



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**SENSIBILIDAD DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MARCOS  
ARRIOSTRADOS CONCÉNTRICOS A MÉTODOS DE SELECCIÓN DE  
REGISTROS SÍSMICOS**

**POR**

**Rebeca Ester Aedo Sanhueza**

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción  
para optar al título profesional de Ingeniero Civil.

Profesor Guía  
Rodrigo Silva Muñoz

Profesor Supervisor  
Miguel Medalla

Abril 2025  
Concepción (Chile)

© 2025 Rebeca Ester Aedo Sanhueza

© 2025 Rebeca Ester Aedo Sanhueza

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

## DEDICATORIA

*Este trabajo se lo dedico a mi familia quienes siempre me han apoyado y han estado para mí, en especial a mi madre Magaly quien estando conmigo o a la distancia me hizo sentir esta etapa acompañada. Además, quiero hacer una mención especial para mi hermano Alonso, quien me hace ver el lado bonito de la vida, y siempre fue un apoyo para terminar esta memoria y otros proyectos que he compartido con él.*

*También se lo dedico a todas las personas con quienes coincidí en esta etapa, hicieron este periodo muy especial.*

*Por último, dedicar esta memoria a quienes me acompañan desde el cielo, a mi padre Mario y sus cuadernos de Construcción Civil que me hicieron siempre sentirlo un poco más cerca, también a mis abuelas Rebeca y Rosa a quienes siempre tengo presente y son una inspiración en cada cosa que hago.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer al profesor Rodrigo Silva, quien siempre tuvo disposición para resolver dudas y acontecimientos a lo largo de esta memoria, así como también durante el periodo académico, donde además de sus conocimientos, siempre nos compartió buenas prácticas de la ingeniería.

De igual forma agradecer al profesor Miguel Medalla, que compartió conocimientos, experiencias y mucho de su tiempo para el desarrollo de esta memoria.

Por último, agradecer a FONDECYT/11230092 que permitió el término de esta memoria, gracias a la facilitación de su equipo computacional.

## RESUMEN

Esta investigación evalúa el impacto de la selección de registros sísmicos en el diseño de estructuras industriales, comparando los espectros de peligro uniforme (UHS) donde se utiliza el espectro de referencia de la norma NCh2369 considerado como una buena representación de esta amenaza y el Espectro Medio Condicionado (CMS). La selección adecuada de registros sísmicos y una acertada modificación espectral determina la representatividad de los análisis dinámicos y la fiabilidad de los diseños estructurales. En este estudio, se emplean dos métodos de modificación espectral: el Escalamiento Espectral y el Ajuste Espectral, con el fin de analizar su influencia en la respuesta estructural bajo distintos escenarios de demanda sísmica.

La metodología de análisis se basa en generar registros sísmicos artificiales de la base de datos sísmica de Chile, los cuales se aplican a modelos de SAP2000 representativos de estructuras industriales. Se consideran tres configuraciones estructurales con distintos periodos fundamentales de vibración, con el objetivo de evaluar su respuesta ante conjuntos de 3, siete y 11 registros sísmicos. De esta forma, se evalúa la influencia del número de registros seleccionados en la dispersión de los resultados, identificando la cantidad mínima recomendada para obtener respuestas estructurales confiables.

Los resultados muestran que la selección del espectro objetivo y el método de ajuste espectral afectan significativamente la demanda estructural en términos de desplazamientos, esfuerzos internos y variabilidad en la respuesta estructural. Se observa que el uso de espectros CMS reduce la dispersión en la respuesta estructural en comparación con los espectros UHS, los cuales tienden a sobreestimar la demanda sísmica. Asimismo, el método de Ajuste Espectral proporciona un ajuste más preciso a la demanda objetivo, pero puede introducir modificaciones en la frecuencia del contenido espectral de los registros, lo que puede no representar de manera óptima la demanda sísmica en ciertos casos.

Otro aspecto relevante analizado es el impacto del número de registros empleados en la variabilidad de los resultados. Se identificó que, si bien el uso de tres registros puede ser suficiente para ciertos análisis preliminares, en otros casos resulta conservador, por lo que el empleo de siete u once registros reduce significativamente la dispersión en las respuestas estructurales, proporcionando mayor confiabilidad en el diseño sísmico.

Finalmente, se presentan recomendaciones clave para la selección de registros en diseño estructural, considerando tanto la normativa vigente como los objetivos de diseño sísmico. Se enfatiza la importancia de definir criterios adecuados para la selección del espectro objetivo y del método de ajuste espectral, así como la cantidad mínima de registros requeridos para obtener resultados confiables. Adicionalmente, se destaca la necesidad de extender el estudio a estructuras tridimensionales para incorporar parámetros como la torsión y la interacción entre diferentes direcciones de respuesta, lo que permitiría obtener una visión más integral del comportamiento estructural bajo demandas sísmicas.

## ABSTRACT

This research evaluates the impact of seismic record selection on the design of industrial structures, comparing Uniform Hazard Spectra (UHS), where the reference spectrum of the NCh2369 standard is used as a good representation of seismic threat, and the Conditional Mean Spectrum (CMS). The proper selection of seismic records and accurate spectral modification determine the representativeness of dynamic analyses and the reliability of structural designs. This study employs two spectral modification methods: Spectral Scaling and *Spectral Matching*, in order to analyze their influence on structural response under different seismic demand scenarios.

The analysis methodology is based on artificial seismic records from the Chilean seismic database, which are applied to SAP2000 models representing industrial structures. Three structural configurations with different fundamental vibration periods are considered, with the aim of evaluating their response to sets of 3, 7, and 11 seismic records. This way, the influence of the number of selected records on the dispersion of results is evaluated, identifying the minimum recommended number of records to obtain reliable structural responses.

The results show that the selection of the target spectrum and the spectral adjustment method significantly affect structural demand in terms of displacements, internal forces, and variability in structural response. It is observed that the use of CMS spectra reduces the dispersion in structural response compared to UHS spectra, which tend to overestimate seismic demand. Additionally, the *Spectral Matching* method provides a more accurate fit to the target demand but can introduce modifications in the spectral content frequency of the records, which may not optimally represent seismic demand in certain cases.

Another relevant aspect analyzed is the impact of the number of records used on the variability of results. It was identified that while using three records may be sufficient for certain preliminary analyses, in other cases it proves conservative, so the use of seven or eleven records significantly reduces dispersion in structural responses, providing greater reliability in seismic design.

Finally, key recommendations for seismic record selection in structural design are presented, considering both the current regulations and seismic design objectives. The importance of defining appropriate criteria for selecting the target spectrum and spectral adjustment method, as well as the minimum number of records required to obtain reliable results, is emphasized.

Additionally, the need to extend the study to three-dimensional structures is highlighted, to incorporate parameters such as torsion and the interaction between different response directions, which would provide a more comprehensive view of structural behavior under seismic demands."

## ÍNDICE

1.1. Motivación.....	17
1.2. Objetivo general.....	18
1.3. Objetivos específicos .....	18
1.4. Plan de trabajo .....	19
1.5. Principales resultados y conclusiones.....	19
1.6. Organización de la memoria.....	21
<b>CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES A INVESTIGAR .....</b>	<b>22</b>
2.1 Introducción.....	22
2.2. Descripción de sistema estructural .....	22
2.3. Estructuras con diagonal V invertida o Chevron.....	23
2.5. Cargas estructuras planas.....	25
2.5.1. Carga permanente (D).....	25
2.5.2. Carga viva (L).....	26
2.6. Carga sísmica (E).....	27
2.7. Conclusión.....	28
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y MODELACIÓN NO LINEAL .....</b>	<b>29</b>
3.1. Introducción.....	29
3.2. Marco arriostrado .....	29
3.3. Modelación no lineal de arriostramientos .....	30
1.4. Modelo no lineal de anclajes .....	33
3.6. Conclusiones.....	36
<b>CAPÍTULO 4: SELECCIÓN Y AJUSTE MEDIANTE ESCALAMIENTO ESPECTRAL.....</b>	<b>37</b>
4.1 Introducción.....	37
4.2 Criterios de selección de registros sísmicos .....	37
4.3. Espectro de amenaza uniforme: NCh2369:2023 .....	40
4.5. Escalamiento Espectral.....	41
4.6. Selección y ajuste de registros sísmicos con Espectro NCh2369 como espectro objetivo 44	
4.7. Selección y ajuste de registros sísmicos con Espectro CMS como espectro objetivo ....	46

---

4.8. Conclusión.....	47
CAPÍTULO 5: AJUSTE MEDIANTE SPECTRAL MATCHING .....	49
5.1. Introducción.....	49
5.2. Ajuste espectral ( <i>Spectral Matching</i> , SM) .....	49
5.3. Selección con Espectro NCh2369 como espectro objetivo .....	51
5.4. Selección con Espectro CMS como espectro objetivo .....	53
5.5. Conclusión.....	54
CAPÍTULO 6: LÍMITES PARÁMETROS DE INTERÉS .....	55
6.1. Introducción.....	55
6.2 Límites .....	55
6.2.1. Drift de entpiso .....	55
6.2.2. Deformación de diagonales .....	55
6.2.3. Pernos de anclaje .....	56
6.3. Conclusión.....	57
CAPÍTULO 7: RESPUESTA SÍSMICA DE ESTRUCTURAS MAC .....	58
7.1. Introducción.....	58
7.2. Resultados SDI .....	58
7.2.1. Espectro NCh2369:2023.....	58
7.2.2. Espectro Medio Condicionado (CMS) .....	65
7.3. Resultados SMP.....	71
7.3.1. Espectro NCh2369:2023.....	71
7.3.2. Espectro CMS .....	78
7.4. Discusión de resultados .....	84
7.4.1. Resultados SDI .....	84
7.4.2. Resultados SMP .....	91
7.3. Discusión adicional.....	97
7.3.1. Resultados SDI .....	97
7.3.2. Resultados SMP.....	101
7.4. Conclusiones.....	104

---

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES .....	106
REFERENCIAS .....	108
ANEXOS .....	111
ANEXO 1.1 AMENAZA SÍSMICA .....	111
ANEXO 1.2 SELECCIÓN Y AJUSTE DE REGISTROS SÍSMICOS ESPECTRO NCh2369:2023, 475 AÑOS .....	113
ANEXO 1.3 SELECCIÓN Y AJUSTE DE REGISTROS SÍSMICOS ESPECTRO NCh2369:2023, 975 AÑOS .....	116
ANEXO 2.1 DRIFT ESPECTRO NCh2369:2023, 475 AÑOS .....	119
ANEXO 2.2 DRIFT ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS), 475 AÑOS .....	121
ANEXO 2.3 DRIFT ESPECTRO NCh2369:2023, 975 AÑOS .....	123
ANEXO 2.4 DRIFT ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS), 975 AÑOS. ....	125
ANEXO 2.5 RESULTADOS <i>Drift</i> DE ENTREPISO ESPECTRO NCh2369:2023 PARA 3,siete y 11 REGISTROS, 475 AÑOS. ....	127
ANEXO 2.6 RESULTADOS <i>Drift</i> DE ENTREPISO ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS) PARA 3,siete y 11 REGISTROS, 475 AÑOS .....	133
ANEXO 2.7 RESULTADOS <i>Drift</i> DE ENTREPISO ESPECTRO NCh2369:2023 PARA 3,siete y 11 REGISTROS, 975 AÑOS .....	139
ANEXO 2.8 RESULTADOS <i>Drift</i> DE ENTREPISO ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS) PARA 3,7 Y 11 REGISTROS, 975 AÑOS .....	145
ANEXO 3.1 RESULTADOS DEFORMACIÓN NORMALIZADA DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN PARA ARRIOSTRAMIENTOS DEL PRIMER NIVEL ESPECTRO NCh2369:2023, 475 AÑOS .....	151
ANEXO 3.2 RESULTADOS DEFORMACIÓN NORMALIZADA DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN PARA ARRIOSTRAMIENTOS DEL PRIMER NIVEL ESPECTRO NCh2369:2023, 975 AÑOS .....	157
ANEXO 3.3 RESULTADOS DEFORMACIÓN NORMALIZADA DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN PARA ARRIOSTRAMIENTOS DEL PRIMER NIVEL ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS), 475 AÑOS .....	163
ANEXO 3.4 RESULTADOS DEFORMACIÓN NORMALIZADA DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN PARA ARRIOSTRAMIENTOS DEL PRIMER NIVEL ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS), 975 AÑOS .....	169
ANEXO 4.1 RESULTADOS ELONGACIÓN PERNOS DE ANCLAJE ESPECTRO NCh2369:2023, 475 AÑOS .....	175
ANEXO 4.2 RESULTADOS ELONGACIÓN PERNOS DE ANCLAJE ESPECTRO NCh2369:2023, 975 AÑOS .....	178
ANEXO 4.3 RESULTADOS ELONGACIÓN PERNOS DE ANCLAJE ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS), 475 AÑOS .....	181
ANEXO 4.4 RESULTADOS ELONGACIÓN PERNOS DE ANCLAJE ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS), 975 AÑOS .....	184

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.- Valor de parámetros asociados a suelo tipo C estructuras planas, según norma NCh2369:2023. ....	27
Tabla 5.1.- Factores de ajuste caso tres registros sísmicos – Modelo 1, Espectro NCh2369:2023. ....	50
Tabla 6.1.- Límite deformación de diagonales para sismo SDI y SMP. ....	56
Tabla 6.2.- Límite elongación de pernos de anclaje para sismo SDI y SMP. ....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Modelo estructural de 2 niveles, $T = 0.20$ s. ....	23
Figura 1.2.- Modelo estructural de 6 niveles, $T = 0.43$ s. ....	23
Figura 1.3.- Modelo estructural de 9 niveles, $T = 0.61$ s. ....	24
Figura 1.4.- Vista en planta a) nivel típico y b) último nivel. ....	24
Figura 2.1.- Carga aplicada del equipo (Tonf/m). ....	25
Figura 2.2.- Carga aplicada de plataforma (Tonf/m y Tonf). ....	25
Figura 2.3.- Carga aplicada de grating (Tonf/m y Tonf). ....	26
Figura 2.4.- Carga viva aplicada (Tonf/m y Ton). ....	26
Figura 3.1.- Curva monótonica paramétrica fuerza-deformación para arriostramientos. Fuente: Urzúa (2015). ....	30
Figura 3.2.- Curva histerética para el modelo de pivote. Fuente: Urzúa (2015). ....	31
Figura 3.3. Parámetros de elementos <i>Link</i> para arriostramientos en software (tonf y cm). ....	33
Figura 3.5.- Curva de capacidad para pernos de anclaje. Fuente: Urzúa (2015). ....	34
Figura 3.6.- Parámetros de elementos <i>Link</i> para pernos de anclaje en software (tonf y cm). ...	35
Figura 3.7.- Parámetros de elementos <i>Gap</i> para pedestal en software (tonf y cm). ....	36
Figura 4.1.- Selección y ajuste de tres registros según Espectro de Referencia NCh2369:2023 – Modelo 1, SDI. ....	44
Figura 4.2.- Selección y ajuste de 7 registros según Espectro de Referencia NCh2369:2023 – Modelo 1, SDI. ....	45
Figura 4.3.- Selección y ajuste de 11 registros según Espectro de Referencia NCh2369:2023 – Modelo 1, SDI. ....	45
Figura 4.4.- Selección y ajuste de registro 1 de 3, según Espectro de Referencia CMS – Modelo 1, SDI. ....	46
Figura 4.5.- Selección y ajuste de registro 2 de 3, según Espectro de Referencia CMS – Modelo 1, SDI. ....	47
Figura 4.6.- Selección y ajuste de registro 3 de 3, según Espectro de Referencia CMS – Modelo 1, SDI. ....	47
Figura 5.1.- Herramienta <i>Matched to Response Spectrum</i> del software SAP2000. ....	51
Figura 5.2.- Resultado Ajuste Espectral registro 1 de 3 - Modelo 1 según Espectro de Referencia NCh2369:2023, SDI. ....	52
Figura 5.3.- Resultado Ajuste Espectral registro 2 de 3 - Modelo 1 según Espectro de Referencia NCh2369:2023, SDI. ....	52
Figura 5.4.- Resultado Ajuste Espectral registro 3 de 3 - Modelo 1 según Espectro de Referencia NCh2369:2023, SDI. ....	52

Figura 5.5.- Resultado Ajuste Espectral registro 1 de 3 - Modelo 1 según Espectro de Referencia CMS, SDI. ....	53
Figura 5.6.- Resultado Ajuste Espectral registro 2 de 3 - Modelo 1 según Espectro de Referencia CMS, SDI. ....	53
Figura 5.7.- Resultado Ajuste Espectral registro 3 de 3 - Modelo 1 según Espectro de Referencia CMS, SDI. ....	54
Figura 7.1.- Drift de entrepiso Espectro vs Límite Espectro NCh2369:2023, método Escalamiento espectral. ....	59
Figura 7.2.- Deformación diagonales en tracción, método Escalamiento espectral – Espectro NCh2369:2023. ....	60
Figura 7.3.- Deformación diagonales en compresión, método Escalamiento espectral – Espectro NCh2369:2023. ....	60
Figura 7.4.- Elongación pernos de anclaje método Escalamiento espectral – Espectro NCh2369:2023. ....	61
Figura 7.5.- Drift de entrepiso método Ajuste Espectral - Espectro NCh2369:2023. ....	62
Figura 7.6.- Deformación diagonales en tracción, método Ajuste espectral – Espectro NCh2369:2023. ....	63
Figura 7.7.- Deformación diagonales en compresión, método Ajuste espectral – Espectro NCh2369:2023. ....	63
Figura 7.8.- Elongación pernos de anclaje método Ajuste espectral – Espectro NCh2369:2023. ....	64
Figura 7.9.- Drift de entrepiso método Escalamiento Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	65
Figura 7.10.- Deformación diagonales en tracción, método Escalamiento espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	66
Figura 7.11.- Deformación diagonales en compresión, método Escalamiento espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	66
Figura 7.12.- Elongación pernos de anclaje método Escalamiento Espectral - Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	67
Figura 7.13.- Drift de entrepiso método Ajuste Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	68
Figura 7.14.- Deformación diagonales en tracción, método Ajuste Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	69
Figura 7.15.- Deformación diagonales en compresión, método Ajuste Espectral - Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	69
Figura 7.16.- Elongación pernos de anclaje, método Ajuste espectral - Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	70
Figura 7.17.- Drift de entrepiso método Escalamiento Espectral – Espectro NCh2369:2023. ....	71
Figura 7.18.- Deformación diagonales en tracción, método Escalamiento Espectral – Espectro NCh2369:2023. ....	72

Figura 7.19.- Deformación diagonales en compresión, método Escalamiento Espectral – Espectro NCh2369:2023. ....	73
Figura 7.20.- Elongación pernos de anclaje, método Escalamiento Espectral - Espectro NCh2369:2023. ....	74
Figura 7.21.- Drift de entrepiso método Ajuste Espectral – Espectro NCh2369:2023. ....	75
Figura 7.22.- Deformación diagonales en tracción, método Ajuste Espectral – Espectro NCh2369:2023. ....	76
Figura 7.23.- Deformación diagonales en compresión, método Ajuste Espectral – Espectro NCh2369:2023. ....	76
Figura 7.24.- Elongación pernos de anclaje, método Ajuste Espectral - Espectro NCh2369:2023. ....	77
Figura 7.25.- Drift de entrepiso método Escalamiento Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	78
Figura 7.26.- Deformación diagonales en tracción, método Escalamiento Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	79
Figura 7.27.- Deformación diagonales en compresión, método Escalamiento Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	79
Figura 7.28.- Elongación pernos de anclaje, método Escalamiento Espectral - Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	80
Figura 7.29.- Drift de entrepiso método Ajuste Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	81
Figura 7.30.- Deformación diagonales en tracción, método Ajuste espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	82
Figura 7.31.- Deformación diagonales en compresión, método Ajuste espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS). ....	82
Figura 7.32.- Elongación pernos de anclaje, método Ajuste Espectral - Espectro Medio Condicionado (CMS).....	83
Figura 7.33.- Comparación drift de entrepiso, Espectro NCh2369:2023 vs CMS – SDI. ....	84
Figura 7.34.- Comparación de deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SDI. ....	85
Figura 7.35.- Comparación de deformaciones normalizadas compresión para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SDI. ....	86
Figura 7.36.- Comparación elongación de pernos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SDI. ....	87
Figura 7.37.- Comparación drift de entrepiso, Espectro NCh2369:2023 vs CMS – SDI. ....	88
Figura 7.38.- Comparación de deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SDI. ....	89
Figura 7.39.- Comparación de deformaciones normalizadas compresión para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS – SDI. ....	89

Figura 7.40.- Comparación elongación de pernos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SDI. ....	90
Figura 7.41.- Comparación drift de entrepiso, Espectro NCh2369:2023 vs CMS – SMP. ....	91
Figura 7.42.- Comparación de deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SMP. ....	92
Figura 7.43.- Comparación de deformaciones normalizadas compresión para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SMP. ....	92
Figura 7.44.- Comparación elongación de pernos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SMP. .	93
Figura 7.45.- Comparación drift de entrepiso, Espectro NCh2369:2023 vs CMS – SMP. ....	94
Figura 7.46.- Comparación de deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SMP. ....	95
Figura 7.47.- Comparación de deformaciones normalizadas compresión para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SMP. ....	95
Figura 7.49.- Comparación drift de entrepiso de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS. ....	97
Figura 7.50.- Comparación de deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS. ....	98
Figura 7.51.- Comparación de deformaciones normalizadas compresión para arriostramientos del primer nivel de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS. ....	99
Figura 7.52.- Comparación elongación de pernos de anclaje de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS. ....	100
Figura 7.53.- Comparación drift de entrepiso de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS. ....	101
Figura 7.54.- Comparación de deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS. ....	102
Figura 7.55.- Comparación de deformaciones normalizadas compresión para arriostramientos del primer nivel de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS. ....	102
Figura 7.56.- Comparación elongación de pernos de anclaje de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS. ....	103

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Motivación

Nuestro país, ubicado en una de las zonas sísmicas más activas, enfrenta de manera constante el desafío de diseñar estructuras que además de seguridad, mantengan su funcionalidad tras eventos sísmicos. En el caso particular de las estructuras industriales, el diseño está regulado por la norma NCh2369, cuyo objetivo principal es resguardar la vida humana y asegurar la continuidad operativa de las instalaciones frente a movimientos sísmicos de distinta magnitud.

El año 2023 se publica una nueva versión de esta norma donde propone el uso de análisis especiales como una metodología alternativa a los procedimientos básicos para el diseño, y además incluye las restricciones para aplicar cada método.

De acuerdo con lo anterior, esta memoria tiene por objetivo aplicar análisis especiales para analizar la sensibilidad de la respuesta sísmica esperada de estructuras industriales de marcos de acero arriostrados concéntricamente sometidos a demandas sísmicas y/o registros sísmicos modificados mediante métodos de ajuste espectral respecto a un espectro objetivo definido, según lo que indica la norma NCh2369. Los espectros objetivos se utilizan para definir niveles de intensidad sísmica que permita seleccionar objetivos de desempeño. En esta memoria se estudiaron dos tipos de espectros objetivos, los Espectros de Amenaza Uniforme (UHS por sus siglas en inglés) y el Espectro de Media Condicionada (CMS por sus siglas en inglés).

El análisis comparativo entre los espectros CMS y UHS es relevante, dado que la selección de uno u otro espectro permite comparar respuestas asociadas a diferentes métodos propuestos por la norma NCh2369:2023. El espectro UHS combina las demandas máximas posibles para múltiples escenarios sísmicos y puede resultar conservador o en una sobredemanda, mientras que el CMS está condicionado a un escenario sísmico específico, lo que lo hace más realista y menos conservador para ciertos períodos. Comparar ambos enfoques permite evaluar cómo las demandas sísmicas en distintos períodos repercuten en el diseño, y de esta forma comprender que representación de la amenaza sísmica es más adecuada según sea la estructura.

Para aplicar la modificación de registros sísmicos, la norma NCh2369 establece los métodos permitidos para la coincidencia espectral, entre estos métodos se encuentran: Escalamiento

Espectral y el Ajuste Espectral (*Spectral Matching*), técnicas utilizadas para modificar los registros sísmicos de modo que sean compatibles con los espectros objetivo.

Si bien se han realizado investigaciones sobre el impacto de la modificación espectral en la respuesta estructural, estos trabajos se han enfocado en la evaluación del colapso estructural. Un ejemplo es la tesis doctoral de Seifried en Stanford (Seifried, 2013), donde se investigó cómo la modificación de registros mediante *Spectral Matching* puede generar sesgos en la estimación de la capacidad de colapso. En su estudio, se observó que la alteración de los registros puede influir en la respuesta estructural y afectar la predicción de la resistencia final de una edificación. Sin embargo, este enfoque se centra en el colapso y no en la etapa de diseño. A diferencia de estos estudios, la presente investigación se enfoca en la etapa de diseño y en la aplicación práctica de la norma NCh2369, evaluando cómo los distintos métodos de selección y ajuste espectral afectan la estimación de demanda sísmica y la respuesta de marcos arriostrados en edificaciones industriales.

En esta memoria se trabajó con registros sísmicos artificiales creados a partir de la base de datos de registros sísmicos de Chile, y la motivación de la investigación radica en determinar el impacto de la selección de registros según los métodos de ajuste espectral propuestos por la norma NCh2369:2023 y comprender cómo la elección de uno u otro método de ajuste de demanda sísmica impacta en el diseño de estructuras industriales, con el fin de realizar recomendaciones para el diseño de estructuras según sus características.

## **1.2. Objetivo general**

Evaluar el comportamiento esperado de estructuras industriales sometidas a demandas sísmicas resultantes de aplicar diferentes métodos de selección de registros.

## **1.3. Objetivos específicos**

- a) Evaluar las diferencias en la respuesta estructural de edificios industriales considerando espectros objetivo tipo UHS y CMS, utilizando registros sísmicos artificiales.

- b) Evaluar las diferencias en la respuesta de estructuras industriales considerando el método de Escalamiento Espectral y el método de Ajuste Espectral.
- c) Proponer recomendaciones para mejorar la selección de registros sísmicos y la coincidencia espectral en el contexto del diseño de estructuras industriales sismorresistentes.

#### 1.4. Plan de trabajo

- En la primera etapa se definen los modelos a estudiar y la base de datos de registros horizontales y verticales, los que deben tener magnitudes, distancias a la falla, fuentes del mecanismo del sismo y tipos de suelo consistentes con el espectro objetivo.
- En la segunda etapa, se definen los registros y/o demanda a aplicar, creados mediante escalamiento espectral y ajuste espectral de acuerdo a un espectro objetivo definido, asegurando de cumplir los requisitos de los códigos de diseño.
- En la tercera etapa, se aplica un análisis de respuesta no lineal a las estructuras en estudio, donde se evaluó en detalle el comportamiento de arriostramientos, pernos de anclaje y drift de entrepiso, considerando Sismo a Nivel de Diseño (SDI) y Máximo Sismo Probable (SMP).
- En la cuarta etapa se evalúa el comportamiento estructural, mediante comparaciones con los límites establecidos en los códigos y normas de diseño.
- Finalmente, se comparan las respuestas de considerar diferentes números de registros y distinto espectro objetivo definido, según cierto método de ajuste espectral, con el objetivo de determinar conclusiones y comentarios para el diseño no lineal.

#### 1.5. Principales resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos permiten comparar la sensibilidad de la estructura ante registros modificados según espectros objetivos definidos, como el espectro de la norma NCh2369:2023 y el Espectro Medio Condicionado (CMS), y evaluar la influencia de los métodos de ajuste espectral, como Escalamiento Espectral y Ajuste Espectral (*Spectral Matching*).

En cuanto a la comparación entre el espectro NCh2369:2023 y el CMS, se observa que el espectro NCh2369:2023 genera mayores desplazamientos de entrepiso, lo que implica una mayor demanda estructural bajo el espectro normativo. Además, las deformaciones en los arriostramientos tienden a superar los límites normativos con mayor frecuencia cuando se utiliza el espectro NCh2369:2023 en comparación con el CMS. En lo que respecta a la elongación de los pernos de anclaje, el CMS muestra valores más moderados, mientras que el espectro NCh2369:2023 puede generar resultados más críticos, en algunos casos excediendo los límites normativos establecidos.

Respecto a los métodos de ajuste espectral, el Escalamiento Espectral genera una mayor variabilidad en los desplazamientos de entrepiso, con algunos valores que superan los límites normativos. Por otro lado, el Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) reduce la dispersión y ajusta mejor la respuesta de la estructura al espectro objetivo. En términos de arriostramientos, el Ajuste Espectral produce deformaciones más controladas, especialmente en estructuras con periodos más largos. En cuanto a la elongación de los pernos de anclaje, el Ajuste Espectral mantiene los valores más cercanos a los límites establecidos, mientras que el Escalamiento Espectral muestra una mayor dispersión, con algunos valores que superan los límites.

El Ajuste Espectral mejora la precisión de la respuesta estructural, aunque modifica el contenido de frecuencia de los registros originales. Sin embargo, la reducción de la dispersión podría no reflejar con precisión la variabilidad de los sismos en eventos sísmicos reales, ya que la dispersión de los registros es un aspecto importante en la incertidumbre del análisis sísmico.

En conclusión, el uso del CMS combinado con el Ajuste Espectral es una alternativa que reduce la respuesta estructural, pero se identificaron casos donde ciertos parámetros tienen mayor dispersión, lo que sugiere la necesidad de un análisis más detallado en estructuras con comportamiento no lineal.

## 1.6. Organización de la memoria

A continuación, se presenta una breve descripción de los capítulos a analizar en la presente memoria.

En el capítulo 2 se realiza una descripción del sistema estructural a investigar, donde se indican los parámetros de modelación de acuerdo con lo documentado en la memoria de título de referencia. (Sáez, 2023).

En el capítulo 3 se procede con el análisis y modelación de marcos arriostrados, que considera el comportamiento no lineal de arriostramientos y pernos de anclaje.

En el capítulo 4 se aborda la selección de registros sísmicos realizada según los criterios establecidos en la norma NCh2369:2023.

En el capítulo 5 se presentan los métodos de ajuste espectral utilizados, donde se mencionan los criterios y recomendaciones para la aplicación de estos según lo mencionado por la norma NCh2369:2023.

En el capítulo 6 se indican los límites de los parámetros evaluados que corresponden a drift entrepiso, deformación de diagonales y elongación de pernos de anclaje, según las consideraciones de la norma NCh2369:2023 y el código ASCE 41-17.

En el capítulo 7 se presentan los resultados de cada espectro obtenidos para los dos niveles de amenaza, los cuales se comparan y discuten, entre ellos y su respectivo límite.

En el capítulo 8 se mencionan conclusiones y comentarios respecto al análisis no lineal realizado en los modelos con periodo entre 0.20 y 0.61 segundos. Además, se sugieren recomendaciones y consideraciones para extender la línea de investigación.

## **CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES A INVESTIGAR**

### **2.1 Introducción**

En este capítulo se presentan los aspectos generales de las estructuras planas analizadas en el programa SAP2000, tales como su configuración geométrica y características de algunos elementos. El diseño y evaluación del comportamiento se realizó según parámetros de modelación y criterios de aceptación de ASCE41-17, de acuerdo con lo documentado en la memoria de Sáez (Sáez, 2023).

### **2.2. Descripción de sistema estructural**

Se estudian modelos arriostrados de marcos planos, los que se definen como sistemas estructurales que combinan la rigidez de los marcos con la resistencia proporcionada por los elementos diagonales.

Existen diferentes tipos de marcos arriostrados, uno de estos se identifica como Marcos Arriostrados Concéntricamente (MAC), los cuales corresponden a sistemas estructurales en los cuales los elementos de arriostamiento se conectan directamente en los nodos de unión entre vigas y columnas, sin desplazamientos o excentricidades. Esto significa que tanto las vigas, columnas y arriostamientos convergen en un mismo punto o nodo, permitiendo una transferencia directa de fuerzas. El estándar de la norma espera que ante eventos sísmicos estas estructuras incurrieren en rango inelástico de forma moderada, donde sus arriostamientos tengan la capacidad de disipar energía mediante la fluencia por tracción y/o pandeo por compresión, permitiendo la pronta puesta en marcha o incluso evitar detenciones.

Dentro de las configuraciones comunes, existen los arriostamientos con elementos con V invertida o Chevron los cuales fueron analizados en esta memoria.

### 2.3. Estructuras con diagonal V invertida o Chevron

El análisis comprende tres modelos de estructuras planas de 6, 18 y 27 m de altura, las que representan el marco intermedio de una estructura simétrica y arriostrada en ambos sentidos, que además posee un equipo ubicado sobre los 4 vanos centrales del último nivel, las estructuras descritas se presentan en las Figuras 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4. Estructuralmente consisten en seis marcos longitudinales, con columnas dispuestas cada 6 metros y alturas entre niveles de 3 metros, para el diseño y modelación los perfiles utilizados fueron IN y HN para vigas y columnas respectivamente, con calidad de acero ASTM A36 ( $F_y = 248 \text{ MPa}$ ,  $F_u = 400 \text{ MPa}$ ). En cuanto a la configuración de los arriostramientos, dos de los vanos de cada estructura cuentan con elementos diagonales tipo Chevron, formados por elementos tubulares tipo *Pipe* con calidad de acero ASTM A572 Gr.50 ( $F_y = 345 \text{ MPa}$ ,  $F_u = 448 \text{ MPa}$ ).

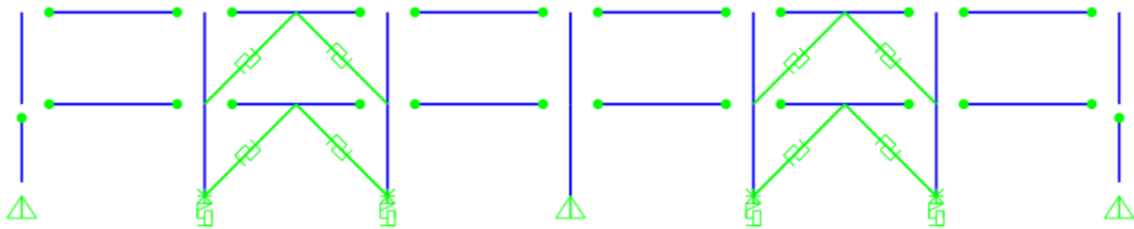


Figura 1.1.- Modelo estructural de 2 niveles,  $T = 0.20 \text{ s}$ .

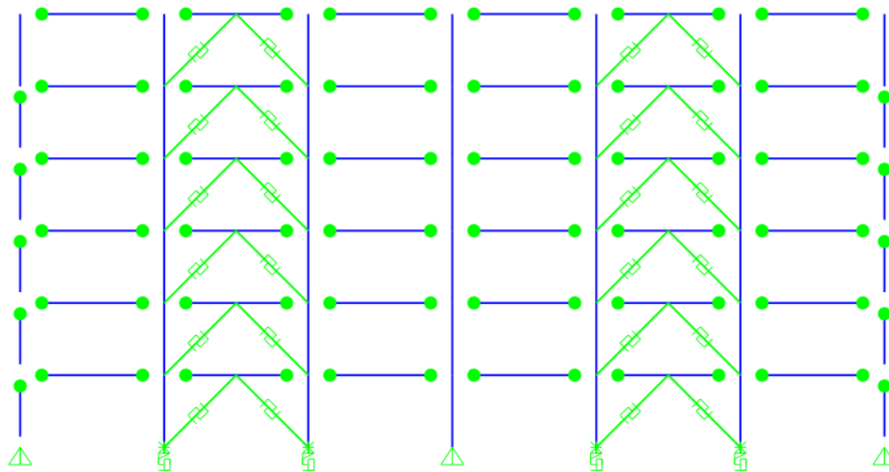
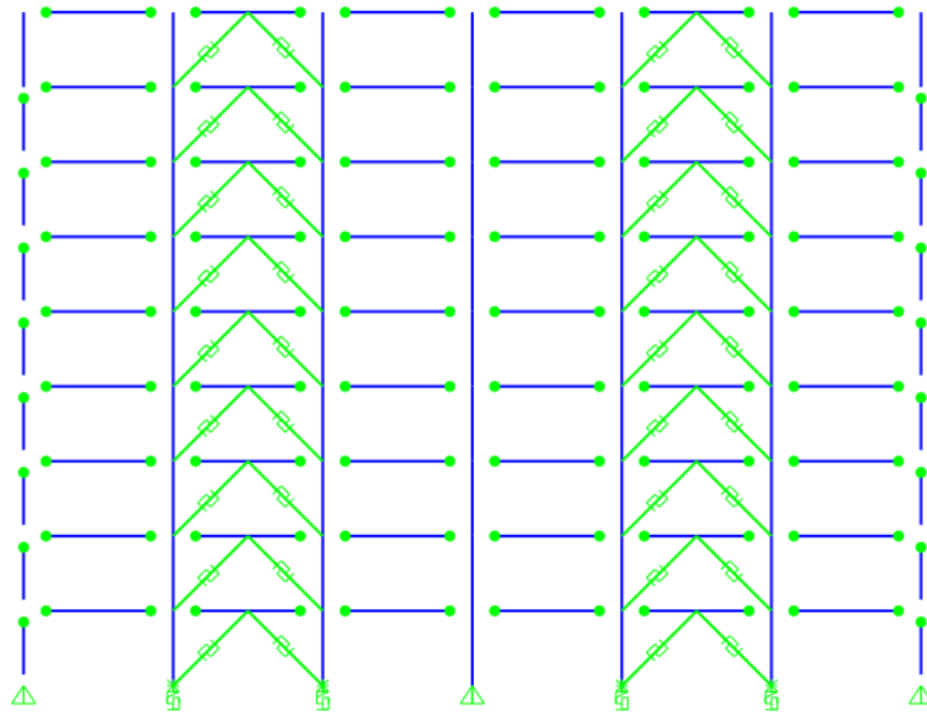
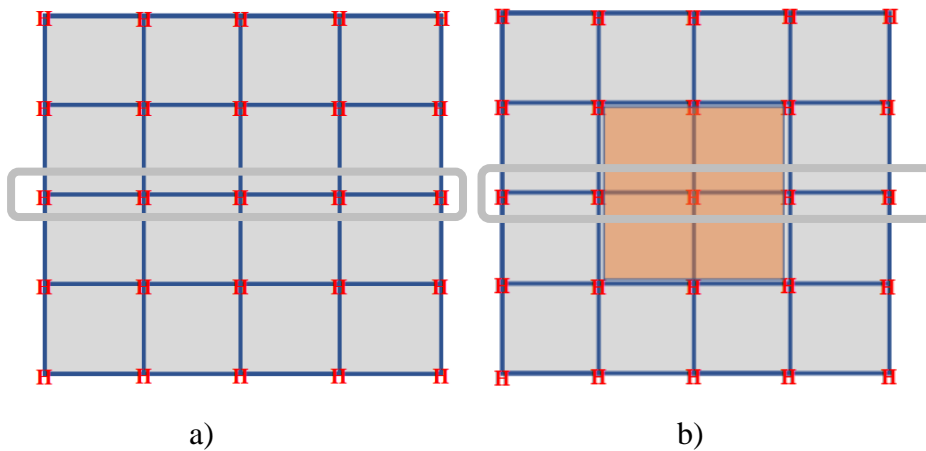


Figura 1.2.- Modelo estructural de 6 niveles,  $T = 0.43 \text{ s}$ .



**Figura 1.3.- Modelo estructural de 9 niveles,  $T = 0.61$  s.**



**Figura 1.4.- Vista en planta a) nivel típico y b) último nivel.**

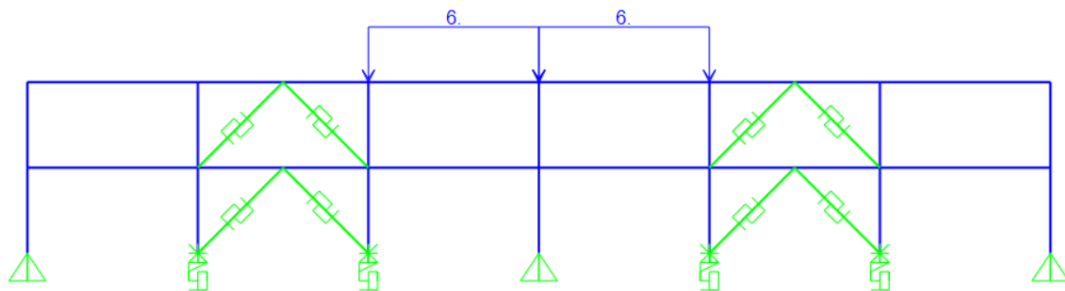
Las vigas y diagonales se modelan con rótulas en sus extremos, lo que permite simular un comportamiento de conexiones articuladas, concentrando la deformación en estos puntos específicos. Los apoyos de las columnas están modelados como rotulados (apoyos fijos) y adicionalmente se especifican los marcos extremos como marco gravitacional, los cuales, no aportan rigidez lateral, pero sí transfieren cargas gravitacionales al sistema principal.

## 2.5. Cargas estructuras planas

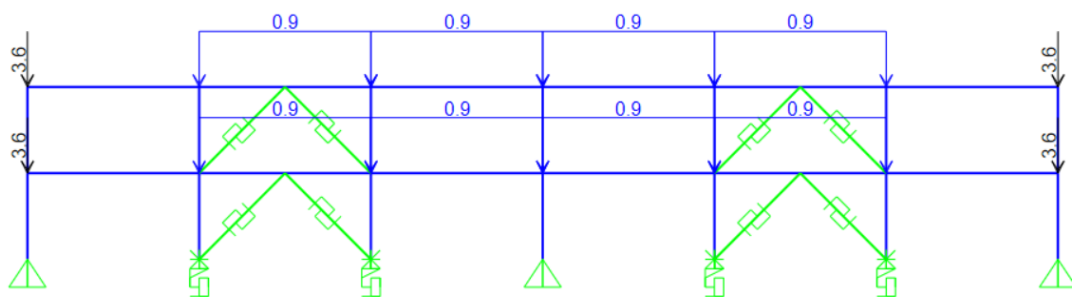
### 2.5.1. Carga permanente (D)

Las cargas permanentes corresponden a carga de equipo ( $D_{eq}$ ), plataforma ( $D_{pl}$ ) y carga de grating ( $D_{grt}$ ). El modelo considera que el peso propio perfiles aumenta en 20% con el fin de contemplar las conexiones, lo que se define como  $D_{sw}$  (calculado por el programa).

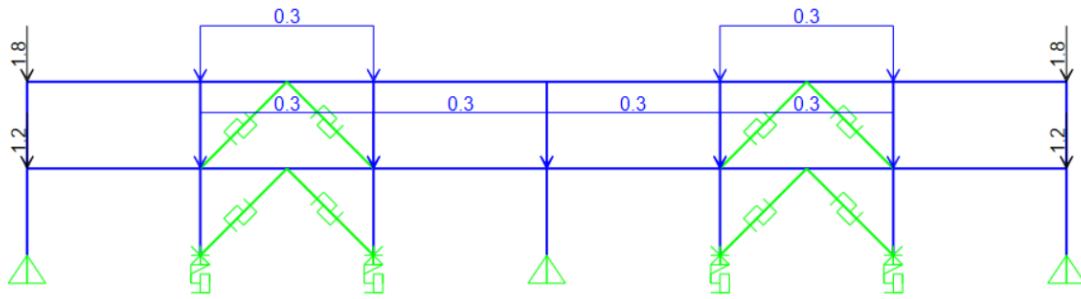
El peso debido a la carga de equipo ( $D_{eq}$ ), comprende valores entre 500 [kgf/m<sup>2</sup>] a 1000 kgf/m<sup>2</sup>, el cual puede ser variable dentro del rango. La carga debida a la plataforma ( $D_{pl}$ ) toma valores de 100 [kgf/m<sup>2</sup>], 150 [kgf/m<sup>2</sup>] o 200 [kgf/m<sup>2</sup>]. La carga asociada al grating ( $D_{grt}$ ) es igual a 50 [kgf/m<sup>2</sup>], la cual no se aplica en los marcos centrales de la estructura dada la consideración del equipo. A continuación, en las Figuras 2.1, 2.2 y 2.3 se presenta la carga muerta descrita, aplicada sobre la estructura de dos niveles ubicada en Suelo tipo C en zona sísmica III ( $T=0.20$  segundos).



**Figura 2.1.- Carga aplicada del equipo (Tonf/m).**



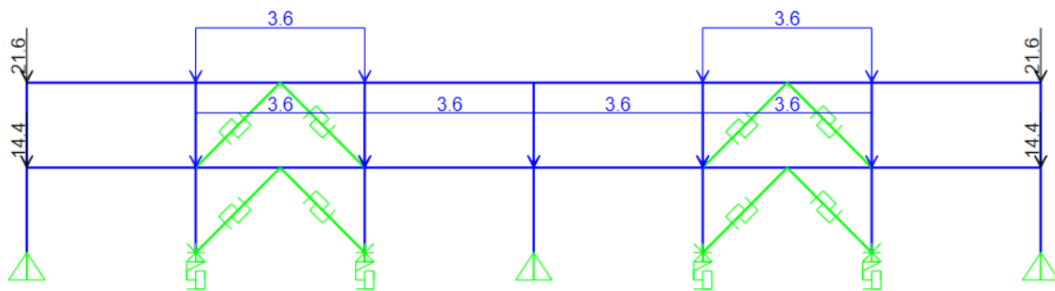
**Figura 2.2.- Carga aplicada de plataforma (Tonf/m y Tonf).**



**Figura 2.3.- Carga aplicada de grating (Tonf/m y Tonf).**

### 2.5.2. Carga viva (L)

Los valores de sobrecarga aplicados en los modelos toman valores de 400 [kgf/m<sup>2</sup>], 500 [kgf/m<sup>2</sup>] y 600 [kgf/m<sup>2</sup>], y estos no son aplicadas en el último nivel. En la Figura 2.4 se presenta la carga viva aplicada sobre la estructura de 2 niveles.



**Figura 2.4.- Carga viva aplicada (Tonf/m y Ton).**

## 2.6. Carga sísmica (E)

De acuerdo con la evaluación sísmica de la normativa chilena NCh2369:2023, cada estructura modelo plano analizado se encuentra en una zona sísmica definida según la Tabla 2.1 de la norma mencionada, definida como zona sísmica 3 con una aceleración efectiva máxima ( $A_0$ ) de 0.40g. Dentro de los estándares de la norma nacional se establecen criterios específicos para el diseño sísmico de estructuras industriales, donde los factores R e I son dos parámetros fundamentales en esta clasificación. El factor R, conocido como factor de reducción sísmica, corresponde a  $R = 5$ . Este valor se permite si el sistema estructural posee gran capacidad para disipar energía ante movimientos sísmicos intensos. El valor es común en sistemas estructurales diseñados para tolerar deformaciones inelásticas importantes sin que colapsen en un sismo severo.

Por otro lado, el factor de importancia I clasifica que tan crítica es una estructura ante un evento sísmico. En el diseño estructural se asumió  $I = 1$ , lo cual considera que la estructura tiene un nivel de importancia estándar, por lo cual no requiere un aumento adicional en su capacidad de resistencia sísmica. Este valor es adecuado para estructuras industriales convencionales en las que un posible daño no implica un alto riesgo para la seguridad pública, el ambiente o la continuidad de operaciones críticas. En términos de diseño,  $I = 1$  asegura que se cumple con los requerimientos sísmicos necesarios para su función, pero sin sobreestimar la importancia del elemento estructural.

Parámetro	Nomenclatura	Valor
Zona Sísmica	-	III
Tipo de Suelo	-	C
Factor de Mod. De Respuesta	R	5
Factor de Importancia	I	1.0
Parámetros Relativos al Tipo de Suelo	S	1.05
	$T_0$ [s]	0.40
	p	1.50
	$T1$ [s]	0.35

**Tabla 2.1.- Valor de parámetros asociados a suelo tipo C estructuras planas, según norma NCh2369:2023.**

## **2.7. Conclusión**

En este capítulo se describieron los sistemas estructurales analizados, definidos como Marcos Arriostrados Concéntricos (MAC) los que poseen diagonales Chevrón o V invertida en cada piso. Se mencionan las características de los tres modelos considerados de dos, seis y nueve niveles, correspondientes al marco intermedio de una estructura simétrica y arriostrada en ambos sentidos. Además, se define la distribución de cargas en cada estructura, acorde a un edificio industrial.

## CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y MODELACIÓN NO LINEAL

### 3.1. Introducción

Este capítulo aborda el análisis y modelación no lineal de marcos arriostrados, considerando el comportamiento no lineal de arriostramientos y pernos de anclaje bajo cargas cíclicas. Se describen los enfoques empleados para representar su comportamiento, considerando efectos como la disipación de energía y la degradación de rigidez. Además, se especifican los parámetros utilizados en el análisis en el dominio del tiempo realizado mediante Integración Directa. Esta modelación permite evaluar con mayor precisión el desempeño estructural y su respuesta ante sollicitaciones sísmicas

### 3.2. Marco arriostrado

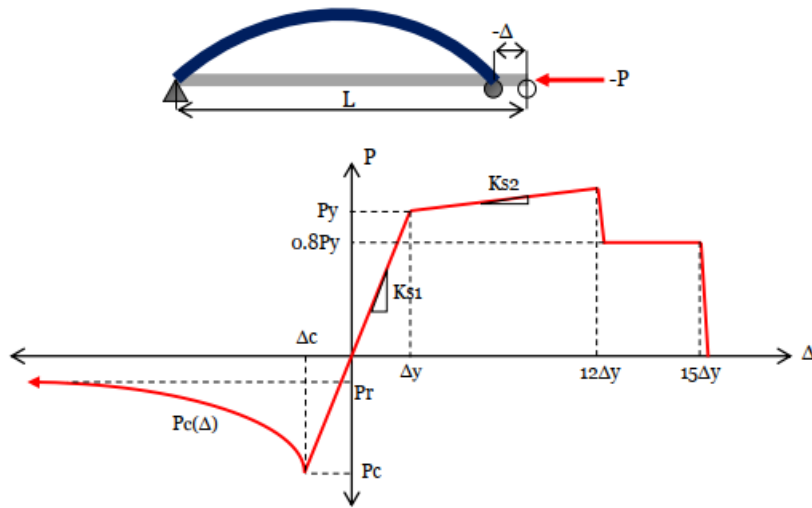
Para evaluar el comportamiento no lineal de los modelos de marco arriostrado, se lleva a cabo un análisis no lineal en el dominio del tiempo (THNL) mediante Integración Directa. De acuerdo con las especificaciones de análisis especiales establecidas en la norma NCh2369:2023, se emplea un coeficiente de amortiguamiento asociado al tipo de suelo donde se ubican las estructuras siendo  $\xi=0,03$  para suelo tipo C. Asimismo, se utilizan las siguientes condiciones de borde implementadas en el programa SAP2000:

- Tipo de análisis: Time History
- Tipo de solución: Direct Integration
- No linealidad geométrica: P-delta considerando grandes deformaciones
- Algoritmo de integración:  $\gamma = 0.5$ ,  $\beta = 0.25$ ,  $\alpha = 0$
- Tolerancia de convergencia:  $10^{-4}$

La modelación no lineal se enfoca en los elementos fusibles principales, específicamente en los arriostramientos verticales y los pernos de anclaje.

### 3.3. Modelación no lineal de arriostramientos

En el modelo los arriostramientos verticales se definen como elemento tipo *Link Multilinear Plastic* (MLP), esto permite considerar el comportamiento histerético del elemento y que obedece a una curva monótonica fuerza - deformación, consistente con los principios de la mecánica de materiales. Se utilizan perfiles tubulares tipo *Pipe* para los elementos diagonales, su comportamiento se describe de acuerdo con los ensayos de Black, Wenger y Popov (Black et al, 1980), donde se define un comportamiento lineal y elástico en compresión, hasta alcanzar el pandeo elástico, para luego modelar la transición de pandeo a la carga residual como un decaimiento exponencial, como se muestra en la Figura 3.1.



**Figura 3.1.- Curva monótonica paramétrica fuerza-deformación para arriostramientos.**

Fuente: Urzúa (2015).

Los parámetros relevantes de la curva monótonica son:

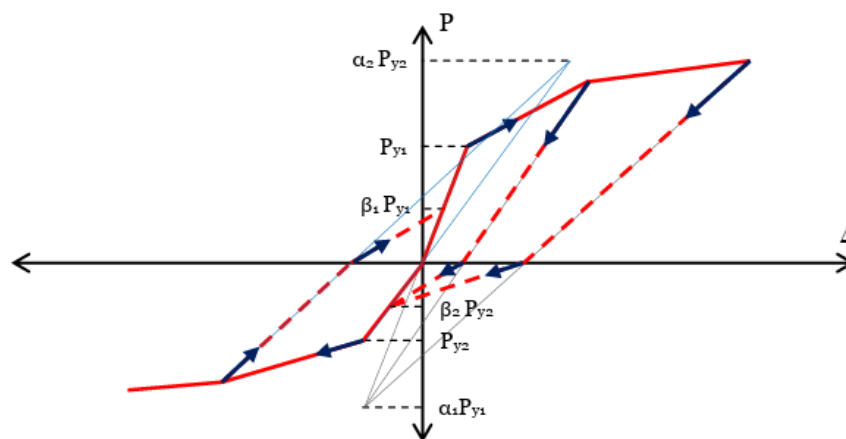
$P_c(\Delta)$  : Fuerza post pandeo, donde  $n$  se obtiene de la calibración de los modelos no lineales, para sección tubular  $n=0.6$ .

$$P_c(\Delta) = \min \left\{ P_r, P_c \left( \frac{\Delta_c}{\Delta} \right)^n \right\}$$

$P_r$  : Fuerza residual,  $P_r = 0.2 P_c$

- $P_c$  : Fuerza de pandeo inelástico,  $P_c = F_{cre} A_g$ , según capítulo E del NCh427/1:2016, considerando la tensión de fluencia esperada del material.
- $P_y$  : Fuerza esperada de fluencia,  $P_y = F_{ye} A_g$
- $P_u$  : Fuerza esperada de rotura,  $P_u = F_{ue} A_g$
- $\Delta_c$  : Deformación de pandeo,  $\Delta_c = P_c / K_{s1}$
- $\Delta_y$  : Deformación de fluencia,  $\Delta_y = P_y / K_{s1}$
- $K_{s1}$  : Rigidez axial elástica del arriostramiento,  $K_{s1} = E_s A_g / L_e$
- $K_{s2}$  : Rigidez axial post fluencia del arriostramiento,  $K_{s2} = (P_u - P_y) A_g / (\Delta_u - \Delta_y)$
- $L_e$  : Largo efectivo del arriostramiento, definido como largo total menos la distancia de la conexión, la cual se detalla en el ANEXO F de la memoria de referencia (Sáez, 2023).
- $K$  : Factor de longitud efectiva, que se considera igual a 1.0 para arriostramientos individuales y 0.5 para diagonales que se cruzan en su punto medio.

La degradación histerética de la resistencia y rigidez se representa mediante un modelo pivote (Dowell et al, 1998) como se muestra en la figura 3.2. Este modelo, se encuentra incorporado en el *software* SAP2000 y permite ajustar parámetros que simulan el comportamiento no lineal del arriostramiento.



