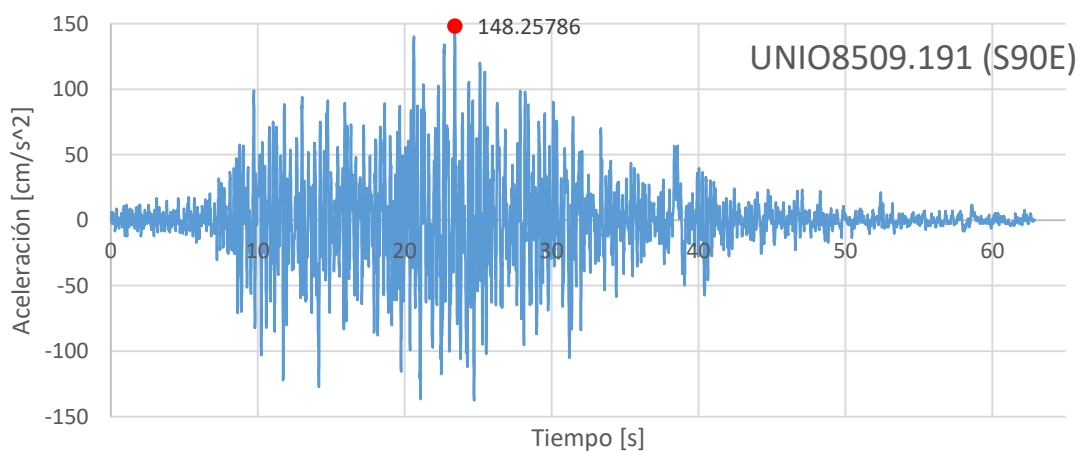


Fig. 7 Registro de aceleraciones del sismo UNIO8509.191 (S90E) y su valor máximo de aceleración del terreno.

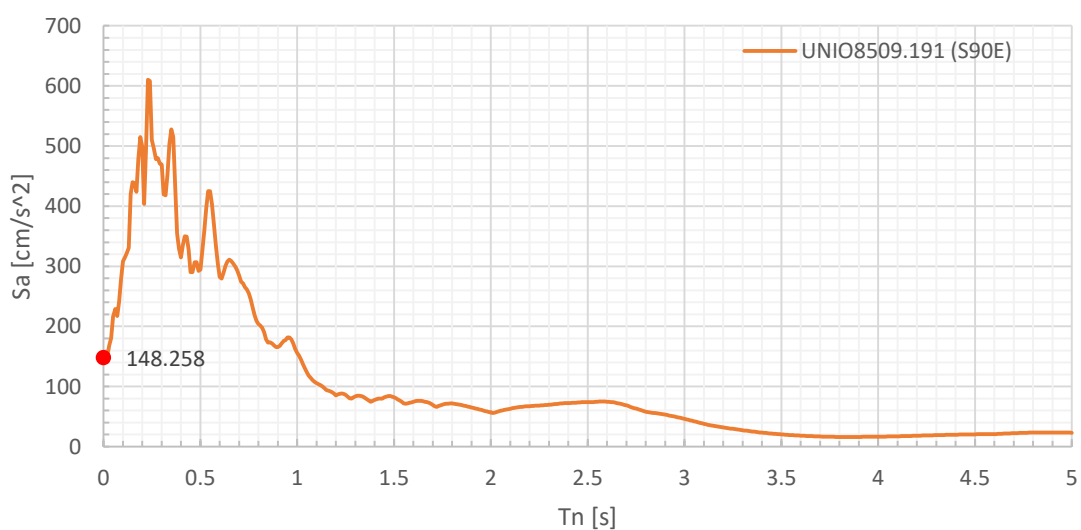


Fig. 8 Espectro de respuesta del sismo UNIO8509.191 (S90E) y su valor máximo de aceleración del terreno.



El PGA del espectro objetivo se obtiene de la ordenada para el periodo cero, resultado igual a 966.181719 cm/s² Fig. 9.

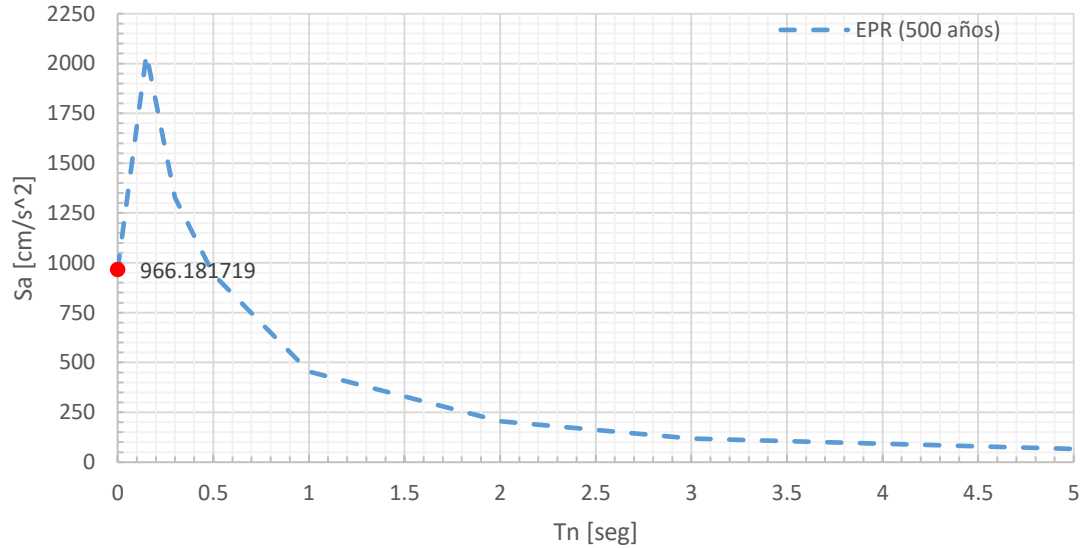


Fig. 9 Espectro de respuesta para un Periodo de Retorno de 500 años (EPR) y su valor máximo de la aceleración del terreno.

El factor de escala para cada registro sísmico se obtiene con el cociente de PGA_{EO} del espectro objetivo, entre el PGA_{ERE} del espectro de respuesta elástico.

$$FE = \frac{PGA_{EO}}{PGA_{ERE}} = \frac{966.181719}{148.258} = 6.517$$



1.1.2.2 EPA - Aceleración Máxima Efectiva (Effective Peak Acceleration)

El registro sísmico se escala en amplitud a la media aritmética EPA del espectro objetivo. Según FEMA y NEHRP (1994) el parámetro EPA se obtiene calculando la media de la aceleración espectral elástica lineal con un amortiguamiento de 5%, para un intervalo de periodos de 0.1 a 0.5 segundos, dividido entre 2.5 (2.5 es un coeficiente relacionado a los espectros de diseño ATC 3-06 (1978)).

La aceleración máxima efectiva del registro sísmico UNIO8509.191 (S90E) resulta $EPA=412.8415\text{cm/s}^2$, para el espectro objetivo $EPA=1500.778\text{ cm/s}^2$ Fig. 10.

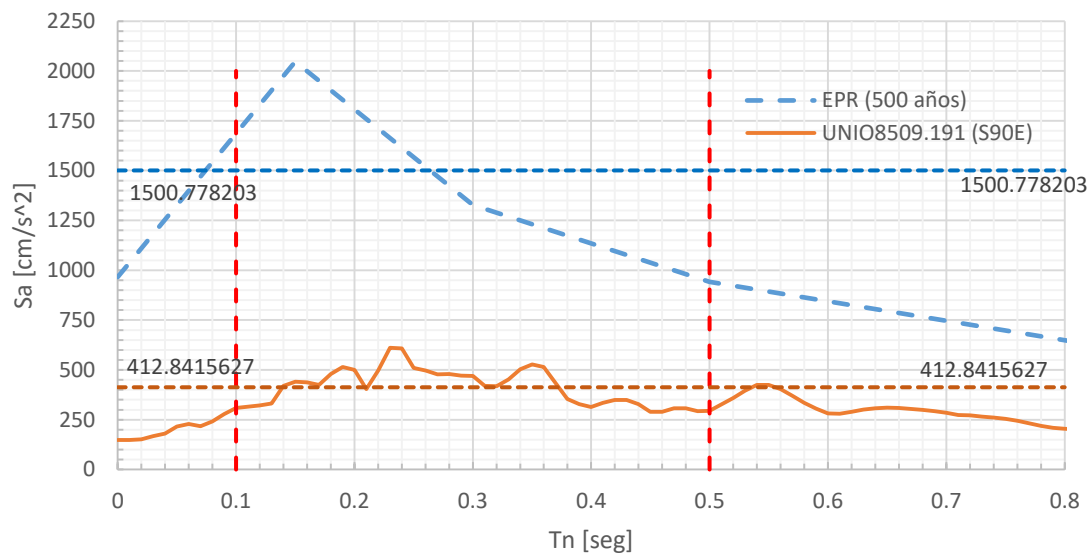


Fig. 10 Espectros de respuesta y sus correspondientes valores de aceleración máxima efectiva (EPA).

El factor de escala para cada registro sísmico se obtiene con el cociente de EPA_{EO} del espectro objetivo sobre 2.5, entre el EPA_{ERE} del espectro de respuesta elástico sobre 2.5.

$$FE = \frac{\frac{EPA_{EO}}{2.5}}{\frac{EPA_{ERE}}{2.5}} = \frac{\frac{1500.7782}{2.5}}{\frac{412.8415}{2.5}} = 3.635$$



1.1.2.3 EPV - Velocidad Máxima Efectiva (Effective Peak Velocity)

El registro sísmico se escala en amplitud a la media aritmética EPV del espectro objetivo. Según FEMA y NEHRP (1994) el parámetro EPV es igual a la pseudovelocity elástica lineal con un amortiguamiento de 5%, para un periodo de T=1 seg. En este ejemplo se tomara la recomendación de Kurama et al. (1997) calcular EPV como la pseudovelocity media para un intervalo de periodos de 0.8 a 1.2 seg.

La velocidad máxima efectiva del registro sísmico UNIO8509.191 (S90E) resulta EPV=22.2568 cm/s, para el espectro objetivo EPV=77.8047 cm/s Fig. 11.

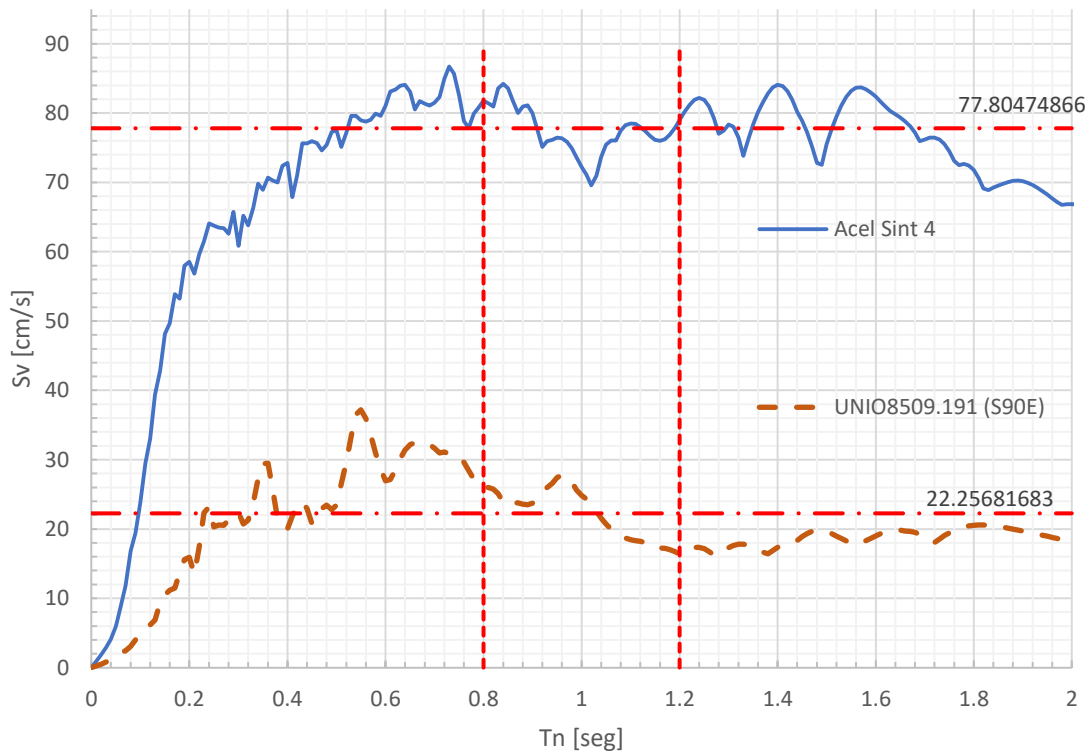


Fig. 11 Espectros de pseudovelocity del registro sísmico y de los acelerogramas sintéticos del espectro objetivo con sus correspondientes valores de velocidad máxima efectiva (EPV).

El factor de escala para cada registro sísmico se obtiene con el cociente de EPV_{EO} del espectro objetivo, entre el EPV_{ERE} del espectro de respuesta elástico.

$$FE = \frac{EPV_{EO}}{EPV_{ERE}} = \frac{77.8047}{22.2568} = 3.496$$



1.1.2.4 MIV – Máxima Velocidad Incremental (Maximum Incremental Velocity)

El registro sísmico se escala en amplitud al valor máximo de velocidad incremental MIV del registro asociado al espectro objetivo. Velocidad Incremental (IV) se define como el área bajo la curva del registro sísmico de aceleraciones entre dos ceros consecutivos. Se busca el máximo IV (MIV). Kurama et al. (1997) reporta que este es un mejor indicador del posible daño, al tomar en cuenta el comportamiento impulsivo del registro sísmico.

Para el registro de aceleraciones del sismo UNIO8509.191 (S90E) Fig. 12 y la mayor área contenida entre dos ceros es $MIV=16.0814$ cm/s. Se obtuvo mediante el software PRODISIS v4.1 un grupo de cuatro acelerogramas sintéticos Fig. 13 se calculó el valor objetivo de MIV, como un promedio de los cuatro registros sintéticos, $MIV_1=19.0708$ cm/s, $MIV_2=23.9768$ cm/s, $MIV_3=14.4905$ cm/s y $MIV_4=22.4986$ cm/s; resultando un valor objetivo de $MIV_{EO}=20.0092$ cm/s.

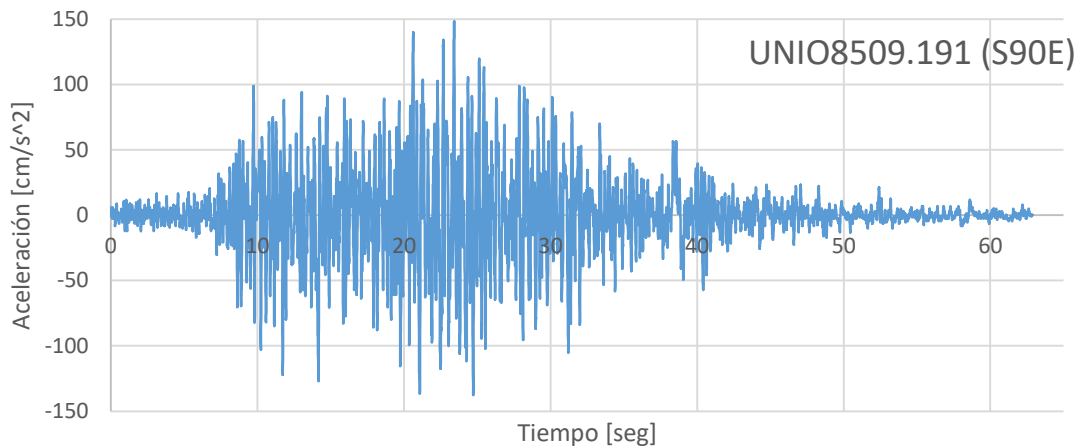


Fig. 12 Registro de aceleraciones del terreno para el sismo Unio8509.191 (S90E).

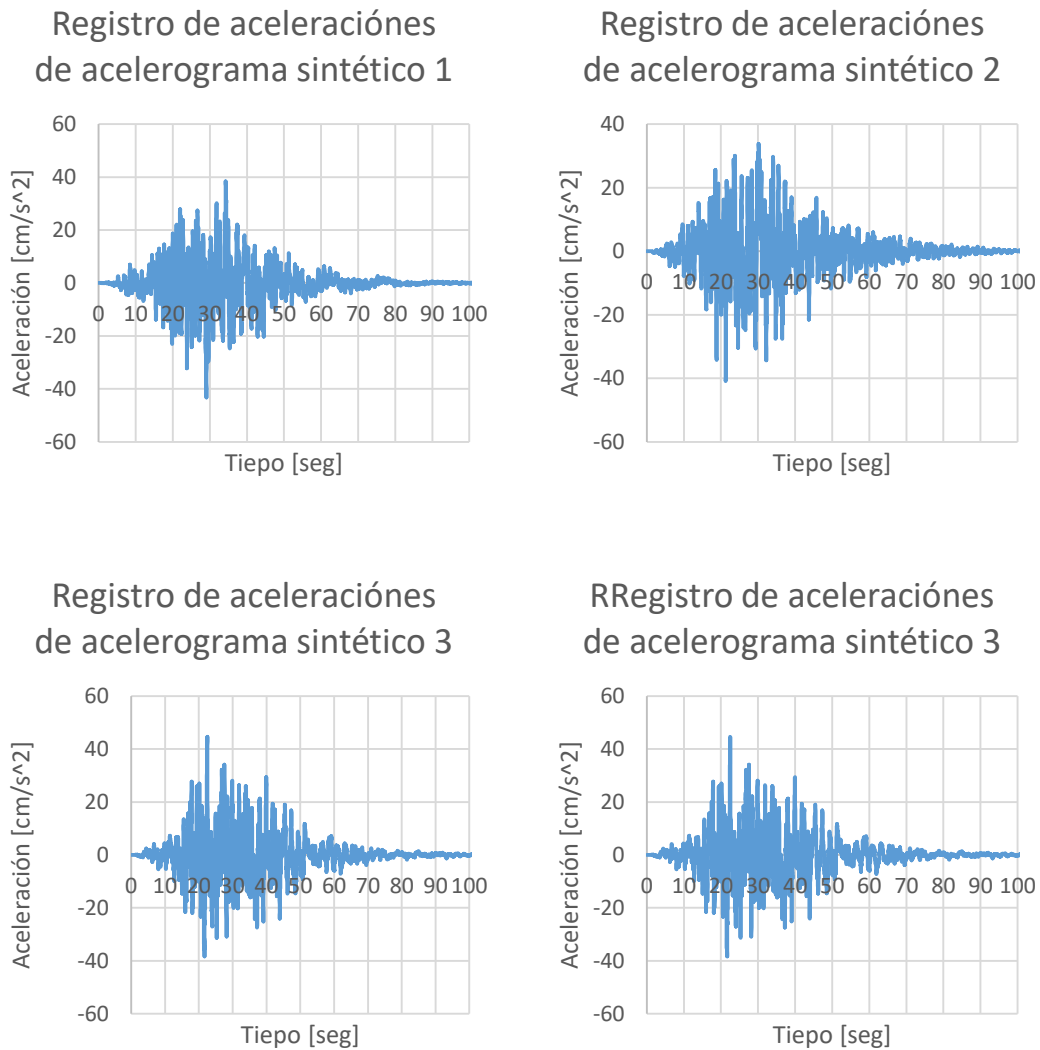


Fig. 12 Registros de aceleraciones de los cuatro acelerogramas sintéticos correspondientes al espectro objetivo.

El factor de escala para cada registro sísmico se obtiene con el cociente de MIV_{EO} del espectro objetivo, entre el MIV_{ERE} del espectro de respuesta elástico.

$$FE = \frac{MIV_{EO}}{MIV_{ERE}} = \frac{20.0092}{16.0814} = 1.244$$



1.1.2.5 $S_a(T_n)$ – Aceleración espectral para el periodo fundamental (Spectral response acceleration at the structure fundamental period)

El registro sísmico se escala en amplitud al valor de la pseudoaceleración espectral lineal elástica con 5% de amortiguamiento del espectro objetivo, específicamente para el periodo fundamental de la estructura. De esta manera este método toma en cuenta características estructurales y del registro sísmico Shome y Cornell (1998). $S_a(T_n)$ puede ser utilizado para escalar a una intensidad espectral específica.

Para el escalamiento del registro UNIO8509.191 (S90E) se consideraran dos periodos fundamentales de vibración 0.2 s y 1.0 s.

Se muestra en la Fig. 14 el valor de pseudoaceleración para el espectro del registro sísmico $S_a(T_n=0.2s)=499.7779 \text{ cm/s}^2$ y $S_a(T_n=1.0s)=155.9890 \text{ cm/s}^2$, para el espectro objetivo es de $S_a(T_n=0.2s)=1807.0800 \text{ cm/s}^2$ y $S_a(T_n=1.0s)=453.5960 \text{ cm/s}^2$.

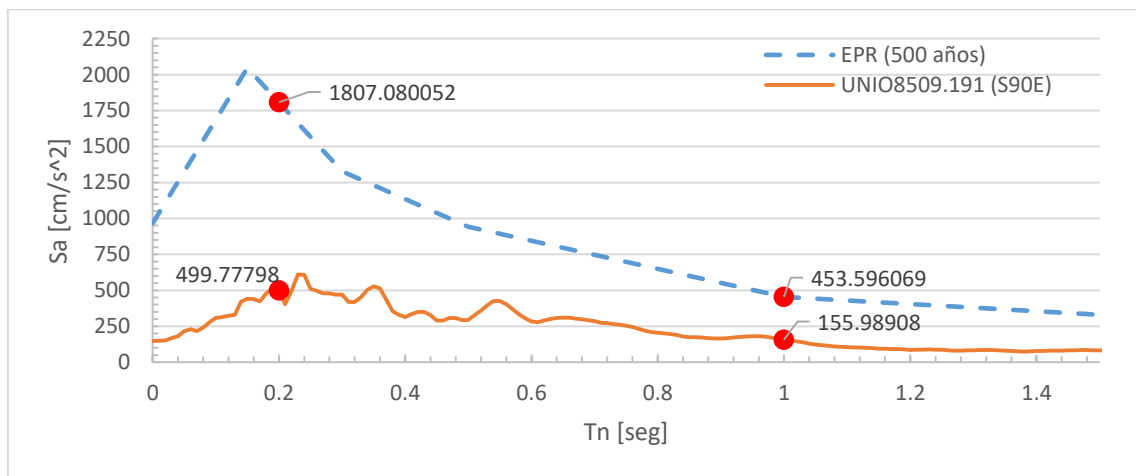


Fig. 13 Espectros de respuesta del registro sísmico y del sitio, señalando los valores de pseudoaceleración para los periodos de interés de 0.2 y 1.0 s.

El factor de escala para cada registro sísmico se obtiene con el cociente de $S_a(T_n)_{EO}$ del espectro objetivo, entre el $S_a(T_n)_{ERE}$ del espectro de respuesta elástico.

$$FE_{T_n=0.2} = \frac{S_a(T_n)_{EO}}{S_a(T_n)_{ERE}} = \frac{1807.0800}{499.7779} = 3.616$$

$$FE_{T_n=1.0} = \frac{S_a(T_n)_{EO}}{S_a(T_n)_{ERE}} = \frac{453.5960}{155.9890} = 2.908$$



1.1.2.6 $S_a(T_o \rightarrow T_\mu)$ – Aceleración espectral para un intervalo de periodos (Spectral acceleration over a range of structure periods)

Cada registro sísmico es escalado en amplitud a la media aritmética de la aceleración espectral lineal elástica con 5% de amortiguamiento del espectro objetivo, para un intervalo de periodos.

El primer paso es calcular el periodo elongado a partir del periodo fundamental de la estructura Kurama et al. (2003):

$$T_\mu = T_o \sqrt{\frac{\mu}{\alpha\mu + 1 - \alpha}}$$

μ = Ductilidad de deformación.

α = Factor de relación de rigidez post fluencia.

Posteriormente se calcularan los valores medios de aceleración espectral $S_a(T_o \rightarrow T_\mu)$ para el intervalo de periodos $T_o \rightarrow T_\mu$. Después, cada registro es escalado para que su valor medio de la aceleración espectral en el intervalo $T_o \rightarrow T_\mu$ sea igual al valor $S_a(T_o \rightarrow T_\mu)$. Al considerar un intervalo de periodos para la estructura el método toma en cuenta el incremento en el periodo de la estructura debido al comportamiento inelástico al que es sometido por la acción sísmica intensa.

Para el escalamiento del registro UNIO8509.191 (S90E) se considerara un intervalo de periodos de vibración de 0.1 a 2.0 s. El valor medio de pseudoaceleración en el intervalo, para el espectro del registro sísmico es de $S_a(T_n=0.1-2.0s)=196.9251 \text{ cm/s}^2$, y para el espectro objetivo es de $S_a(T_n=0.1-2.0s)=1,110.2235 \text{ cm/s}^2$ Fig. 15.

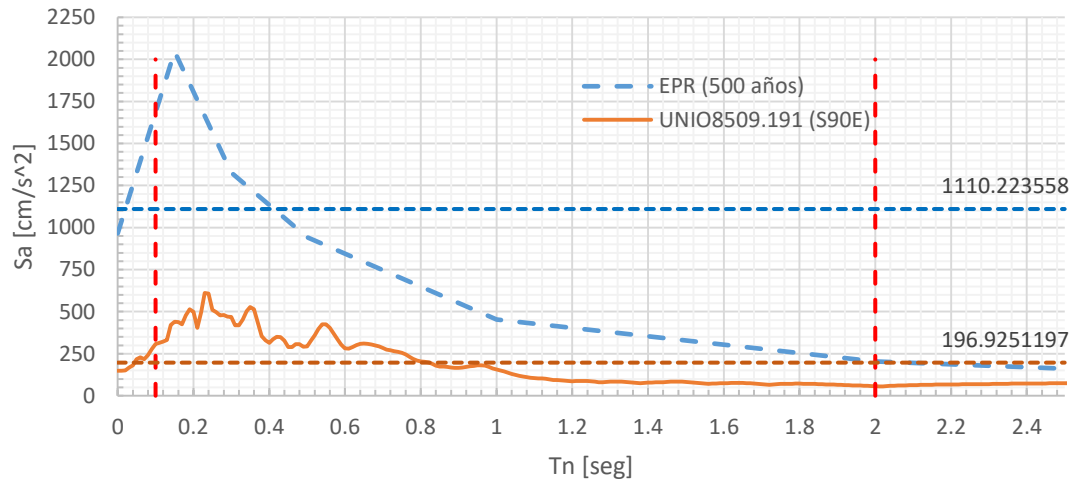


Fig. 14 Espectros de respuesta y su valor medio de pseudoaceleración para un intervalo de 0.2 a 2.0 s.

El factor de escala para cada registro sísmico se obtiene con el cociente de $S_a(T_o \rightarrow T_\mu)_{EO}$ del espectro objetivo, entre el $S_a(T_o \rightarrow T_\mu)_{ERE}$ del espectro de respuesta elástico.

$$FE = \frac{S_a(T_o \rightarrow T_\mu)_{EO}}{S_a(T_o \rightarrow T_\mu)_{ERE}} = \frac{1,110.2235}{196.9251} = 5.638$$



1.1.2.7 ASI – Intensidad Espectral de Aceleración (Acceleration Spectrum Intensity)

Von Thun et al. (1988) propone esta intensidad definida por el área bajo el espectro de respuesta elástico de pseudoaceleración en el intervalo de periodos T_i y T_f , con un 5% de amortiguamiento. Los límites $T_i=0.1$ y $T_f=0.5$ s son utilizados para suelo firme, creado inicialmente para el análisis de presas de concreto las cuales generalmente tendrán un periodo fundamental menor que 0.5 s. Para el uso de esta intensidad en otro tipo de estructuras, como edificios el intervalo de periodos debe modificarse a $T_i=0.1$ y $T_f=2.0$ seg.

$$ASI = \int_{T_i}^{T_f} S_a(T, \xi) dT$$

$S_a(T, \xi)$ = es la pseudoaceleración asociada al amortiguamiento ξ

Para el escalamiento del registro UNIO8509.191 (S90E) se considerara un intervalo de periodos de vibración de 0.1 a 2.0 s. El valor área bajo el espectro de pseudoaceleración en el intervalo para el espectro del registro sísmico es de $ASI_{ERE(0.1-2.0)}=374.302$ gal-s, y para el espectro objetivo es de $ASI_{EO(0.1-2.0)}=1,251.429$ gal-s, si se considera el intervalo convencional de 0.1 a 0.5 s el parámetro resulta $ASI_{ERE(0.1-0.5)}=166.252$ gal-s y $ASI_{EO(0.1-0.5)}=573.4011$ gal-s

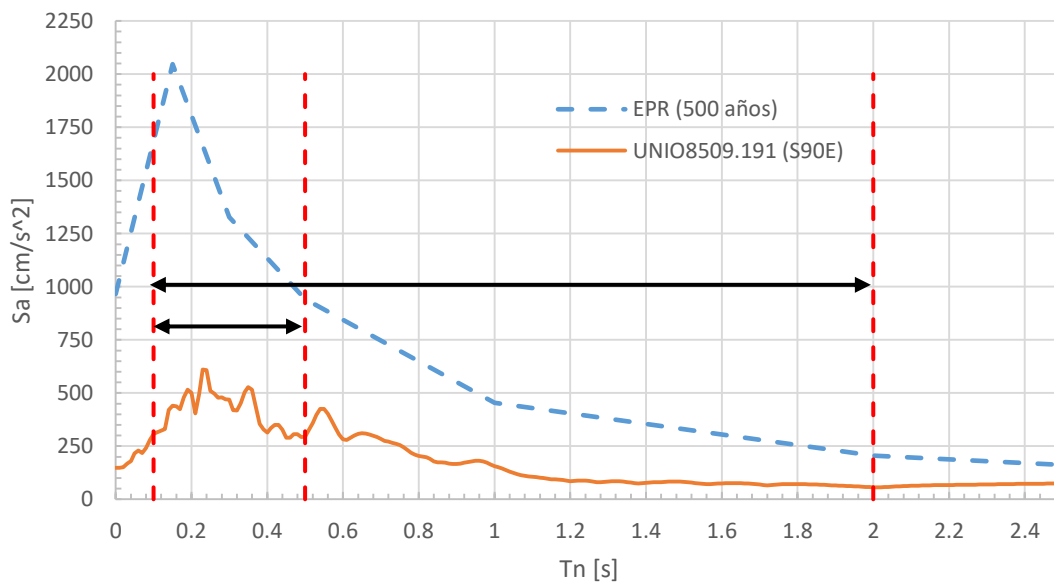


Fig. 15 Espectros de respuesta y los intervalos de periodos de vibración en los que se calculó el área bajo la curva para obtener el parámetro ASI.



El factor de escala para cada registro sísmico se obtiene con el cociente de ASI_{EO} del espectro objetivo, entre el ASI_{ERE} del espectro de respuesta elástico.

$$F_{(0.1-2.0)} = \frac{ASI_{EO}}{ASI_{ERE}} = \frac{374.302}{1,251.429} = 3.343$$

$$F_{(0.1-0.5)} = \frac{ASI_{EO}}{ASI_{ERE}} = \frac{166.252}{573.4011} = 3.449$$



1.1.2.8 AI - Intensidad de Arias (Arias Intensity)

El parámetro Intensidad de Arias (AI) fue propuesto por Arias (1970). Este parámetro se relaciona directamente con el contenido de energía del registro sísmico.

$$AI = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_d} a(t)^2 dt$$

Donde

- t_d es la duración total del registro sísmico.
- $a(t)$ es la aceleración del terreno en función del tiempo.

El valor de intensidad de Arias para el registro sísmico es de $AI=0.9015$ m/s, y el valor medio de los cuatro acelerogramas sintéticos es $AI_{EO}=13.698$ m/s Fig. 17.

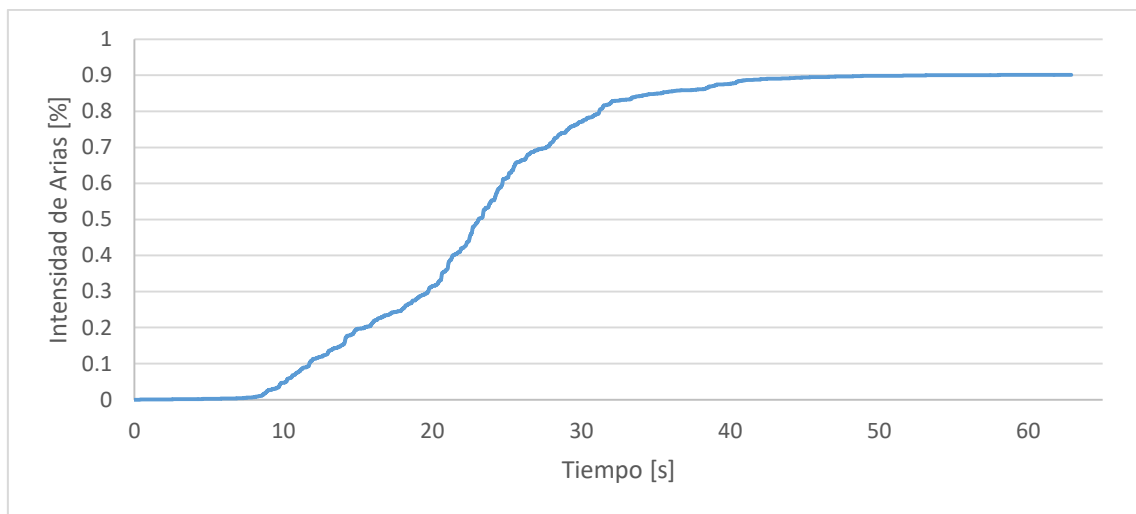


Fig. 16 Intensidad de Arias en función del tiempo del registro UNIO8509.191 (S90E).

El factor de escala para cada registro sísmico se obtiene con el cociente de AI_{EO} del espectro objetivo, entre el AI_{ERE} del espectro de respuesta elástico.

$$FE = \frac{AI_{EO}}{AI_{ERE}} = \frac{13.698}{0.9015} = 15.194$$



1.1.2.9 CAV – Velocidad absoluta acumulada (Cumulative Absolute Velocity)

El registro sísmico es escalado en amplitud al valor de la velocidad absoluta acumulada, definida como el valor absoluto de las áreas bajo la curva.

Este parámetro fue propuesto por el EPRI (1998)

$$CAV = \int_0^{t_d} |a(t)| dt$$

Donde

- t_d es la duración total del registro sísmico.
- $a(t)$ es la aceleración del terreno en función del tiempo.

El valor de velocidad absoluta acumulada para el registro sísmico es de $CAV=1,168.930$ cm/s, y el valor medio de los cuatro acelerogramas sintéticos es $CAV=5,023.422$ cm/s.

El factor de escala para cada registro sísmico se obtiene con el cociente de CAV del espectro objetivo, entre el CAV del registro sísmico.

$$FE = \frac{CAV}{CAV} = \frac{5,023.422}{1,168.930} = 4.297$$



1.1.2.10 HI - Intensidad de Housner (Housner Intensity)

Housner et al. (1952) propone esta intensidad definida por el área bajo el espectro de respuesta elástico de pseudovelocidad en el intervalo de periodos T_i y T_f , con un 5% de amortiguamiento. Los límites $T_i=0.1$ y $T_f=2.5$ seg.

$$HI = \int_{T_i}^{T_f} S_v(T, \xi) dT$$

$S_v(T, \xi)$ = es la pseudovelocidad asociada al amortiguamiento ξ

1.1.3 Factores de escala

La Tabla 1 muestra los parámetros de intensidad y sus correspondientes factores de escala calculados para el registro UNIO8509.191 (S90E) y el espectro de la ciudad de Puerto Escondido, Oaxaca.

Parámetro de Intensidad	Fuente	Factor de Escala
Int Arias	Registro	15.194
PGA	Registro	6.517
Ic	Registro	6.354
Sa(0.1-2s)	Espectro	5.638
CAV	Registro	4.297
A95	Registro	4.051
EPA (0.1-0.5s)	Espectro	3.635
Sa(0.2s)	Espectro	3.616
EPV (0.8-1.2s)	Espectro	3.496
ASI (0.1-0.5)	Espectro	3.449
ASI (0.1-2.0)	Espectro	3.343
HI	Espectro	3.314
VSI	Espectro	3.184
Sa(1.0s)	Espectro	2.908



PGV	Registro	2.652
MIV	Registro	1.244

Tabla 1 Factores de escala de los diferentes parámetros de intensidad para el registro UNIO8509.191 (S90E)



1.1.4 Espectros de respuesta

Se obtuvieron los espectros de respuesta para los registros escalados con cada parámetro de intensidad, la Fig. 18 muestra los espectros de respuesta del registro UNIO8509.191 (S90E) escalado con los parámetros de intensidad basados en magnitudes espectrales, y la Fig. 19 los que se escalaron con parámetros basados en el registro.

La Fig. 18 se separó en base a cuales espectros fueron escalados con parámetros que toman como base la aceleración espectral o la velocidad espectral en las Fig. 20 y Fig.21 respectivamente, de igual manera la Fig. 19 se dividió en base a los espectros que fueron escalados con parámetros basados en la aceleración de registro o la velocidad del registro, en las Fig. 22 y Fig. 23 respectivamente.

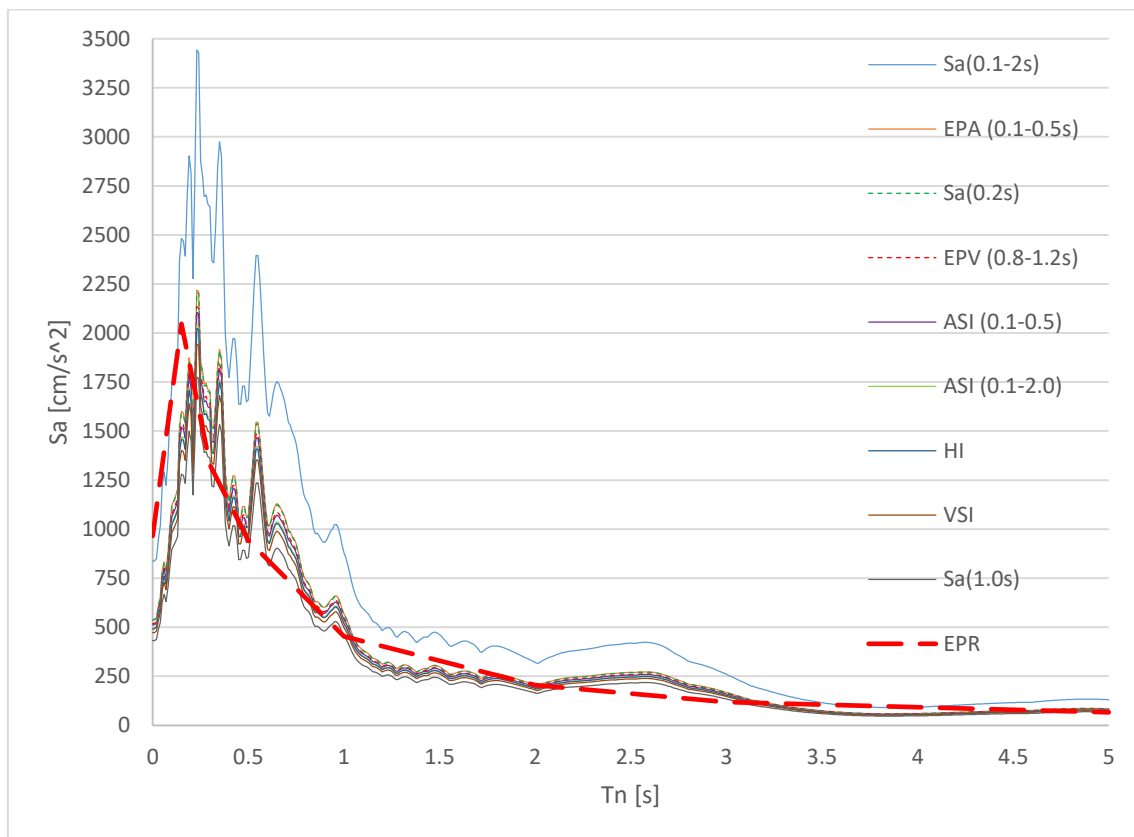


Fig. 17 Espectros de respuesta escalados respecto parámetros de intensidad basados en magnitudes espectrales.

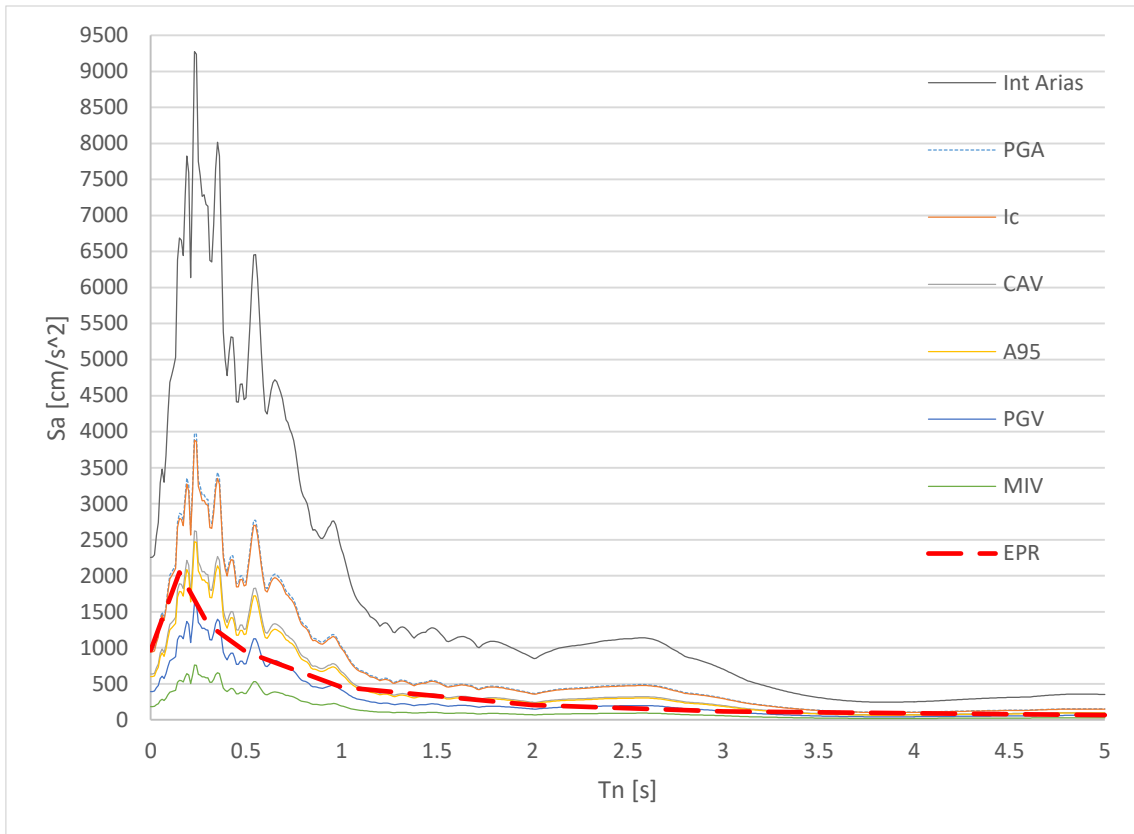


Fig. 18 Espectros de respuesta escalados respecto parámetros de intensidad basados en magnitudes del registro.

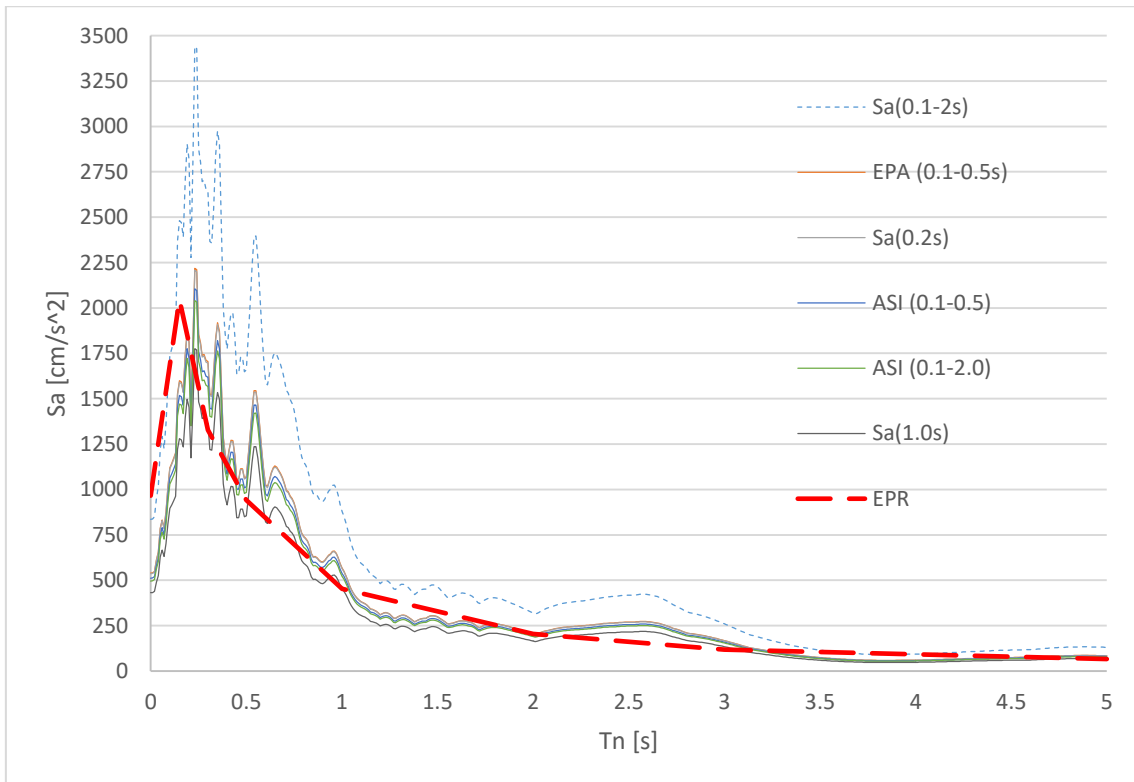


Fig. 19 Espectros de respuesta escalados respecto parámetros de intensidad espectral de aceleración.