**Figura 3.2.- Curva histerética para el modelo de pivote.** Fuente: Urzúa (2015).

Los parámetros de control de la curva histerética para el modelo de pivote son los siguientes:

- $\alpha_1$  : Coeficiente que define el punto de pivote para la descarga a cero desde el tramo positivo de la curva monotónica.
- $\alpha_2$  : Coeficiente que define el punto de pivote para la descarga a cero desde el tramo negativo de la curva monotónica.
- $\beta_1$  : Coeficiente que define el punto de pivote en un nuevo ciclo de carga desde cero a carga positiva.
- $\beta_2$  : Coeficiente que define el punto de pivote en un nuevo ciclo de carga desde cero a carga negativa.

Para definir la ley de histéresis, se determinan los parámetros con el propósito de replicar el comportamiento típico de los arriostramientos sometidos a cargas cíclicas, para este caso, se utilizan los valores definidos por Urzúa (2015), estos son:

$$\alpha_1 = 100 \quad \alpha_2 = 0.5 \quad \beta_1 = 0.1 \quad \beta_2 = 1$$

De acuerdo con las condiciones de borde definidas, se ingresaron los parámetros correspondientes al elemento diagonal como se indica en la Figura 3.3.

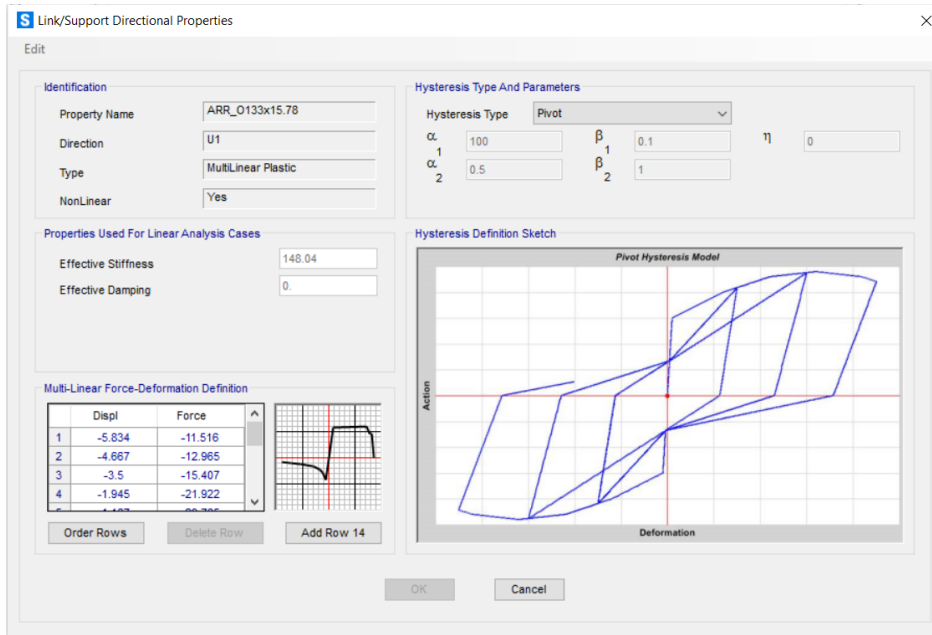


Figura 3.3. Parámetros de elementos *Link* para arriostramientos en software (tonf y cm).

### 1.4. Modelo no lineal de anclajes

Los anclajes de la columna se modelan mediante la definición de dos elementos tipo *Link* en paralelo, siendo el primero los pernos de anclaje y el siguiente el pedestal como se muestra en la figura 3.4.

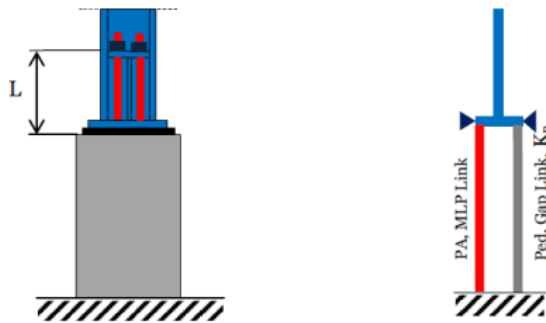
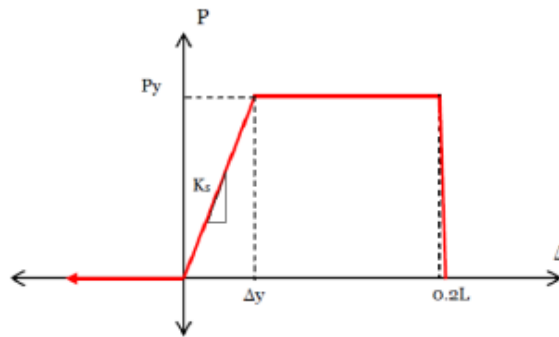


Figura 3.4.- Modelación de silla de anclaje en SAP2000. Fuente: Urzúa (2015)

Los pernos de anclaje que trabajan solo en tracción fueron modelados como tipo *Multilinear Plastic* (MCP), estos elementos tendrán un comportamiento asociado a la curva de capacidad de Backbone que se indica en la figura 0, la cual describe el desempeño de los pernos de anclaje en función de la fuerza axial – deformación, y además para el cálculo de elongación máxima

establece una deformación de rotura del 20%, considerando que la longitud del perno estirable es la distancia entre la parte superior del pedestal y la parte superior de la silla, más 8 veces su diámetro embebido en el hormigón.

La curva envolvente de los pernos se modela con una rigidez muy baja en compresión, permitiendo que la carga se transfiera de manera rápida al pedestal, esta se indica en la figura 3.5.



**Figura 3.5.- Curva de capacidad para pernos de anclaje.** Fuente: Urzúa (2015).

Donde los parámetros son:

- $P_y$  : Fuerza esperada de fluencia en pernos de anclaje,  $P_y = F_{ye} A_s$   $F_{ye}$  = Tensión de fluencia esperada para el acero,  $F_{ye} = F_y R_y$ .
- $F_y$  : Tensión de fluencia especificada para el acero,  $F_y = 248$  MPa para acero calidad ASTM A36.
- $R_y$  : Razón entre fluencia esperada y fluencia especificada,  $R_y = 1.5$  para barras de acero calidad ASTM A36 según Tabla I-6-1 AISC 341-10.
- $A_s$  : Área bruta de la sección total de pernos de anclaje.
- $E_s$  : Módulo de elasticidad del acero,  $E_s = 200000$  MPa según AISC 360-10  $K_{se} =$  Rigidez axial de los pernos,  $K = E_s A_s / L$ .
- $L$  : Largo libre de pernos de anclaje entre tope del pedestal y tope de la placa de apoyo de la silla, más ocho veces su diámetro, considerando la distancia embebida en el pedestal.

$\Delta_y$  : Deformación de fluencia,  $\Delta_y = P_y/K$ .

El pedestal en el *software* SAP2000 se define como tipo *GAP*, este elemento trabaja solo en compresión, y tiene un comportamiento lineal y elástico. La modelación del elemento considera una rigidez con orden de magnitud superior a la rigidez de las columnas, con el fin de evitar inestabilidades numéricas.

Según lo descrito antes, en las figuras 3.6 y 3.7 se presentan las condiciones de borde definidas en el programa SAP2000 para los elementos de anclaje. La modelación de estos dos elementos asegura un análisis estable y realista de la interacción entre la estructura y la fundación.

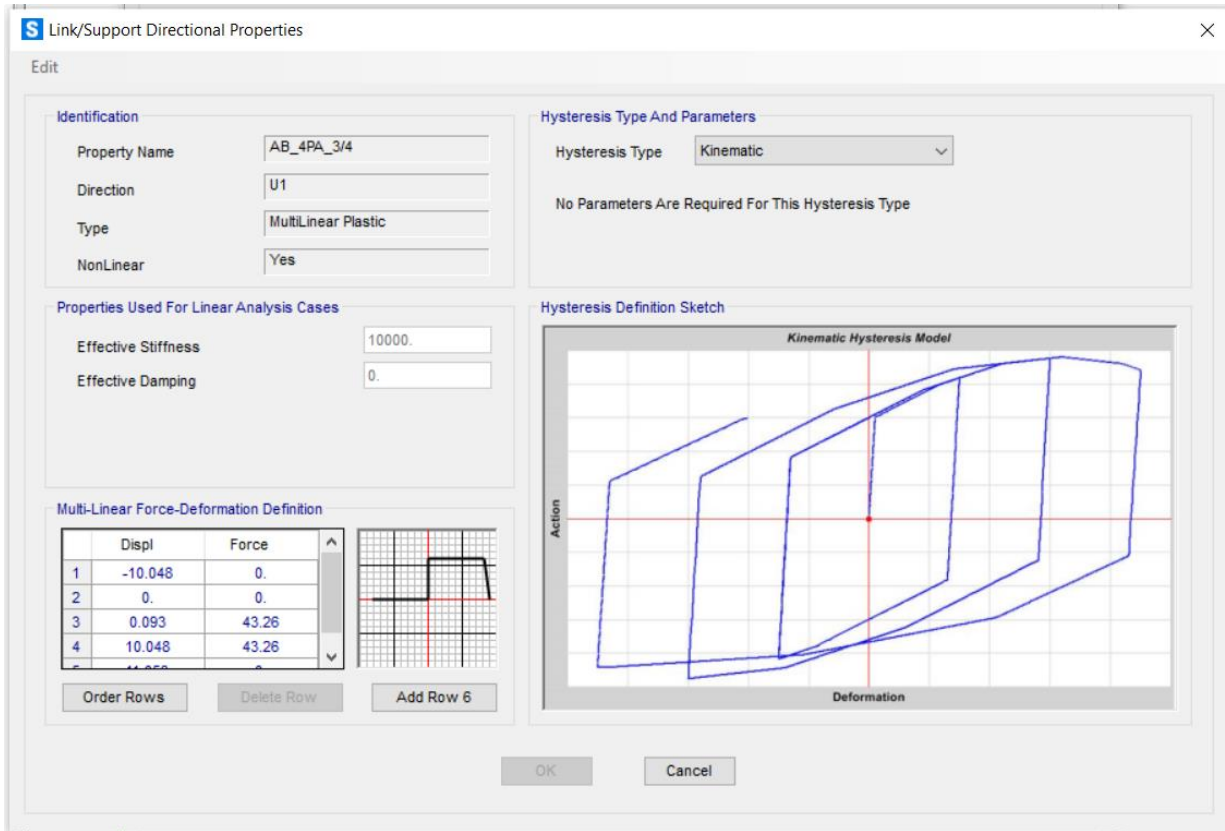
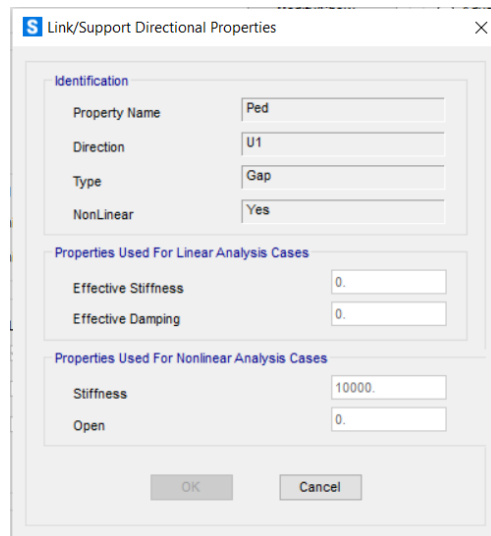


Figura 3.6.- Parámetros de elementos *Link* para pernos de anclaje en software (tonf y cm).



**Figura 3.7.-** Parámetros de elementos *Gap* para pedestal en software (tonf y cm).

### 3.6. Conclusiones

En este capítulo se definió la modelación y análisis de las estructuras mediante integración directa en el programa *SAP2000*, donde se definen condiciones de borde y alcances del método. Además, se incorporaron los aspectos teóricos del comportamiento no lineal de elementos estructurales críticos, tales como diagonales y pernos de anclaje. En este contexto, se describieron las propiedades mecánicas y los modelos constitutivos adoptados para representar su respuesta ante cargas cíclicas. En particular, se emplearon curvas esfuerzo-deformación que permiten capturar fenómenos como la plastificación, degradación de rigidez y acumulación de daño en los elementos de conexión.

Los aspectos abordados en este capítulo proporcionan la base para el análisis comparativo de la respuesta estructural bajo distintos espectros y conjuntos de registros sísmicos, lo que permite extraer conclusiones sobre la influencia de la selección de registros en el comportamiento global de la estructura.

## **CAPÍTULO 4: SELECCIÓN Y AJUSTE MEDIANTE ESCALAMIENTO ESPECTRAL**

### **4.1 Introducción**

En esta sección se aborda la selección y ajuste de registros sísmicos mediante escalamiento espectral considerando los criterios establecidos en la norma NCh2369:2023. Se describen los parámetros utilizados en la selección de registros y el método de evaluación de parámetros resultantes según el número de registros empleados.

### **4.2 Criterios de selección de registros sísmicos**

Como se explicó en el Capítulo 1, la selección de registros sísmicos es un aspecto clave en los análisis de respuesta en el tiempo y debe garantizar que los datos utilizados en el diseño estructural sean representativos de la amenaza sísmica del sitio. En esta memoria, se ha considerado comparar la respuesta según los criterios de la práctica que recomienda usar tres y siete registros sísmicos para evaluar la variabilidad de la respuesta estructural, y además se incluye el criterio de la normativa ASCE7 41-17, la cual sugiere emplear 11 registros cuando se requiere obtener valores promedio más representativos y reducir la dispersión en los resultados. Es importante considerar que la norma NCh2369:2023 indica que cuando se analizan tres registros sísmicos se debe utilizar la respuesta máxima del parámetro analizado, mientras que cuando sean siete o más registros se permite utilizar el valor promedio del parámetro de interés. Los espectros objetivos para la selección de registros corresponden al Espectro de Amenaza Uniforme: NCh2369:2023 y el Espectro Medio Condicionado (CMS). La norma NCh2369:2023 menciona que se debe seleccionar al menos tres registros de aceleración del suelo, los cuales deben incluir:

- Magnitud
- Distancia a la falla
- Fuentes del mecanismo del sismo
- Tipos de suelo consistentes con el espectro objetivo

En aquellos casos en que no se disponga de registros reales, se pueden considerar registros artificiales que simulen las condiciones esperadas.

Un aspecto para considerar estructuras tiene que ver con los datos que representan el movimiento del suelo, los cuales son capturados mediante sensores sísmicos. En esta memoria se describirá la influencia de la correcta orientación de estos sensores al momento de realizar la construcción de espectros de respuesta sísmica como el UHS y el CMS.

### **Orientación de sensores**

Los sensores sísmicos detectan el movimiento del suelo, estos dispositivos están diseñados para medir vibraciones en tres direcciones ortogonales: norte-sur (N-S), este-oeste (E-O) y vertical (Z). Los datos son evaluados mediante ecuaciones que utilizan la media geométrica del espectro de respuesta por cada componente horizontal, sin embargo, esta media depende de la orientación del sensor, lo cual es relevante debido a que, si la orientación no es adecuada, los datos capturados pueden ser incorrectos y no representar el movimiento del suelo. Debido a esta limitación se proponen nuevas medidas independientes de la orientación del sensor tales como (Boore, 2006):

- GMRotDpp: Se calcula como el percentil "pp" del conjunto de promedios geométricos para un período determinado de oscilador, por ejemplo GMRotD00, GMRotD50 y GMRotD100, siendo los valores mínimos, mediano y máximo respectivamente.
- GMRotIpp: Utiliza un solo ángulo de rotación independiente del período y busca minimizar la dispersión de los promedios geométricos, por ejemplo: GMRotI50 es la medida de la intensidad del movimiento del suelo, se utiliza en ecuaciones de predicción del movimiento del suelo. Su ventaja teórica es que elimina la orientación del sensor como un factor que contribuye en la incertidumbre.

Se requiere gran cantidad de datos detallados para determinar si la reducción en la incertidumbre aleatoria tiene alguna relevancia. En un artículo complementario (Beyer & Bommer, 2006) determinan que la incertidumbre aleatoria es menor al usar el método GMRotD50. Sin embargo, también se menciona que hay una tendencia a una reducción creciente a medida que aumenta el periodo. Esto sugiere que la correlación de los movimientos del suelo es más fuerte en periodos largos, lo que podría justificar una mayor reducción en la incertidumbre.

Ante esta problemática, se describen nuevas medidas independientes de la orientación de los sensores y del promedio geométrico de las componentes horizontales (Boore, 2010), estas se denominan:

- RotDnn: No utiliza promedios geométricos y ordena las amplitudes espectrales para cada período y ángulo de rotación, tomando valores percentiles, por ejemplo, el RotD50 sería el valor mediano.
- RotInn: Similar a RotDnn, pero utiliza un solo ángulo de rotación para todos los períodos, simplificando su uso en ciertas aplicaciones.

Aunque el último método propuesto por el autor Boore (Boore, 2010) ofrece una forma más precisa de capturar las amplitudes espectrales máximas al ser independiente de la orientación de los sensores, una de las principales limitaciones es la variabilidad del ángulo de rotación en función del periodo del movimiento sísmico. El ángulo que maximiza o minimiza las amplitudes espectrales puede cambiar significativamente según el periodo considerado, lo que dificulta la utilización de un único ángulo de rotación que sea representativo para todos los periodos. Otra limitación es la inestabilidad de las medidas basadas en la rotación independiente del periodo, como el RotI100, las cuales pueden ser particularmente inestables en periodos cortos, ya que un único ángulo de rotación no logra capturar de manera precisa las amplitudes máximas en todos los periodos.

Además, el método es sensible a la polarización del movimiento sísmico, especialmente en periodos largos, por lo que las amplitudes espectrales pueden estar dominadas por la componente longitudinal o transversal según el periodo. Esta sensibilidad puede generar incertidumbres en situaciones donde la polarización es abundante, afectando la precisión de las estimaciones espectrales y, por ende, el diseño estructural basado en estas medidas.

Si el objetivo es un análisis más detallado y preciso, por ejemplo, para estructuras sensibles a la respuesta sísmica en periodos específicos se recomienda el uso de RotD50 o GMRotD50, ya que ofrecen una mejor representación de la intensidad del movimiento sísmico en función del periodo, mientras que, si el análisis no requiere tanta precisión o es para estructuras más comunes, el uso de RotI50 o GMRotI50 puede ser más eficiente, debido a que este método sigue proporcionando una buena estimación de la intensidad sísmica general, con la ventaja de ser más simple en términos computacionales. Dado que en esta memoria se realizará una comparación

entre métodos de ajuste de parámetros sísmicos, se desarrollará un análisis utilizando RotD50 o GMRotD50.

### 4.3. Espectro de amenaza uniforme: NCh2369:2023

El Espectro de Amenaza Uniforme (*Uniform Hazard Spectrum, UHS*) se utiliza para garantizar que una estructura esté diseñada para resistir una combinación de escenarios sísmicos, debido a que la norma NCh2369:2023 establece al espectro de referencia como una buena representación del espectro UHS se utilizará en esta memoria. Se construye considerando una probabilidad de excedencia uniforme en cada período de vibración de la estructura, suponiendo que estas excedencias son un proceso aleatorio de Poisson. Como resultado se obtienen aceleraciones espectrales que representan demandas que poseen para todas las coordenadas espectrales el mismo nivel de intensidad, debido a su enfoque conservador podría no ser representativo de los espectros individuales del movimiento del suelo, frente a esto, Baker formula un espectro alternativo basado en las propiedades de espectros reales, al que denomina Espectro Medio Condicionado (CMS) (Baker, 2011).

### 4.4. Espectro Medio Condicionado (CMS)

Como alternativa al UHS, el Espectro Medio Condicionado (*Conditional Mean Spectrum, CMS*) permite un enfoque más ajustado para representar la respuesta sísmica, se enfoca en modelar características específicas de un sismo dado que está condicionado a un valor de aceleración en un periodo en particular. Su denominación se debe a que entrega los valores medianos de aceleraciones espectrales en todos los periodos dada la aceleración espectral en un periodo de interés denominado periodo condicionante ( $T^*$ ), que generalmente coincide con el periodo fundamental de la estructura (Baker, 2011). Mediante un modelo estadístico de Coeficiente de Correlación de Pearson  $\rho(T_i, T_j)$  se determina el espectro de aceleración, el método asume que las aceleraciones espectrales en diferentes períodos están correlacionadas, premisa que deriva de las tendencias de respuesta espectral que se tienen en bases de datos de registros sísmicos.

A continuación, se detallan los pasos para determinar el Espectro Medio Condicionado (CMS) según Baker (Baker,2011):

1. Dada una probabilidad de excedencia se define un Espectro de Amenaza Uniforme (UHS) u otro objetivo, del cual se obtiene una aceleración espectral para un periodo de interés. También se debe determinar la distancia (R), magnitud (M) y el número de desviaciones estándar en las que el registro espectral difiere de la predicción logarítmica ( $\varepsilon(T^*)$ ) asociado a una aceleración espectral objetivo para una magnitud y distancia determinadas. Si el valor de aceleración espectral objetivo  $S_a(T^*)$  se obtuvo de un análisis de peligro sísmico entonces los valores R, M y  $\varepsilon(T^*)$  pueden tomarse como la media de la desagregación.
2. Calcular la media ( $\mu_{\ln S_a}(M, R, T)$ ) y la desviación estándar ( $\sigma_{\ln S_a}(T)$ ) del espectro de respuesta, dado M y R en el periodo T definido.
3. Calcular  $\varepsilon$  en otros periodos dados ( $T^*$ ).

$$\mu_{\varepsilon(T_i)|\varepsilon(T^*)} = \rho(T_i, T^*)\varepsilon(T^*)$$

Donde  $\mu_{\varepsilon(T_i)|\varepsilon(T^*)}$  es el valor medio de  $\varepsilon(T_i)$  dado  $\varepsilon(T^*)$ .

4. Calcular CMS utilizando la media y la desviación estándar del Paso 2 y valores medios condicionales del Paso 3.

$$\mu_{\ln S_a|\ln S_a} = \mu_{\ln S_a}(M, R, T_i) + \rho(T_i, T^*)\varepsilon(T^*)\sigma_{\ln S_a}(T)$$

El espectro CMS proporciona un enfoque más preciso y consistente desde el punto de vista probabilístico para el diseño sísmico, mejorando la selección de registros y reduciendo las incertidumbres del espectro UHS.

#### 4.5. Escalamiento Espectral

El Escalamiento Espectral (*Amplitude Scaling, AS*) es un método que opera mediante la aplicación de un factor de escalamiento, permite modificar la amplitud de los registros sísmicos con el fin de que representen con mayor precisión las demandas esperadas de un sismo, asegurando que el registro escalado represente las demandas sísmicas asociadas a un nivel de peligro sísmico específico. De esta forma, el factor de escala se determina como la relación entre la aceleración espectral objetivo en el periodo condicionante y la del movimiento del suelo sin

escalar. El método se cuestiona por aplicar un escalamiento al movimiento del suelo sin alguna justificación física, sin embargo, se ha observado en resultados que los movimientos del suelo escalados producen desplazamientos que coinciden con los del espectro CMS (Baker and Cornell, 2005; Goulet et al., 2008; Luco and Bazzurro, 2007).

Es importante que los registros escalados se encuentren en un rango de periodo significativo en la respuesta estructural, donde el texto Dynamics of Structures (Chopra, 2019) menciona que, si la vibración fundamental es  $T$ , entonces el periodo de análisis debe considerar al menos desde  $0.2T$  hasta  $2T$ , lo que también coincide con lo mencionado por el código ASCE7-16, mientras que la norma NCh2369:2023 recomienda el rango de periodos entre  $0.2T$  y  $1.5T$ , esto debido a que el sector industrial espera un nivel de demanda inelástica menor que la práctica norteamericana.

Existe diferentes métodos de escalamiento espectral, a continuación se describen algunos:

1. El procedimiento más simple consiste en escalar cada registro del suelo, con el propósito de que el espectro de aceleración en el periodo de interés coincida con un espectro objetivo definido para este caso el Espectro Medio Condicionado (CMS). Según lo descrito, el factor de escalamiento espectral resulta:

$$SF_{T^*} = \frac{A_{CMS(T^*)}}{A(T^*)}$$

2. De forma alternativa, otro método propone escalar cada registro sísmico para que la amplitud espectral promedio sobre el periodo de interés sea igual a la amplitud de un espectro objetivo definido sobre el mismo periodo, por lo tanto, el factor de escala se propone como:

$$SF_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} A_{CMS}(T_i)}{\sum_{i=1}^{n_p} A(T_i)}$$

donde los períodos  $T_i$ ,  $i = 1$  a  $n_p$ , abarcan el rango de periodo de interés.

3. El tercer método consiste en escalar cada registro sísmico para que el factor de escala seleccionado minimice la diferencia entre el espectro de respuesta del registro escalado y un espectro objetivo definido en el rango de período de interés. Esta diferencia se describe

cuantitativamente como la suma de las diferencias al cuadrado entre los dos espectros, como se muestra en la ecuación:

$$SSD = \sum_{i=1}^{n_p} \{\ln[A(T_i)] - \ln[A_{CMS}(T_i)]\}^2$$

donde  $\ln(\cdot)$  denota el logaritmo natural de la cantidad en  $(\cdot)$ ,  $A(T_i)$  y  $A_{CMS}(T_i)$  son las aceleraciones espectrales en el período  $T_i$  del registro escalado y del CMS, respectivamente. El factor de escala presentado en la siguiente ecuación se describe como una solución óptima, resultado de la Derivación 20.1 (Chopra, A. K. (2017)).

$$SF_{opt} = \left[ \prod_{i=1}^{n_p} \frac{A_{CMS}(T_i)}{A(T_i)} \right]^{1/n_p}$$

donde los períodos  $T_i$ ,  $i = 1$  a  $n_p$ , abarcan el rango de periodo de interés y  $\Pi$  es el símbolo del producto de los valores.

Luego de que los registros son escalados, se identifican aquellos que coincidan con el espectro objetivo considerado, estos corresponden a aquellos registros con SSD (Suma de Diferencias Cuadráticas) más pequeño. Los valores de  $T_i$  deben cubrir el periodo de interés antes mencionado, la experiencia sugiere que 50 valores de  $T_i$  por orden de magnitud de períodos son suficientes para asegurar una buena coincidencia entre los dos espectros.

Este procedimiento no toma en cuenta la variabilidad presente en el espectro de respuesta, donde la varianza está directamente relacionada con el cuadrado de la desviación estándar. Debido a esta omisión, los registros seleccionados tienden a presentar una varianza más baja en los valores espectrales en comparación con la que realmente existe en los registros sísmicos. Como consecuencia, la dispersión en la respuesta estructural también será menor de lo esperado, lo que podría influir en la precisión de las estimaciones.

Por este motivo, el enfoque mencionado no es suficiente cuando el objetivo es realizar una evaluación integral del riesgo sísmico. Para obtener una distribución de probabilidad representativa de la demanda sísmica, es necesario considerar métodos que incorporen

adecuadamente la variabilidad espectral como el denominado Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) (Al Atik y Abrahamson, 2010).

#### 4.6. Selección y ajuste de registros sísmicos con Espectro NCh2369 como espectro objetivo

Según los criterios establecidos en la norma NCh2369:2023, y el espectro objetivo definido se seleccionan los registros sísmicos de la base de datos, que resulta en espectros en que al menos un 90% de los puntos es superior al espectro objetivo en el periodo de interés, lo que es consistente con la norma NCh2369:2023 que solo permite puntos inferiores un 10% del espectro objetivo definido.

De forma ilustrativa en la figura 4.1, 4.2 y 4.3 se presenta la selección y ajuste de 3, siete y 11 registros respectivamente, asociados al Espectro NCh2369:2023 para un nivel de intensidad SDI.

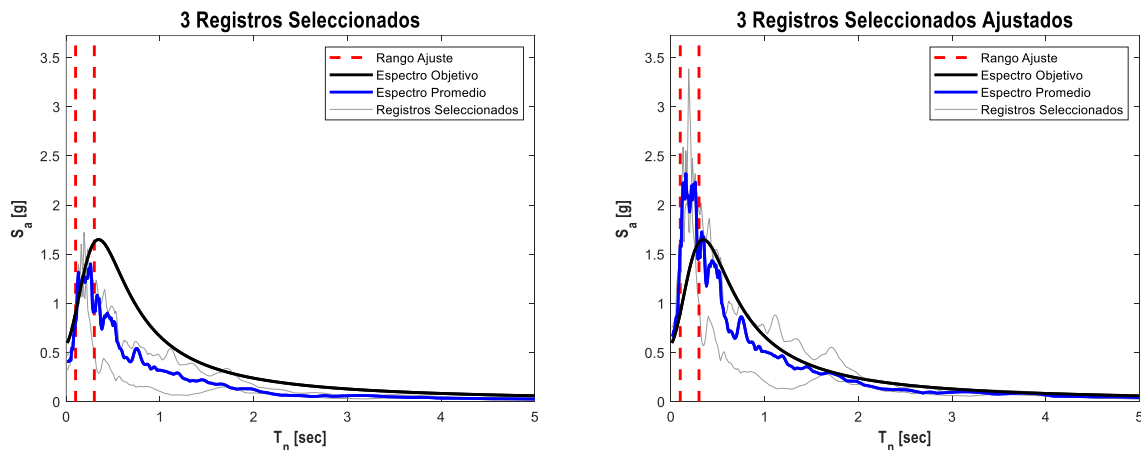
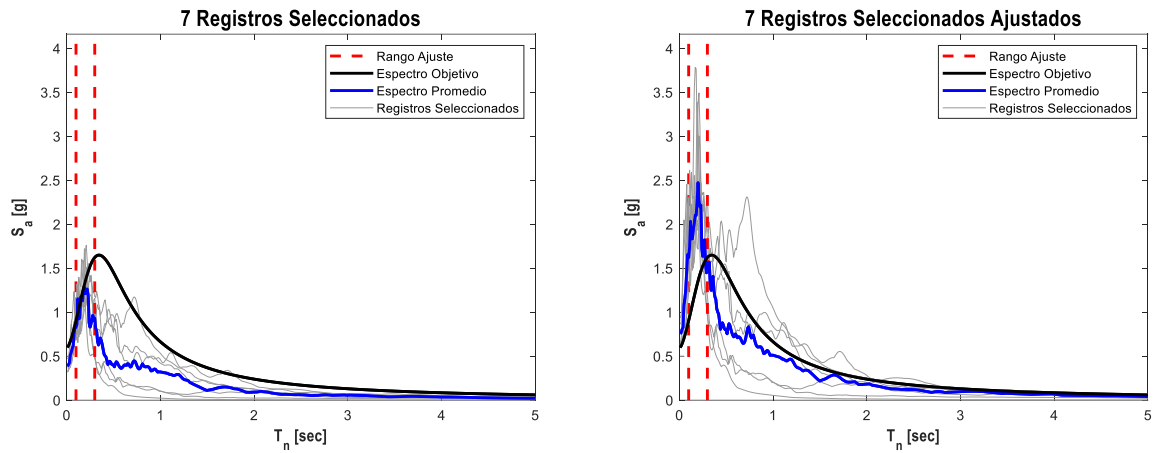
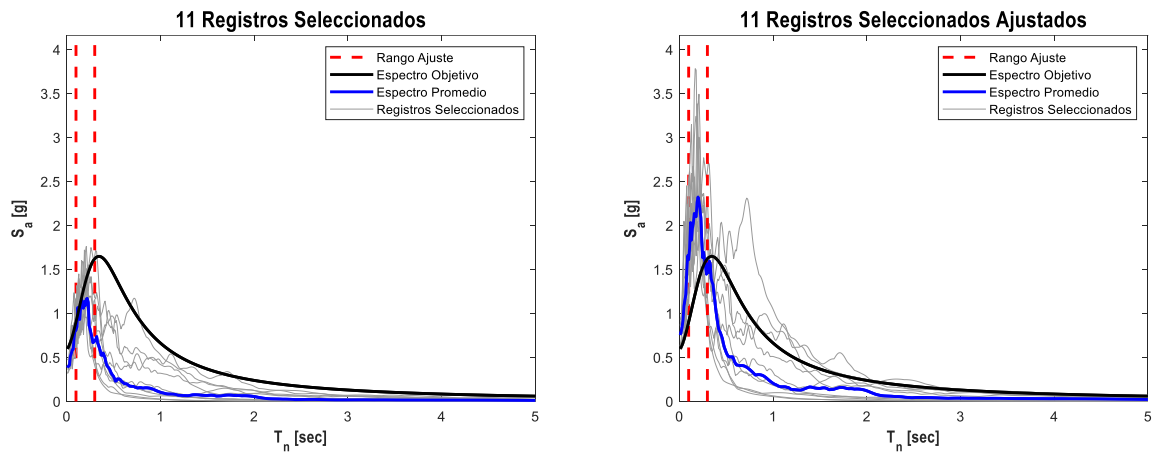


Figura 4.1.- Selección y ajuste de tres registros según Espectro de Referencia NCh2369:2023 – Modelo 1, SDI.



**Figura 4.2.- Selección y ajuste de siete registros según Espectro de Referencia NCh2369:2023 – Modelo 1, SDI.**



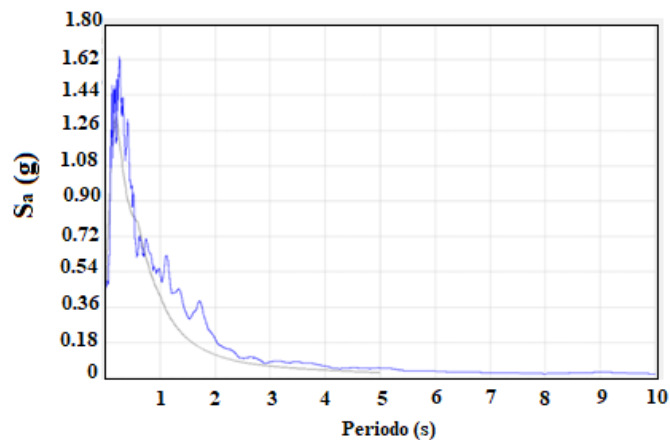
**Figura 4.3.- Selección y ajuste de 11 registros según Espectro de Referencia NCh2369:2023 – Modelo 1, SDI.**

Luego de aplicar el escalamiento espectral, se observa que el promedio de los espectros escalados es superior al espectro objetivo de referencia en el periodo de interés, lo que solo es resultado de la metodología indicada por la norma, en que se amplifican los espectros seleccionados a partir de su similitud con el espectro de referencia,

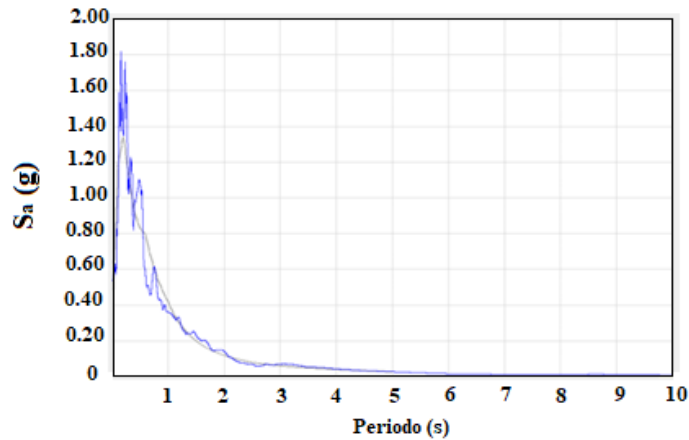
#### 4.7. Selección y ajuste de registros sísmicos con Espectro CMS como espectro objetivo

De acuerdo con los criterios establecidos en la norma NCh2369:2023, y el espectro objetivo definido también se seleccionan tres, siete y 11 registros sísmicos de la base de datos. De forma ilustrativa en la figura 4.4, 4.5 y 4.6 se presenta la selección y ajuste del caso de tres registros aplicados en el modelo 1.

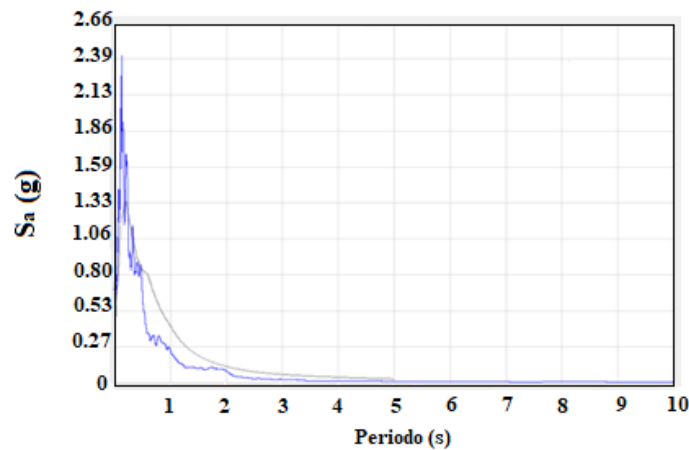
De acuerdo con la zonificación sísmica considerada en este estudio, se ha supuesto que las estructuras se encuentran ubicadas en el borde costero del país. En base a lo anterior, y considerando la experiencia en estudios de amenaza sísmica, se ha considerado para la construcción del espectro CMS los siguientes parámetros causales: Magnitud  $M_w = 8.5$ , distancia a la ruptura  $R_{rup} = 35$  km y profundidad focal  $Z_{hyp} = 30$  km. Luego con dichos parámetros causales se ha definido el espectro objetivo considerando al modelo de movimiento fuerte de Montalva et al., 2016 y los factores de correlación espectral de Candia et al., 2019.



**Figura 4.4.- Selección y ajuste de registro 1 de 3, según Espectro de Referencia CMS – Modelo 1, SDI.**



**Figura 4.5.- Selección y ajuste de registro 2 de 3, según Espectro de Referencia CMS – Modelo 1, SDI.**



**Figura 4.6.- Selección y ajuste de registro 3 de 3, según Espectro de Referencia CMS – Modelo 1, SDI.**

#### 4.8. Conclusión

En este capítulo se detalló el proceso de selección de registros sísmicos a partir de una base de datos sísmica nacional, considerando un espectro de referencia y un rango de periodos de interés entre  $0.2T$  y  $1.5T$ . Se analizaron los criterios establecidos en normativas de diseño, como la NCh2369:2023 y la ASCE 41-17, asegurando que los registros elegidos cumplieran con los requisitos de compatibilidad espectral y representatividad del sitio.

Se realizó la selección de conjuntos de tres, siete y 11 registros, con el fin de evaluar cómo varía la respuesta estructural en función de la cantidad de registros empleados. Este enfoque no solo

sigue las recomendaciones normativas, sino que también proporciona una base para analizar la estabilidad de los resultados obtenidos en el análisis dinámico.

En los capítulos siguientes, se analizará la respuesta de la estructura sometida a estos registros, permitiendo establecer conclusiones sobre la influencia del número de registros y del método de ajuste espectral en la demanda estructural.

## CAPÍTULO 5: AJUSTE MEDIANTE SPECTRAL MATCHING

### 5.1. Introducción

En esta sección se describe el proceso de Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) aplicado a los registros sísmicos seleccionados en el capítulo anterior, se presentan los criterios utilizados para la aplicación del método, así como también el resultado del ajuste.

### 5.2. Ajuste espectral (*Spectral Matching*, SM)

El método de Ajuste Espectral (*Spectral Matching*, SM) modifica iterativamente los registros de movimientos del suelo hasta que el espectro de respuesta modificado coincida con el espectro objetivo. Idealmente, se deberían seleccionar registros del movimiento del suelo que tengan la misma fuente sísmica, también así su trayectoria desde la fuente hasta el sitio y las propiedades del lugar deben ser similares o igual al sismo de diseño. Estas propiedades incluyen la magnitud M del terremoto, la distancia R entre la fuente y el lugar, el modo de falla, la condición de directividad (para sitios ubicados cerca de fallas grandes) y alguna característica particular del lugar.

Este proceso se puede implementar en el dominio de la frecuencia o en el dominio del tiempo. El primer método modifica de forma iterativa el espectro de amplitud de Fourier de los registros originales, hasta que el espectro de respuesta de los registros modificados coincida con el espectro objetivo.

El segundo método ajusta la serie temporal en el dominio del tiempo mediante funciones wavelet, estas son aplicadas a los movimientos del suelo hasta que el espectro de respuesta coincida con el espectro objetivo. Si bien el procedimiento de ajuste espectral en el dominio del tiempo es generalmente complicado, este tiene buenas propiedades de convergencia y en la mayoría de los casos preserva el carácter no estacionario de la serie temporal de referencia.

$$\delta a(t) = \sum_{j=1}^N b_j w_j(t)$$

Donde  $b_j$  son las amplitudes desconocidas de las ondas  $w_j(t)$  y  $N$  es el número total de valores del periodo en el que se debe igualar el espectro objetivo.

La coincidencia espectral puede aplicarse directamente a cada registro de movimiento del suelo, sin embargo, se sugiere que es recomendable realizar primero un escalamiento en amplitud, para que así el espectro del registro se aproxime al espectro objetivo antes de proceder con el ajuste espectral. Por otro lado, algunos investigadores optan por seleccionar registros base cuyo espectro tenga una forma similar al espectro objetivo, como el CMS, con el fin de reducir la magnitud de las modificaciones requeridas para alcanzar la correspondencia espectral, lo que en algunos casos puede ser complejo dada la reducida base de datos.

El método elimina la dispersión en sistemas linealmente elásticos estimados, mientras que en sistemas inelásticos la dispersión no se elimina, pero puede ser bastante menor.

La ventaja es que tiende a preservar la apariencia original del movimiento del suelo. Sin embargo, debido a la naturaleza iterativa del proceso y al uso de funciones wavelets, no siempre se logra una coincidencia perfecta y se requieren ajustes basados en la experiencia.

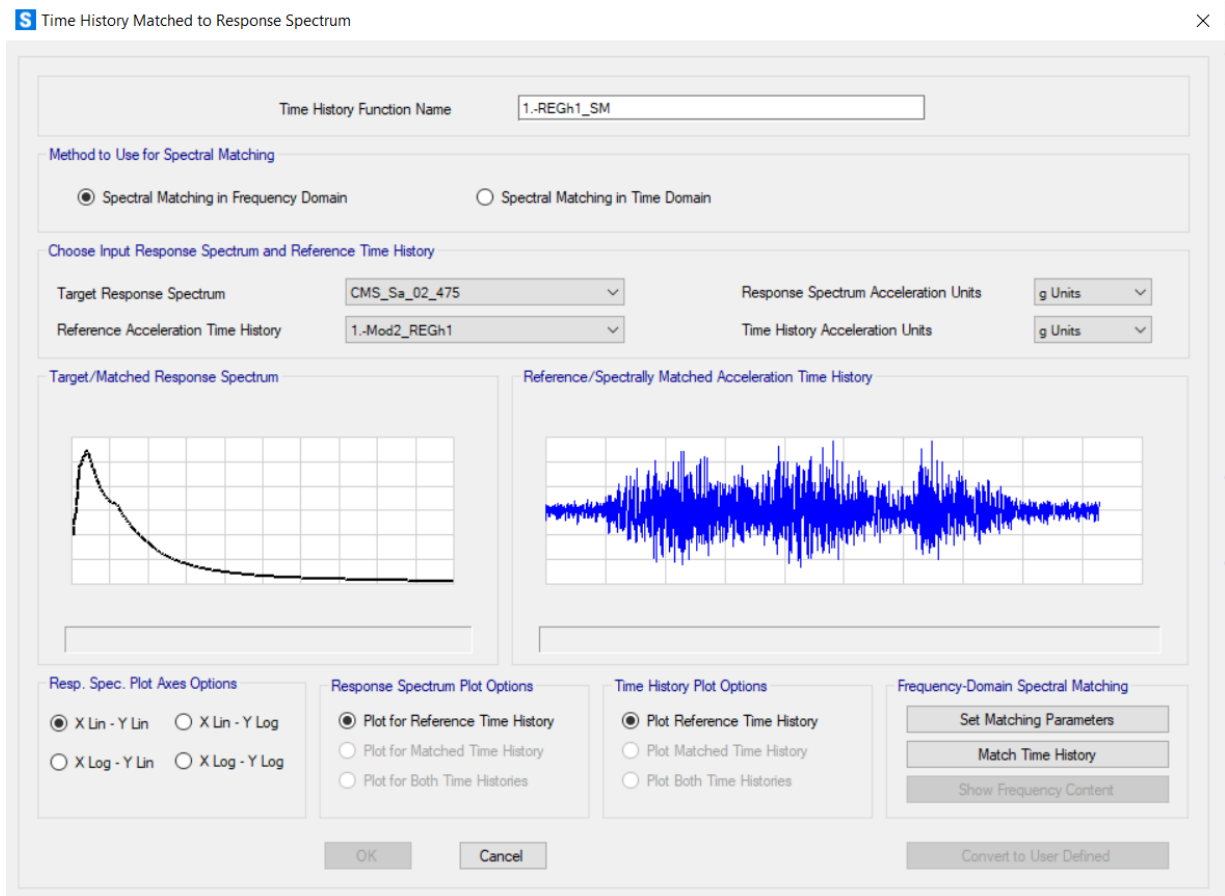
Para aplicar el método inicialmente los registros sísmicos de cada componente son sometidos a un factor de escala que permite tener una mejor aproximación respecto al espectro objetivo. Como ejemplo se presentan los valores para el Modelo 1 donde son aplicados tres registros sísmicos asociados al espectro NCh2369:2023. Los factores se indican en la Tabla 5.2.

Registro	Factor de Escala – SDI	Factor de Escala – SMP
1	1.1682	1.0032
2	1.1392	1.2388
3	1.5532	1.1107

**Tabla 5.1.- Factores de ajuste caso tres registros sísmicos – Modelo 1, Espectro NCh2369:2023.**

Luego, solo los registros horizontales son ajustados mediante la herramienta *Matched to Response Spectrum* del software SAP2000, donde se define el método de ajuste siendo para este caso un ajuste en el dominio de la frecuencia. También se especifica el espectro objetivo y por

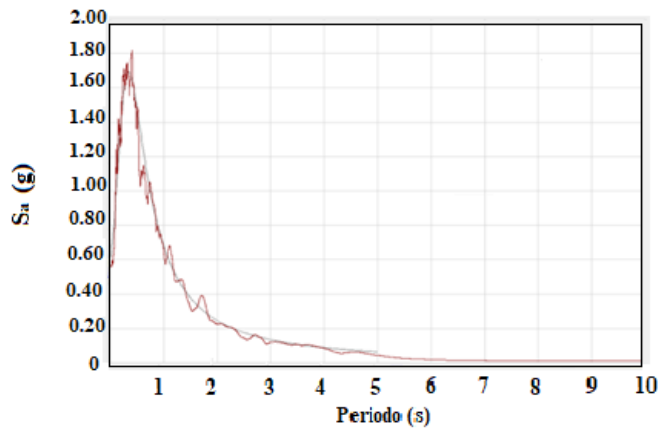
último el registro sísmico semilla amplificado a utilizar como se indica en la figura 5.1. Los registros verticales se amplifican utilizando el mismo factor aplicado a los horizontales para mantener coherencia en la escala. Este enfoque es aceptado por la normativa, dado que los efectos verticales suelen ser menos dominantes en el diseño estructural.



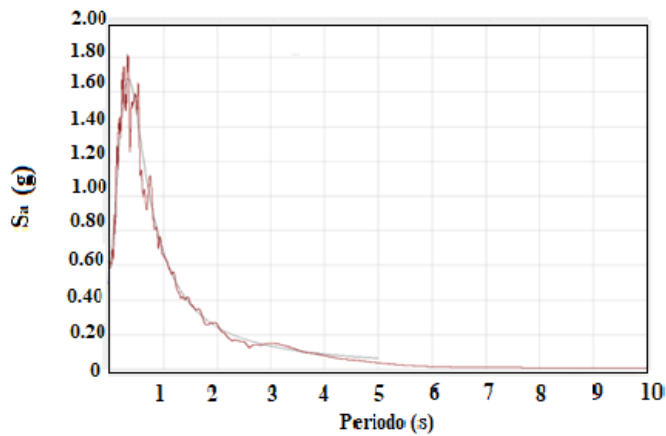
**Figura 5.1.- Herramienta *Matched to Response Spectrum* del software SAP2000.**

### 5.3. Selección con Espectro NCh2369 como espectro objetivo

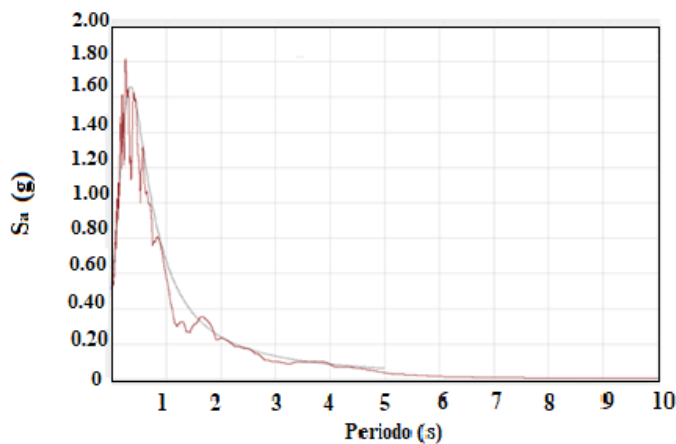
En las figuras 5.2, 5.3 y 5.4 se presentan imágenes de la ventana *Target/Matched Response Spectrum* del programa SAP2000 donde se observa el resultado del ajuste espectral para la evaluación de tres registros, los registros 1, 2 y 3 respectivamente, donde la superposición casi no deja ver diferencias entre el espectro objetivo (línea gris) y el espectro resultado del ajuste espectral (línea roja).



**Figura 5.2.- Resultado Ajuste Espectral registro 1 de 3 - Modelo 1 según Espectro de Referencia NCh2369:2023, SDI.**



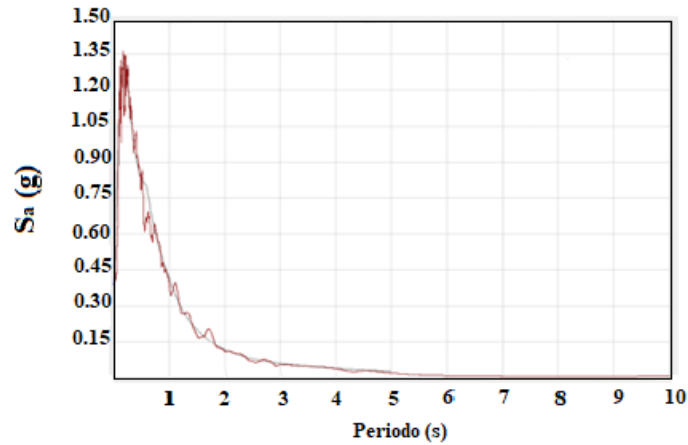
**Figura 5.3.- Resultado Ajuste Espectral registro 2 de 3 - Modelo 1 según Espectro de Referencia NCh2369:2023, SDI.**



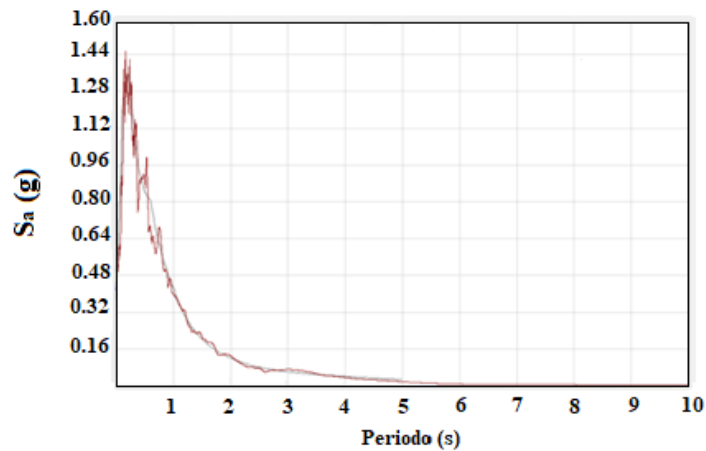
**Figura 5.4.- Resultado Ajuste Espectral registro 3 de 3 - Modelo 1 según Espectro de Referencia NCh2369:2023, SDI.**

#### 5.4. Selección con Espectro CMS como espectro objetivo

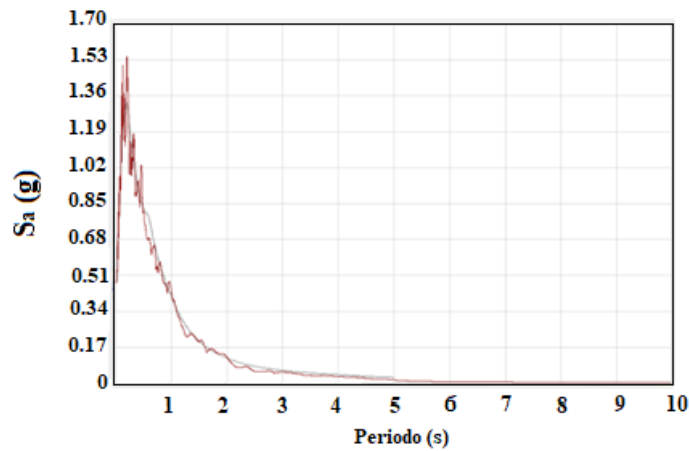
Al igual que para el caso anterior en las figuras 5.5, 5.6 y 5.7 se presenta el resultado del ajuste espectral para la evaluación de tres registros, los registros 1, 2 y 3 respectivamente, en los gráficos el eje horizontal corresponde al periodo en segundos y el eje vertical al espectro de aceleración.



**Figura 5.5.- Resultado Ajuste Espectral registro 1 de 3 - Modelo 1 según Espectro de Referencia CMS, SDI.**



**Figura 5.6.- Resultado Ajuste Espectral registro 2 de 3 - Modelo 1 según Espectro de Referencia CMS, SDI.**



**Figura 5.7.- Resultado Ajuste Espectral registro 3 de 3 - Modelo 1 según Espectro de Referencia CMS, SDI.**

### 5.5. Conclusión

En este capítulo se abordó la aplicación de los métodos de ajuste espectral, específicamente el Ajuste Espectral (*Spectral Matching*). Se detalló el procedimiento seguido para modificar los registros sísmicos seleccionados, asegurando su compatibilidad con el espectro objetivo definido. El Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) permitió ajustar la amplitud global de los registros para lograr una mejor coincidencia con el espectro de referencia dentro del rango de periodos de interés, modificando el contenido en frecuencia de los registros, logrando un ajuste más preciso en todo el rango de periodos considerado.

Tras la aplicación de ambos métodos, se obtuvieron conjuntos de registros modificados según cada enfoque, los cuales serán utilizados en los análisis dinámicos posteriores. Estos resultados permitirán evaluar la influencia de la técnica de ajuste espectral en la respuesta estructural, proporcionando información clave para la comparación entre los distintos procedimientos y su impacto en el diseño sísmico.

## CAPÍTULO 6: LÍMITES PARÁMETROS DE INTERÉS

### 6.1. Introducción

En esta sección se presentan los valores límite establecidos por códigos y normas de diseño para desplazamiento entrepiso, deformación de diagonales y elongación de pernos de anclaje, los que luego en el capítulo siguiente se comparan con los resultados obtenidos a partir del análisis con los espectros NCh2369:2023 y CMS, permitiendo evaluar la respuesta de la estructura bajo ambos enfoques.

### 6.2 Límites

#### 6.2.1. Drift de entrepiso

De acuerdo con la norma NCh2369:2023, el desplazamiento sísmico máximo no debe exceder  $0.015h$ , donde  $h$  representa la altura del nivel o la distancia entre dos puntos alineados. Este límite tiene como objetivo prevenir daños en la estructura y en elementos no estructurales que puedan afectar su operatividad.

#### 6.2.2. Deformación de diagonales

Los límites de deformación para diagonales con perfiles tipo *Pipe* están especificados en la Tabla 9-8 del código ASCE 41-17. Para los casos de compresión, es fundamental determinar la esbeltez del perfil utilizado, ya que el límite depende de esta relación geométrica. Los límites de compresión y tracción para intensidad SMP están definidos de acuerdo con la condición LS (Límite de Seguridad) del código antes mencionado. En la tabla 6.1 se especifican los valores para los sismos de intensidad SDI y SMP, siendo el primero un 50% del límite de seguridad.

Modelo	Tipo perfil	Límite SD		Límite SMP	
		Compresión	Tracción	Compresión	Tracción
T = 0.20s	O133x15.78	3.10	3.50	6.21	7.00
T = 0.43s	O152x21.60	3.03	3.50	6.06	7.00
T = 0.61s	O152x21.60	3.00	3.50	6.01	7.00

**Tabla 6.1.- Límite deformación de diagonales para sismo SDI y SMP.**

### 6.2.3. Pernos de anclaje

El límite de elongación de los pernos de anclaje, se determina a partir de la expresión proveniente de la mecánica de materiales:

$$K = \frac{AE}{L}$$

Donde

K = Rigidez axial del perno.

A = Área transversal de todos los pernos.

E = Módulo de Young.

L = Longitud deformable.

Para garantizar el adecuado desempeño estructural y evitar deformaciones excesivas que puedan comprometer la conexión, se establecen límites de elongación según la intensidad del sismo, los cuales se definen en la tabla 6.2.

Modelo	Tipo de perno	Número de pernos	Largo flexible (mm)	Límite SDI (mm)	Límite SMP (mm)
1 (T = 0.20 s)	¾"	4	175.7	17.6	35.1
2 (T = 0.43 s)	1 ¼"	8	383.2	38.3	76.6
3 (T = 0.61 s)	1 3/8"	4	230.6	23.1	46.1

**Tabla 6.2.- Límite elongación de pernos de anclaje para sismo SDI y SMP.**

### **6.3. Conclusión**

En este capítulo se definieron los valores límite establecidos por normativas de diseño para los parámetros de interés en la evaluación estructural, incluyendo el desplazamiento entrepisos, la deformación de diagonales y la elongación de los pernos de anclaje. Se detallaron los criterios estipulados la norma NCh2369:2023 y en códigos como ASCE7 41-17, que luego fueron una referencia para la interpretación de los resultados del análisis estructural al compararlos con las demandas obtenidas a partir de los espectros NCh2369:2023 y CMS, permitiendo evaluar la respuesta de la estructura bajo ambos enfoques y su cumplimiento con los criterios normativos.

## CAPÍTULO 7: RESPUESTA SÍSMICA DE ESTRUCTURAS MAC

### 7.1. Introducción

En este capítulo se presentan los resultados del estudio sobre la sensibilidad de la respuesta estructural de marcos arriostrados concéntricos a distintos métodos de selección de registros sísmicos. Se analizan los efectos de la cantidad de registros, el método de ajuste espectral y el tipo de espectro objetivo en la respuesta estructural. Además, se destacan diferencias entre el uso de los espectros NCh2369:2023 (UHS) y CMS, y se proponen recomendaciones para futuros estudios.

### 7.2. Resultados SDI

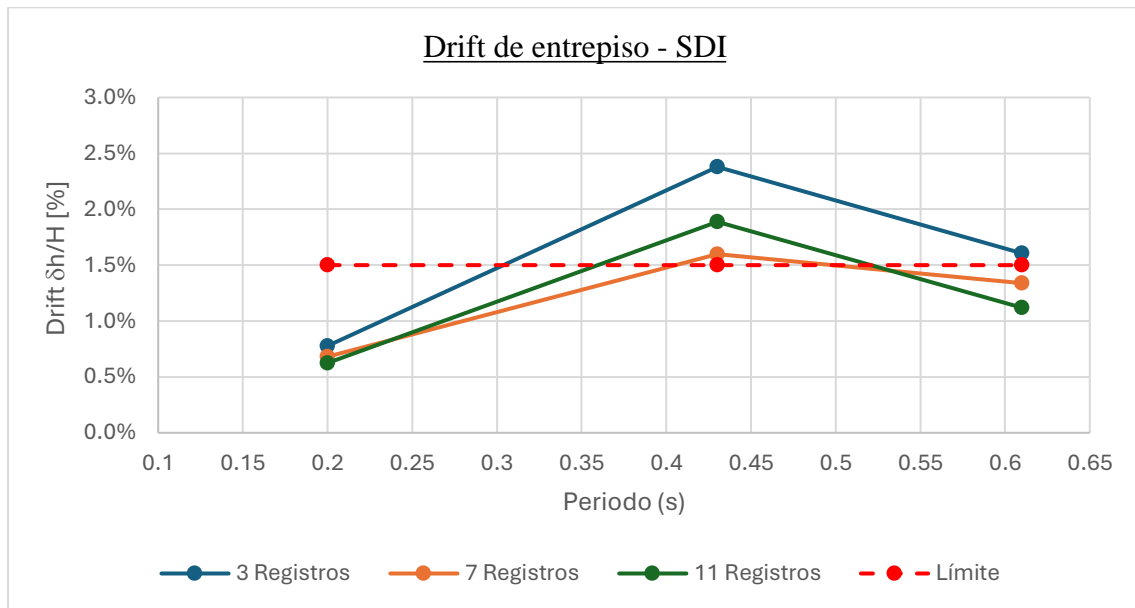
#### 7.2.1. Espectro NCh2369:2023

Se presentan los resultados del análisis no lineal de los tres modelos estudiados, con el objetivo de comparar la variación de la respuesta según la cantidad de registros sísmicos aplicados. Para esto, los resultados se organizan de acuerdo con el método de ajuste espectral: Escalamiento Espectral y Ajuste Espectral (*Spectral Matching*).

#### Escalamiento Espectral

##### **Drift**

En la figura 7.1 se presenta el drift de entrepiso resultante del método de Escalamiento Espectral, de registros ajustados al espectro del sismo de diseño (SDI) de la norma NCh2369:2023, donde para cada modelo cuando se evaluaron tres registros se indica el resultado máximo del parámetro asociado a un registro sísmico en particular considerando todos los pisos, mientras que, para los casos de siete y 11 registros aplicados, corresponde al promedio de las repuestas máximas de cada registro considerando todos los pisos.

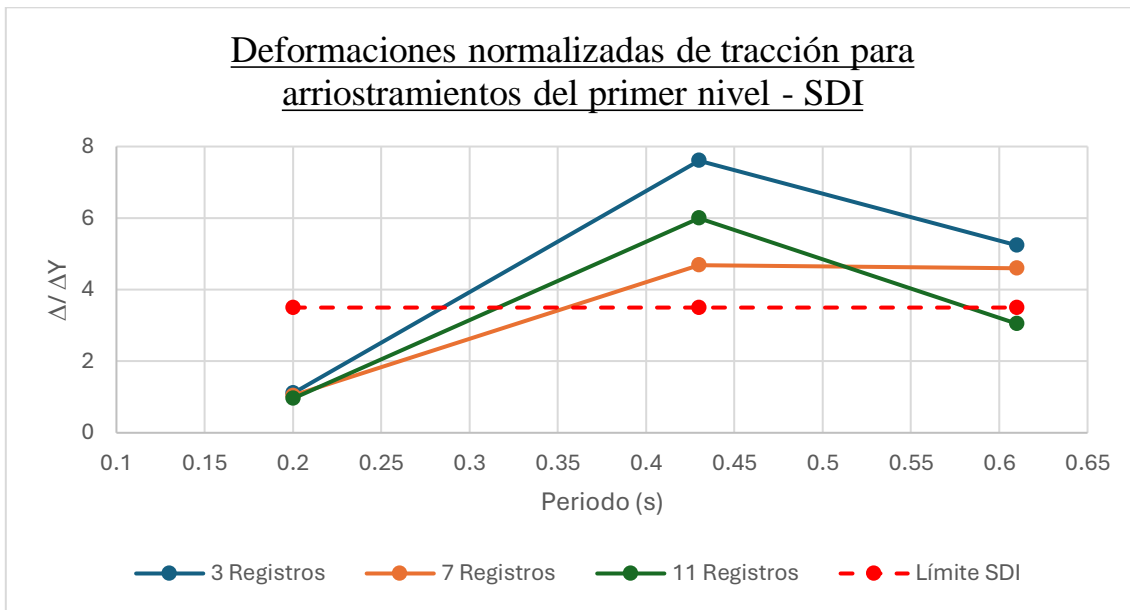


**Figura 7.1.- Drift de entrepiso Espectro vs Límite Espectro NCh2369:2023, método Escalamiento espectral.**

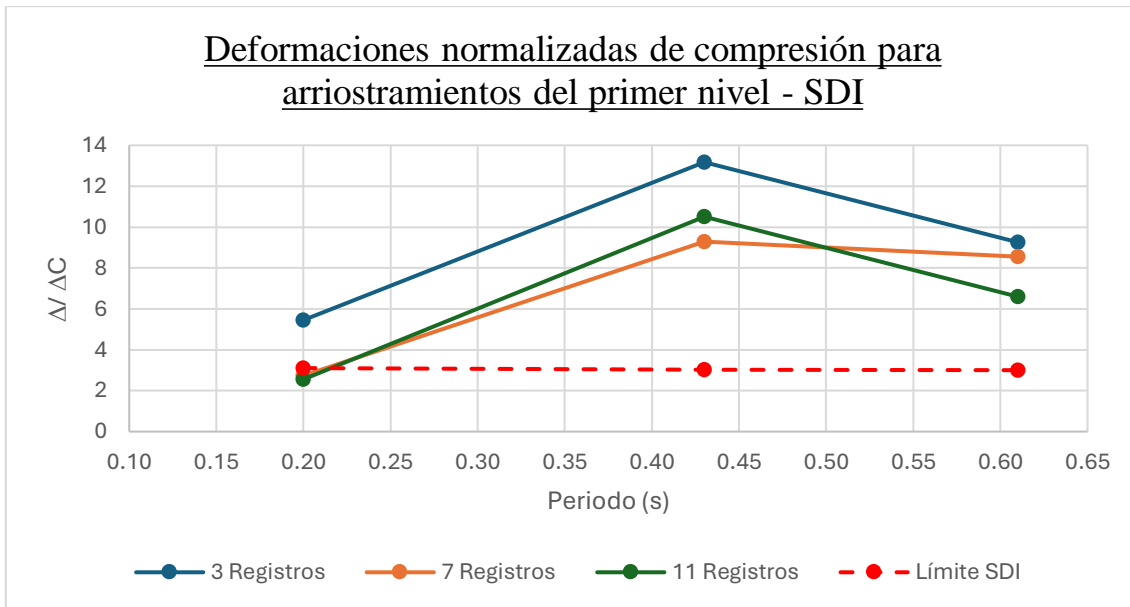
De acuerdo con lo mostrado en la figura 7.1 para los tres modelos de periodos  $T = 0.20$  s,  $T = 0.43$  s y  $T = 0.61$  s, se observa que las respuestas máximas corresponden a lo resultante de tres registros, donde solo el modelo 1 posee respuestas bajo el límite indicado por la norma NCh2369:2023, el modelo 2 es superior al límite en todos los casos, mientras que en el modelo tres los valores promedio de siete y 11 registros se encuentran bajo el límite. El modelo 2 de seis niveles presenta el mayor drift entrepiso. El valor máximo alcanza una mayor diferencia respecto a los promedios de siete y 11 registros comparado con los resultados del modelo 3 ( $T = 0.61$  s).

### Deformación diagonales

En la figura 7.2 y figura 7.3 se presentan respectivamente las deformaciones normalizadas de tracción y compresión para los arriostramientos del primer nivel de la estructura del método de Escalamiento Espectral, dada la aplicación de registros ajustados al espectro del sismo de diseño (SDI) de la norma NCh2369:2023.



**Figura 7.2.- Deformación diagonales en tracción, método Escalamiento espectral – Espectro NCh2369:2023.**



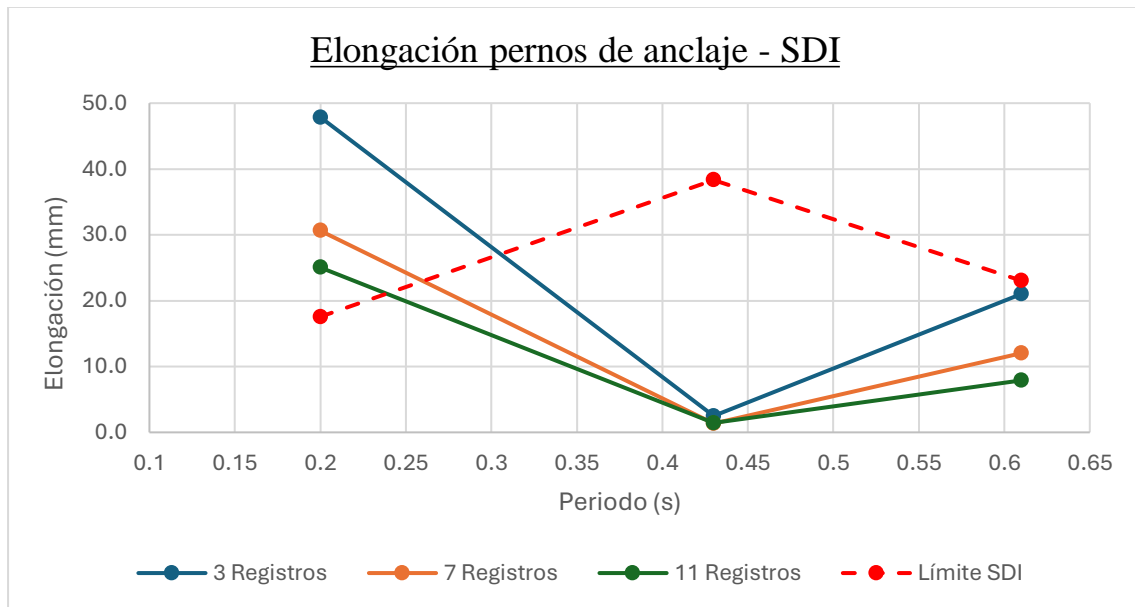
**Figura 7.3.- Deformación diagonales en compresión, método Escalamiento espectral – Espectro NCh2369:2023.**

Los valores máximos ocurren con la respuesta de tres registros sísmicos, además al igual que en el drift las respuestas máximas ocurren en el modelo 2, donde los promedios de siete y 11 registros tienen mayor diferencia entre ellos a medida que aumenta el periodo de la estructura.

En la mayoría de los casos se supera el valor límite SDI del código de diseño, salvo para los valores promedio siete y 11 registros.

### Elongación Pernos de Anclaje

En la figura 7.4 se presenta la elongación de los pernos de anclaje resultante del método de Escalamiento Espectral, de registros ajustados al espectro del sismo de diseño (SDI) de la norma NCh2369:2023, donde para tres registros se indica el valor máximo del parámetro, mientras que para los casos de siete y 11 registros aplicados corresponde al promedio de las repuestas.



**Figura 7.4.- Elongación pernos de anclaje método Escalamiento espectral – Espectro NCh2369:2023.**

De la figura 7.4, se observa que las respuestas máximas ocurren en los casos en que se evalúan las respuestas de tres registros, donde el modelo 1 ( $T = 0.20$  s) alcanza valores más altos de elongación, mientras que el modelo 2 ( $T = 0.43$  s) alcanza elongaciones de menor magnitud entre los tres modelos analizados. También se identifica que a medida que aumenta la elongación de los pernos de anclaje, la dispersión de la respuesta es mayor, habiendo mayores diferencias en el modelo 2.

**Ajuste Espectral**

**Drift**

En la figura 7.5 se presenta el drift de entrepiso resultante del método de Ajuste Espectral, de registros ajustados al espectro del sismo de diseño (SDI) de la norma NCh2369:2023, donde para cada modelo cuando se evaluaron tres registros se indica el resultado máximo del parámetro asociado a un registro sísmico en particular considerando todos los pisos, mientras que, para los casos de siete y 11 registros aplicados, corresponde al promedio de las repuestas máximas de cada registro considerando todos los pisos.

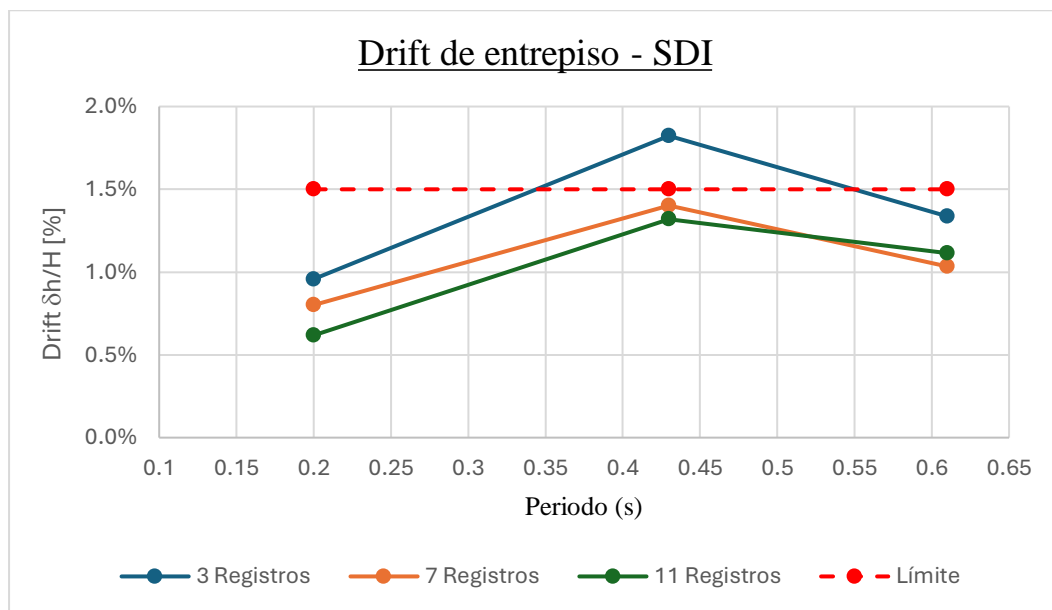


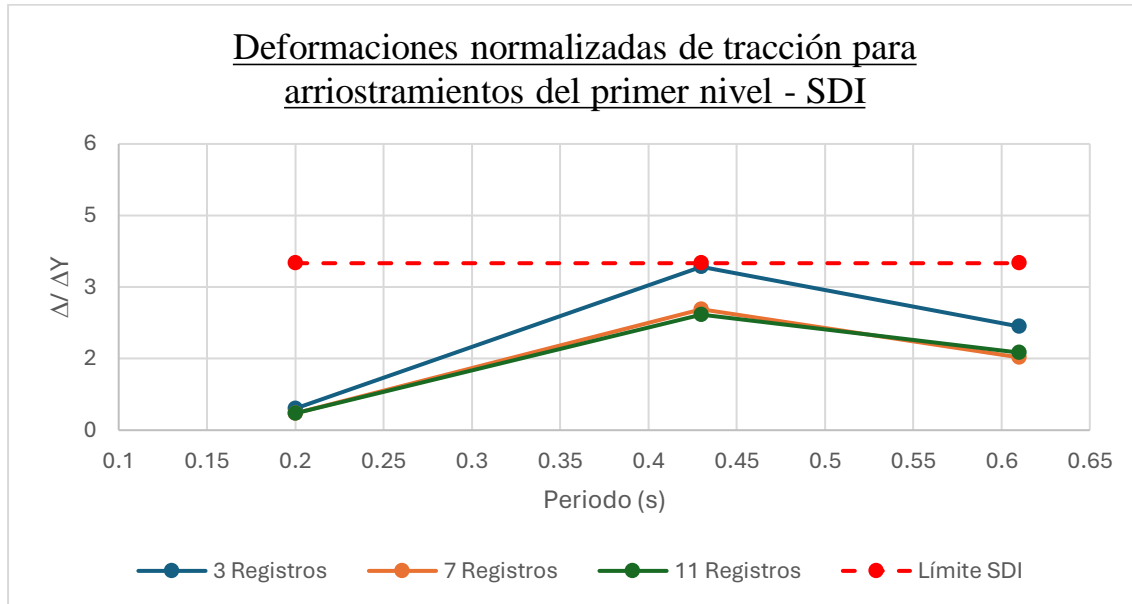
Figura 7.5.- Drift de entrepiso método Ajuste Espectral - Espectro NCh2369:2023.

De los resultados de la figura 7.5, se identifica que los valores máximos son alcanzados en la evaluación de tres registros, donde el modelo 2 presenta mayor drift entrepiso siendo además la única respuesta sobre el límite. Los resultados promedio de siete y 11 registros del modelo 2 y 3 no presentan gran dispersión entre ellos.

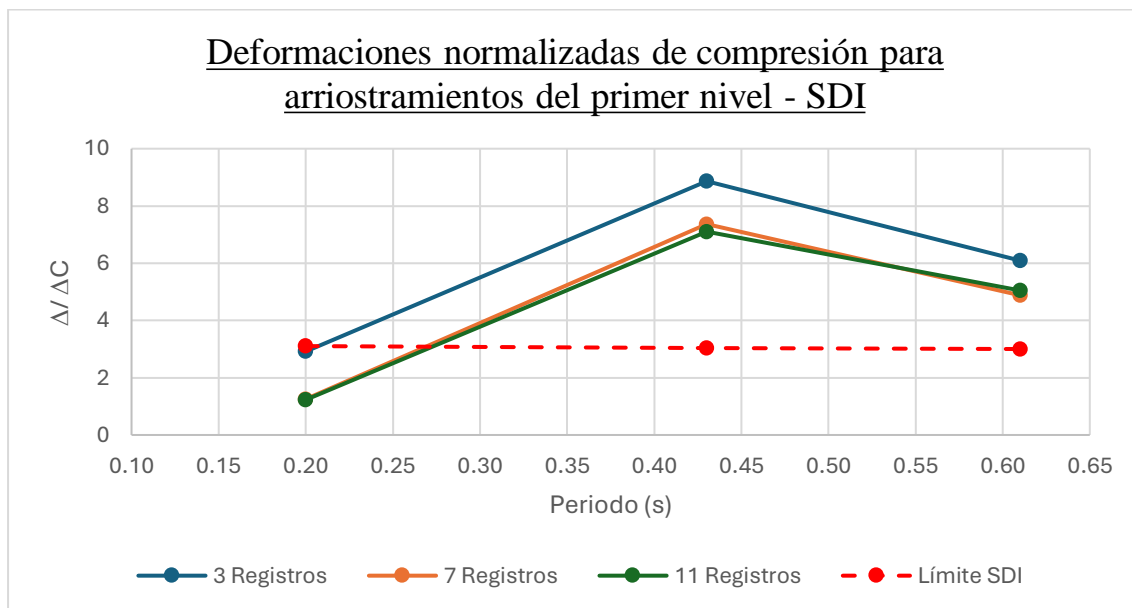
**Deformación diagonales**

En la figura 7.6 y figura 7.7 se presentan respectivamente las deformaciones normalizadas de tracción y compresión para las diagonales del primer nivel de la estructura, dada la aplicación de

registros sísmicos modificados mediante el método de Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) de acuerdo con el espectro del sismo de diseño (SDI) de la norma NCh2369:2023.



**Figura 7.6.- Deformación diagonales en tracción, método Ajuste espectral – Espectro NCh2369:2023.**



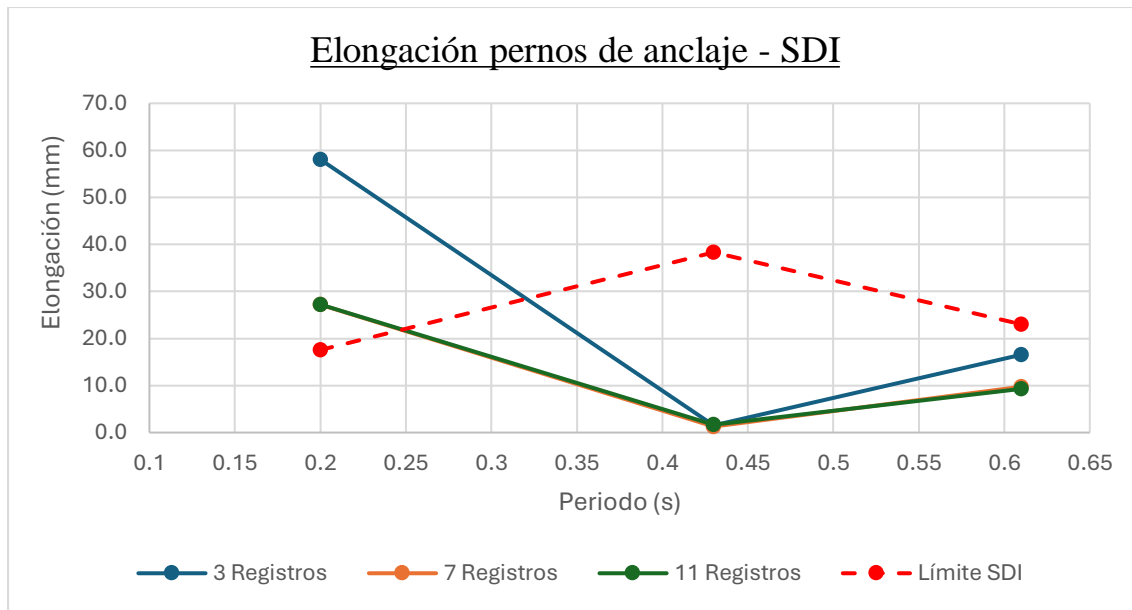
**Figura 7.7.- Deformación diagonales en compresión, método Ajuste espectral – Espectro NCh2369:2023.**

Según las figuras anteriores las respuestas del método de Ajuste Espectral no presentan grandes variaciones comparadas con el método anterior, los valores de deformación pierden dispersión.

La deformación máxima se da en su mayoría para el caso de tres registros, a excepción del modelo 3 donde los valores promedio de siete y 11 registros alcanzan deformaciones de mayor magnitud.

**Elongación de pernos**

En la figura 7.8 se presenta la elongación de los pernos de anclaje resultante del método de Ajuste Espectral, de registros modificados según el espectro del sismo de diseño (SDI) de la norma NCh2369:2023, donde para tres registros se indica el valor máximo del parámetro, mientras que para los casos de siete y 11 registros aplicados corresponde al promedio de las repuestas.



**Figura 7.8.- Elongación pernos de anclaje método Ajuste espectral – Espectro NCh2369:2023.**

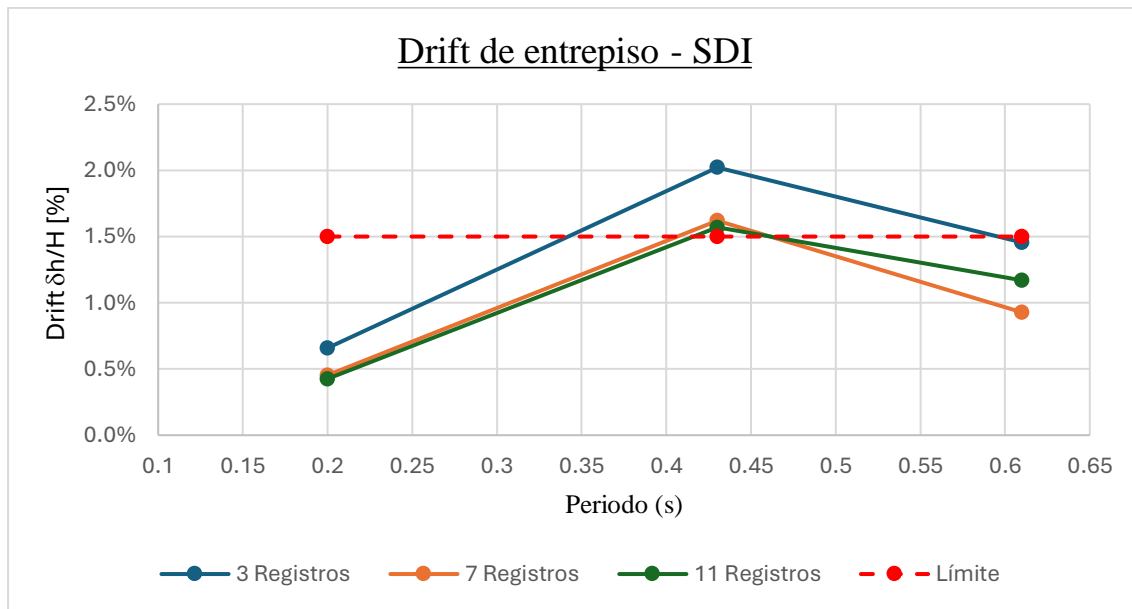
De acuerdo con el gráfico de elongación de pernos de anclaje se identifica que las respuestas máximas ocurren cuando se evalúan tres registros sísmicos, de igual forma que en los demás parámetros el método de Ajuste Espectral ofrece respuestas con menor dispersión, diferencias que aumentan con mayores resultados de elongación.

### 7.2.2. Espectro Medio Condicionado (CMS)

#### Escalamiento Espectral

#### Drift

En la figura 7.9 se presenta el drift de entrepiso resultante del método de Escalamiento Espectral, de registros ajustados al Espectro Medio Condicionado (CMS) del sismo de diseño (SDI), donde para cada modelo cuando se evaluaron tres registros se indica el resultado máximo del parámetro asociado a un registro sísmico en particular considerando todos los pisos, mientras que, para los casos de siete y 11 registros aplicados, corresponde al promedio de las repuestas máximas de cada registro considerando todos los pisos.

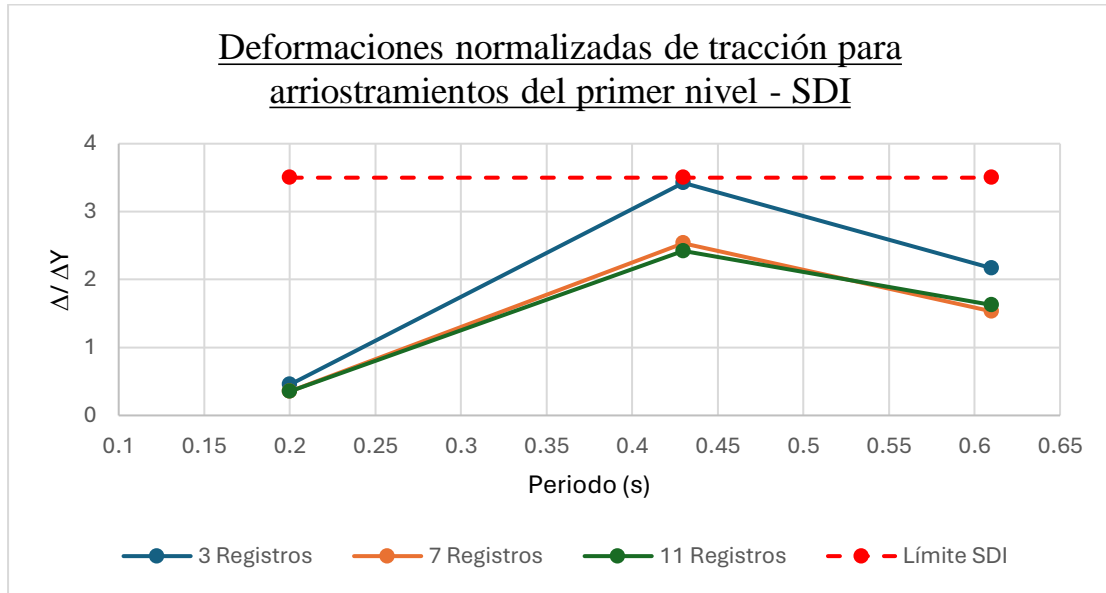


**Figura 7.9.- Drift de entrepiso método Escalamiento Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS).**

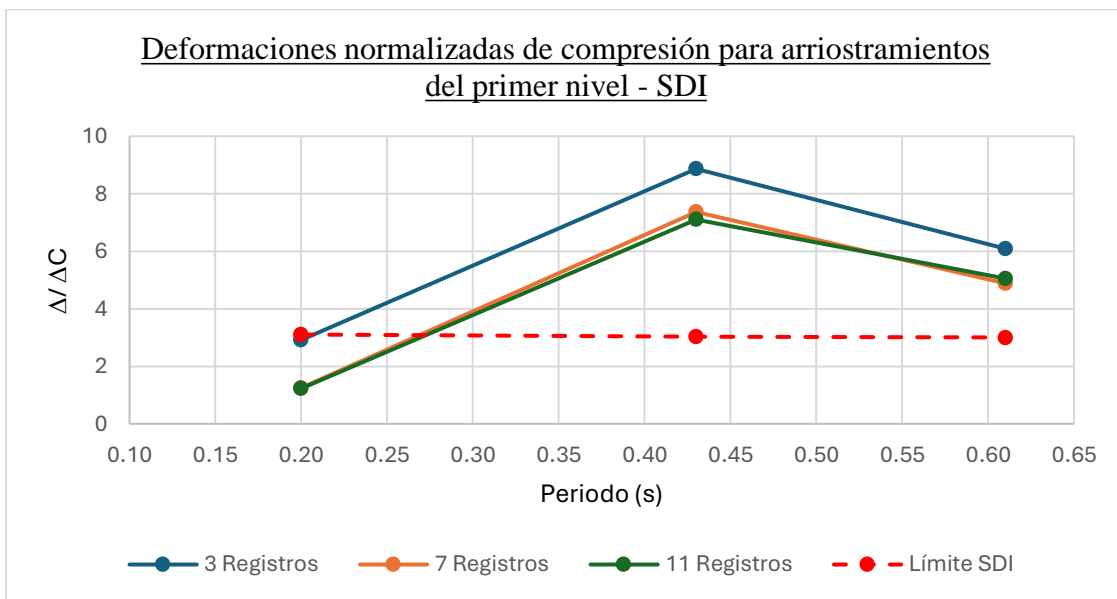
Según la figura 7.9, se señala que todos los modelos alcanzan el drift máximo cuando se evalúan tres registros sísmicos. El mayor drift lo presenta el modelo 2, que además posee las respuestas de todos los casos evaluados sobre el límite mencionado por la norma NCh2369:2023.

**Deformación diagonales**

En la figura 7.10 y figura 7.11 se presentan respectivamente las deformaciones normalizadas de tracción y compresión para los arriostramientos del primer nivel de la estructura, dada la aplicación de registros ajustados al sismo de diseño (SDI) del Espectro Medio Condicionado mediante el método de Escalamiento Espectral.



**Figura 7.10.- Deformación diagonales en tracción, método Escalamiento espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS).**

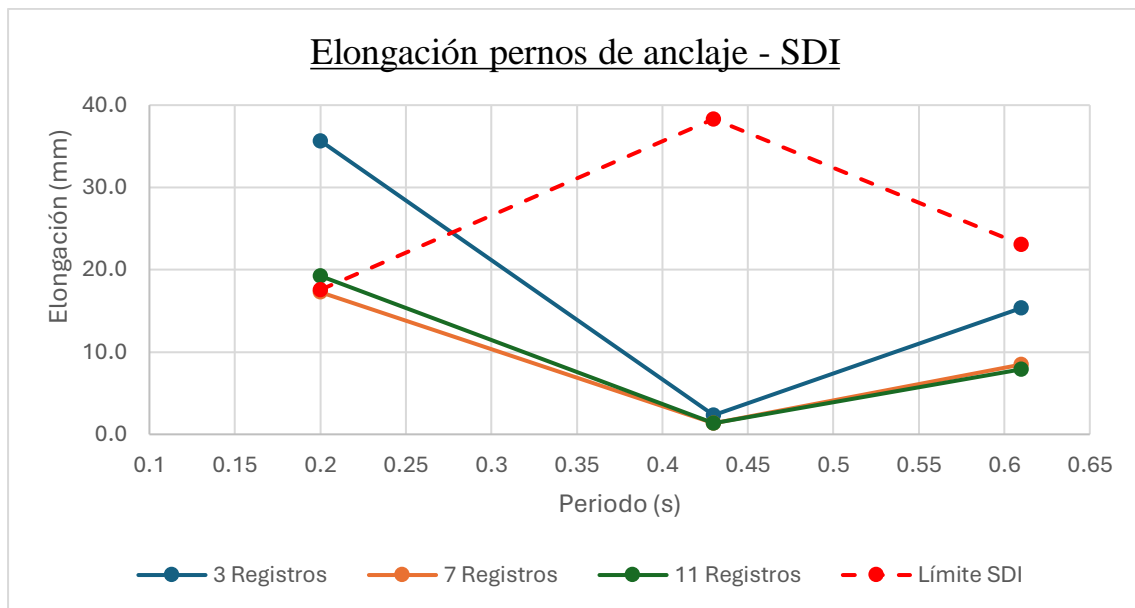


**Figura 7.11.- Deformación diagonales en compresión, método Escalamiento espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS).**

Según las figuras 7.10 y 7.11, las respuestas máximas se presentan cuando se evalúan tres registros sísmicos, mientras que los promedios de siete y 11 registros no presentan grandes diferencias entre ellos. El modelo 2 presenta mayores deformaciones, mientras que el modelo 1 es aquel con menor respuesta, además se observa que para los casos de tracción todos los resultados se encuentran bajo el valor límite, mientras que para compresión esto solo ocurre para el modelo 1.

### Elongación de Pernos de Anclaje

En la figura 7.12 se presenta la elongación de los pernos de anclaje resultante del ajuste de registros mediante el método de Escalamiento Espectral, según el sismo de diseño (SDI) del Espectro Medio Condicionado (CMS), donde para tres registros se indica el valor máximo del parámetro, mientras que para los casos de siete y 11 registros aplicados corresponde al promedio de las repuestas.



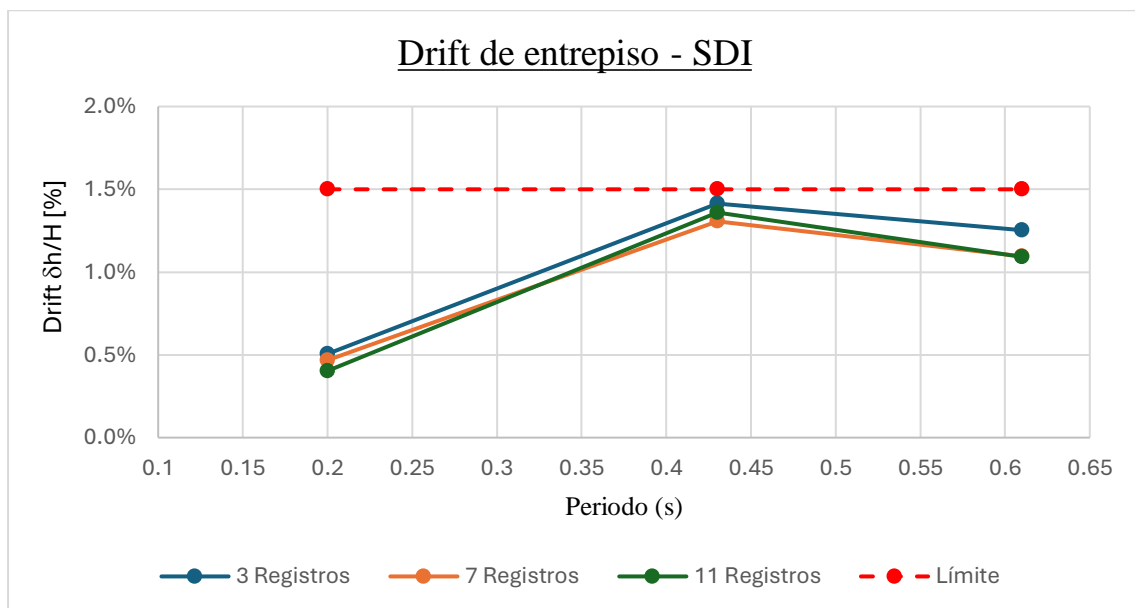
**Figura 7.12.- Elongación pernos de anclaje método Escalamiento Espectral - Espectro Medio Condicionado (CMS).**

De acuerdo a la figura 7.12, las respuestas máximas ocurren con tres registros sísmicos, donde el modelo 1 presenta mayor elongación de pernos, mientras que el modelo 2 es aquel con menor respuesta. Los valores tienen mayor dispersión cuando la respuesta es superior, aunque los promedios de siete y 11 registros de cada modelo no presentan grandes diferencias entre ellos.

## Ajuste Espectral

### Drift

En la figura 7.13 se presenta el drift de entrepiso resultante del método de Ajuste Espectral, de registros modificados según el sismo de diseño (SDI) del Espectro Medio Condicionado (CMS), donde para cada modelo cuando se evaluaron tres registros se indica el resultado máximo del parámetro asociado a un registro sísmico en particular considerando todos los pisos, mientras que, para los casos de siete y 11 registros aplicados, corresponde al promedio de las repuestas máximas de cada registro considerando todos los pisos.

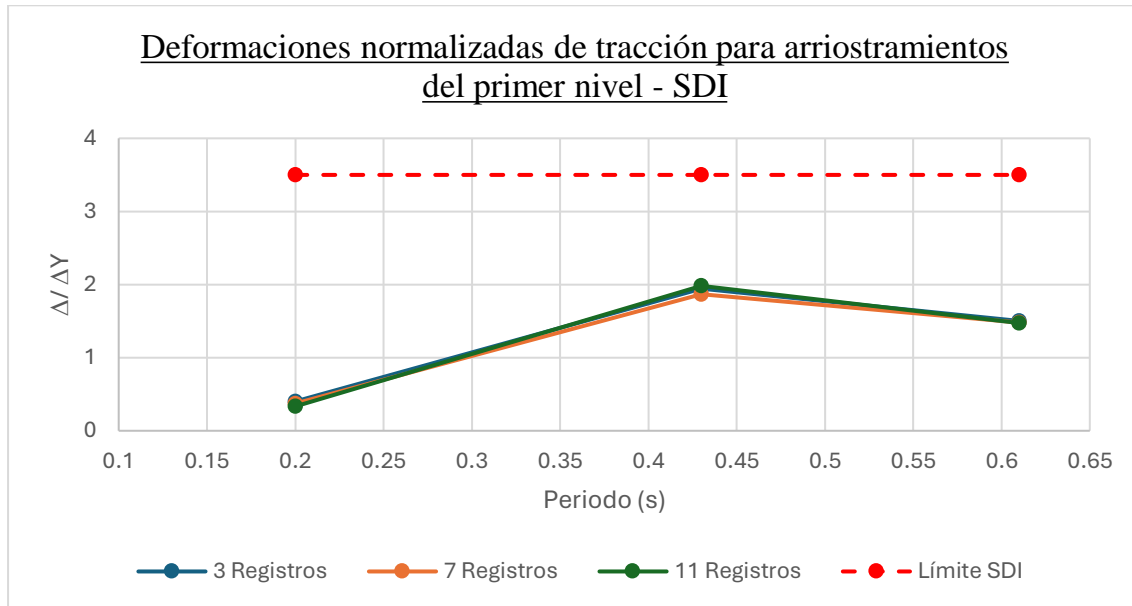


**Figura 7.13.- Drift de entrepiso método Ajuste Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS).**

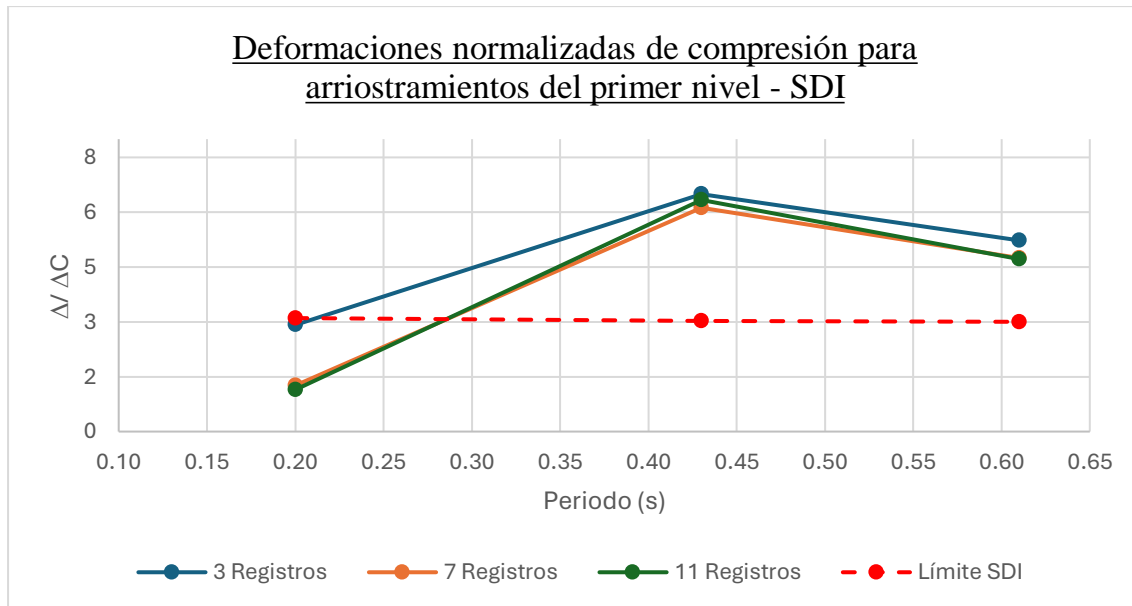
Según la figura 7.13, las respuestas máximas se alcanzan cuando son evaluados tres registros sísmicos, donde el modelo 2 es aquel con mayor drift de entrepiso. Los resultados no presentan gran dispersión entre ellos, alcanzando respuestas inferiores al límite.

**Deformación diagonales**

En la figura 7.14 y figura 7.15 se presentan respectivamente las deformaciones normalizadas de tracción y compresión para las diagonales del primer nivel de la estructura, dada la aplicación de registros sísmicos modificados mediante el método de Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) de acuerdo con el sismo de diseño (SDI) del Espectro Medio Condicionado (CMS).



**Figura 7.14.- Deformación diagonales en tracción, método Ajuste Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS).**

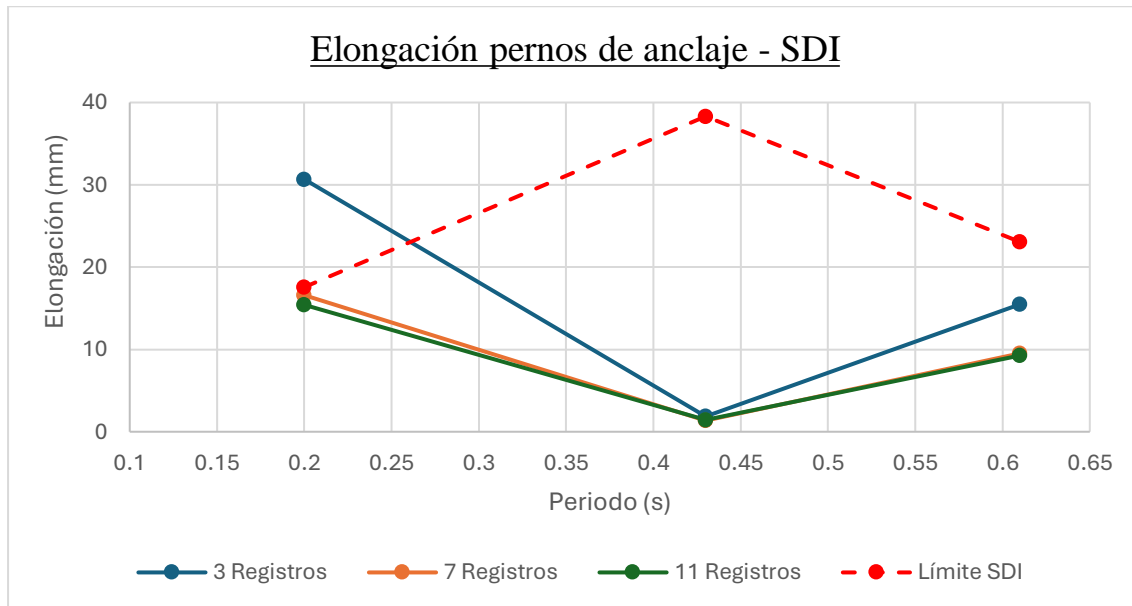


**Figura 7.15.- Deformación diagonales en compresión, método Ajuste Espectral - Espectro Medio Condicionado (CMS).**

De acuerdo con las figuras anteriores, las respuestas en tracción se encuentran bajo el valor límite y se obtienen resultados similares a pesar de la diferencia de registros evaluados, donde el modelo 2 presenta mayor deformación de elementos diagonal, mientras que en compresión la respuesta máxima se da al evaluar tres registros sísmicos y alcanza mayor diferencia respecto a los promedios de siete y 11 registros en comparación con la tracción, siendo también el modelo 2 aquel con mayor deformación, además la mayoría de las respuestas superan el valor límite, salvo el modelo 1 ( $T = 0.20$  s).

**Elongación de Pernos de Anclaje**

En la figura 7.16 se presenta la elongación de los pernos de anclaje resultante del método de Ajuste Espectral, de registros modificados según el sismo de diseño (SDI) del Espectro Medio Condicionado (CMS), donde para tres registros se indica el valor máximo del parámetro, mientras que para los casos de siete y 11 registros aplicados corresponde al promedio de las repuestas.



**Figura 7.16.- Elongación pernos de anclaje, método Ajuste espectral - Espectro Medio Condicionado (CMS).**

Según la figura 7.16, las respuestas máximas se alcanzan considerando tres registros sísmicos, donde el modelo 1 es aquel con mayor elongación y el modelo 2 presenta valores de elongación menor respecto a los demás. Solo el modelo 1 supera el límite SDI, mientras que el modelo 2 y 3, presentan elongaciones de baja magnitud alejadas de sus respectivos valores límite.

### 7.3. Resultados SMP

#### 7.3.1. Espectro NCh2369:2023

##### Escalamiento Espectral

##### Drift

En la figura 7.17 se presenta el drift de entrepiso resultante del método de Escalamiento Espectral, de registros ajustados al espectro del sismo máximo posible (SMP) de la norma NCh2369:2023, donde para cada modelo cuando se evaluaron tres registros se indica el resultado máximo del parámetro asociado a un registro sísmico en particular considerando todos los pisos, mientras que, para los casos de siete y 11 registros aplicados, corresponde al promedio de las repuestas máximas de cada registro considerando todos los pisos.

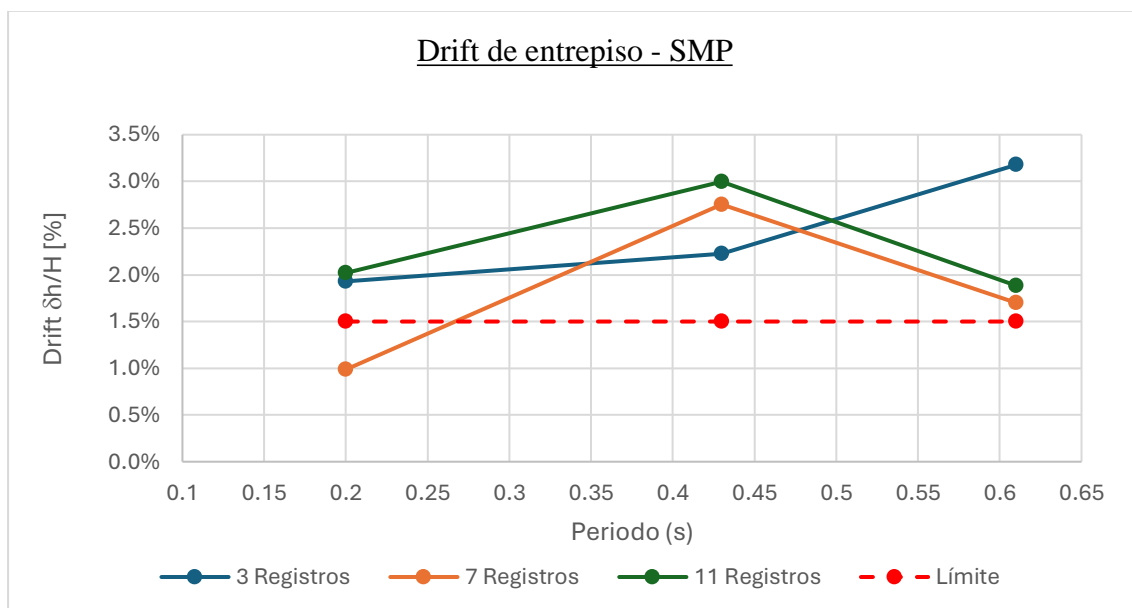
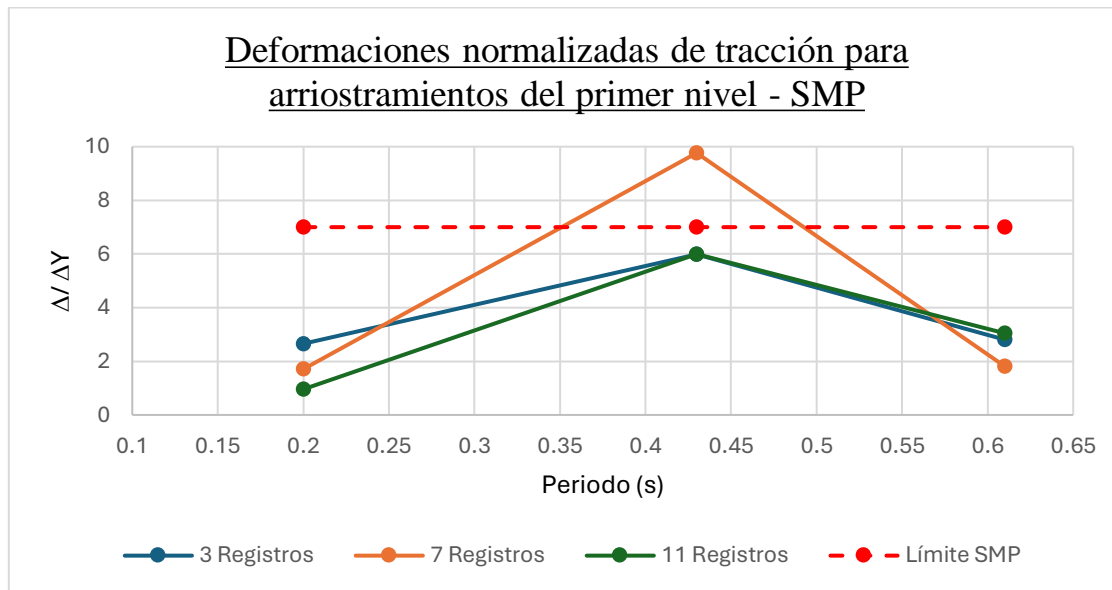


Figura 7.17.- Drift de entrepiso método Escalamiento Espectral – Espectro NCh2369:2023.