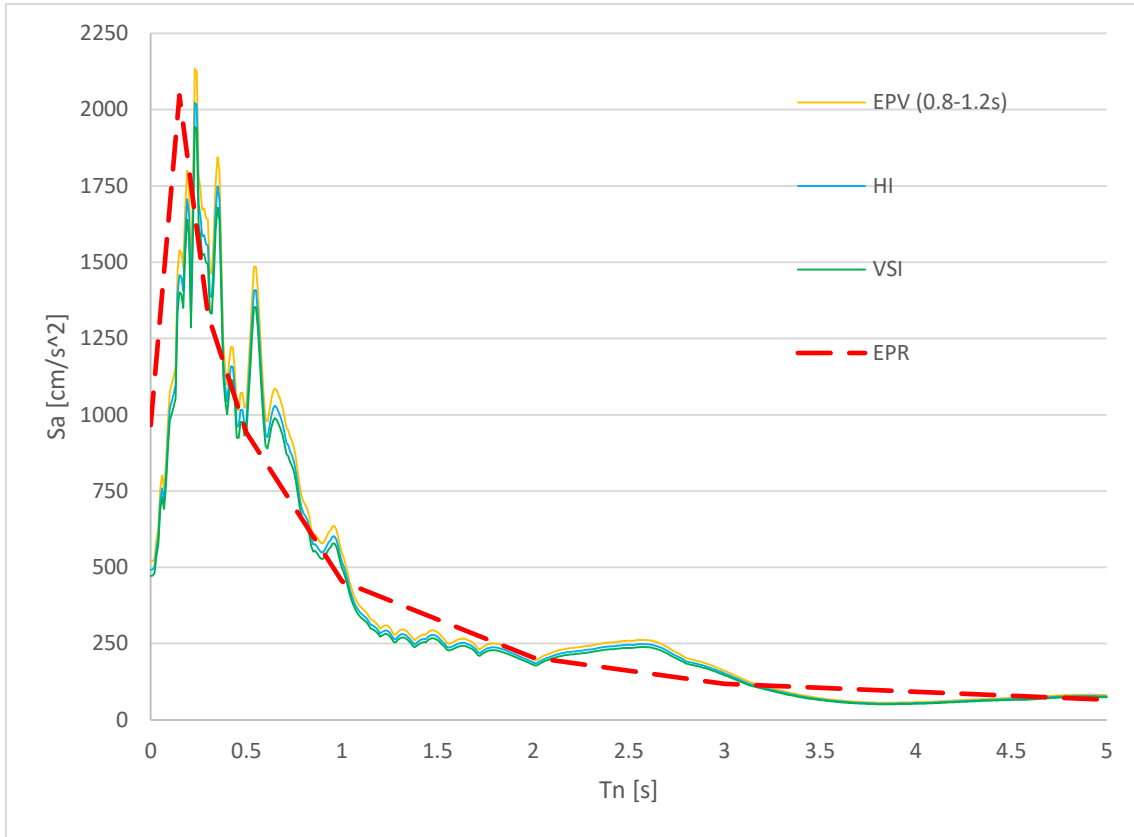


Fig. 20 Espectros de respuesta escalados respecto parámetros de intensidad de velocidad.

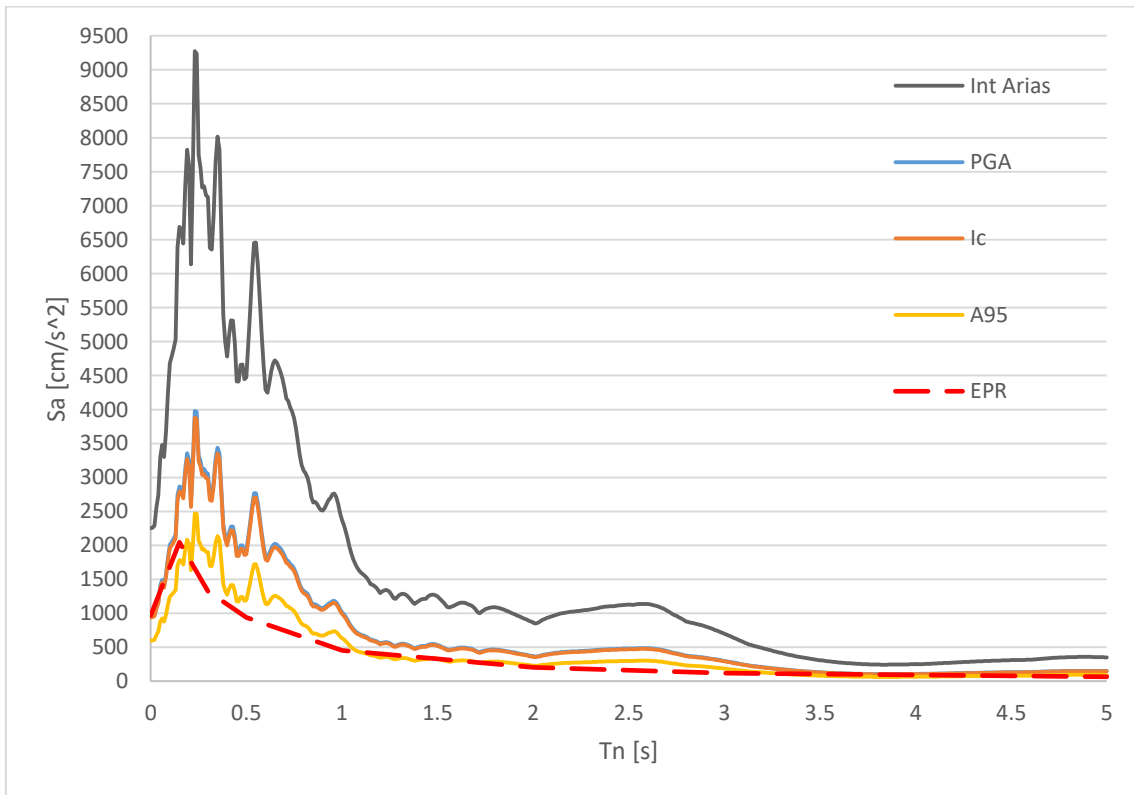


Fig. 21 Espectros de respuesta escalados respecto parámetros de intensidad de aceleraciones del registro.

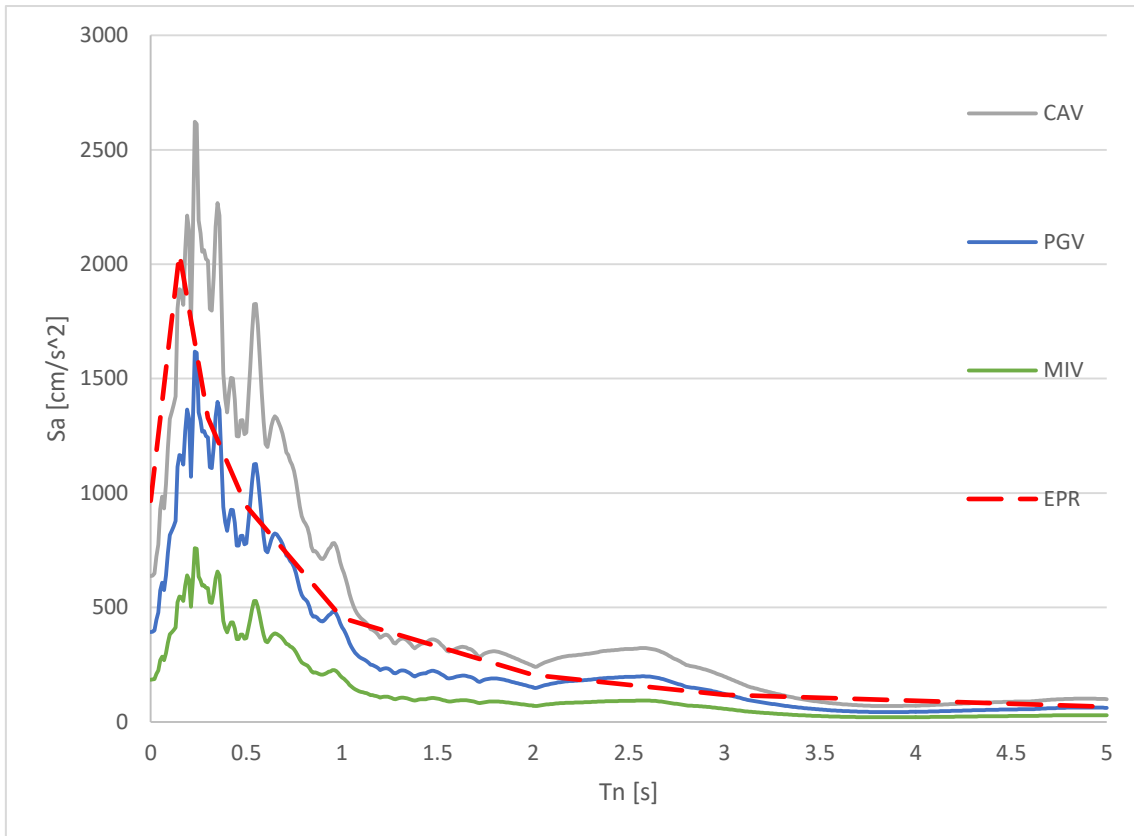


Fig. 22 Espectros de respuesta escalados respecto parámetros de intensidad de velocidades del registro.

2. FUENTES SÍSMICAS Y SELECCIÓN DE ACELEROGRAMAS

2.1 Introducción

La actividad sísmica en el mundo es debida al constante o eventual movimiento de las placas tectónicas que forman la corteza terrestre, estos movimientos producen esfuerzos y deformación, lo que se traduce en acumulación de energía y con el paso del tiempo se llega a sobrepasar la resistencia de las placas y la trabazón entre ellas, generando un plano de falla y la liberación de inmensas cantidades de energía. Este movimiento produce ondas sísmicas que para las edificaciones sobre la superficie terrestre se traduce en daño.

Pérez-Gavilán et al. (2018) diferencia tres tipos de bordes de placas: de convergencia, de divergencia y de transformación. El hablar de convergencia entre dos placas quiere decir que una de ellas se sumerge bajo a otra, a esto se le conoce como subducción. Por el contrario, la divergencia es la separación de dos placas tectónicas lo que produce nueva corteza terrestre, por lo general este proceso es llevado a cabo dentro de los océanos. El tercer tipo, el límite de transformación implica que ambas placas se mueven una al lado de la otra sin que se genere o se destruya la corteza terrestre.

Se diferencian dos tipos de sismos, los interplaca que ocurren bajo un régimen de compresión y fricción debidas a la convergencia en la zona de contacto entre las placas como los sismos de subducción. Y los sismos intraplaca, que ocurren lejos de los límites de las placas y a mayor profundidad que los interplaca, contrario al mecanismo de subducción estos ocurren en un régimen de tensión, se presenta la falla dentro de la placa que subduce, este tipo de sismos son menos frecuentes y de menor magnitud, son llamados sismos locales o normales. La Fig. 24 muestra la zona de contacto y la localización de los sismos interplaca e intraplaca.



Fig. 23 Esquema de los sismos interplaca e intraplaca. Tomada de Pérez-Gavilán et al. (2018)

2.2 Sismicidad en la República Mexicana

Existe una gran actividad sísmica en México, generada por el movimiento entre las placas tectónicas de Norteamérica, la placa del Pacífico, la placa de Rivera y la placa de Cocos, ubicadas en el litoral del Pacífico en el sur del país y la placa del Caribe Fig. 25.



Fig. 24 Placas tectónicas en México. Tomada de Pérez-Gavilán et al. (2018)

La mayoría de sismos de gran magnitud presentan epicentros a lo largo de las costas de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Debido a la subducción de las placas Rivera y Cocos bajo la placa Norteamericana

Se conocen dos principales fuentes sísmicas en la República Mexicana. Una es la zona de subducción con temblores interplaca que abarca desde Puerto Vallarta en el estado de Jalisco, hasta Tapachula en el estado de Chiapas. Y la zona de transformación con temblores interplaca de menor profundidad, generados por el deslizamiento de a placa del Pacífico y la placa de Norteamérica, con localización de epicentros en el estado de Baja California.

La zona de subducción mexicana cuenta con una peculiaridad, en la zona central de México la placa de Cocos que se sumerge bajo la placa Norteamericana, permanece cercana a la superficie, subduciendo de manera casi horizontal por casi 250 Km, acercándose a la Ciudad de México, a este raro fenómeno se le nombra “subducción de placa plana” como indica “The unusual case of the

Mexican subduction zone” (2018), en la Fig. 26 se observa la forma subducción de placa plana en México.



Fig. 25 Curvas de nivel que muestran el cambio de pendiente del fenómeno de subducción de placa plana y en rojo la línea de 100 sismómetros de banda ancha. Tomada de Chen y Clayton (2009)

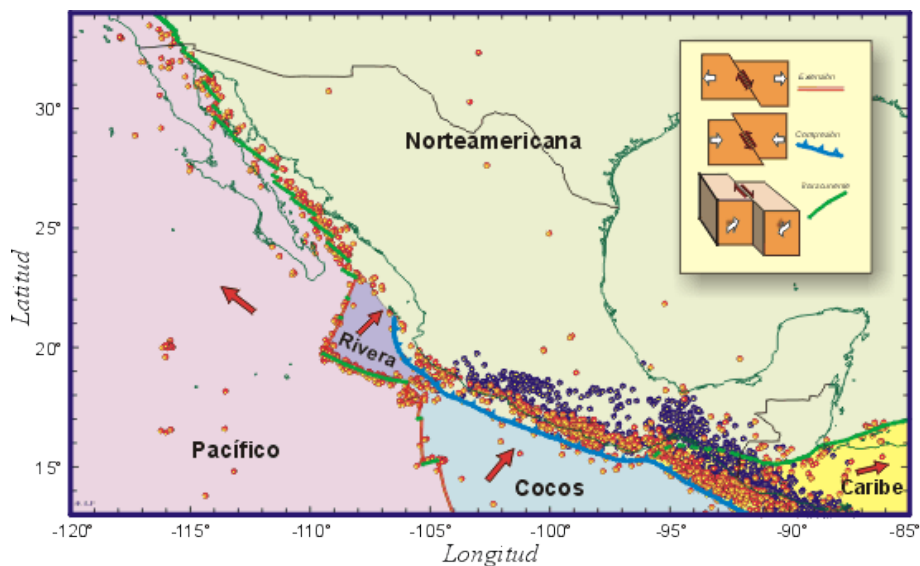


Fig. 26 Placas tectónicas y tipos de fallas. Tomada de usuarios.geofisica.unam.mx

Debido al potencial peligro sísmico en el que se encuentran muchas ciudades mexicanas se instaló a lo largo y ancho del país la Red Sismológica Nacional, en su mayoría las estaciones se encuentran a lo largo de las costas del océano pacifico y el estado de Veracruz, hasta el momento se cuenta con cerca de 106

estaciones que registran los eventos sísmicos, las cuales se muestran en Fig. 28 y Fig. 29.



Fig. 27 Red acelerográfica del Instituto de Ingeniería UNAM. Tomada de aplicaciones.iingen.unam.mx



Fig. 28 Red acelerográfica del Servicio Sismológico Nacional. Tomada de ssn.unam.mx

Para este estudio son de mayor interés los sismos interplaca de subducción debido a su mecanismo de falla y la gran cantidad de energía que liberan, los cuales se considera que tienen profundidades focales de menores a 40 Km y epicentros cercanos a la costa.



2.3 Selección de acelerogramas

A continuación se explicara el criterio para escoger las estaciones y los registros que se tomaran en cuenta para el estudio.

2.3.1 Registros y estaciones sísmicas

Para caracterizar la demanda sísmica de los edificios en la República Mexicana se revisaron catálogos como la Base Nacional de Sismos Fuertes Vol. 2 realizada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS) y la red acelerográfica II-UNAM. Ambas bases de datos sumaron 13,043 registros sísmicos.

En este estudio es de interés los registros tomados sobre terreno firme, y los siguientes tipos de suelo de la Tabla 2 son considerados como terreno duro:

TIPOS DE SUELO SON CONSIDERADOS COMO TERRENO DURO	
ARENISCA LUTITA	DOMO SALINO
ARENISCA DE BASALTO	GRANITO ALTERADO
BRECHA ANDESITICA	IGNIMBRITA
BRECHAS CONGLOMERADOS	IGNIMBRITA AGUAMILPA
CALIZA	IGNIMBRITA COLORINES
CALIZA ARCILLOSA	LIMONITAS ARENISCA
CALIZA LUTITA	LITITAS
COLADA LAVA	LUTITAS ARENISCA
CONGLOMERADO LUTITAS	ROCA
CUARZOMONZITA	ROCA BASÁLTICA
CUARZOMONZONITA	ROCA CALIZA
DIORITA	ROCA GRANÍTICA
GRANITO	ROCA FRACTURADA

Tabla 2 Tipos de terreno duro

Al filtrar el conjunto de 13,043 registros respecto el tipo de suelo y eliminando los que no cuentan con información tanto de suelo como de magnitud, son de suelo blando, con magnitud menor de cinco o con profundidades focales mayores a 40 Km el conjunto se redujo a 2,783 registros.

Para este estudio es de interés la influencia del método y parámetros de escalamiento, por lo que resulta conveniente encontrar estaciones sísmicas que tengan una buena cantidad de registros sísmicos con intensidades grandes así



como de registros medianos, para apreciar directamente el efecto del escalamiento sobre esos sismos medianos, respecto los sismos grandes.

Por lo que se buscó dentro de este conjunto (2,783 reg.) las estaciones sísmicas con por lo menos cinco registros con magnitud mayor a siete, también se contabilizo cuando registros entre cinco y siete de magnitud tiene cada una de estas estaciones, cumpliendo 16 estaciones con los requisitos Tabla 3.

Estación		Núm. Registros	
Nombre	Clave	$5 \leq M < 7$	$7 \leq M$
TEACALCO	TEAC	49	9
TACUBAYA	TACY	32	8
SISMEX PUEBLA	SXPU	12	8
TONALAPA DEL SUR	TNLP	47	7
CALETA DE CAMPOS	CALE	23	7
LA UNION	UNIO	43	6
IDEI PATIO 5	CUP5	23	6
INFIERNILLO MARGEN DERECHA	INMD	18	6
LABORATORIO INSTRUMENTACION SISMICA	CU01	10	6
COPALA	COPL	68	5
RABOSO	RABO	52	5
ATOYAC	ATYC	52	5
COYUCA	COYC	44	5
LA VENTA	VNTA	42	5
TEXCOCO SAN MIGUEL TLAIXPAN	TXCR	20	5
CARACOL MARGEN IZQUIERDA	CARI	17	5
	650	552	98

Tabla 3 Estaciones con más de cinco registros sísmicos de magnitud mayor o igual a siete.

En la Fig. 30 se muestra la ubicación de las 16 estaciones de interés en la República Mexicana.

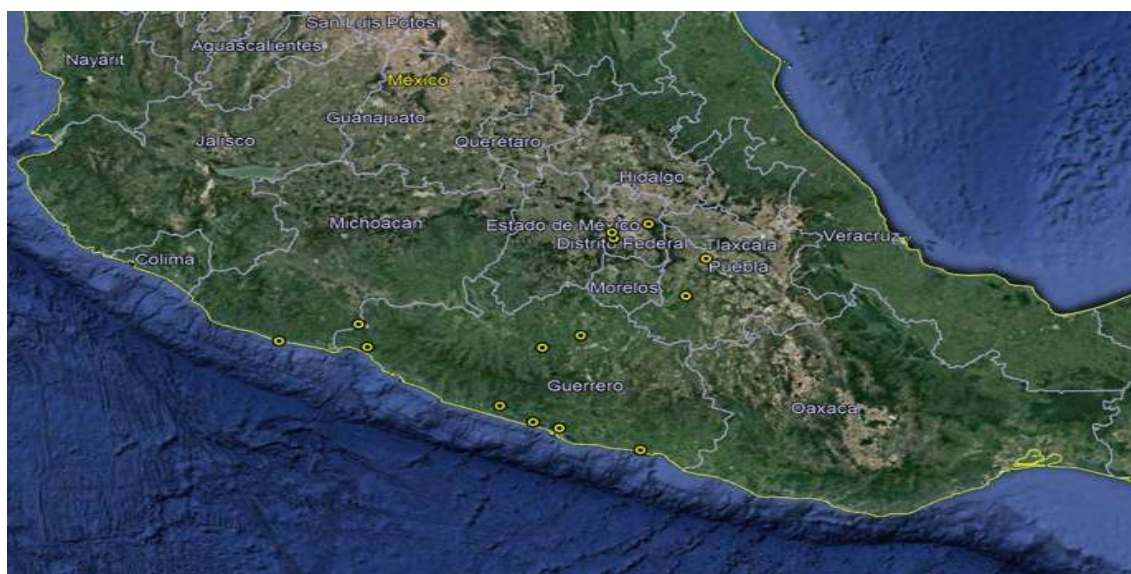


Fig. 29 Imagen satelital de las estaciones con cinco o más registros sísmicos de magnitud mayor que siete. Tomada de Google Earth®



Estación		Coordenadas		Institución responsable	Localización
Nombre	Clave	Latitud	Longitud		
TEACALCO	TEAC	18.617630	-99.454086	Inst. Ing. UNAM	Escuela Primaria en Teacalco, Guerrero.
TACUBAYA	TACY	19.404505	-99.195246	Inst. Ing. UNAM	Observatorio de Tacubaya, Calle Victoriano Zepeda, entre Gral. Manuel M. Plata y Ex Arzobispado, Col. Observatorio, México, D.F.
SISMEX PUEBLA	SXPU	19.039943	-98.215087	Inst. Ing. UNAM	Estacionamiento posterior del edificio de oficinas de CFE; calle 27 pte. Ciudad de Puebla, Puebla.
TONALAPA DEL SUR	TNLP	18.095563	-99.560805	Inst. Ing. UNAM	Escuela "Francisco I. Madero", Tonalapa del Sur, Guerrero.
CALETA DE CAMPOS	CALE	18.072870	-102.754441	Inst. Ing. UNAM	Escuela Secundaria Técnica 68 de Pesca. Caleta de Campos, Michoacán.
LA UNION	UNIO	17.987620	-101.810623	Inst. Ing. UNAM	Escuela Secundaria Técnica 37, La Unión, Guerrero.
IDEI PATIO 5	CUP5	19.330240	-99.181076	Inst. Ing. UNAM	Caseta Patio del Instituto de Ingeniería, UNAM, Cd. Universitaria, México, D.F.
INFIERNILLO MARGEN DERECHA	INMD	18.283000	-101.900000	CFE - GIEC	Sobre el apoyo de la cortina de la presa el



					infiernillo. Rio balsas, Michoacán-Guerrero.
LABORATORIO INSTRUMENTACION SISMICA	CU01	19.330000	-99.183000	Inst. Ing. UNAM	Laboratorio de Instrumentación Sísmica, Edificio principal, planta baja, Instituto de Ingeniería, UNAM, Cd. Universitaria, México D.F.
COPALA	COPL	16.610810	-98.983990	Inst. Ing. UNAM	Escuela primaria federal "Otilio Montaño", en el Km 120 de la carretera Acapulco-Pinotepa nacional. Cópala, Guerrero.
RABOSO	RABO	18.569078	-98.445409	Inst. Ing. UNAM	Pueblo Raboso a 6 Km. de Izucar de Matamoros, Puebla.
ATOYAC	ATYC	17.213361	-100.432269	Inst. Ing. UNAM	Iglesia de Atoyac, a 6 km del entronque con la carretera Acapulco-Zihuatanejo, Guerrero.
COYUCA	COYC	16.997788	-100.089963	Inst. Ing. UNAM	Escuela primaria "Lic. Alfredo V. Bonfil". Km 30 de la carretera Acapulco-Zihuatanejo y a 4 km del entronque con la carretera. Coyuca, Guerrero.
LA VENTA	VNTA	16.914260	-99.818850	Inst. Ing. UNAM	Poblado La Venta, a 2 km. De ciudad Renacimiento, Acapulco, Guerrero.



TEXCOCO SAN MIGUEL TLAIXPAN	TXCR	19.501514	-98.806198	Inst. Ing. UNAM	A 10 m de la carretera a San Miguel Tlaixpan, Edo. de México
CARACOL MARGEN IZQUIERDA	CARI	17.950000	-99.967000	CFE - GIEC	Sobre el apoyo de la cortina de la presa El Caracol. Rio Balsas, Guerrero

Tabla 4 Estaciones Sísmicas de interés.

En la Fig. 31 se muestran los epicentros de los eventos con magnitud mayor o igual a siete y los registros con magnitudes entre cinco y siete. En color rojo y amarillo, respectivamente.

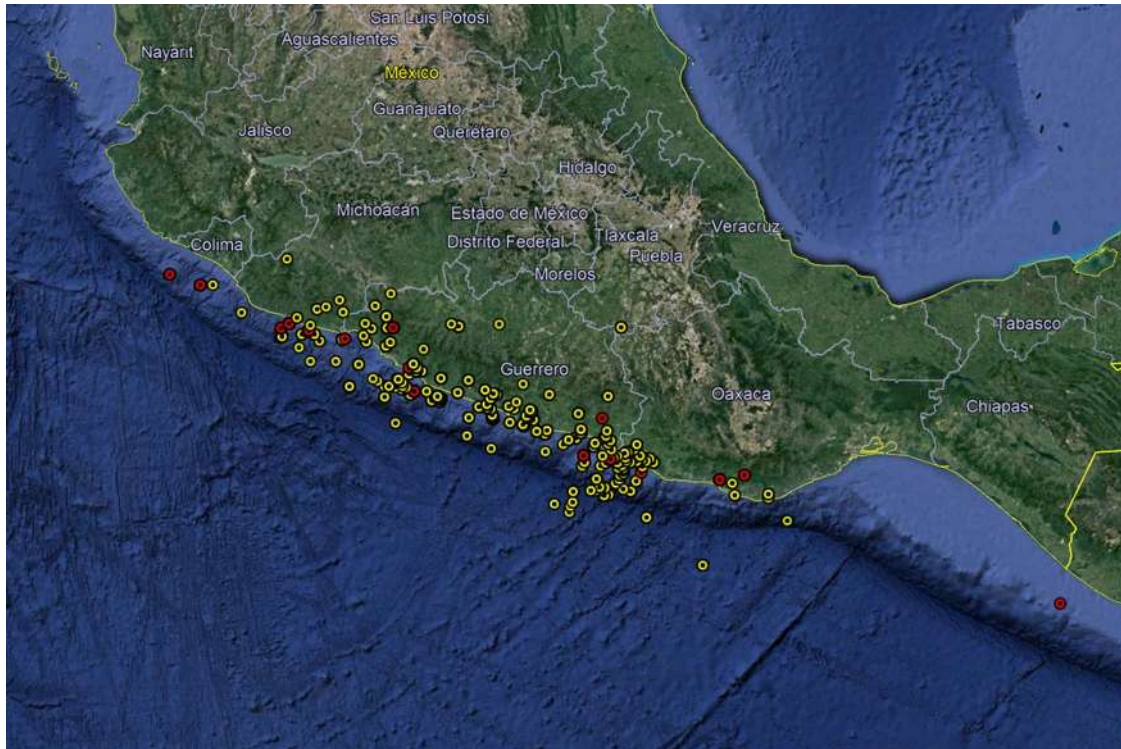


Fig. 30 En rojo los epicentros de los registros de con magnitud mayor o igual a siete y en amarillo los registros con magnitud entre cinco y siete. Tomada de Google Earth®.

Con la intención de homogenizar los parámetros calculados y formar conjuntos con menores dispersiones se separaran los registros en grupos dependiendo de su distancia epicentral a la trinchera de subducción del pacifico mexicano, esta selección y grupo de señales es la misma utilizada por Hernández (2019) et al. Cada grupo contiene 28 registros sísmicos

- Grupo 1. Eventos con distancia epicentral menor que 50 km.
- Grupo 2. Eventos con distancia epicentral entre 50 y 100 km.
- Grupo 3. Eventos con distancia epicentral entre 100 y 150 km.
- Grupo 4. Eventos con distancia epicentral entre 150 y 200 km.



REGISTROS SELECCIONADOS				
	SUBGRUPO 1	SUBGRUPO 2	SUBGRUPO 3	SUBGRUPO 4
	0km < Dist. EPI< 50km	50km < Dist. EPI< 100km	100km < Dist. EPI< 150km	150km < Dist. EPI< 200km
S1	CALE9701.111	TAMA9909.301	INPT9701.111	PARS8509.211
S2	LANE9909.301	PTSU9701.111	INMI9701.111	AZIH8509.191
S3	RIOG9909.301	OCTT8904.251	UNIO8509.191	COLI8604.301
S4	ACP21308.211	VILD9701.111	INMD8509.191	CARI8509.211
S5	PET21404.182	COYC1308.211	UNIO1404.181	FICA8509.211
S6	INMI9412.101	PAPN8509.211	PARS8802.081	COYC8509.211
S7	SLU21404.182	JAMI1203.202	INMD8509.19A	PENT9806.071
S8	NUX21404.182	JAMI9909.301	OXLC9909.301	OMTP9909.301
S9	SJLL1204.0213	VILE9701.111	ACP21511.231	CHI18206.072
S10	VIGA8904.251	VILI9701.111	ATYC8509.211	CARD8509.211
S11	VIGA9310.241	SMLC9909.301	CHID8408.311	PETA9701.111
S12	LLAV8802.081	CARD9405.231	UNIO9701.111	CALE0301.221
S13	ACAP7803.191	SJLL1405.241	CHII8408.311	SNJE1404.181
S14	OCTT0904.271	PTSU9412.101	ACP21405.081	CARD9412.101
S15	COMD9405.231	ACAP8904.251	COMD1404.181	COMA1204.111
S16	VNTA1308.211	ATYC1404.181	OCTT9509.141	NILT0111.281
S17	AZIH8509.211	OCTT9310.241	RIOG1203.201	TEMD8010.241
S18	CALE8509.191	COYC1405.081	SUCH8509.211	CARD8904.253
S19	PAPN9607.151	VIGA9509.141	PARS8904.251	CARS9412.101
S20	CALE0008.091	SJLL1408.132	ACP21404.181	OCTT9607.151
S21	PAPN8802.081	MSAS9310.241	PEND8909.161	RICA9607.151
S22	SJLL1105.052	OXJM1410.111	COMD9412.101	ACAP7903.141
S23	BALC9412.101	SUCH1404.181	CHID8309.151	ACP21203.201
S24	INMD9412.101	COYC8904.251	CHII8309.151	CALE1404.181
S25	CPDR8911.092	OCTT9410.291	SLU20810.201	PTSU9005.311
S26	PAPN9005.311	TAMA1002.091	CARD9005.312	AGCA1404.181



S27	PETA9607.151	SMR29310.241	INMI8604.30A	TNLP1405.081
S28	LLAV9005.111	TEJU1211.151	RIXC9806.071	CAZO9005.312

3. DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES

Para conocer la influencia de los métodos y parámetros de escalamiento en diferentes tipos de edificaciones, se modelaron cuatro tipos de edificios intentando abarcar un intervalo de periodos de vibración que represente las estructuras más comúnmente construidas.

Con la intención de hacer un estudio comparativo, correlacionable con mayores líneas de investigación futura se utilizaran las mismas geometrías de los edificios descritos por Hernandez et al. (2019)

3.1 Estructuración

Se eligieron edificios estructurados con sistemas de marcos ortogonales a base de columnas y trabes de concreto reforzado, de dos, cinco y diez niveles, con una altura tipo de entrepisos de 2.8 m lo que resulta en alturas de 5.6, 14, 28 m, respectivamente, en la Fig. 32 Se observan las elevaciones de los edificios. Como sistema de piso se usara una losa maciza monolítica de concreto reforzado, la que se comportara como un diafragma rígido en cada uno de los entrepisos

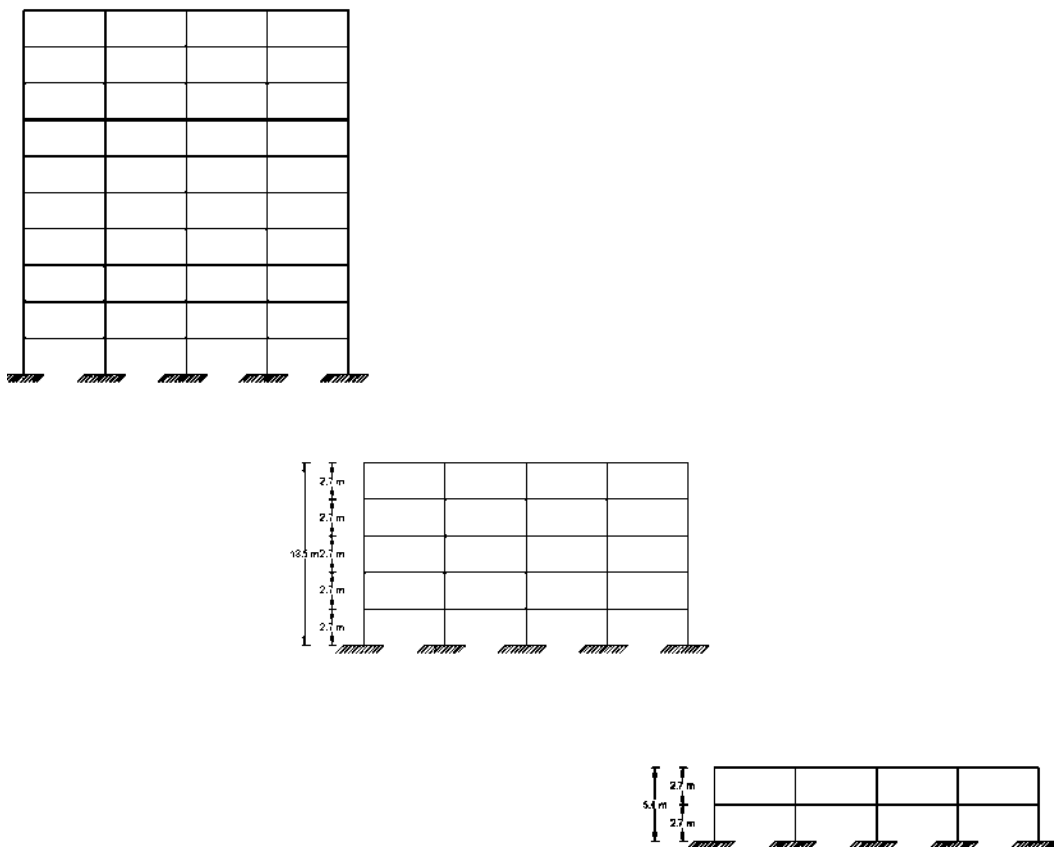


Fig. 31 Vista en elevación de modelos estructurales; 10, 5 y 2 niveles.

Todos los modelos son regulares en planta y elevación. La distribución en la planta cuadrada de las columnas de todos los modelos está compuesta por cuatro crujeías de 6.0 m de ancho y de 2.8 m de alto. Fig. 33 resultando en un área en planta de 576 m²

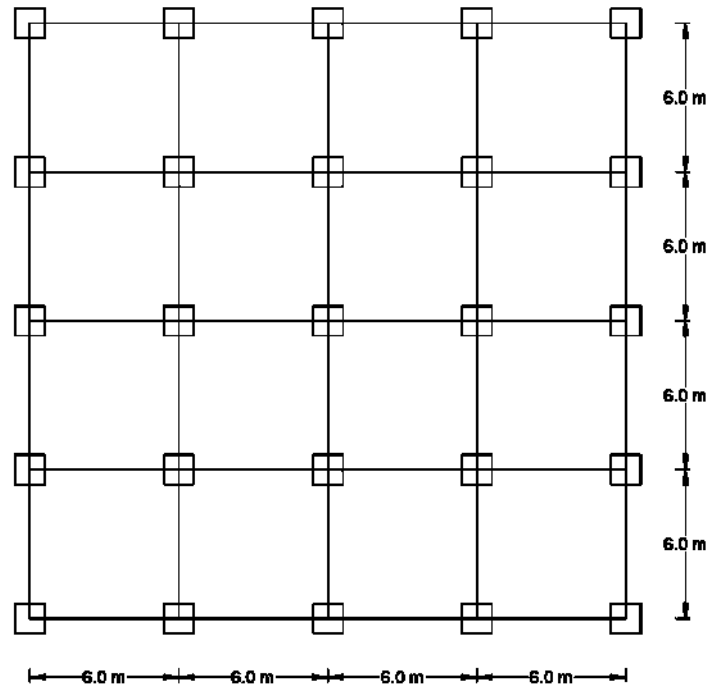


Fig. 32 Vista en planta de todos los modelos estructurales.

3.2 Normativas y reglamentos

Se verificara el cumplimiento de los requisitos de estados límite de la siguiente normativa:

- Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México, del año 2017 (NTC-17).
- Manual de Diseño de Obras Civiles, CFE, 2015. (MDOC-15)

3.3 Materiales

3.3.1 Concreto

Se muestra las propiedades de los concretos que forman los elementos estructurales de los edificios.

Resistencia a compresión.

- $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Peso volumétrico.

- $\delta = 2.4 \text{ ton/m}^3$



Módulo de elasticidad.

- $E = 221,359.43 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de Poisson.

- $\nu = 0.$

3.3.2 Acero de refuerzo

Esfuerzo de fluencia.

- $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$

Peso volumétrico.

- $\delta = 7.85 \text{ ton/m}^3$

Módulo de elasticidad.

- $E = 2,000,000 \text{ kg/cm}^2$

3.3.3 Acero estructural A-36

Esfuerzo de fluencia.

- $f_y = 2,530 \text{ kg/cm}^2$

Peso volumétrico.

- $\delta = 7.85 \text{ ton/m}^3$

Módulo de elasticidad.

- $E = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de Poisson.

- $\nu = 0.3$

3.4 Espectros de diseño

Mediante el programa PRODISIS v4.1 se obtuvieron los espectros con los cuales se diseñaron los edificios, considerando que están ubicados en ciudades que están dentro del intervalo comprendido en cada grupo. Se consideró que los edificios son estructuras del grupo B1 para el cual se empleó un factor de importancia estructural $FIE = 1.0$

GRUPO	ID	CIUDAD	DISTANCIA A LA LINEA DE CONTACTO
G1	PE	Puerto Escondido, Oax.	$d < 50 \text{ Km}$
G2	SC	Salina Criz, Oax.	$50 \text{ Km} < d < 100 \text{ Km}$
G3	OAX	Oaxaca, Oax.	$100 \text{ Km} < d < 150 \text{ Km}$



G4	HUA	Huajuapán de León, Oax.	150 Km < d < 200 Km
----	-----	-------------------------	---------------------

3.4.1 Clasificación según estructuración

Se considera que los edificios diseñados son Tipo 1 ya que están formados por sistemas de marcos de columnas y trabes.

3.4.2 Factor de comportamiento sísmico

Se propone utilizar un $Q = 4$.

3.4.3 Factor reductor por sobrerresistencia

Debido a la regularidad y al sistema estructural utilizado a base de marcos dúctiles se propone utilizar un $R_0 = 2.5$

3.4.4 Factor por redundancia

Ya que cada edificio está formado por 4 crujeías en ambas direcciones principales se tomara el factor de redundancia $\rho = 1.25$

3.4.5 Valores de amortiguamiento estructural

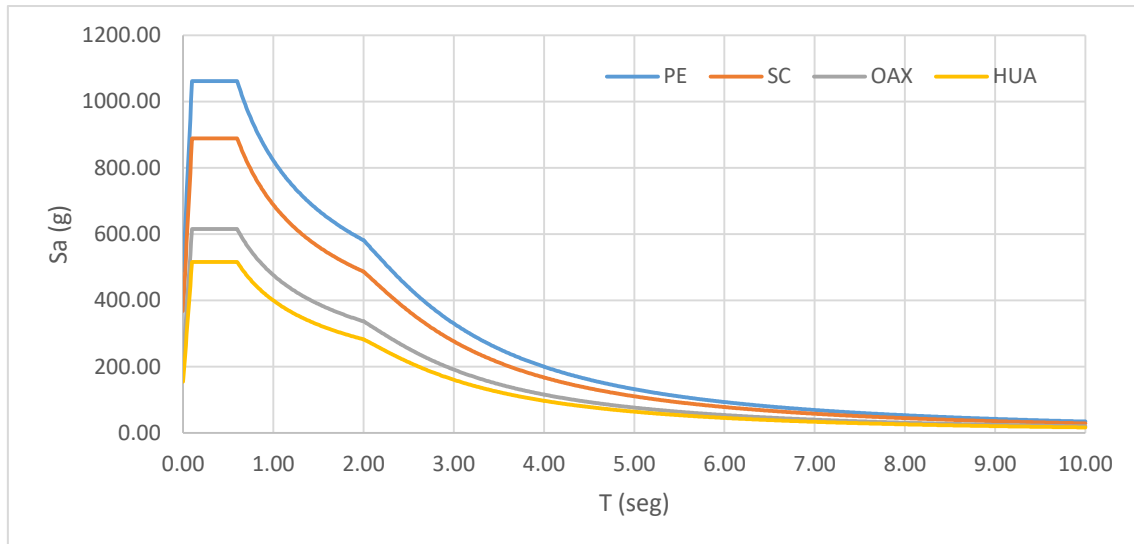
Por ser estructuras de concreto reforzado se estima el amortiguamiento con un valor de $\zeta_e(\%) = 5\%$

3.4.6 Corrección por irregularidad

Ya que las estructuras son regulares en planta y elevación no se aplica corrección por irregularidad $\alpha = 1.0$

3.4.7 Espectros de diseño en las estaciones de interés

Del programa PRODISIS v4.1 se obtuvieron los espectros de diseño para cada una de las ciudades de interés.



3.5 Método de análisis

3.5.1 Estructuración

En sistema estructural de los edificios está basado en marcos de concreto reforzado en ambas direcciones ortogonales principales, formado por trabes y columnas con sección transversal rectangular y un sistema de piso que cumplirá la función de diafragma rígido formado por una loza maciza.

3.5.2 Idealización

Los edificios se idealizaran representándolos por medio de nodos, barras y diafragmas rígidos con ejes locales ubicados en los centroides de las secciones transversales. Sobre estos elementos se asignaran propiedades de sección, material y cargas para llevar a cabo un análisis y obtener los elementos mecánicos y desplazamientos a los que están sometidas las estructuras, con lo que se procederá a su diseño estructural.

Las columnas y trabes son modeladas mediante elementos rectos tipo frame, las losas serán modeladas mediante un diafragma rígido que abarque la totalidad de los nodos de cada nivel.



3.5.3 Software de análisis y diseño

Se utilizó el software SAP2000® v19.2.1 llevando acabo análisis elásticos lineales de primer orden a cada uno de sitios de interés. Los modelos se resuelven mediante el método de rigideces y aplicando un análisis modal espectral se determina la respuesta dinámica de las estructuras ante un sismo.

Periodo natural de vibración			
	2N	5N	10N
PE	0.34	1.03	1.53
SC	0.34	1.03	1.80
OAX	0.34	1.13	2.00
HUA	0.34	1.13	2.19

Se tomaran en cuenta las formas modales (por eigen vectores) necesarias para alcanzar un 90% de participación modal de masa de cada estructura y estimar los efectos dinámicos, aplicando el método SRSS.

El diseño se los elementos estructurales se revisara mediante las herramientas contenidas en el software SAP2000.

3.5.4 Criterios de diseño

El diseño de las secciones de concreto de los diferentes elementos estructurales de cada edificio se basara en el criterio de estados límite, la cual se lleva a cabo respecto la siguiente relación.

$$F_R * R_n \geq F_C * P_a$$

3.5.4.1 Factores de resistencia

FR	Estado límite de falla
0.9	Flexión
0.75	Cortante y torsión
0.65	Transmisión de flexión y cortante, en losas o zapatas
Flexocompresión:	
0.75	Con núcleo confinado
0.75	Elemento con falla en tensión



0.65	Núcleo no confinado y falla en compresión
0.65	Aplastamiento

3.5.4.2 Factores de carga

Para una estructura del Grupo B1, de acuerdo a las NTC de la CDMX del 2017

- FC = 1.5 para combinaciones de cargas muertas y vivas
- FC = 1.1 para combinaciones de cargas muertas, vivas y accidentales.

3.6 Análisis de cargas

3.6.1 Acciones permanentes

Cargas muertas.

Son las aportadas por el peso propio de la estructura, obtenidas a partir de las dimensiones de los miembros estructurales y de los pesos volumétricos de los materiales de los que están hechos.

- El peso propio de los elementos estructurales de concreto se determina usando el peso unitario del concreto reforzado en estado seco de 2.4 ton/m³.
- El peso de la losa se aumentara 20 kg/m² debido al concreto como indica el reglamento, así como otro aumento de 20 kg/m² por el mortero.

El peso propio de los elementos estructurales es calculado directamente por el programa de análisis.



CARGA MUERTA EN LOSA MACIZA DE AZOTEA			
MATERIAL	ESPESOR	PESO VOL.	PESO
SISTEMA DE LOSA EN OBRA NEGRA	0.150 m	2400 kg/m ³	360.00 kg/m ²
IMPERMEABILIZANTE			5.50 kg/m ²
PETATILLO	0.020 m	1300 kg/m ³	26.00 kg/m ²
RELLENO	0.050 m	1100 kg/m ³	55.00 kg/m ²
MORTERO	0.015 m	2100 kg/m ³	31.50 kg/m ²
INSTALACIONES			40.00 kg/m ²
PLAFÓN	0.010 m	1800 kg/m ³	18.00 kg/m ²
CARGA MUERTA ADICIONAL	POR CONCRETO		20.00 kg/m ²
	POR MORTERO		20.00 kg/m ²
CARGA MUERTA			576.00 kg/m²
CARGA MUERTA EN LOSA MACIZA DE ENTREPISO			
MATERIAL	ESPESOR	PESO VOL.	PESO
SISTEMA DE LOSA EN OBRA NEGRA	0.150 m	2400 kg/m ³	360.00 kg/m ²
LOSETA	0.010 m	2000 kg/m ³	20.00 kg/m ²
PEGA PISO	0.010 m	2200 kg/m ³	22.00 kg/m ²
INSTALACIONES			40.00 kg/m ²
PLAFÓN	0.010 m	1800 kg/m ³	18.00 kg/m ²
CARGA MUERTA ADICIONAL	POR CONCRETO		20.00 kg/m ²
	POR MORTERO		20.00 kg/m ²
CARGA MUERTA			500.00 kg/m²

3.6.2 Acciones variables

Cargas vivas.

Son las cargas debidas a la operación y uso de cada edificio.



- Carga viva máxima (CV_{max}): Valor máximo probable de la carga viva durante el tiempo de vida útil de la edificación.
- Carga viva instantánea (CV_{inst}): Valor máximo probable de la carga viva en el momento en que pueda presentarse una acción accidental. Como un sismo o la acción del viento.

Los valores que se utilizaron para estas cargas están contenidos en la NTC-17, se eligió utilizar la carga para edificios destinados a “Habitación (casa-habitación, departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares)” para la cual toma los siguientes valores:

- $CV_{max} = 190 \text{ kg/m}^2$
- $CV_{ins} = 100 \text{ kg/m}^2$

3.6.3 Combinaciones de carga

Para verificar la seguridad estructural se revisan la acción de combinaciones según reglamento, tanto para el criterio de factores de carga (estado límite de falla) como para el criterio de cargas de trabajo (estado límite de servicio)

3.6.4 Nomenclatura

Acciones Permanentes

- CM = Carga Muerta

Acciones Variables

- CV_{max} = Carga viva máxima
- CV_{inst} = Carga instantánea

Acciones Accidentales

- S_x = Carga de Sismo en dirección X
- S_y = Carga de Sismo en dirección Y

* Indica acciones accidentales respecto el espectro transparente regional (sin reducir)

Combinaciones para revisión por resistencia.

- 1.5 ($CM + CV_{max}$)
- 1.1 ($CM + CV_{inst} + S_x + 0.3S_y$)
- 1.1 ($CM + CV_{inst} - S_x - 0.3S_y$)
- 1.1 ($CM + CV_{inst} + S_x - 0.3S_y$)
- 1.1 ($CM + CV_{inst} - S_x + 0.3S_y$)
- 1.1 ($CM + CV_{inst} + 0.3S_x + S_y$)
- 1.1 ($CM + CV_{inst} - 0.3S_x - S_y$)
- 1.1 ($CM + CV_{inst} + 0.3S_x - S_y$)
- 1.1 ($CM + CV_{inst} - 0.3S_x + S_y$)



Combinaciones para revisión por deflexiones verticales.

- $CM + CV_{max}$

Combinaciones para revisión por deflexiones laterales.

- $CM + CV_{inst} + Sx^* + 0.3Sy^*$
- $CM + CV_{inst} - Sx^* - 0.3Sy^*$
- $CM + CV_{inst} + Sx^* - 0.3Sy^*$
- $CM + CV_{inst} - Sx^* + 0.3Sy^*$
- $CM + CV_{inst} + 0.3Sx^* + Sy^*$
- $CM + CV_{inst} - 0.3Sx^* - Sy^*$
- $CM + CV_{inst} + 0.3Sx^* - Sy^*$
- $CM + CV_{inst} - 0.3Sx^* + Sy^*$

3.7 Sistema de piso

Se consideraron losas macizas coladas monolíticamente, apoyadas perimetralmente sobre vigas de concreto reforzado

3.7.1 Diseño losa de azotea

De identificar el caso crítico de tablero de esquina se calculó un peralte mínimo efectivo de 12.5 cm adicionando 2.5 cm de recubrimiento se obtuvo un espesor de 15 cm.

El acero de refuerzo para esta losa es de varillas #3@20cm en ambas direcciones.

3.7.2 Diseño losa de entrepiso

De identificar el caso crítico de tablero de esquina se calculó un peralte mínimo efectivo de 12.5 cm adicionando 2.5 cm de recubrimiento se obtuvo un espesor de 15 cm.

El acero de refuerzo para esta losa es de varillas #3@25cm en ambas direcciones.



3.8 Análisis y dimensionamiento del sistema a base de marcos

De acuerdo a la normativa NTC-17 y con la herramienta SAP 2000 se calcularon las dimensiones requeridas para los elementos estructurales de los tres tipos de edificios.

3.8.1 Dimensiones de elementos

Las siguientes imágenes muestran las características de los modelos usados en este estudio.

MODELO ID	SITIO	NIVELES	DISTANCIA A LA LÍNEA DE CONTACTO
PE_02	Puerto Escondido, Oax.	2	< 50 km
PE_05	Puerto Escondido, Oax.	5	< 50 km
PE_10	Puerto Escondido, Oax.	10	< 50 km
SC_02	Salina Cruz, Oax.	2	50 km < d < 100 km
SC_05	Salina Cruz, Oax.	5	50 km < d < 100 km
SC_10	Salina Cruz, Oax.	10	50 km < d < 100 km
OAX_02	Oaxaca, Oax.	2	100 km < d < 150 km
OAX_05	Oaxaca, Oax.	5	100 km < d < 150 km
OAX_10	Oaxaca, Oax.	10	100 km < d < 150 km
HUA_02	Huajuapán de León, Oax.	2	150 km < d < 200 km
HUA_05	Huajuapán de León, Oax.	5	150 km < d < 200 km
HUA_10	Huajuapán de León, Oax.	10	150 km < d < 200 km

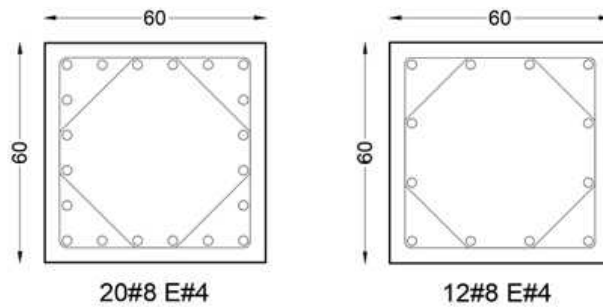
3.8.1.1 Secciones del edificio de 10N

Edificio	Sección	Niveles
PE_10N	C1	N1-N2
	C2	N3-N10
	V1	N1-N2
	V2	N3-N5
	V3	N6-N10
SC_10N	C1	N1-N2
	C2	N3-N10
	V1	N1-N3
	V2	N4-N6
	V3	N7-N10
OAX_10N	C1	N1-N2
	C2	N3-N10
	V1	N1-N5

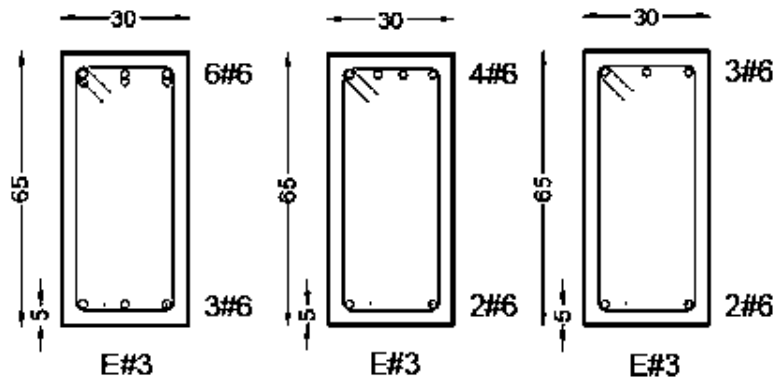


HUA_10N	V2	N6-N8
	V3	N8-N10
	C1	N1-N2
	C2	N3-N10
	V1	N1-N5
	V2	N6-N10

3.8.1.1.1 Secciones de Grupo 1, PE, 10 Niveles

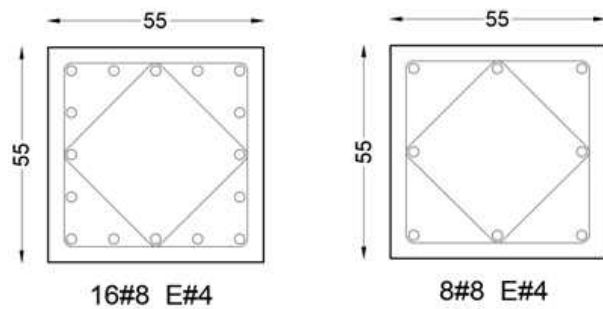


Secciones de columnas C1 y C2 respectivamente. Hernández et al. (2019)

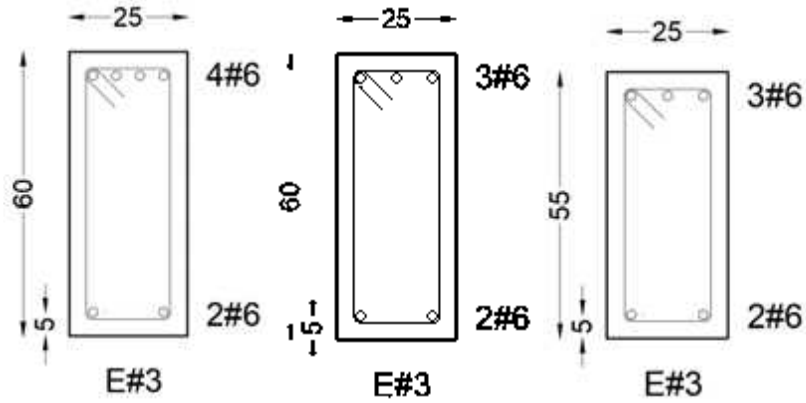


Secciones de viga V1, V2 y V3 respectivamente. Hernández et al. (2019)

3.8.1.1.2 Secciones de Grupo 2, SC, 10 Niveles

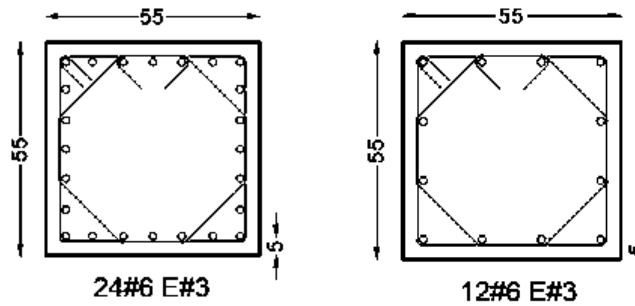


Secciones de columnas C1 y C2 respectivamente. Hernández et al. (2019)

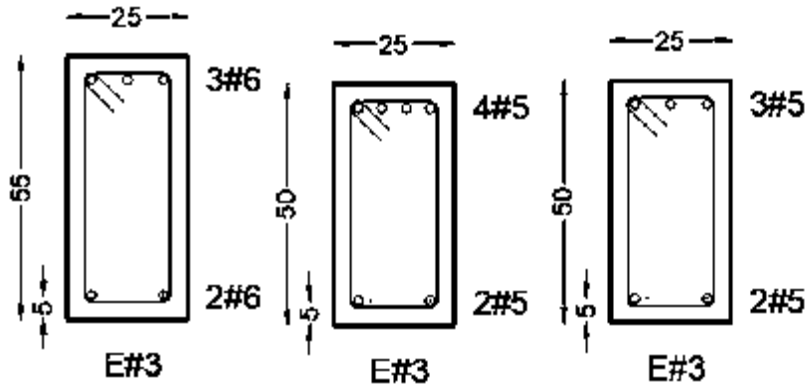


Secciones de viga V1, V2 y V3 respectivamente. Hernández et al. (2019)

3.8.1.1.3 Secciones de Grupo 3, OAX, 10 Niveles



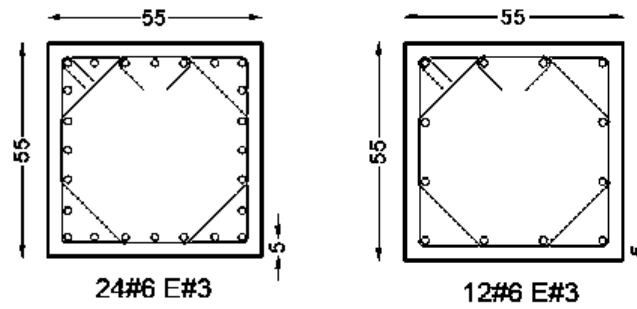
Secciones de columnas C1 y C2 respectivamente. Hernández et al. (2019)



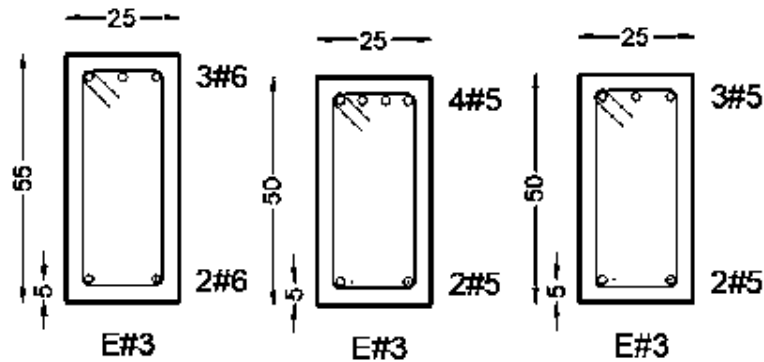
Secciones de viga V1, V2 y V3 respectivamente. Hernández et al. (2019)



3.8.1.1.4 Secciones de Grupo 4, HUA, 10 Niveles



Secciones de columnas C1 y C2 respectivamente. Hernández et al. (2019)



Secciones de viga V1, V2 y V3 respectivamente. Hernández et al. (2019)

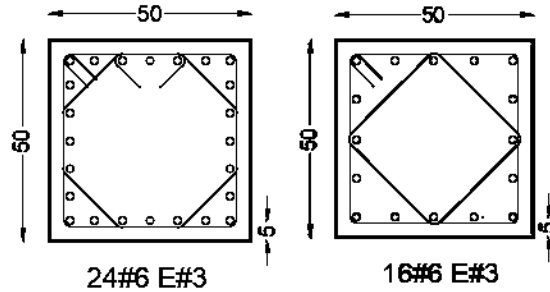
3.8.1.2 Secciones del edificio de 5N

Edificio	Sección	Niveles
PE_05N	C1	N1-N2
	C2	N3-N5
	V1	N1-N2
	V2	N3-N5
SC_05N	C1	N1-N5
	V1	N1-N3
	V2	N4-N5
OAX_05N	C1	N1-N2
	C2	N3-N5
	V1	N1-N4
	V2	N5
HUA_05N	C1	N1-N2
	C2	N3-N5

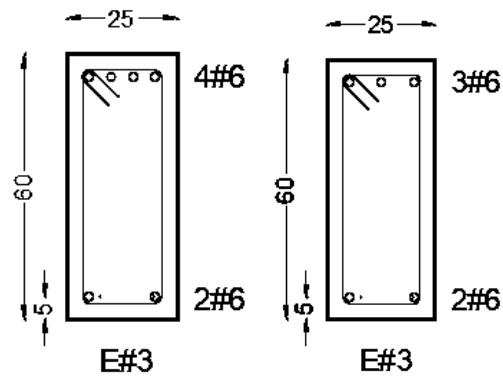


	V1	N1-N4
	V2	N5

3.8.1.2.1 Secciones de Grupo 1, PE, 5 Niveles

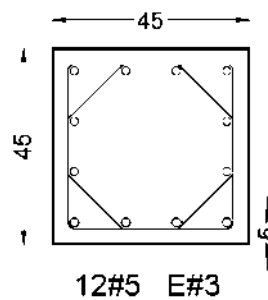


Secciones de columnas C1 y C2 respectivamente. Hernández et al. (2019)

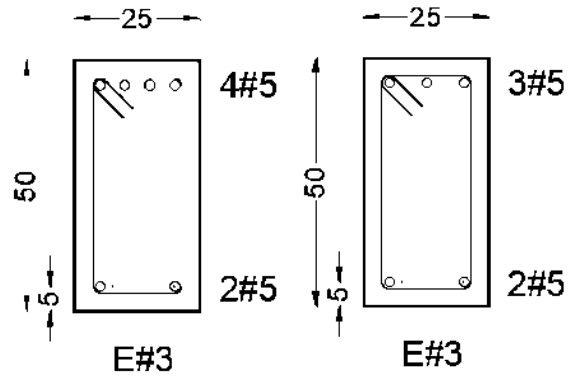


Secciones de viga V1 y V2 respectivamente. Hernández et al. (2019)

3.8.1.2.2 Secciones de Grupo 2, SC, 5 Niveles

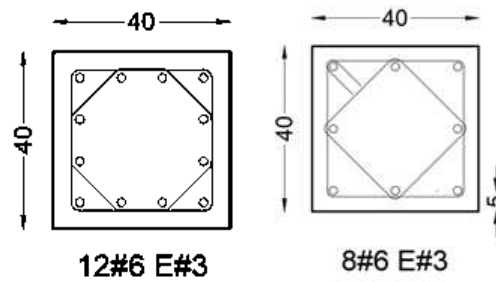


Sección de columnas C1. Hernández et al. (2019)

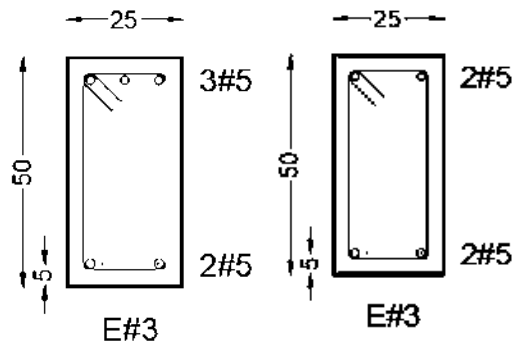


Secciones de viga V1, V2 y V3 respectivamente. Hernández et al. (2019)

3.8.1.2.3 Secciones de Grupo 3, OAX, 5 Niveles

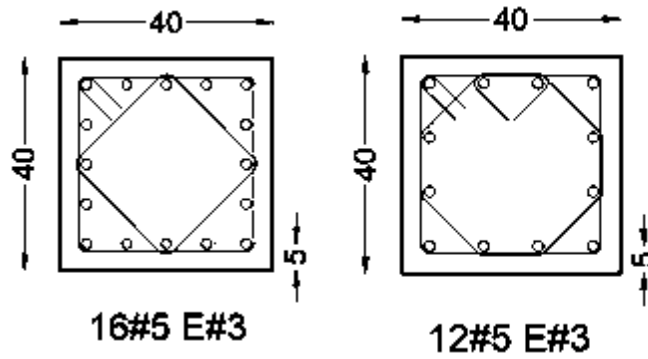


Secciones de columnas C1 y C2 respectivamente. Hernández et al. (2019)

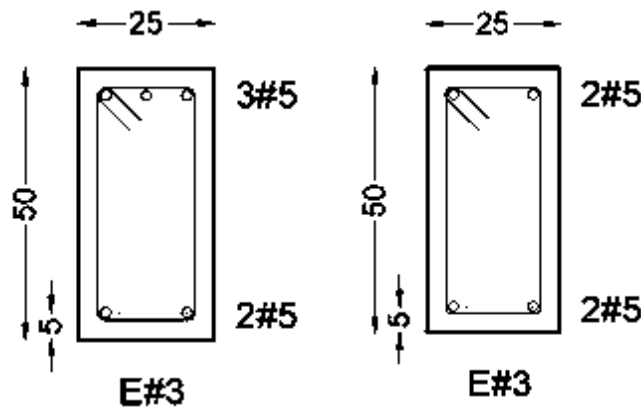


Secciones de viga V1, V2 y V3 respectivamente. Hernández et al. (2019)

3.8.1.2.4 Secciones de Grupo 4, HUA, 5 Niveles



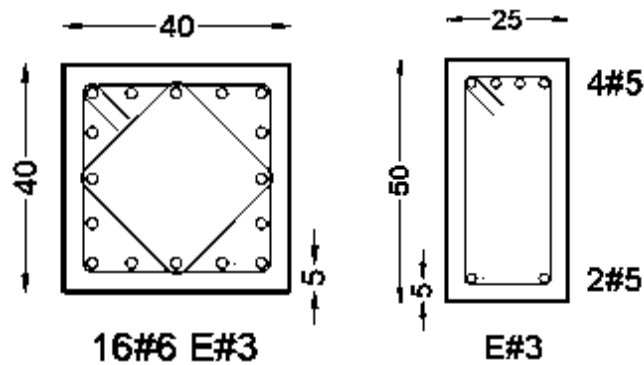
Secciones de columnas C1 y C2 respectivamente. Hernández et al. (2019)



Secciones de viga V1, V2 y V3 respectivamente. Hernández et al. (2019)

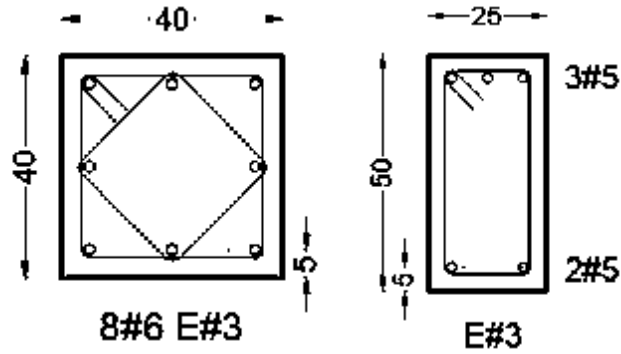
3.8.1.3 Secciones del edificio de 5N

3.8.1.3.1 Secciones de Grupo 1, PE, 5 Niveles



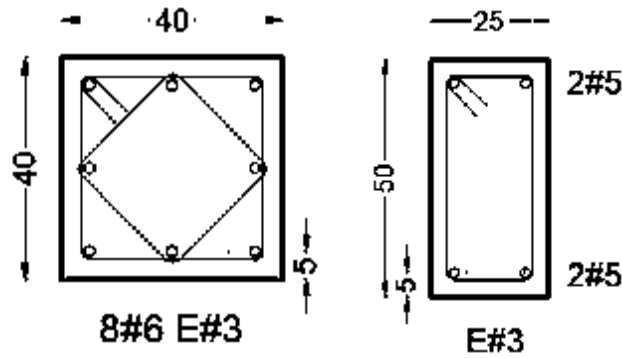
Secciones C1 y V1 respectivamente. Hernández et al. (2019)

3.8.1.3.2 Secciones de Grupo 2, SC, 5 Niveles



Secciones C1 y V1 respectivamente. Hernández et al. (2019)

3.8.1.3.3 Secciones de Grupo 3, OAX, 5 Niveles



Secciones C1 y V1 respectivamente. Hernández et al. (2019)

3.8.1.3.4 Secciones de Grupo 4, HUA, 5 Niveles



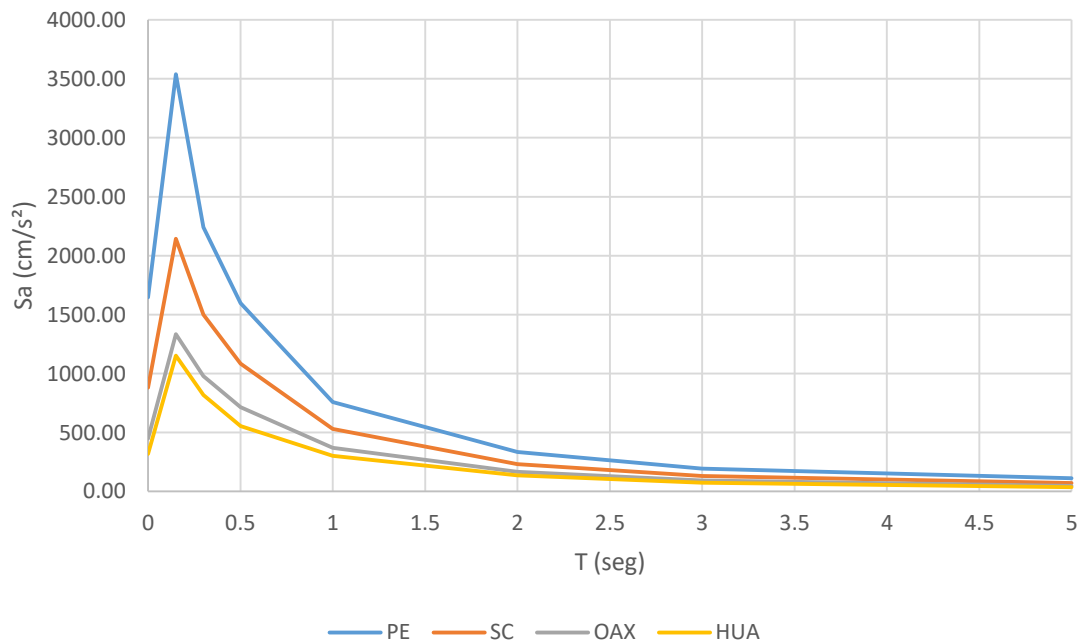
4. ESCALAMIENTO DE LAS SEÑALES SÍSMICAS Y DETERMINACIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICOS

En este capítulo se desarrollarán los métodos de la sección 1.1 para los cuatro grupos de registros sísmicos, escalándolos a su respectivo valor objetivo del espectro de sitio.

4.1 Espectros objetivo

De estos espectros se calcularán los diez parámetros de intensidad considerados en este estudio: PGA, EPA, EPV, MIV, Sa(T), Sa(Ti-Tf), ASI, IA, CAV, HI

4.1.1 Espectros objetivo con periodo de retorno TR=2500 años





4.2 Parámetros de intensidad objetivo

Estos se calcularon a partir de los espectros de proporción el programa PRODISIS v4.1

Esp Diseño 2500	PE	SC	OAX	HUA
Param. Intes.	EPR	EPR	EPR	EPR
PGA	1646.47	881.82	450.14	319.17
EPA	958.92	602.69	378.63	313.23
EPV	120.97	81.99	55.01	44.29
MIV	35.17	26.60	20.86	14.95
Sa(T=0.34)	3019.83	1886.16	1192.53	1017.39
Sa(T=1.03)	746.33	521.77	365.09	297.40
Sa(T=1.13)	703.84	491.93	344.61	280.84
Sa(T=1.53)	470.17	327.83	231.95	189.81
Sa(T=1.8)	419.18	292.02	207.37	169.95
Sa(T=2)	334.21	232.35	166.40	136.84
Sa(T=2.19)	307.58	213.36	152.58	125.11
Sa(Ti=0.34-Tf=0.6)	2417.19	1579.09	1020.17	854.37
Sa(Ti=1.03-Tf=1.81)	580.63	405.40	285.21	232.84
Sa(Ti=1.13-Tf=1.98)	523.28	365.12	257.55	210.50
Sa(Ti=1.53-Tf=2.68)	301.81	209.06	148.93	121.66
Sa(Ti=1.8-Tf=3.16)	272.30	188.12	134.00	109.20
Sa(Ti=2-Tf=3.51)	237.13	162.99	115.84	93.90
Sa(Ti=2.19-Tf=3.84)	213.49	145.91	103.33	83.25
ASI 0.1-0.5	978.66	628.34	402.42	335.36
IA	6.00	2.81	1.05	0.65
CAV	3343.92	2282.56	1135.79	881.10
IH	288.24	198.21	137.13	111.39
Td	28.630	29.510	19.090	18.488



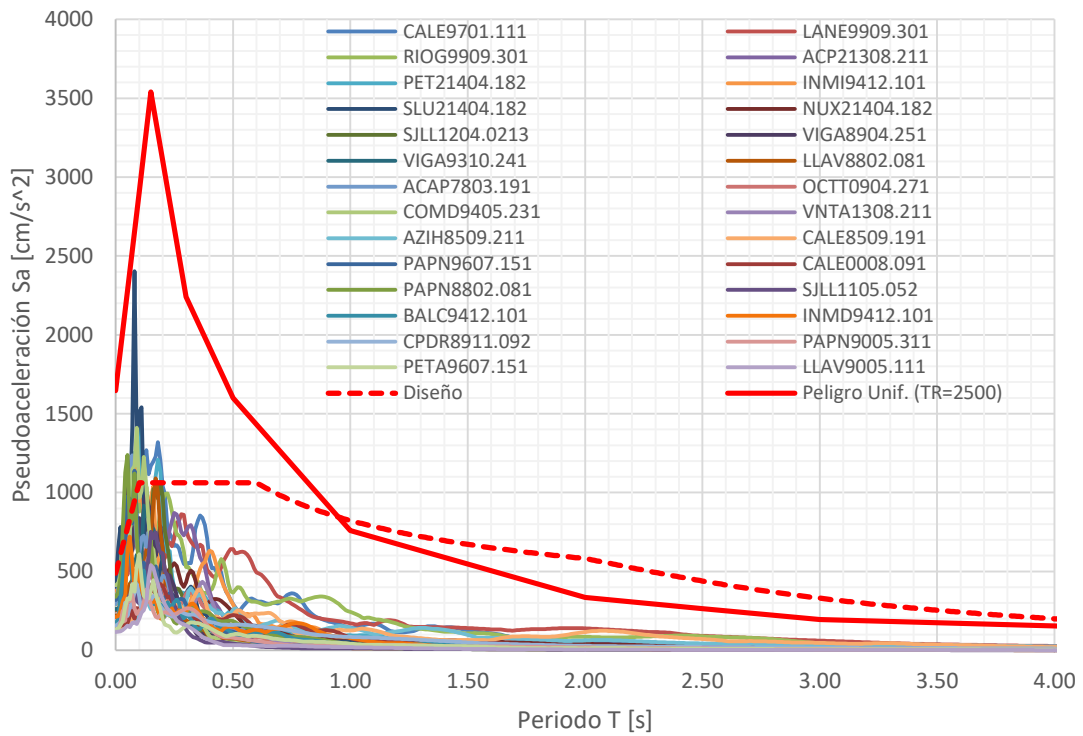
Tabla de los parámetros de intensidad objetivo en combinación vectorial

Esp Diseño 2500	PE	SC	OAX	HUA
Param. Intes.	EPR	EPR	EPR	EPR
PGA	2328.46	1247.08	636.60	451.38
EPA	1356.12	852.33	535.46	442.98
EPV	171.08	115.95	77.80	62.64
MIV	49.74	37.62	29.50	21.15
Sa(T=0.34)	4270.69	2667.43	1686.49	1438.81
Sa(T=1.03)	1055.47	737.89	516.32	420.58
Sa(T=1.13)	995.39	695.69	487.35	397.17
Sa(T=1.53)	664.92	463.62	328.03	268.43
Sa(T=1.8)	592.81	412.98	293.26	240.34
Sa(T=2)	472.64	328.59	235.33	193.53
Sa(T=2.19)	434.99	301.74	215.78	176.93
Sa(Ti=0.34-Tf=0.6)	3418.42	2233.17	1442.73	1208.26
Sa(Ti=1.03-Tf=1.81)	821.14	573.33	403.34	329.29
Sa(Ti=1.13-Tf=1.98)	740.02	516.36	364.24	297.69
Sa(Ti=1.53-Tf=2.68)	426.83	295.66	210.62	172.06
Sa(Ti=1.8-Tf=3.16)	385.09	266.04	189.50	154.44
Sa(Ti=2-Tf=3.51)	335.36	230.50	163.82	132.79
Sa(Ti=2.19-Tf=3.84)	301.91	206.35	146.13	117.73
ASI 0.1-0.5	1384.04	888.61	569.10	474.27
IA	8.49	3.97	1.49	0.92
CAV	4729.02	3228.02	1606.25	1246.07
IH	407.63	280.31	193.93	157.52
Td	40.49	41.73	27.00	26.15

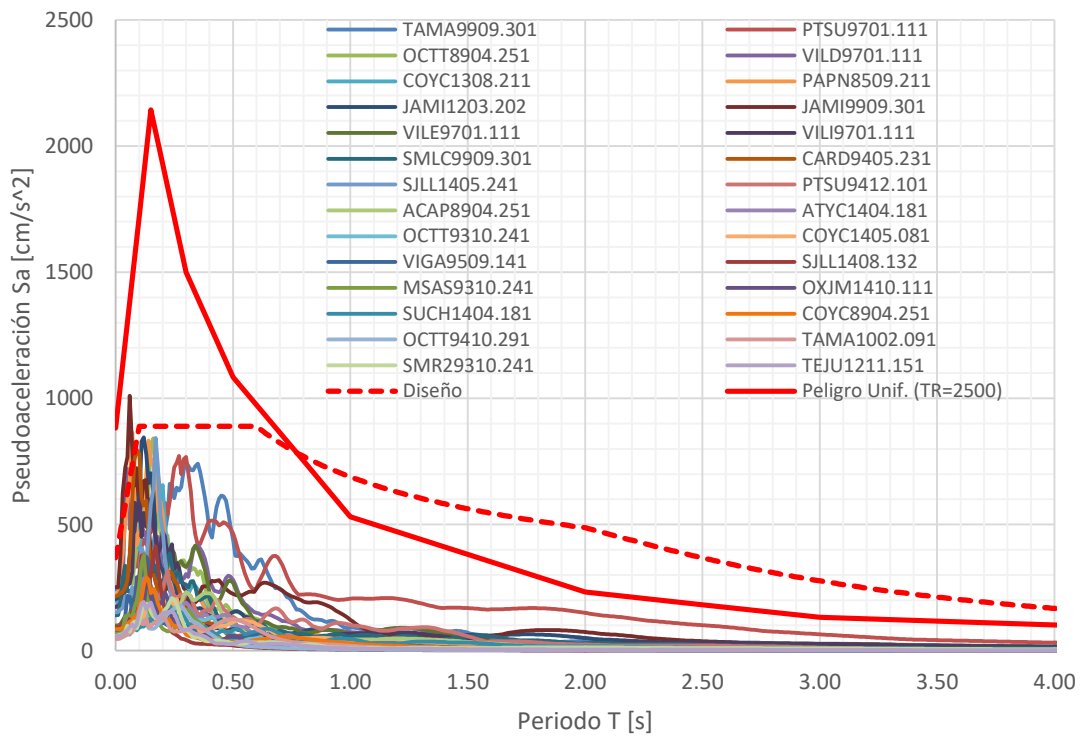


4.3 Espectros de respuesta de registros sísmicos

4.3.1 Espectros Grupo 1 PE

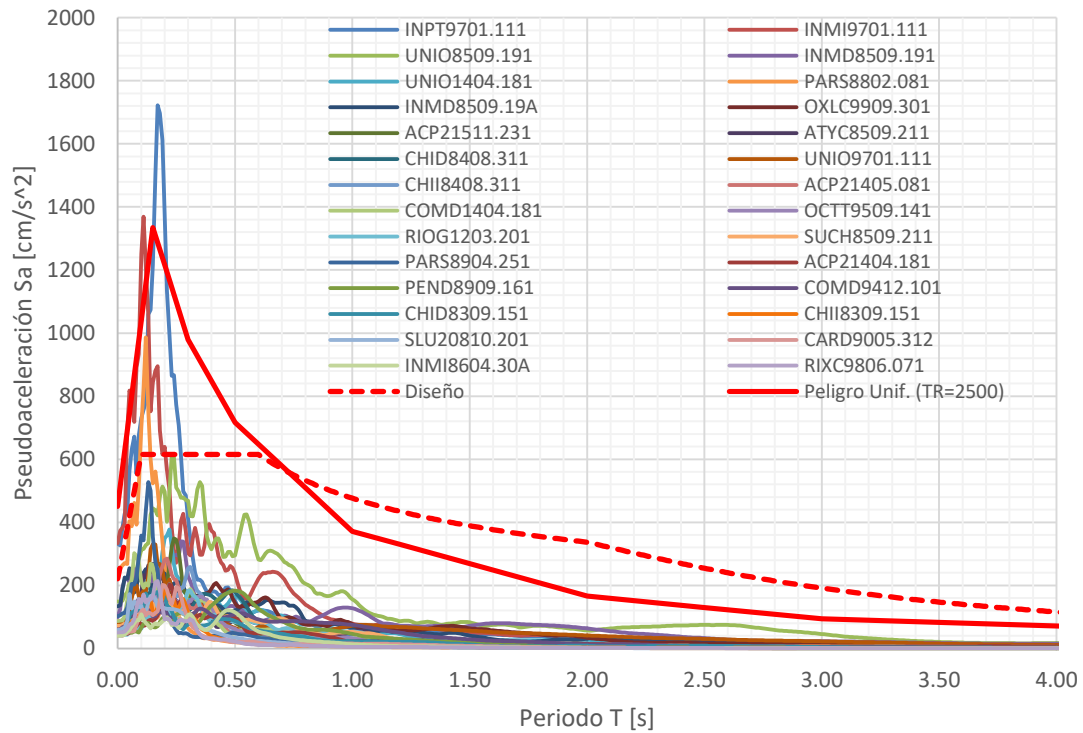


4.3.2 Espectros Grupo 2 SC

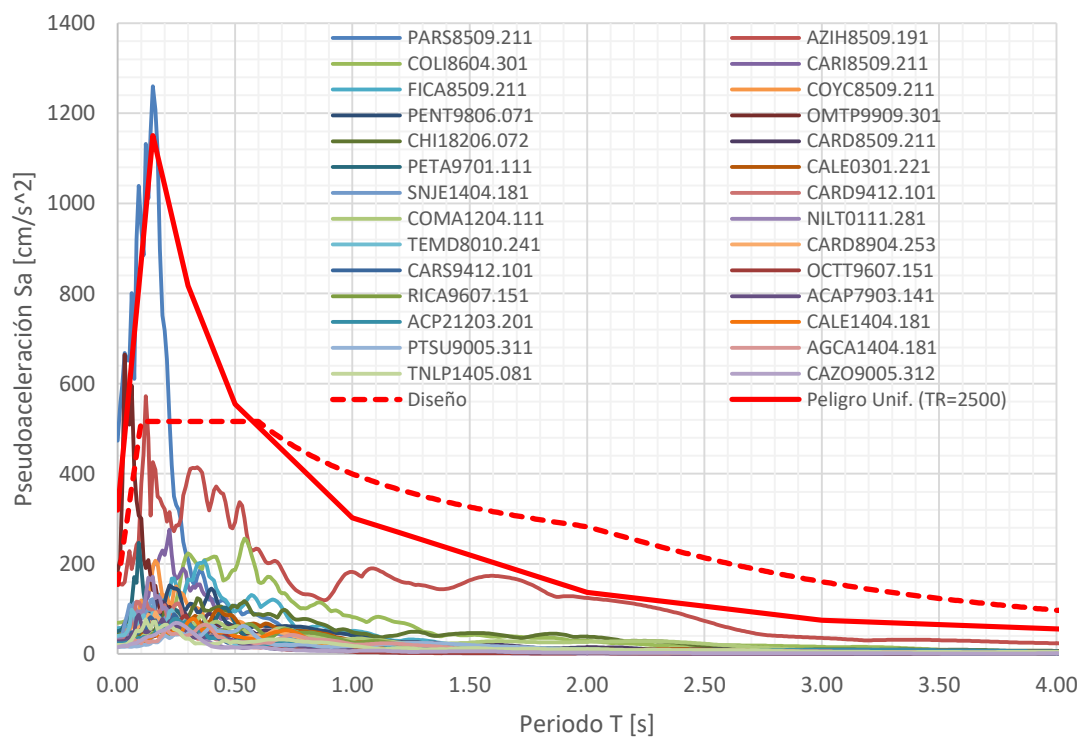




4.3.3 Espectros Grupo 3 OAX



4.3.4 Espectros Grupo 4 HUA





4.4 Parámetros de intensidad de registros sísmicos

Se calcularon los siguientes parámetros de intensidad para la lista de señales sísmicas a utilizar: PGA, EPA, EPV, MIV, Sa(T), Sa(Ti-Tf), ASI, IA, CAV y HI como de indico en la sección 1.1.

4.5 Factores de escala

Obtenidos al dividir el parámetros de intensidad objetivo entre el parámetro de intensidad de cada uno de los registros sísmicos, dependido su correspondiente grupo de ubicación.

4.5.1 Factores de escala Grupo 1 PE

	FE	PGA	EPA	EPV	MIV	Sa(T)	Sa(T)	Sa(T)	Sa(T-T)	Sa(T-T)	Sa(T-T)	ASI	IA	CAV	HI	td
G1 (PE) (d < 50 Km)	CALE9701.111	4.40	3.34	3.76	1.39	4.74	3.56	3.20	5.20	3.83	4.10	3.40	3.24	2.68	4.10	2.06
	LANE9909.301	6.71	4.19	4.03	1.58	5.16	4.35	2.81	5.03	3.81	2.44	4.27	3.75	2.41	3.45	1.61
	RIOG9909.301	5.50	4.10	3.96	1.75	6.12	3.87	4.76	6.53	4.93	3.90	4.18	3.76	2.67	4.29	2.07
	ACP21308.211	7.13	4.74	9.57	2.01	4.81	2191	3130	9.63	31.13	32.15	4.78	19.90	9.35	15.61	7.03
	PET21404.182	5.04	4.86	6.20	2.33	8.13	7.22	7.76	7.59	7.76	7.46	5.01	5.11	3.04	7.19	2.16
	INM19412.101	3.53	4.24	7.09	2.03	6.46	12.48	24.60	6.16	19.23	28.58	4.43	3.78	3.12	11.89	2.38
	SLU21404.182	4.01	5.75	7.31	2.96	10.73	8.30	9.16	11.74	9.04	9.69	6.02	3.06	2.16	8.85	1.35
	NUX21404.182	9.63	7.54	8.08	2.28	8.48	6.72	4.27	10.20	5.36	3.73	7.68	22.69	5.53	5.77	1.16
	SJLL1204.0213	7.97	7.95	2143	3.57	25.02	4107	55.12	36.97	50.91	35.67	8.06	10.97	3.61	30.06	1.44
	VIGA8904.251	5.01	6.40	10.75	3.04	19.55	10.88	13.51	17.38	13.57	11.26	6.58	7.90	5.68	11.96	4.96
	VIGA9310.241	5.35	4.98	8.95	2.26	8.44	10.17	10.53	13.96	11.33	10.35	5.08	10.00	6.49	10.35	4.19
	LLAV8802.081	6.28	5.36	13.09	2.69	10.08	32.88	32.98	14.67	35.75	40.98	5.42	11.44	7.92	20.71	6.16
	ACAP7803.191	5.41	5.31	7.85	2.43	11.05	11.77	9.96	9.92	11.18	17.18	5.41	8.72	7.48	10.81	5.97
	OCTT0904.271	9.29	8.48	19.32	3.75	11.17	48.29	76.57	18.74	75.32	62.07	8.65	37.46	11.91	31.79	3.18
	COMD9405.231	4.69	8.00	17.84	3.45	15.60	33.28	56.41	25.68	46.06	36.12	8.25	11.09	5.57	26.68	2.68
	VNNTA1308.211	12.63	9.62	16.78	4.37	12.18	34.57	34.11	13.32	37.64	34.71	9.82	72.59	19.17	24.35	6.12
	AZIH8509.211	11.26	7.50	5.12	1.82	7.37	3.59	3.53	8.44	3.82	3.77	7.63	18.74	6.73	4.53	2.36
	CALE8509.191	11.74	7.68	5.11	1.77	9.38	3.80	4.08	7.98	4.16	2.40	7.83	10.43	3.68	3.76	1.10
	PAPN9607.151	5.37	6.17	11.98	2.80	11.11	20.90	24.25	13.13	27.33	22.42	6.29	9.06	5.37	17.04	3.69
	CALE0008.091	12.51	10.38	9.86	3.74	15.74	12.04	13.21	11.90	14.92	13.15	10.60	39.57	10.38	12.21	3.43
	PAPN8802.081	4.23	6.37	10.63	3.37	9.33	17.59	49.80	11.71	35.37	54.98	6.50	7.49	6.10	18.70	6.95
	SJLL1105.052	7.43	8.27	24.36	3.65	32.31	64.20	75.41	44.88	79.14	85.58	8.37	21.06	7.30	40.46	2.24
	BALC9412.101	7.27	9.12	13.16	3.85	16.44	17.00	14.01	16.69	16.97	17.45	9.34	12.84	5.99	15.84	3.30
	INMD9412.101	8.52	8.84	11.12	4.25	10.78	12.99	30.42	13.40	23.53	36.82	9.03	21.49	7.55	17.52	3.01
	CPDR8911.092	12.04	12.26	12.05	3.63	15.24	11.31	12.80	16.61	13.04	12.68	12.53	127.37	37.12	13.11	10.78
	PAPN9005.311	9.70	10.26	16.55	3.38	11.89	16.81	15.72	20.94	16.93	15.72	10.40	66.41	19.80	17.13	5.98
	PETA9607.151	10.22	12.24	14.77	5.41	16.50	18.31	16.80	16.44	19.81	20.49	12.75	43.87	10.87	17.90	2.97
	LLAV9005.111	12.09	13.30	28.89	5.17	30.22	40.83	51.66	53.13	51.08	63.94	13.47	91.86	20.95	41.30	5.14



4.5.2 Factores de escala Grupo 2 SC

	FE	PGA	EPA	EPV	MIV	Sa(T)	Sa(T)	Sa(T)	Sa(T-T)	Sa(T-T)	Sa(T-T)	ASI	IA	CAV	HI	td
G2 (SC) (50 Km < d < 100 Km)	TAMA9909.301	3.92	3.18	4.00	1.38	3.34	5.48	9.31	3.98	6.76	7.21	3.30	3.98	2.42	5.16	153
	PTSU9701.111	3.27	2.27	2.51	0.76	2.79	2.48	2.00	2.69	2.59	2.45	2.35	3.03	2.14	2.39	157
	OCTT8904.251	5.25	4.78	9.67	2.59	7.21	16.90	22.34	10.69	20.91	14.21	4.96	13.74	6.31	13.33	2.49
	VILD9701.111	5.87	4.94	5.68	1.79	5.39	6.39	12.28	6.01	6.68	7.52	5.45	6.16	3.32	6.76	169
	COYC1308.211	4.76	4.74	12.89	2.45	7.25	48.34	59.17	12.70	60.66	46.33	4.92	19.74	10.60	21.93	10.87
	PAPN8509.211	3.81	4.75	7.57	2.82	9.90	10.55	12.57	11.04	12.76	8.27	4.97	5.44	3.57	9.05	2.93
	JAMI203.202	3.49	3.98	5.78	1.87	8.18	6.75	2.86	7.89	3.72	3.80	4.17	5.49	3.41	4.11	2.87
	JAMI9909.301	2.65	4.17	5.58	1.99	7.51	6.79	4.95	7.84	8.09	5.84	4.38	1.45	1.59	5.94	1.83
	VILE9701.111	8.69	6.08	6.57	1.93	5.25	6.82	12.70	7.58	6.87	7.54	6.31	24.03	7.13	7.34	2.04
	VILI9701.111	5.21	5.58	7.86	2.44	10.97	6.52	11.63	14.83	7.32	7.25	5.86	8.86	3.85	8.13	1.72
	SMLC9909.301	6.65	6.12	7.54	3.77	7.83	7.71	6.87	8.96	6.73	8.37	6.37	7.28	2.87	7.31	1.35
	CARD9405.231	4.50	7.04	15.85	3.95	10.57	26.09	43.13	17.69	34.74	46.52	7.44	12.55	5.23	24.14	2.47
	SJLL1405.241	6.10	7.76	25.81	4.05	31.10	65.81	95.60	49.47	78.84	119.19	8.05	18.55	7.93	42.79	4.69
	PTSU9412.101	12.01	8.64	7.53	2.76	13.14	6.44	9.01	11.65	6.72	10.70	8.96	29.65	6.61	7.80	1.31
	ACAP8904.251	10.19	9.31	10.24	4.02	9.92	8.21	8.08	13.15	6.94	11.39	9.66	56.48	12.31	9.15	2.77
	ATYC1404.181	10.12	8.39	12.35	3.80	13.66	15.97	8.39	13.39	13.14	8.16	8.71	20.75	4.48	10.58	1.03
	OCTT9310.241	14.16	10.26	18.04	5.26	12.90	32.22	33.47	17.02	34.62	31.99	10.63	42.66	9.85	23.90	2.52
	COYC1405.081	14.27	12.99	15.93	5.22	23.72	16.65	23.80	20.72	19.07	25.94	13.52	94.99	15.61	18.54	4.12
	VIGA9509.141	9.74	9.95	13.30	5.96	16.48	16.89	13.73	18.31	15.12	16.22	10.42	12.76	4.61	14.40	1.48
	SJLL1408.132	11.77	14.78	45.42	8.09	49.87	122.99	274.80	59.90	187.63	245.13	15.47	63.38	11.76	81.20	2.84
	MSAS9310.241	9.10	8.26	16.19	3.90	10.36	22.00	21.49	18.81	21.20	23.54	8.58	28.51	9.14	18.70	3.11
	OXJM1410.111	10.37	11.04	23.25	6.05	18.20	54.56	105.71	24.22	78.37	121.85	11.47	61.84	13.80	39.45	3.96
	SUCH1404.181	13.71	12.98	8.70	1.93	18.93	6.96	4.46	15.50	5.85	4.26	13.51	38.69	6.49	5.98	1.03
	COYC8904.251	13.20	16.38	19.96	7.25	34.58	20.56	30.54	35.55	26.81	29.02	17.06	151.05	25.70	23.91	4.22
	OCTT9410.291	19.78	17.59	43.80	9.55	20.44	139.99	256.91	40.87	202.40	281.89	18.23	288.03	41.15	78.75	4.22
	TAMA1002.091	18.03	14.93	20.30	6.20	13.38	33.85	64.52	17.50	52.40	56.73	15.56	217.94	27.49	31.11	5.28
	SMR29310.241	14.40	11.18	13.51	4.73	16.00	16.73	8.32	17.61	10.34	9.68	11.58	89.32	17.13	10.73	3.07
	TEJU1211.151	16.57	16.76	33.30	8.83	32.64	56.81	68.78	43.35	70.53	59.59	17.39	123.50	13.35	46.05	1.16