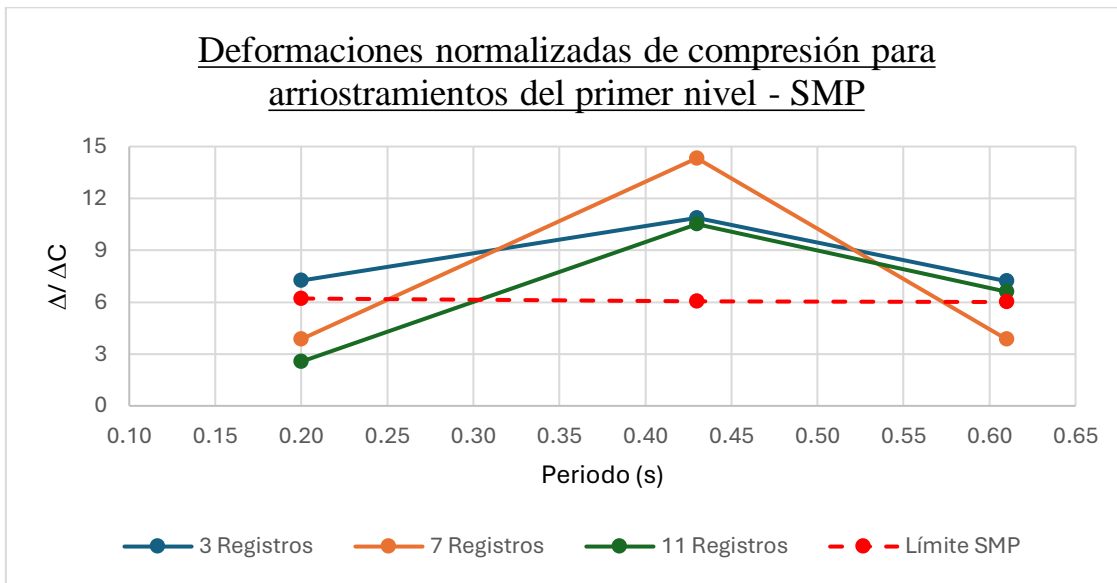
De igual forma que para la mayoría de los casos las respuestas máximas se obtienen cuando se evalúan solo tres registros, el modelo 2 presenta mayor drift siendo solo su valor máximo superior al límite normativo, mientras que el modelo 1 y 3 solo presentan respuestas menores al valor admisible.

**Deformación diagonales**

En la figura 7.18 y figura 7.19 se presentan respectivamente las deformaciones normalizadas de tracción y compresión para los arriostramientos del primer nivel de la estructura del método de Escalamiento Espectral, dada la aplicación de registros ajustados al espectro del sismo máximo posible (SMP) de la norma NCh2369:2023.



**Figura 7.18.- Deformación diagonales en tracción, método Escalamiento Espectral – Espectro NCh2369:2023.**

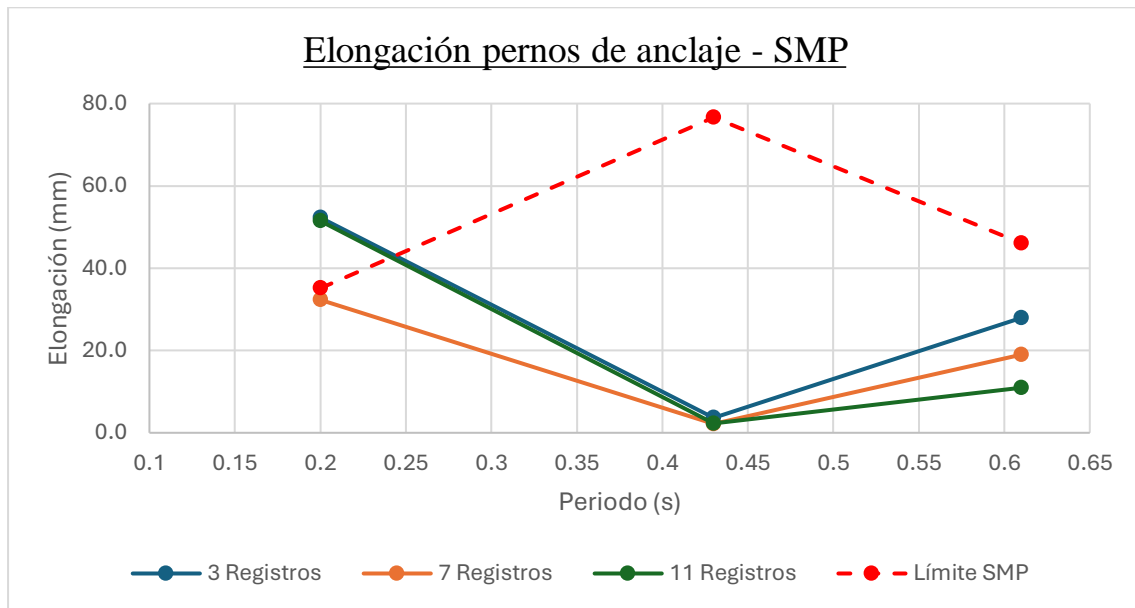


**Figura 7.19.- Deformación diagonales en compresión, método Escalamiento Espectral – Espectro NCh2369:2023.**

Según las figuras 7.18 y 7.19, las respuestas del método de Escalamiento Espectral presentan variación respecto a otras respuestas, aunque en su mayoría los valores máximos en tracción y compresión son alcanzados al considerar tres registros, el modelo 2 (T = 0.43 s) presenta un valor máximo asociado al promedio de los valores de 7 registros.

**Elongación pernos de anclaje**

En la figura 7.20 se presenta la elongación de los pernos de anclaje resultante del método de Escalamiento Espectral, de registros ajustados al espectro del sismo máximo posible (SMP) de la norma NCh2369:2023, donde para tres registros se indica el valor máximo del parámetro, mientras que para los casos de siete y 11 registros aplicados corresponde al promedio de las repuestas.



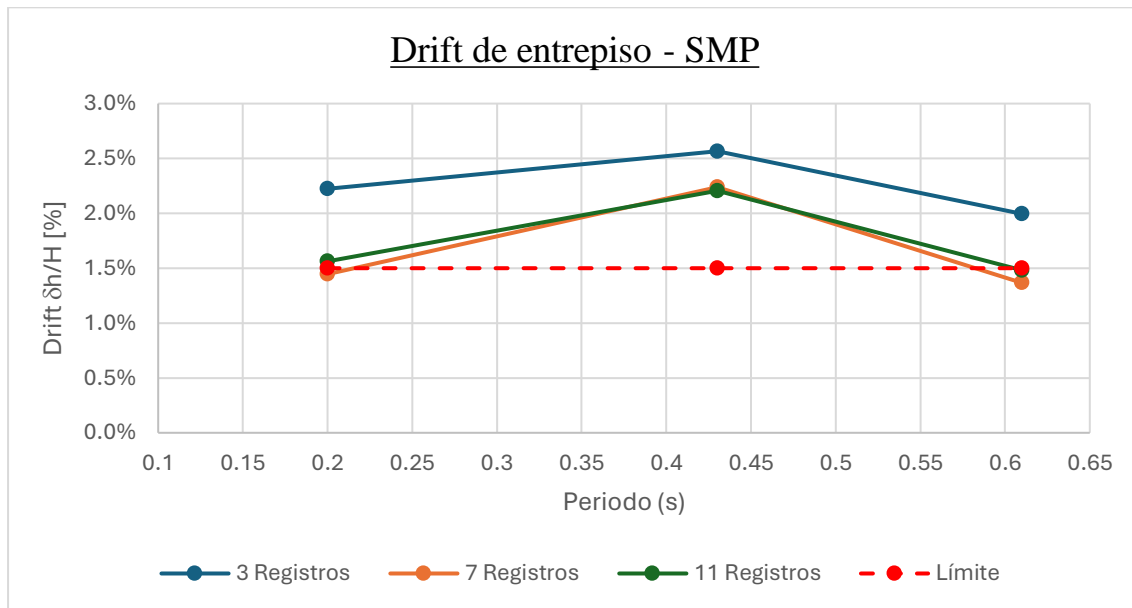
**Figura 7.20.- Elongación pernos de anclaje, método Escalamiento Espectral - Espectro NCh2369:2023.**

Los resultados de la figura 7.20 indican que, comparando el comportamiento de los tres modelos, la elongación máxima ocurre en el modelo 1, mientras la menor respuesta se obtiene en el modelo 2. Además, solo el modelo 1 presenta elongaciones sobre su límite SMP, mientras que en el modelo 2 y 3 se obtienen respuestas menores a sus respectivos límites.

### Ajuste Espectral

#### **Drift**

En la figura 7.21 se presenta el drift de entrepiso resultante del método de Ajuste Espectral, de registros ajustados al espectro del sismo máximo posible (SMP) de la norma NCh2369:2023, donde para cada modelo cuando se evaluaron tres registros se indica el resultado máximo del parámetro asociado a un registro sísmico en particular considerando todos los pisos, mientras que, para los casos de siete y 11 registros aplicados, corresponde al promedio de las repuestas máximas de cada registro considerando todos los pisos.

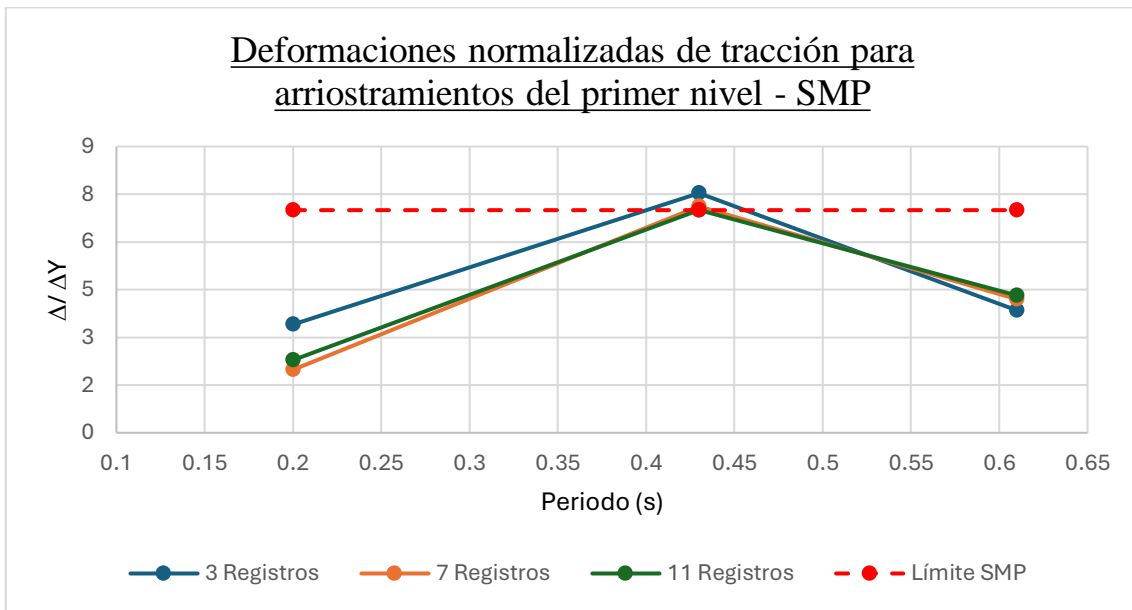


**Figura 7.21.- Drift de entrepiso método Ajuste Espectral – Espectro NCh2369:2023.**

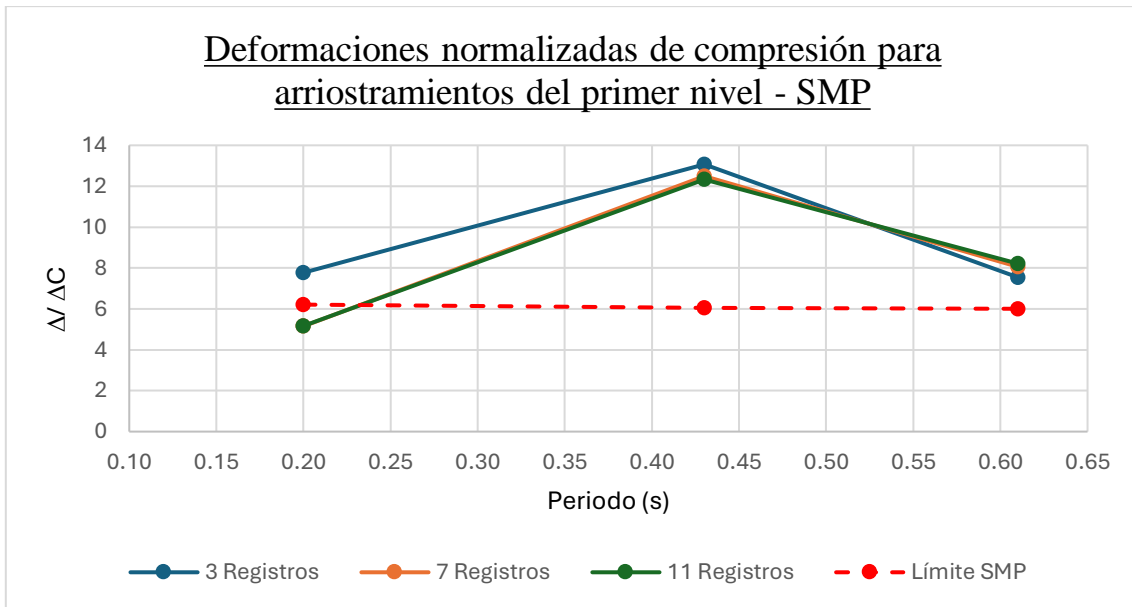
De acuerdo con la figura 7.21, la respuesta máxima ocurre evaluando tres registros sísmicos, siendo el modelo 2 ( $T = 0.43$  s) aquel con mayor drift entrepiso. La mayoría de los resultados supera el valor límite, a excepción de algunos de los promedios de 7 registros en el modelo 1 y 3.

### Deformación diagonales

En la figura 7.22 y figura 7.23 se presentan respectivamente las deformaciones normalizadas de tracción y compresión para las diagonales del primer nivel de la estructura, dada la aplicación de registros sísmicos modificados mediante el método de Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) de acuerdo con el espectro del sismo máximo posible (SMP) de la norma NCh2369:2023.



**Figura 7.22.- Deformación diagonales en tracción, método Ajuste Espectral – Espectro NCh2369:2023.**



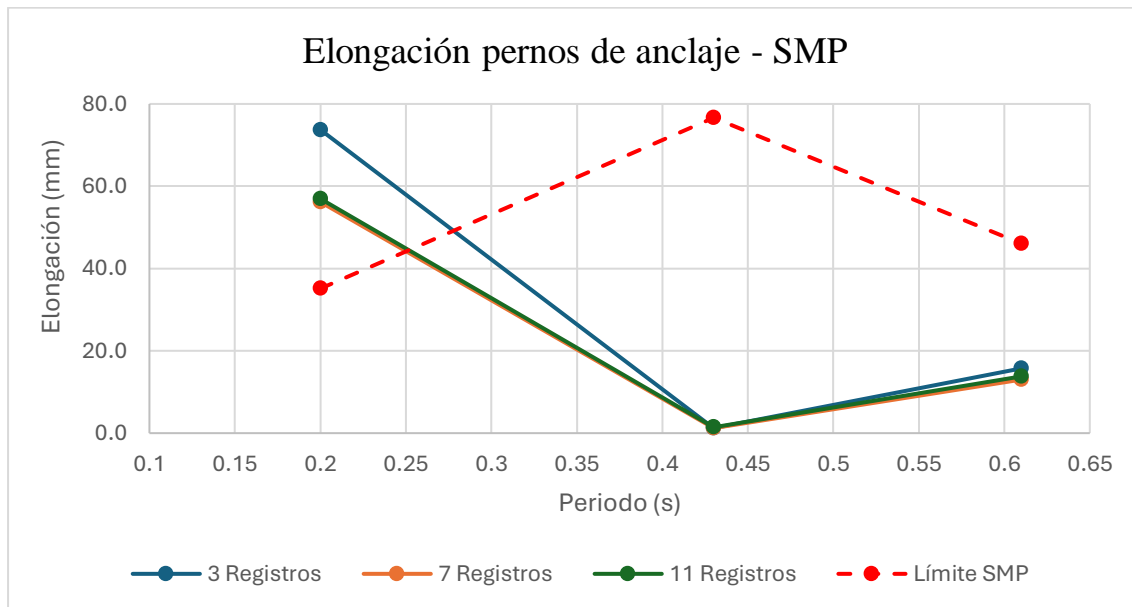
**Figura 7.23.- Deformación diagonales en compresión, método Ajuste Espectral – Espectro NCh2369:2023.**

Según las figuras anteriores, en el modelo 1 y 2 las deformaciones en tracción y compresión alcanzan su respuesta máxima al considerar solo tres registros, mientras que en el modelo 3 esta respuesta corresponde a su menor deformación siendo mayor los resultados promedios para el

modelo de mayor periodo. De los modelos evaluados solo el modelo 1 supera su valor límite de elongación de pernos, mientras que los otros modelos tienen respuestas lejanas al límite. En todos los modelos no existe gran diferencia entre sus respuestas, salvo por el modelo 1 donde su respuesta máxima tiene cierta dispersión respecto a los valores promedio de siete y 11 registros del modelo.

**Elongación pernos de anclaje**

En la figura 7.24 se presenta la elongación de los pernos de anclaje resultante del método de Ajuste Espectral, de registros ajustados al espectro del sismo máximo posible (SMP) de la norma NCh2369:2023, donde para tres registros se indica el valor máximo del parámetro, mientras que para los casos de siete y 11 registros aplicados corresponde al promedio de las repuestas.



**Figura 7.24.- Elongación pernos de anclaje, método Ajuste Espectral - Espectro NCh2369:2023.**

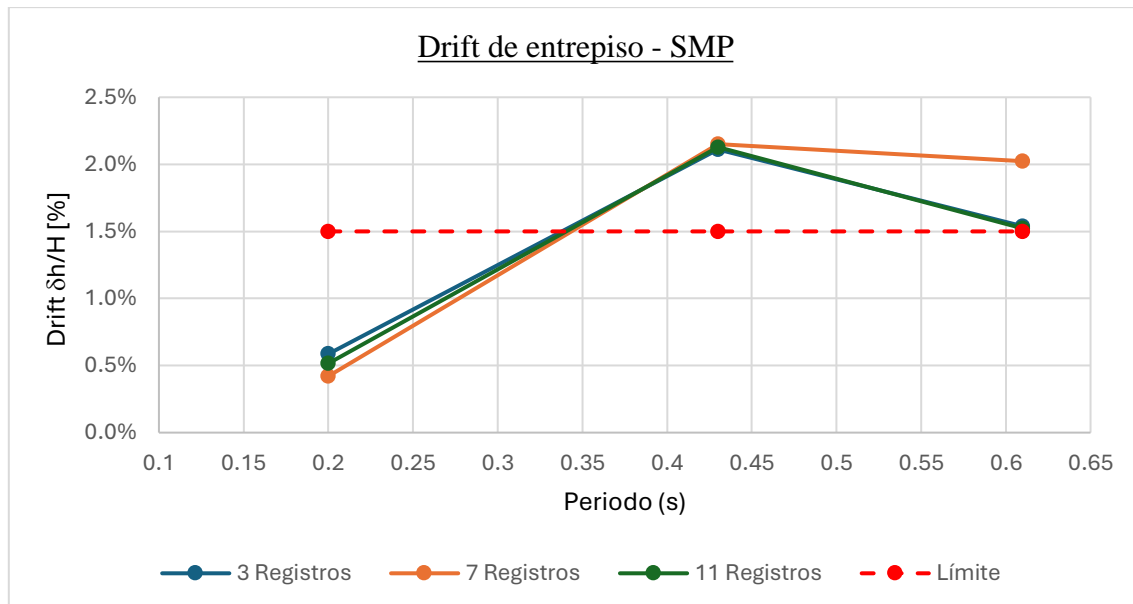
De acuerdo con la figura 7.24 solo el modelo 1 presenta respuestas sobre el límite SMP, mientras que el modelo 2 y 3 presentan una elongación de pernos inferior a sus respectivos límites. Las respuestas no presentan gran dispersión, a excepción del modelo 1 donde el valor máximo es notoriamente superior a los resultados promedios de siete y 11 registros.

### 7.3.2. Espectro CMS

#### Escalamiento Espectral

##### Drift

En la figura 7.25 se presenta el drift de entrepiso resultante del método de Escalamiento Espectral, de registros ajustados al espectro del sismo máximo posible (SMP) del Espectro Medio Condicionado (CMS), donde para cada modelo cuando se evaluaron tres registros se indica el resultado máximo del parámetro asociado a un registro sísmico en particular considerando todos los pisos, mientras que, para los casos de siete y 11 registros aplicados, corresponde al promedio de las repuestas máximas de cada registro considerando todos los pisos.

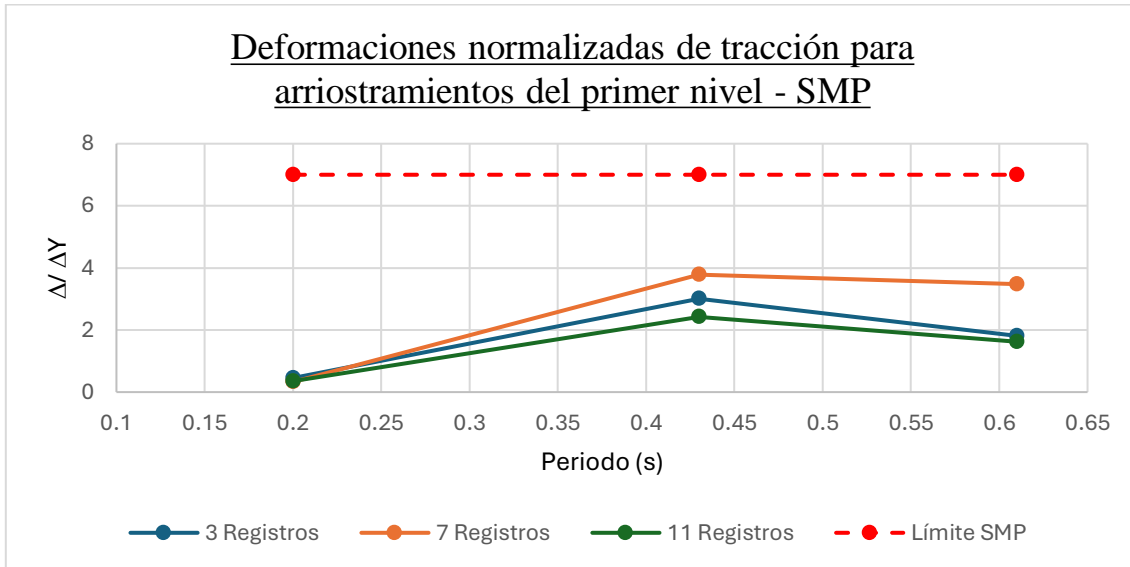


**Figura 7.25.- Drift de entrepiso método Escalamiento Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS).**

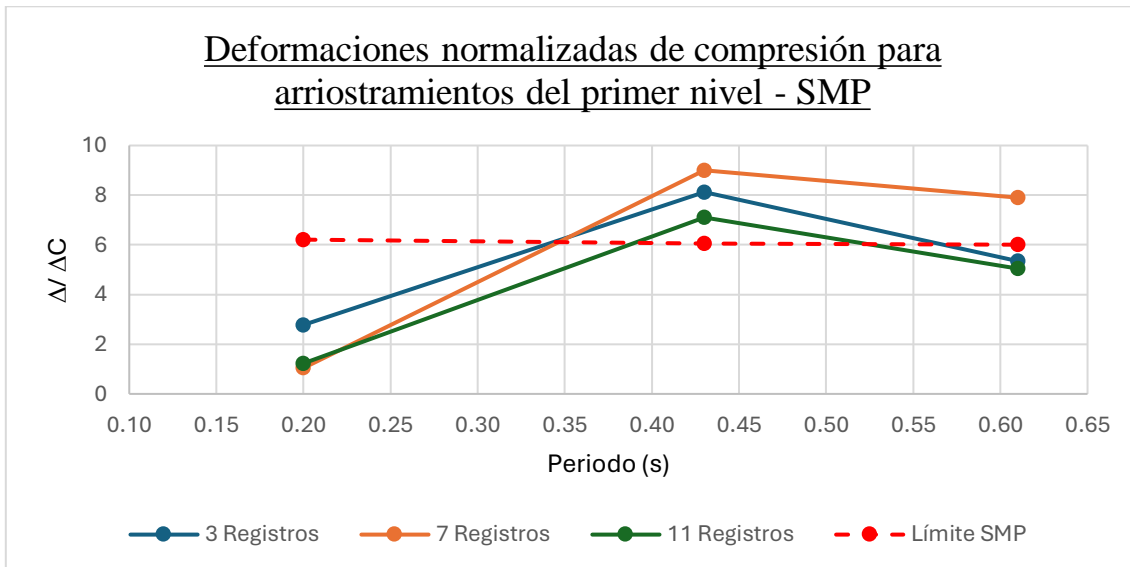
De los resultados de la figura 7.25, se observa que los valores para el modelo 2 y 3 superan el límite normativo, no así el modelo 1. Además, el drift entrepiso presenta baja dispersión, salvo por el promedio de 7 registros del modelo 3 que alcanza el valor máximo en el mismo modelo.

**Deformación diagonales**

En la figura 7.26 y figura 7.27 se presentan respectivamente las deformaciones normalizadas de tracción y compresión para las diagonales del primer nivel de la estructura, dada la aplicación de registros sísmicos modificados mediante el método de Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) de acuerdo al sismo máximo posible (SMP) del Espectro Medio Condicionado (CMS).



**Figura 7.26.- Deformación diagonales en tracción, método Escalamiento Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS).**

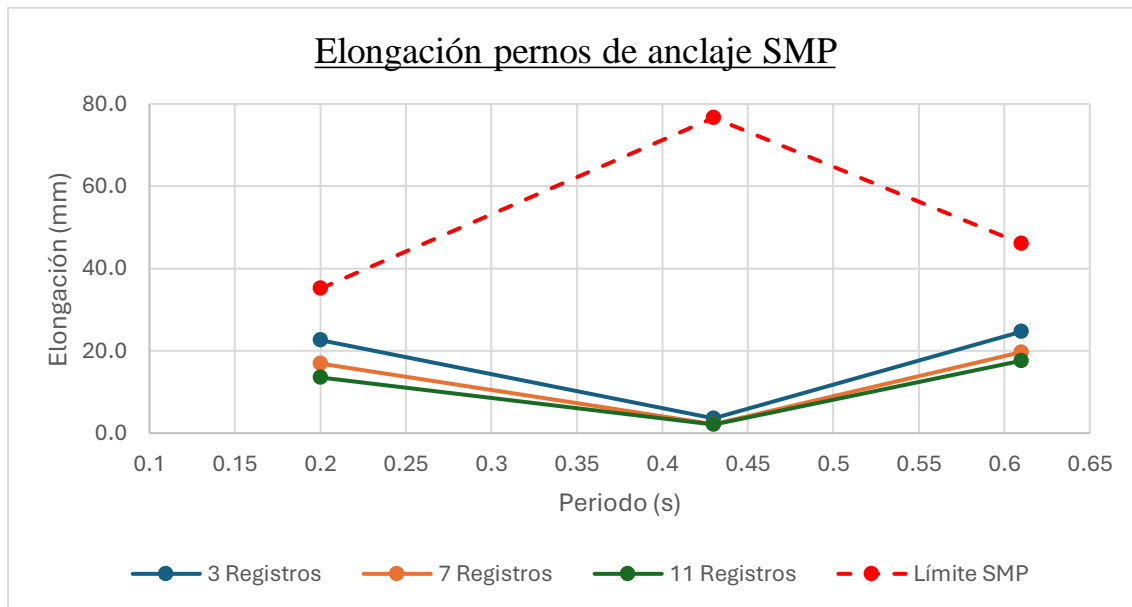


**Figura 7.27.- Deformación diagonales en compresión, método Escalamiento Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS).**

De los resultados de las figuras 7.26 y 7.27, en los modelos 2 y 3 las respuestas máximas se alcanzan con la evaluación de 7 registros, situación distinta para el modelo 1 donde esto sucede con los resultados de tres registros. Se observa además que solo para los casos de compresión los elementos diagonales del modelo 2 alcanzan valores sobre el límite en la evaluación de 3, siete y 11 registros.

**Elongación pernos de anclaje**

En la figura 7.28 se presenta la elongación de los pernos de anclaje resultante del ajuste de registros mediante el método de Escalamiento Espectral, según el sismo máximo posible (SMP) del Espectro Medio Condicionado (CMS), donde para tres registros se indica el valor máximo del parámetro, mientras que para los casos de siete y 11 registros aplicados corresponde al promedio de las repuestas.



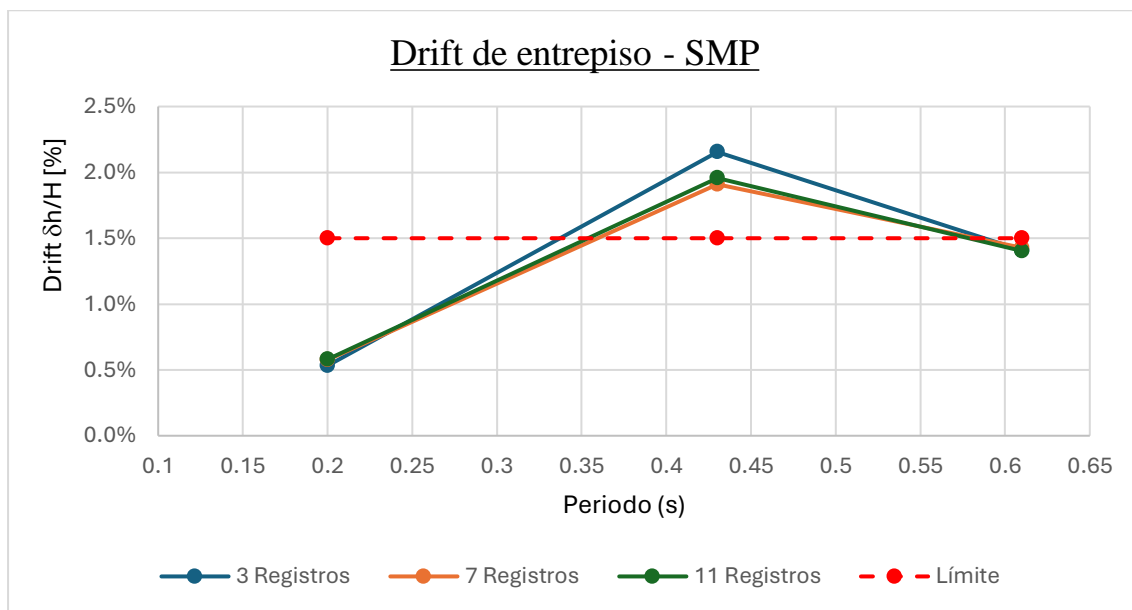
**Figura 7.28.- Elongación pernos de anclaje, método Escalamiento Espectral - Espectro Medio Condicionado (CMS).**

Según la figura 7.28, la elongación de los pernos de anclaje es inferior al límite en todos los casos, donde además se observa que la dispersión entre las respuestas es baja, siendo menos notoria en el modelo 2.

**Ajuste Espectral**

**Drift**

En la figura 7.29 se presenta el drift de entrepiso resultante del método de Ajuste Espectral, de registros modificados según el sismo máximo posible (SMP) del Espectro Medio Condicionado (CMS), donde para cada modelo cuando se evaluaron tres registros se indica el resultado máximo del parámetro asociado a un registro sísmico en particular considerando todos los pisos, mientras que, para los casos de siete y 11 registros aplicados, corresponde al promedio de las repuestas máximas de cada registro considerando todos los pisos.

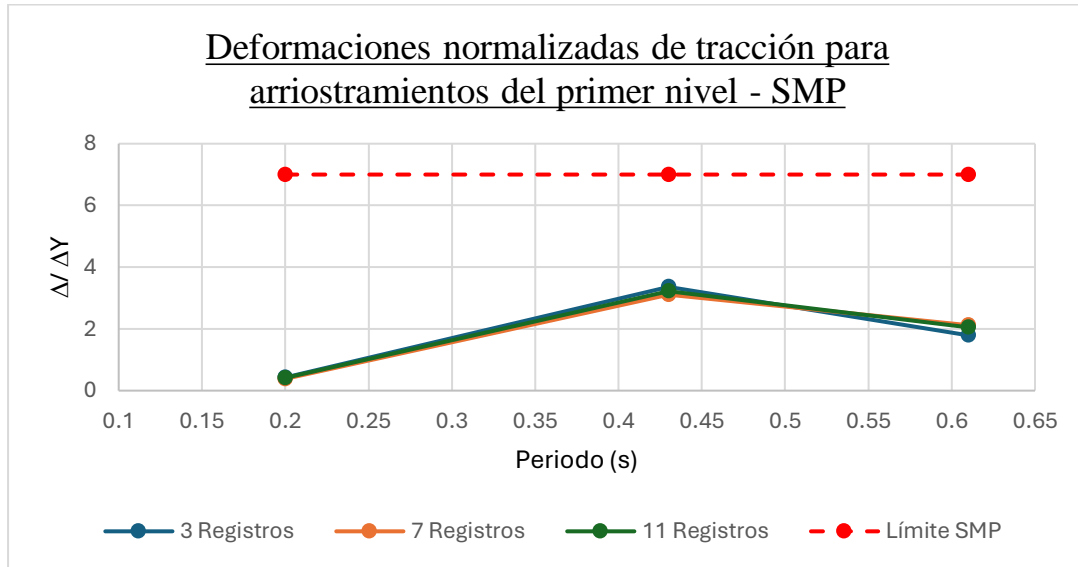


**Figura 7.29.- Drift de entrepiso método Ajuste Espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS).**

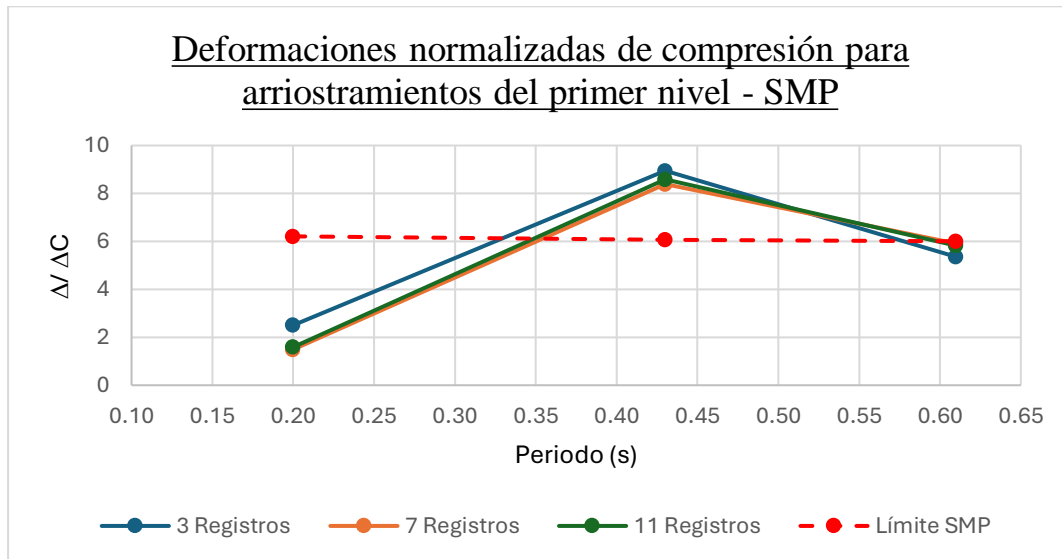
De acuerdo con la figura 7.29, en general las respuestas tienen poca diferencia entre ellas, aunque en el modelo 2 el valor máximo correspondiente a la evaluación de tres registros es superior a los promedios de siete y 11 registros. Las respuestas del modelo 1 y 3 se encuentran bajo el límite normativo, mientras que el modelo 2 alcanza valores de drift de entrepiso superiores a lo indicado en la norma.

**Deformación diagonales**

En la figura 7.30 y figura 7.31 se presentan respectivamente las deformaciones normalizadas de tracción y compresión para las diagonales del primer nivel de la estructura, dada la aplicación de registros sísmicos modificados mediante el método de Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) de acuerdo al sismo máximo posible (SMP) del Espectro Medio Condicionado (CMS).



**Figura 7.30.- Deformación diagonales en tracción, método Ajuste espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS).**

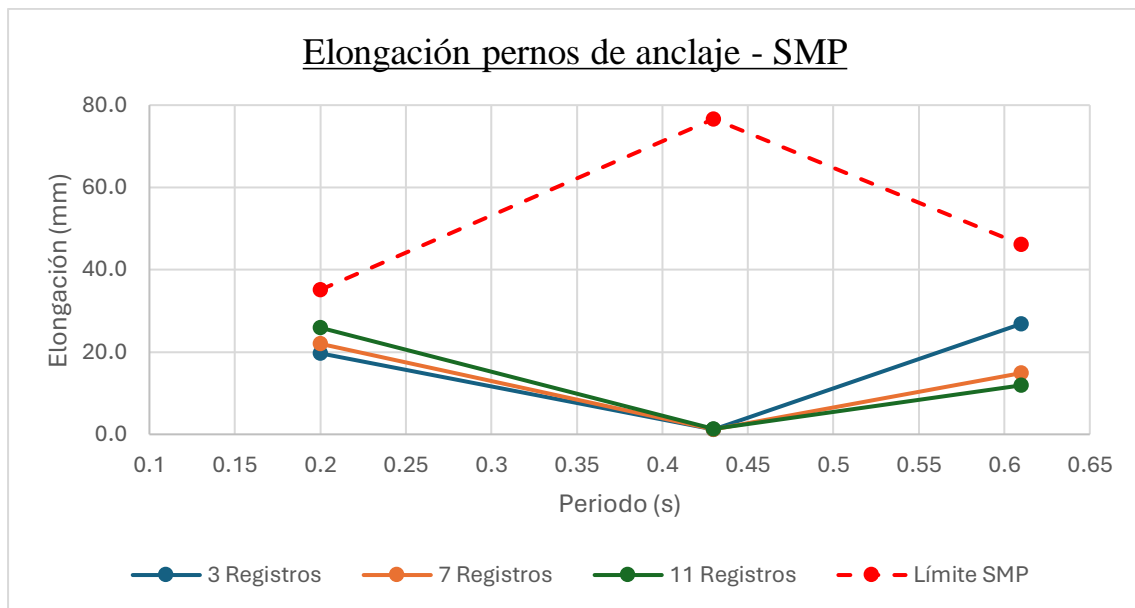


**Figura 7.31.- Deformación diagonales en compresión, método Ajuste espectral – Espectro Medio Condicionado (CMS).**

Según los resultados de tracción y compresión de las figuras anteriores, se observa que en la mayoría de los casos las respuestas son inferiores al límite respectivo al modelo, a excepción de los resultados del modelo 2 en compresión donde estos superan el límite. Los resultados no presentan gran dispersión, particularmente en las deformaciones en tracción donde se obtienen respuestas bastante similares a pesar de evaluar diferentes cantidades de registros sísmicos.

### Elongación pernos de anclaje

En la figura 7.32 se presenta la elongación de los pernos de anclaje resultante del método de Ajuste Espectral, de registros modificados según el sismo de diseño (SDI) del Espectro Medio Condicionado (CMS), donde para tres registros se indica el valor máximo del parámetro, mientras que para los casos de siete y 11 registros aplicados corresponde al promedio de las repuestas.



**Figura 7.32.- Elongación pernos de anclaje, método Ajuste Espectral - Espectro Medio Condicionado (CMS).**

De acuerdo con la figura 7.32, en general se obtienen respuestas similares sin importar la cantidad de registros, a excepción del modelo 3 donde la elongación máxima se alcanza al evaluar tres registros y posee cierta diferencia respecto a los promedios de siete y 11 registros.

### 7.4. Discusión de resultados

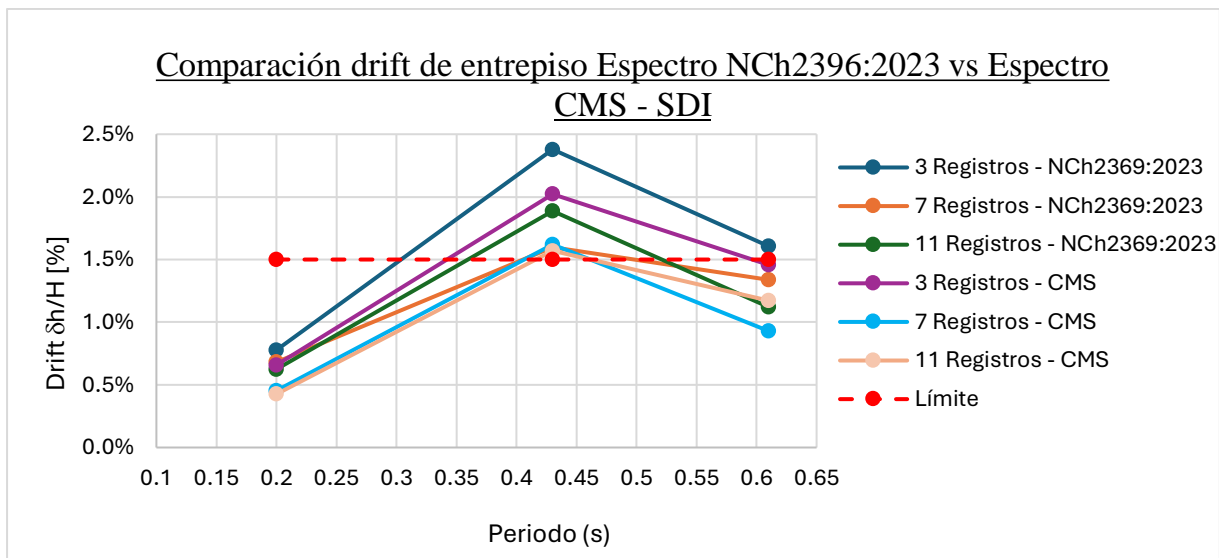
Respecto a los resultados de la sección 7.3 se propone comparar las respuestas de registros modificados mediante Escalamiento Espectral y Ajuste Espectral respecto al espectro NCh2369 y al Espectro Medio Condicionado (CMS). Se comparan las respuestas del drift entrepiso, deformación de diagonales y elongación de pernos de anclaje de 3, siete y 11 registros sísmicos para intensidad SDI y SMP, los resultados se presentan a continuación.

#### 7.4.1. Resultados SDI

##### Escalamiento Espectral

##### Drift

En la figura 7.33 se presentan los resultados del drift de aplicar Escalamiento Espectral a registros seleccionados respecto al espectro NCh2369:2023 y CMS.



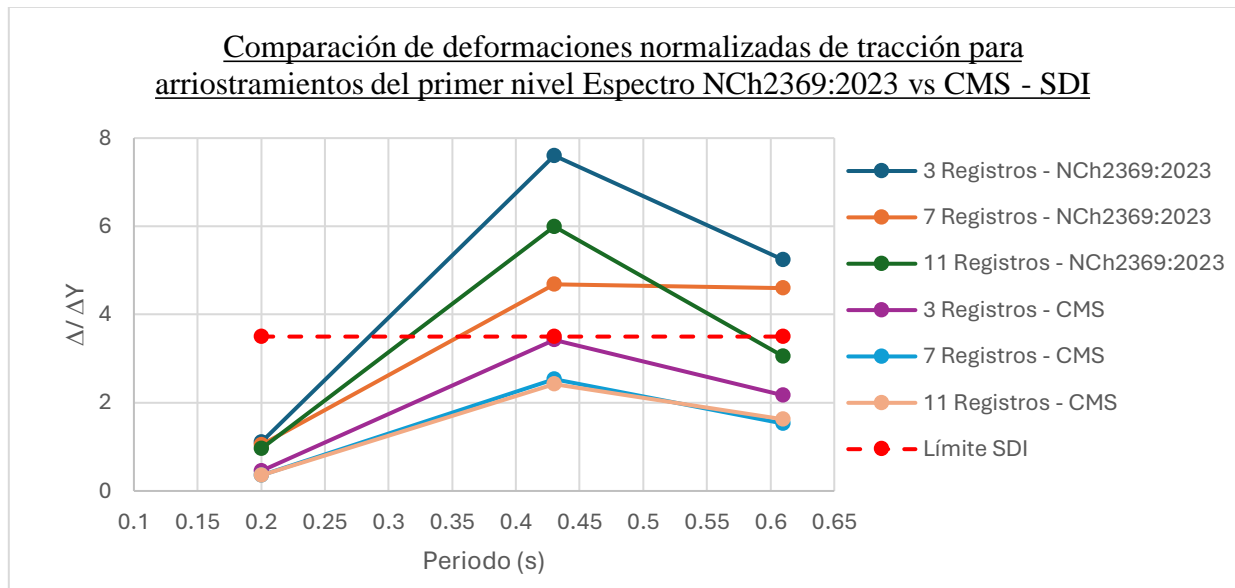
**Figura 7.33.- Comparación drift de entrepiso, Espectro NCh2369:2023 vs CMS – SDI.**

De acuerdo con la figura 7.33, se señala que al utilizar el espectro de la norma NCh2369 las respuestas son mayores, las que incluso presentan mayor dispersión frente a los resultados CMS. Además, es notorio que para algunos casos las respuestas según el espectro de la norma superan

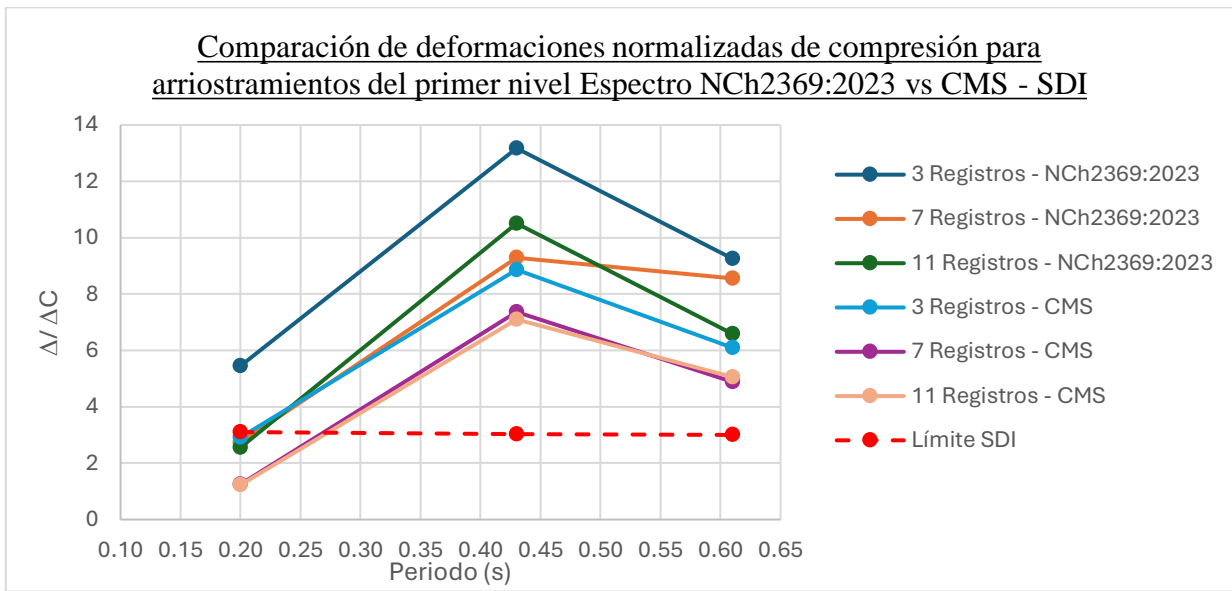
el límite, situación diferente a lo que resulta de emplear CMS, lo que demuestra la variabilidad de la respuesta según ambos métodos.

**Deformación diagonales**

En la figura 7.34 y 7.35 se presentan los resultados de deformación de diagonales en tracción y compresión respectivamente, al aplicar Escalamiento Espectral a registros seleccionados respecto al espectro NCh2369:2023 y CMS.



**Figura 7.34.- Comparación de deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SDI.**

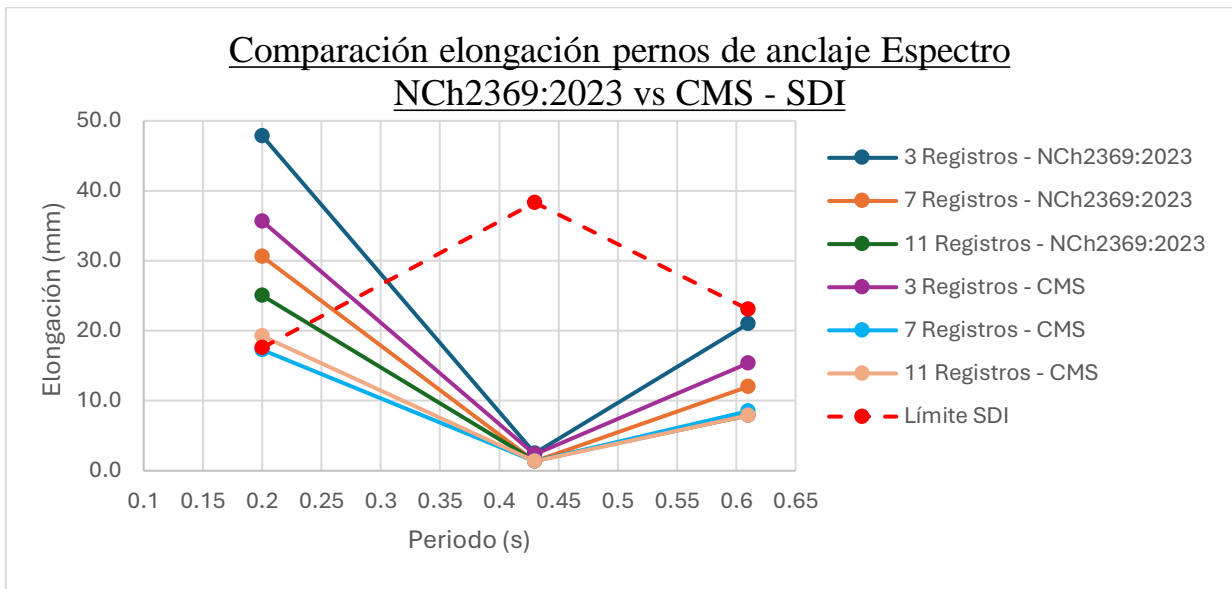


**Figura 7.35.- Comparación de deformaciones normalizadas compresión para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SDI.**

De las figuras anteriores, se identifica que para los casos de tracción el espectro CMS ofrece respuestas menores al límite, lo cual solo ocurre con las respuestas del modelo 1 según espectro NCh2369. Las respuestas CMS poseen menor dispersión entre ellas, situación contraria a lo resultante según espectro NCh2369 donde solo del modelo 1 resultan deformaciones en tracción similares sin importar la cantidad de registros empleados.

**Elongación pernos de anclaje**

En la figura 7.36 se presentan los resultados de la elongación de pernos de anclaje, de aplicar Escalamiento Espectral a registros seleccionados respecto al espectro NCh2369:2023 y CMS.



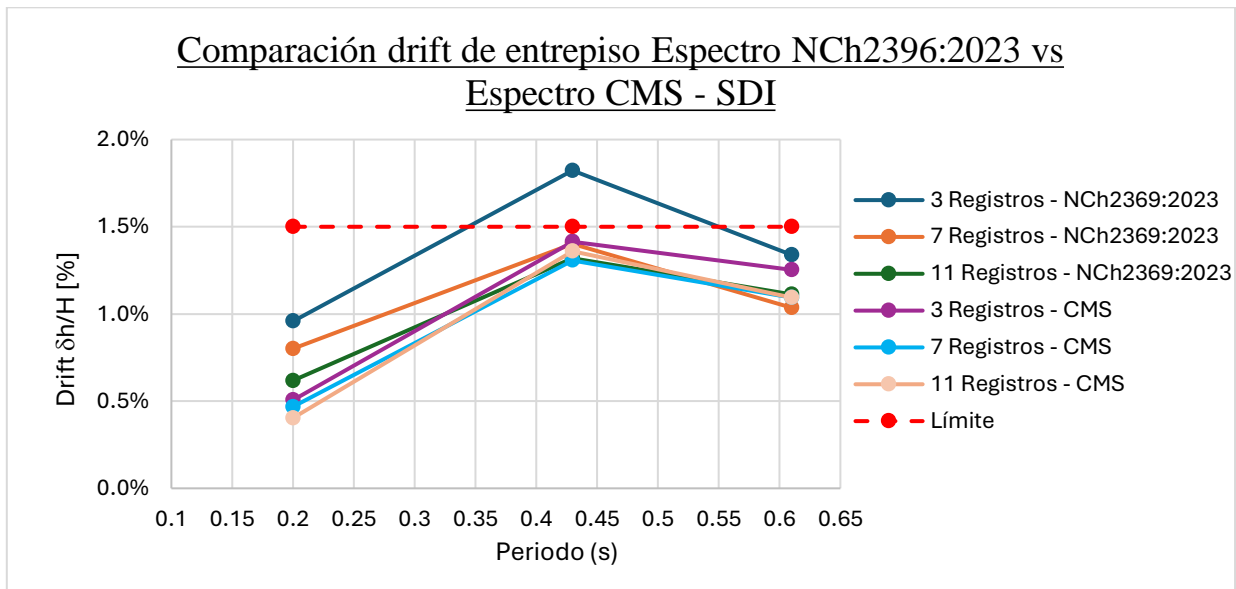
**Figura 7.36.- Comparación elongación de pernos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SDI.**

Respecto a los resultados de la figura 7.36, el uso del Espectro Nch2369:2023 como referencia entrega respuestas de mayor magnitud, que a su vez presentan mayor dispersión. Solo del modelo 1 se obtienen resultados sobre el límite para ambos espectros.

**Ajuste espectral**

**Drift**

En la figura 7.37 se presentan los resultados del drift de aplicar Ajuste Espectral a registros seleccionados respecto al espectro NCh2369:2023 y CMS.