4.5.3 Factores de escala Grupo 3 OAX

FE	PGA	EPA	EPV	MIV	Sa(T)	Sa(T)	Sa(T)	Sa(T-T)	Sa(T-T)	Sa(T-T)	ASI	IA	CAV	HI	td	
G3 (OAX) (100 Km < d < 150 Km)	INPT9701.111	146	182	4.20	131	4.51	7.48	6.44	5.81	6.69	7.45	193	103	1.10	5.41	18
	INM19701.111	1.13	193	3.26	141	3.17	5.27	5.52	3.82	5.72	7.00	2.07	0.82	0.89	4.43	0.92
	UNIO8509.191	2.86	2.24	197	0.80	2.29	2.05	185	2.63	2.27	156	2.37	109	0.95	195	0.75
	INMD8509.191	3.66	4.73	4.74	2.45	7.45	4.97	3.42	7.26	4.33	4.45	5.02	2.27	1.14	4.42	0.51
	UNIO1404.191	6.31	5.71	6.73	3.04	8.16	8.35	6.89	8.66	9.07	7.88	6.03	13.90	3.57	7.62	136
	PARS8802.081	196	4.43	16.79	2.60	14.40	43.12	48.71	29.25	41.12	71.17	4.80	4.23	3.37	26.90	3.30
	INMD8509.19A	4.01	5.43	5.27	2.23	7.79	5.17	3.62	8.25	4.70	4.89	5.76	3.42	1.53	4.77	0.55
	OXLC9909.301	6.21	5.56	5.43	2.53	7.40	4.91	5.68	6.76	5.17	7.42	5.89	7.81	2.16	5.62	0.65
	ACP21511231	9.09	7.16	14.68	5.31	9.30	53.34	10.177	12.26	74.66	102.07	7.53	35.59	7.89	26.79	2.54
	ATYC8509.211	5.85	6.07	7.46	3.64	7.36	6.64	12.67	9.84	12.08	10.55	6.43	16.25	4.81	9.50	116
	CHID8408.311	9.28	7.15	12.09	3.69	9.49	25.72	24.88	8.54	30.44	31.42	7.60	23.09	6.82	17.88	127
	UNIO9701.111	5.83	6.71	6.68	2.61	9.61	5.34	4.80	10.13	5.30	5.25	7.12	17.24	4.18	5.83	0.90
	CHID8408.311	8.23	6.86	14.16	5.55	7.89	30.31	46.38	12.44	45.97	48.24	7.22	19.82	5.28	22.89	0.88
	ACP21405.081	6.89	6.34	12.52	4.54	9.12	28.97	25.31	13.83	31.47	22.29	6.66	21.74	5.63	17.68	2.69
	COMD1404.191	5.80	7.14	10.41	4.75	8.75	12.90	11.91	12.88	14.68	16.86	7.59	7.45	1.99	12.55	0.55
	OCTT9509.141	8.29	6.07	10.80	4.32	7.20	20.29	22.17	10.18	22.14	26.86	6.39	9.54	2.87	16.22	0.83
	RIOG1203.201	11.71	9.75	9.07	3.95	10.07	8.20	11.19	12.70	10.64	11.73	10.28	43.36	6.02	10.32	123
	SUCH8509.211	5.68	6.56	4.55	1.83	9.46	4.94	8.61	6.09	9.85	7.65	6.97	18.39	5.93	6.34	151
	PARS8904.251	4.10	7.68	19.73	5.21	22.29	54.96	41.78	23.29	49.57	34.30	8.29	13.83	5.46	28.80	2.48
	ACP21404.191	8.60	7.56	11.81	4.65	10.90	17.21	14.63	13.02	18.95	18.34	7.96	15.59	2.95	14.66	0.59
	PEND8909.161	7.28	7.32	5.81	2.15	10.29	9.81	19.39	5.18	14.42	24.81	7.83	31.55	8.50	9.20	177
	COMD9412.101	8.09	9.22	7.82	3.10	11.81	7.60	14.09	11.57	10.61	18.66	9.83	23.24	4.65	9.88	0.78
	CHID8309.151	9.82	9.66	15.57	5.74	19.09	20.45	20.03	16.74	22.80	23.44	10.23	26.00	5.39	18.84	0.61
	CHID8309.151	10.79	9.74	25.40	6.70	17.91	54.51	54.51	29.34	54.62	53.10	10.25	40.74	10.03	36.31	155
	SLU20810.201	6.15	9.00	18.77	4.52	13.16	41.86	72.77	19.53	61.43	84.07	9.53	74.54	18.11	31.65	5.05
	CARD9005.312	10.37	10.85	22.74	6.81	22.95	22.79	60.56	38.79	33.02	62.60	11.44	53.46	9.97	30.98	148
	INM18604.30A	11.87	11.04	15.84	5.83	16.71	34.52	91.25	11.77	55.98	102.75	11.76	64.08	12.03	27.61	143
	RIXC9806.071	8.75	11.52	30.07	9.10	26.59	74.45	12.75	37.14	76.95	116.59	12.28	31.47	4.73	48.05	0.54



4.5.4 Factores de escala Grupo 4 HUA

	FE	PGA	EPA	EPV	MIV	Sa(T)	Sa(T)	Sa(T)	Sa(T-T)	Sa(T-T)	Sa(T-T)	ASI	IA	CAV	HI	td
G4 (HUA) (150 Km < d < 200 Km)	PARS8509.211	0.58	1.47	3.77	0.91	2.90	7.76	8.61	5.49	11.25	8.70	1.57	0.67	1.14	5.84	2.52
	AZIH8509.191	2.47	2.52	2.12	0.64	3.00	1.49	1.09	2.89	1.39	1.41	2.69	2.17	1.45	1.52	0.95
	COLI8604.301	4.15	4.00	2.74	1.17	3.82	2.99	3.76	3.36	3.78	4.08	4.26	4.01	2.13	3.28	1.01
	CARI8509.211	5.22	5.14	8.02	3.14	5.93	13.19	16.04	8.53	14.98	14.62	5.45	7.92	2.67	11.01	0.72
	FICA8509.211	6.09	5.73	4.94	2.04	5.88	7.45	10.29	5.57	7.48	10.21	6.10	9.59	3.38	6.35	0.90
	COYC8509.211	7.06	6.72	9.81	3.61	9.63	14.66	11.01	10.62	14.59	12.08	7.17	22.58	5.56	11.65	1.14
	PENT9806.071	7.13	7.38	8.88	3.02	10.11	11.66	32.69	11.32	21.02	30.99	7.81	45.61	8.84	14.15	1.47
	OMTP9909.301	1.77	5.94	9.93	4.46	9.30	18.62	16.62	11.21	19.15	13.91	6.43	2.13	1.56	13.44	1.26
	CHI18206.072	8.65	10.18	6.01	1.99	9.88	4.40	3.90	8.64	4.18	5.90	10.87	19.43	5.43	4.83	1.02
	CARD8509.211	7.86	8.23	8.42	3.57	10.60	9.28	10.81	10.50	9.20	11.31	8.78	18.31	4.05	9.30	0.69
	PETA9701.111	5.77	8.57	16.69	5.51	10.82	43.81	41.61	15.45	42.05	39.06	9.26	14.35	3.29	25.18	0.53
	CALE0301.221	11.42	11.97	9.88	3.48	12.70	12.49	7.79	12.60	11.41	6.39	12.75	50.96	5.89	9.74	0.75
	SNJE1404.181	6.33	9.65	9.87	3.31	17.14	12.84	18.02	14.53	14.57	17.74	10.37	12.31	2.70	12.57	0.60
	CARD9412.101	10.34	12.88	27.07	8.08	33.84	41.76	47.29	37.55	46.23	60.35	13.81	21.91	3.83	36.22	0.59
	COMA1204.111	13.24	12.41	10.88	3.20	15.04	10.98	4.04	14.28	8.54	6.22	13.19	46.46	5.31	7.48	0.60
	NILT0111.281	8.55	12.87	30.52	8.70	20.20	64.99	110.09	38.43	90.46	117.95	13.72	34.37	5.44	50.44	0.83
	TEMD8010.241	7.88	13.59	21.08	7.87	19.37	22.47	24.58	29.38	23.44	37.65	14.53	66.93	15.43	22.44	2.54
	CARD8904.253	10.73	11.52	12.85	4.74	20.14	21.87	22.28	14.31	29.00	12.12	12.35	51.86	10.08	17.63	1.60
	CARS9412.101	16.19	18.15	28.92	11.01	27.45	35.58	46.58	34.24	40.14	55.66	19.41	67.93	7.61	36.10	0.66
	OCTT9607.151	19.43	17.91	31.40	10.44	22.00	66.30	105.41	26.47	93.30	83.62	19.00	123.81	13.74	50.87	1.11
	RICAP9607.151	14.76	14.37	11.88	5.22	14.41	12.37	20.34	14.95	15.81	31.31	15.29	47.85	4.90	14.34	0.44
	ACAP7903.141	10.22	12.42	14.64	6.61	15.64	16.83	50.34	17.27	17.05	64.90	13.29	35.61	8.55	18.56	1.49
	ACP21203.201	16.33	17.52	20.03	9.29	23.06	23.58	22.43	26.07	20.86	14.20	18.59	70.80	5.60	20.48	0.55
	CALE1404.181	18.96	18.62	15.93	6.51	17.84	21.73	35.01	20.40	26.35	21.40	19.80	109.02	7.52	21.30	0.54
	PTSU9005.311	21.50	20.91	17.28	6.23	28.17	14.89	25.21	19.35	12.71	34.82	22.26	174.25	19.59	16.32	1.56
	AGCA1404.181	21.42	22.43	18.09	8.21	23.29	15.38	25.76	26.92	21.23	21.50	23.84	123.69	7.84	20.75	0.44
	TNLP1405.081	16.35	18.41	18.64	7.71	31.15	21.07	11.81	31.31	15.05	12.60	19.68	96.18	8.39	15.22	0.82
	CAZO9005.312	20.52	21.28	32.34	11.56	29.36	27.34	44.84	52.07	38.95	41.87	22.55	227.59	19.85	36.99	1.01

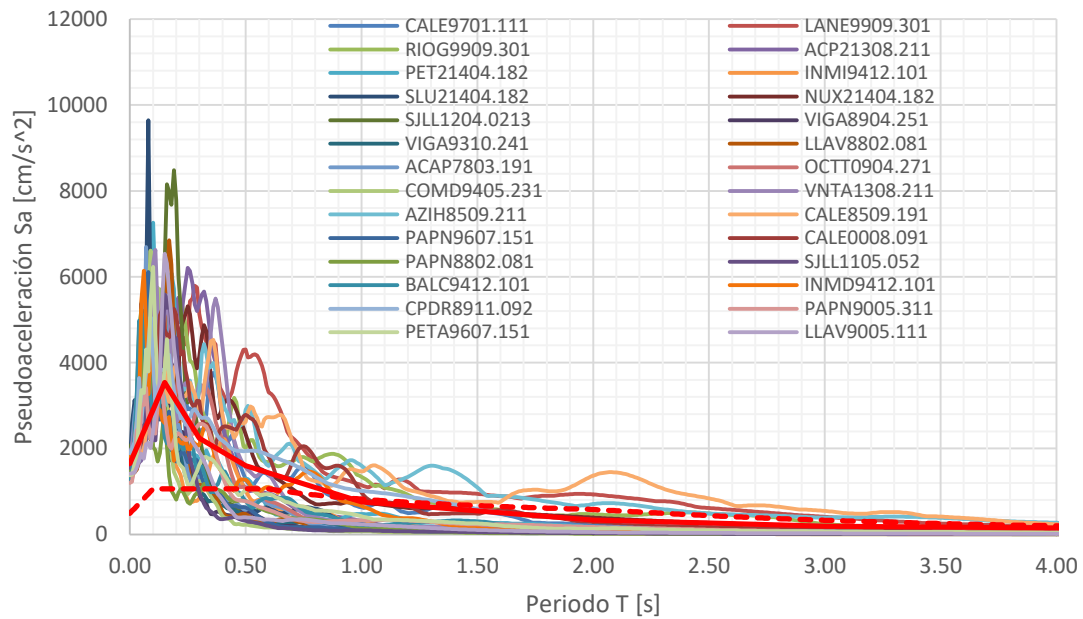


4.6 Espectros de respuesta escalados

Multiplicando los escalares de las tablas anteriores por las ordenadas espectrales se obtuvieron los espectros de respuesta escalados, para cada uno de los parámetros de intensidad.

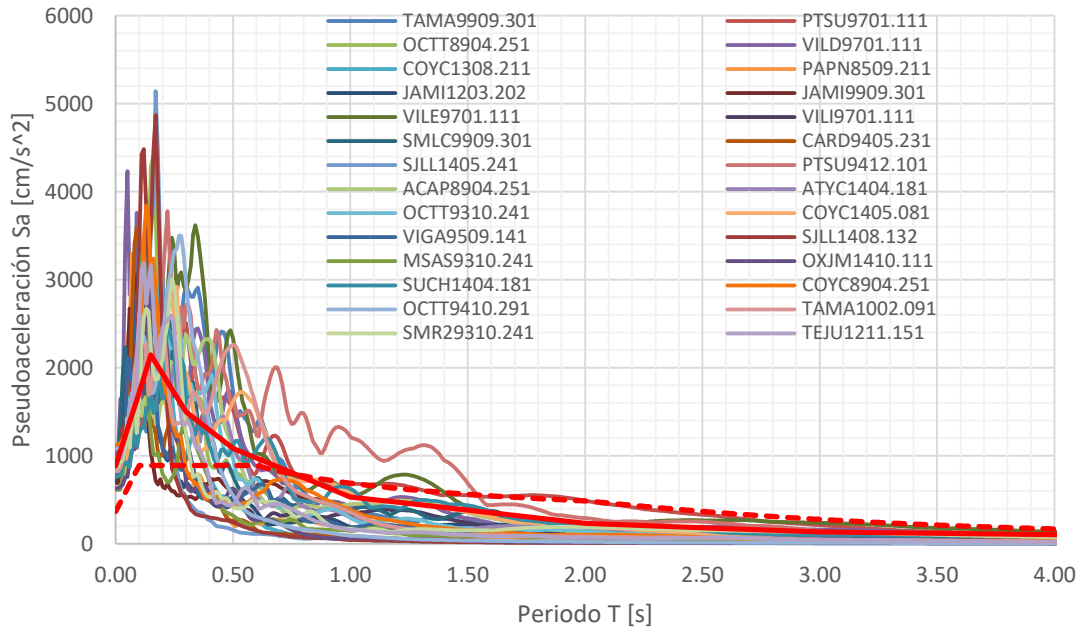
4.6.1 Espectros escalados con PGA

4.6.1.1 Espectros escalados con PGA Grupo 1

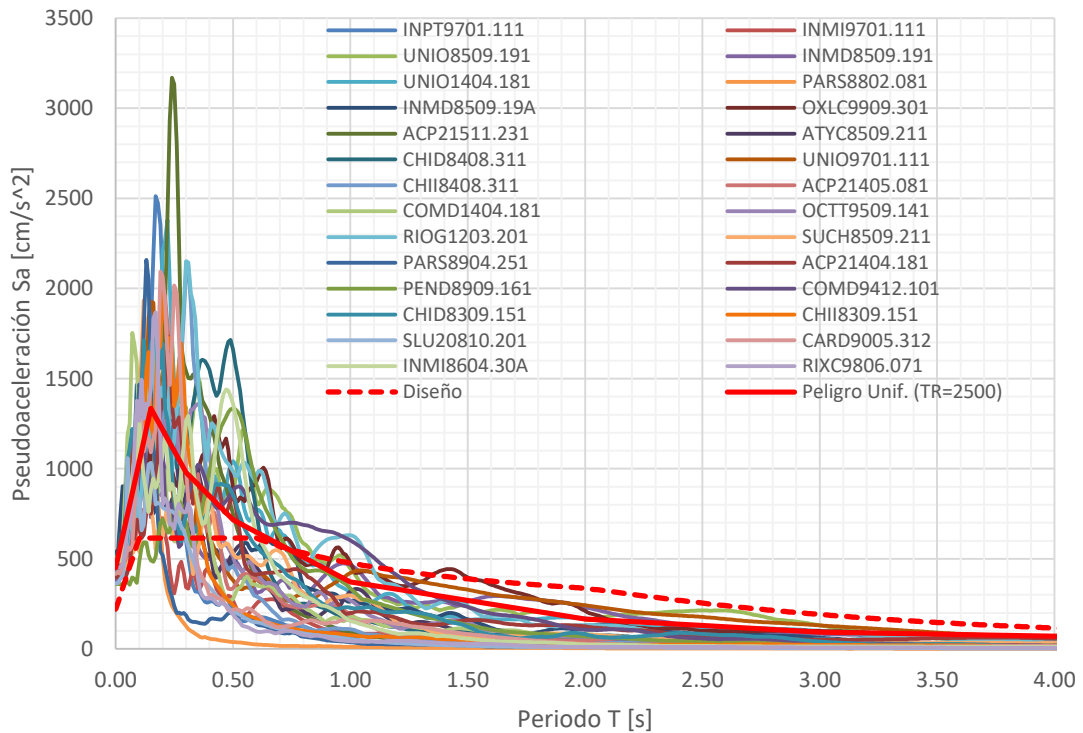




4.6.1.2 Espectros escalados con PGA Grupo 2

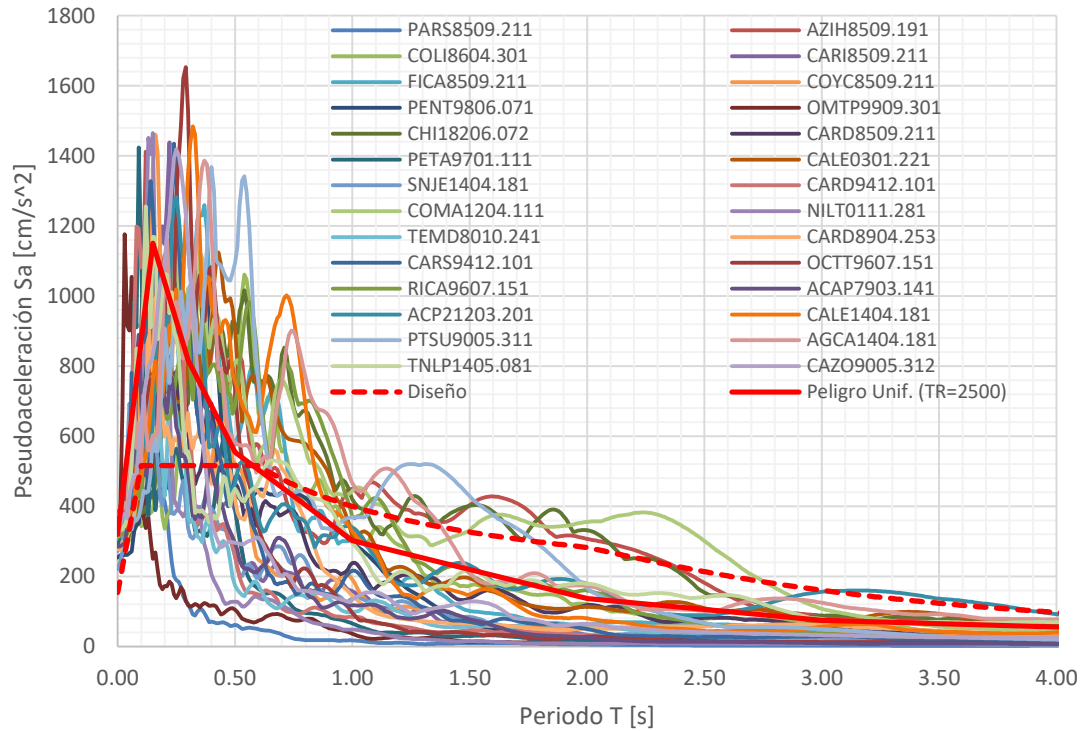


4.6.1.3 Espectros escalados con PGA Grupo 3



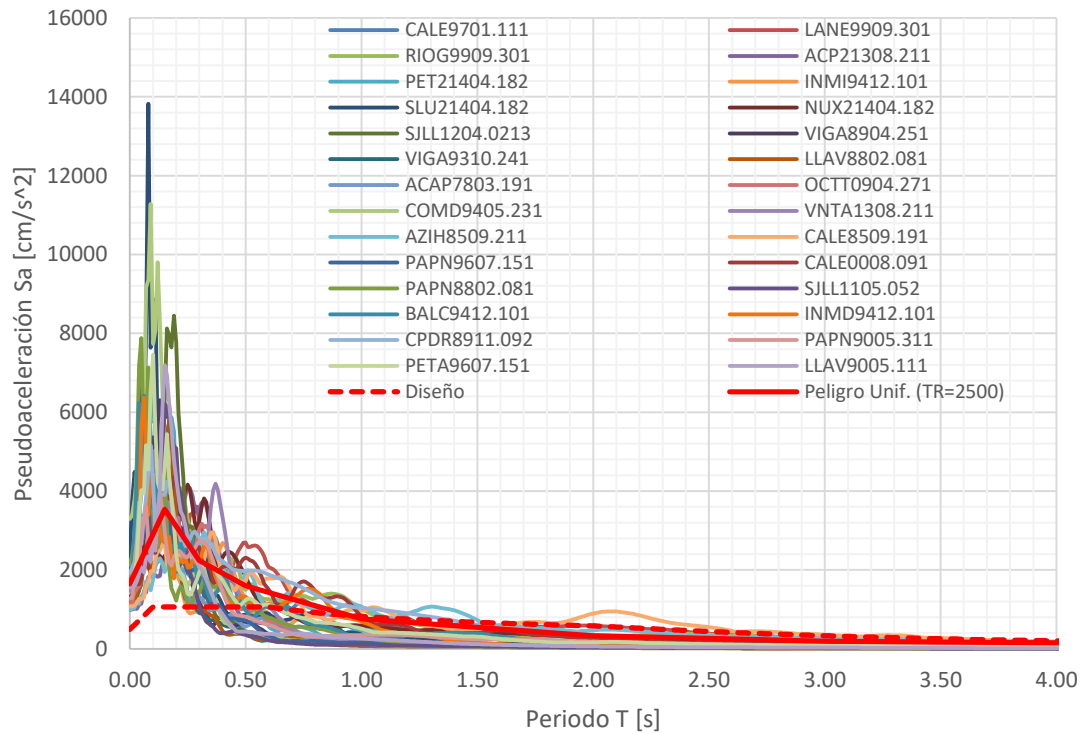


4.6.1.4 Espectros escalados con PGA Grupo 4



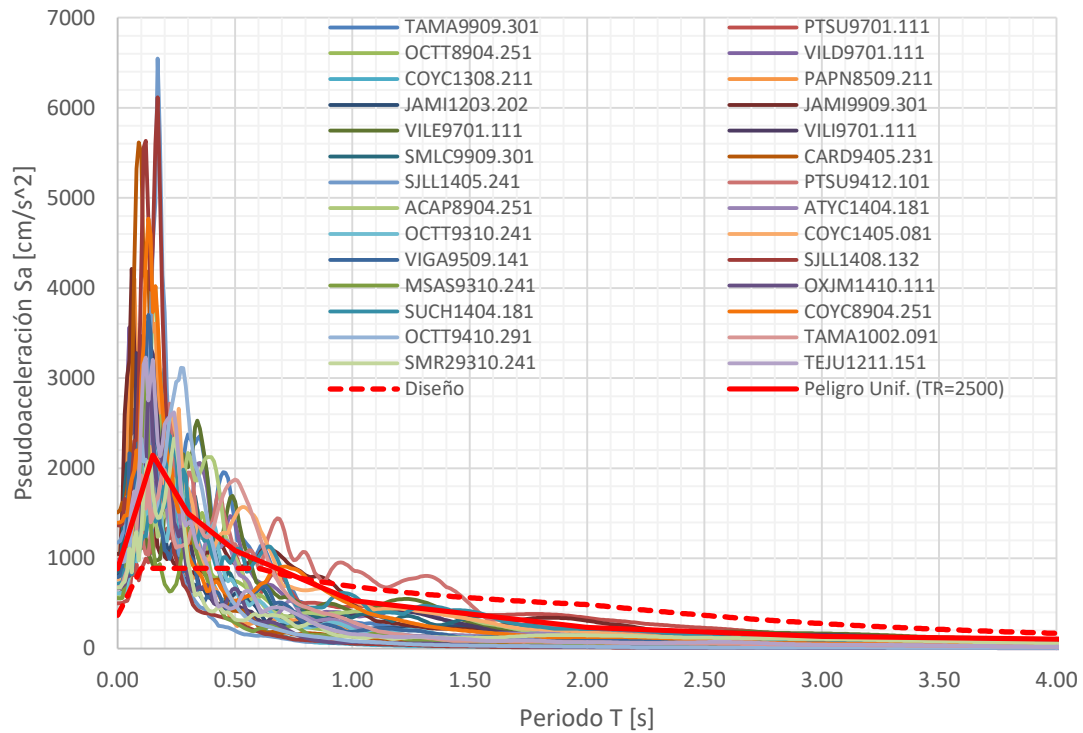
4.6.2 Espectros escalados con EPA

4.6.2.1 Espectros escalados con EPA Grupo 1

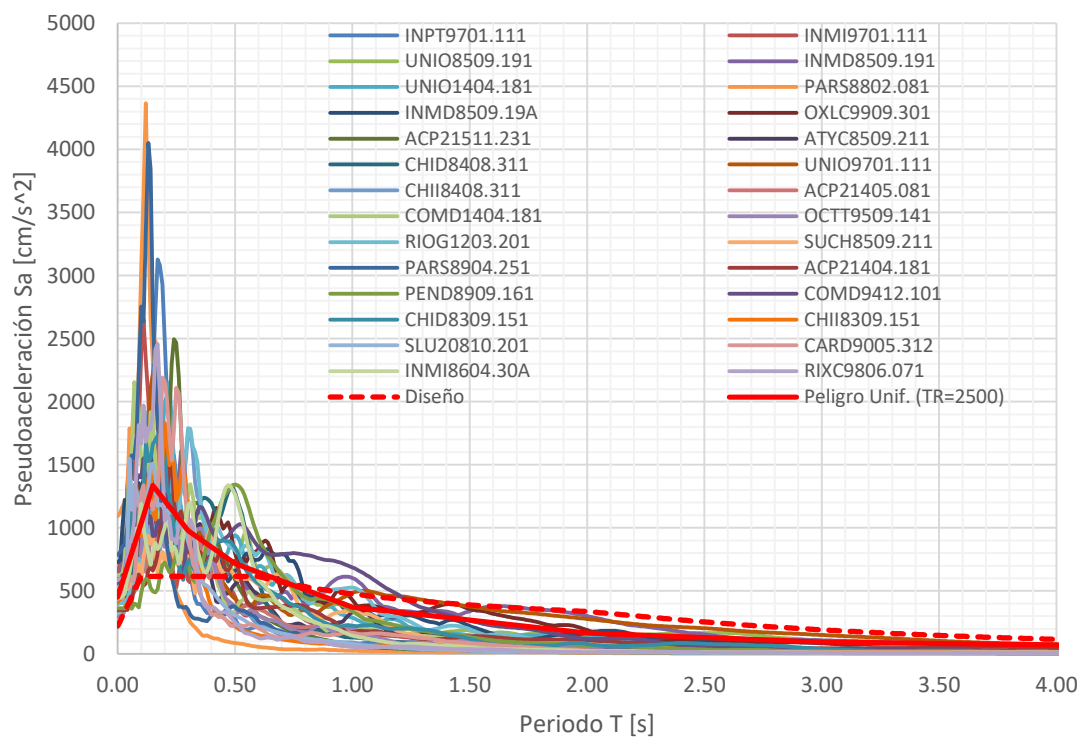




4.6.2.2 Espectros escalados con EPA Grupo 2

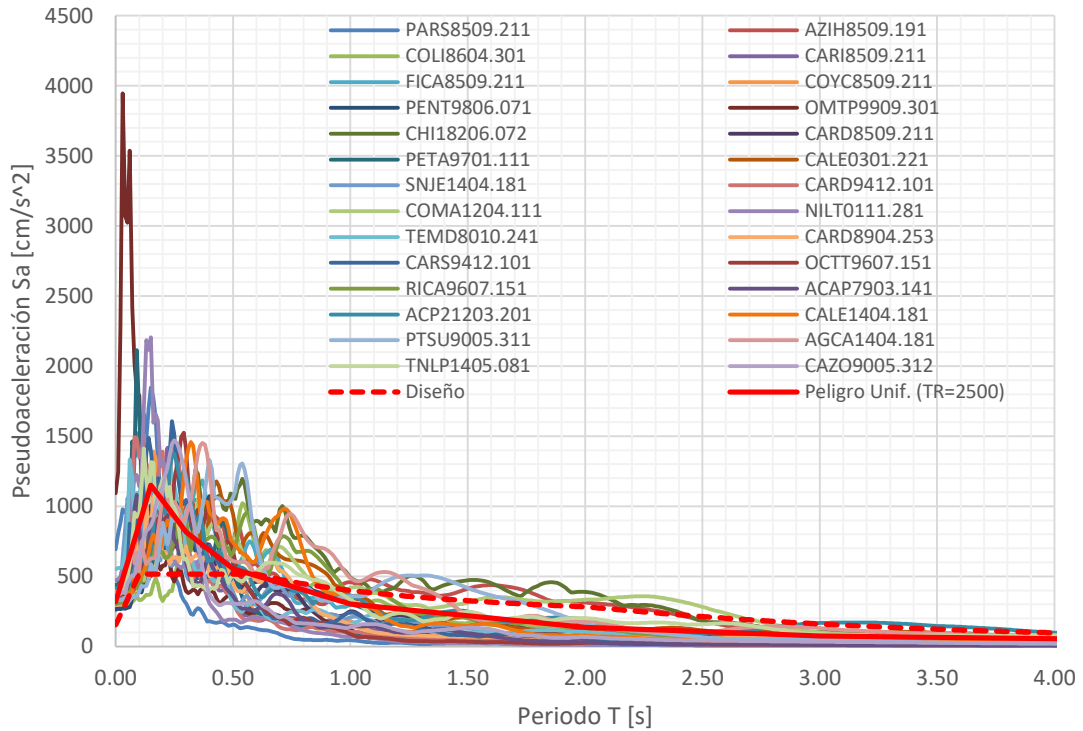


4.6.2.3 Espectros escalados con EPA Grupo 3



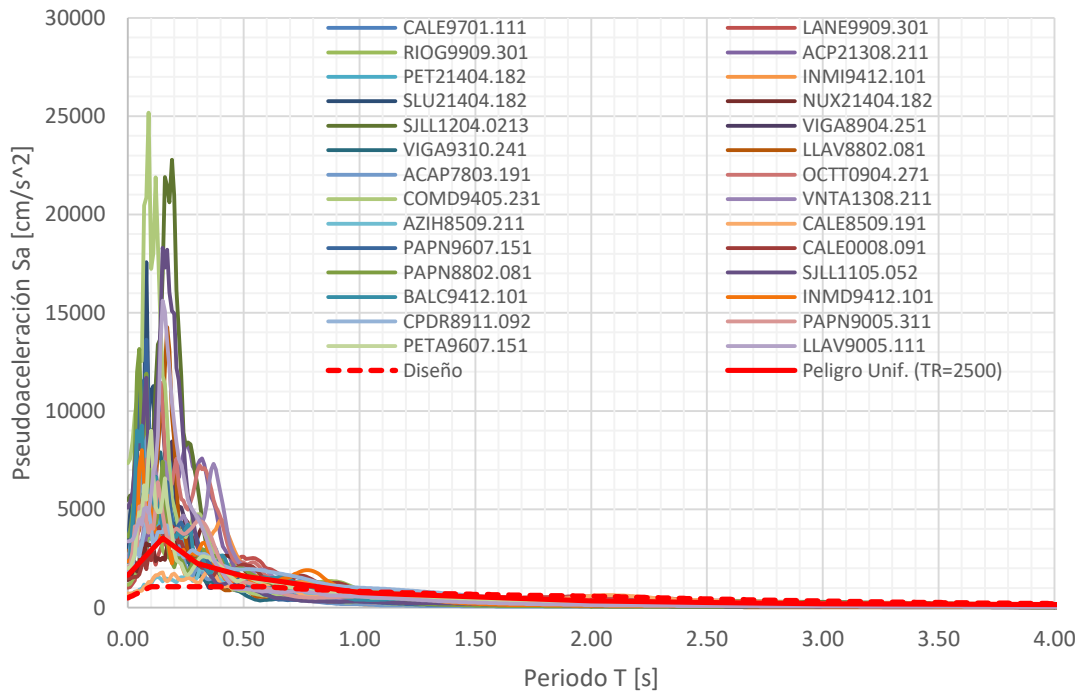


4.6.2.4 Espectros escalados con EPA Grupo 4



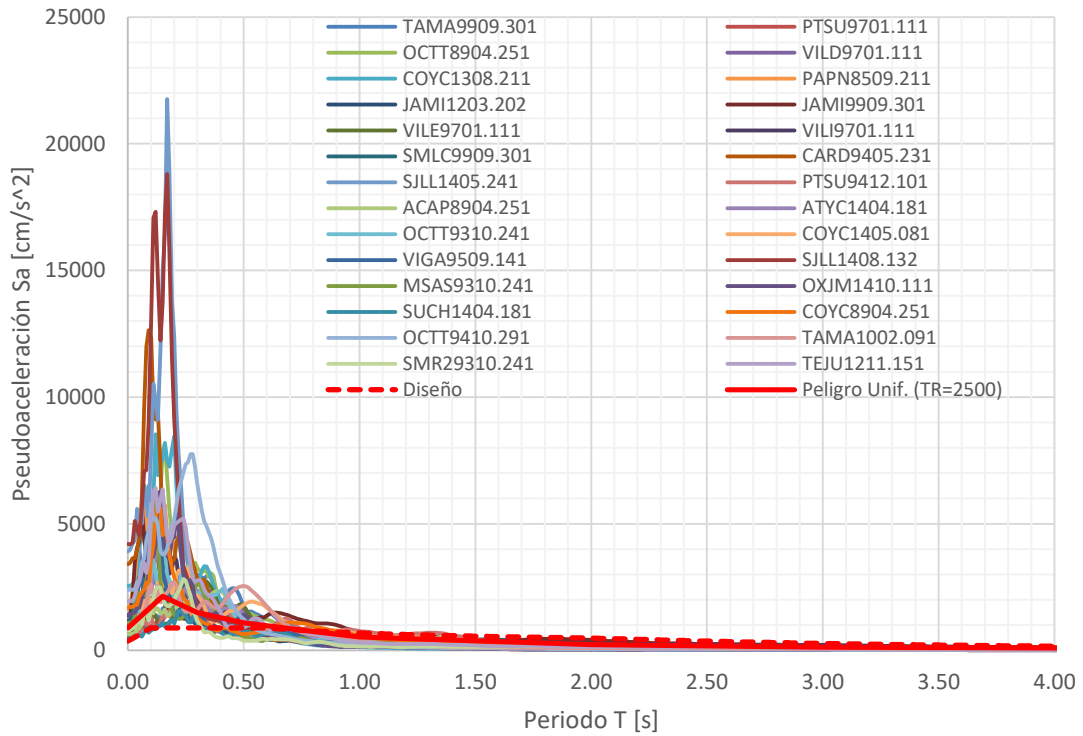
4.6.3 Espectros escalados con EVP

4.6.3.1 Espectros escalados con EVP Grupo 1

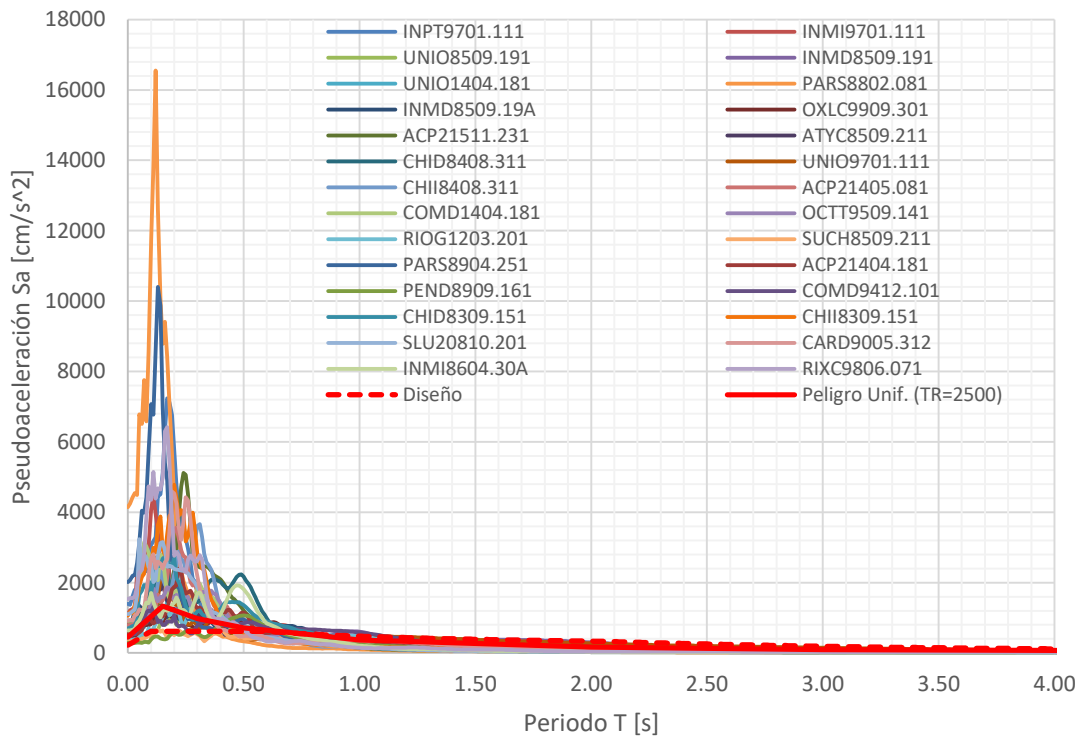




4.6.3.2 Espectros escalados con EVP Grupo 2

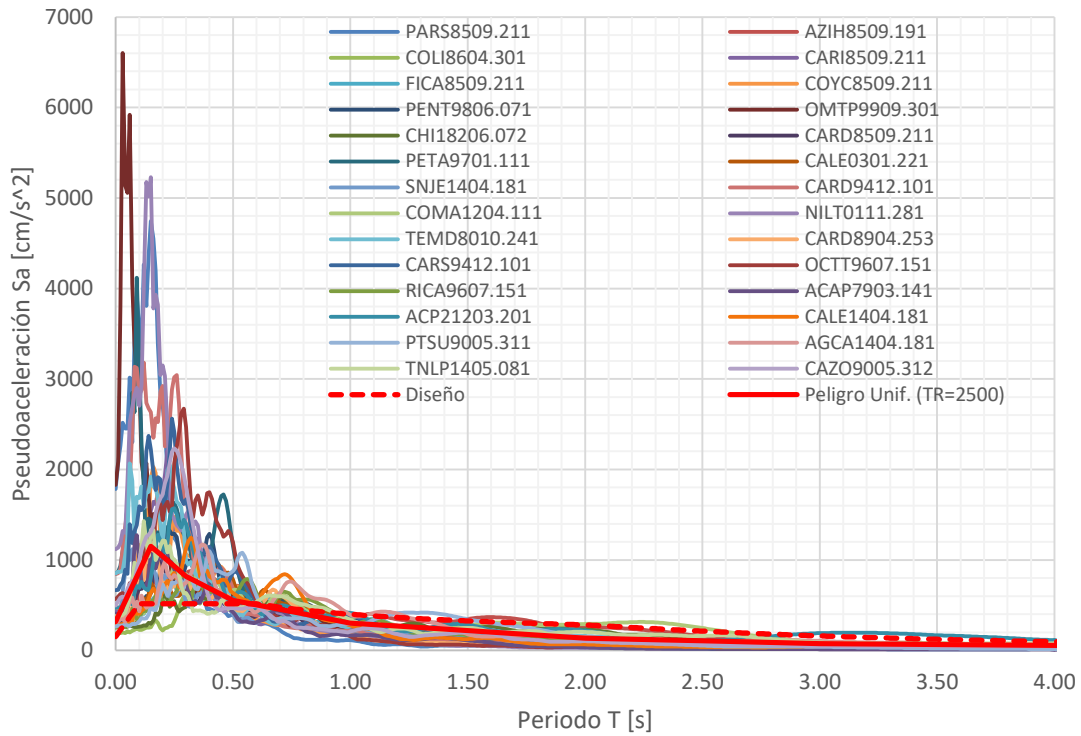


4.6.3.3 Espectros escalados con EVP Grupo 3



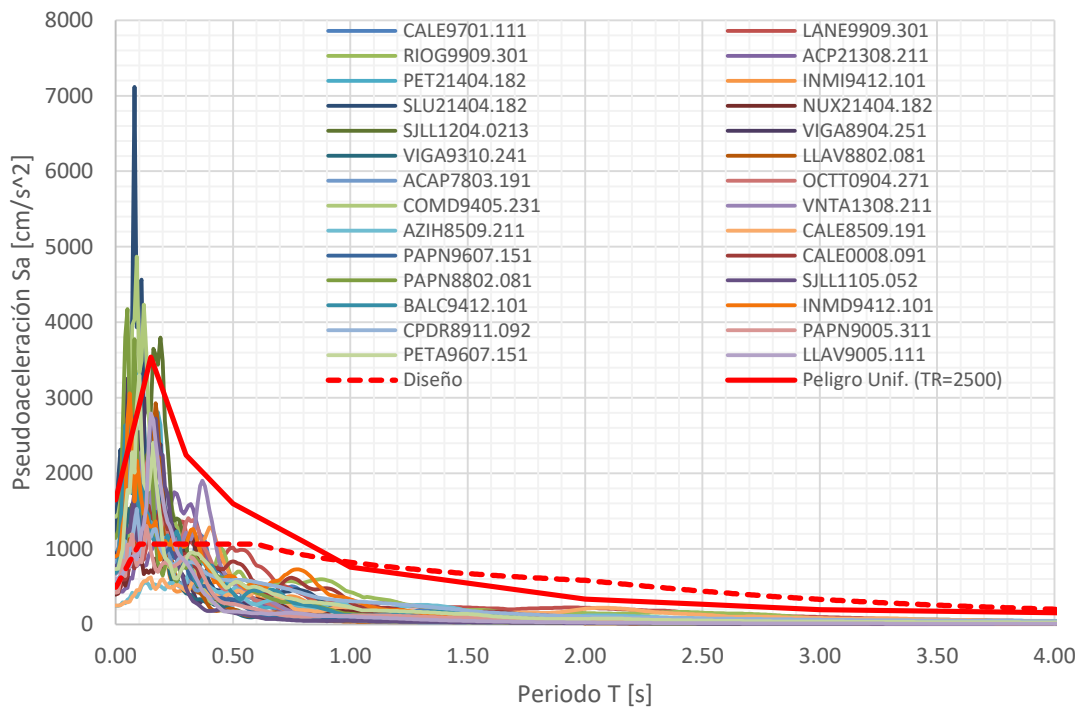


4.6.3.4 Espectros escalados con EVP Grupo 4



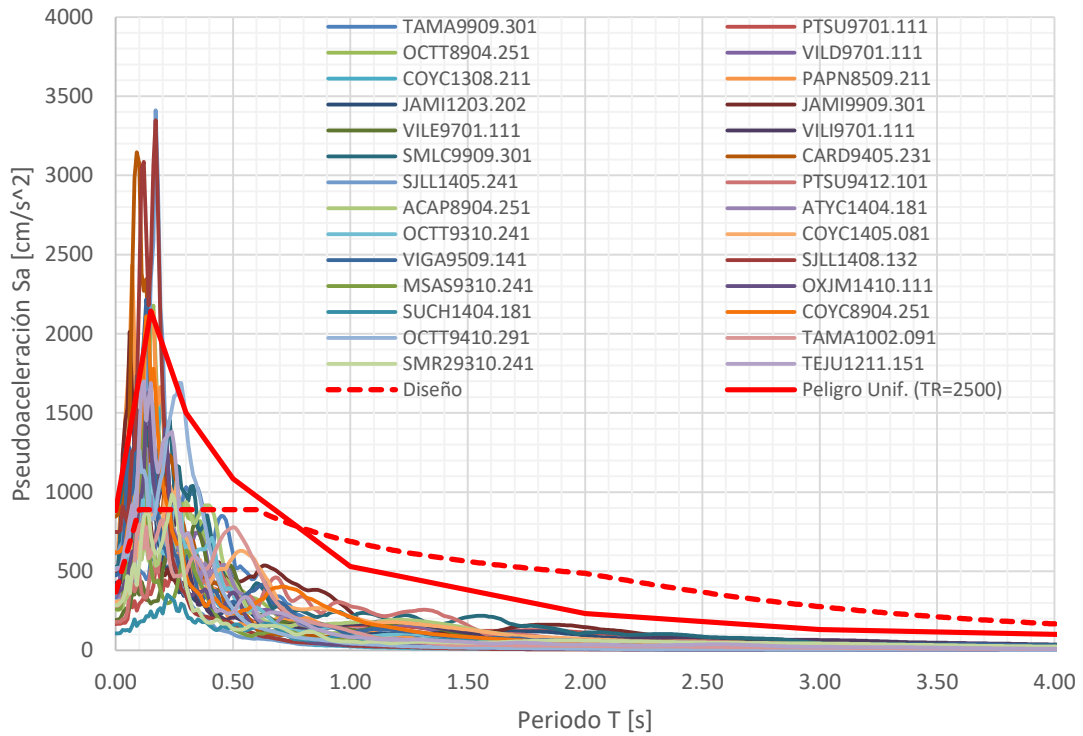
4.6.4 Espectros escalados con MIV

4.6.4.1 Espectros escalados con MIV Grupo 1

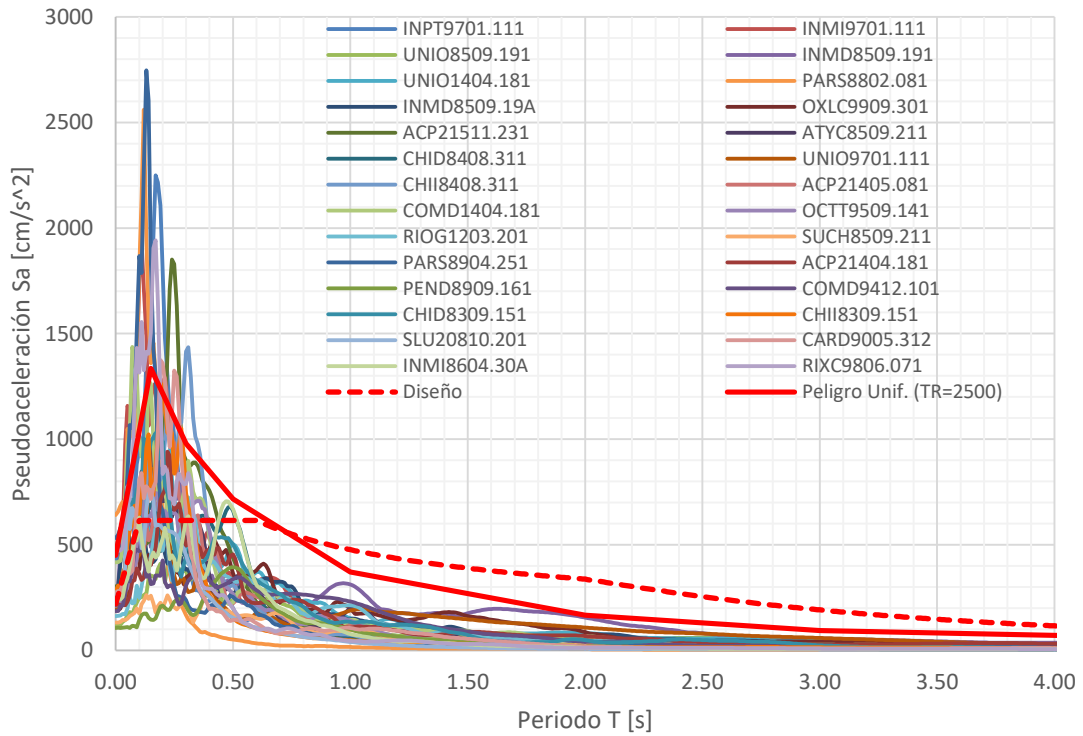




4.6.4.2 Espectros escalados con MIV Grupo 2

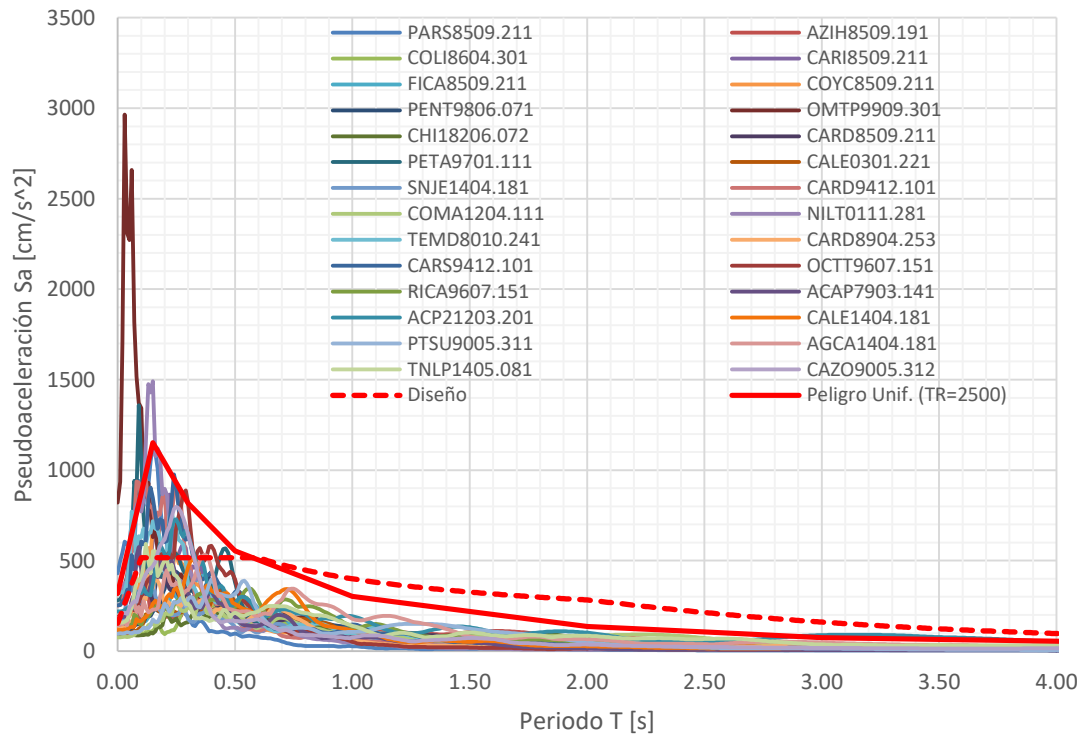


4.6.4.3 Espectros escalados con MIV Grupo 3



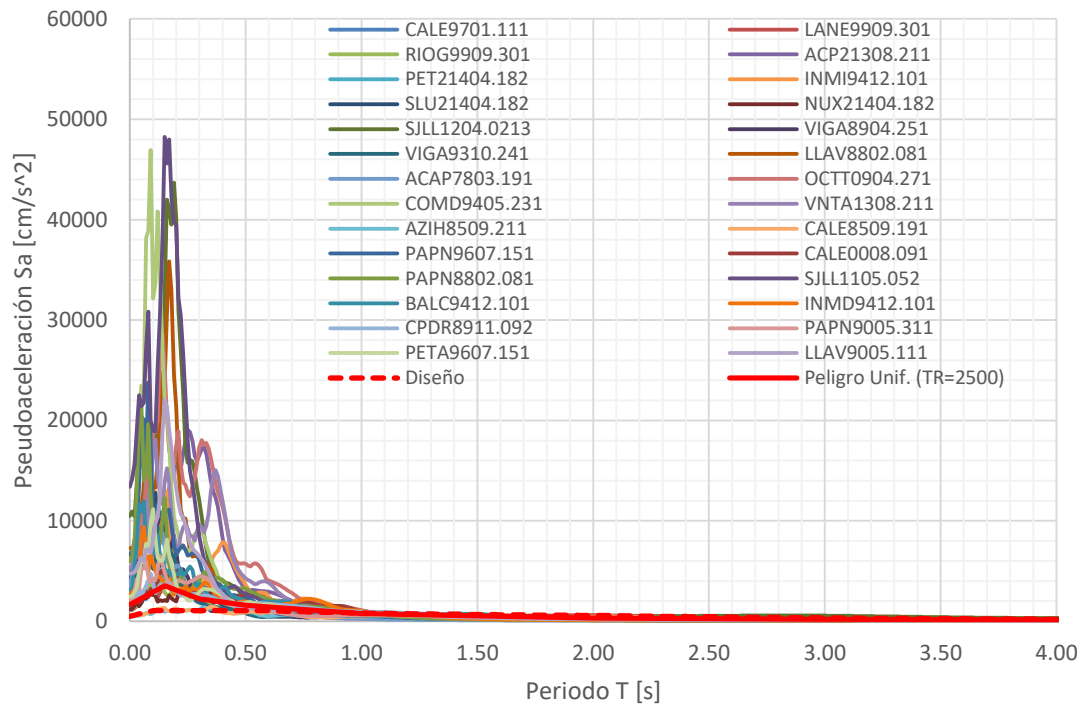


4.6.4.4 Espectros escalados con MIV Grupo 4



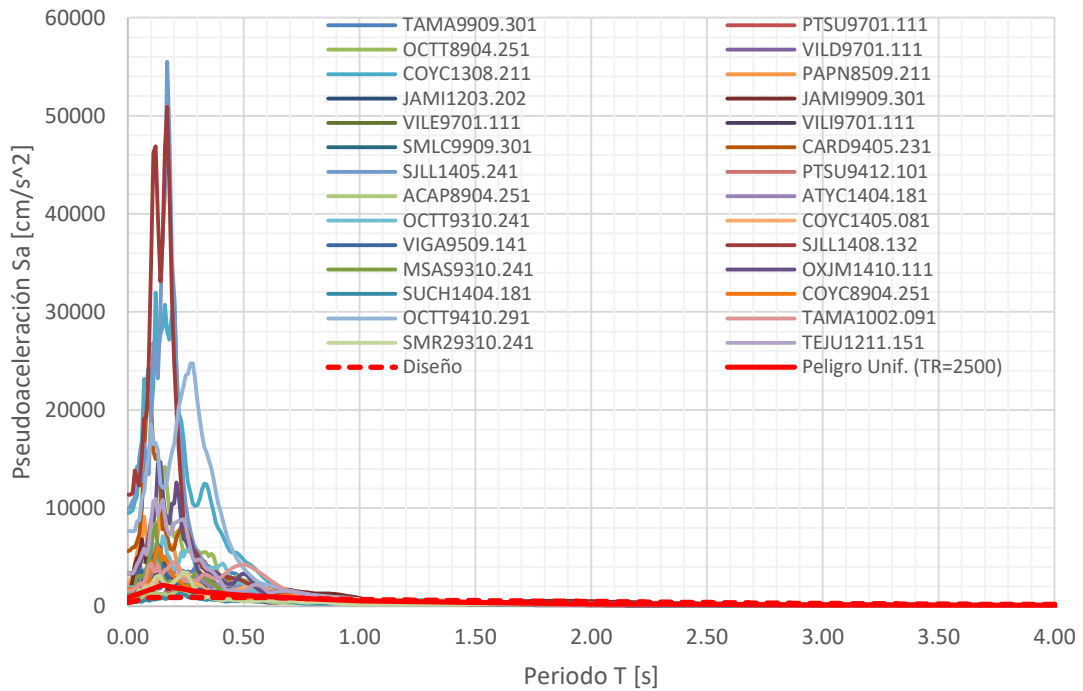
4.6.5 Espectros escalados con Sa(T)

4.6.5.1 Espectros escalados con Sa(T) Grupo 1

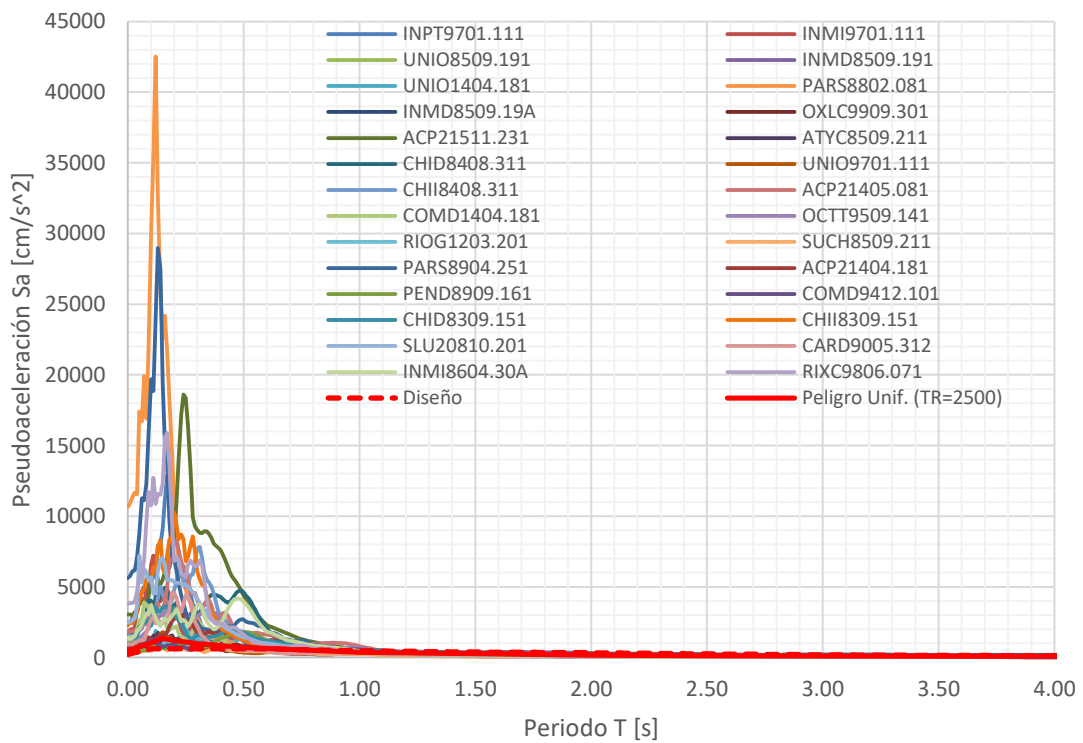




4.6.5.2 Espectros escalados con Sa(T) Grupo 2

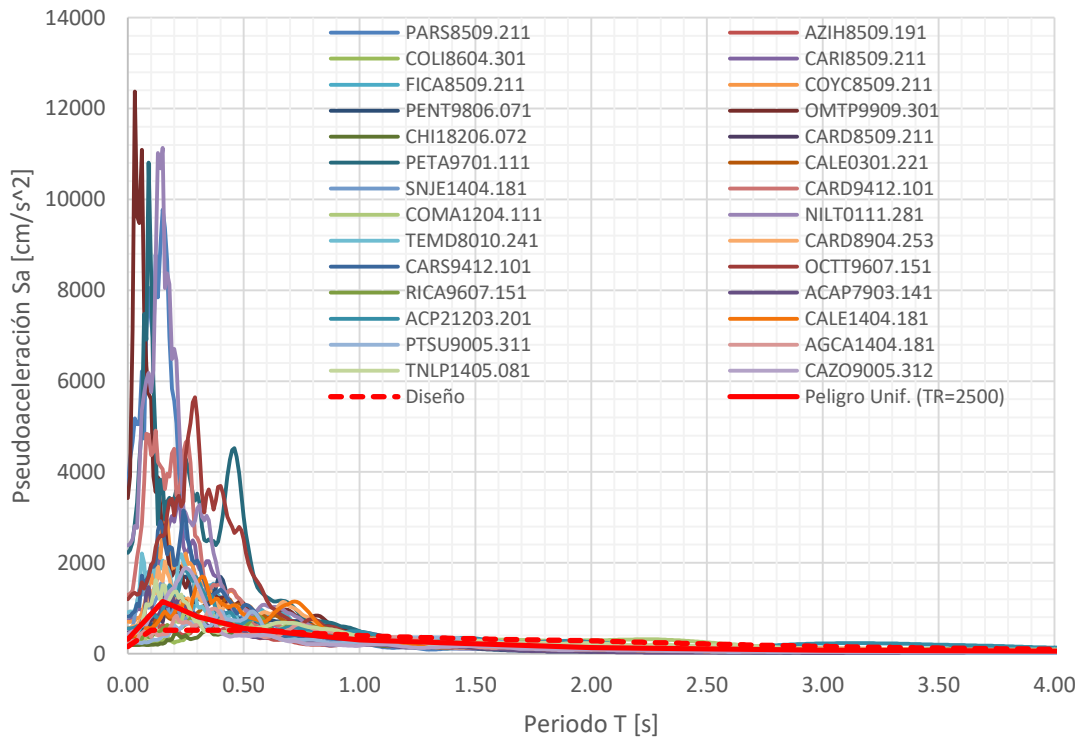


4.6.5.3 Espectros escalados con Sa(T) Grupo 3



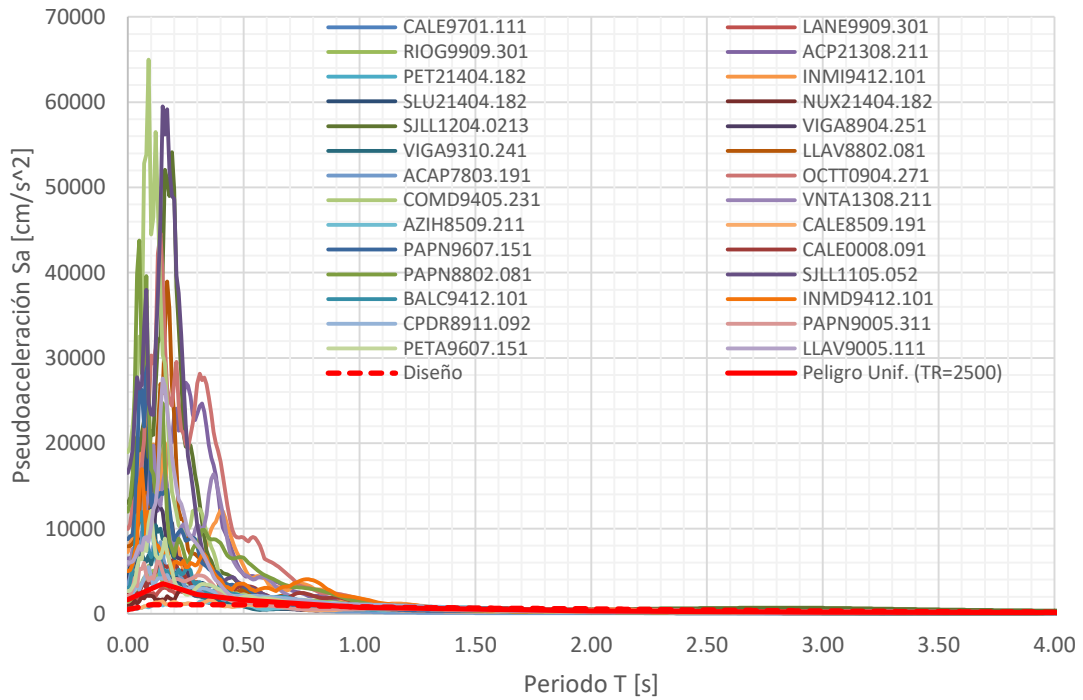


4.6.5.4 Espectros escalados con Sa(T) Grupo 4



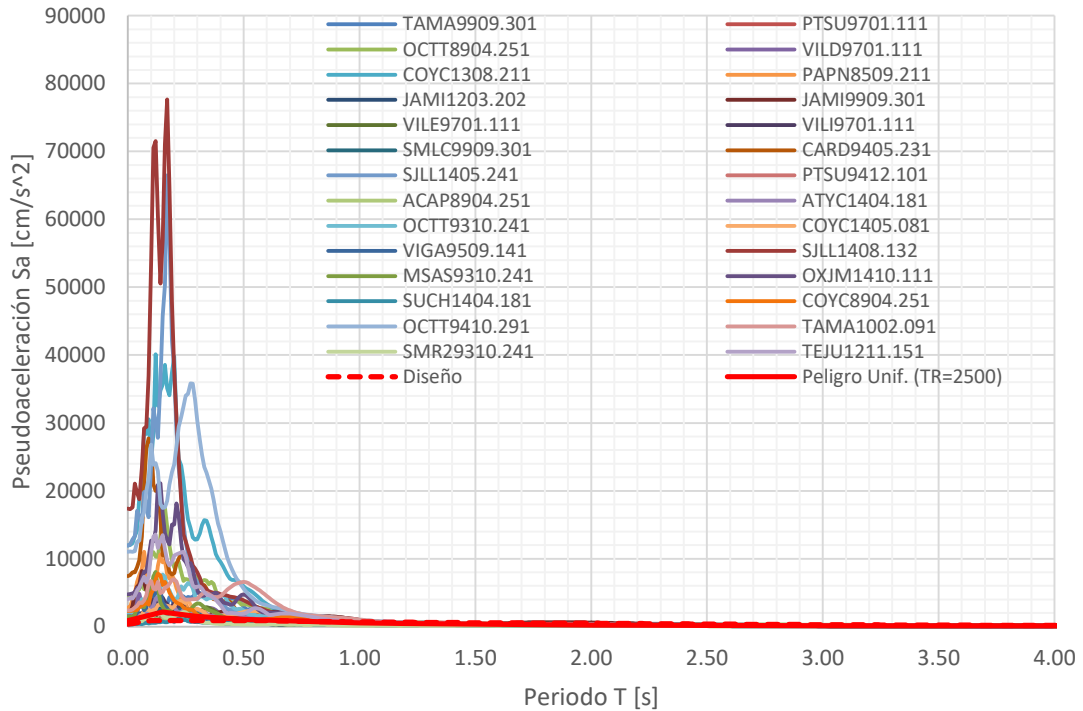
4.6.6 Espectros escalados con Sa(T-T)