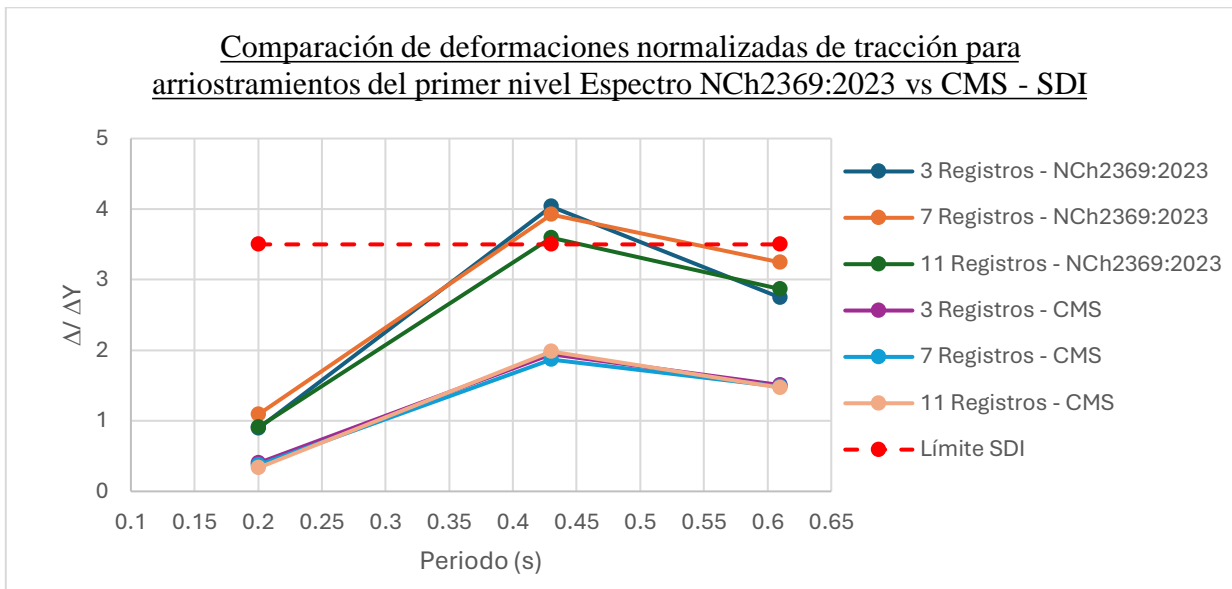


**Figura 7.37.- Comparación drift de entrepiso, Espectro NCh2369:2023 vs CMS – SDI.**

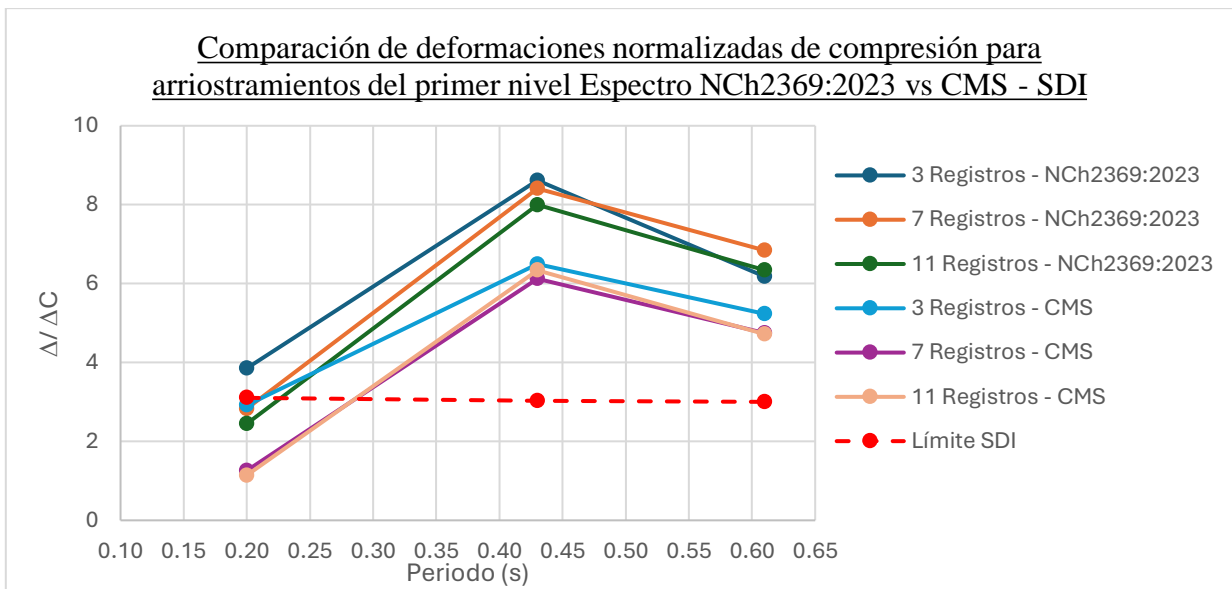
Según la figura 7.37, los resultados de utilizar el Espectro NCh2369 siguen siendo superiores, pero la dispersión de estos se redujo sobre todo en los modelos 2 y 3. También se observa que con este método de ajuste espectral, solo el modelo 2 presenta superiores al límite para el caso de utilizar tres registros sísmicos.

**Deformación diagonales**

En la figura 7.38 y 7.39 se presentan los resultados de deformación de diagonales en tracción y compresión respectivamente, al aplicar Ajuste Espectral a registros seleccionados respecto al espectro NCh2369:2023 y CMS.



**Figura 7.38.- Comparación de deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SDI.**

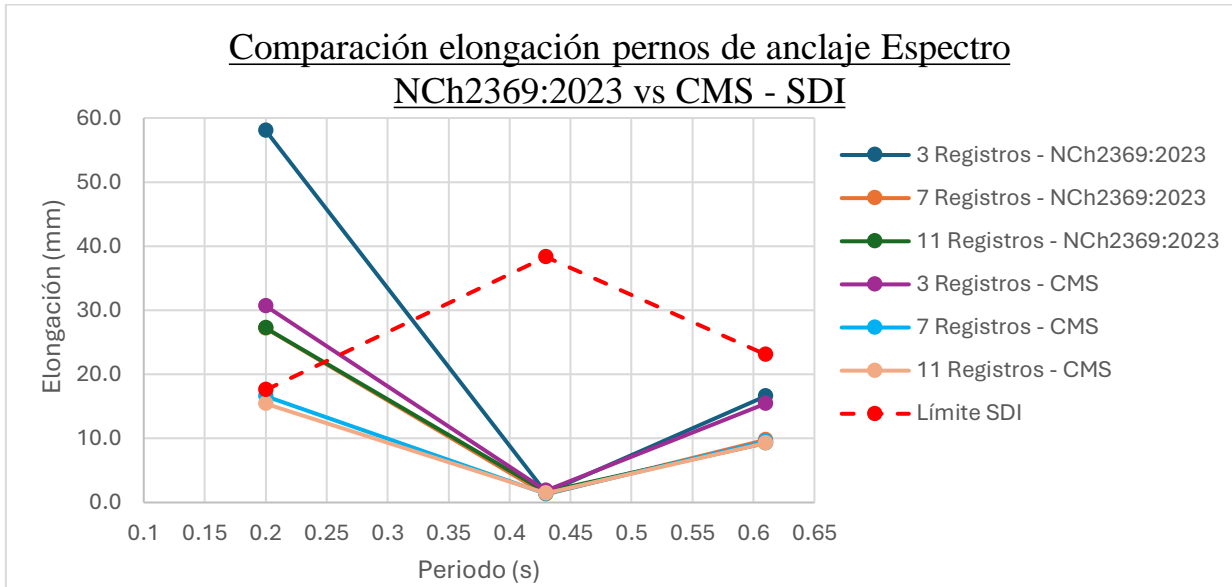


**Figura 7.39.- Comparación de deformaciones normalizadas compresión para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS – SDI.**

Así como para el drift de acuerdo con las figuras anteriores, en general las respuestas de tracción y compresión asociadas al espectro CMS alcanzan valores menores, donde además no existe gran diferencia en los resultados según la cantidad de registros empleados. Para los casos de tracción se observa que solo el modelo 2 presenta valores sobre el límite asociadas al espectro de la norma, mientras que en compresión solo el modelo 1 presenta respuestas bajo el límite asociadas al espectro CMS.

### Elongación pernos de anclaje

En la figura 7.40 se presentan los resultados de la elongación de pernos de anclaje, de aplicar Ajuste Espectral a registros seleccionados respecto al espectro NCh2369:2023 y CMS.



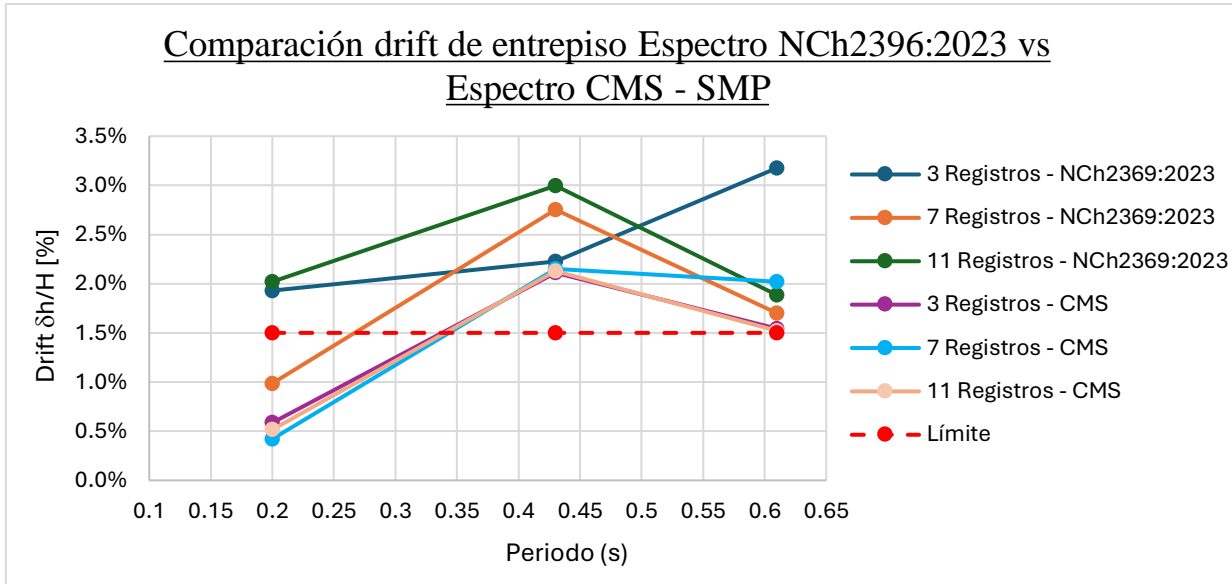
**Figura 7.40.- Comparación elongación de pernos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SDI.**

De acuerdo con la figura 7.40, al igual que los demás parámetros en general las respuestas de utilizar el Espectro NCh2369:2023 son superiores a los resultados de CMS. Solo el modelo 1 presenta respuestas mayores al límite, mientras que en los demás modelos la elongación es menor y no existe gran dispersión de la respuesta, aunque varíe el número de registros utilizados.

**7.4.2. Resultados SMP**

**Drift**

En la figura 7.41 se presentan los resultados del drift de aplicar Escalamiento Espectral a registros seleccionados respecto al espectro NCh2369:2023 y CMS.

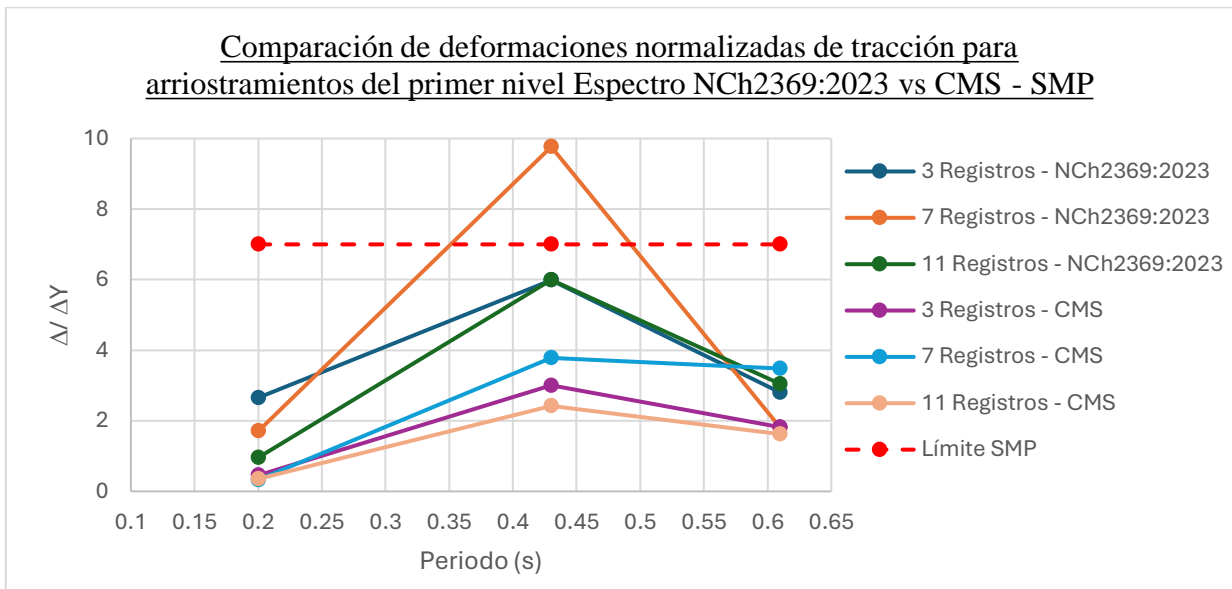


**Figura 7.41.- Comparación drift de entrepiso, Espectro NCh2369:2023 vs CMS – SMP.**

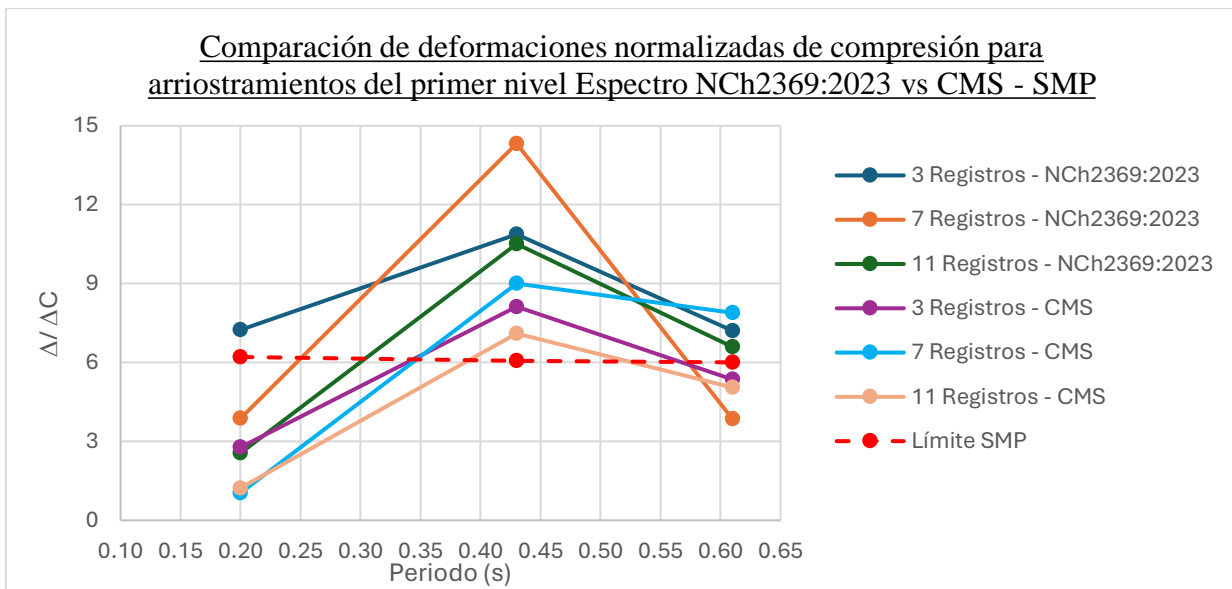
Según la figura 7.41, la mayoría de los resultados asociados a utilizar el espectro NCh2369:2023 siguen siendo superiores a lo resultante de CMS, sin embargo, existe cierta dispersión con algunos resultados como en el modelo 3, donde la respuesta de 7 registros del espectro CMS no sigue la tendencia de los demás resultados del mismo espectro.

**Deformación diagonales**

En la figura 7.42 y 7.43 se presentan los resultados de deformación de diagonales en tracción y compresión respectivamente, al aplicar Escalamiento Espectral a registros seleccionados respecto al espectro NCh2369:2023 y CMS.



**Figura 7.42.- Comparación de deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SMP.**

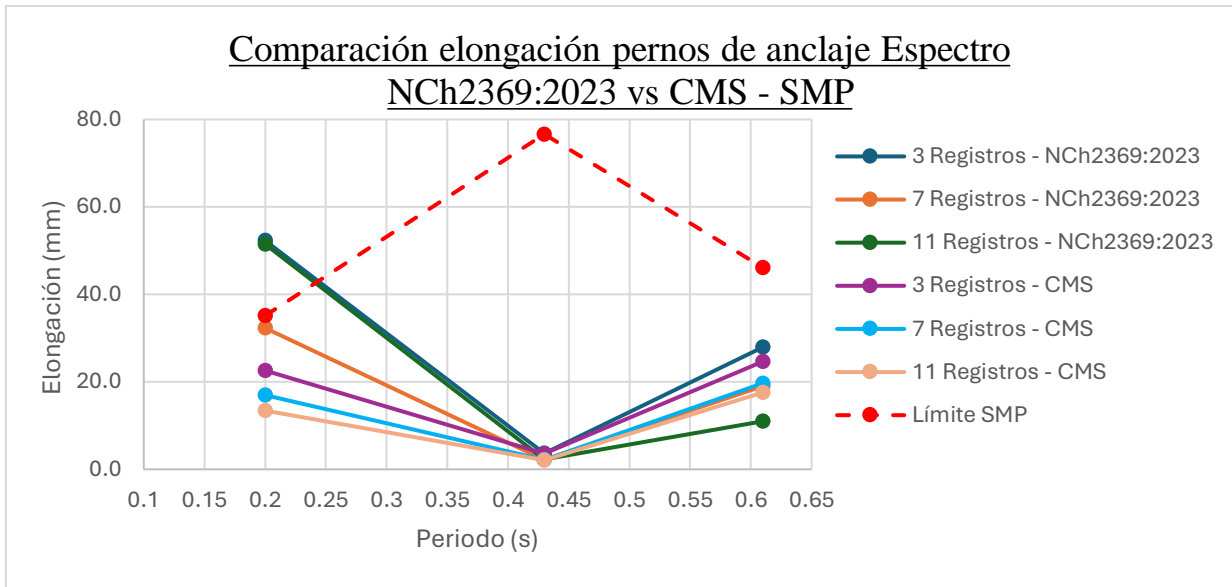


**Figura 7.43.- Comparación de deformaciones normalizadas compresión para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SMP.**

De acuerdo con las figuras anteriores, las respuestas CMS tienden a ser menores a lo resultante del Espectro NCh2369:2023, aunque existe casos como en el modelo 3 donde las respuestas de tracción y compresión de utilizar el espectro CMS no siguen la tendencia mencionada.

### Elongación pernos de anclaje

En la figura 7.44 se presentan los resultados de la elongación de pernos de anclaje, de aplicar Escalamiento Espectral a registros seleccionados respecto al espectro NCh2369:2023 y CMS.



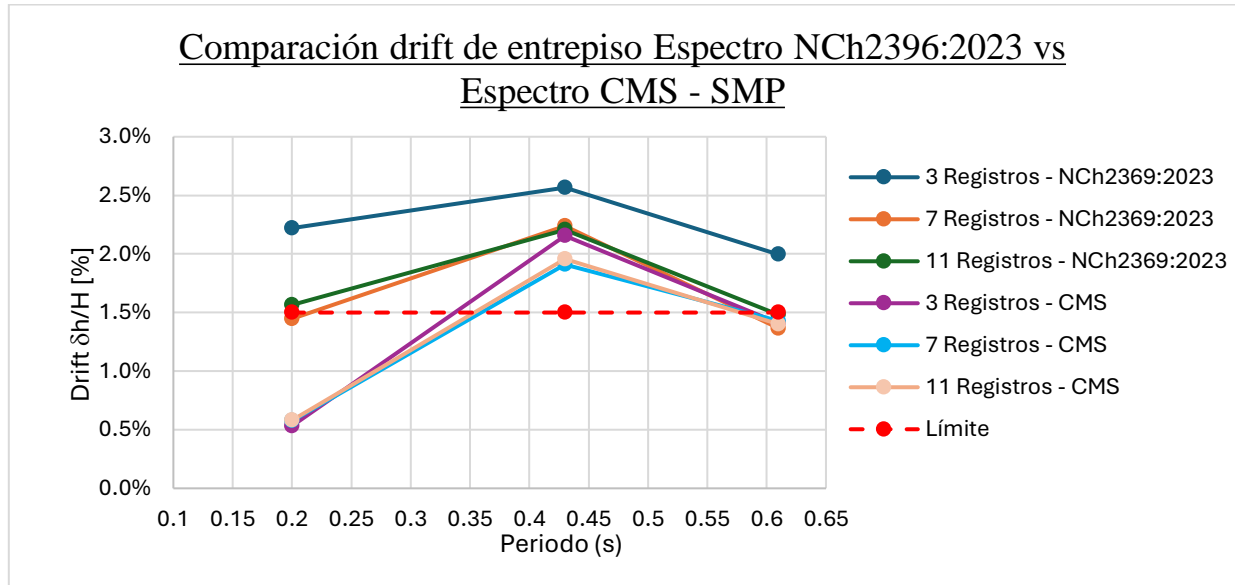
**Figura 7.44.- Comparación elongación de pernos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SMP.**

Según la figura 7.44, al igual que los demás parámetros en general las respuestas al utilizar el espectro CMS se reducen, del gráfico además es notorio que solo el modelo 1 con registros modificados de acuerdo al Espectro NCh2369:2023 supera el límite de elongación. El modelo 3 presenta un comportamiento más irregular respecto a los demás, donde la menor respuesta se obtiene de utilizar el Espectro NCh2369:2023.

**Ajuste espectral**

**Drift de entrepiso**

En la figura 7.45 se presentan los resultados del drift de aplicar Ajuste Espectral a registros seleccionados respecto al espectro NCh2369:2023 y CMS.

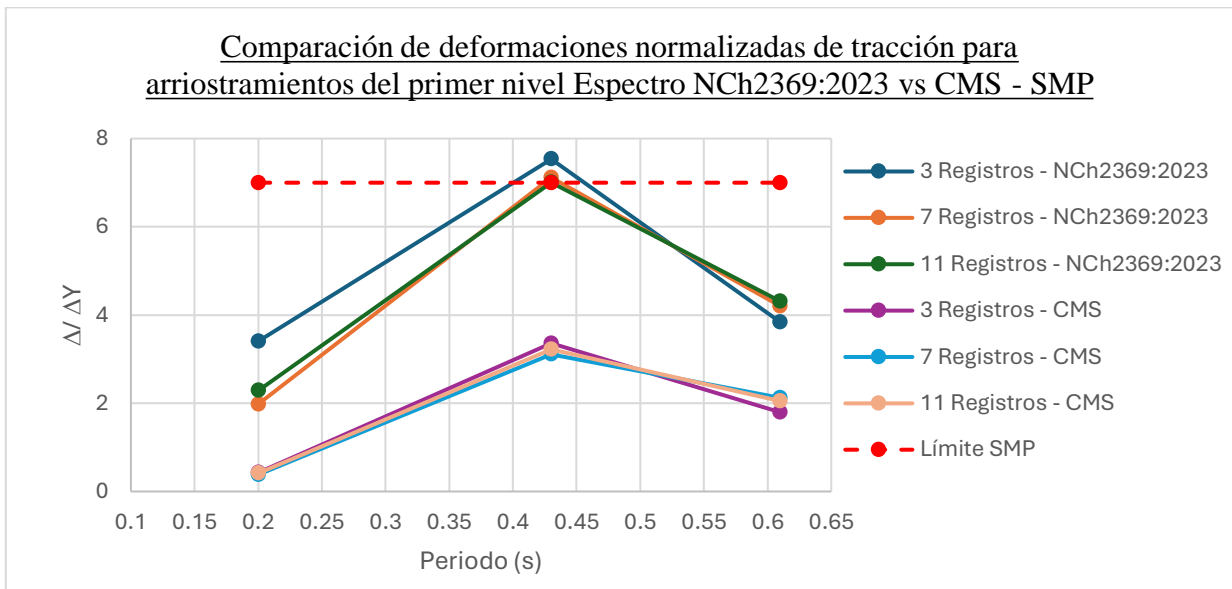


**Figura 7.45.- Comparación drift de entrepiso, Espectro NCh2369:2023 vs CMS – SMP.**

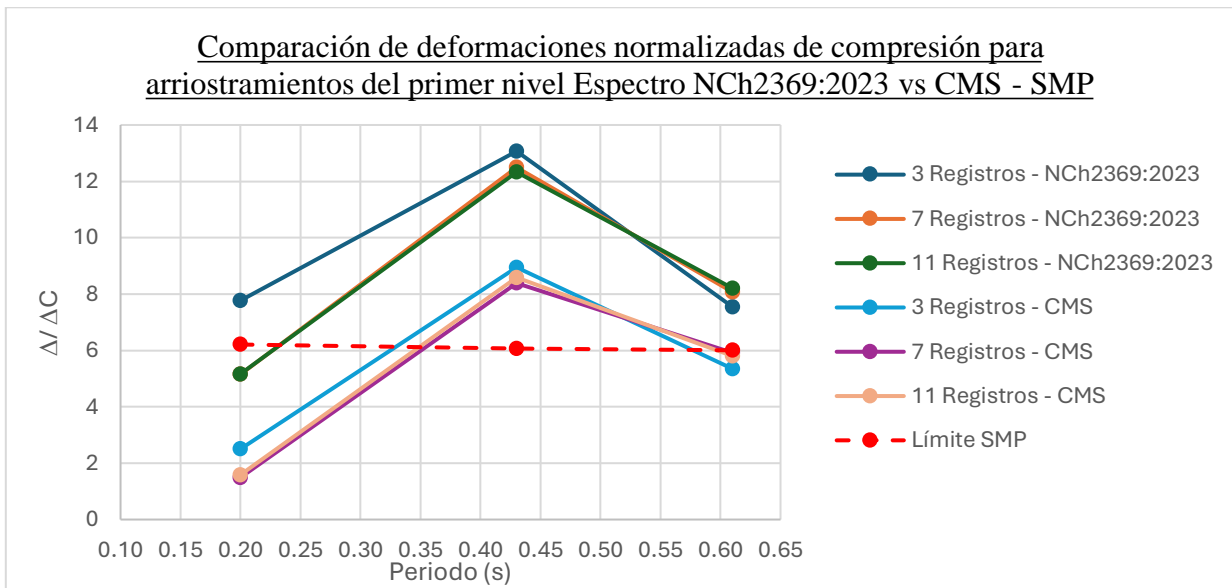
A partir de los resultados de la figura 7.45, las respuestas asociadas al Espectro NCh2369:2023 son superiores al Espectro CMS, donde se observa mayor diferencia de resultados en el modelo 1. Las respuestas del Ajuste Espectral para cada modelo presentan menor dispersión entre ellas, siendo el modelo 3 aquel con respuestas más similares.

**Deformación diagonales**

En la figura 7.46 y 7.47 se presentan los resultados de deformación de diagonales en tracción y compresión respectivamente, al aplicar Ajuste Espectral a registros seleccionados respecto al espectro NCh2369:2023 y CMS.



**Figura 7.46.- Comparación de deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SMP.**

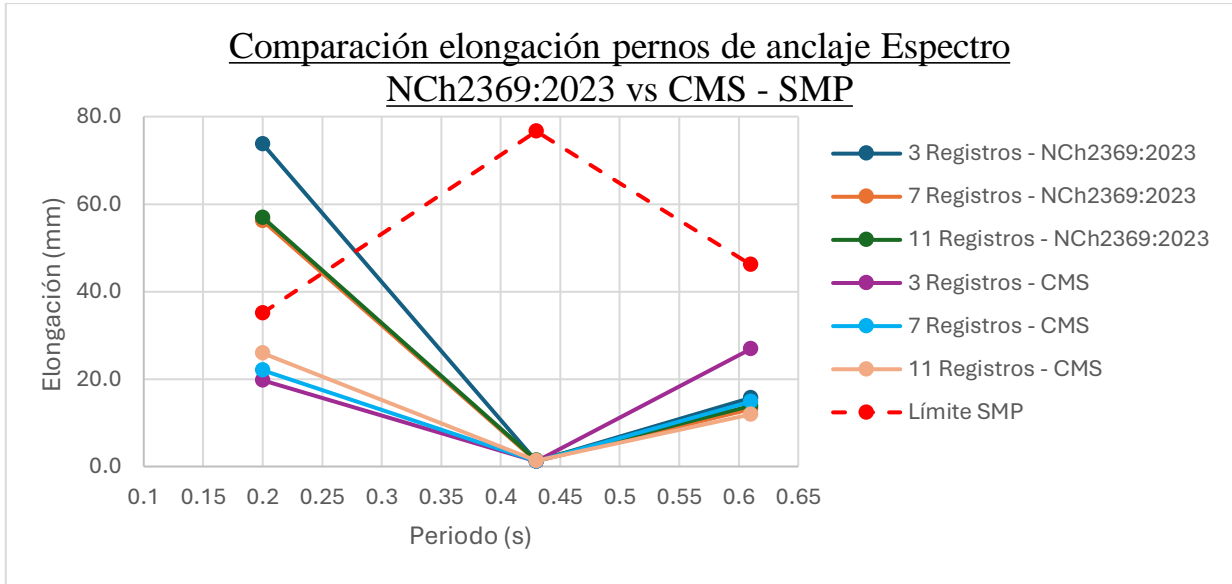


**Figura 7.47.- Comparación de deformaciones normalizadas compresión para arriostramientos del primer nivel, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SMP.**

Según las figuras anteriores, el Espectro NCh2369:2023 entrega respuestas superiores a lo resultado de utilizar CMS. En el modelo 1 se observa mayor diferencia entre los resultados de ambos espectros, lo cual disminuye en los demás modelos. Los resultados presentan baja dispersión sin importar la cantidad de registros empleados.

**Elongación pernos de anclaje**

En la figura 7.48 se presentan los resultados de la elongación de pernos de anclaje de aplicar Ajuste Espectral, a registros seleccionados respecto al espectro NCh2369:2023 y CMS.



**Figura 7.48.- Comparación elongación de pernos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS - SMP.**

De la figura 7.48, de forma similar a los demás parámetros en general el uso del Espectro CMS entrega respuestas menores que el Espectro NCh2369:2023, donde se observa una mayor diferencia de estos en el modelo 1 que presenta respuestas superiores al límite con el espectro de la norma y menor al límite utilizando el CMS. La mayoría de las respuestas de cada modelo asociadas a un mismo espectro presentan baja dispersión entre ellas, por lo que sin importar la cantidad de registros se obtienen respuestas similares.

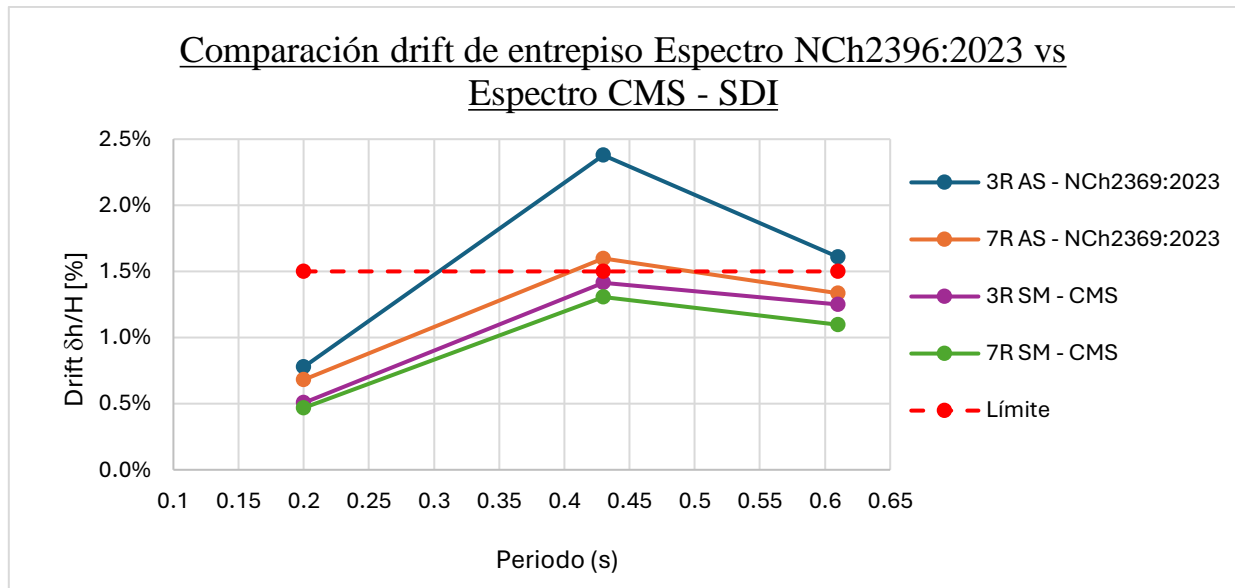
### 7.3. Discusión adicional

De acuerdo a los resultados de la sección 7.3 y 7.4, en conjunto con lo mencionado por la normativa nacional se propone comparar las respuestas de evaluar 3 y 7 registros modificados mediante el método Escalamiento Espectral respecto al Espectro NCh2369:2023 y lo resultante del Ajuste Espectral respecto al Espectro Medio Condicionado para nivel SDI y SMP, debido a que con estas condiciones definidas se obtiene las respuestas máximas y mínimas respectivamente.

#### 7.3.1. Resultados SDI

##### Drift entrepiso

En la figura 7.49 se presenta la comparación del drift entrepiso, los resultados del uso de tres registros corresponden al valor máximo del parámetro, mientras que para 7 registros se considera el promedio.

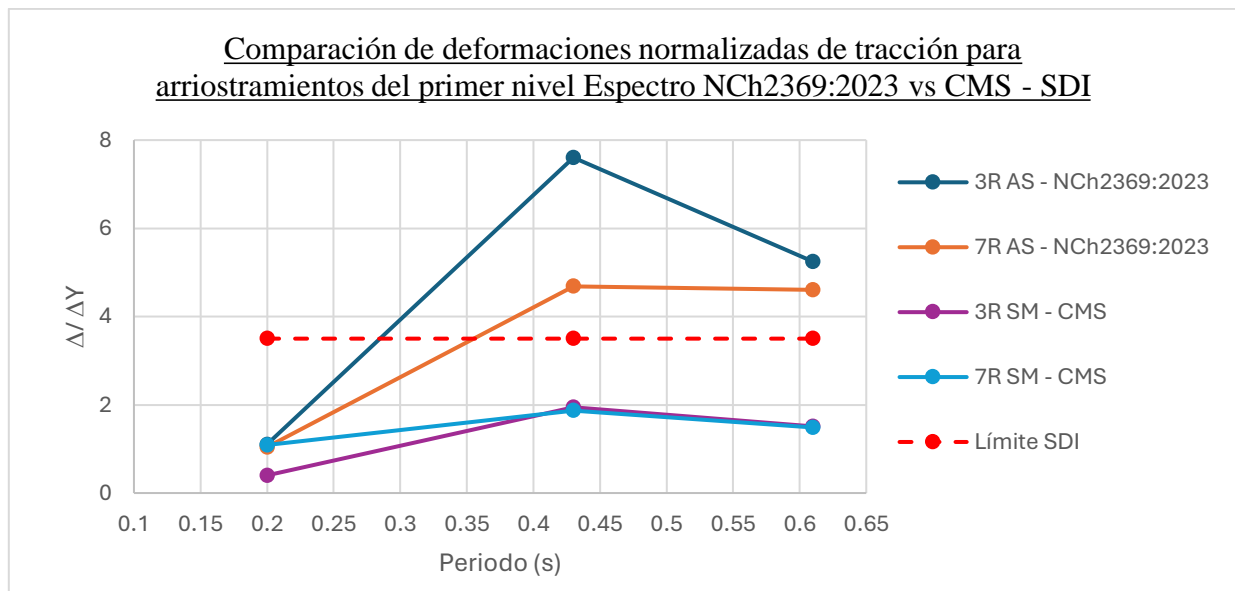


**Figura 7.49.- Comparación drift de entrepiso de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS.**

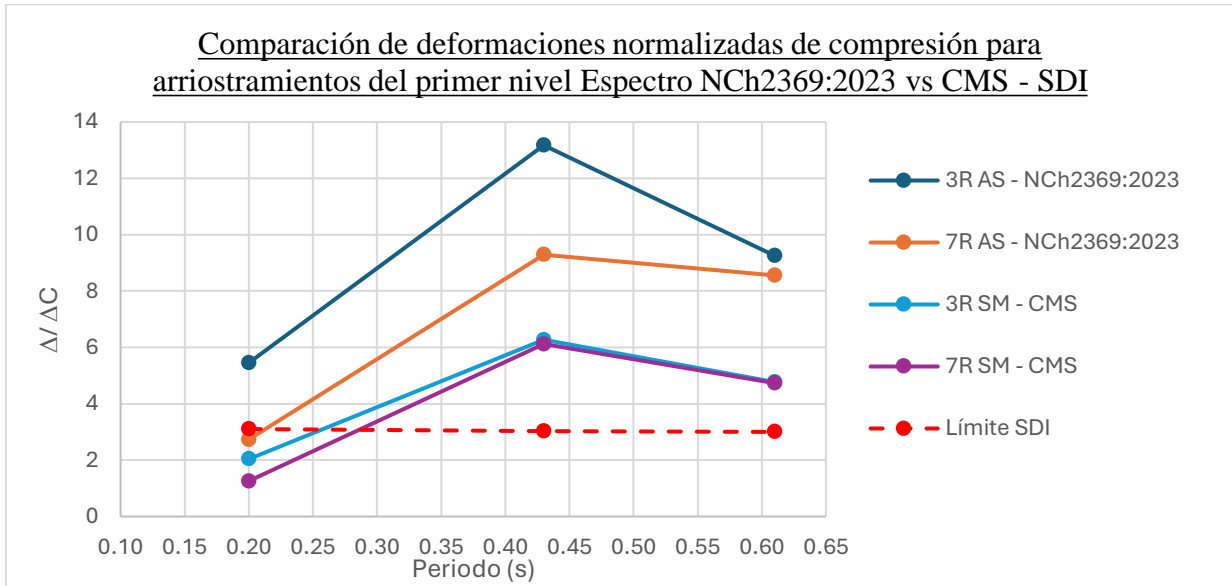
De la figura 7.49, se identifica que las mayores respuestas se obtienen del Escalamiento Espectral respecto al Espectro NCh2369, las cuales incluso superan el valor límite, mientras que lo resultante del Espectro Medio Condicionado (CMS) corresponde a respuestas con menor dispersión, las que además no superan el límite normativo. Los resultados para cada modelo en general presentan baja dispersión entre ellos, a excepción del valor máximo del modelo 2 que tiene cierta diferencia superior respecto a las respuestas del modelo.

**Deformación diagonales**

En la figura 7.50 se presenta la comparación de deformaciones normalizadas de tracción y compresión para arriostramientos del primer nivel, los resultados del uso de tres registros corresponden al valor máximo del parámetro, mientras que para 7 registros se considera el promedio.



**Figura 7.50.- Comparación de deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS.**

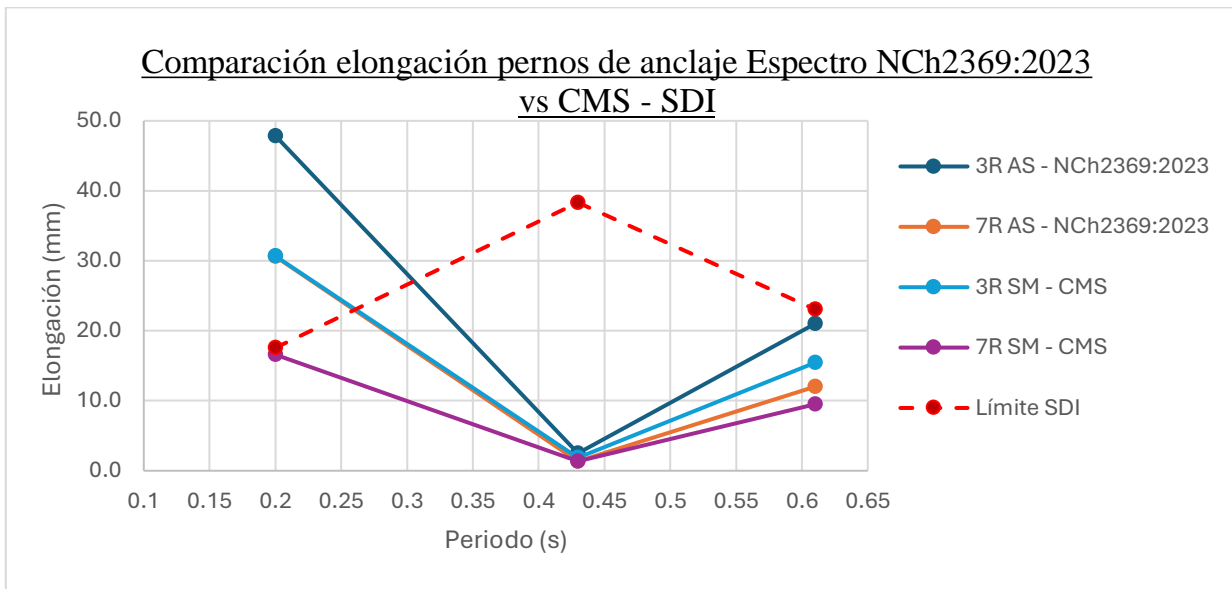


**Figura 7.51.- Comparación de deformaciones normalizadas compresión para arriostramientos del primer nivel de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS.**

De la misma forma que para el drift, según las figuras la mayor respuesta se obtiene al utilizar como referencia el Espectro NCh2369, donde además sus resultados presentan cierta dispersión entre ellos, mientras que lo resultante de utilizar como referencia el Espectro Medio Condicionado ofrece respuestas con menor diferencia entre ellos, siendo un poco superior en el modelo de menor periodo respecto a los demás.

**Elongación de pernos de anclaje**

En la figura 7.52 se presenta la comparación de la elongación de pernos de anclaje, los resultados del uso de tres registros corresponden al valor máximo del parámetro, mientras que para 7 registros se considera el promedio.



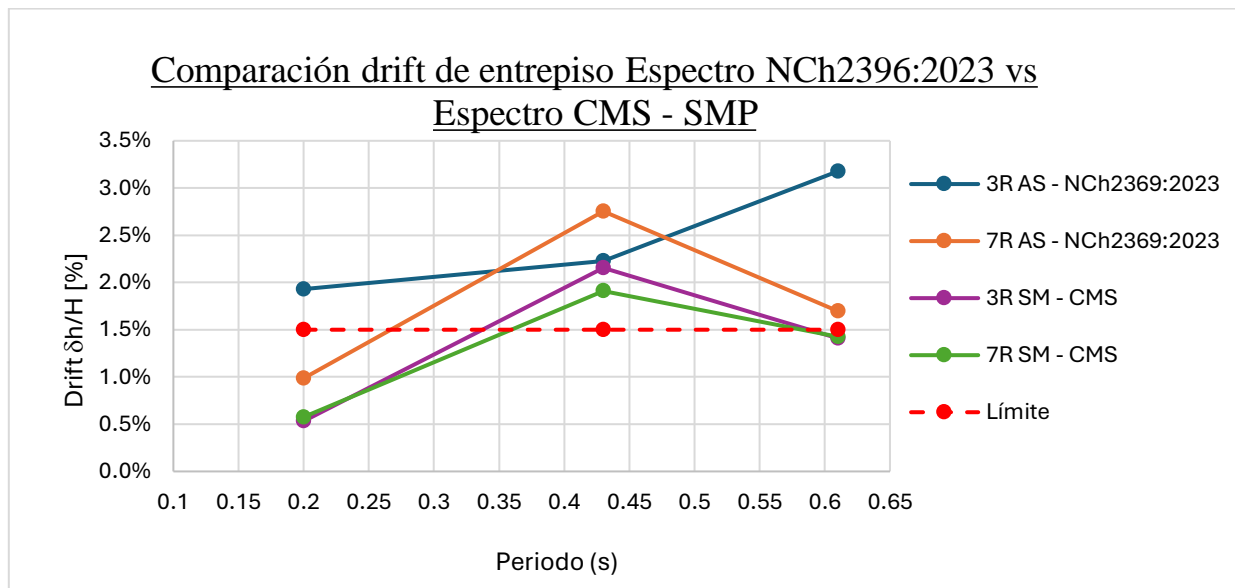
**Figura 7.52.- Comparación elongación de pernos de anclaje de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS.**

Los resultados de la figura 7.52, indican que para el caso de pernos de anclaje no existe alguna tendencia de respuesta superior, si bien los tres registros del Espectro NCh2369 ofrecen respuestas de mayor magnitud, al comparar la respuesta de 7 registros de ambos espectros esta es bastante similar teniendo una pequeña diferencia solo en el modelo 3.

### 7.3.2. Resultados SMP

#### Drift de entrepiso

En la figura 7.53 se presenta la comparación del drift entrepiso, los resultados del uso de tres registros corresponden al valor máximo del parámetro, mientras que para 7 registros se considera el promedio.



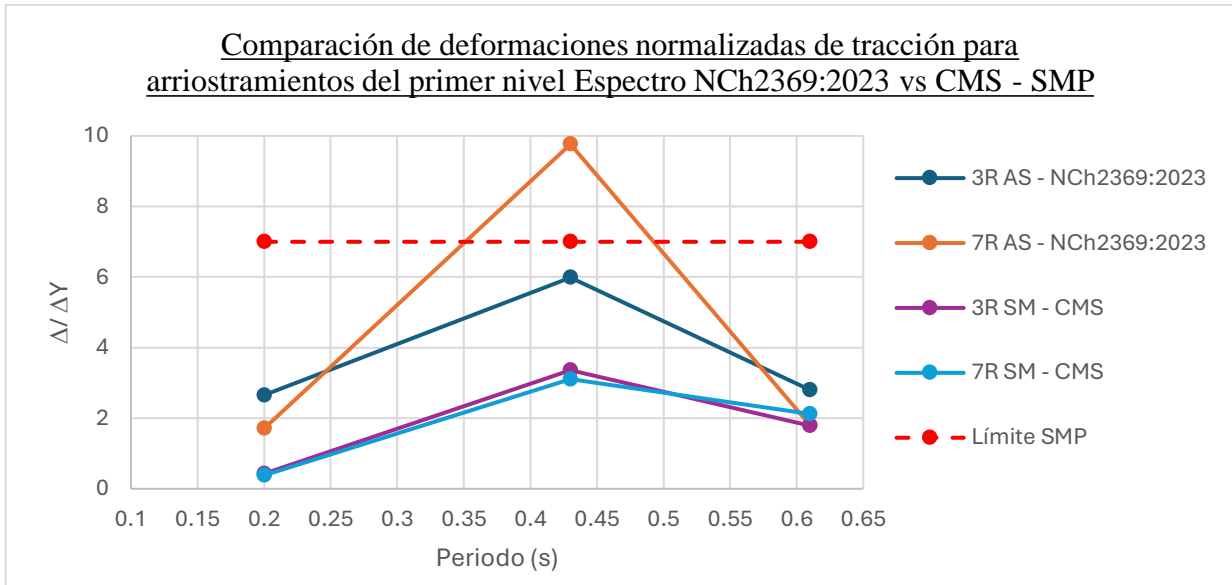
**Figura 7.53.- Comparación drift de entrepiso de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS.**

De la figura 7.53, se observa que la mayor respuesta se obtiene al utilizar como referencia el Espectro NCh2369, el cual además presenta resultados con notoria dispersión entre ellos. Por otra parte, el drift resultante de utilizar como referencia el Espectro Medio Condicionado (CMS) ofrece respuestas más homogéneas entre ellas, solo se observa una pequeña diferencia en el modelo 2, pero en general las respuestas no presentan gran variación a pesar de no utilizar la misma cantidad de registros sísmicos.

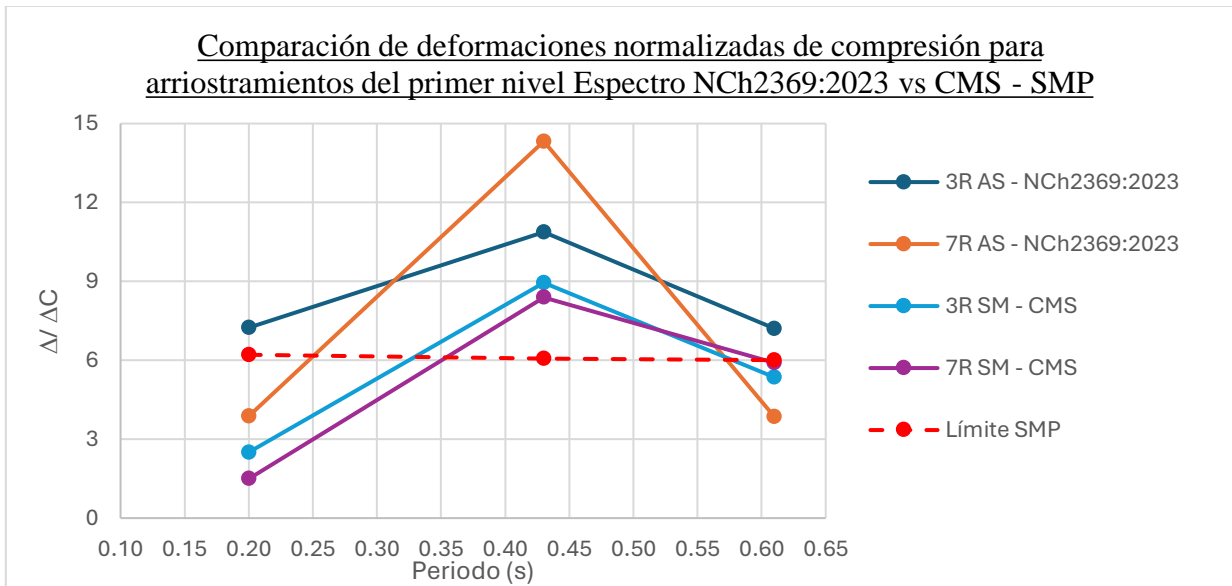
#### **Deformación diagonales**

En las figuras 7.54 y 7.55 se presenta la comparación de deformaciones normalizadas de tracción y compresión para arriostramientos del primer nivel, los resultados del uso de tres registros

corresponden al valor máximo del parámetro, mientras que para 7 registros se considera el promedio.



**Figura 7.54.- Comparación de deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS.**

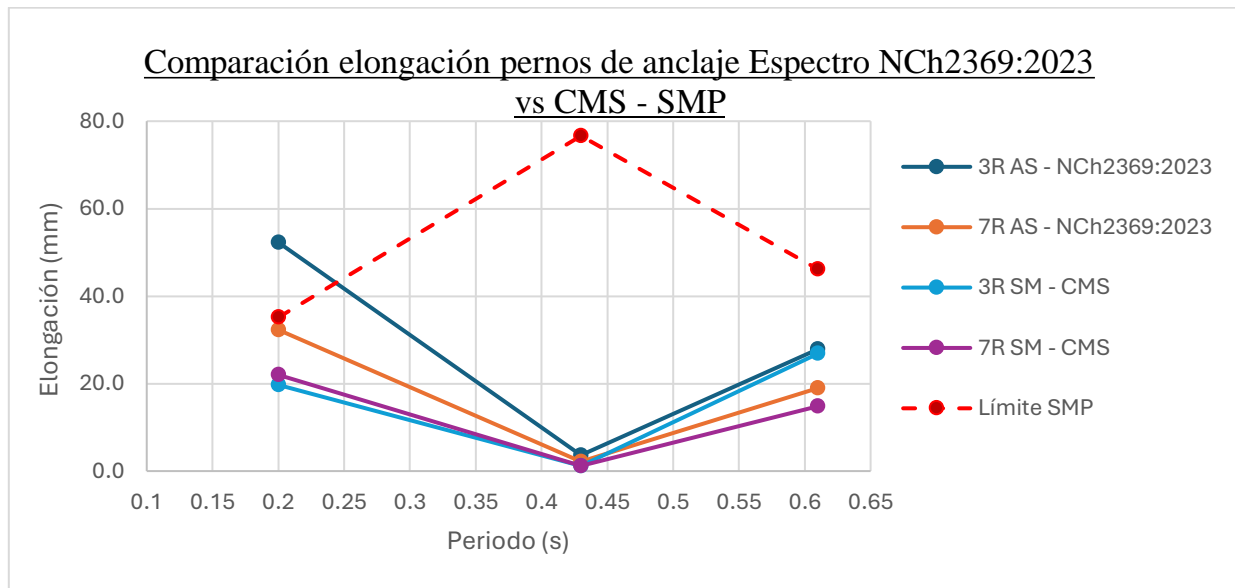


**Figura 7.55.- Comparación de deformaciones normalizadas compresión para arriostramientos del primer nivel de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS.**

Para los casos de tracción y compresión indicados en las figuras anteriores se observa que, aunque en la mayoría de los casos el espectro NCh2369 entrega respuestas superiores, existen resultados que no siguen la tendencia como lo que se obtiene con 7 registros. Por su parte, los resultados de utilizar el Espectro Medio Condicionado (CMS) son inferiores, a excepción del modelo 3 donde no existe gran dispersión entre sus resultados comparado con los otros modelos, pero la norma NCh2369 entrega una respuesta menor a lo resultado de CMS.

**Elongación pernos de anclaje**

En la figura 7.56 se presenta la comparación de la elongación de pernos de anclaje, los resultados del uso de tres registros corresponden al valor máximo del parámetro, mientras que para 7 registros se considera el promedio.



**Figura 7.56.- Comparación elongación de pernos de anclaje de 3 y 7 registros sísmicos, Espectro NCh2369:2023 vs CMS.**

La figura 7.56 indica que para el modelo de menor periodo utilizar como referencia el espectro de la norma NCh2369 entrega respuestas mayores que el Espectro Medio Condicionado, mientras que en el modelo 2 las respuestas tienden a un valor. En el modelo 3 de igual forma el uso del Espectro NCh2369 entrega resultados superiores, pero no presentan gran diferencia a lo resultado de emplear CMS.

## 7.4. Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten comparar la sensibilidad de la estructura cuando se le aplican registros modificados según espectros objetivos definidos, específicamente los espectros de la norma NCh2369:2023 y el Espectro Medio Condicionado (CMS), así como evaluar la influencia de los métodos de ajuste espectral empleados (Escalamiento Espectral y *Spectral Matching*). A partir de estos análisis, se destacan las siguientes conclusiones:

### 1. Comparación entre Espectro NCh2369:2023 y CMS

En términos de desplazamiento de entrepiso (drift), el espectro NCh2369:2023 genera mayores desplazamientos en comparación con el CMS, lo que indica una mayor demanda estructural bajo el espectro normativo.

Las deformaciones en los arriostramientos tienden a superar con mayor frecuencia los límites normativos al utilizar como referencia el Espectro NCh2369:2023 que con el CMS, lo que sugiere que la normativa es más exigente en este aspecto.

En cuanto a la elongación de los pernos de anclaje, el CMS muestra valores más moderados, mientras que el NCh2369:2023 genera resultados más críticos, en algunos casos excediendo los límites normativos.

### 2. Comparación entre métodos de Ajuste Espectral

El Escalamiento Espectral genera una mayor variabilidad en el drift, con algunos valores que superan los límites normativos, mientras que el Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) reduce la dispersión y ajusta la respuesta al espectro objetivo.

En los arriostramientos, el Ajuste Espectral produce deformaciones más controladas, especialmente en estructuras con periodos más largos.

La elongación de los pernos de anclaje se mantiene más cercana a los límites establecidos con Ajuste Espectral, mientras que el Escalamiento Espectral muestra mayor dispersión, con algunos valores que superan los límites.

Es importante considerar que el Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) reduce la dispersión de la respuesta sísmica, lo que puede ser beneficioso en términos de control estructural. Sin embargo, en eventos sísmicos reales, la dispersión de los registros tiene un rol relevante en la incertidumbre del análisis sísmico, por lo que su reducción podría no reflejar con precisión la variabilidad de los sismos.

En conclusión, los resultados muestran que el uso del CMS combinado con el Ajuste Espectral es una alternativa que reduce la respuesta, no obstante, se identificaron casos específicos en los que ciertos parámetros tienen mayor dispersión con sus pares, lo que sugiere la necesidad de un análisis más detallado en estructuras con incursión no lineal.

## CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

El presente capítulo expone las conclusiones y comentarios derivados del estudio de la sensibilidad de la respuesta estructural de marcos arriostrados concéntricos a los métodos de selección de registros sísmicos. A partir de los resultados se identificaron diferencias significativas entre los métodos evaluados, por lo que se recomienda un análisis más detallado en ciertos parámetros.

Dentro de los parámetros evaluados, se considera que la cantidad de registros empleados en el análisis es un parámetro relevante, ya que la normativa vigente no establece un control específico sobre este aspecto. En particular, el uso de un número reducido de registros, como tres, puede conducir a resultados conservadores al considerar únicamente los valores máximos.

También se ha observado que los resultados obtenidos mediante el método de Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) presentan menores valores en comparación con el método de Escalamiento Espectral (Amplitude Scaling). Esto se debe a que el Ajuste Espectral fuerza la coincidencia espectral entre los registros, eliminando la dispersión inherente a los movimientos sísmicos naturales.