4.6.6.1 Espectros escalados con Sa(T-T) Grupo 1

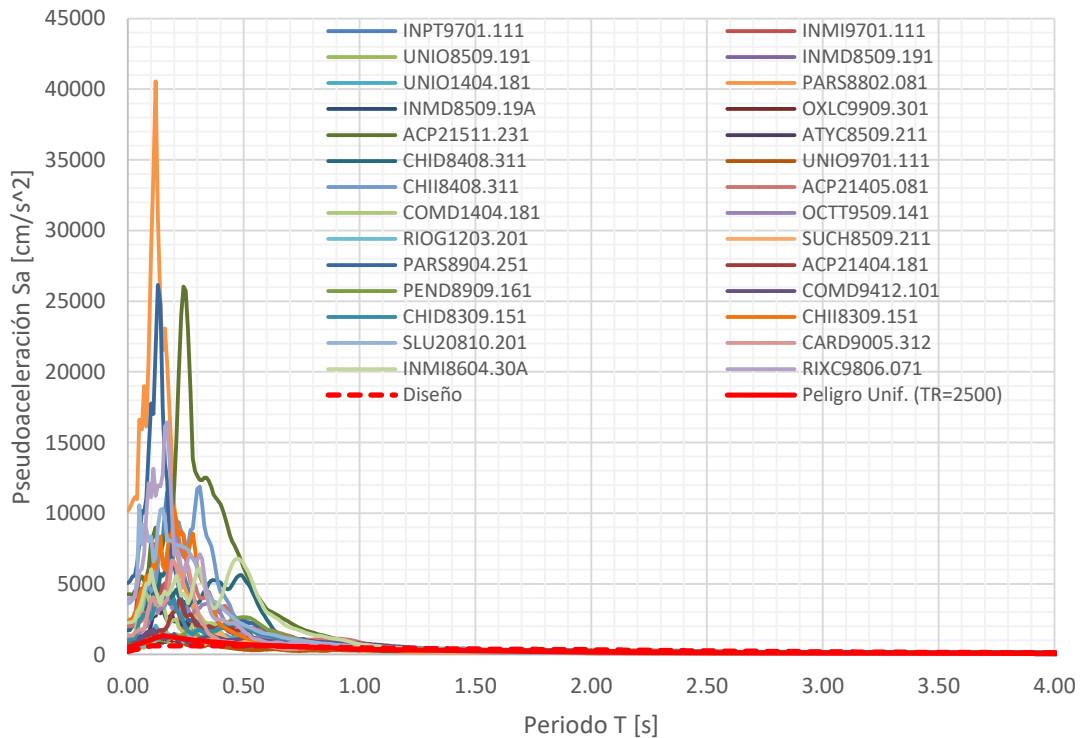




4.6.6.2 Espectros escalados con Sa(T-T) Grupo 2

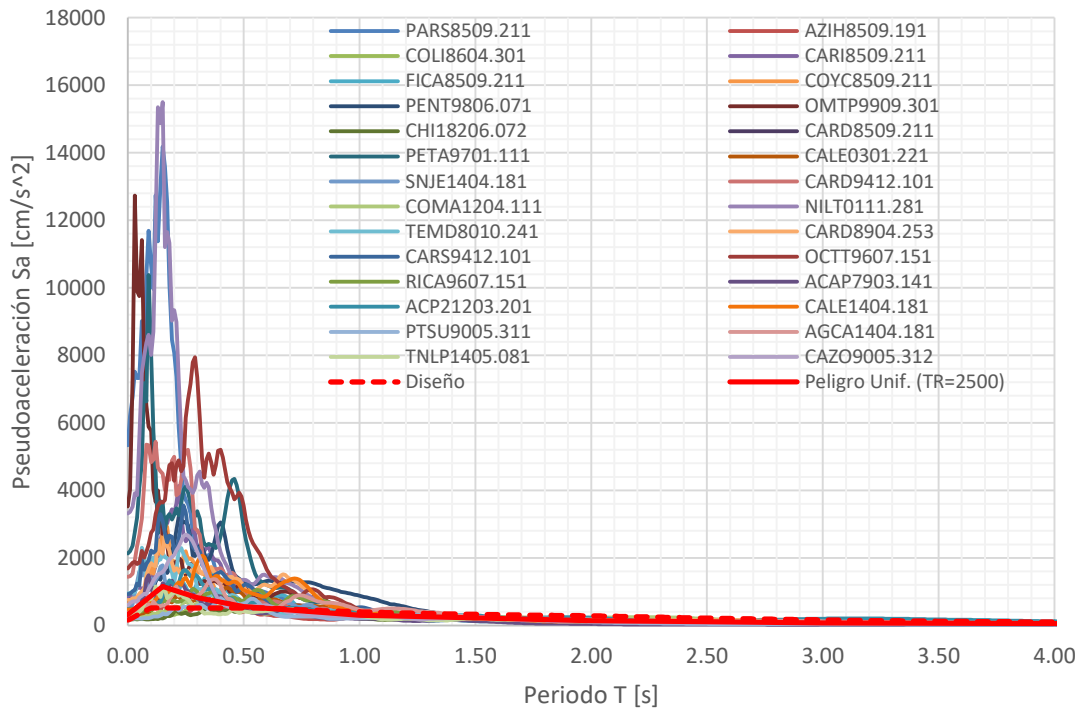


4.6.6.3 Espectros escalados con Sa(T-T) Grupo 3



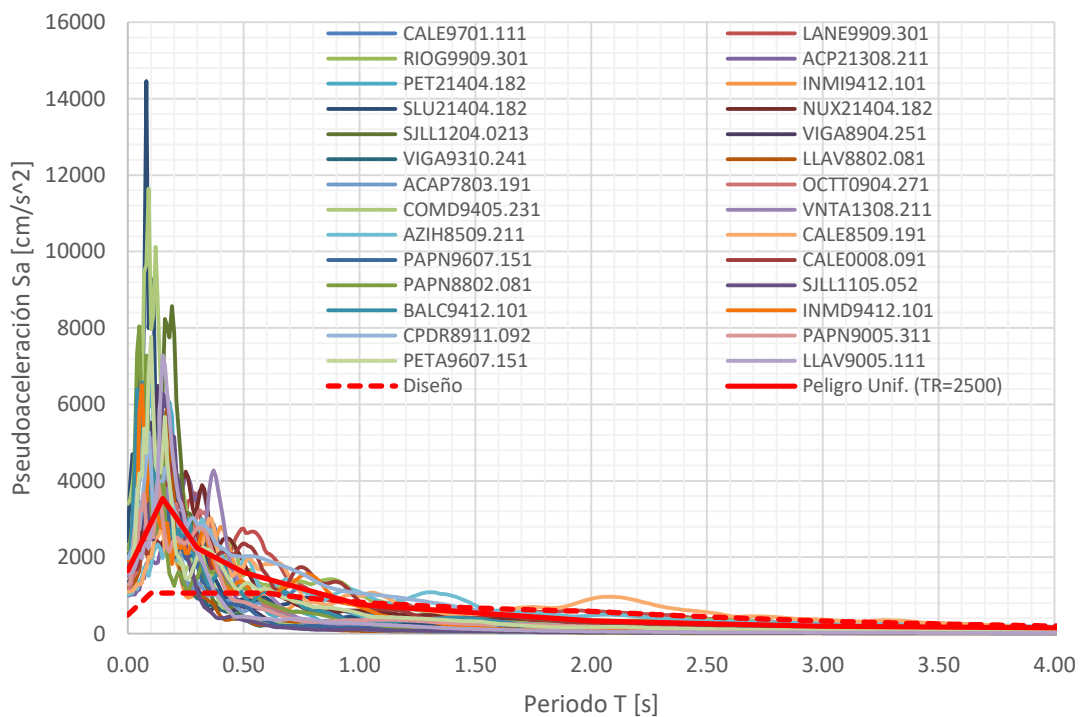


4.6.6.4 Espectros escalados con Sa(T-T) Grupo 4



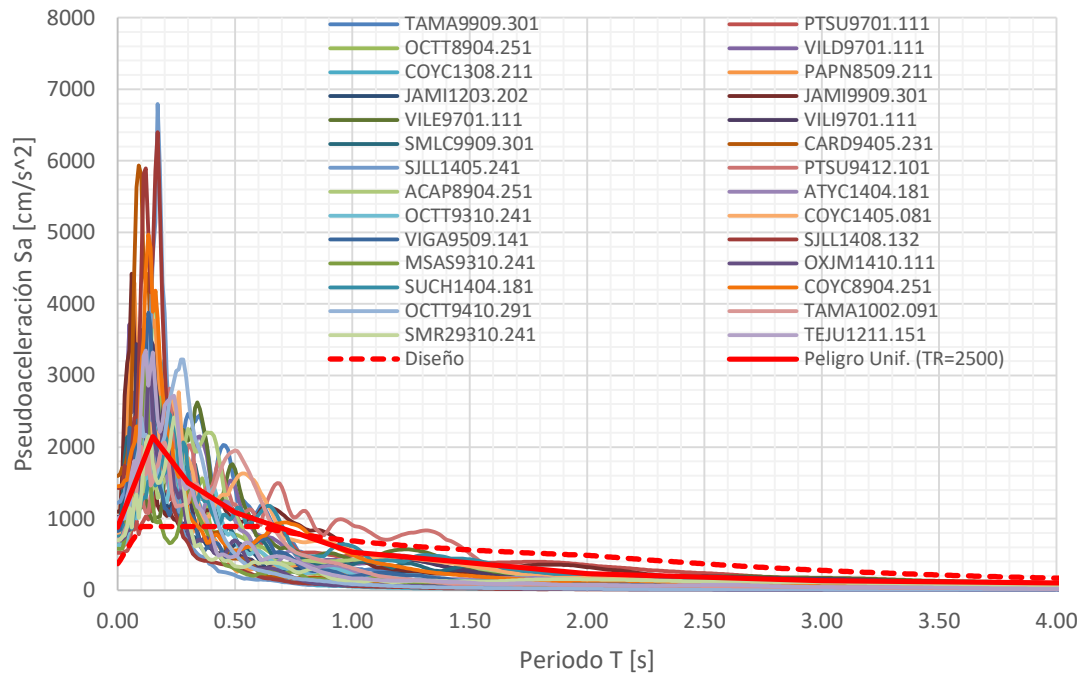
4.6.7 Espectros escalados con ASI

4.6.7.1 Espectros escalados con ASI Grupo 1

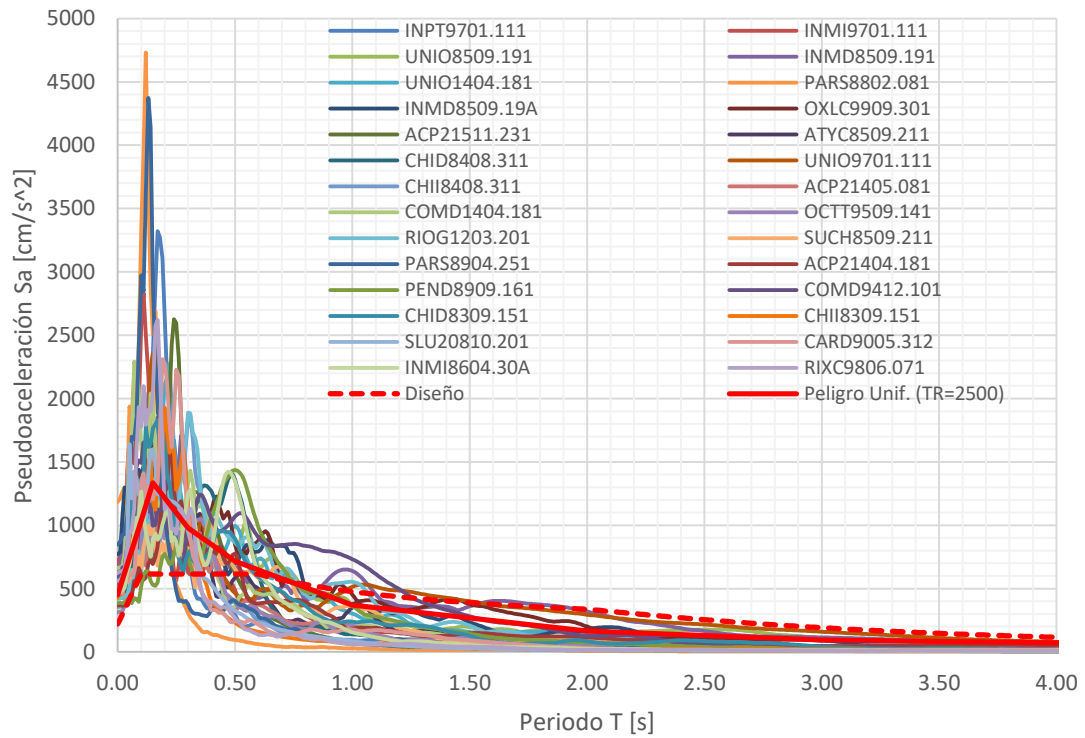




4.6.7.2 Espectros escalados con ASI Grupo 2

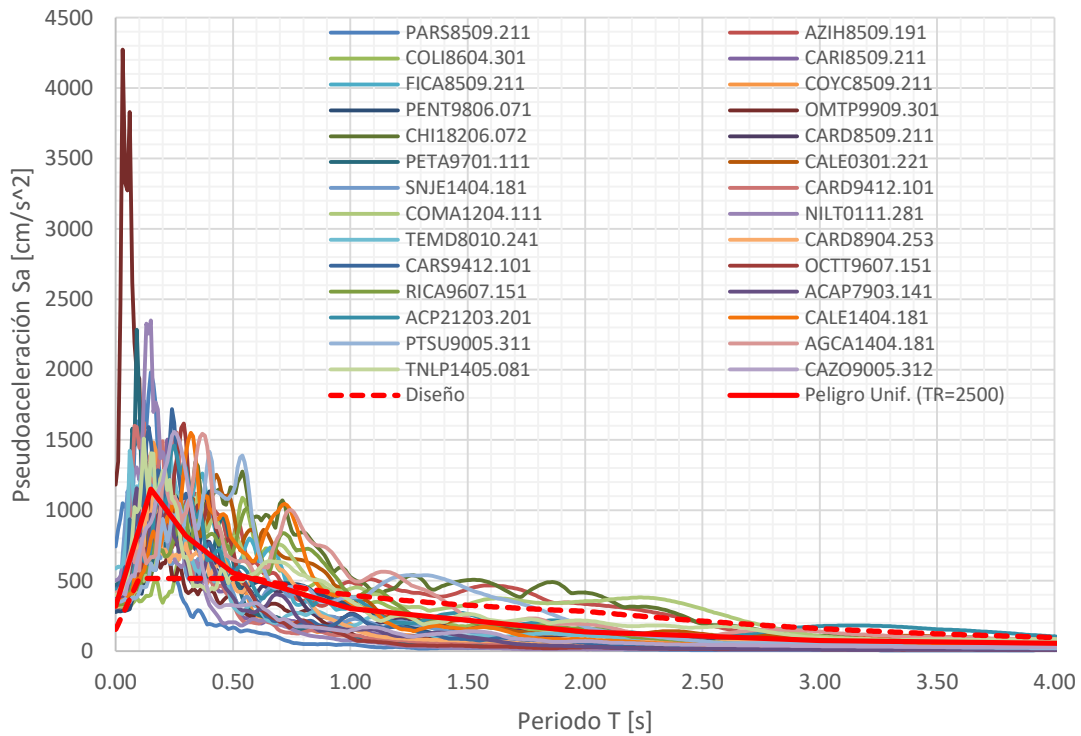


4.6.7.3 Espectros escalados con ASI Grupo 3



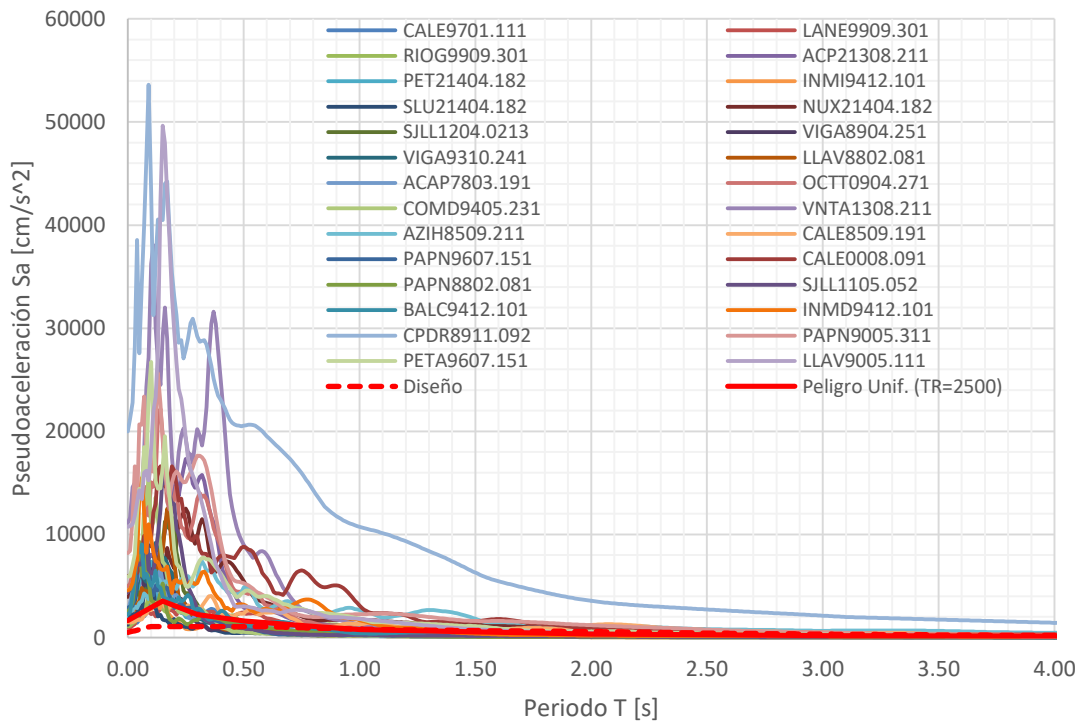


4.6.7.4 Espectros escalados con ASI Grupo 4



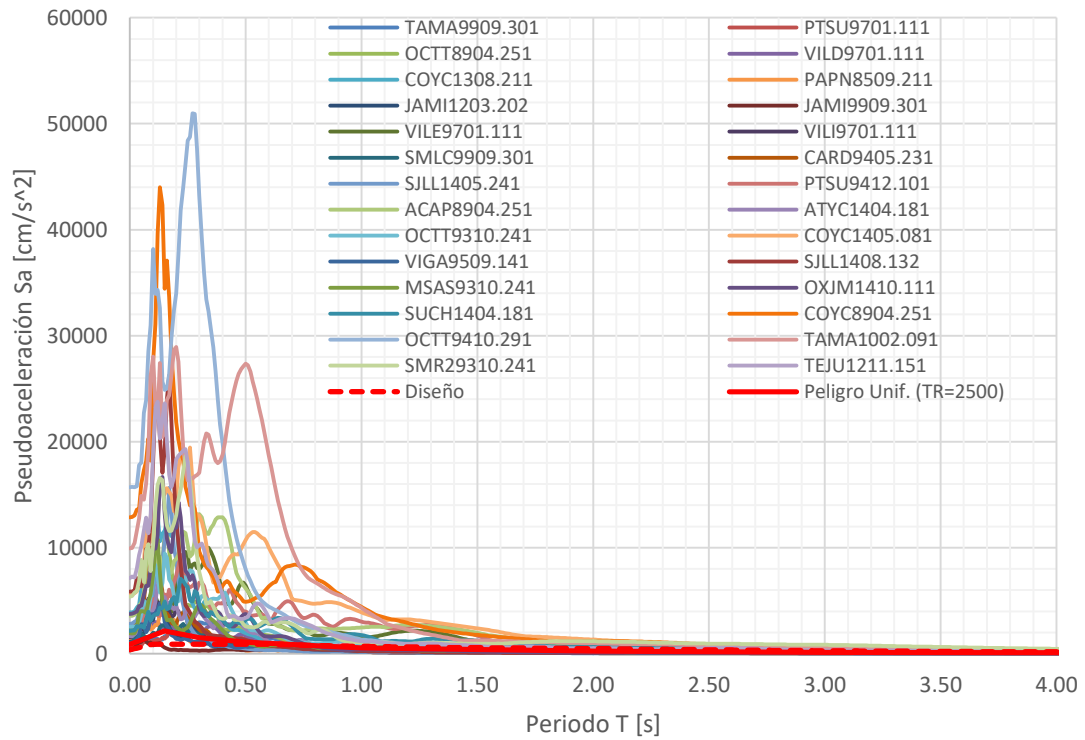
4.6.8 Espectros escalados con IA

4.6.8.1 Espectros escalados con IA Grupo 1

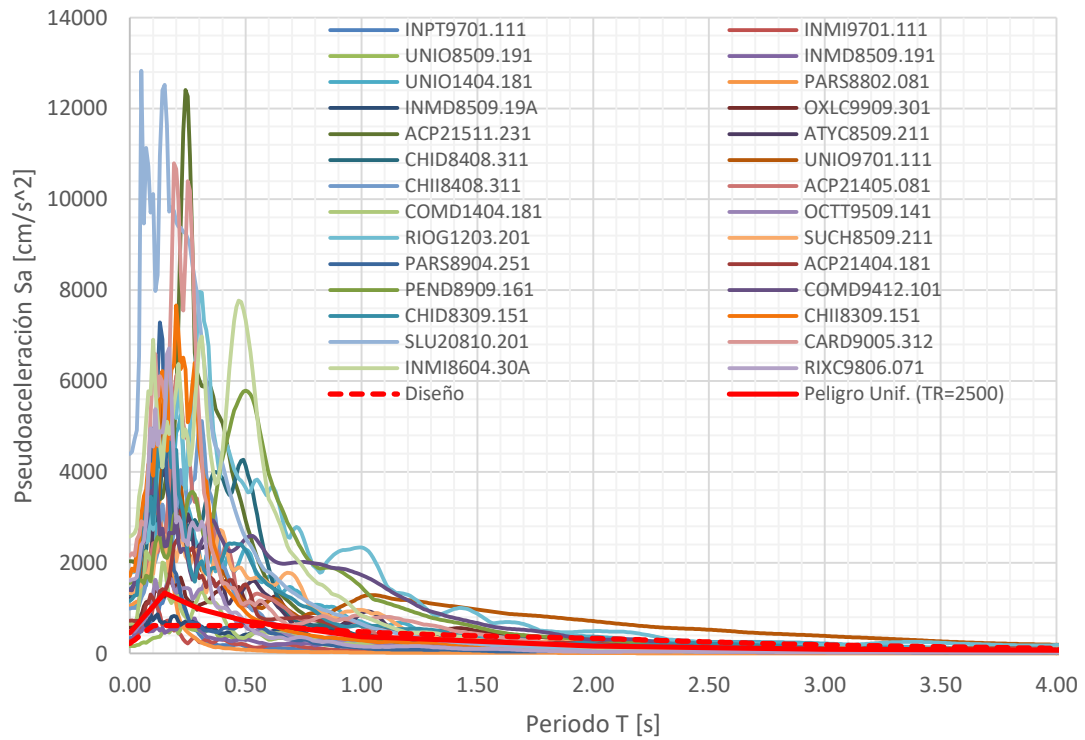




4.6.8.2 Espectros escalados con IA Grupo 2

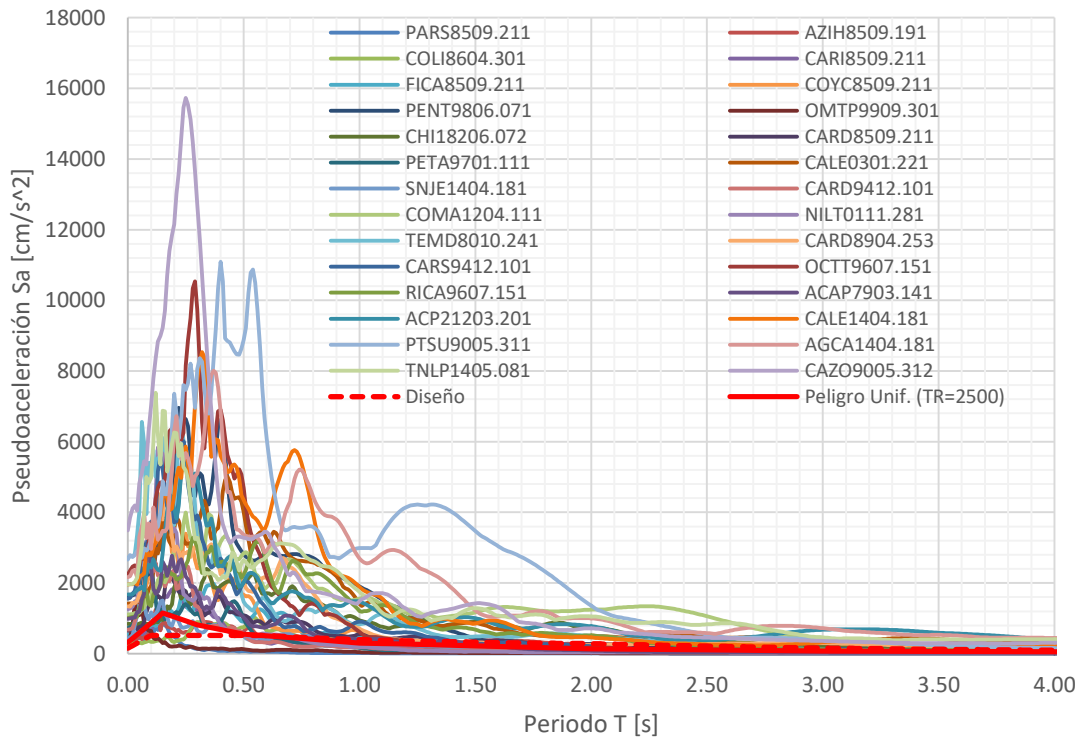


4.6.8.3 Espectros escalados con IA Grupo 3



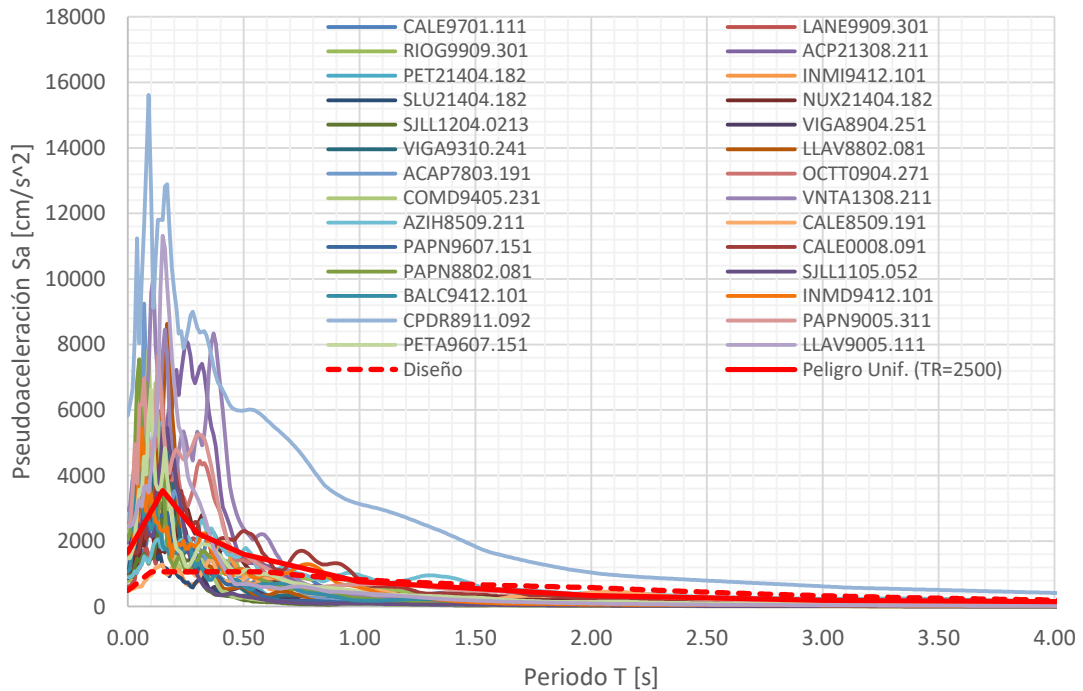


4.6.8.4 Espectros escalados con IA Grupo 4



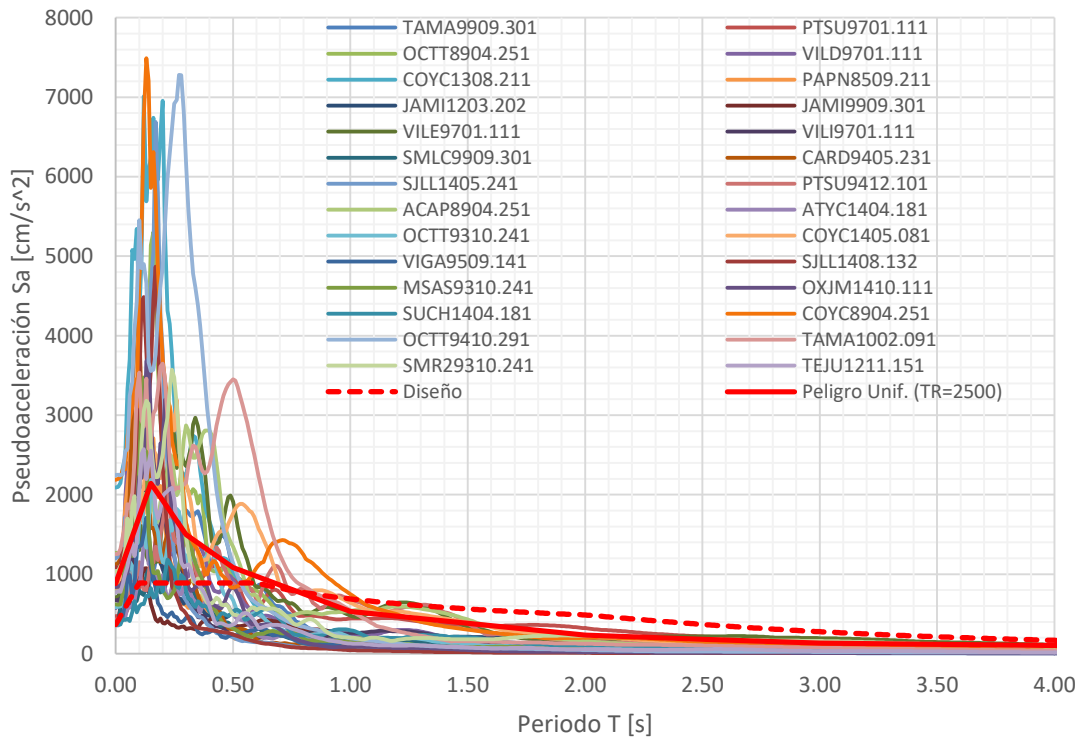
4.6.9 Espectros escalados con CAV

4.6.9.1 Espectros escalados con CAV Grupo 1

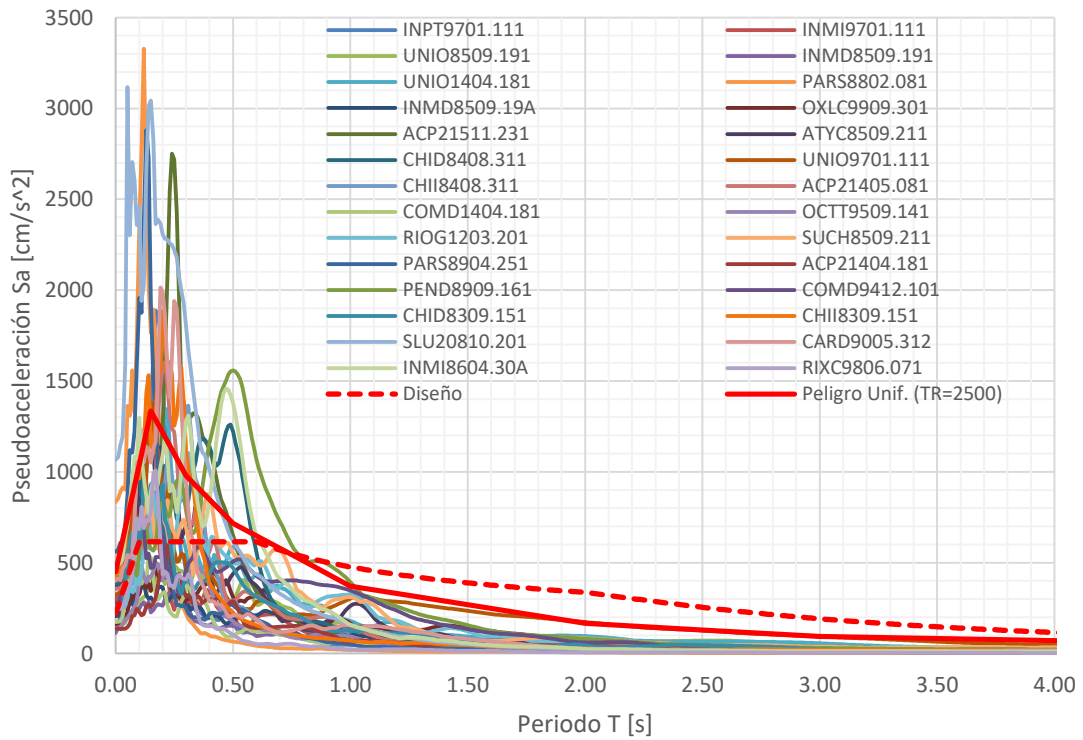




4.6.9.2 Espectros escalados con CAV Grupo 2

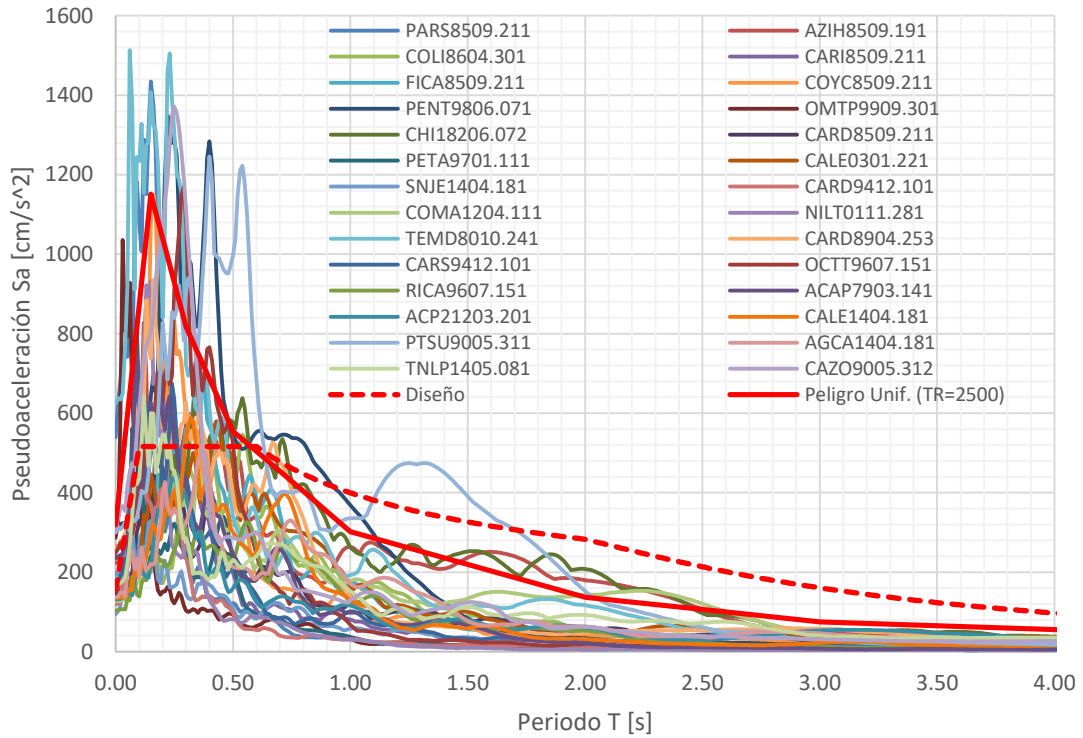


4.6.9.3 Espectros escalados con CAV Grupo 3



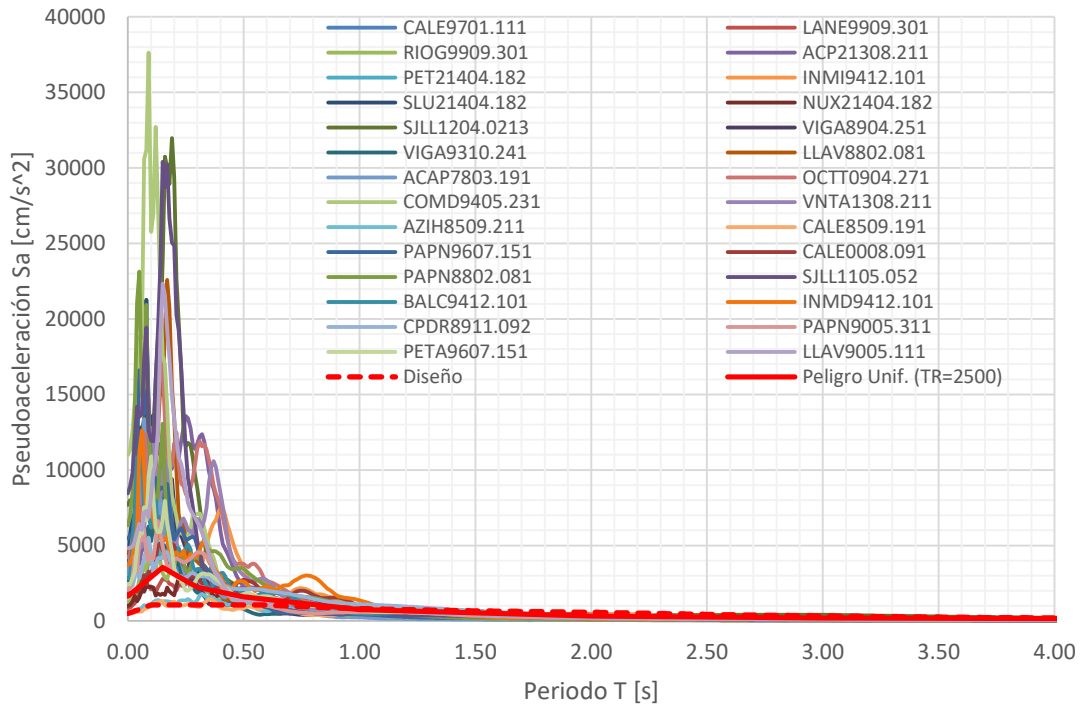


4.6.9.4 Espectros escalados con CAV Grupo 4



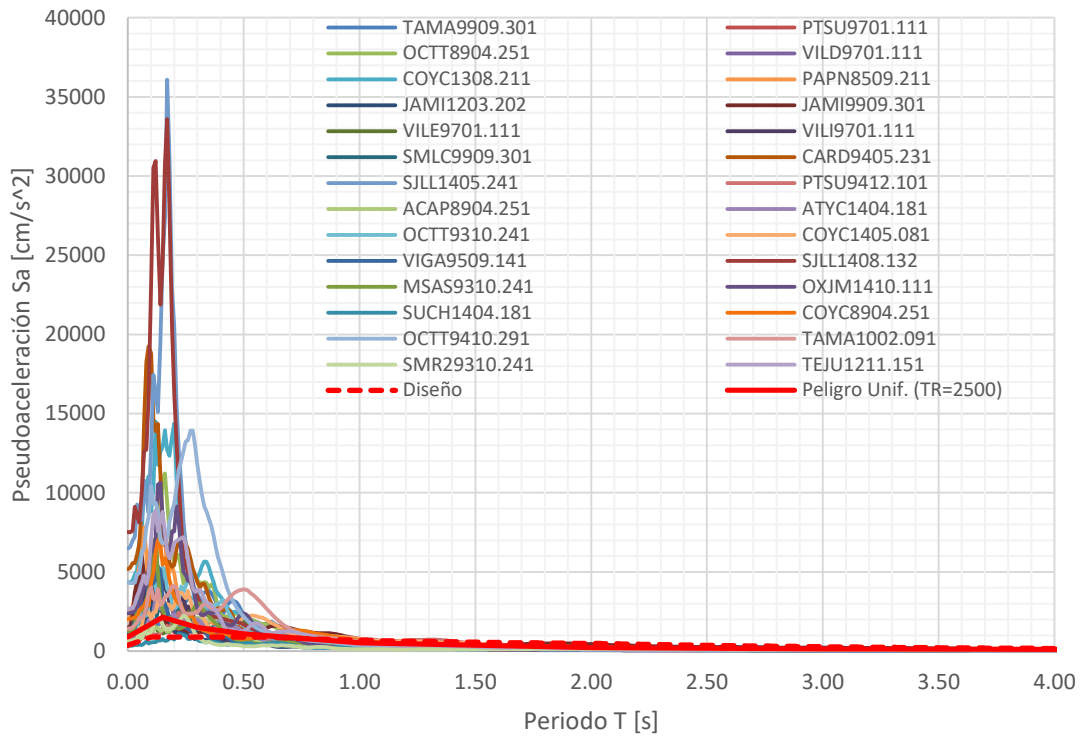
4.6.10 Espectros escalados con HI

4.6.10.1 Espectros escalados con HI Grupo 1

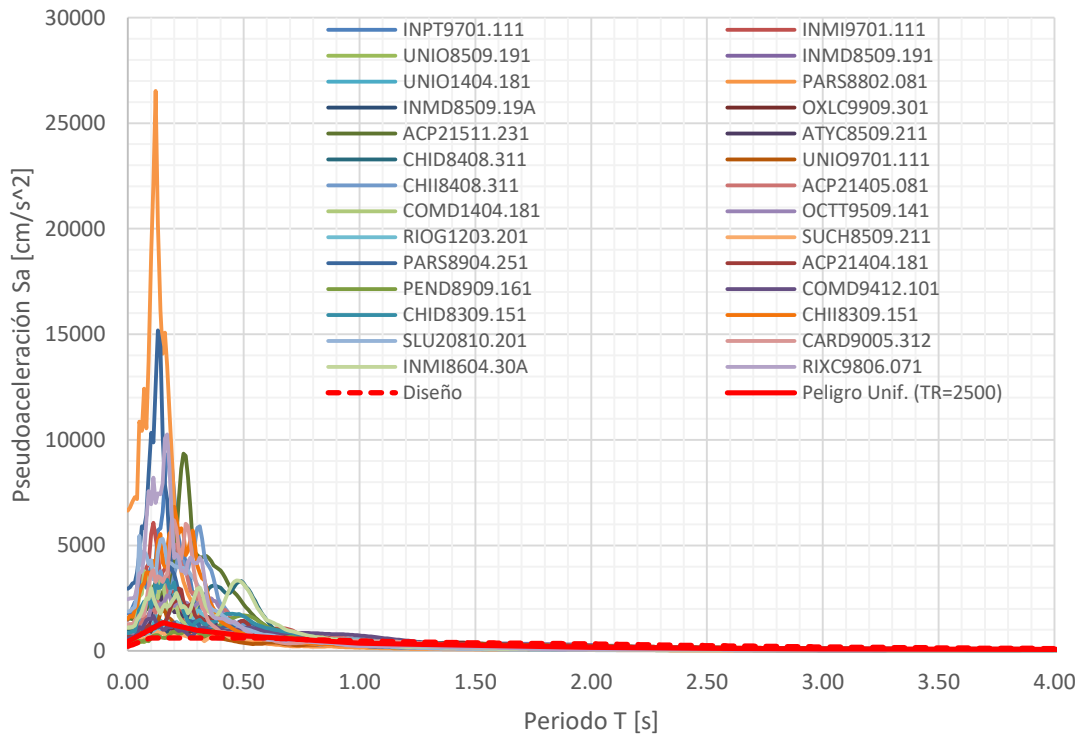




4.6.10.2 Espectros escalados con HI Grupo 2

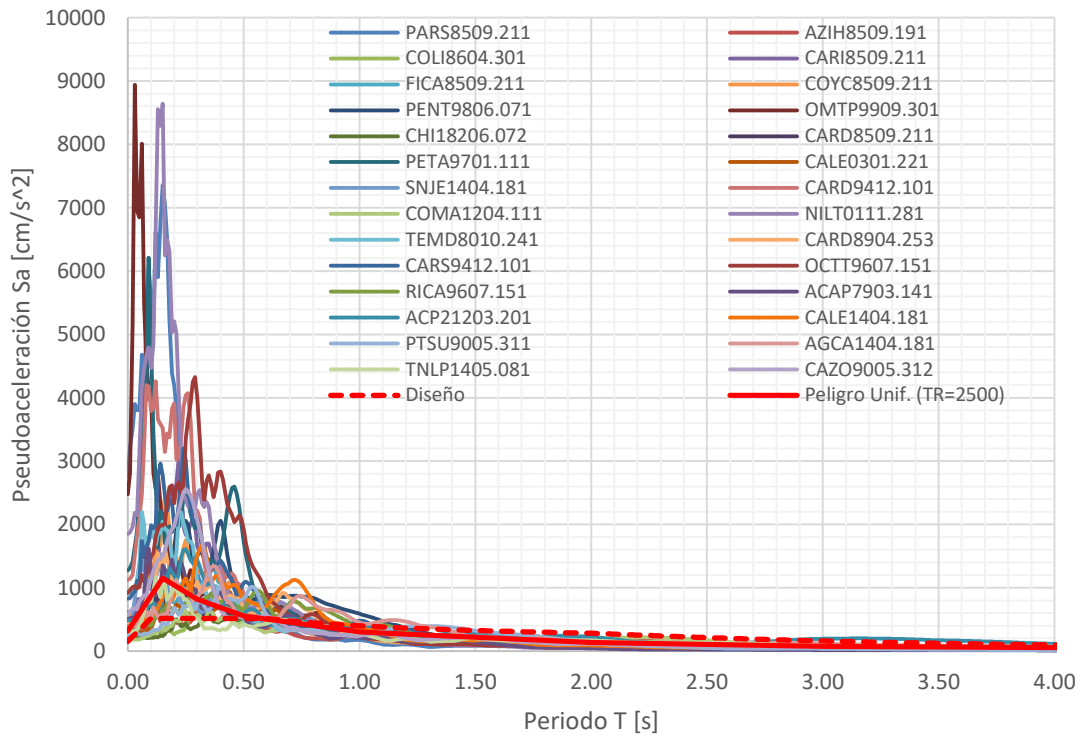


4.6.10.3 Espectros escalados con HI Grupo 3





4.6.10.4 Espectros escalados con HI Grupo 4





5. ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES

5.1 Características del modelo no lineal

Los modelos utilizados en ese estudio son idealizaciones de edificios mediante elementos tipo barra representando las vigas y columnas, los sistemas de piso se modelaron como diafragmas rígidos, las cargas son aplicadas directamente en los elementos tipo barra.

El comportamiento no lineal se modela con plasticidad concentrada con articulaciones plásticas a lo largo de los elementos tipo barra, con una articulación en cada extremo.

Las columnas de la base del edificio se consideran perfectamente empotradas con la cimentación.

La distribución de masas y sus efectos traslacional y rotacional fueron concentrados en el centroide del sistema de piso.

Para el desarrollo del análisis modal se utilizó amortiguamiento de Raleigh considerando que el primer y cuarto modo de vibrar tendrán un amortiguamiento del 5% del crítico.

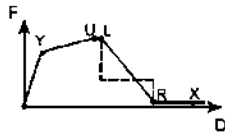
Las barras que modelan las columnas simulan el comportamiento inelástico considerando que son cargadas a flexocompresión mediante un diagrama de interacción, mientras que en las vigas se desprecia la carga sobre su eje longitudinal.

5.2 Software Perform 3D

La compañía CSI tiene en su suite de programas a Perform 3D, un programa que cuenta con una interfaz gráfica y eficientes formas de ver resultados. Adjunto a un poderoso solver de ecuaciones y sistemas que resuelve análisis no lineales en la historia del tiempo en plazos comúnmente más cortos que otros programas de su gama.

5.3 Articulaciones plásticas

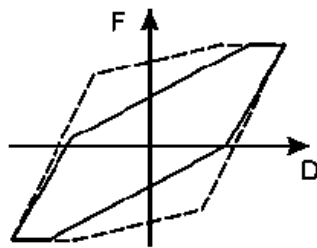
Se consideró la degradación cíclica con una curva envolvente trilineal que también toma en cuenta la degradación de rigidez a la descarga, la siguiente es un ejemplo de la definición de una envolvente de un elemento. Hernández et al (2019).



	Vigas	Columnas	Contravientos (+)	Contravientos (-)
Y	-	-	-	-
U	0.02	0.01	0.05	0.03
L	0.05	0.02	0.6	0.3
R	0.06	0.03	0.65	0.35
X	0.09	0.06	0.7	0.4
FR/FU	0.2	0.2	0.2	0.2

5.4 Degradación de la rigidez

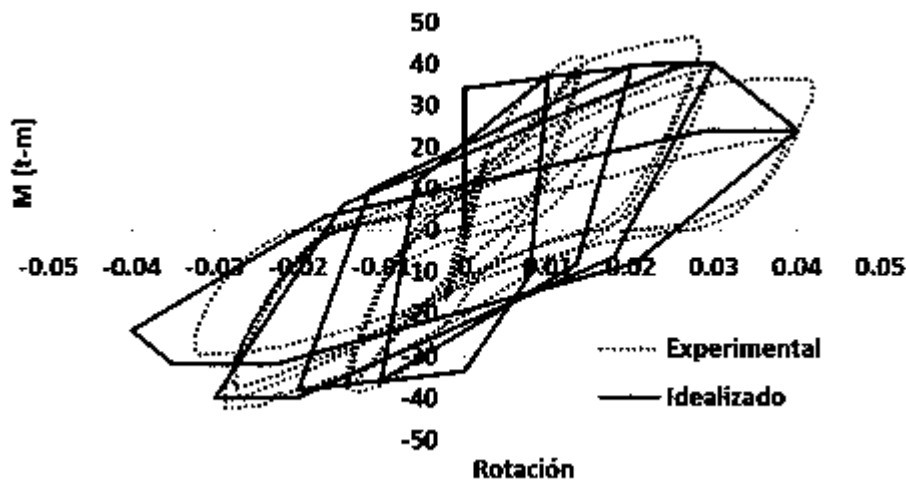
Para modelar este fenómeno se utiliza el modelo de Clough, definiendo factores para la degradación a la descarga y degradación energética. Hernández et al (2019).



	Vigas	Columnas	Contravientos (+)	Contravientos (-)
Y	0.5	0.9	0.9	0.4
U	0.45	0.7	0.85	0.3
L	0.4	0.5	0.8	0.25
R	0.35	0.35	0.75	0.2
X	0.35	0.3	0.7	0.1

5.5 Comparación de modelos idealizado con pruebas experimentales

Para comprobar la calibración de los modelos numérico se realizaron comparación con datos de pruebas experimentales. A continuación un gráfico de lazos histeréticos con la comparación. Hernández et al (2019).





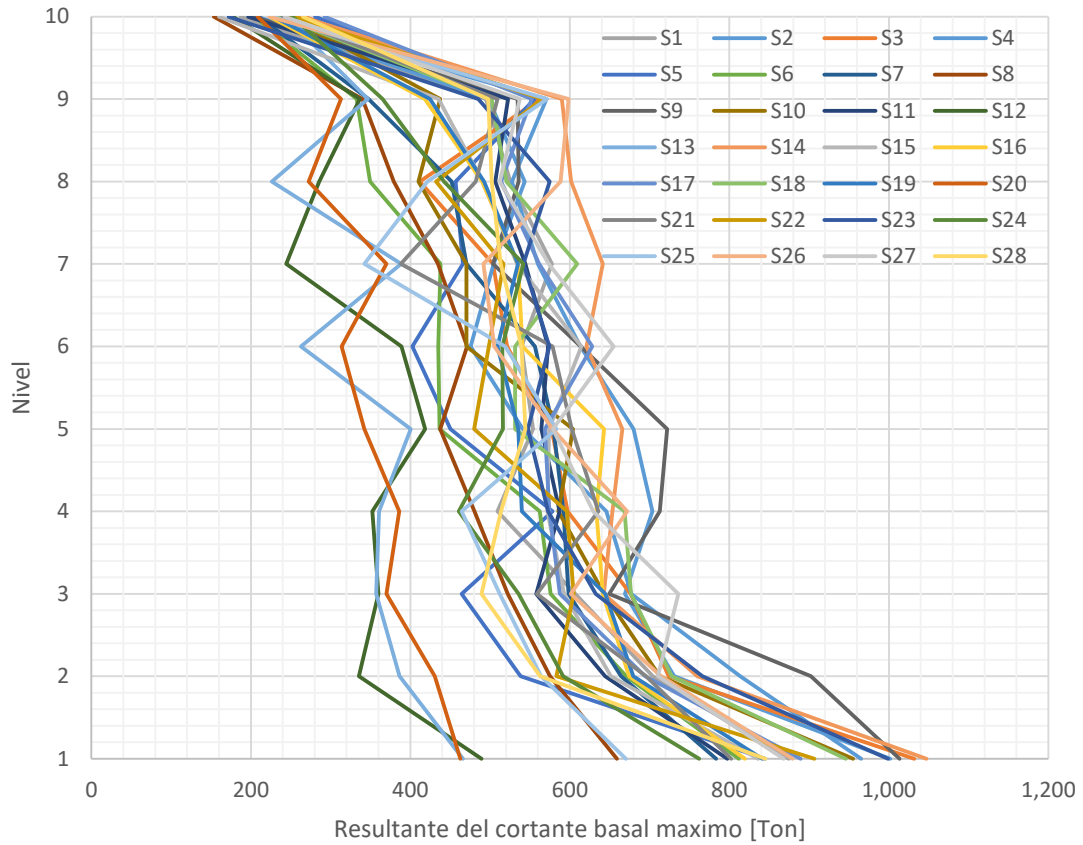
5.6 demandas de ingeniería

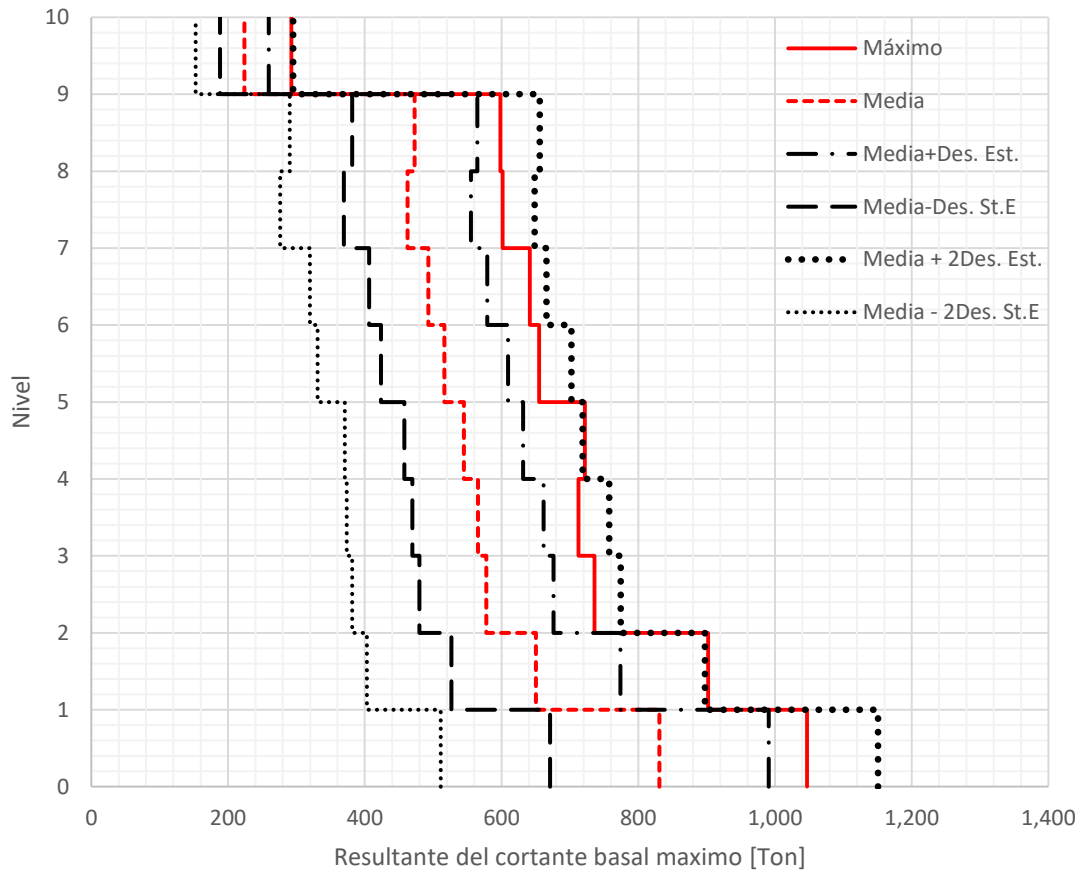
5.6.1 Cortante basal resultante

(G2 - SC) [PGA]		Resultante del cortante basal máximo por nivel [Ton]										
Registros		N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	Max
S1	TAMA9909.301	874.45	703.93	606.86	509.31	553.63	539.40	577.52	525.36	494.84	186.85	874.45
S2	PTSU9701.111	1,001.77	730.78	668.99	703.62	679.63	613.15	559.65	527.13	570.85	206.63	1,001.77
S3	OCTT8904.251	1,031.82	723.92	676.29	597.27	577.23	521.37	503.66	411.75	562.76	266.67	1,031.82
S4	VILD9701.111	965.31	813.65	676.87	645.65	540.97	475.58	504.62	543.42	498.07	203.30	965.31
S5	COYC1308.211	844.85	538.03	464.47	578.21	450.11	402.32	466.08	456.62	555.94	280.29	844.85
S6	PAPN8509.211	811.83	670.43	575.72	562.40	436.58	435.16	437.86	349.63	332.66	204.90	811.83
S7	JAMI1203.202	783.36	664.24	598.21	591.92	579.54	556.10	470.31	451.99	347.42	210.01	783.36
S8	JAMI9909.301	658.82	575.12	521.90	480.33	437.37	470.97	434.68	379.02	339.90	153.51	658.82
S9	VILE9701.111	1,013.35	902.04	649.26	712.55	722.08	613.64	503.68	535.71	534.45	202.87	1,013.35
S10	VILI9701.111	954.99	712.56	642.87	585.38	603.80	470.47	470.32	410.16	437.23	245.85	954.99
S11	SMLC9909.301	797.49	644.25	557.76	587.00	564.38	572.48	544.04	506.56	522.36	196.78	797.49
S12	CARD9405.231	489.20	335.45	359.79	352.48	418.40	389.02	244.44	285.53	336.48	177.87	489.20
S13	SJLL1405.241	465.74	386.37	357.13	360.79	400.41	262.88	388.63	226.36	346.70	243.53	465.74
S14	PTSU9412.101	1,047.06	759.54	642.69	653.29	665.59	620.71	641.30	601.46	589.96	263.39	1,047.06
S15	ACAP8904.251	835.85	651.19	592.83	571.80	574.03	614.49	533.79	490.31	435.44	159.89	835.85
S16	ATYC1404.181	819.43	674.13	641.23	633.37	642.86	540.42	534.88	489.95	417.98	223.66	819.43
S17	OCTT9310.241	889.16	694.27	587.66	574.41	568.79	627.86	561.62	513.51	552.29	292.65	889.16
S18	COYC1405.081	945.91	727.63	676.79	668.57	531.43	531.23	609.37	520.56	502.06	235.74	945.91
S19	VIGA9509.141	841.16	679.23	644.51	539.80	535.44	509.05	534.93	492.27	424.39	228.80	841.16
S20	SJLL1408.132	462.52	430.47	369.82	386.19	342.13	313.92	369.90	272.26	312.88	208.56	462.52
S21	MSAS9310.241	802.12	695.62	558.57	635.71	602.36	578.47	388.12	482.09	509.38	239.56	802.12
S22	OXJM1410.111	906.54	583.10	604.87	596.17	480.11	498.25	516.78	432.30	565.36	254.92	906.54
S23	SUCH1404.181	999.05	766.26	632.65	572.52	547.21	574.40	541.76	574.82	485.31	172.13	999.05
S24	COYC8904.251	762.16	591.59	535.92	460.67	515.96	515.37	541.79	442.09	365.15	252.41	762.16
S25	OCTT9410.291	670.03	563.90	512.01	464.37	582.99	518.87	342.25	421.25	571.34	226.98	670.03
S26	TAMA1002.091	879.38	714.37	600.96	671.72	578.25	505.25	491.42	588.48	598.26	223.03	879.38
S27	SMR29310.241	867.89	710.33	735.87	629.21	578.87	654.84	573.62	512.24	537.25	242.25	867.89
S28	TEJU1211.151	845.06	562.45	488.98	513.73	544.26	539.41	513.22	502.21	497.40	265.35	845.06
Máximo		1,047.06	902.04	735.87	712.55	722.08	654.84	641.30	601.46	598.26	292.65	1,047.06



Media	830.94	650.17	577.91	565.66	544.80	516.61	492.87	462.32	473.00	223.87	830.94
Desv. Est.	159.92	123.58	98.26	95.95	86.91	92.73	86.49	93.11	91.46	35.66	159.92
C.V.	0.19	0.19	0.17	0.17	0.16	0.18	0.18	0.20	0.19	0.16	0.19





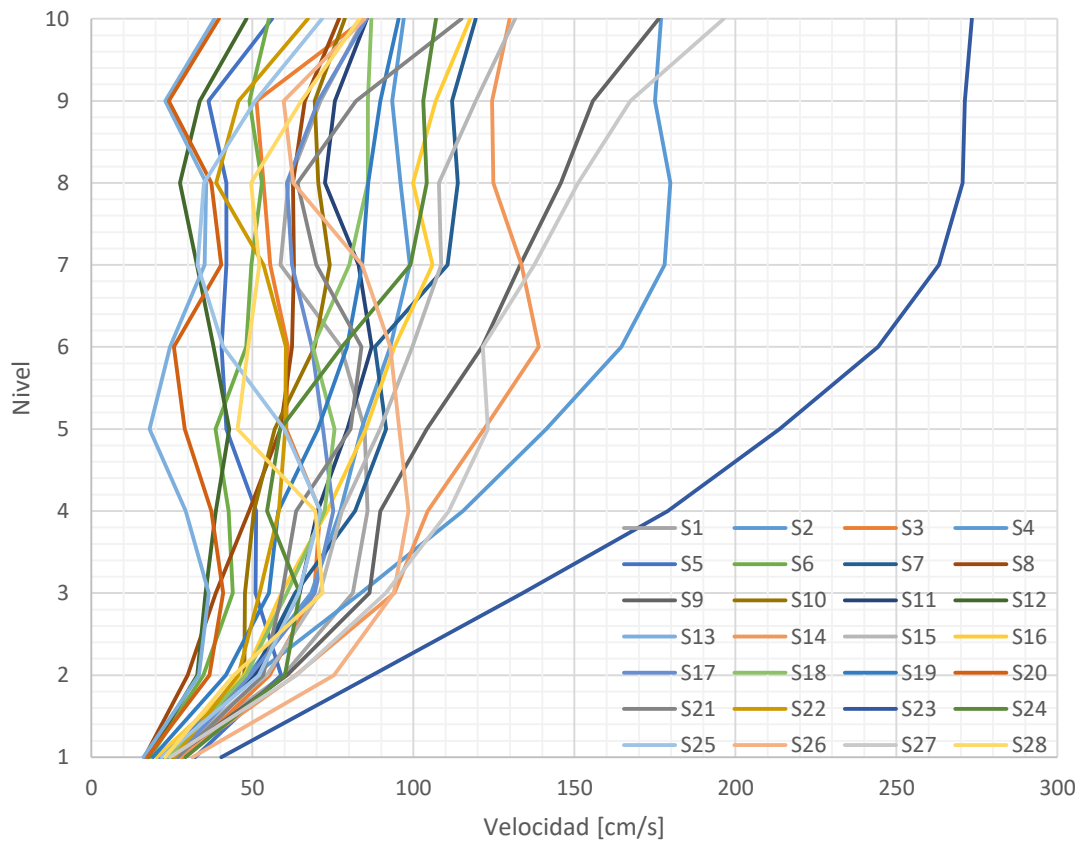
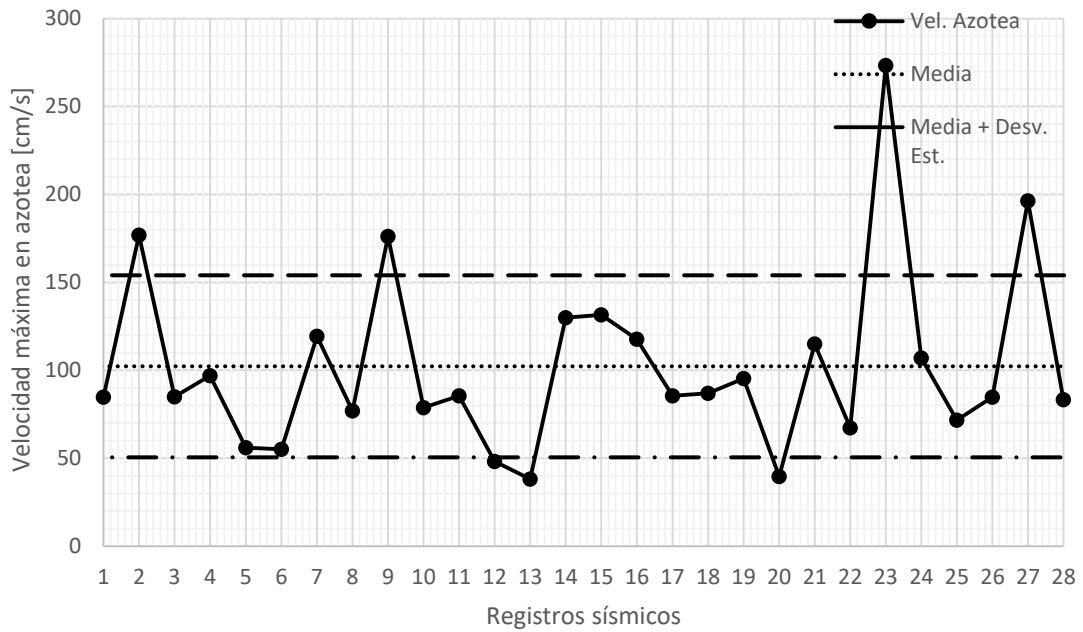


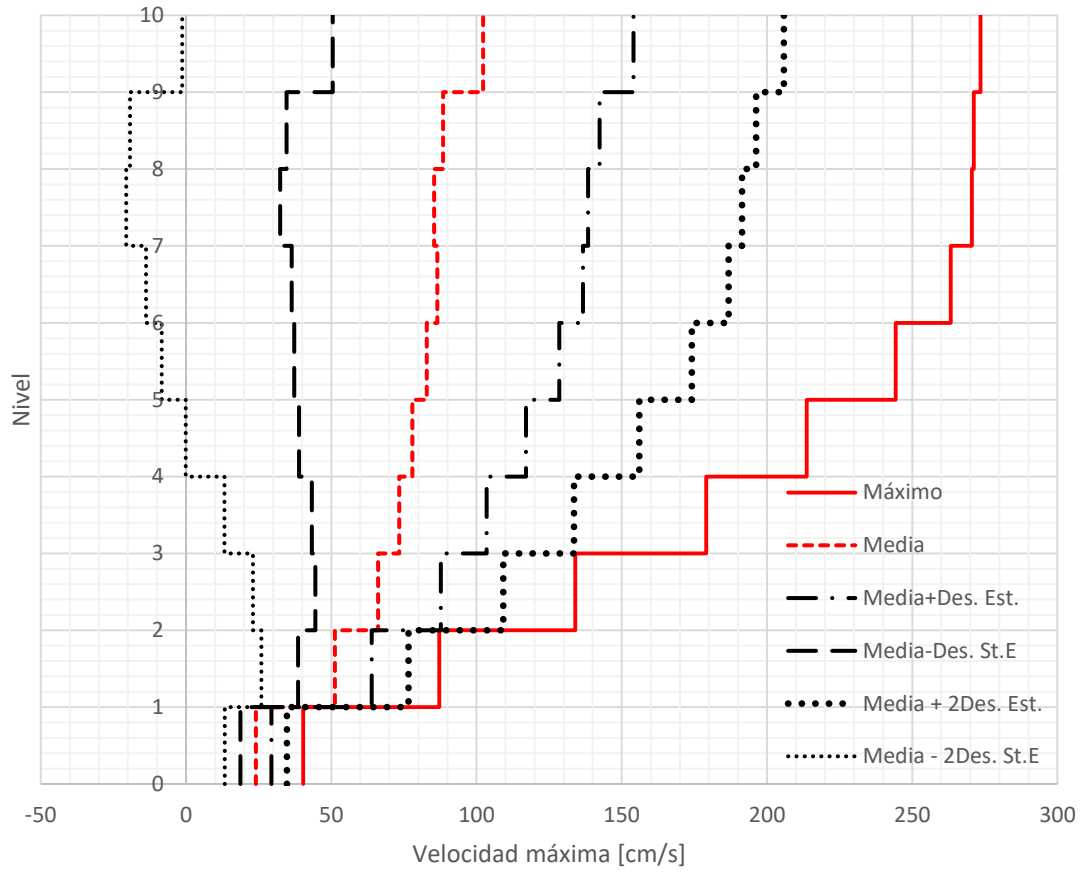
5.6.2 Velocidades máximas en cada nivel

(G2 - SC) [PGA]		Velocidad máxima por nivel [cm/s]										
		Registros	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
S1	TAMA9909.301	24.68	59.67	81.18	85.77	84.88	77.51	58.72	61.21	71.10	84.77	85.77
S2	PTSU9701.111	21.44	50.55	83.70	115.41	141.23	164.59	177.97	179.78	175.03	176.95	179.78
S3	OCTT8904.251	28.38	55.32	69.17	71.08	60.48	61.00	55.59	53.48	51.31	84.99	84.99
S4	VILD9701.111	21.05	48.54	68.27	77.32	83.85	92.80	98.85	95.96	93.41	97.03	98.85
S5	COYC1308.211	32.22	58.96	50.94	51.22	41.95	40.42	41.95	41.91	36.38	56.10	58.96
S6	PAPN8509.211	18.17	34.73	43.94	42.62	38.53	48.10	49.63	52.94	49.10	55.11	55.11
S7	JAMI1203.202	23.64	50.05	63.32	81.84	91.50	88.00	110.62	113.76	111.98	119.34	119.34
S8	JAMI9909.301	16.50	29.92	38.69	49.00	58.71	62.34	62.86	62.62	66.29	76.94	76.94
S9	VILE9701.111	25.63	60.72	86.35	89.73	104.17	121.31	133.19	145.81	155.75	176.24	176.24
S10	VILI9701.111	25.05	47.53	47.69	50.48	56.90	69.34	74.04	70.41	69.38	78.73	78.73
S11	SMLC9909.301	22.49	50.52	64.65	70.26	79.46	87.02	82.97	72.58	75.66	85.60	87.02
S12	CARD9405.231	17.57	32.85	35.46	38.69	42.86	37.93	32.76	27.51	33.72	48.15	48.15
S13	SJLL1405.241	16.20	33.39	36.50	29.29	18.10	24.44	35.14	35.71	22.97	38.21	38.21
S14	PTSU9412.101	27.59	63.39	94.10	104.47	121.92	138.89	133.53	124.82	124.41	129.88	138.89
S15	ACAP8904.251	23.33	54.41	70.99	77.78	89.61	99.71	108.62	107.91	119.33	131.61	131.61
S16	ATYC1404.181	20.17	47.61	59.03	73.21	85.26	94.10	105.89	99.83	106.94	117.68	117.68
S17	OCTT9310.241	26.26	49.41	69.40	75.12	71.93	68.46	62.25	60.75	70.47	85.48	85.48
S18	COYC1405.081	24.32	48.01	60.67	72.47	75.51	68.75	80.13	85.85	85.88	87.00	87.00
S19	VIGA9509.141	19.08	41.70	55.14	58.00	70.32	79.36	84.06	85.94	89.78	95.43	95.43
S20	SJLL1408.132	17.40	36.64	40.89	37.22	29.04	25.62	40.30	37.30	24.05	39.67	40.89
S21	MSAS9310.241	26.78	53.34	59.26	63.57	80.44	83.83	69.84	64.03	82.21	115.00	115.00
S22	OXJM1410.111	25.68	45.57	52.27	58.26	60.22	60.41	53.46	38.71	45.71	67.26	67.26
S23	SUCH1404.181	40.36	87.19	134.01	179.02	213.64	244.28	263.23	270.53	271.21	273.45	273.45
S24	COYC8904.251	29.23	60.09	64.65	54.52	58.65	77.84	99.08	104.19	103.01	107.07	107.07
S25	OCTT9410.291	21.81	52.05	64.35	71.11	59.94	40.96	32.95	35.02	50.86	71.63	71.63
S26	TAMA1002.091	31.43	75.35	93.89	98.49	95.62	92.82	84.07	62.71	59.75	84.85	98.49
S27	SMR29310.241	24.46	63.72	91.45	111.04	123.08	121.56	137.59	151.18	167.33	196.40	196.40
S28	TEJU1211.151	22.83	44.19	71.81	69.56	45.38	48.72	52.18	49.56	65.22	83.26	83.26
Máximo		40.36	87.19	134.01	179.02	213.64	244.28	263.23	270.53	271.21	273.45	273.45
Media		24.06	51.26	66.13	73.45	77.97	82.86	86.48	85.43	88.51	102.28	103.49
Desv. Est.		5.34	12.66	21.56	30.08	39.06	45.62	50.14	53.01	53.88	51.77	51.83



C.V.	0.22	0.25	0.33	0.41	0.50	0.55	0.58	0.62	0.61	0.51	0.50
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------





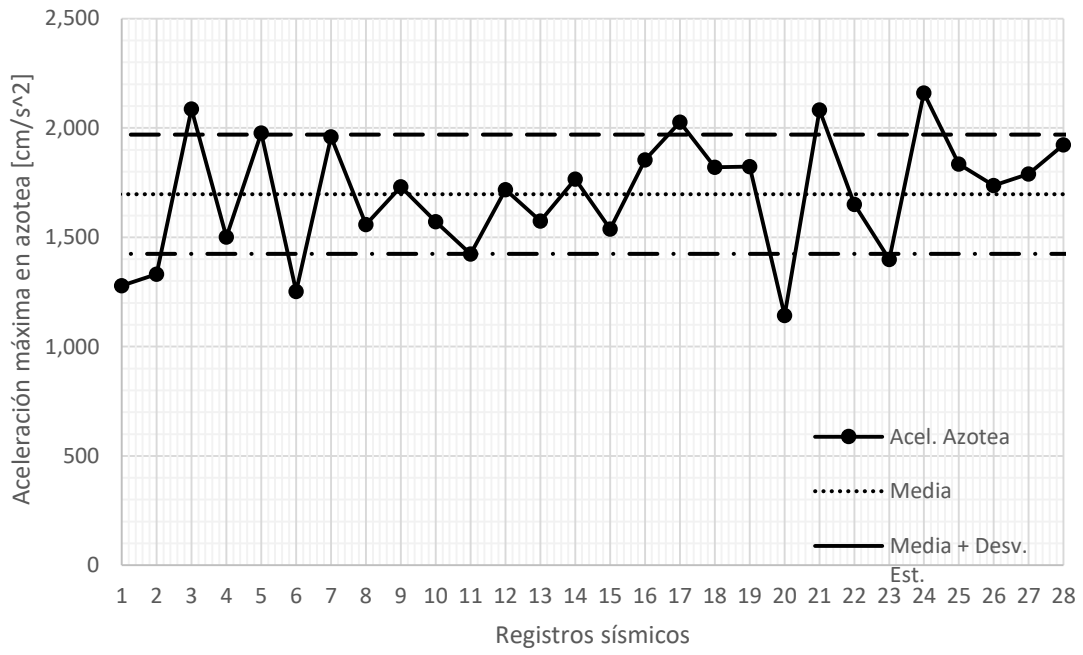


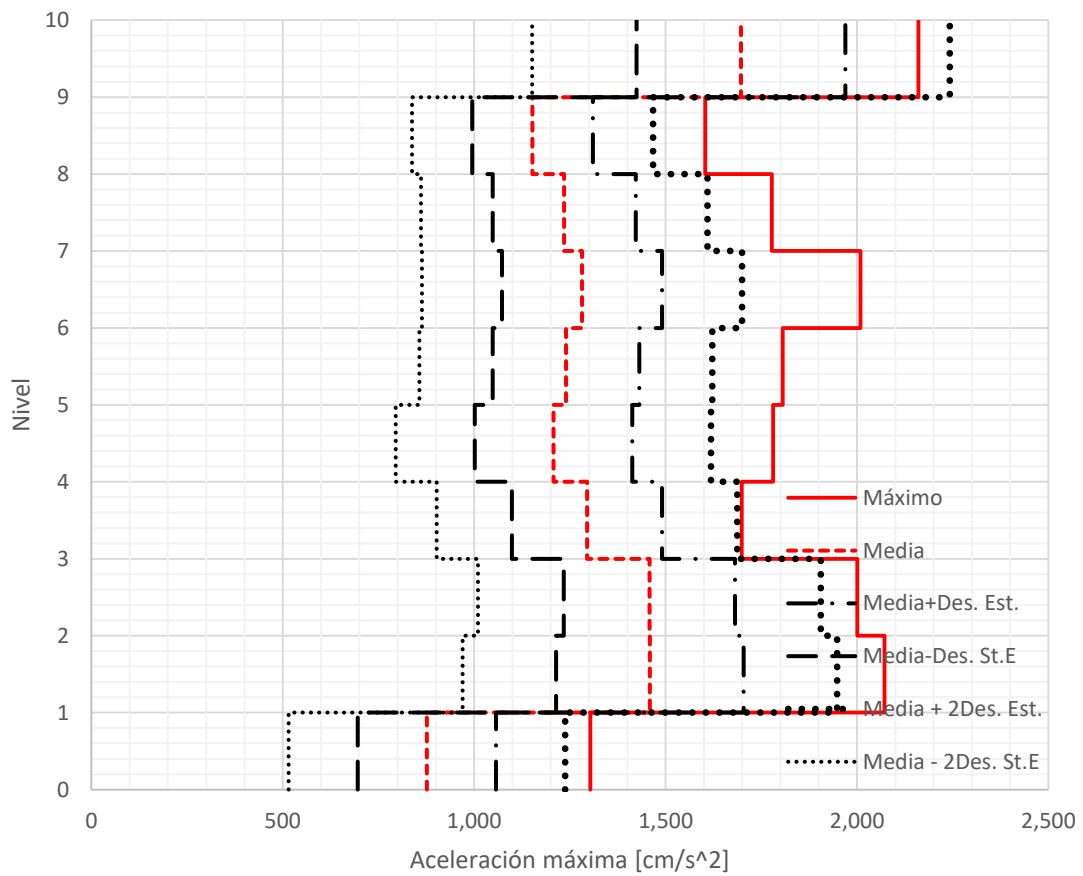
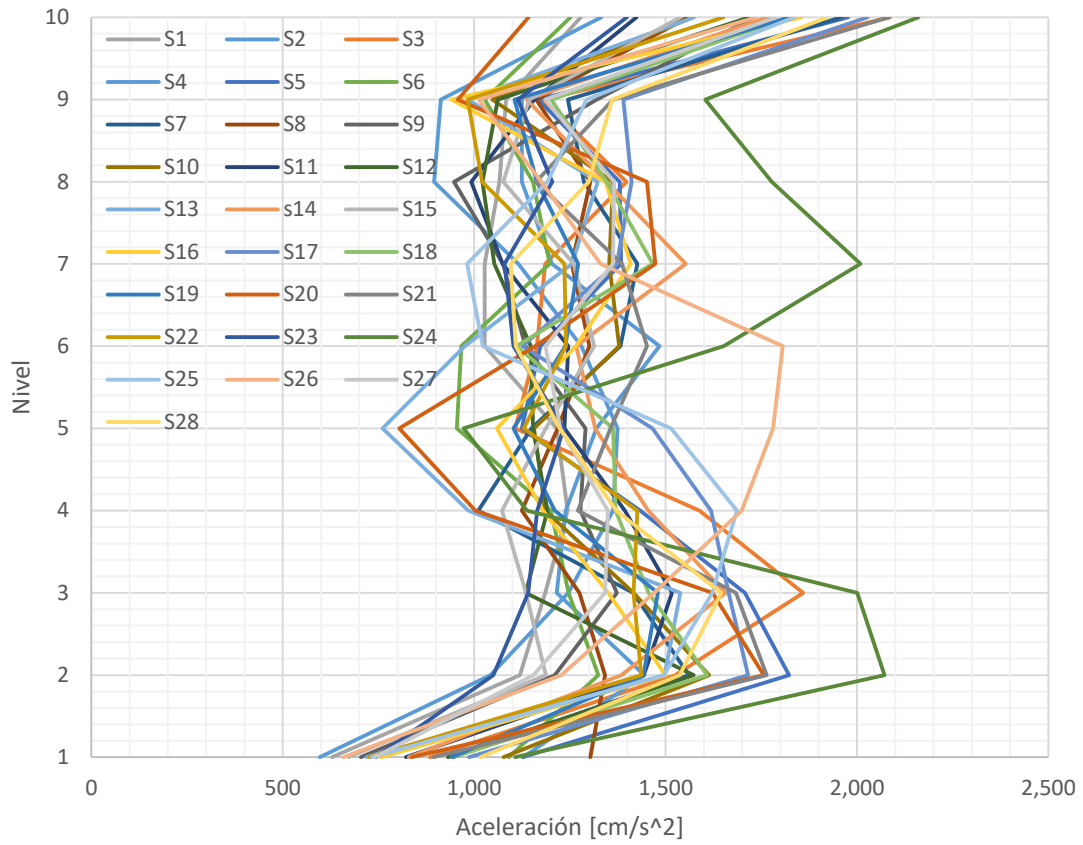
5.6.3 Aceleraciones máximas en cada nivel

(G2 - SC) [PGA]		Aceleración máxima por nivel [cm/s ²]										
		Registros	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
S1	TAMA9909.301	629	1,119	1,186	1,244	1,216	1,027	1,027	1,066	1,084	1,278	1,278
S2	PTSU9701.111	596	1,043	1,246	1,363	1,374	1,280	1,115	896	913	1,332	1,374
S3	OCTT8904.251	884	1,525	1,859	1,588	1,107	1,163	1,185	1,398	1,181	2,086	2,086
S4	VILD9701.111	1,128	1,445	1,216	1,239	1,320	1,484	1,203	1,125	1,125	1,502	1,502
S5	COYC1308.211	1,127	1,822	1,707	1,434	1,124	1,173	1,383	1,380	1,167	1,977	1,977
S6	PAPN8509.211	1,091	1,324	1,246	1,201	955	967	1,197	1,154	1,028	1,252	1,324
S7	JAMI1203.202	945	1,561	1,416	1,011	1,150	1,382	1,426	1,287	1,245	1,959	1,959
S8	JAMI9909.301	1,303	1,342	1,275	1,124	1,218	1,301	1,255	1,303	1,162	1,558	1,558
S9	VILE9701.111	704	1,210	1,373	1,278	1,291	1,133	1,075	947	1,321	1,732	1,732
S10	VILI9701.111	1,077	1,614	1,416	1,185	1,156	1,378	1,353	1,363	1,047	1,571	1,614
S11	SMLC9909.301	822	1,443	1,517	1,394	1,236	1,246	1,074	992	1,157	1,424	1,517
S12	CARD9405.231	931	1,573	1,135	1,191	1,154	1,148	1,052	1,022	1,062	1,718	1,718
S13	SJLL1405.241	719	1,497	1,538	985	761	975	1,256	1,323	984	1,574	1,574
S14	PTSU9412.101	829	1,384	1,657	1,455	1,316	1,267	1,553	1,345	1,137	1,766	1,766
S15	ACAP8904.251	672	1,187	1,135	1,073	1,187	1,314	1,260	1,076	1,144	1,538	1,538
S16	ATYC1404.181	757	1,500	1,350	1,180	1,059	1,266	1,409	1,343	940	1,854	1,854
S17	OCTT9310.241	986	1,715	1,664	1,619	1,466	1,126	1,373	1,411	1,389	2,027	2,027
S18	COYC1405.081	945	1,609	1,456	1,369	1,363	1,110	1,466	1,346	1,201	1,820	1,820
S19	VIGA9509.141	942	1,442	1,480	1,210	1,103	1,238	1,272	1,164	1,105	1,824	1,824
S20	SJLL1408.132	837	1,756	1,623	1,003	804	1,160	1,473	1,451	957	1,142	1,756
S21	MSAS9310.241	894	1,764	1,684	1,271	1,356	1,451	1,386	1,162	1,363	2,083	2,083
S22	OXJM1410.111	726	1,436	1,416	1,426	1,129	1,240	1,236	1,021	984	1,651	1,651
S23	SUCH1404.181	743	1,050	1,141	1,165	1,234	1,103	1,079	1,204	1,114	1,399	1,399
S24	COYC8904.251	1,107	2,072	2,001	1,138	972	1,652	2,009	1,778	1,604	2,160	2,160
S25	OCTT9410.291	732	1,496	1,622	1,686	1,514	1,023	981	1,191	1,294	1,836	1,836
S26	TAMA1002.091	658	1,227	1,470	1,699	1,781	1,806	1,330	1,175	1,012	1,737	1,806
S27	SMR29310.241	740	1,154	1,342	1,350	1,225	1,186	1,363	1,365	1,185	1,789	1,789
S28	TEJU1211.151	1,017	1,537	1,646	1,371	1,223	1,109	1,095	1,299	1,360	1,923	1,923
Máximo		1,303	2,072	2,001	1,699	1,781	1,806	2,009	1,778	1,604	2,160	2,160
Media		876	1,459	1,458	1,295	1,207	1,240	1,282	1,235	1,152	1,697	1,730
Desv. Est.		181	245	224	196	206	191	209	187	158	273	239



C.V.	0.21	0.17	0.15	0.15	0.17	0.15	0.16	0.15	0.14	0.16	0.14
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------





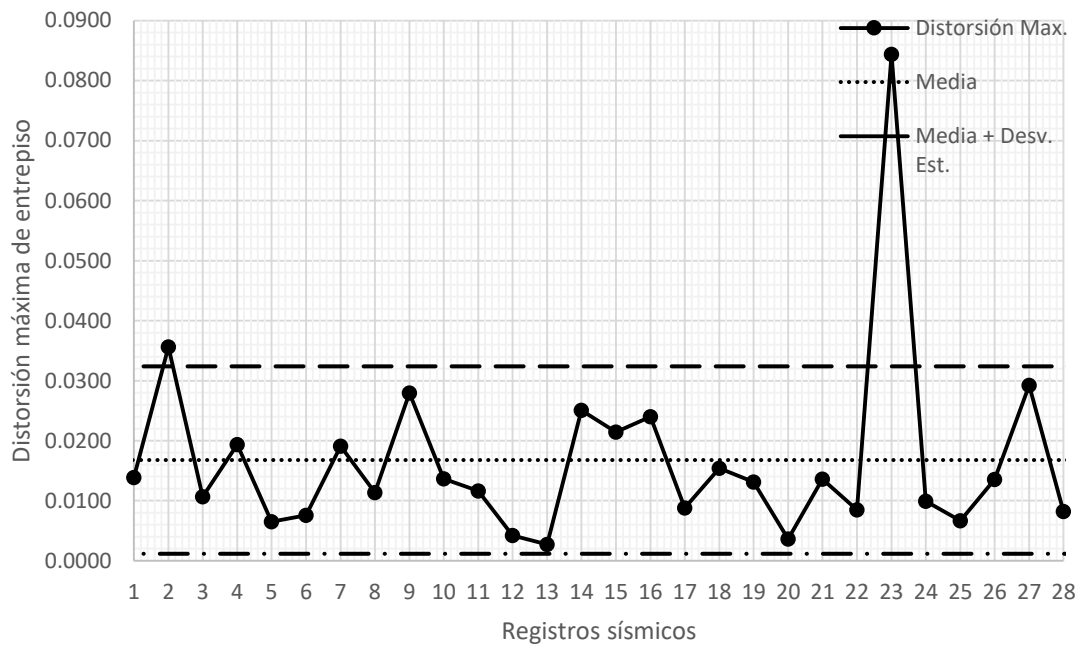


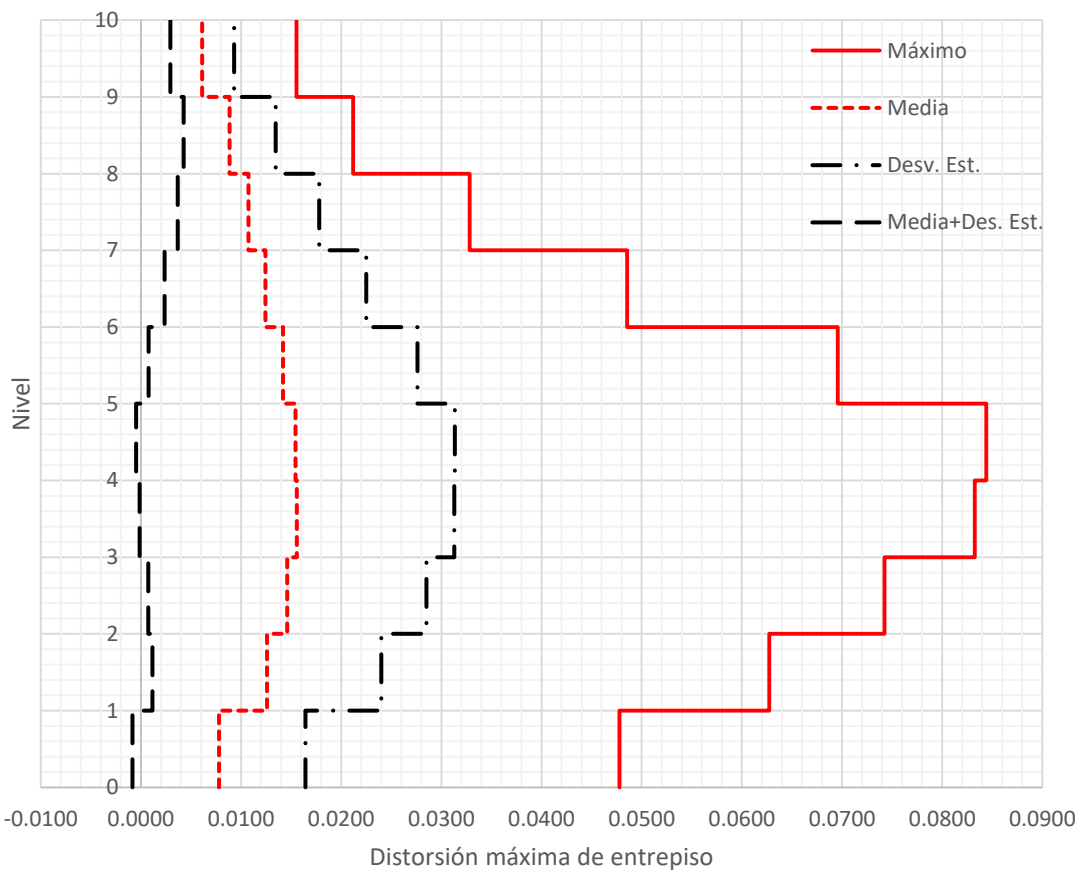
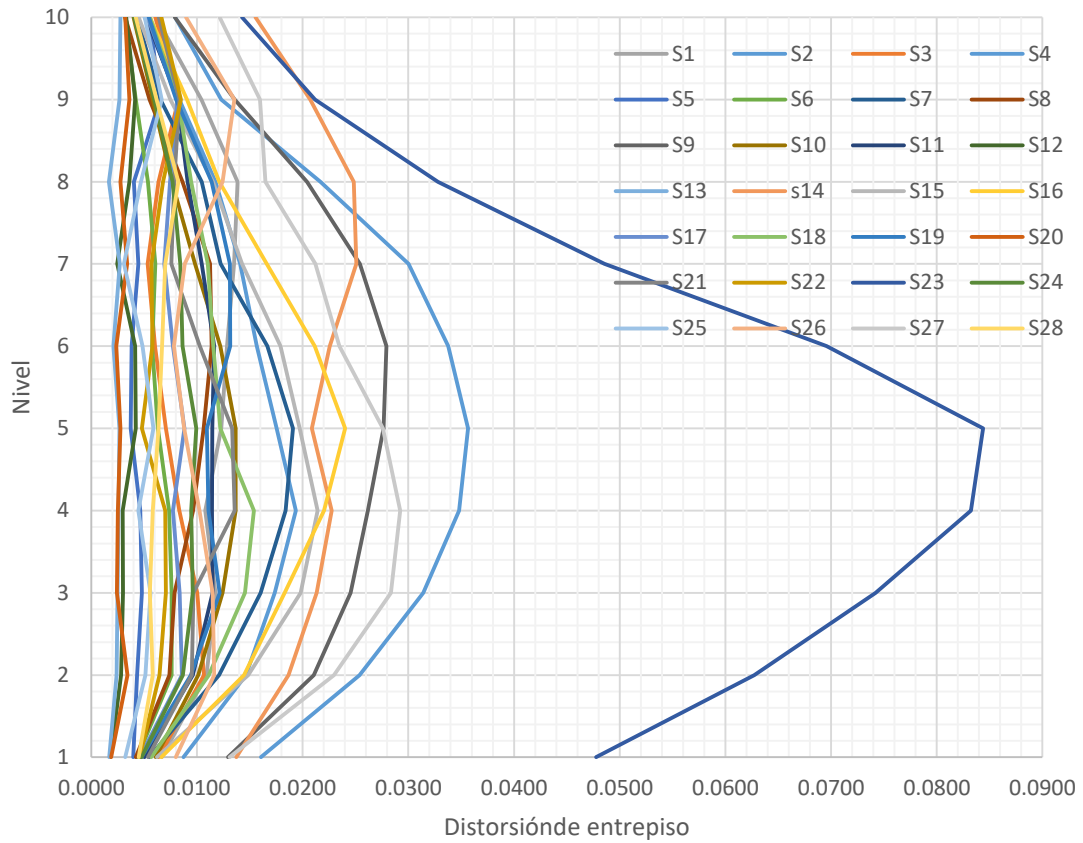
5.6.4 Distorsiones máximas en cada nivel

(G2 - SC) [PGA]		Distorsione máxima de entrepiso										
		N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	Max
S1	TAMA9909.301	0.0066	0.0109	0.0118	0.0108	0.0123	0.0128	0.0135	0.0139	0.0104	0.0061	0.0139
S2	PTSU9701.111	0.0161	0.0254	0.0314	0.0348	0.0357	0.0338	0.0300	0.0217	0.0123	0.0079	0.0357
S3	OCTT8904.251	0.0064	0.0106	0.0100	0.0083	0.0071	0.0060	0.0053	0.0064	0.0082	0.0061	0.0106
S4	VILD9701.111	0.0087	0.0146	0.0173	0.0194	0.0175	0.0157	0.0141	0.0117	0.0083	0.0050	0.0194
S5	COYC1308.211	0.0039	0.0043	0.0048	0.0046	0.0037	0.0038	0.0044	0.0040	0.0065	0.0055	0.0065
S6	PAPN8509.211	0.0044	0.0076	0.0076	0.0073	0.0063	0.0057	0.0060	0.0054	0.0042	0.0032	0.0076
S7	JAMI1203.202	0.0055	0.0121	0.0160	0.0184	0.0191	0.0166	0.0122	0.0105	0.0065	0.0043	0.0191
S8	JAMI9909.301	0.0042	0.0074	0.0079	0.0096	0.0106	0.0114	0.0112	0.0086	0.0055	0.0032	0.0114
S9	VILE9701.111	0.0129	0.0211	0.0245	0.0262	0.0277	0.0279	0.0254	0.0204	0.0136	0.0079	0.0279
S10	VILI9701.111	0.0061	0.0101	0.0124	0.0136	0.0137	0.0122	0.0098	0.0076	0.0058	0.0040	0.0137
S11	SMLC9909.301	0.0050	0.0096	0.0115	0.0114	0.0114	0.0116	0.0104	0.0091	0.0082	0.0052	0.0116
S12	CARD9405.231	0.0018	0.0028	0.0030	0.0029	0.0042	0.0041	0.0025	0.0036	0.0042	0.0033	0.0042
S13	SJLL1405.241	0.0017	0.0024	0.0025	0.0026	0.0026	0.0021	0.0027	0.0017	0.0027	0.0027	0.0027
S14	PTSU9412.101	0.0137	0.0186	0.0213	0.0227	0.0209	0.0226	0.0251	0.0248	0.0207	0.0155	0.0251
S15	ACAP8904.251	0.0062	0.0149	0.0198	0.0214	0.0197	0.0179	0.0143	0.0115	0.0075	0.0045	0.0214
S16	ATYC1404.181	0.0066	0.0144	0.0183	0.0220	0.0240	0.0211	0.0166	0.0121	0.0091	0.0055	0.0240
S17	OCTT9310.241	0.0046	0.0086	0.0084	0.0077	0.0088	0.0077	0.0069	0.0074	0.0082	0.0053	0.0088
S18	COYC1405.081	0.0057	0.0111	0.0145	0.0154	0.0122	0.0115	0.0110	0.0094	0.0082	0.0056	0.0154
S19	VIGA9509.141	0.0047	0.0094	0.0121	0.0111	0.0109	0.0131	0.0131	0.0114	0.0080	0.0055	0.0131
S20	SJLL1408.132	0.0019	0.0034	0.0024	0.0025	0.0028	0.0024	0.0034	0.0028	0.0036	0.0032	0.0036
S21	MSAS9310.241	0.0054	0.0095	0.0097	0.0136	0.0133	0.0103	0.0076	0.0078	0.0083	0.0064	0.0136
S22	OXJM1410.111	0.0046	0.0064	0.0071	0.0070	0.0048	0.0058	0.0057	0.0068	0.0085	0.0066	0.0085
S23	SUCH1404.181	0.0478	0.0627	0.0742	0.0833	0.0844	0.0696	0.0485	0.0328	0.0212	0.0143	0.0844
S24	COYC8904.251	0.0048	0.0087	0.0096	0.0094	0.0099	0.0086	0.0084	0.0077	0.0060	0.0040	0.0099
S25	OCTT9410.291	0.0032	0.0051	0.0056	0.0044	0.0059	0.0048	0.0031	0.0047	0.0067	0.0050	0.0067
S26	TAMA1002.091	0.0080	0.0116	0.0115	0.0102	0.0088	0.0078	0.0088	0.0124	0.0135	0.0090	0.0135
S27	SMR29310.241	0.0131	0.0230	0.0284	0.0292	0.0276	0.0235	0.0212	0.0165	0.0160	0.0121	0.0292
S28	TEJU1211.151	0.0045	0.0058	0.0055	0.0058	0.0064	0.0067	0.0070	0.0082	0.0062	0.0042	0.0082
Máximo		0.0478	0.0627	0.0742	0.0833	0.0844	0.0696	0.0485	0.0328	0.0212	0.0155	0.0844
Media		0.0078	0.0126	0.0146	0.0156	0.0154	0.0142	0.0124	0.0107	0.0089	0.0061	0.0168
Desv. Est.		0.0086	0.0114	0.0139	0.0157	0.0159	0.0134	0.0101	0.0071	0.0046	0.0032	0.0156



C.V.	1.11	0.91	0.95	1.01	1.03	0.95	0.81	0.66	0.52	0.52	0.93
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------------





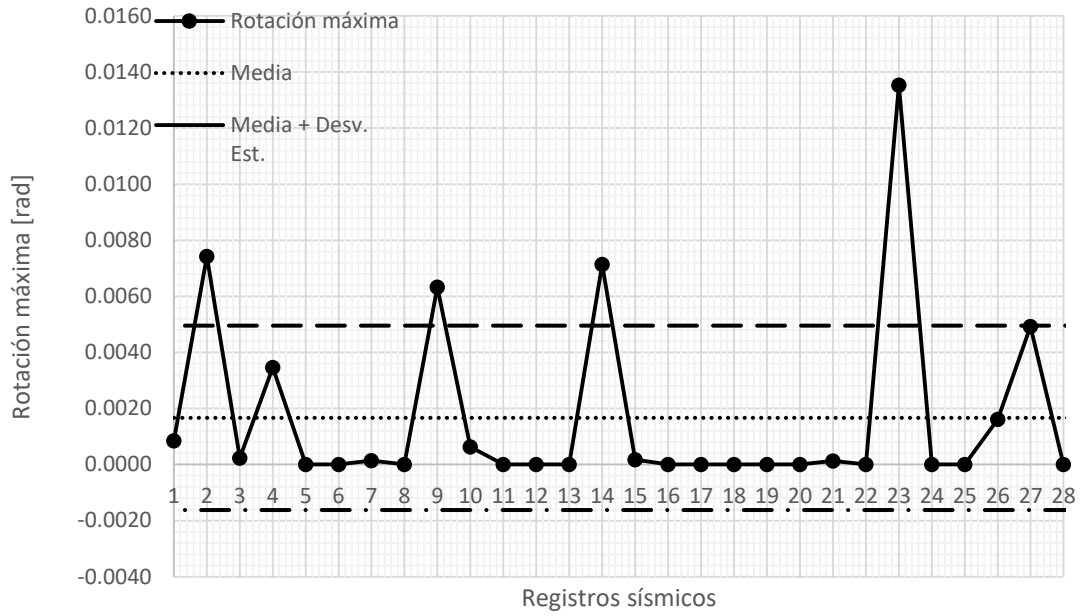


5.6.5 Rotación máxima en la base

(G2 - SC) [PGA]		Rotación máxima [rad]
Registros		Max
S1	TAMA9909.301	0.00084572
S2	PTSU9701.111	0.00742759
S3	OCTT8904.251	0.00023094
S4	VILD9701.111	0.00346630
S5	COYC1308.211	0.00000142
S6	PAPN8509.211	0.00000228
S7	JAMI1203.202	0.00014355
S8	JAMI9909.301	0.00000191
S9	VILE9701.111	0.00633297
S10	VILI9701.111	0.00063699
S11	SMLC9909.301	0.00000240
S12	CARD9405.231	0.00000089
S13	SJLL1405.241	0.00000085
S14	PTSU9412.101	0.00713643
S15	ACAP8904.251	0.00017259
S16	ATYC1404.181	0.00000301
S17	OCTT9310.241	0.00000234
S18	COYC1405.081	0.00000275
S19	VIGA9509.141	0.00000241
S20	SJLL1408.132	0.00000104
S21	MSAS9310.241	0.00013169
S22	OXJM1410.111	0.00000142
S23	SUCH1404.181	0.01353865
S24	COYC8904.251	0.00000181
S25	OCTT9410.291	0.00000165
S26	TAMA1002.091	0.00162009
S27	SMR29310.241	0.00492738
S28	TEJU1211.151	0.00000139
Máximo		0.01353865
Media		0.00166566



Desv. Est.	0.00328846
C.V.	1.97



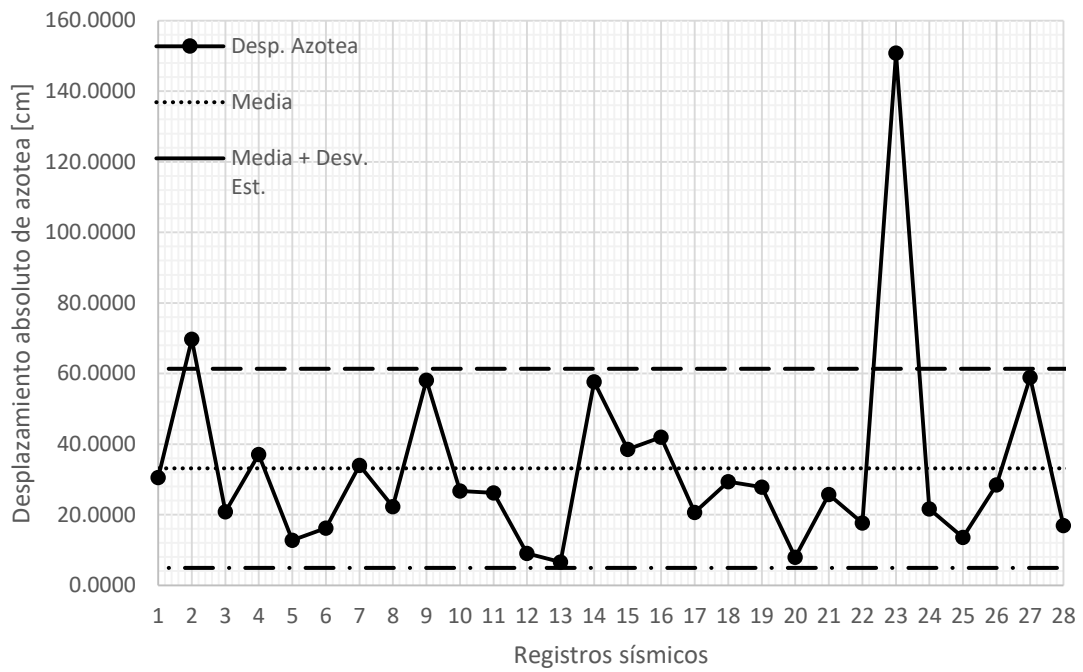


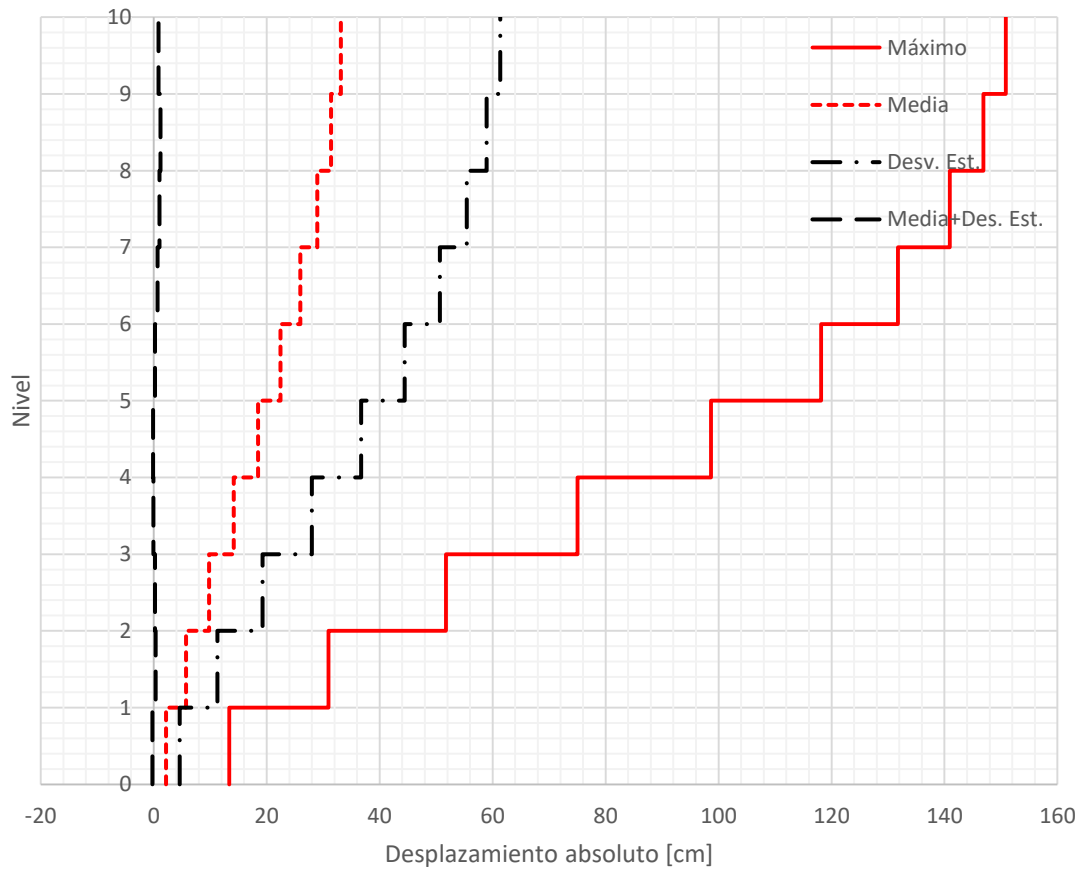
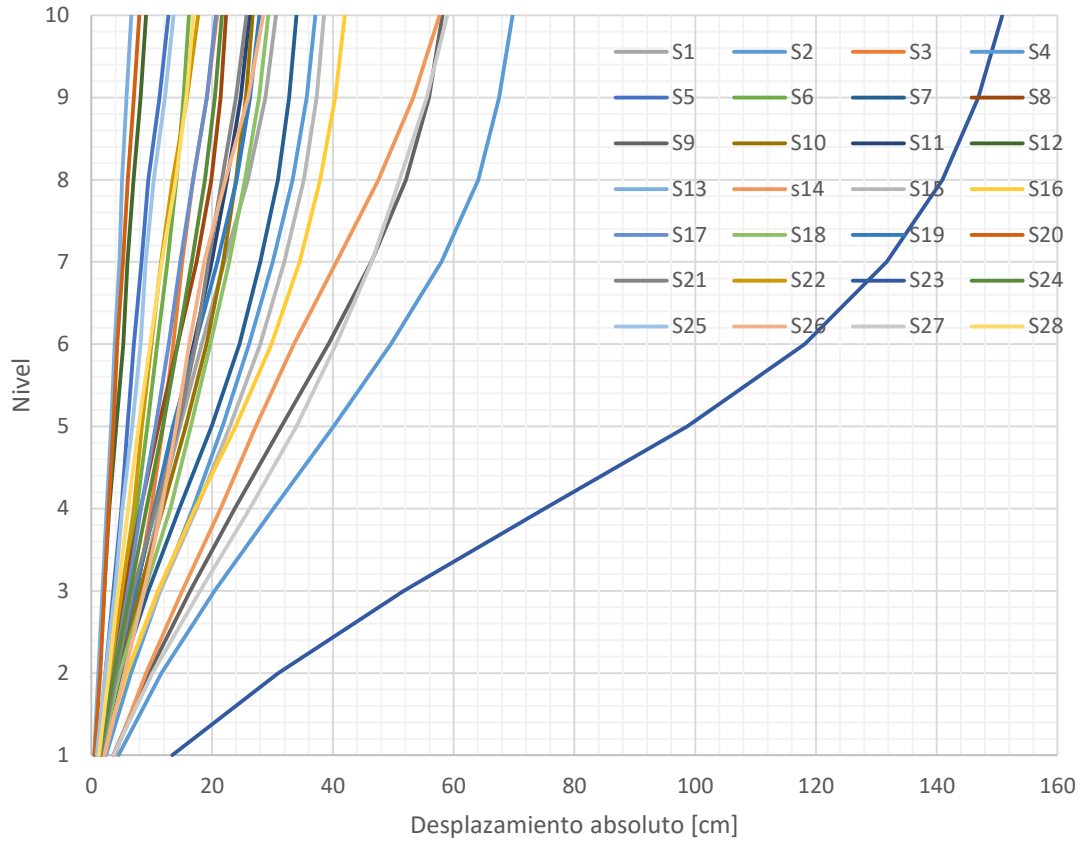
5.6.6 Rotación máxima en la base

(G2 - SC) [PGA]		Desplazamientos absolutos [cm]										
Registros		N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	Max
S1	TAMA9909.301	1.86	4.92	8.21	11.22	14.66	18.26	22.04	25.92	28.84	30.56	30.56
S2	PTSU9701.111	4.50	11.61	20.40	30.15	40.13	49.59	58.00	64.07	67.51	69.73	69.73
S3	OCTT8904.251	1.78	4.76	7.57	9.89	11.87	13.55	15.04	16.82	19.13	20.82	20.82
S4	VILD9701.111	2.44	6.54	11.40	16.82	21.72	26.11	30.05	33.34	35.67	37.08	37.08
S5	COYC1308.211	1.11	2.32	3.66	4.95	5.99	7.06	8.30	9.43	11.25	12.78	12.78
S6	PAPN8509.211	1.22	3.34	5.47	7.52	9.28	10.89	12.58	14.09	15.27	16.16	16.16
S7	JAMI1203.202	1.54	4.92	9.41	14.56	19.90	24.56	27.99	30.91	32.74	33.95	33.95
S8	JAMI9909.301	1.18	3.24	5.45	8.15	11.12	14.31	17.45	19.86	21.40	22.30	22.30
S9	VILE9701.111	3.62	9.52	16.39	23.72	31.46	39.28	46.40	52.12	55.91	58.12	58.12
S10	VILI9701.111	1.70	4.53	8.01	11.83	15.65	19.07	21.81	23.95	25.57	26.69	26.69
S11	SMLC9909.301	1.41	4.10	7.31	10.51	13.72	16.97	19.90	22.44	24.73	26.19	26.19
S12	CARD9405.231	0.51	1.29	2.13	2.95	4.13	5.29	5.98	6.99	8.15	9.08	9.08
S13	SJLL1405.241	0.47	1.14	1.83	2.55	3.29	3.88	4.63	5.09	5.84	6.60	6.60
S14	PTSU9412.101	3.84	9.06	15.04	21.40	27.25	33.56	40.58	47.54	53.34	57.69	57.69
S15	ACAP8904.251	1.74	5.90	11.44	17.44	22.96	27.98	31.97	35.19	37.29	38.54	38.54
S16	ATYC1404.181	1.86	5.90	11.02	17.19	23.91	29.83	34.48	37.88	40.41	41.96	41.96
S17	OCTT9310.241	1.29	3.68	6.02	8.19	10.65	12.81	14.74	16.83	19.11	20.60	20.60
S18	COYC1405.081	1.58	4.70	8.77	13.08	16.50	19.73	22.82	25.46	27.76	29.31	29.31
S19	VIGA9509.141	1.33	3.96	7.36	10.46	13.51	17.19	20.86	24.05	26.30	27.83	27.83
S20	SJLL1408.132	0.52	1.48	2.16	2.86	3.64	4.30	5.24	6.02	7.03	7.92	7.92
S21	MSAS9310.241	1.50	4.16	6.87	10.67	14.40	17.28	19.40	21.60	23.93	25.72	25.72
S22	OXJM1410.111	1.28	3.08	5.06	7.02	8.35	9.97	11.56	13.46	15.83	17.69	17.69
S23	SUCH1404.181	13.38	30.94	51.73	75.04	98.67	118.16	131.75	140.94	146.87	150.86	150.86
S24	COYC8904.251	1.33	3.76	6.45	9.09	11.88	14.29	16.65	18.80	20.47	21.60	21.60
S25	OCTT9410.291	0.90	2.33	3.89	5.14	6.78	8.14	9.00	10.31	12.18	13.59	13.59
S26	TAMA1002.091	2.24	5.50	8.71	11.58	14.04	16.22	18.70	22.18	25.96	28.47	28.47
S27	SMR29310.241	3.66	10.09	18.03	26.22	33.94	40.52	46.45	51.06	55.53	58.93	58.93
S28	TEJU1211.151	1.26	2.89	4.44	6.06	7.85	9.72	11.68	13.98	15.71	16.89	16.89
Máximo		13.38	30.94	51.73	75.04	98.67	118.16	131.75	140.94	146.87	150.86	150.86
Media		2.18	5.70	9.79	14.15	18.47	22.45	25.93	28.94	31.42	33.13	33.13
Desv. Est.		2.42	5.60	9.46	13.84	18.27	21.99	24.70	26.51	27.54	28.22	28.22



C.V.	1.11	0.98	0.97	0.98	0.99	0.98	0.95	0.92	0.88	0.85	0.85
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------------







6. EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA COMO FUNCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ESCALAMIENTO

A partir de los análisis dinámicos no lineales de los tres tipos de edificios localizados en cuatro sitios distintos y sometidos a 28 señales sísmicas cada uno se procesó los datos de respuesta y se presentan los valores promedio de las demandas de ingeniería.