A partir de lo anterior, se recomienda la aplicación de Escalamiento Espectral permitiendo cierta dispersión en los registros, de manera que se represente de mejor forma la variabilidad de la demanda sísmica en función del espectro objetivo considerado.

Asimismo, se sugiere la implementación de Ajuste Espectral (*Spectral Matching*) con una dispersión forzada, en la cual algunos registros se ubiquen por debajo del espectro objetivo, otros coincidan con este y algunos lo superen. De este modo, se obtendría una representación más realista de la incertidumbre en la demanda sísmica.

Respecto a la definición de un espectro objetivo, los resultados indican que el uso del Espectro Medio Condicionado (CMS) genera respuestas estructurales más bajas, lo que sugiere que su aplicabilidad debe analizarse en función del tipo de estructura y las condiciones del análisis. Por parte de los métodos de ajuste espectral se han identificado diferencias significativas entre el uso del Espectro Medio Condicionado y el Espectro de Amenaza Uniforme, este último definido como el espectro de referencia en la norma NCh2369:2023.

En cuanto a la intensidad SMP, se ha identificado una dependencia de los resultados con diversas condiciones del análisis. Por lo tanto, sería recomendable evaluar posibles modificaciones en los requisitos normativos en función del nivel de intensidad sísmica considerado.

Aunque la versión 2023 de la norma NCh2369 presenta mejoras respecto a la edición de 2003 que hacen más riguroso el análisis no lineal de respuesta en el tiempo, existen aspectos que requieren un estudio más detallado, tales como la cantidad de registros a utilizar, la dispersión en los registros sísmicos, efectos en función del nivel de intensidad, entre otros.

Finalmente, se recomienda extender este estudio a estructuras tridimensionales con el objetivo de comprender el comportamiento de edificaciones en condiciones más cercanas a la realidad. Esto permitiría mejorar la precisión de los modelos empleados en el diseño sísmico y contribuir al desarrollo de normativas más representativas de la respuesta estructural ante eventos sísmicos.

**REFERENCIAS**

Al Atik, L., & Abrahamson, N. (2010). An improved method for nonstationary *Spectral Matching*. *Earthquake Spectra*.

Álvarez, J. (2021). *Análisis de los mecanismos de Disipación de Energía Sísmica en Estructuras Industriales de Acero de Marcos Arriostrados diseñadas mediante el Anteproyecto de Norma NCh2369 para Estructuras Rígidas* [Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil]. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Chile.

American Institute of Steel Construction. (2010a). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. (AISC 341-10). Chicago, Illinois, EE.UU: Autor.

American Institute of Steel Construction. (2010b). *Specification for Structural Steel Buildings*. (AISC 360-10). Chicago, Illinois, EE.UU: Autor.

American Institute of Steel Construction. (2014). *Steel Design Guide 29. Vertical Bracing Connections- Analysis And Design*. Chicago, Illinois, EE.UU: Autor.

American Society of Civil Engineers. (2017). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. (ASCE 7-16). Reston, Virginia, EE.UU: Autor.

Baker, J. W. (2011). *Conditional Mean Spectrum: Tool for ground motion selection*. *Journal of Structural Engineering*.

Baker, J. W., and Lee, C. (2018). *An Improved Algorithm for Selecting Ground Motions to Match a Conditional Spectrum*. *Journal of Earthquake Engineering*.

Candia, G., Poulos, A., de la Llera, J. C., Crempien, J. G., & Macedo, J. (2020). *Correlations of spectral accelerations in the Chilean subduction zone*. *Earthquake Spectra*, 36(2), 788-805.

Castro, Sebastián & Benavente, Roberto & Crempien, Jorge & Candia, Gabriel & Llera, Juan. (2022). A Consistently Processed Strong-Motion Database for Chilean Earthquakes. *Seismological Research Letters*. 93. 10.1785/0220200336.

Chopra, A. K. (2017). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering (5ª ed.)*. Pearson.

Idini, B., Rojas, F., Ruiz, S. y Pastén, C. (2016). *Ground Motion Prediction Equations for the Chilean subduction Zone*. Bull Earthquake Eng.

Instituto Nacional de Normalización. (2003). *Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales*. (NCh 2369.Of2003). Santiago, Chile: Autor.

Instituto Nacional de Normalización. (2022). *Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales. Anteproyecto de norma* (NCh 2369). Santiago, Chile: Autor.

Instituto Nacional de Normalización. (2023). *Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales*. (NCh 2369.Of2023). Santiago, Chile: Autor.

Montalva, G. A., Bastías, N., & Rodriguez-Marek, A. (2017). Ground-motion prediction equation for the Chilean subduction zone. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(2), 901-911.

Sáez, M. (2023). *Desempeño Sísmico de Estructuras Industriales Rígidas en Base a Marcos de Acero Arriostrados Tipo Chevron Diseñadas Mediante Norma NCh2369:2023* (Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil). Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Chile.

Urzúa, C. (2015). *Comparación del Desempeño de Dos Estructuras Industriales de Acero Diseñadas Según la Práctica Nacional y Disposiciones AISC* (Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención Ingeniería Sísmica). Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago, Chile.



## ANEXOS

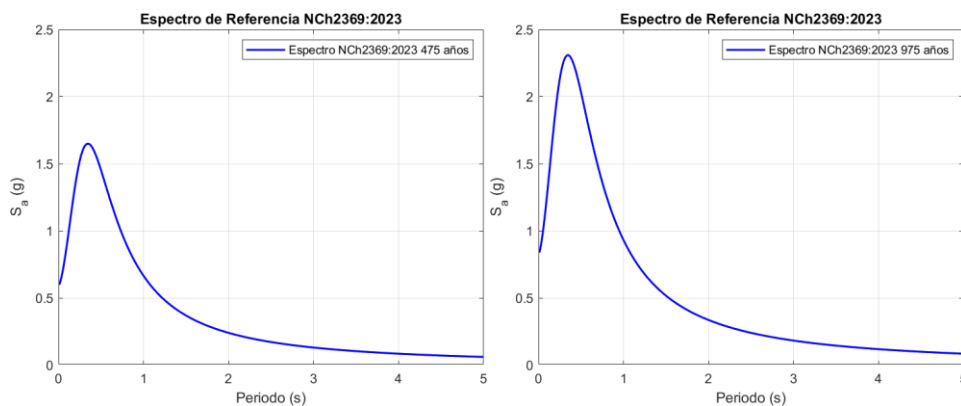
### ANEXO 1.1 AMENAZA SÍSMICA

El diseño estructural en zonas de alta sismicidad requiere de una evaluación rigurosa de la amenaza sísmica, para ello, se utilizan espectros de respuesta sísmica que representan distintos niveles de amenaza, los cuales permiten estimar las demandas de aceleración sobre las estructuras.

Los Espectros de Amenaza Uniforme (UHS) y los Espectros Medio Condicionado (CMS) son dos herramientas fundamentales en esta evaluación. El UHS se obtiene a partir de análisis de amenaza probabilística y representa un nivel de demanda sísmica uniforme para un determinado periodo de retorno. En cambio, el CMS se construye considerando la correlación espectral entre periodos y refleja la amenaza condicional para un periodo específico de interés. Este último resulta particularmente útil en la selección de registros sísmicos representativos para análisis dinámicos no lineales.

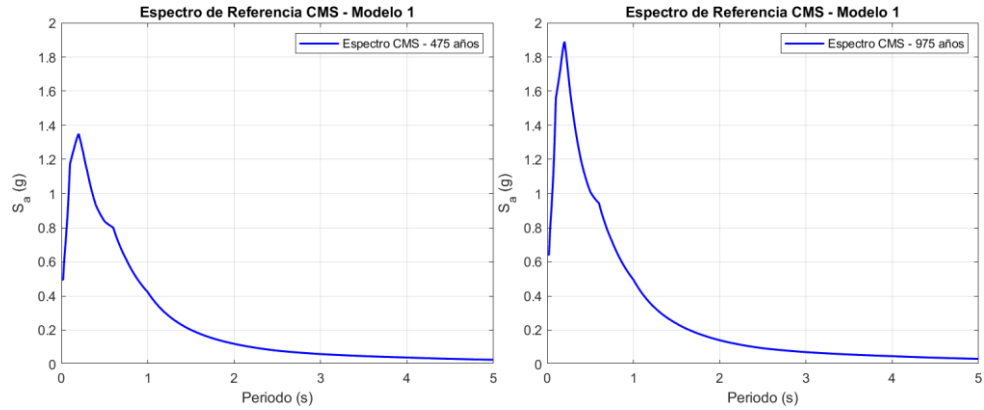
En el presente estudio, se han considerado el espectro NCh2369:2023 como una representación UHS según indica la misma norma y un espectro CMS para probabilidades de excedencia del 10 % y 5 % en 50 años, correspondientes a periodos de retorno de 475 y 975 años, respectivamente. Se ha evaluado la amenaza sísmica de registros sísmicos de una base de datos sísmica nacional en distintas ubicaciones, considerando características del suelo y modelos de recurrencia sísmica, con el fin de obtener representaciones realistas de las demandas sísmicas esperadas.

- Espectro de amenaza uniforme

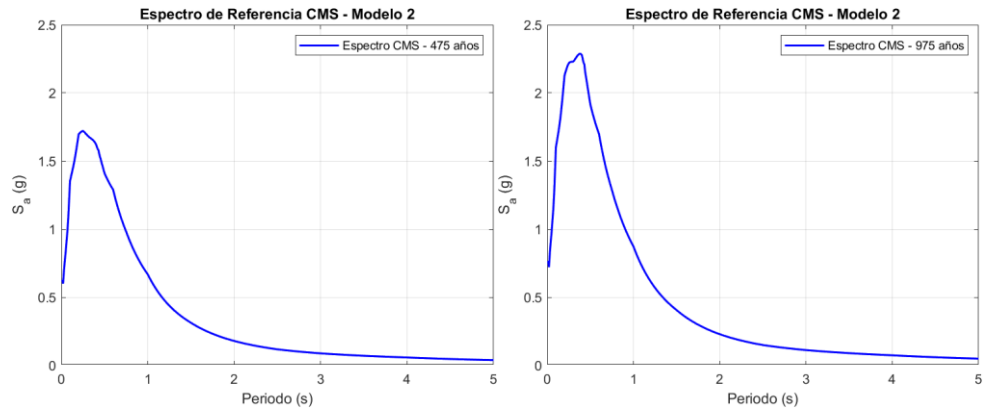


**Figura A.1.1.- Espectro de amenaza uniforme a) 475 años b) 975 años.**

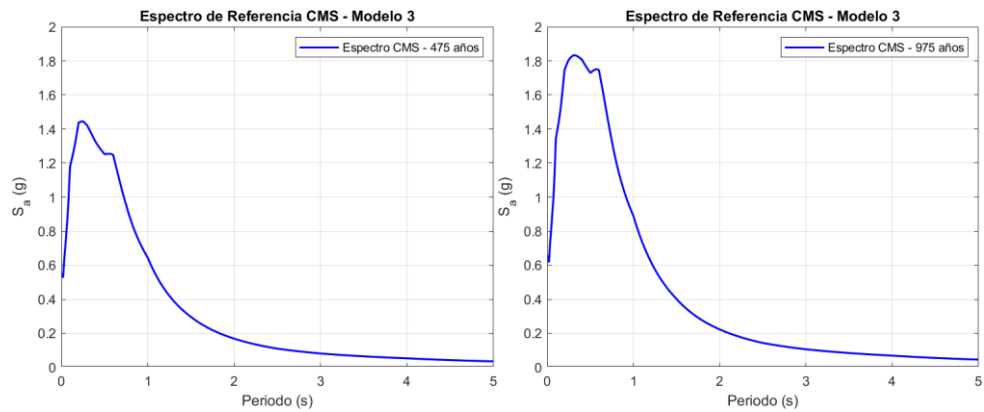
- Espectro Medio Condicionado (CMS)



**Figura A.1.2.- Espectro Medio Condicionado Modelo 1 – T = 0.20s a) 475 años b) 975 años.**



**Figura A.1.3.- Espectro Medio Condicionado Modelo 2 – T = 0.43s a) 475 años b) 975 años.**



**Figura A.1.4.- Espectro Medio Condicionado Modelo 3 – T = 0.61s a) 475 años b) 975 años.**

## ANEXO 1.2 SELECCIÓN Y AJUSTE DE REGISTROS SÍSMICOS ESPECTRO NCh2369:2023, 475 AÑOS

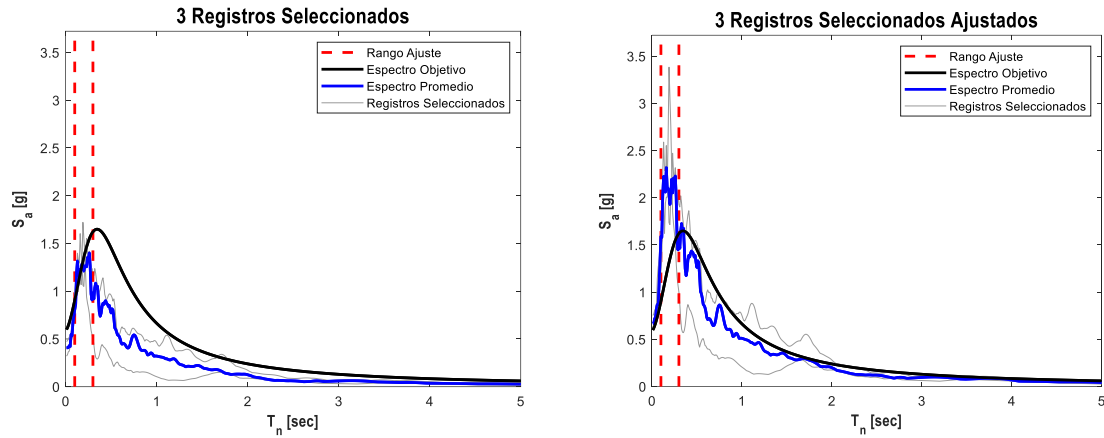


Figura A.1.5.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de tres registros sísmicos Modelo 1.

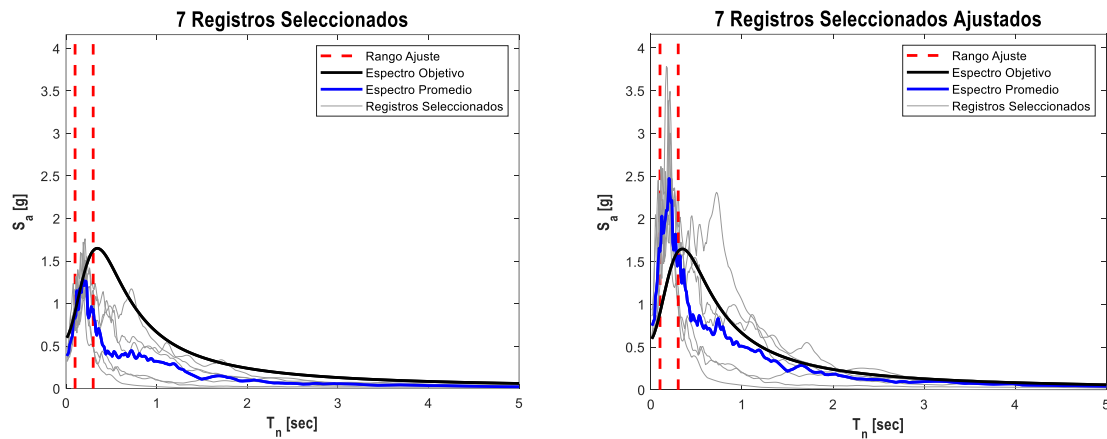


Figura A.1.6.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de 7 registros sísmicos Modelo 1.

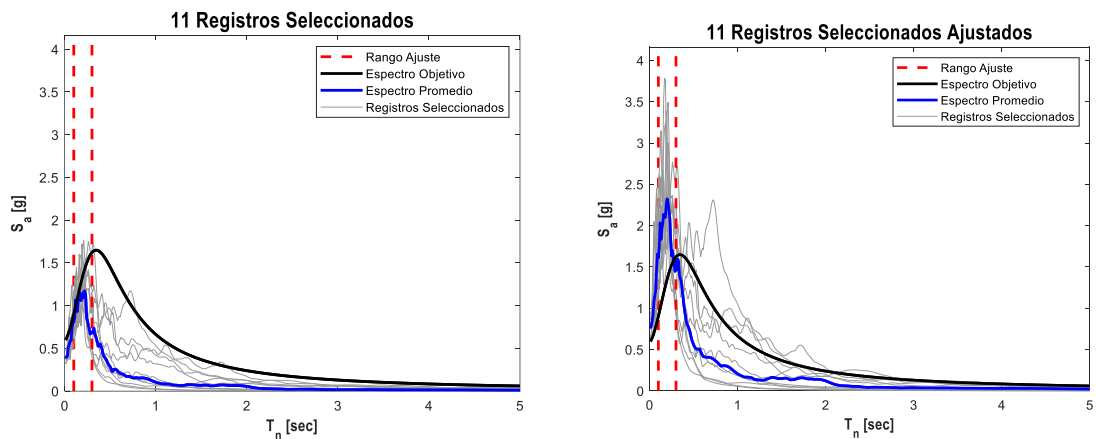


Figura A.1.7.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de 11 registros sísmicos Modelo 1.

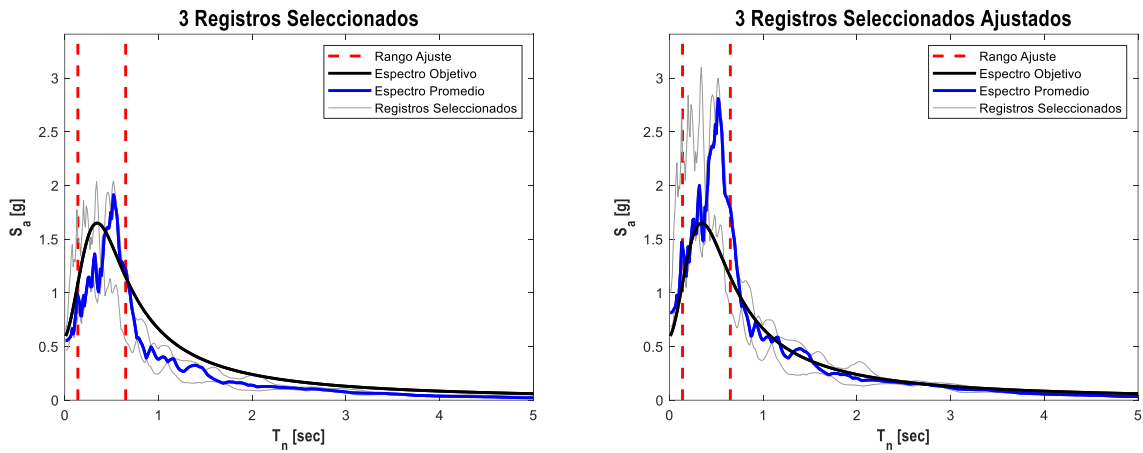


Figura A.1.8.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de tres registros sísmicos Modelo 2.

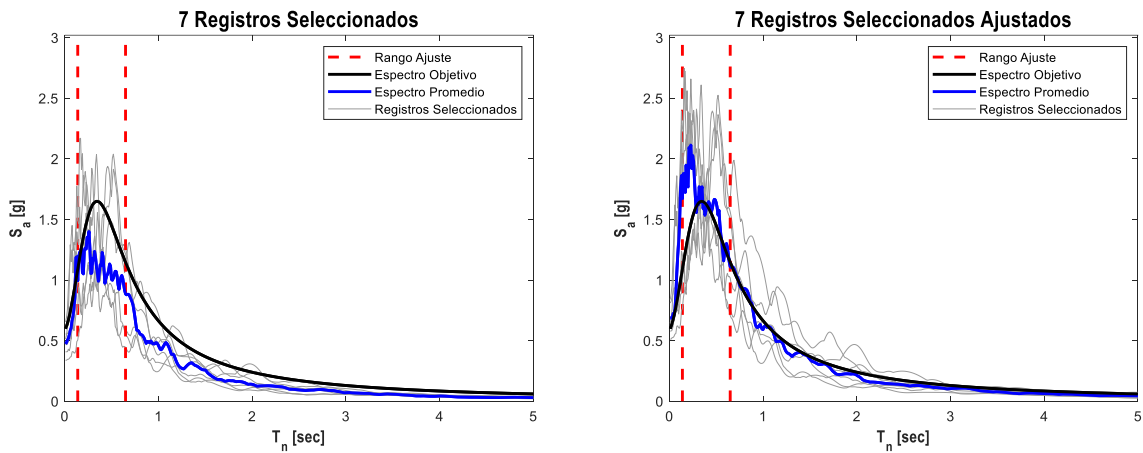


Figura A.1.9.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de 7 registros sísmicos Modelo 2.

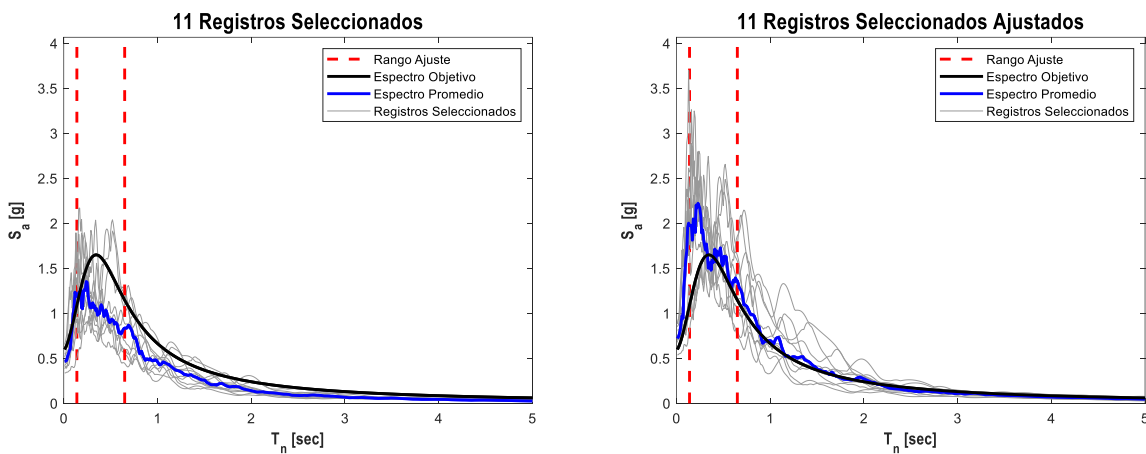


Figura A.1.10.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de 11 registros sísmicos Modelo 2.

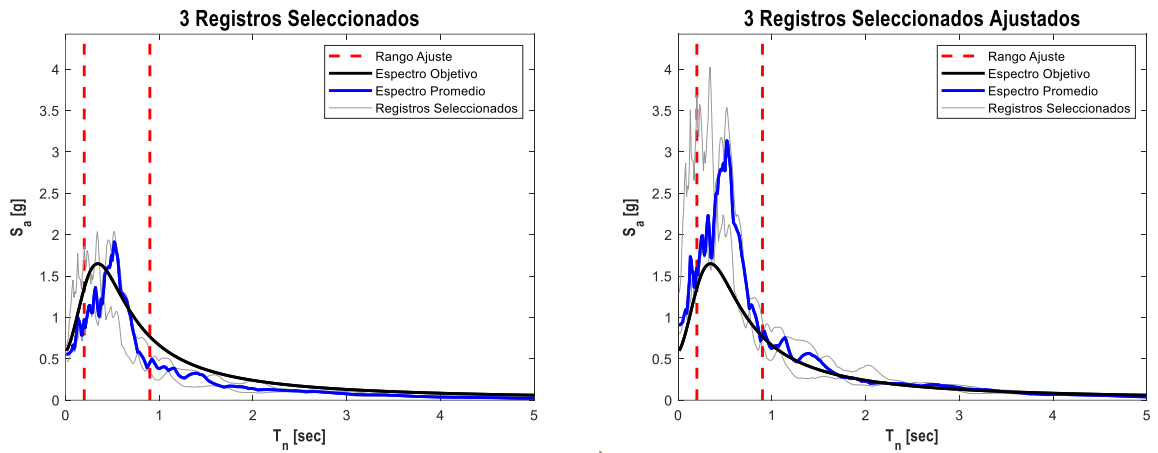


Figura A.1.11.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de tres registros sísmicos Modelo 3.

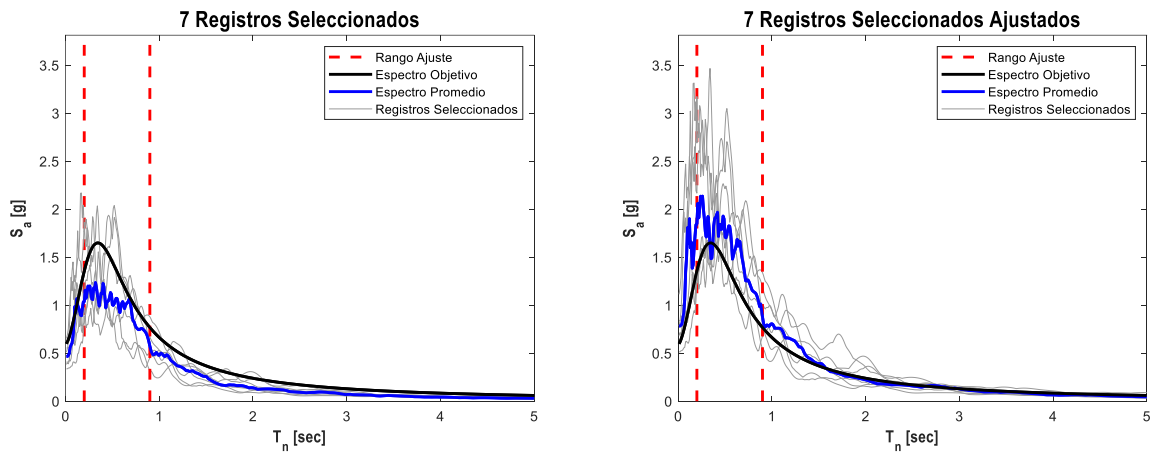


Figura A.1.12.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de 7 registros sísmicos Modelo 3.

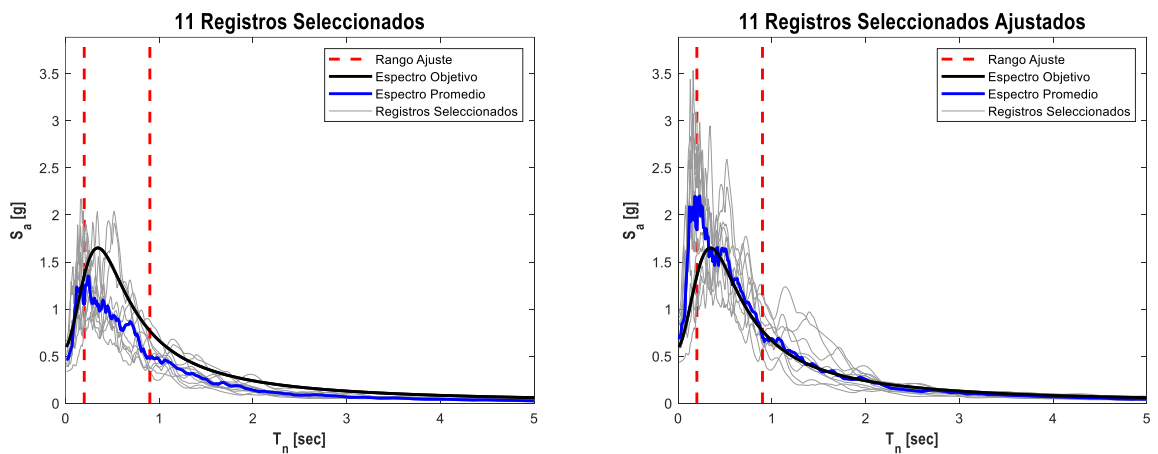


Figura A.1.13.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de 11 registros sísmicos Modelo 3.

## ANEXO 1.3 SELECCIÓN Y AJUSTE DE REGISTROS SÍSMICOS ESPECTRO NCh2369:2023, 975 AÑOS

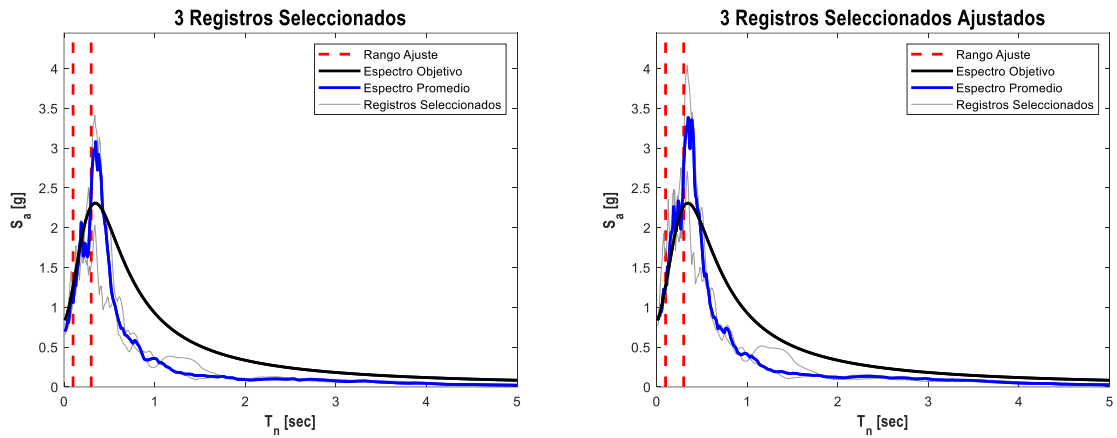


Figura A.1.14.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de tres registros sísmicos Modelo 1.

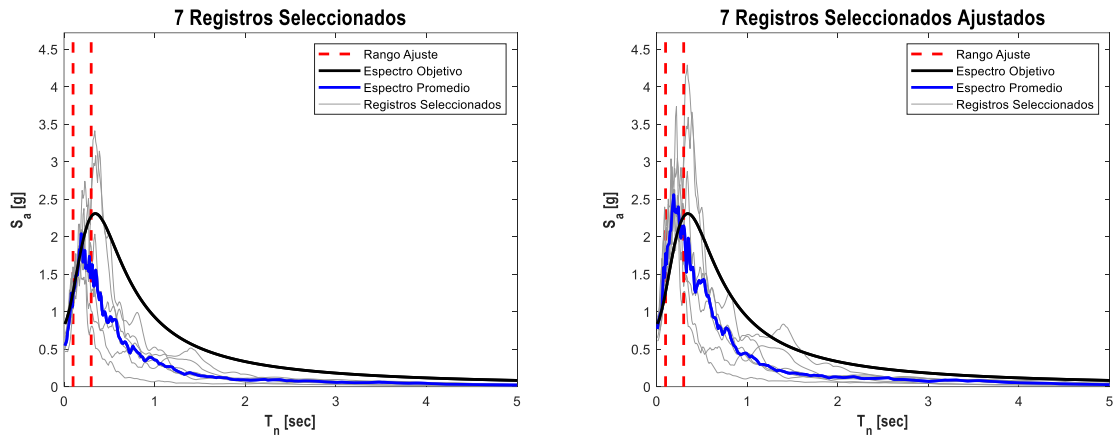


Figura A.1.15.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de 7 registros sísmicos Modelo 1.

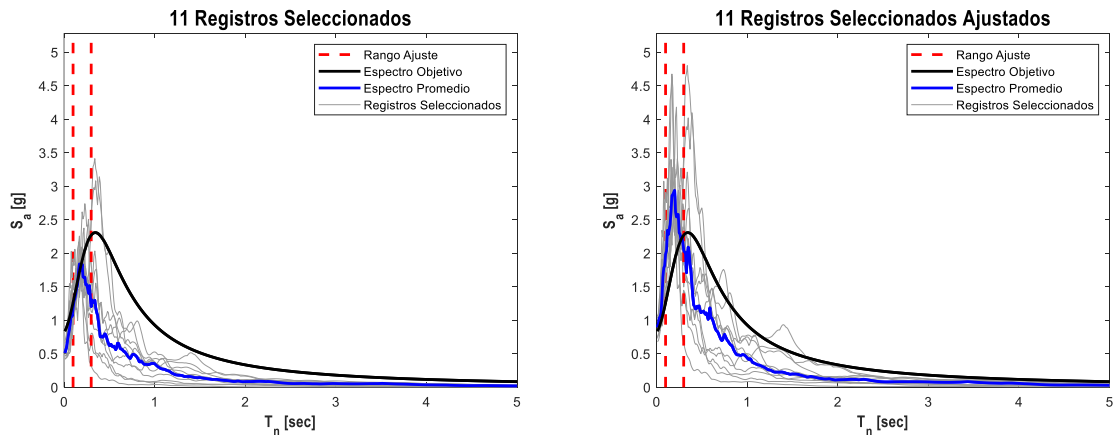


Figura A.1.16.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de 11 registros sísmicos Modelo 1.

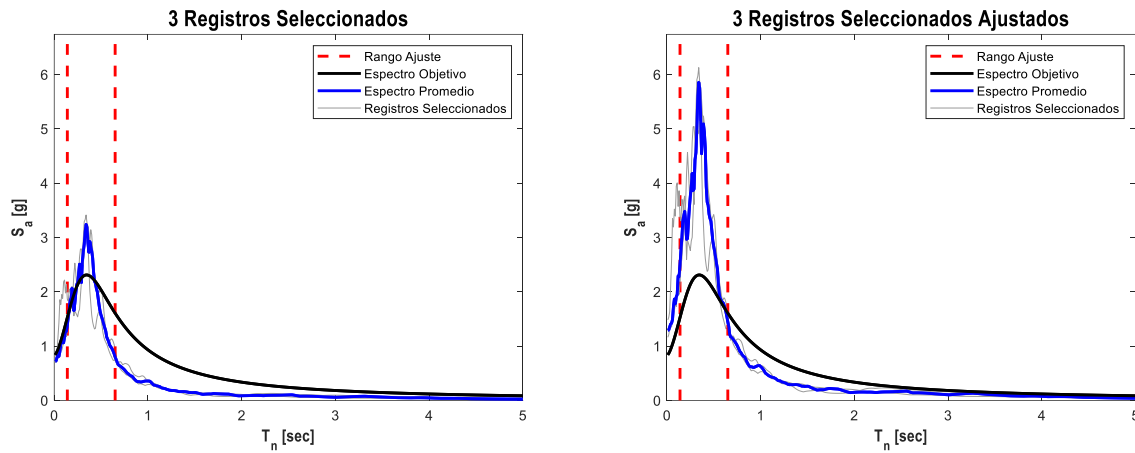


Figura A.1.17.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de tres registros sísmicos Modelo 2.

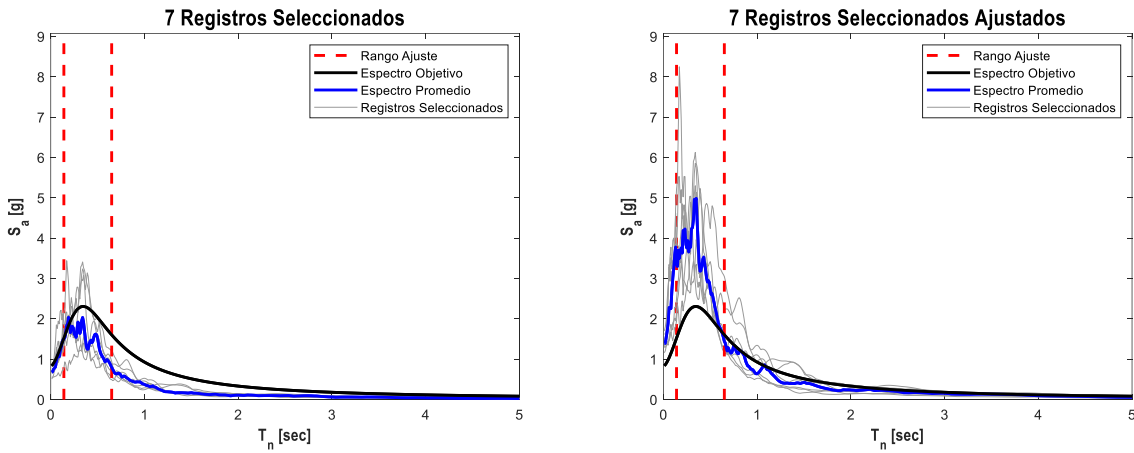


Figura A.1.18.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de 7 registros sísmicos Modelo 2.

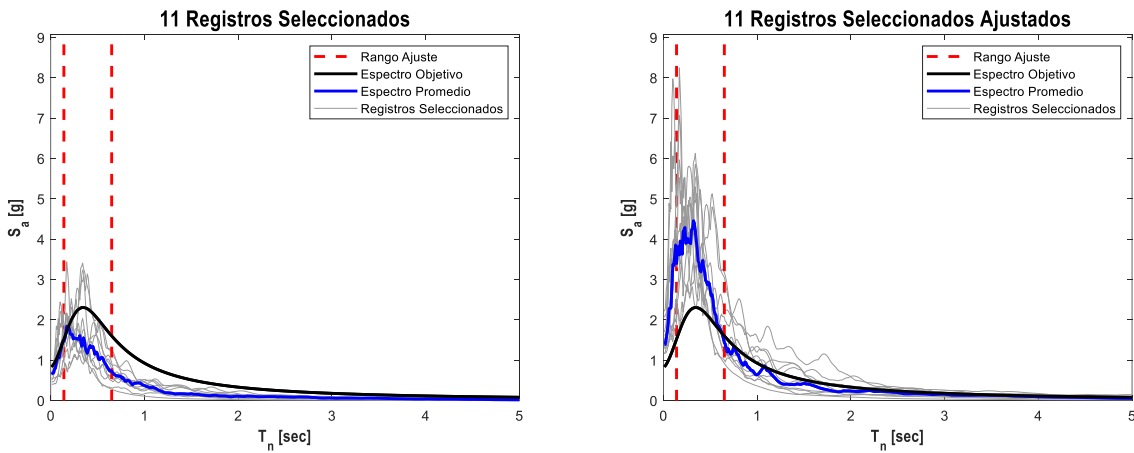


Figura A.1.19.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de 11 registros sísmicos Modelo 2.

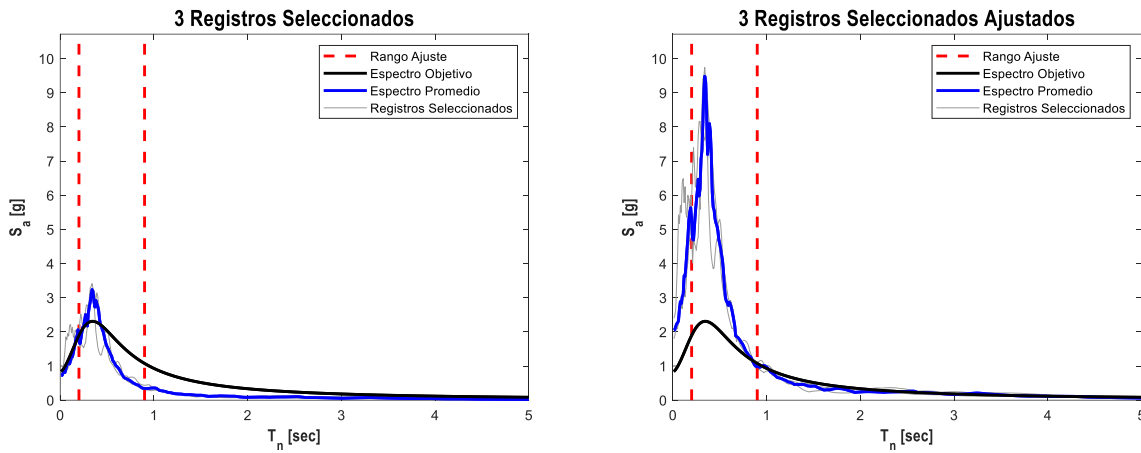


Figura A.1.20.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de tres registros sísmicos Modelo

3.

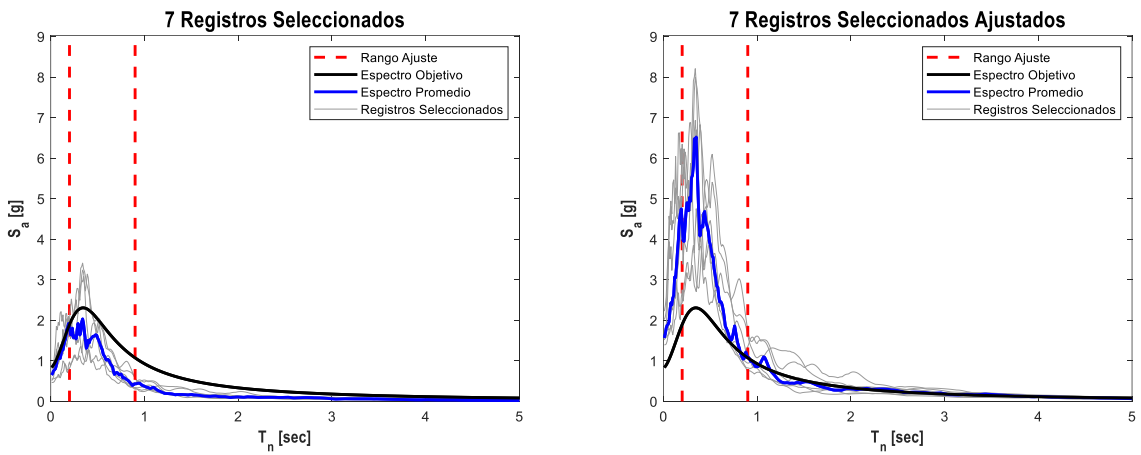


Figura A.1.21.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de 7 registros sísmicos Modelo 3.

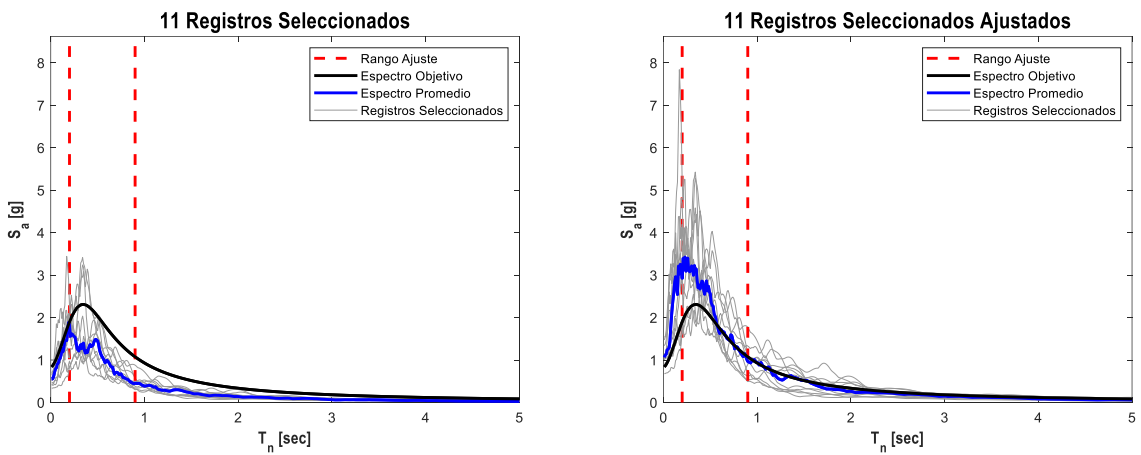
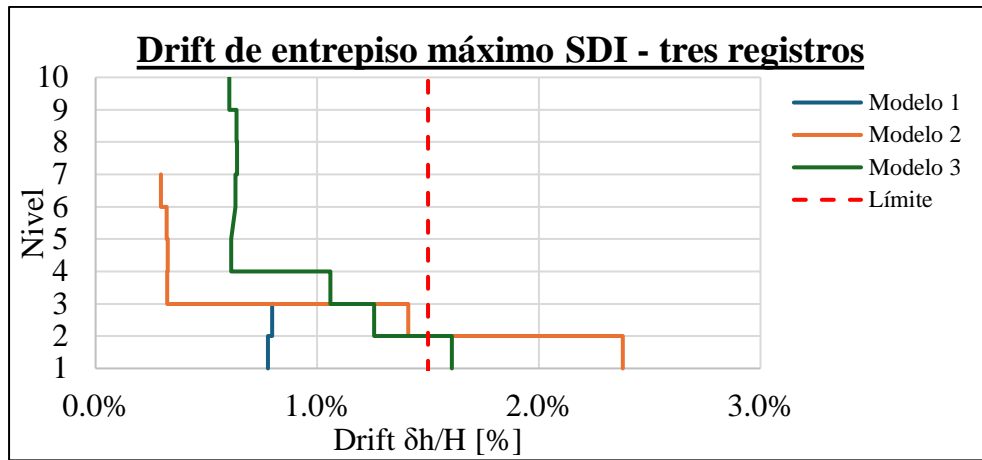


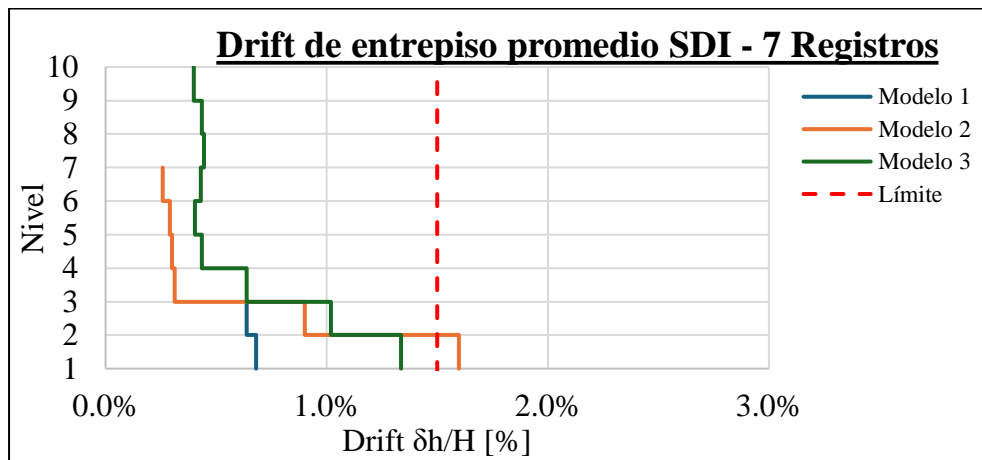
Figura A.1.22.- Selección (izquierda) y ajuste (derecha) de 11 registros sísmicos Modelo 3.

**ANEXO 2.1 DRIFT ESPECTRO NCh2369:2023, 475 AÑOS**

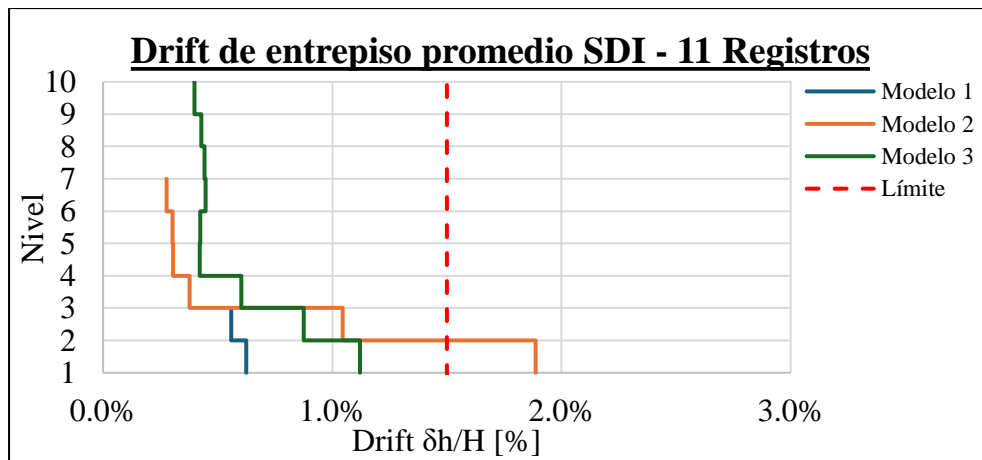
**Escalamiento Espectral**



**Figura A.2.1.- Drift de entrepiso máximo tres registros, método Escalamiento espectral.**

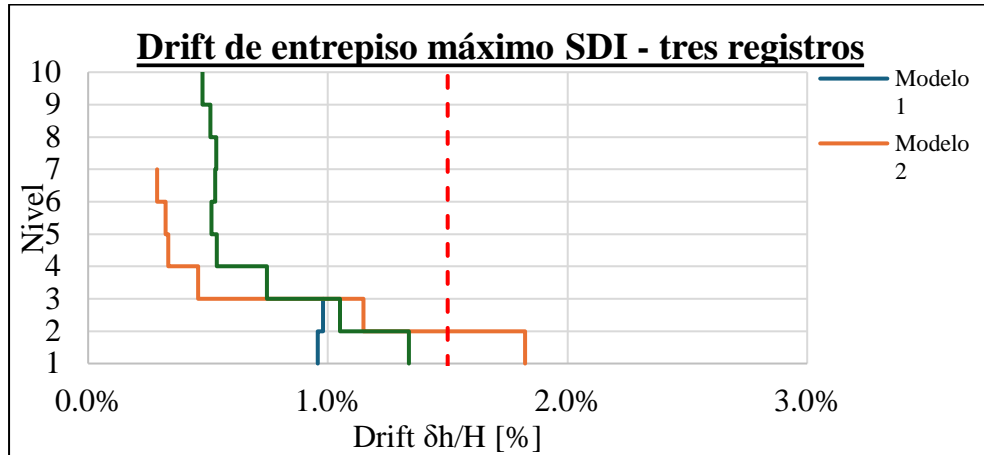


**Figura A.2.2.- Drift de entrepiso promedio 7 registros, método Escalamiento espectral.**

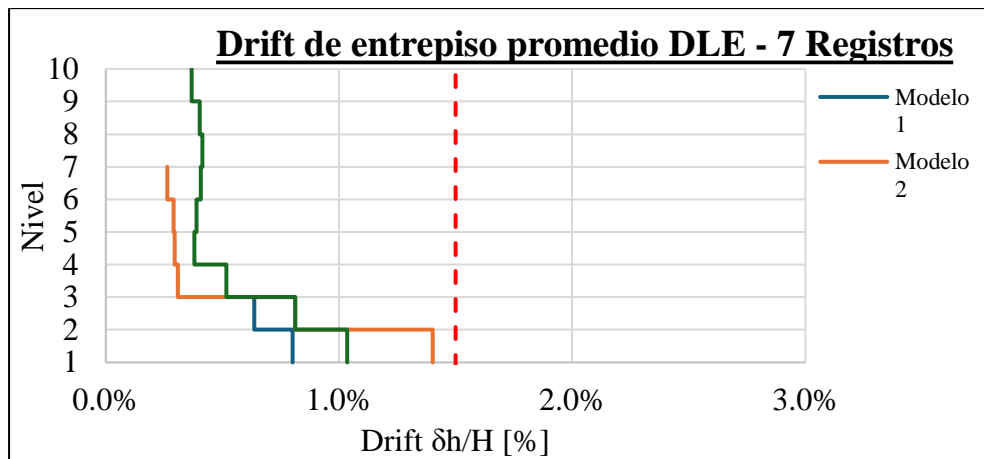


**Figura A.2.3.- Drift de entrepiso promedio 11 registros, método Escalamiento espectral.**

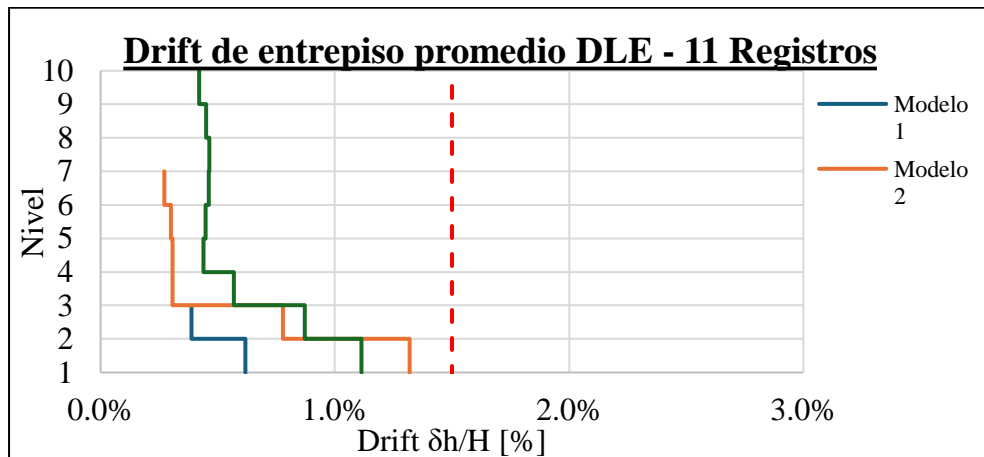
**Ajuste Espectral**



**Figura A.2.4.- Drift de entrepiso máximo tres registros, método Ajuste espectral.**



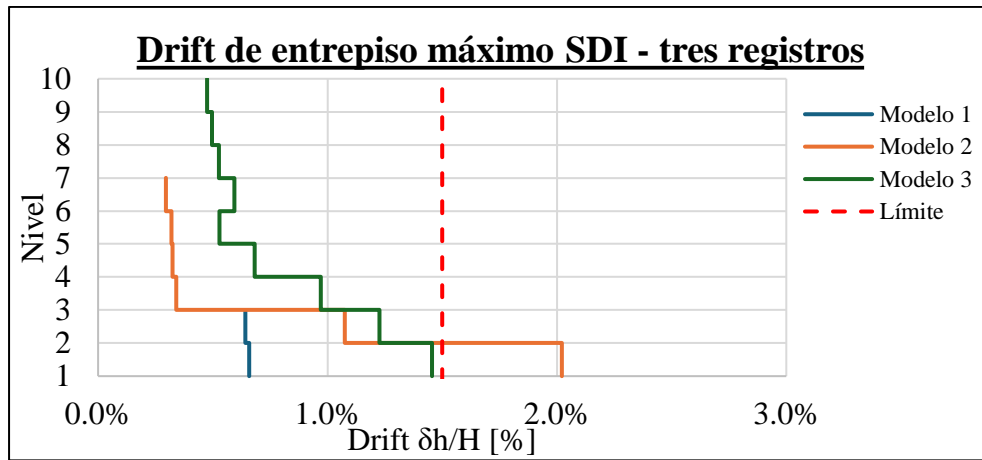
**Figura A.2.5.- Drift de entrepiso promedio 7 registros, método Ajuste espectral.**



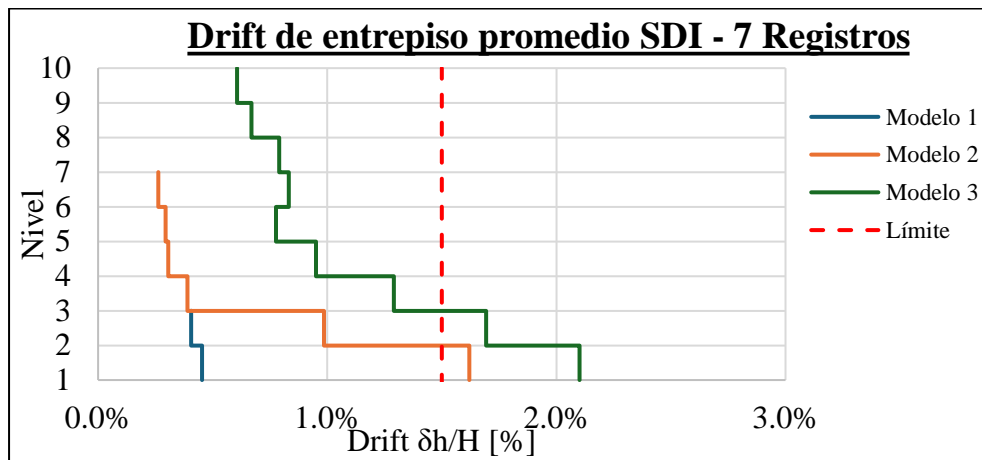
**Figura A.2.6.- Drift de entrepiso promedio 11 registros, método Ajuste espectral.**

**ANEXO 2.2 DRIFT ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS), 475 AÑOS**

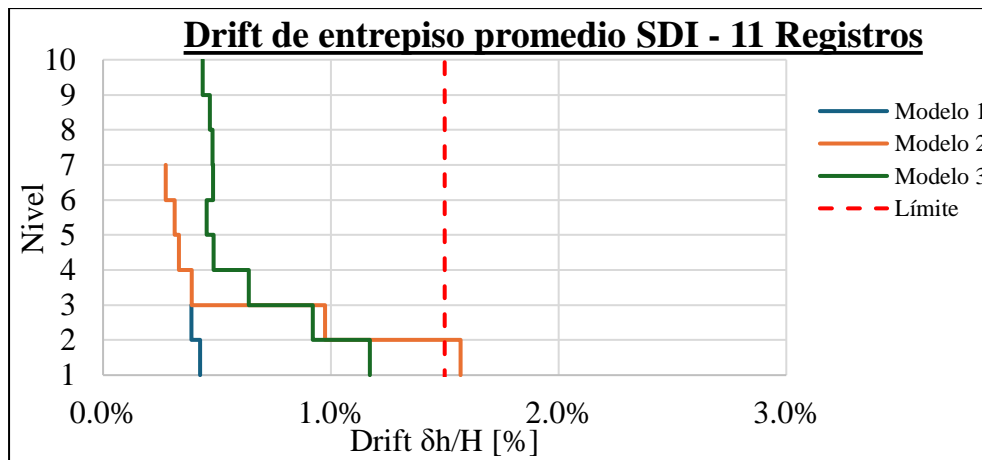
**Escalamiento Espectral**



**Figura A.2.7.- Drift de entrespacio máximo tres registros, método Escalamiento espectral.**

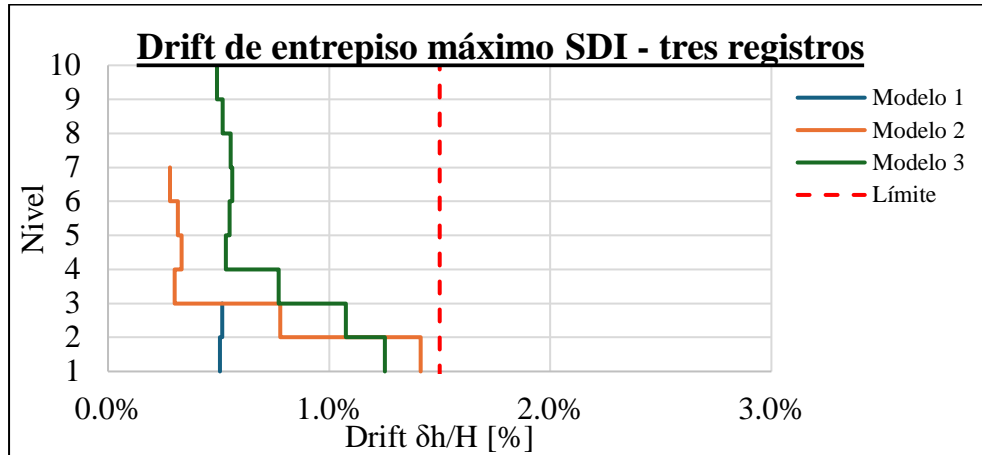


**Figura A.2.8.- Drift de entrespacio promedio 7 registros, método Escalamiento espectral.**

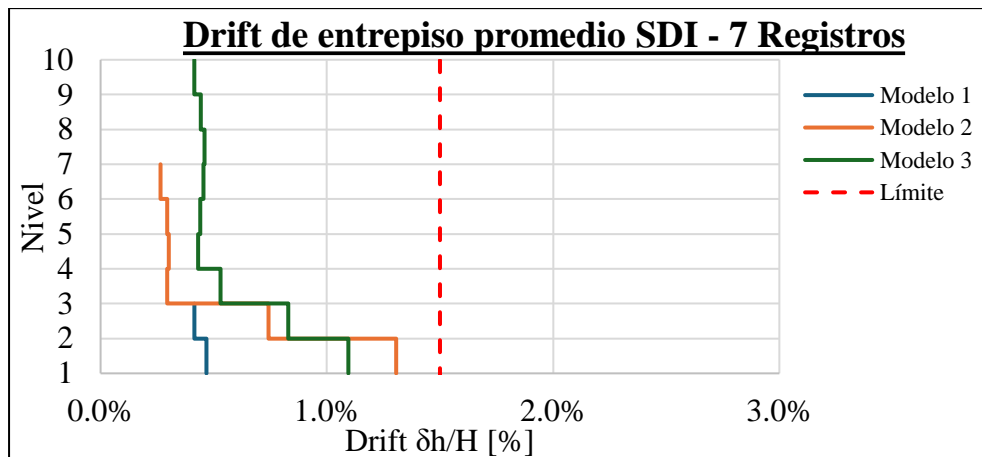


**Figura A.2.9.- Drift de entrespacio promedio 11 registros, método Escalamiento espectral.**

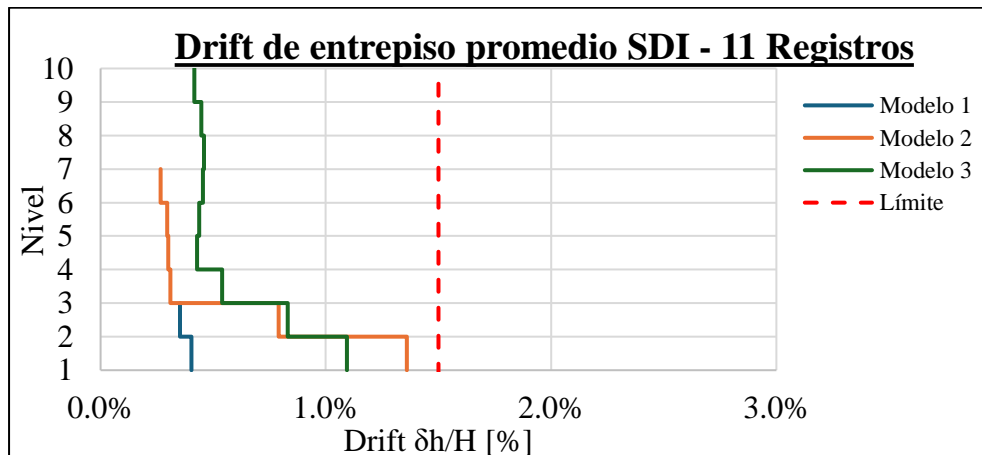
**Ajuste Espectral**



**Figura A.2.10.- Drift de entrepiso máximo tres registros, método Ajuste espectral.**



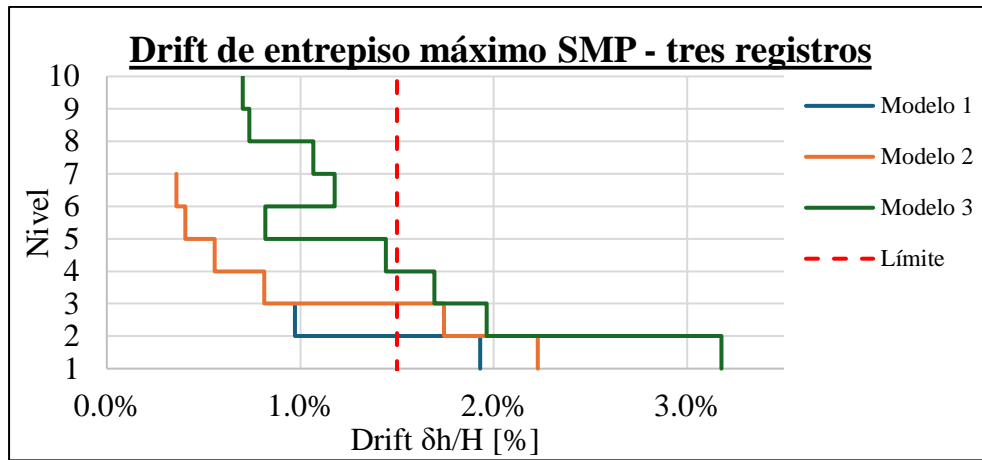
**Figura A.2.11.- Drift de entrepiso promedio 7 registros, método Ajuste espectral.**



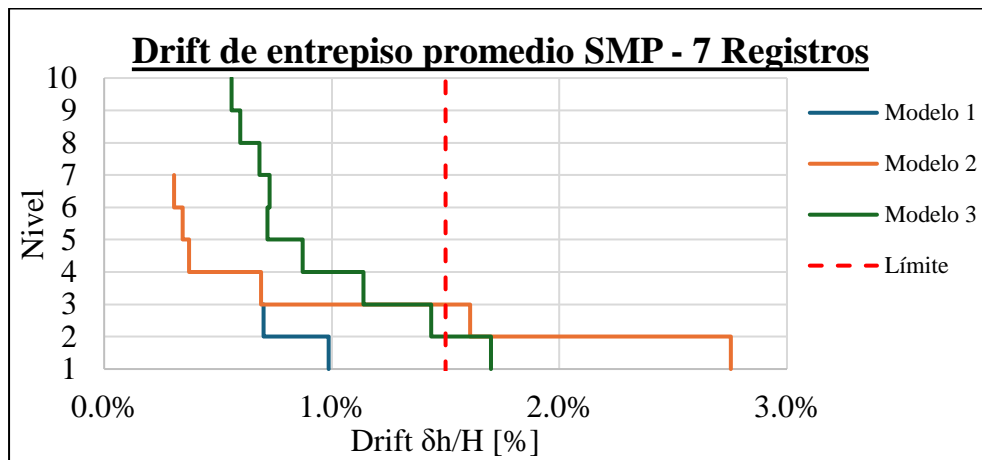
**Figura A.2.12.- Drift de entrepiso promedio 11 registros, método Ajuste espectral.**

**ANEXO 2.3 DRIFT ESPECTRO NCh2369:2023, 975 AÑOS**

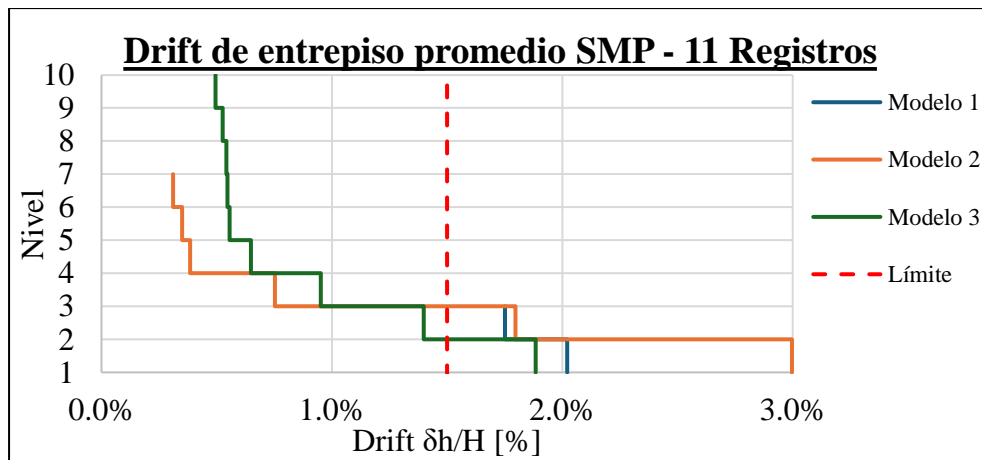
**Escalamiento espectral**



**Figura A.2.13.- Drift de entrespiso máximo tres registros, método Escalamiento Espectral.**

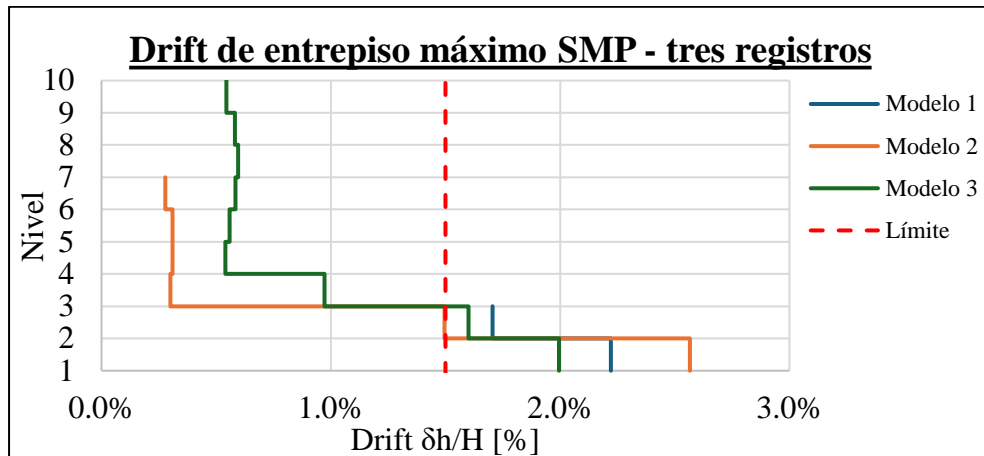


**Figura A.2.14.- Drift de entrespiso promedio 7 registros, método Escalamiento Espectral.**

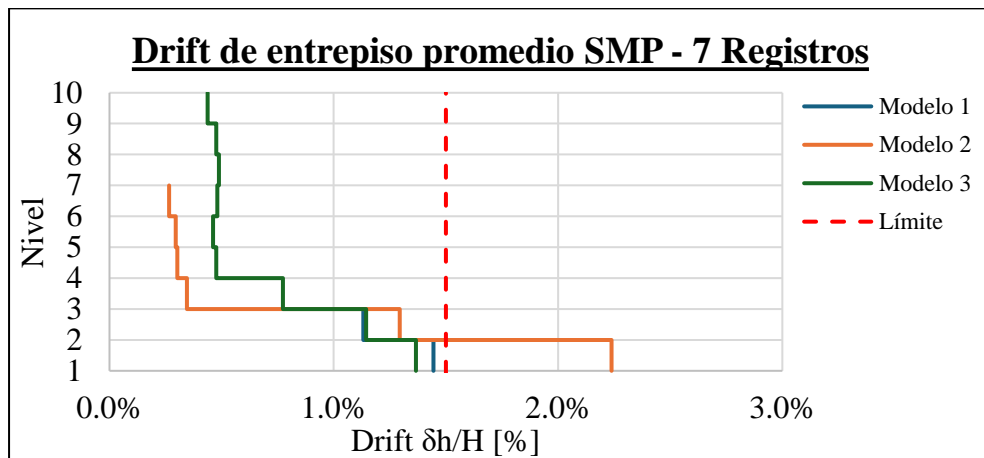


**Figura A.2.15.- Drift de entrespiso promedio 11 registros, método Escalamiento Espectral.**

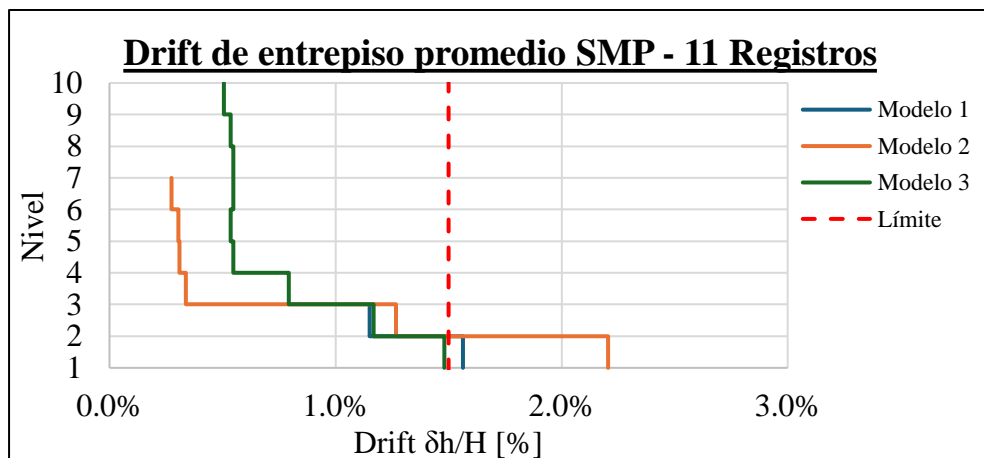
**Ajuste espectral**



**Figura A.2.16.- Drift de entrepiso máximo tres registros, método Ajuste Espectral.**



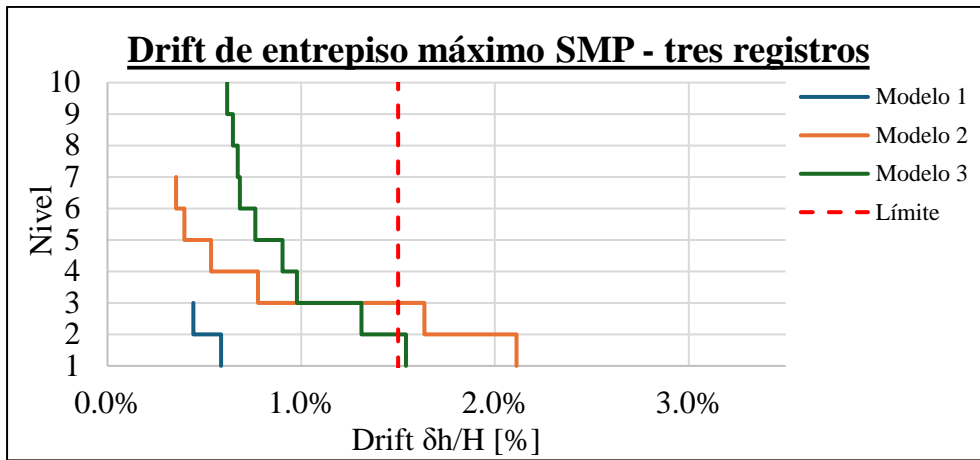
**Figura A.2.17.- Drift de entrepiso promedio 7 registros, método Ajuste Espectral.**



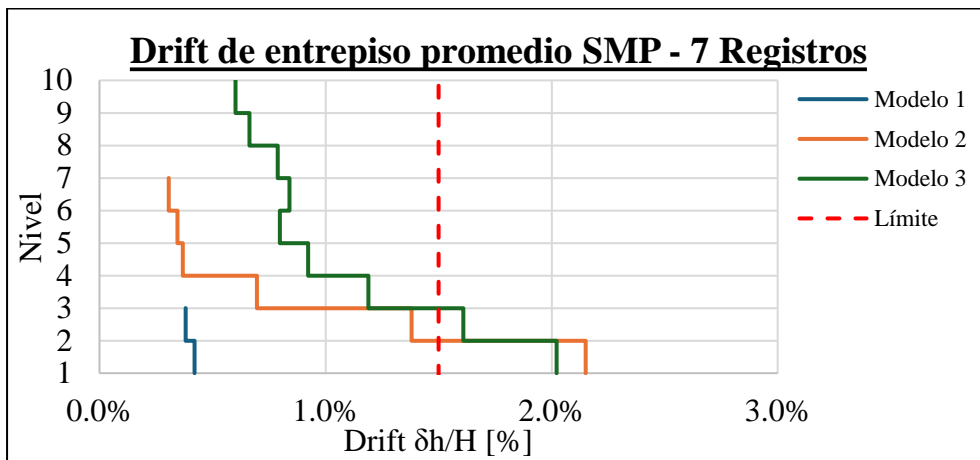
**Figura A.2.18.- Drift de entrepiso promedio 7 registros, método Ajuste Espectral.**

**ANEXO 2.4 DRIFT ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS), 975 AÑOS.**

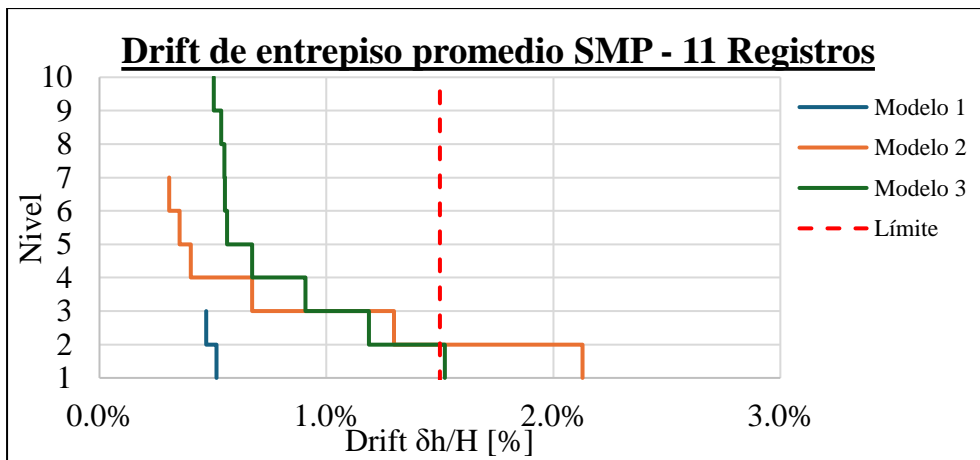
**Escalamiento espectral**



**Figura A.2.19.- Drift de entrespiso máximo tres registros, método Escalamiento Espectral.**

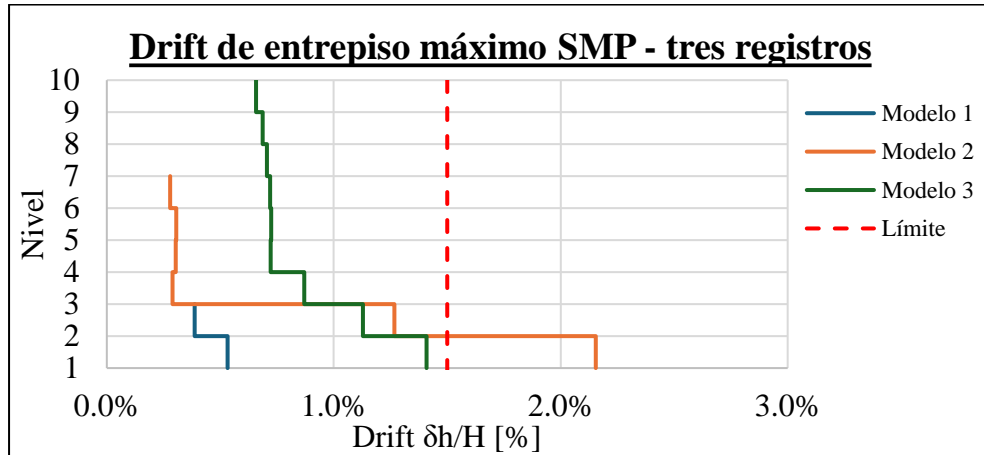


**Figura A.2.20.- Drift de entrespiso promedio 7 registros, método Escalamiento Espectral.**

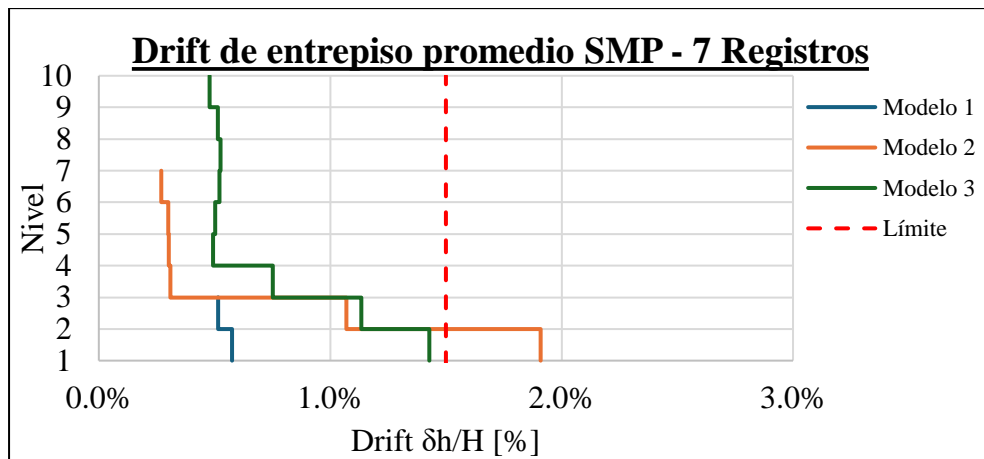


**Figura A.2.21.- Drift de entrespiso promedio 11 registros, método Escalamiento Espectral**

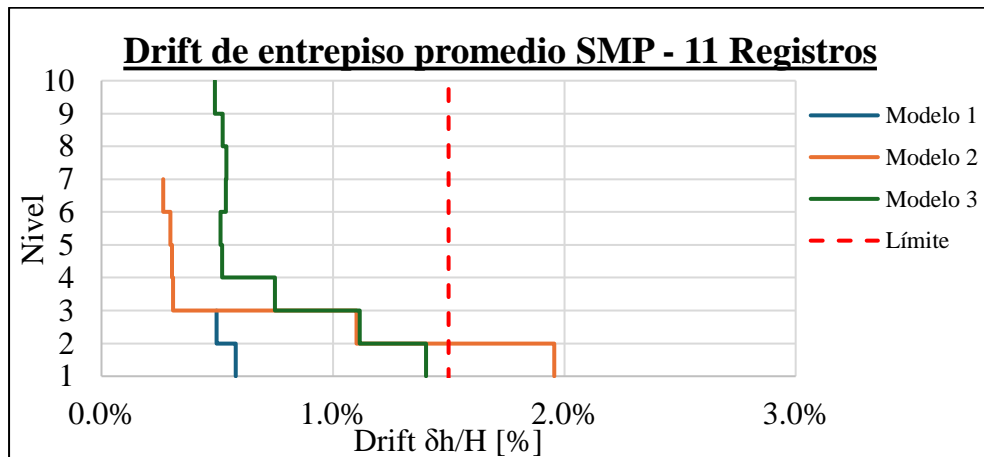
**Ajuste Espectral**



**Figura A.2.22.- Drift de entrepiso máximo tres registros, método Ajuste Espectral.**

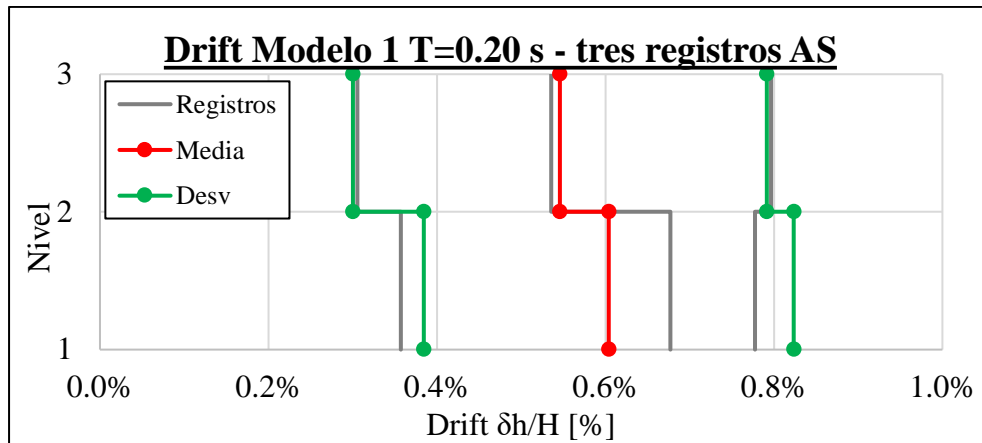


**Figura A.2.23.- Drift de entrepiso promedio 7 registros, método Ajuste Espectral.**

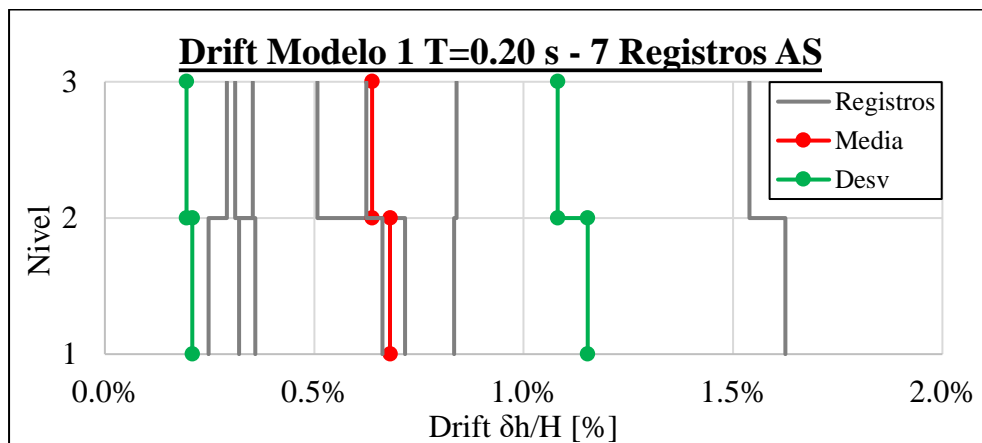


**Figura A.2.24.- Drift de entrepiso promedio 11 registros, método Ajuste Espectral.**

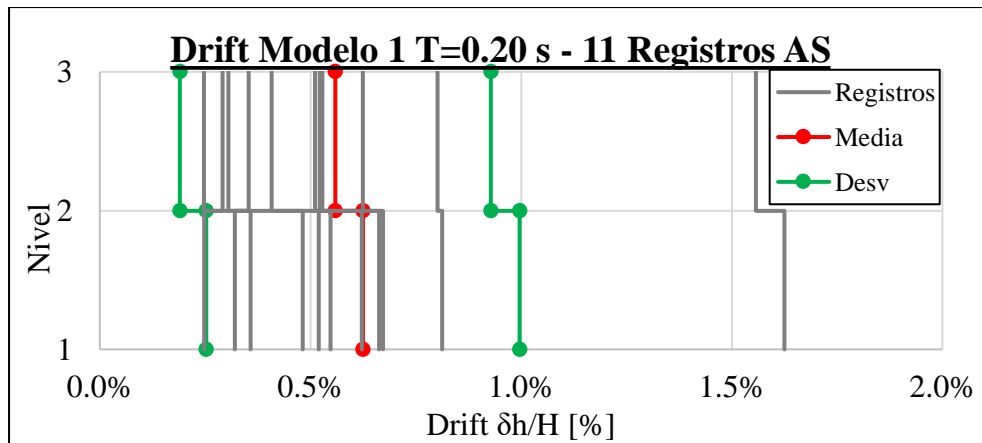
**ANEXO 2.5 RESULTADOS *Drift* DE ENTREPISO ESPECTRO NCh2369:2023 PARA 3,siete y 11 REGISTROS, 475 AÑOS.**



**Figura A.2.25.- Drift de entrepiso Modelo 1, tres registros método Escalamiento Espectral.**



**Figura A.2.26.- Drift de entrepiso Modelo 1, 7 Registros método Escalamiento Espectral.**



**Figura A.2.27.- Drift de entrepiso Modelo 1, 11 Registros método Escalamiento Espectral.**

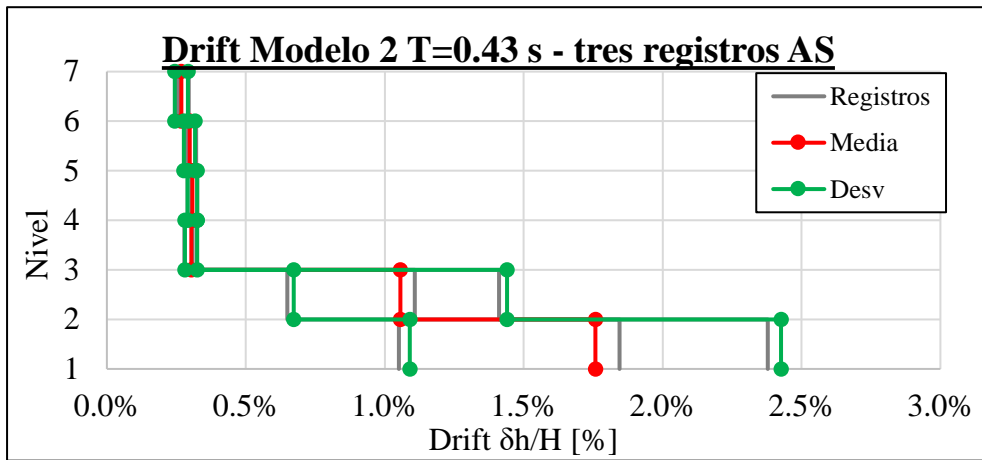


Figura A.2.28.- Drift de entrespo Modelo 2, tres registros método Escalamiento Espectral.

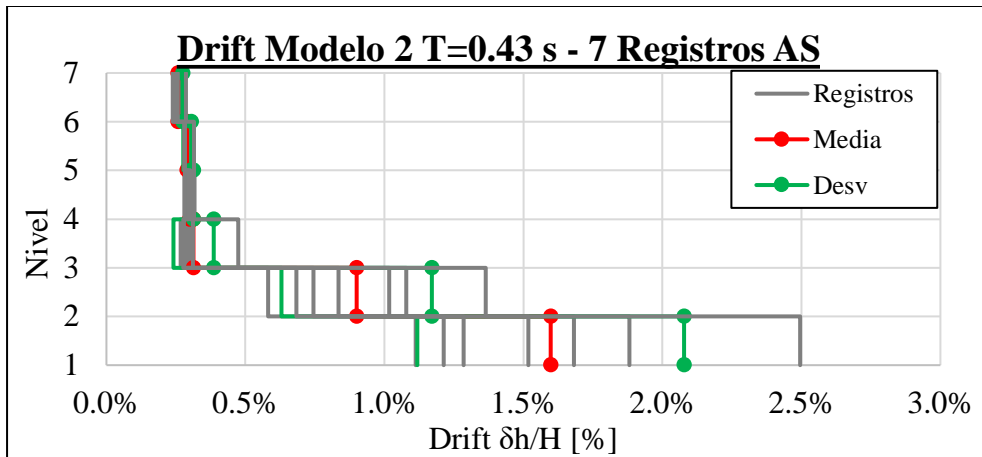


Figura A.2.29.- Drift de entrespo Modelo 2, 7 Registros método Escalamiento Espectral.

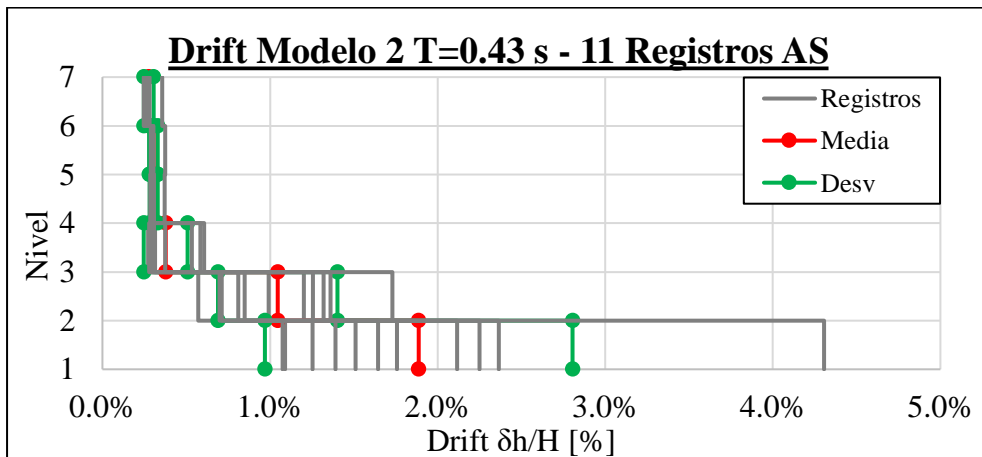
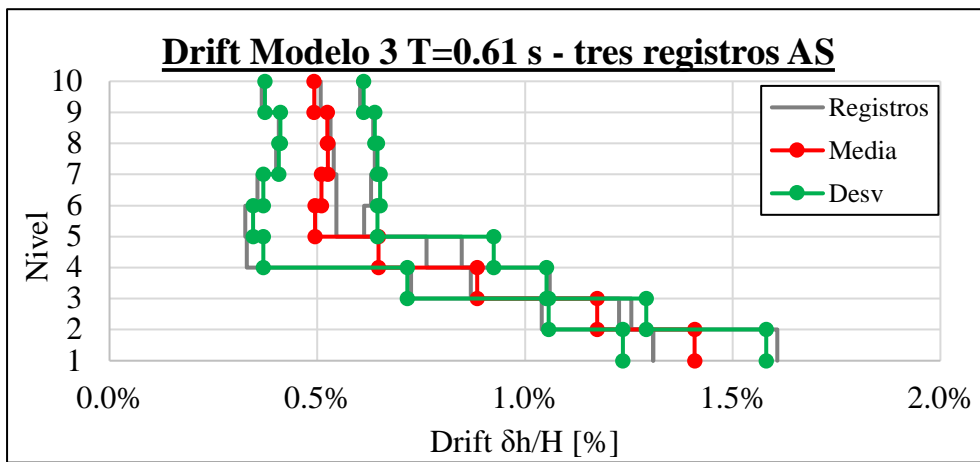
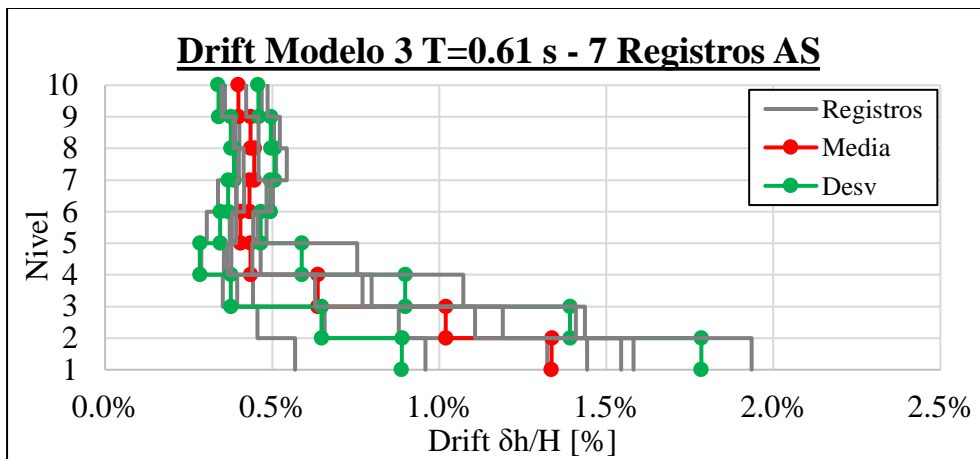


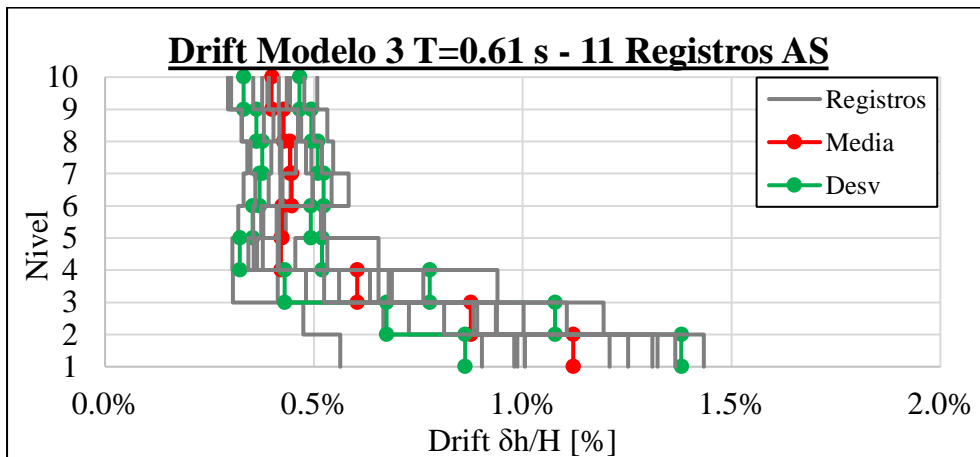
Figura A.2.30.- Drift de entrespo Modelo 2, 7 Registros método Escalamiento Espectral.



**Figura A.2.31.- Drift de entropía Modelo 3, tres registros método Escalamiento Espectral.**



**Figura A.2.32.- Drift de entropía Modelo 3, 7 Registros método Escalamiento Espectral.**



**Figura A.2.33.- Drift de entropía Modelo 3, 11 Registros método Escalamiento Espectral.**

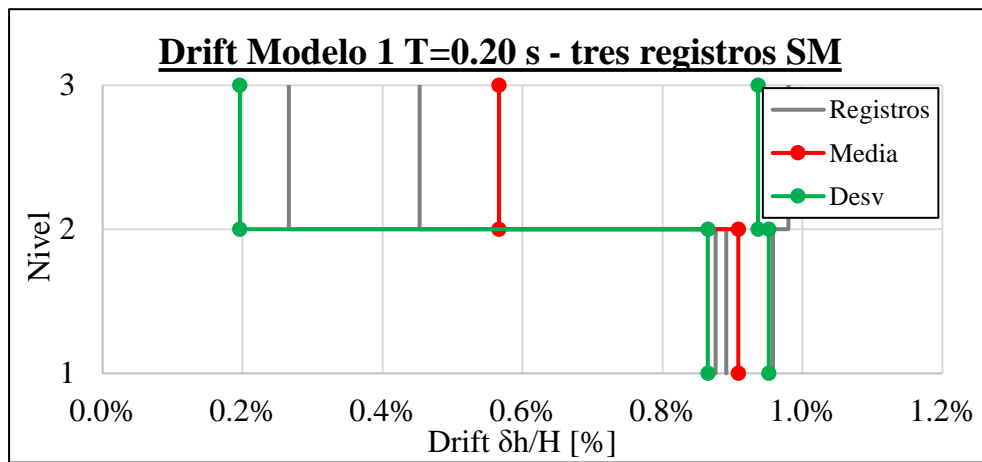


Figura A.2.34.- Drift de entrepiso Modelo 1, tres registros método Ajuste Espectral.

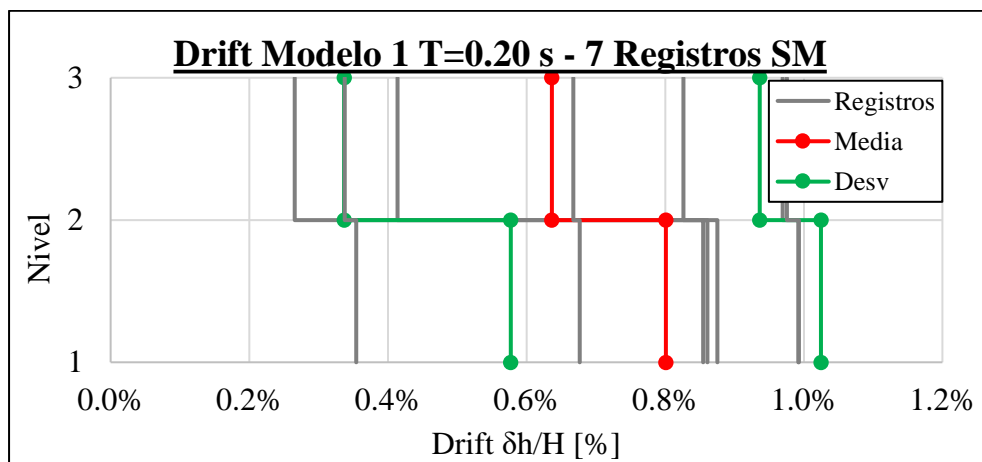


Figura A.2.35.- Drift de entrepiso Modelo 1, 7 Registros método Ajuste Espectral.

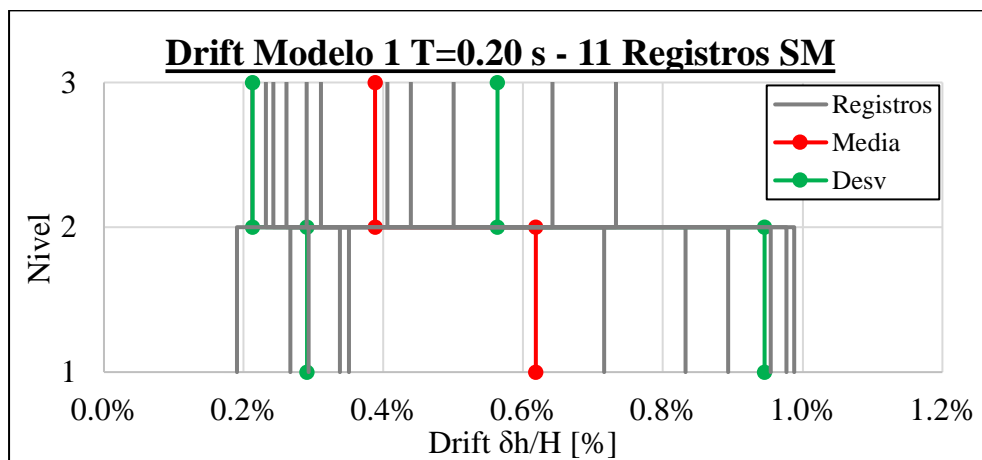


Figura A.2.36.- Drift de entrepiso Modelo 1, 11 Registros método Ajuste Espectral.

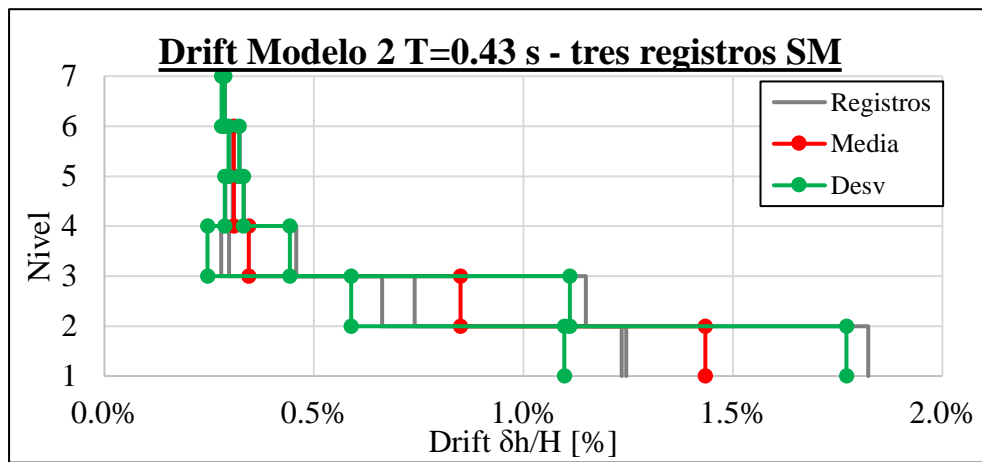


Figura A.2.37.- Drift de entresuelo Modelo 2, tres registros método Ajuste Espectral.

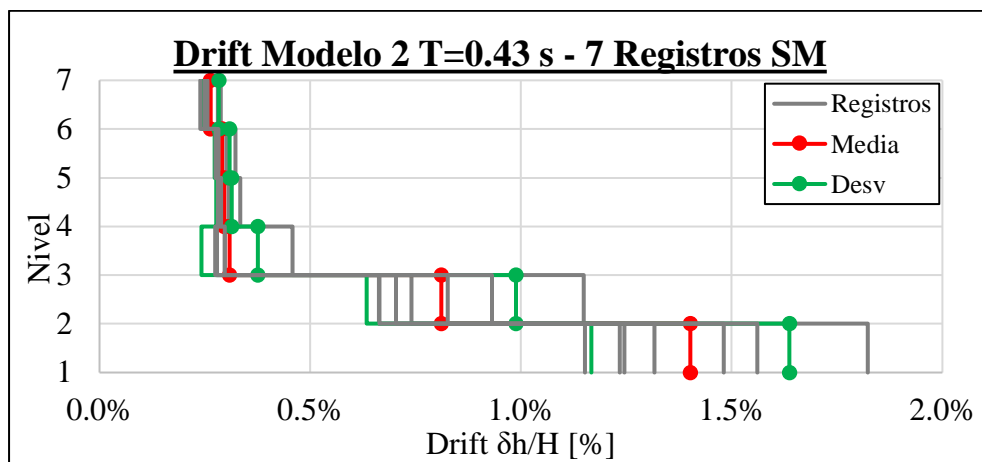


Figura A.2.38.- Drift de entresuelo Modelo 2, 7 Registros método Ajuste Espectral.

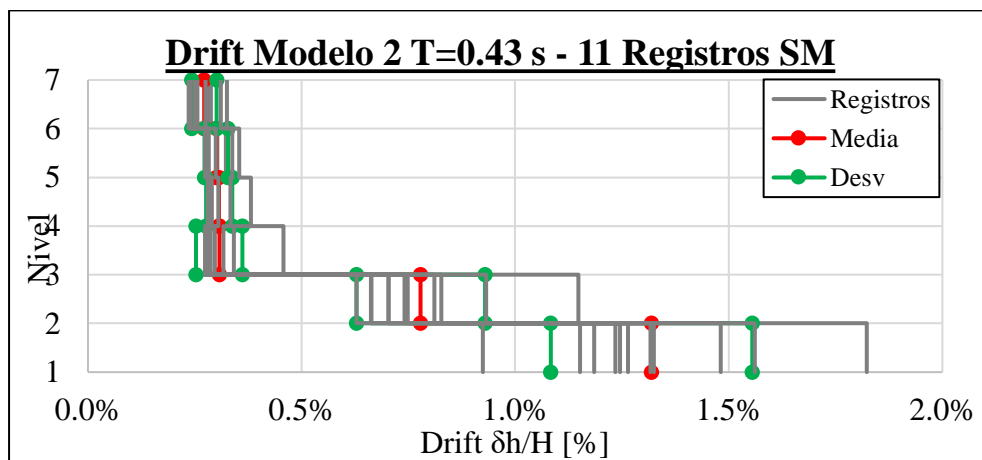


Figura A.2.39.- Drift de entresuelo Modelo 2, 11 Registros método Ajuste Espectral.

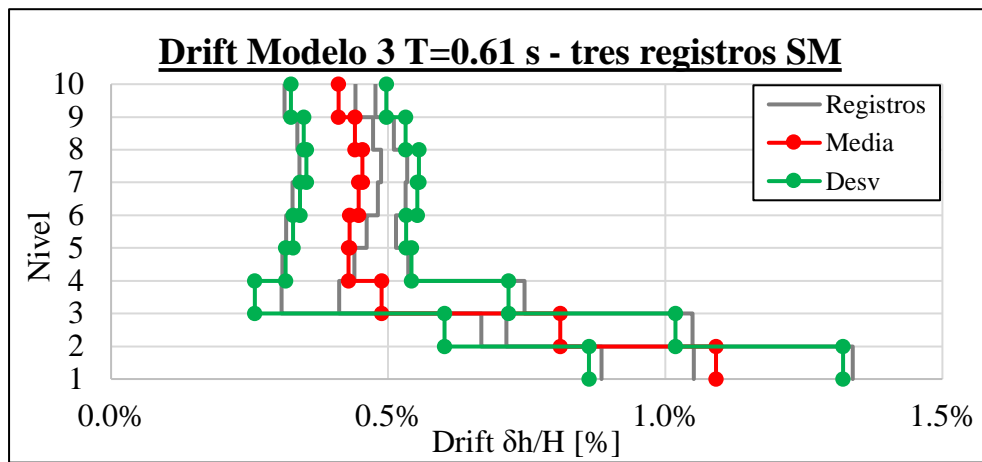


Figura A.2.40.- Drift de entropiso Modelo 3, tres registros método Ajuste Espectral.

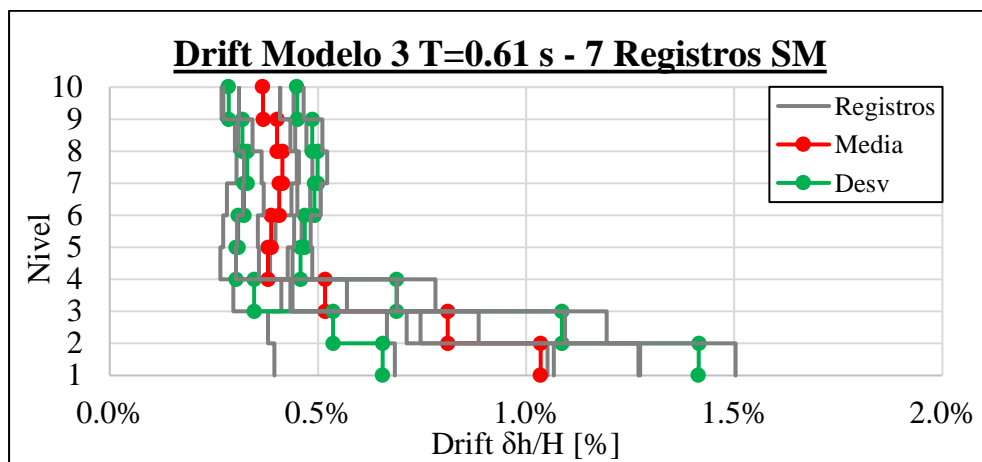


Figura A.2.41.- Drift de entropiso Modelo 3, 7 Registros método Ajuste Espectral.