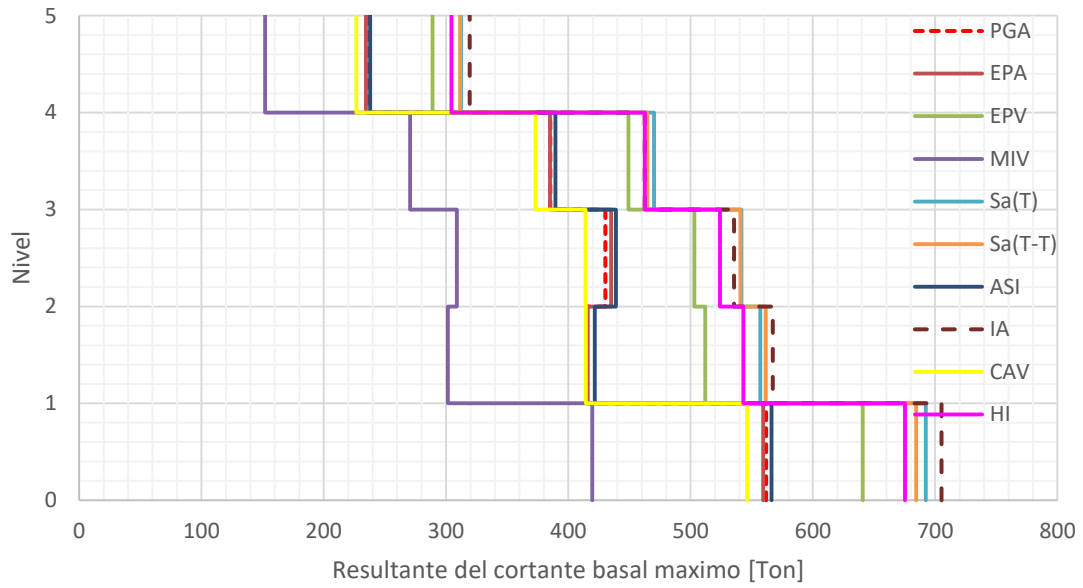
6.1 Resultante del cortante máximo

6.1.1 Edificio de 10 Niveles

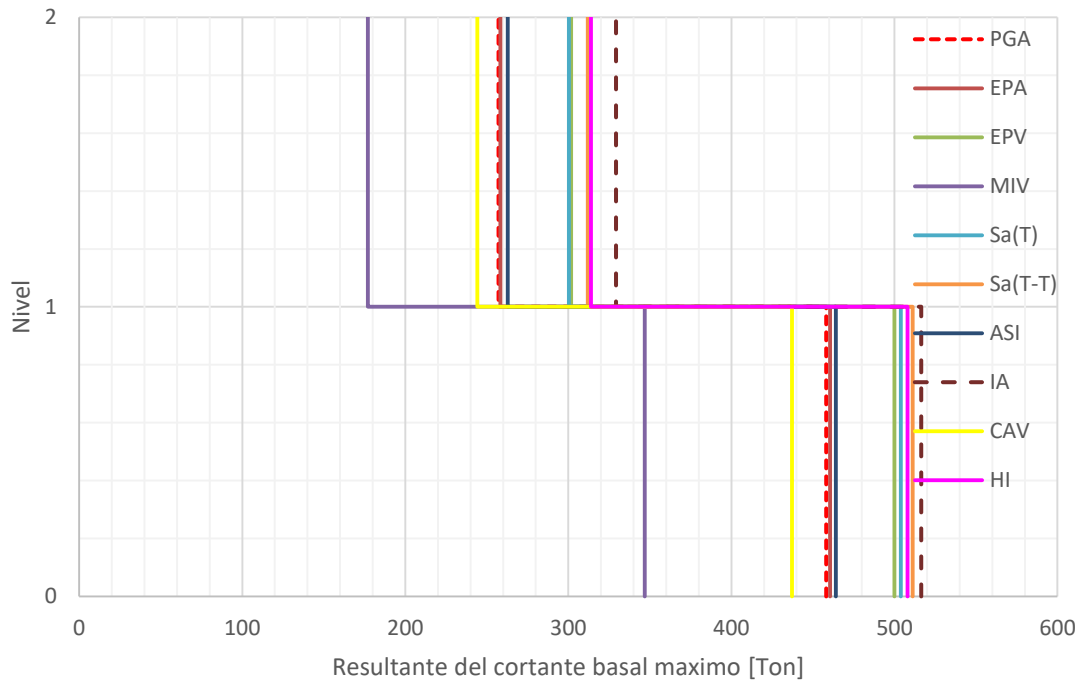




6.1.2 Edificio de 5 Niveles



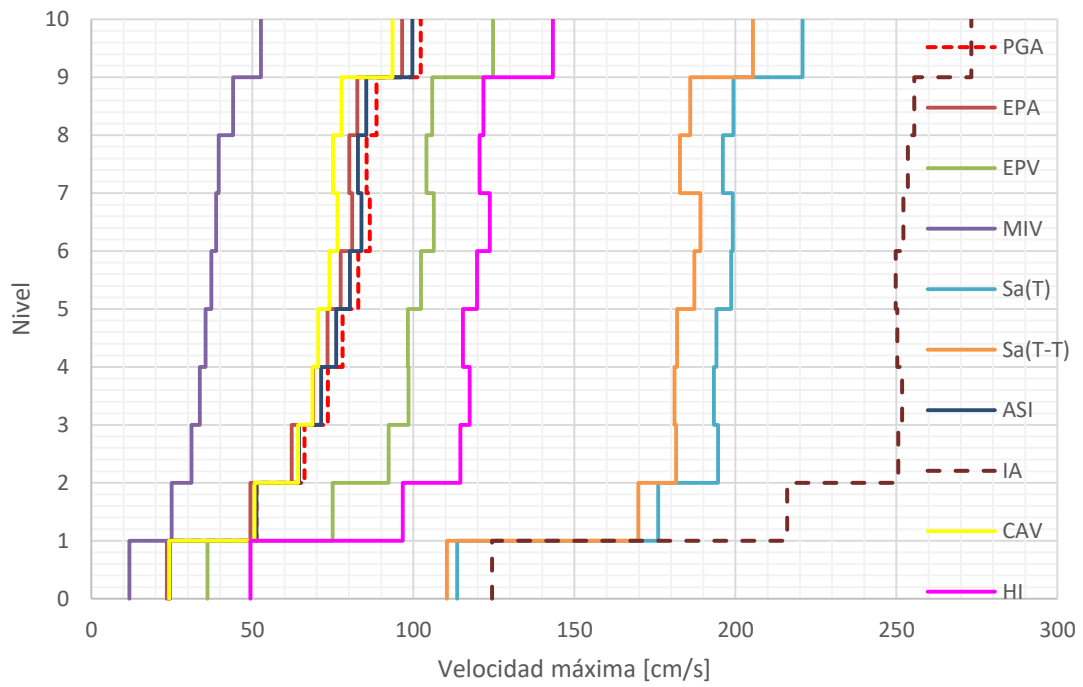
6.1.3 Edificio de 2 Niveles



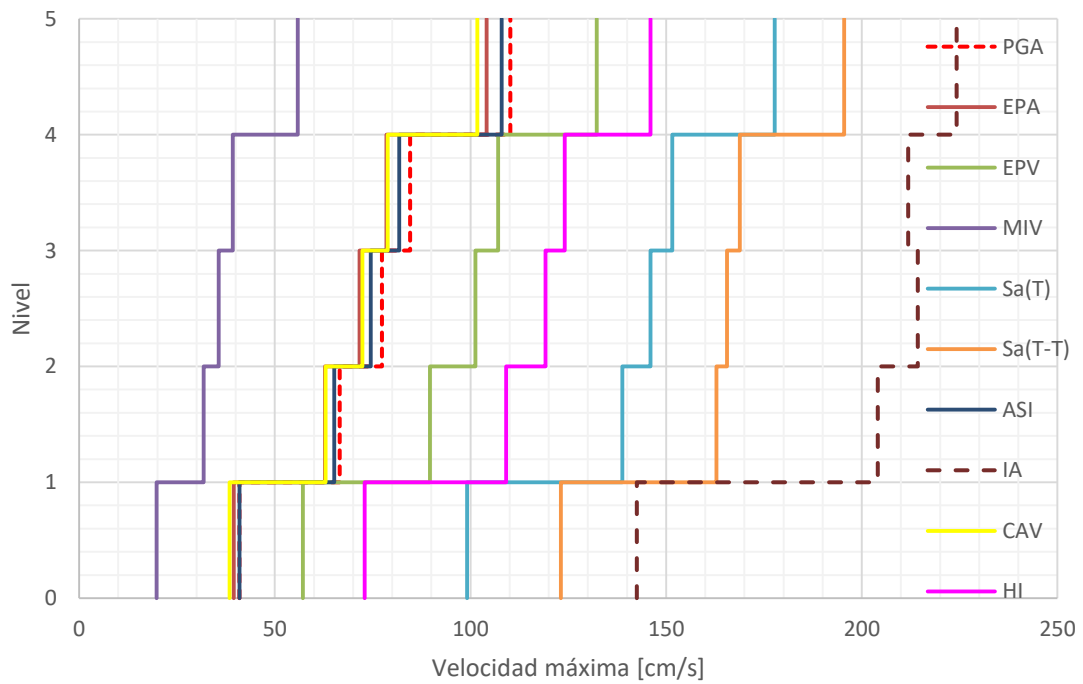


6.2 Velocidad máxima por nivel

6.2.1 Edificio de 10 Niveles

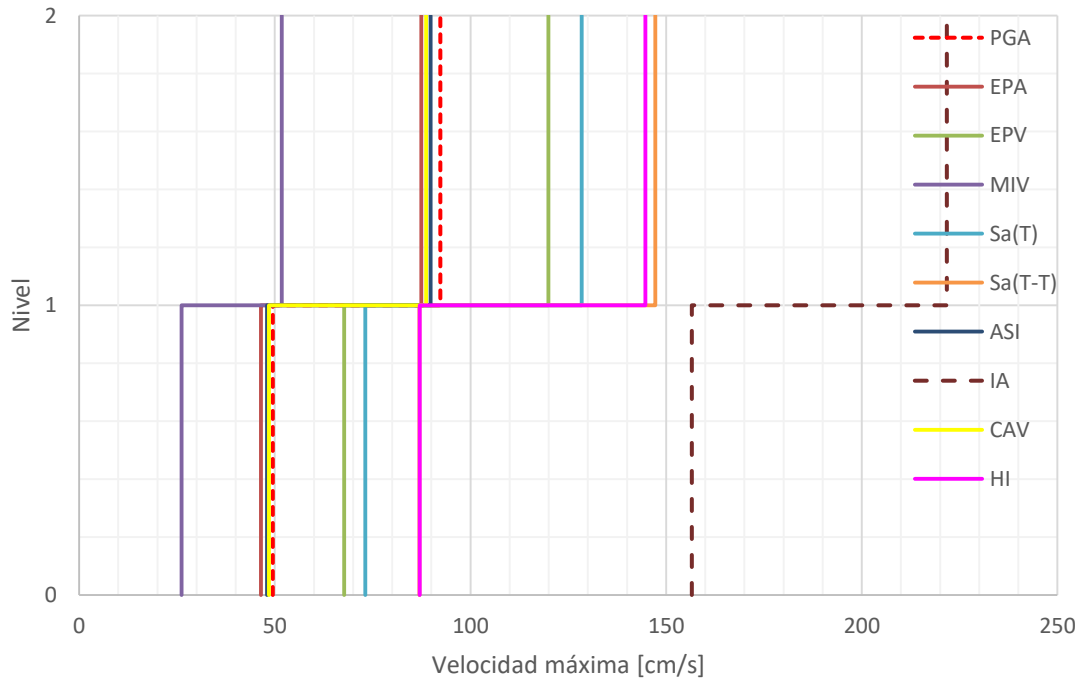


6.2.2 Edificio de 5 Niveles



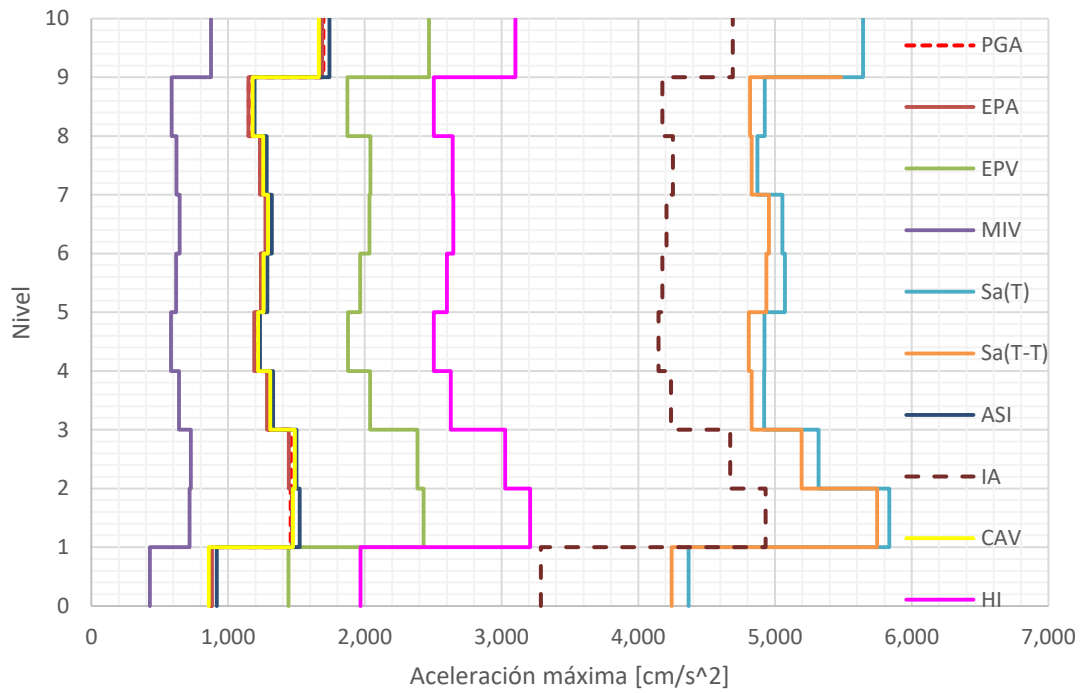


6.2.3 Edificio de 2 Niveles



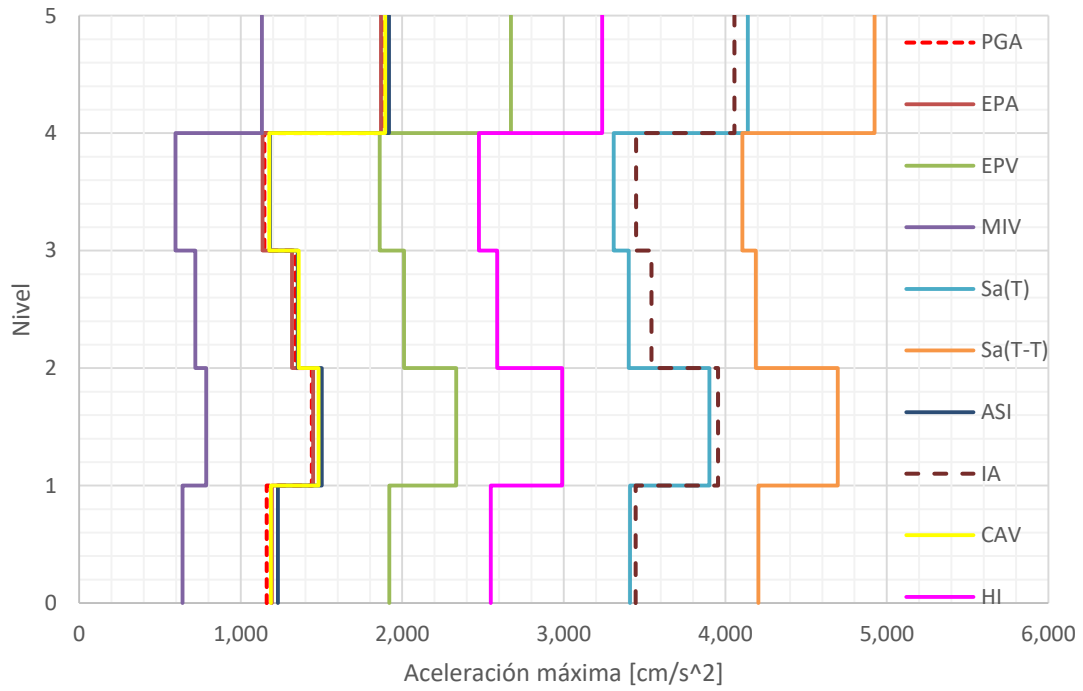
6.3 Aceleración máxima por nivel

6.3.1 Edificio de 10 Niveles

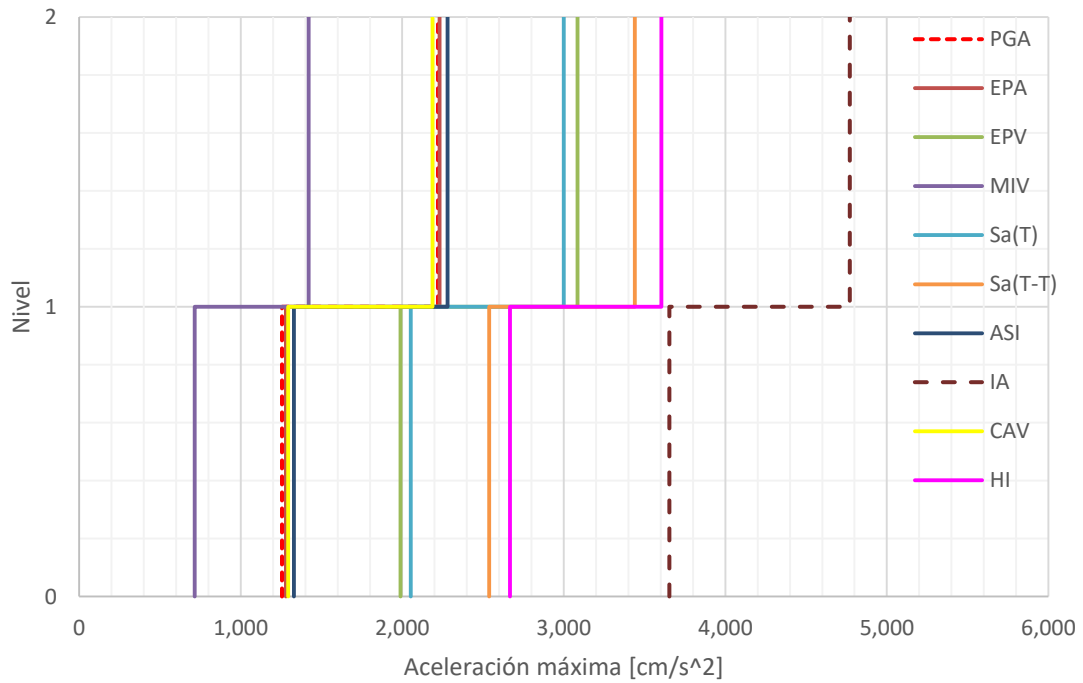




6.3.2 Edificio de 5 Niveles



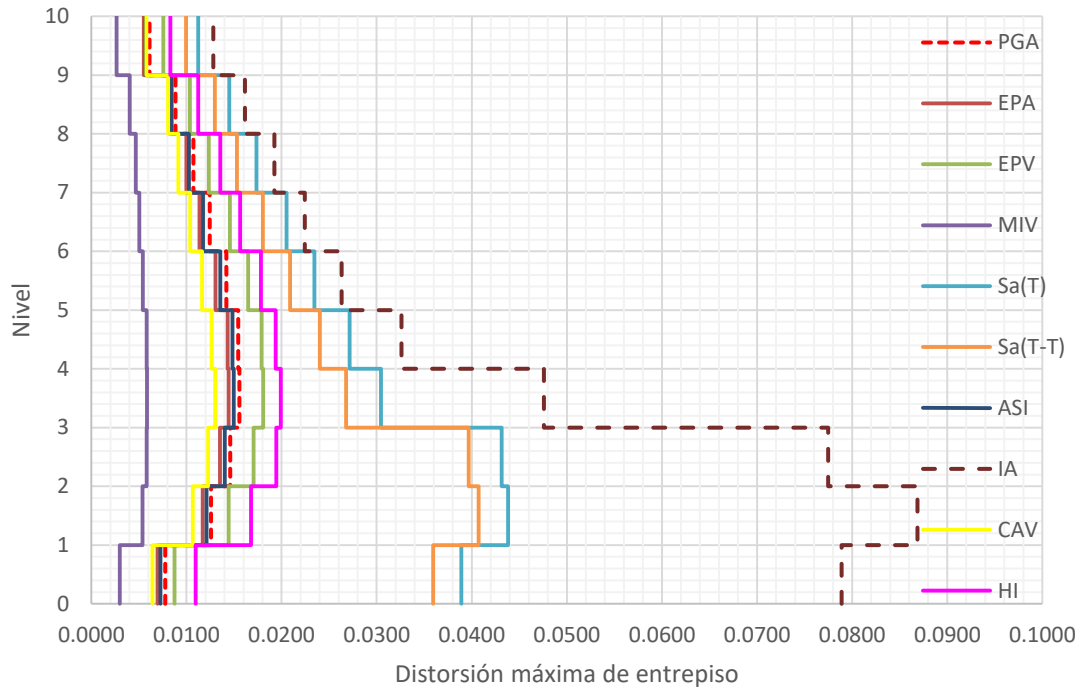
6.3.3 Edificio de 2 Niveles



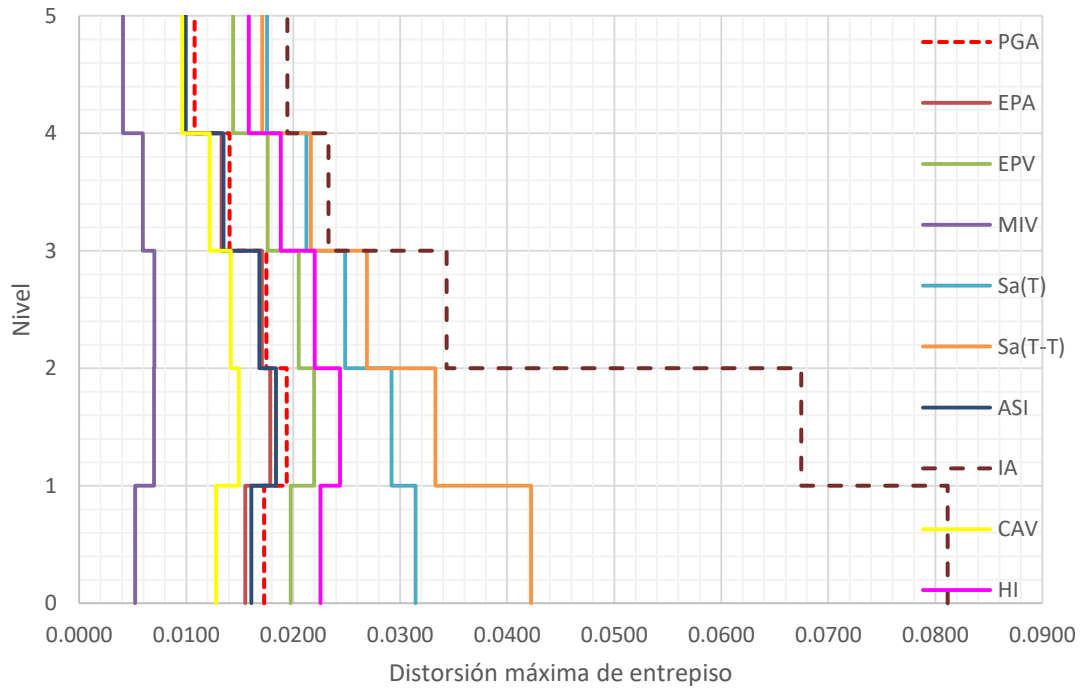


6.4 Distorsión máxima de entropiso

6.4.1 Edificio de 10 Niveles

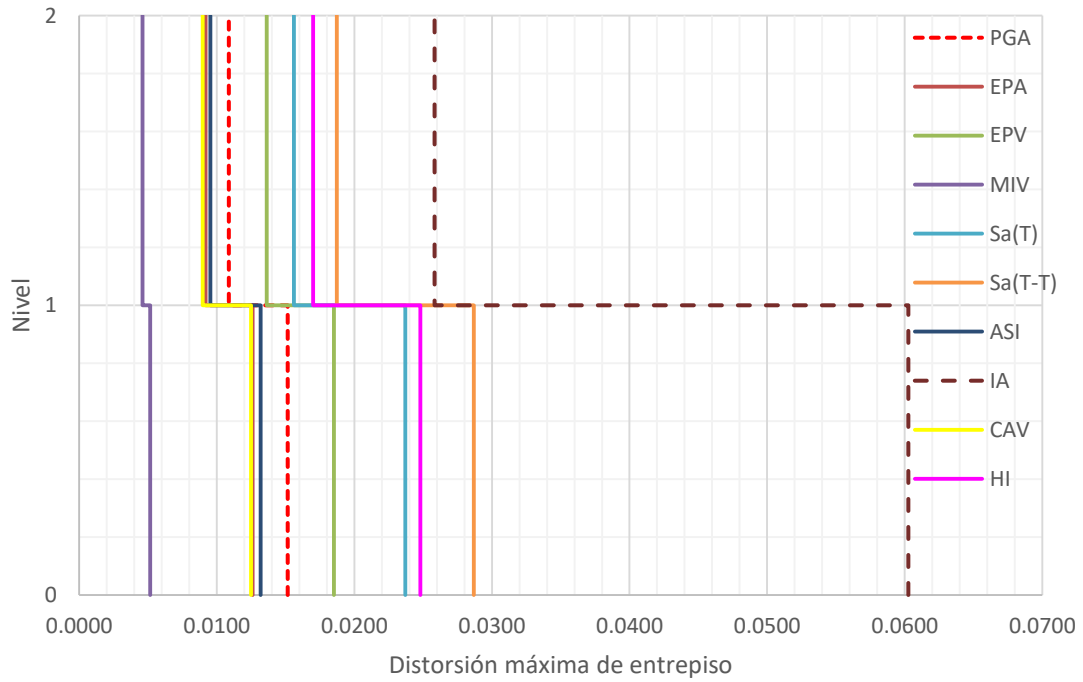


6.4.2 Edificio de 5 Niveles



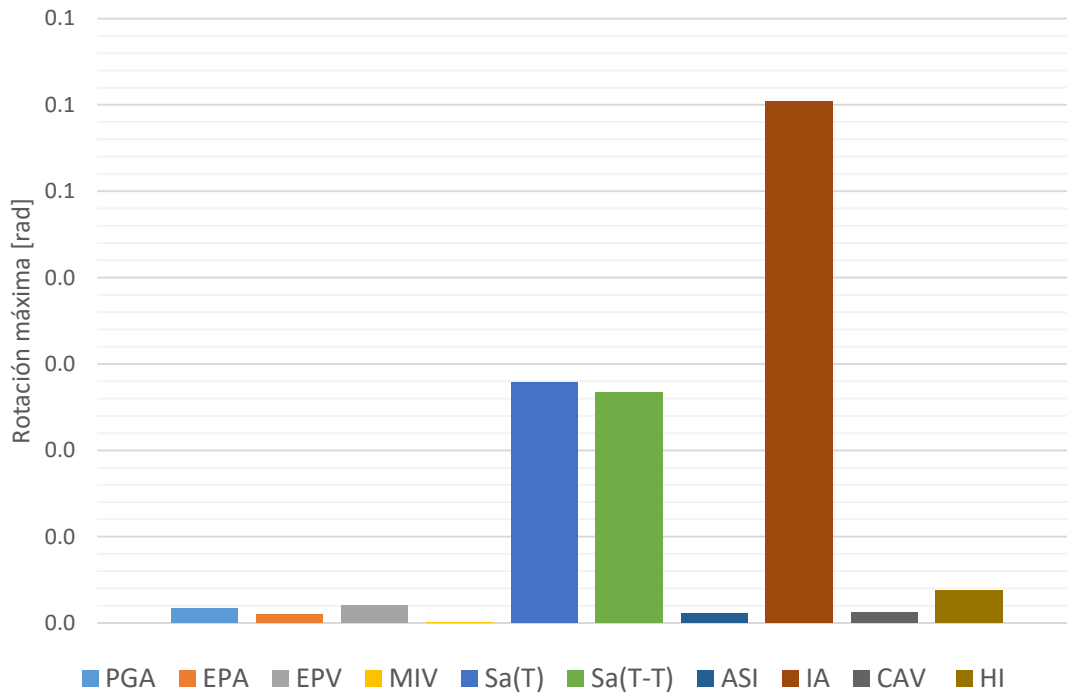


6.4.3 Edificio de 2 Niveles



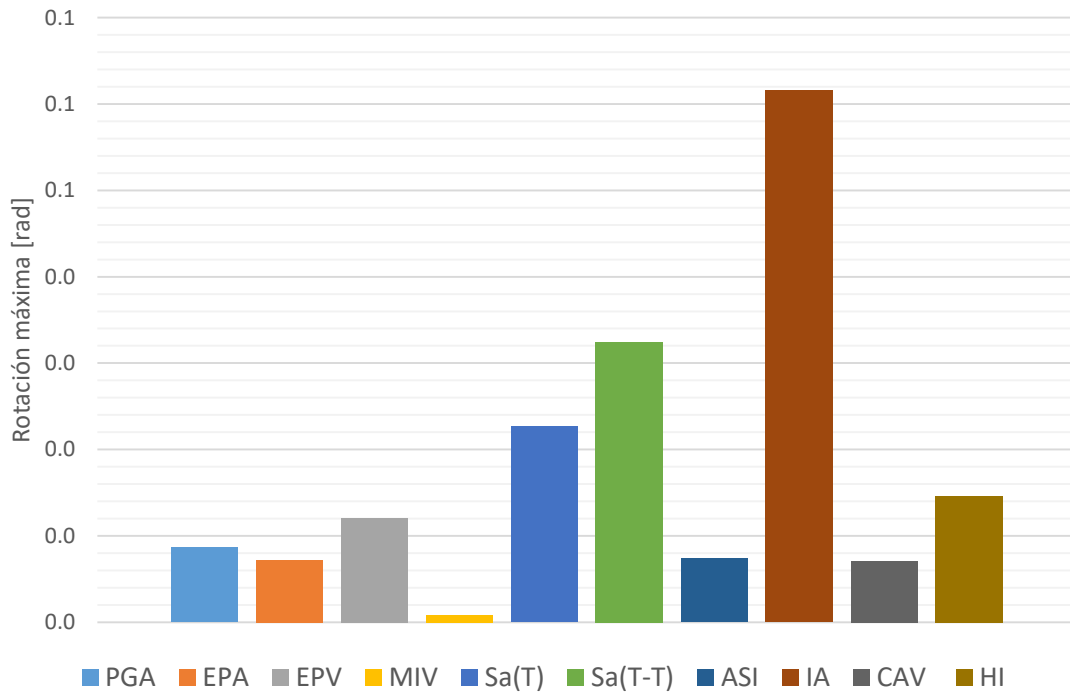
6.5 Rotación máxima en la base

6.5.1 Edificio de 10 Niveles

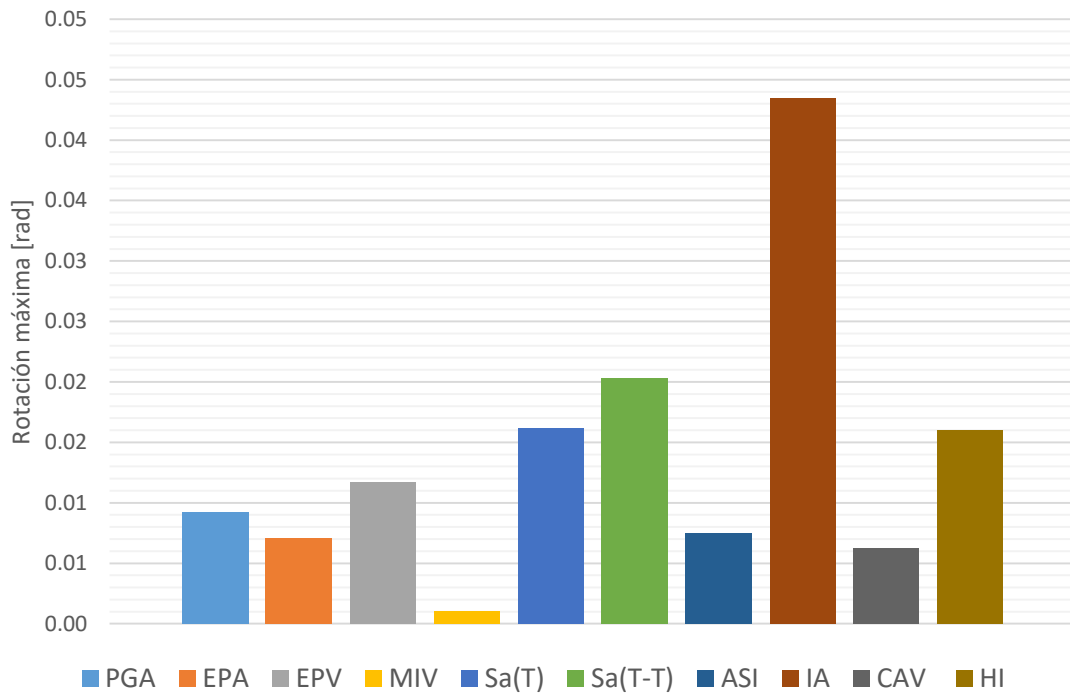




6.5.2 Edificio de 5 Niveles



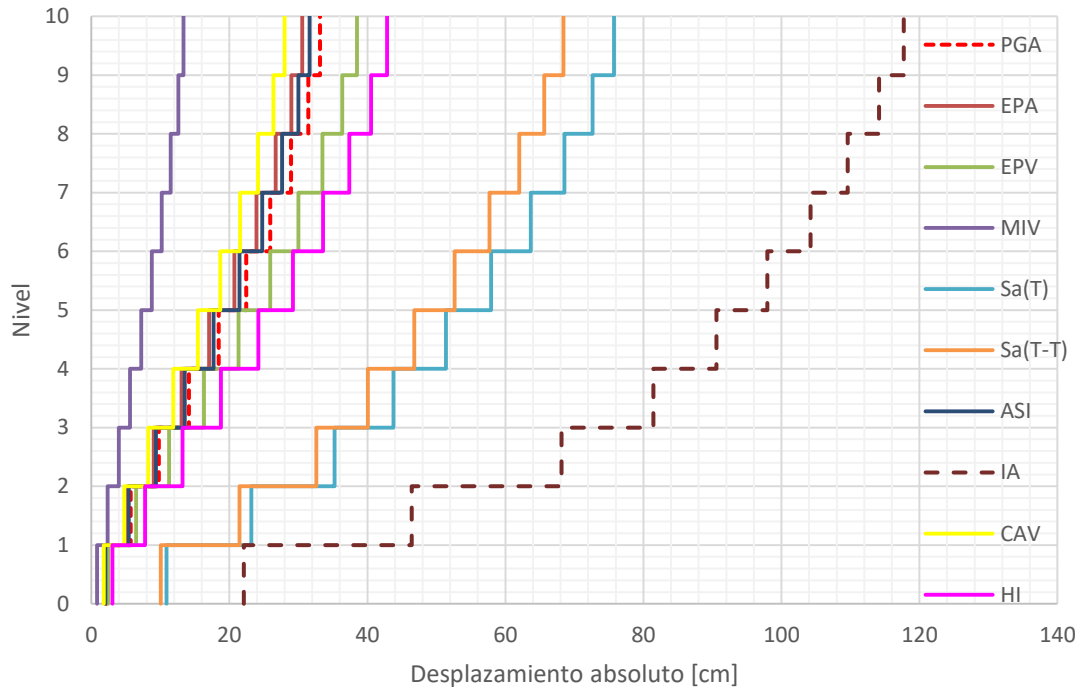
6.5.3 Edificio de 2 Niveles



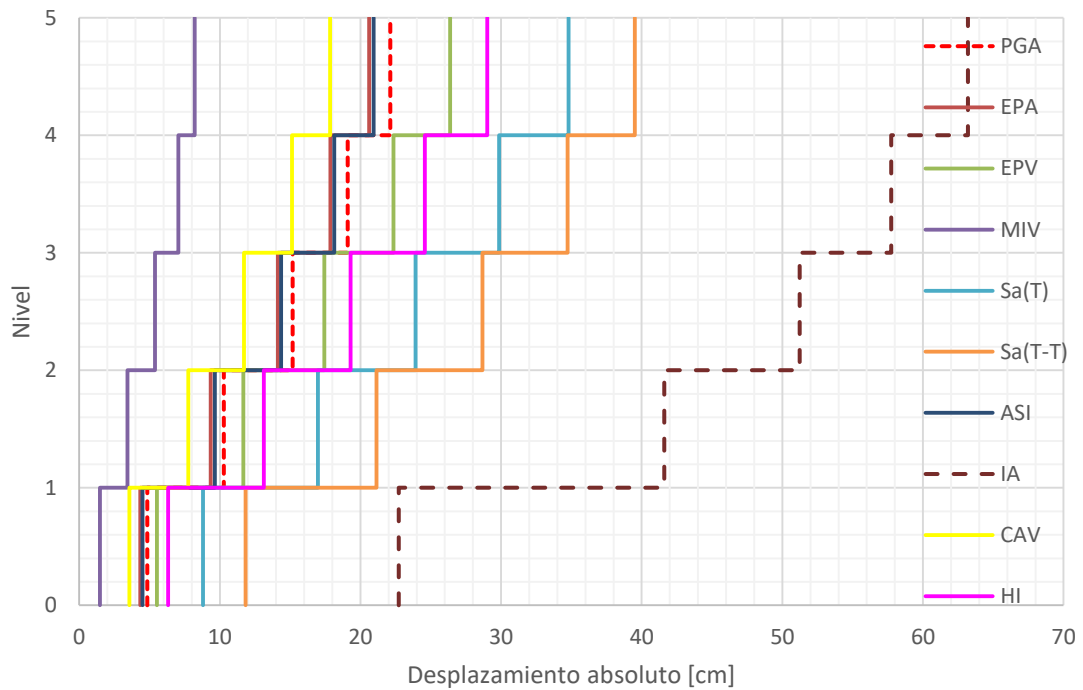


6.6 Desplazamiento máximo absoluto por nivel

6.6.1 Edificio de 10 Niveles

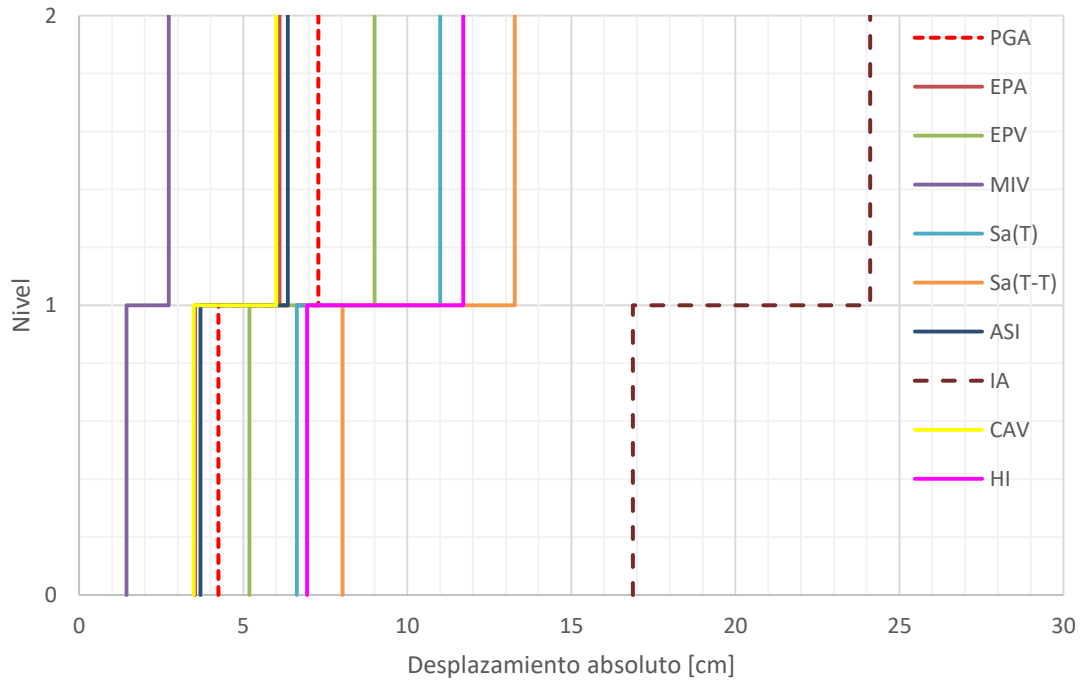


6.6.2 Edificio de 5 Niveles





6.6.3 Edificio de 2 Niveles





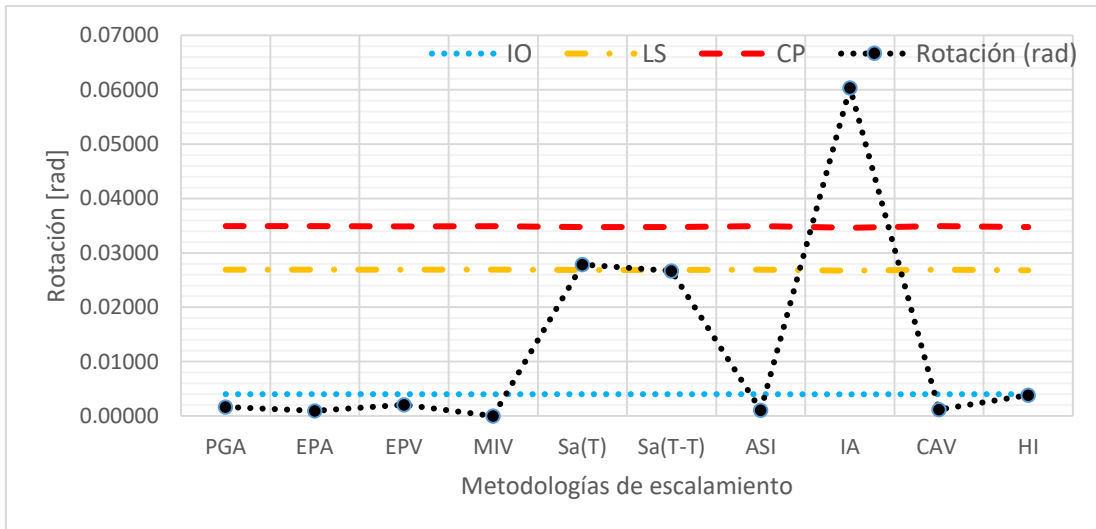
6.7 Evaluación de los estados límite

Para evaluar el estado de daño al que han llevado las señales sísmicas a los edificios se consideraron los estados límite de ASCE/SEI 41-13. Evaluando las rotaciones máximas en las columnas de la base de los edificios

$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$	Estados Limite		
		Rotación (rad)		
		IO	LS	CP
≤ 0.1	≥ 0.006	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006	0.003	0.009	0.010
≤ 0.1	$= 0.002$	0.005	0.027	0.034
≥ 0.6	$= 0.002$	0.002	0.004	0.005

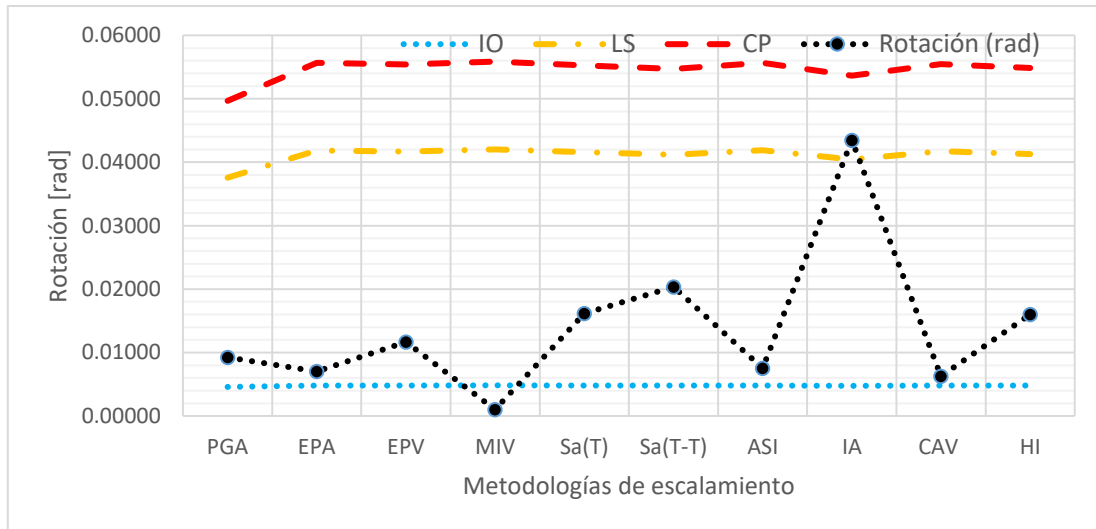
6.7.1 Estados Limite edificios de 10N SC

10N		Estados Limite		
Parámetro	Rotación (rad)	IO	LS	CP
PGA	0.00167	0.00400	0.02693	0.03490
EPA	0.00098	0.00400	0.02693	0.03490
EPV	0.00208	0.00400	0.02692	0.03489
MIV	0.00000	0.00400	0.02693	0.03490
Sa(T)	0.02787	0.00399	0.02683	0.03476
Sa(T-T)	0.02666	0.00399	0.02683	0.03476
ASI	0.00108	0.00400	0.02693	0.03490
IA	0.06036	0.00398	0.02672	0.03461
CAV	0.00117	0.00400	0.02693	0.03490
HI	0.00381	0.00399	0.02681	0.03474



6.7.3 Estados Limite edificios de 2N SC

2N		Estados Limite		
Parámetro	Rotación (rad)	IO	LS	CP
PGA	0.00922	0.00459	0.03757	0.04968
EPA	0.00704	0.00483	0.04186	0.05565
EPV	0.01169	0.00482	0.04168	0.05539
MIV	0.00103	0.00483	0.04202	0.05586
Sa(T)	0.01618	0.00481	0.04161	0.05529
Sa(T-T)	0.02033	0.00479	0.04119	0.05471
ASI	0.00753	0.00483	0.04187	0.05565
IA	0.04348	0.00475	0.04042	0.05364
CAV	0.00628	0.00482	0.04174	0.05547
HI	0.01600	0.00479	0.04131	0.05487





6.8 Discusión de resultados

En las demandas de cortante se aprecia que varios de los parámetros de intensidad basados en aceleración se mantienen agrupados mostrando resultados similares a excepción de $Sa(T)$, $Sa(T-T)$, HI e IA siendo este último el de mayor magnitud, acompañados por un parámetro basado en velocidad como es EPV y HI .

Al analizar la respuesta de los edificios respecto las velocidades de sus entrepisos, es evidente que el parámetro con mayor magnitud y dispersión es IA volviendo a ser este el de mayor demanda, el resto de los parámetros presenta una variación regular uno de otro.

En el caso de las aceleraciones por entrepiso los mayores son $Sa(T)$ y $Sa(T-T)$ y en el caso de tratarse de una edificación de periodo corto el parámetro IA adquiere mayor valor.

Los parámetros basados en aceleración IA , $Sa(T)$ y $Sa(T-T)$ son los que generan mayor distorsión de entrepiso, siendo IA un parámetro calculado a partir del registro sísmico el cual es mucho mayor que los demás. Esto mismo se aprecia al evaluar la rotación máxima, estos tres parámetros de aceleración generan gran dispersión respecto los demás parámetros, incrementando esta dispersión con el aumento de periodo.

La distribución de las deformaciones absolutas sigue las mismas tendencias de dispersión.

Es interesante observar que los resultados del efecto de escalamiento dependen de la altura de los edificios. Mientras que en el modelo de diez niveles existe cierta regularidad entre los resultados de varias técnicas, para los modelos de cinco y dos niveles la variación es más importante.



CONCLUSIONES

En este trabajo se analizaron edificios de concreto reforzado de tres alturas distintas, para evaluar el efecto del escalamiento de acelerogramas en la respuesta sísmica de las edificaciones. Para ello, se consideran familias de registros sísmicos localizados a diferentes distancias desde la trinchera del Pacífico Mexicano. Se realizaron análisis elásticos para diseñar las edificaciones y posteriormente se hacen análisis dinámicos no lineales en la historia del tiempo, para evaluar las respuestas sísmicas obtenidas con acelerogramas escalados con diferentes técnicas. Las técnicas de escalamiento seleccionadas, son frecuentemente utilizadas en artículos técnicos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificios y puentes. Con base en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente.

A partir de las tendencias observadas en los resultados de numerosos análisis no lineales en diferentes sitios y para un intervalo de periodos de vibración, se concluye los escalamientos dependientes de parámetros basados en aceleración, como IA, Sa(T) y Sa(T-T) producen demandas considerablemente mayores que las de las otras técnicas de escalamiento. Particularmente la técnica de Intensidad de Arias (IA) conduce a valores que en términos generales resulta fuera de proporción con respecto a las otras técnicas de escalamiento.

Parámetros basados en velocidad y más enfocados en el comportamiento impulsivo de los sismos como es MIV conducen a demandas esperadas inferiores a prácticamente todas las demás técnicas.

Esto mismo se observa para EPA, EPV, ASI y CAV si se trata de edificios con un periodo de vibración natural mayor.

De este trabajo surge la recomendación de la obtención de varios parámetros de intensidad al momento de realizar un estudio que implique análisis no lineales en la historia del tiempo y escoger con estos los registros que generen menores factores de escala.



REFERENCIAS

- Akkar, S., Ozen, O. (2005). "Effect of peak ground velocity on deformation demands for SDOF systems." *Earthquake Eng. Struct.* 34(13), 1551–1571.
- Algan, B. B. (1982). "Drift and damage considerations in earthquake resistant design of reinforced concrete buildings." Ph.D. thesis, Univ. of Illinois, Urbana, Ill.
- Applied Technology Council (ATC). Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings. ATC 3-06, 1978.
- Arias A. A Measure of Earthquake Intensity. Seismic Design of Nuclear Power Plants, The Massachusetts Institute of Technology, Cambridge Press, 1969.
- Arias, A. (1970). "A measure of earthquake intensity." Seismic design for nuclear power plants, R. J. Hansen, ed., MIT, Cambridge, Mass., 438–483.
- ASCE/SEI (Structural Engineering Institute). (2014). "Seismic Evaluation and
- Elenas, A. (2000). "Correlation between seismic acceleration parameters and overall structural damage indices of buildings." *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 20(1–4), 93–100.
- Elenas, A., Meskouris, K. (2001). "Correlation study between seismic acceleration parameters and damage indices of structure." *Eng. Struct.*, 23(6), 698–704.
- Empirical Correlations between Cumulative Absolute Velocity and Amplitude Based Ground Motion Intensity Measures
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings. Volumes 1 and 2, Washington, D.C., 1994.
- Gülkan, P., Sozen, M. A. (1999). "Procedure for determining seismic vulnerability of building structures." *ACI Struct. J.*, 96(3), 336–342.
- Hernandez, E., Jara, J, M., (2019). *Uso de dispositivos de control para edificios en zonas de moderada y alta sismicidad.* Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.
- Kennedy R, Short S, Merz K, Tokarz F, Idriss I, Powers M, Sadigh K. Engineering Characterization of Ground Motion-Task I: Effects of Characteristics of Free-Field Motion on Structural Response. NUREG=CR-3805, U.S. Regulatory Commission, Washington, D.C., 1984.
- Kunnath, S. K., Larson, L., and Miranda, E. (2006). "Modeling considerations in probabilistic performance-based seismic evaluation: Case study of the I-880 viaduct." *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 35(1), 57–75.



Kurama Y, Sause R, Pessiki S, Lu LW. Seismic Design and Response Evaluation of Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Walls. Research Report No. EQ-97-01, Department of Civil and Environmental Engineering, Lehigh University, Bethlehem, PA, 1997.

Kurama, Y., Farrow, K. (2003). "Ground motion scaling methods for different site conditions and structure characteristics." *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 32(15), 2425–2450

Luco, N., Cornell, C. A. (2007). "Structure-specific scalar intensity measures for near-source and ordinary earthquake ground motions." *Earthquake Spectra*, 23(2), 357–392.

Martinez-Rueda J. Scaling procedure for natural accelerograms based on a system of spectrum intensity scales. *Earthquake Spectra* 1998; 14:135 –152.

Miranda E. Site-dependent strength-reduction factors. *Journal of Structural Engineering (ASCE)* 1993; 119: 3503–3519.

Miranda, E. (1999). "Approximate seismic lateral deformation demands in multistory buildings." *J. Struct. Eng.*, 125(4), 417–425.

MOC-2008 (2009), "Manual de diseño de obras civiles. Diseño por sismo", Instituto de Investigaciones Eléctricas y Comisión Federal de Electricidad, México, noviembre.

Moehle, J. P. (1994). "Seismic drift and its role in design." *Proc., 5th U.S.–Japan Workshop on the Improvement of Building Structural Design and Construction Practices*, San Diego, 65–78.

Nassar A, Krawinkler H. Seismic Demands for SDOF and MDOF Systems. John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. 95, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, CA, 1991

Nau, J. M., Hall, W. J. (1984). "Scaling methods for earthquake response spectra." *J. Struct. Eng.*, 110(7), 1533–1548.

Retrofit of Existing Buildings" ASCE/SEI 41-13, Reston, VA.

Riddell, R. (2007). "On ground motion intensity indices." *Earthquake Spectra*, 23(1), 147–173.

Sarma SK, Yang KS. An evaluation of strong motion records and a new parameter A95. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 1987; 15:119 –132

Shome N, Cornell C, Bazzurro P, Carballo J. Earthquakes, records, and nonlinear responses. *Earthquake Spectra* 1998; 14:469 –500.



Shome, N., Cornell, C. (1998). "Normalization and scaling accelerograms for nonlinear structural analysis." Proc. of the 6th U.S. National Conf. on Earthquake Eng., Earthquake Engineering Research Institute, Seattle.

Shome, N., Cornell, C., Bazurro, P., and Carballo, J. (1998). "Earthquakes, records, and nonlinear responses." Earthquake Spectra, 14, 469–500.

Vidic, T., Fajfar, P., and Fischinger, M. (1994). "Consistent inelastic design spectra: Strength and displacement." Earthquake Eng. Struct. Dyn., 23, 507–521.

Von Thun, J. L., Roehm, L. H., Scott, G. A., and Wilson, J. A. (1988). "Earthquake ground motions for design and analysis of dams." Proc., Earthquake Engineering Soil Dynamics II—Recent Advances in Ground Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication, 20, ASCE, New York, 463–481.

Watson-Lamprey, J. A. (2007). "Selection and scaling of ground motion time series.", Ph.D. dissertation, Univ. of California, Berkeley, CA.