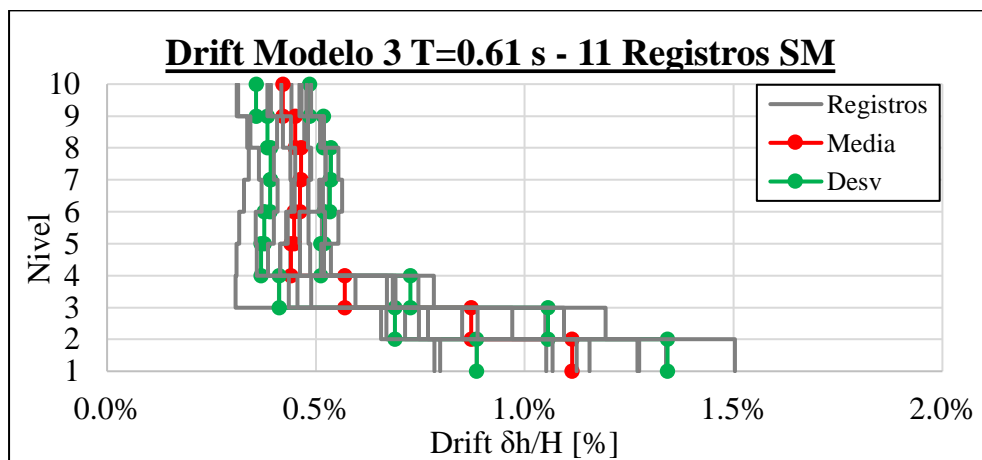
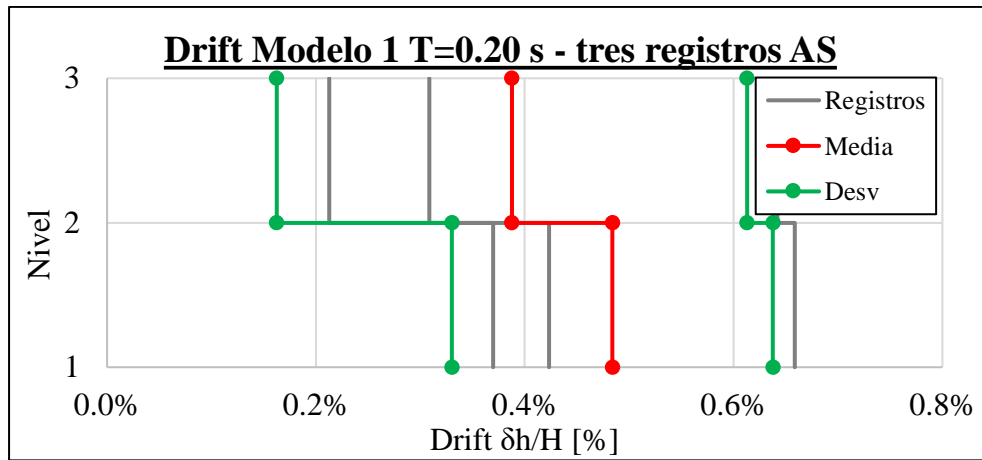
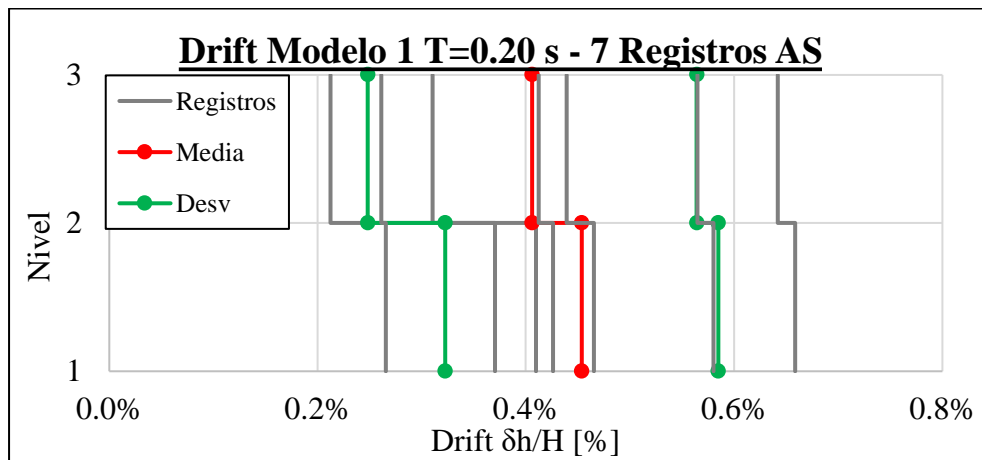


Figura A.2.42.- Drift de entropiso Modelo 3, 11 Registros método Ajuste Espectral.

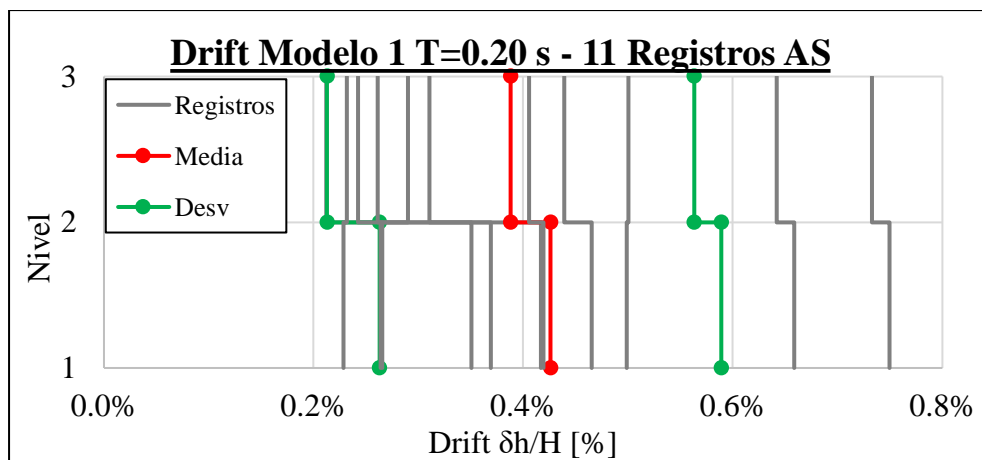
**ANEXO 2.6 RESULTADOS *Drift* DE ENTREPISO ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS) PARA 3,siete y 11 REGISTROS, 475 AÑOS**



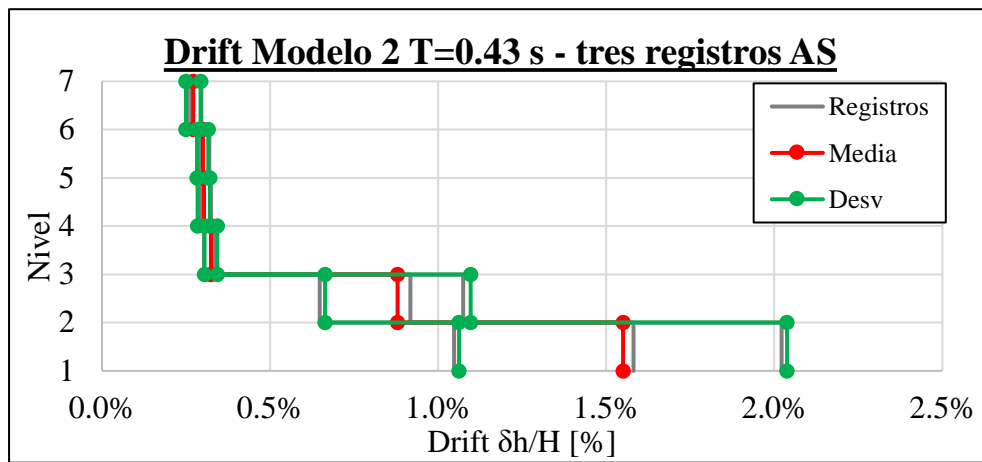
**Figura A.2.43.- Drift de entrepiso Modelo 1, tres registros método Escalamiento Espectral.**



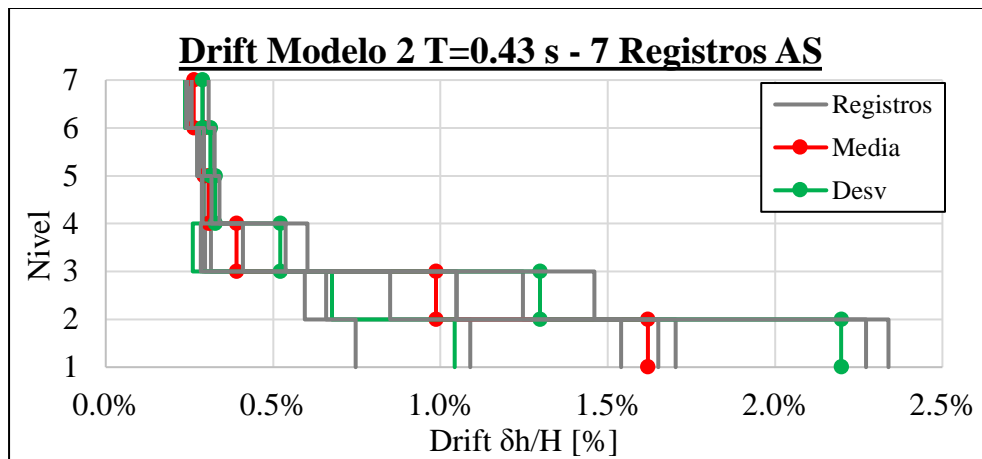
**Figura A.2.44.- Drift de entrepiso Modelo 1, 7 Registros método Escalamiento Espectral.**



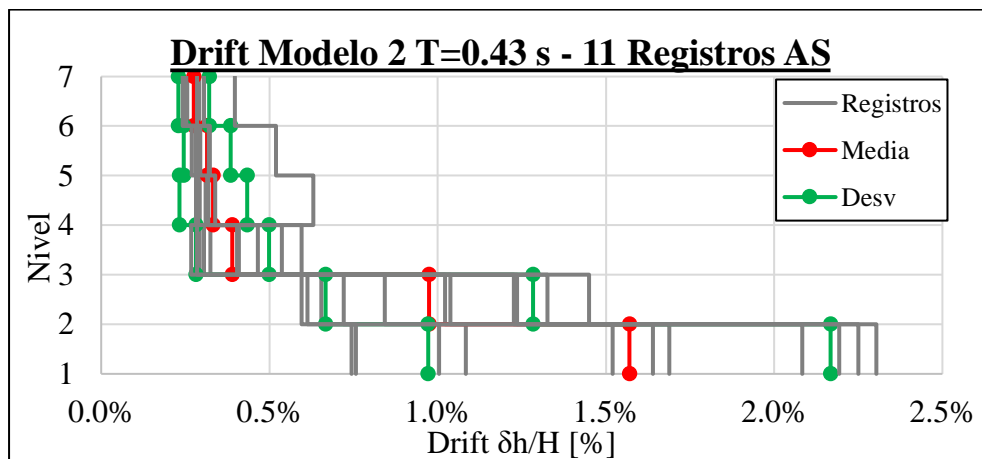
**Figura A.2.45.- Drift de entrepiso Modelo 1, 11 Registros método Escalamiento Espectral.**



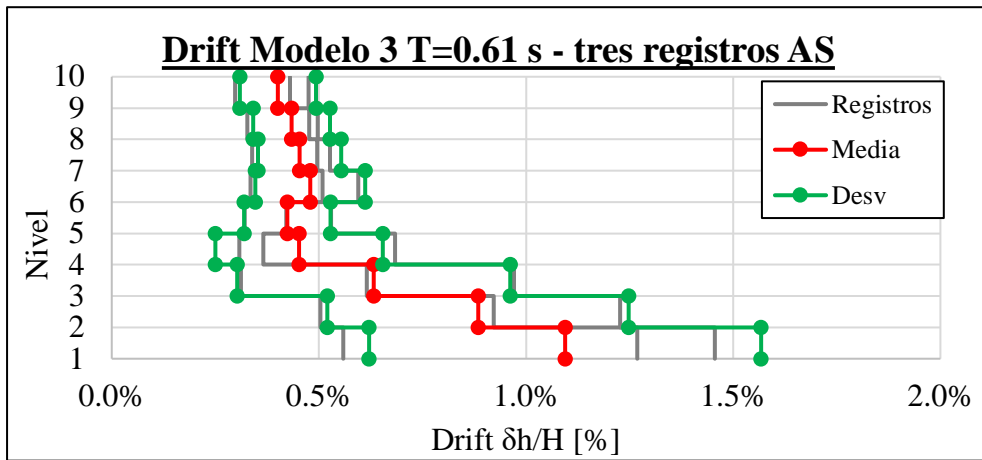
**Figura A.2.46.- Drift de entropía Modelo 2, tres registros método Escalamiento Espectral.**



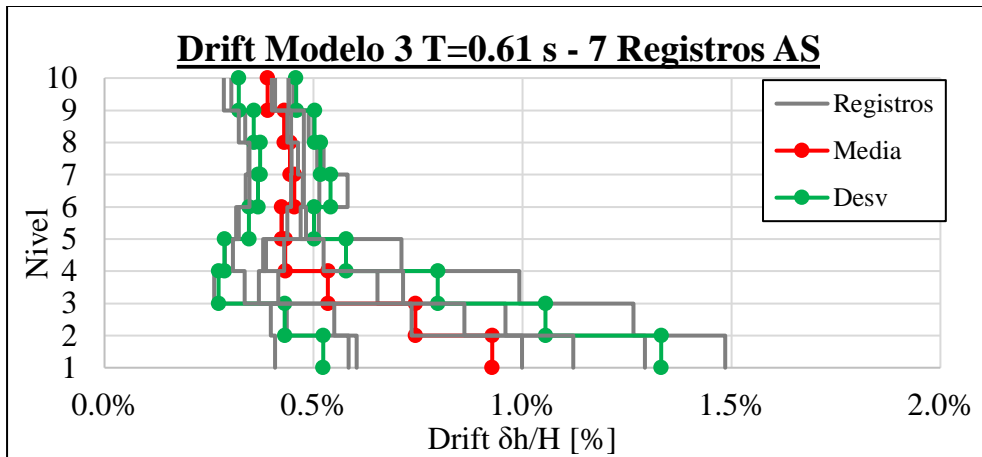
**Figura A.2.47.- Drift de entropía Modelo 2, 7 Registros método Escalamiento Espectral.**



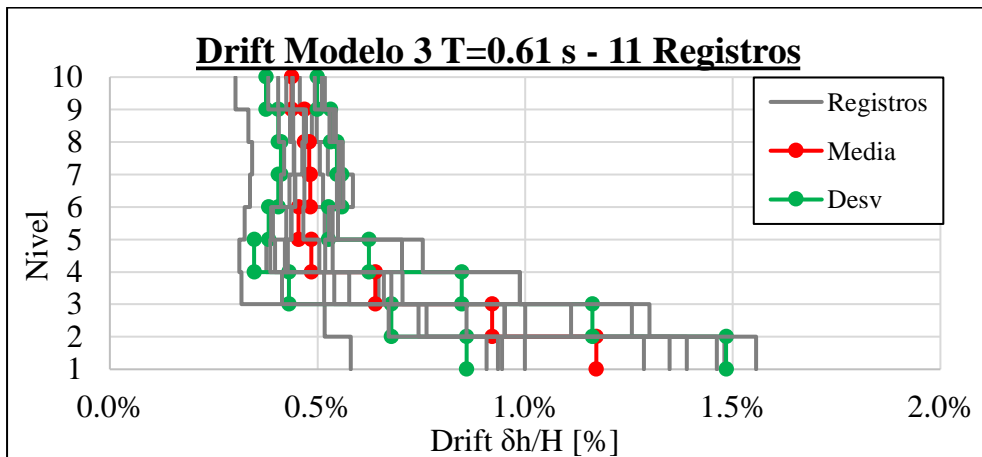
**Figura A.2.48.- Drift de entropía Modelo 2, 11 Registros método Escalamiento Espectral.**



**Figura A.2.49.- Drift de entropía Modelo 3, tres registros método Escalamiento Espectral.**



**Figura A.2.50.- Drift de entropía Modelo 3, 7 Registros método Escalamiento Espectral.**



**Figura A.2.51.- Drift de entropía Modelo 3, 11 Registros método Escalamiento Espectral.**

**Ajuste Espectral**

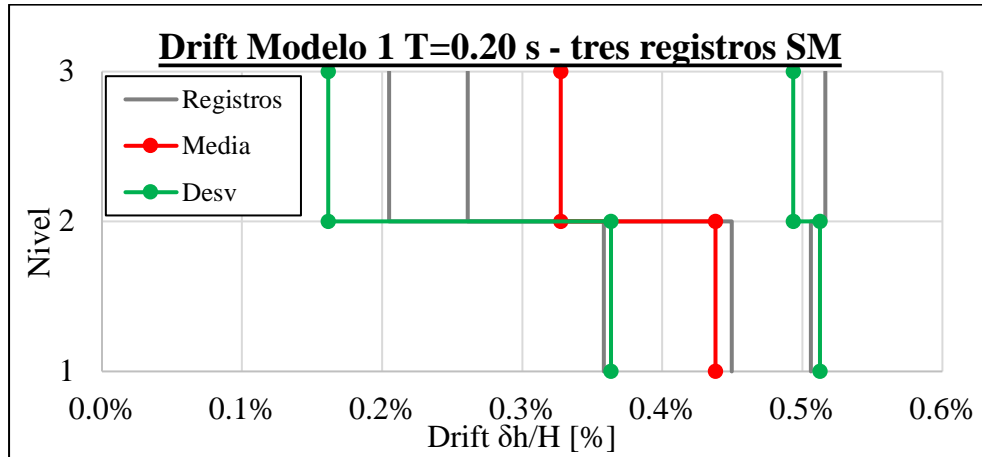


Figura A.2.52.- Drift de entresuelo Modelo 1, tres registros método Ajuste Espectral.

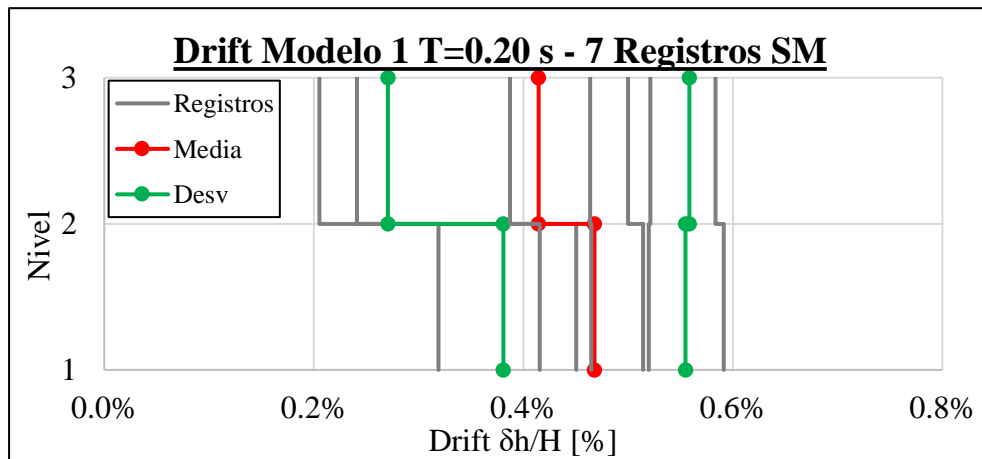


Figura A.2.53.- Drift de entresuelo Modelo 1, 7 Registros método Ajuste Espectral.

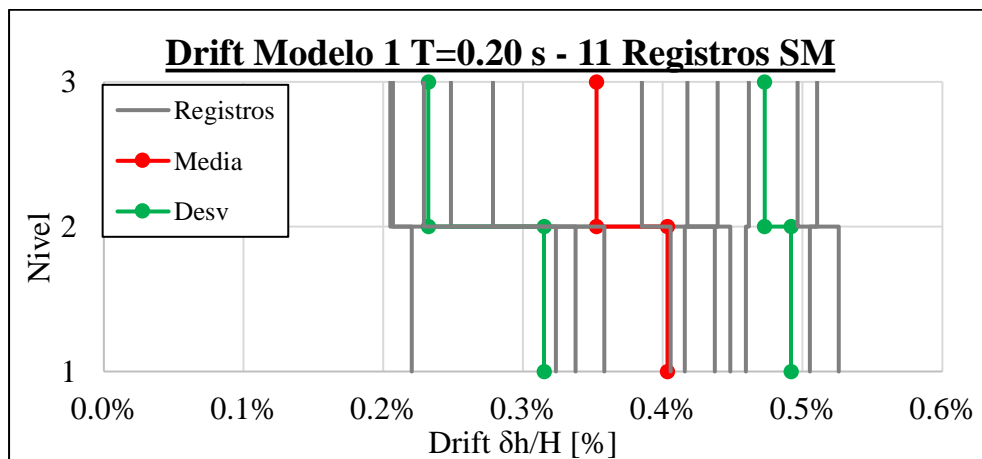


Figura A.2.54.- Drift de entresuelo Modelo 1, 11 Registros método Ajuste Espectral.

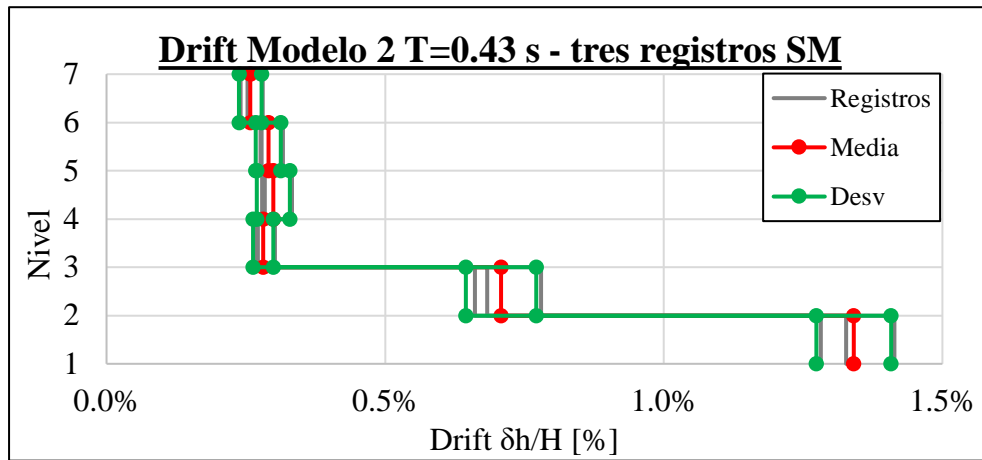


Figura A.2.55.- Drift de entrepiso Modelo 2, tres registros método Ajuste Espectral.

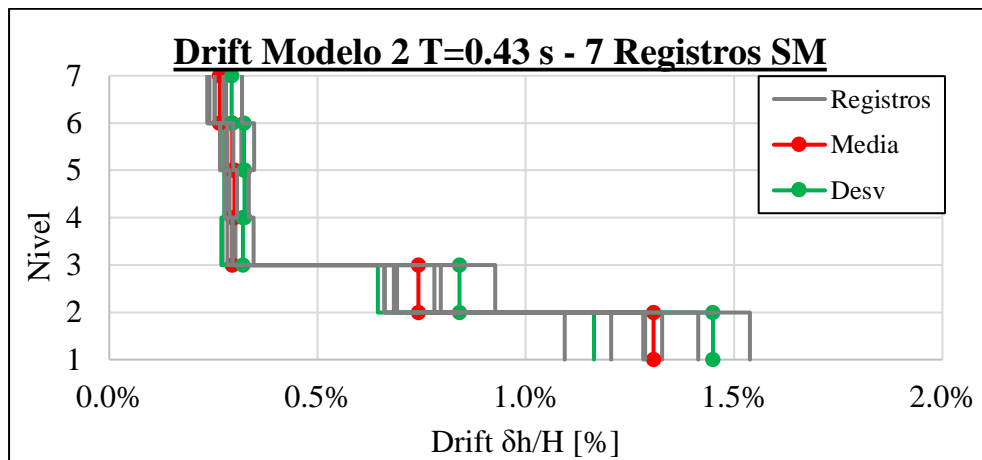


Figura A.2.56.- Drift de entrepiso Modelo 2, 7 Registros método Ajuste Espectral.

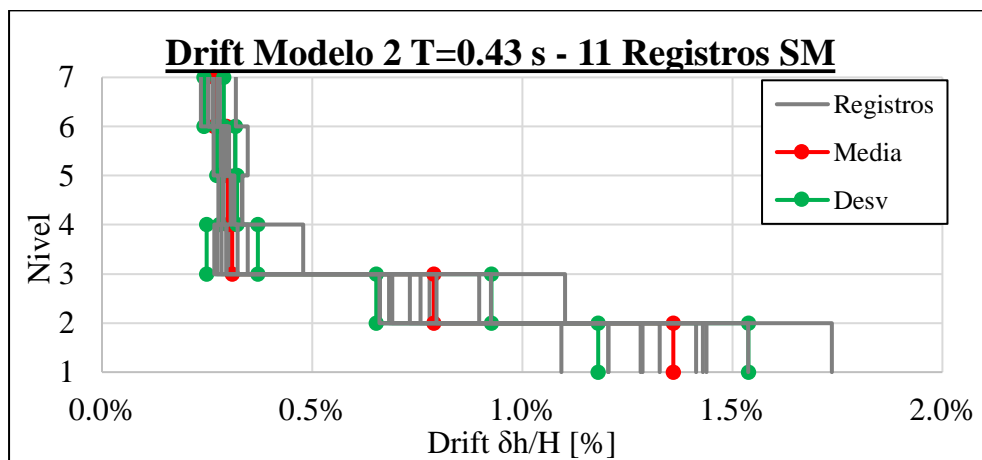


Figura A.2.57.- Drift de entrepiso Modelo 2, 11 Registros método Ajuste Espectral.

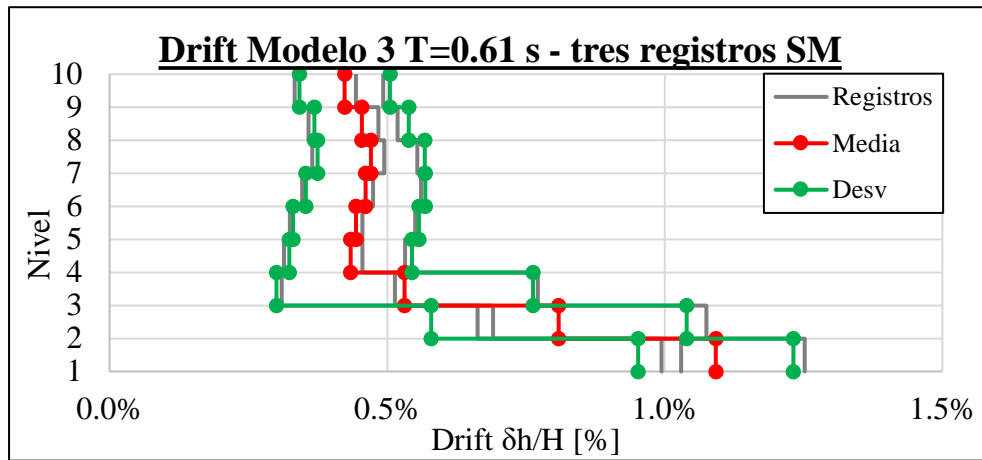


Figura A.2.58.- Drift de entrepiso Modelo 3, tres registros método Ajuste Espectral.

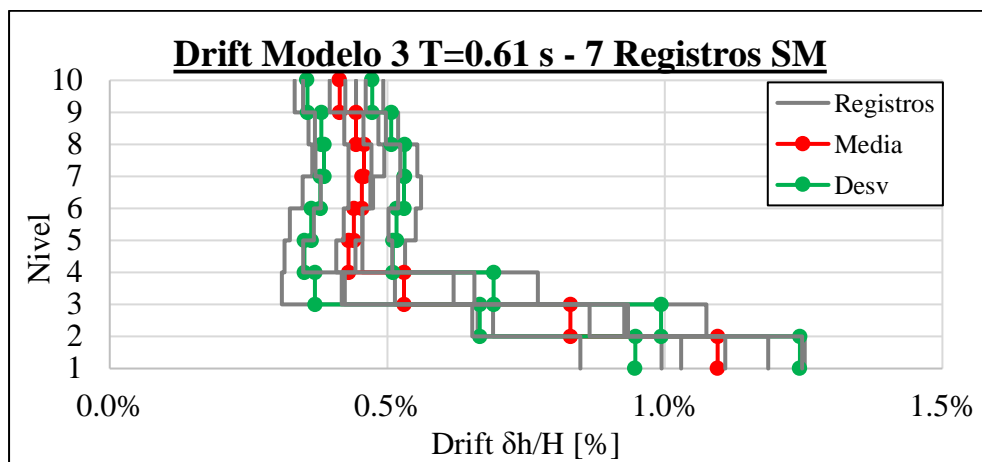


Figura A.2.59.- Drift de entrepiso Modelo 3, 7 Registros método Ajuste Espectral.

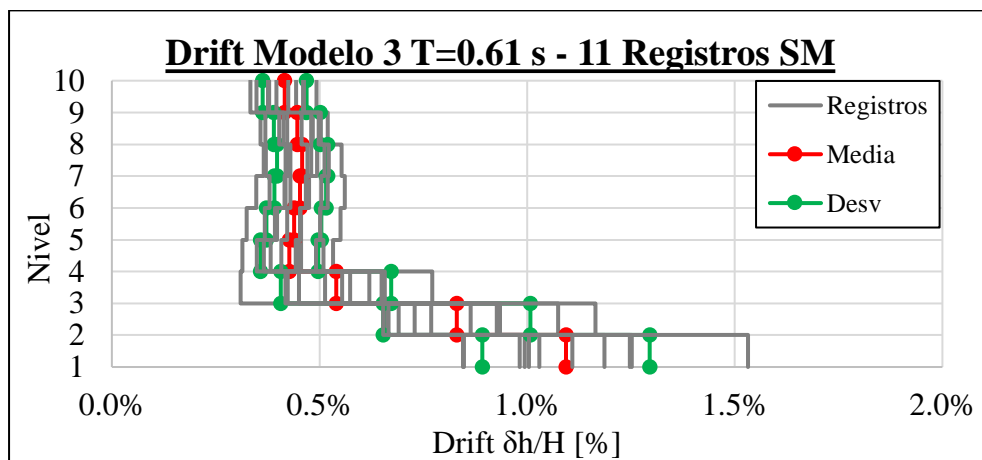
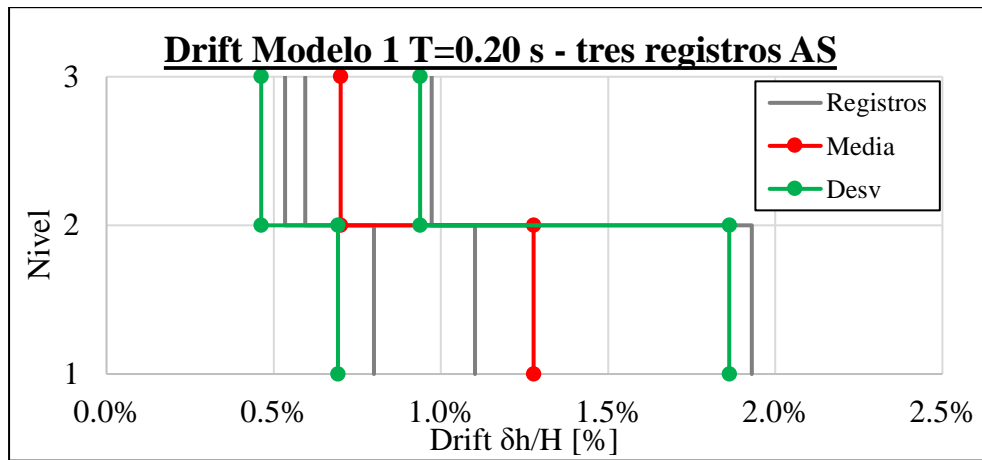
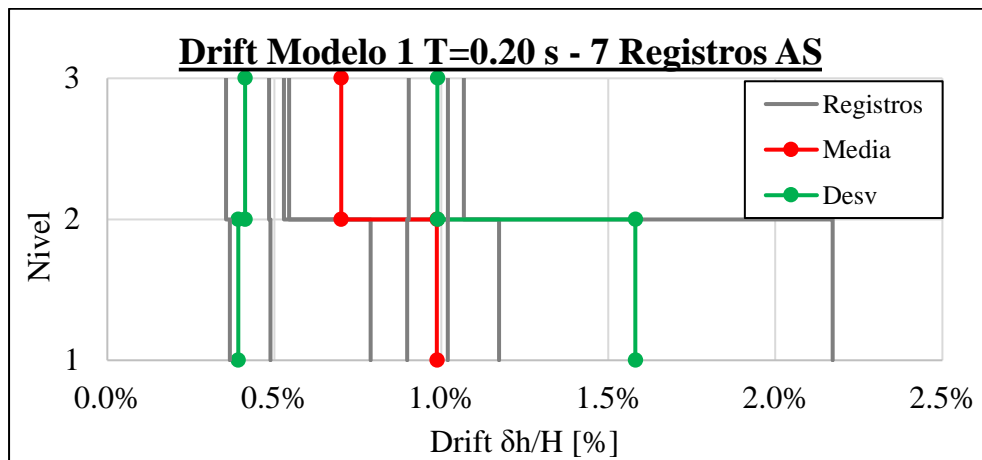


Figura A.2.60.- Drift de entrepiso Modelo 3, 11 Registros método Ajuste Espectral.

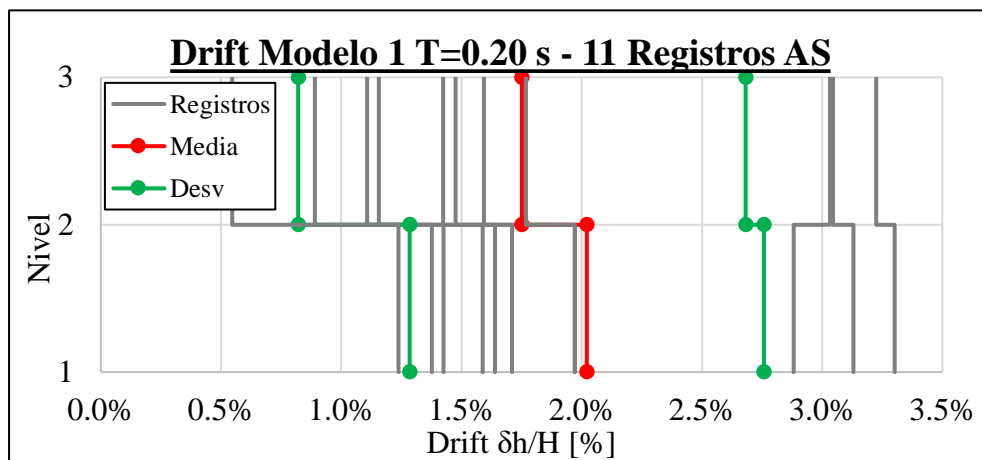
**ANEXO 2.7 RESULTADOS *Drift* DE ENTREPISO ESPECTRO NCh2369:2023 PARA 3,siete y 11 REGISTROS, 975 AÑOS**



**Figura A.2.61.- Drift de entrepiso Modelo 1, tres registros Escalamiento Espectral.**



**Figura A.2.62.- Drift de entrepiso Modelo 3, 7 Registros método Escalamiento Espectral.**



**Figura A.2.63.- Drift de entrepiso Modelo 3, 11 Registros método Escalamiento Espectral.**

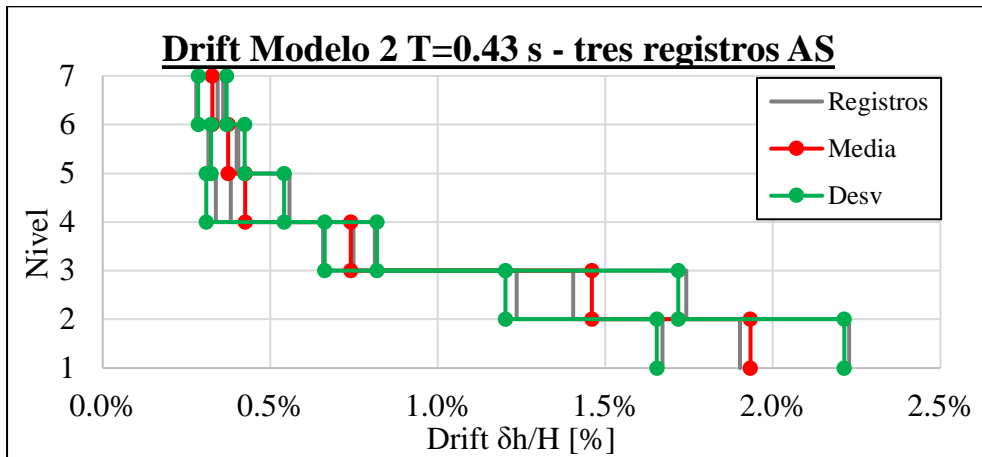


Figura A.2.64.- Drift de entrepiso Modelo 2, tres registros Escalamiento Espectral.

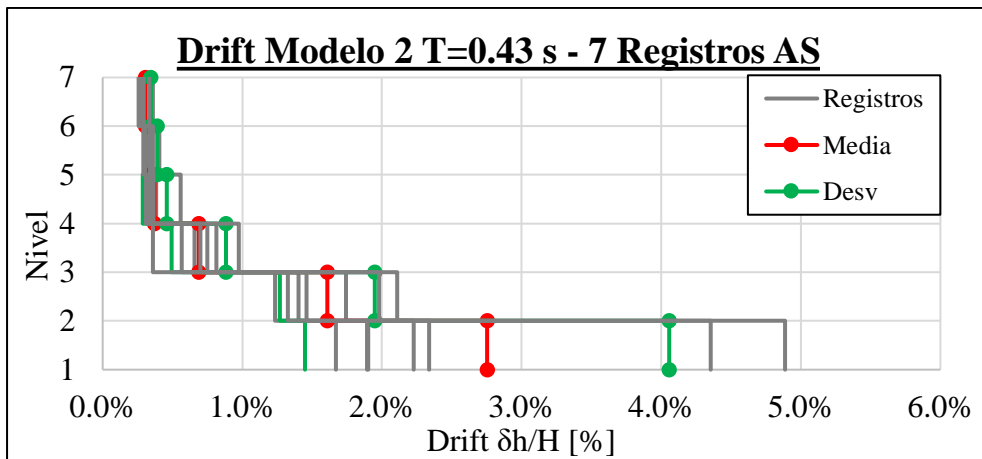


Figura A.2.65.- Drift de entrepiso Modelo 2, 7 Registros Escalamiento Espectral.

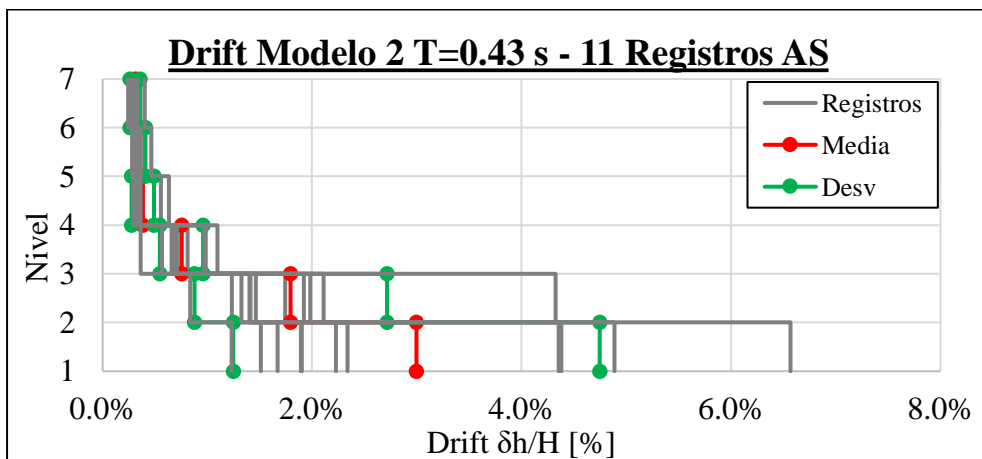


Figura A.2.66.- Drift de entrepiso Modelo 2, 11 Registros Escalamiento Espectral.

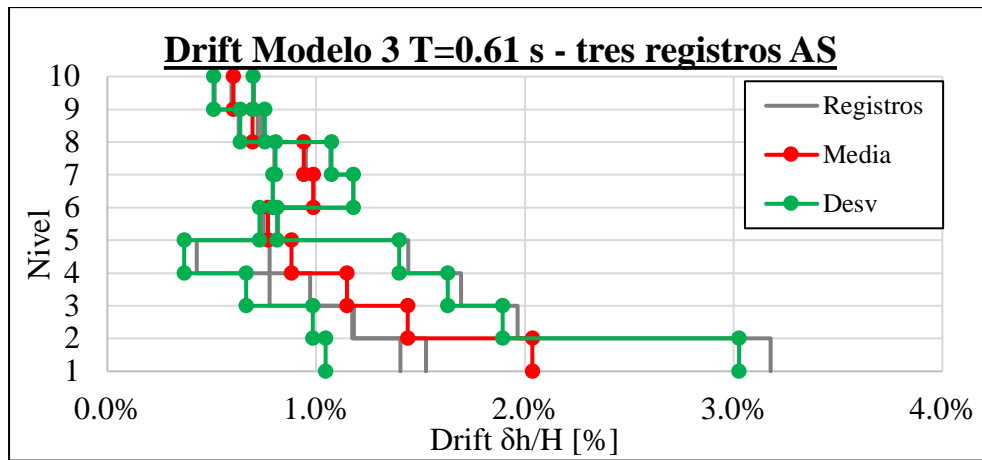


Figura A.2.67.- Drift de entresuelo Modelo 3, tres registros Escalamiento Espectral.

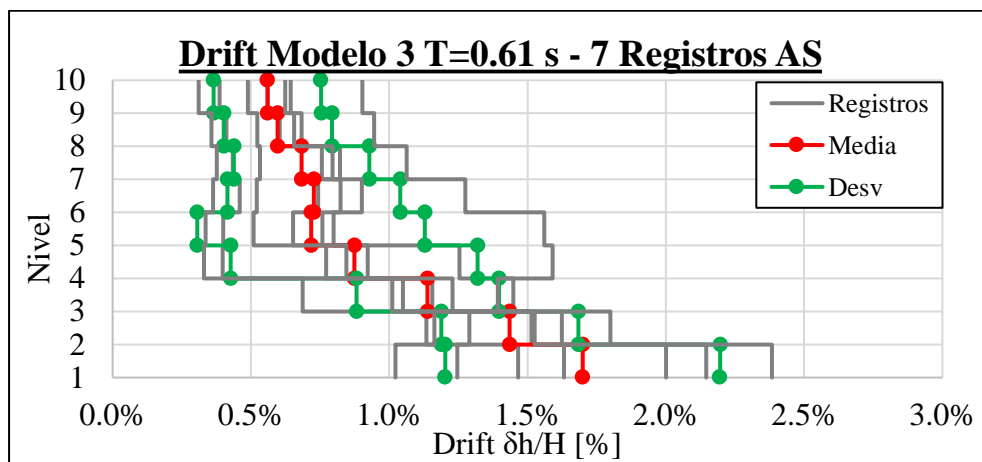


Figura A.2.68.- Drift de entresuelo Modelo 3, 7 Registros Escalamiento Espectral.

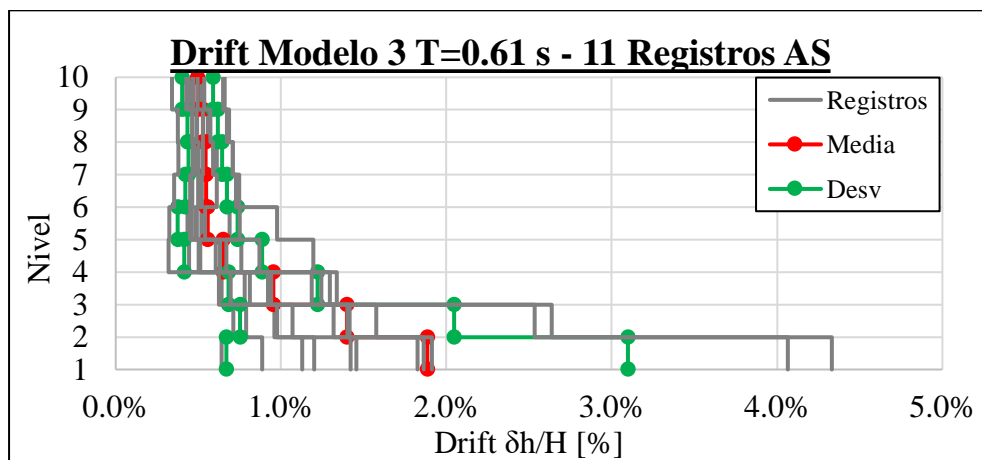


Figura A.2.69.- Drift de entresuelo Modelo 3, 11 Registros Escalamiento Espectral.

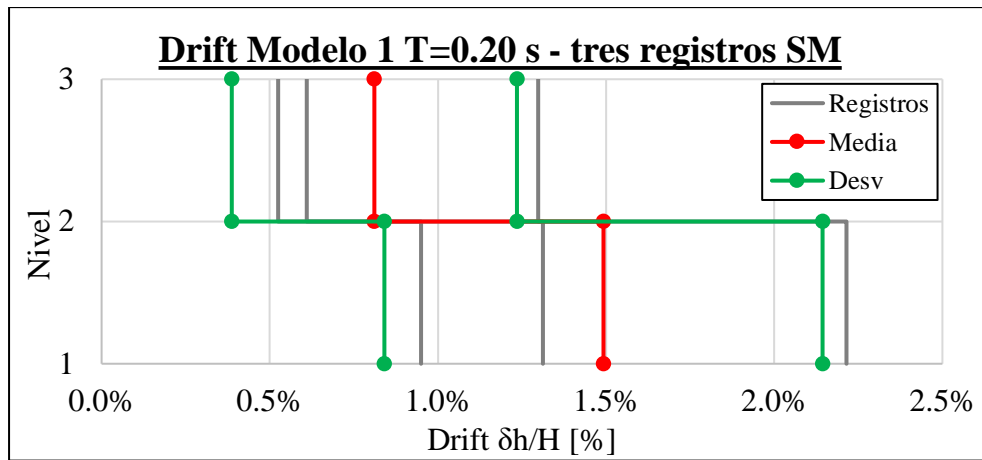


Figura A.2.70.- Drift de entropiso Modelo 1, tres registros Ajuste Espectral.

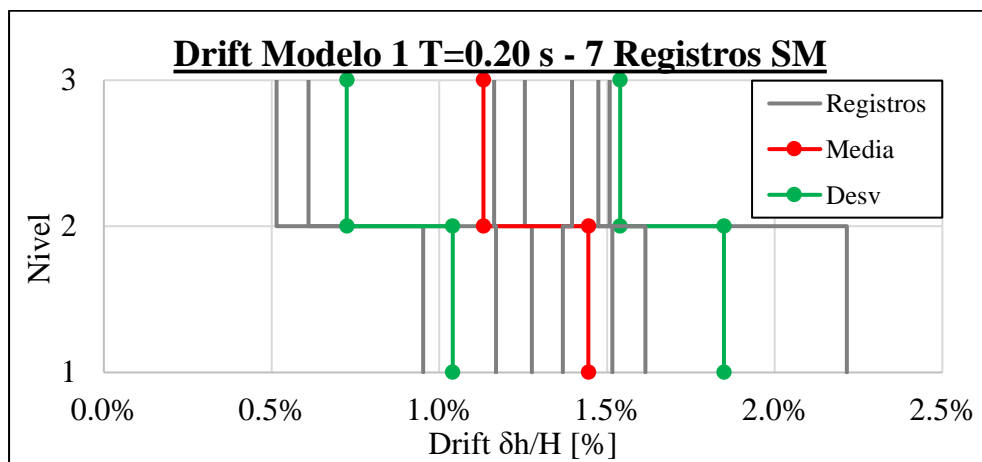


Figura A.2.71.- Drift de entropiso Modelo 1, 7 Registros Ajuste Espectral.

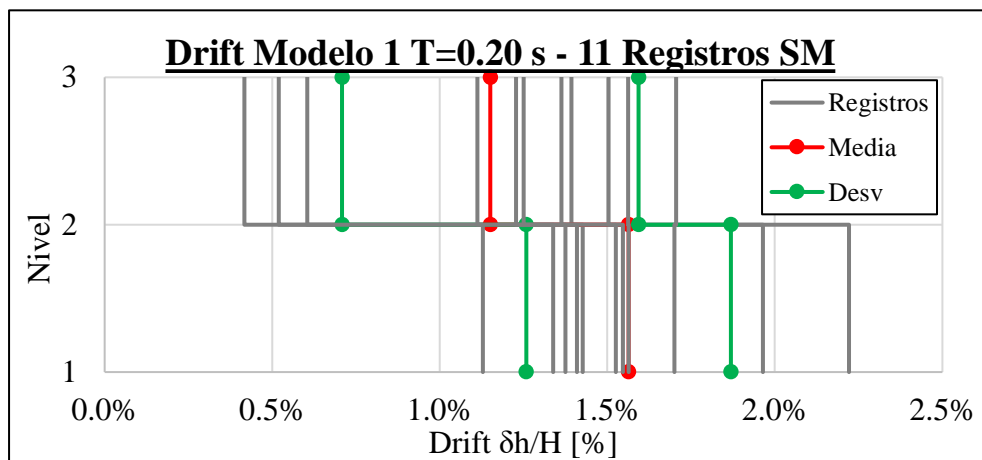


Figura A.2.72.- Drift de entropiso Modelo 1, 11 Registros Ajuste Espectral.

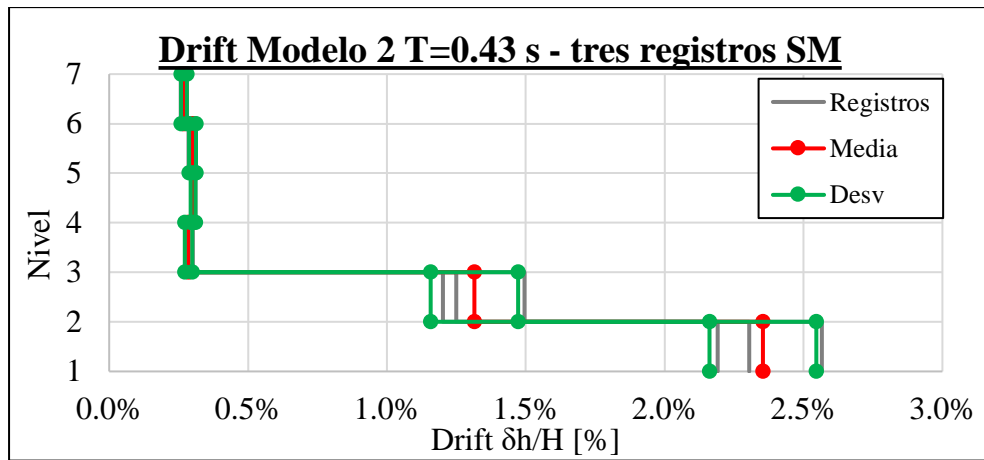


Figura A.2.73.- Drift de entepiso Modelo 2, tres registros Ajuste Espectral.

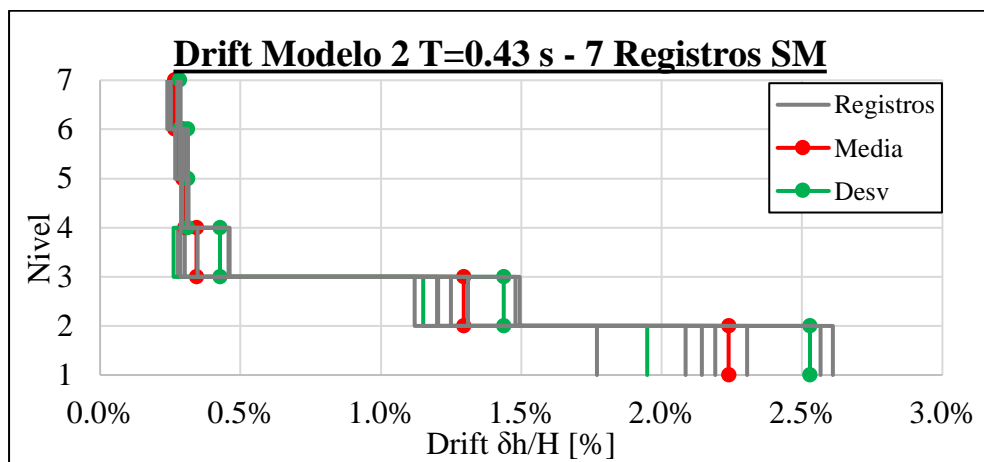


Figura A.2.74.- Drift de entepiso Modelo 1, 7 Registros Ajuste Espectral.

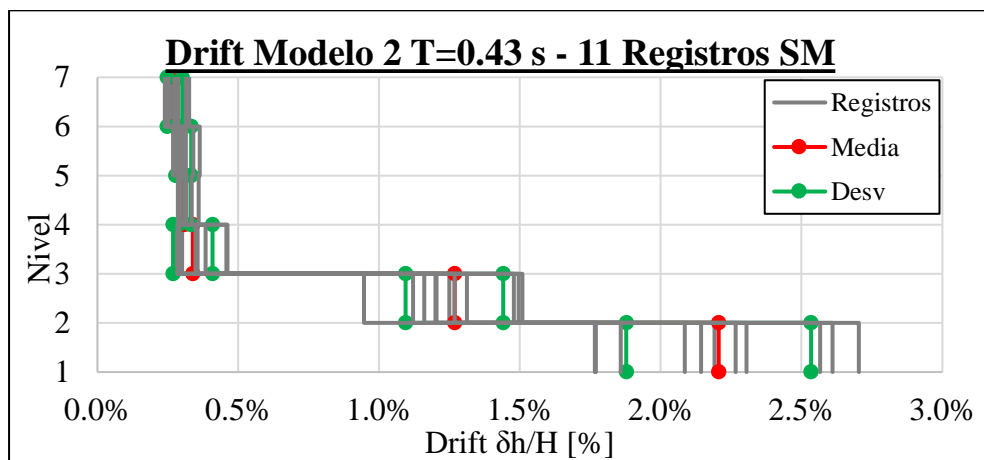


Figura A.2.75.- Drift de entepiso Modelo 1, 11 Registros Ajuste Espectral.

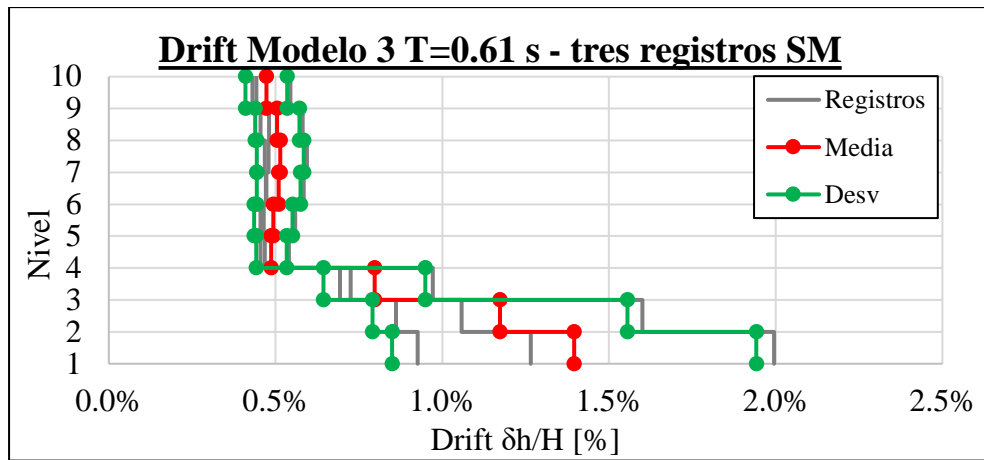


Figura A.2.76.- Drift de entropiso Modelo 3, tres registros Ajuste Espectral.

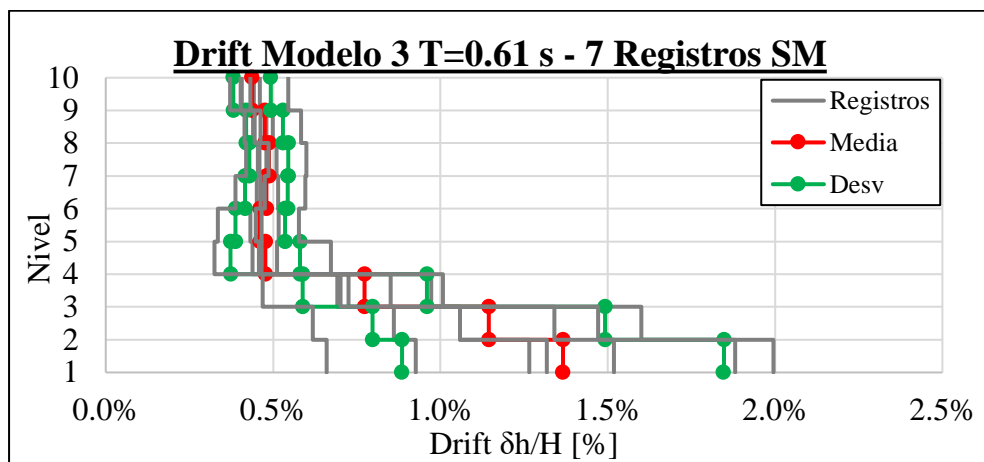


Figura A.2.77.- Drift de entropiso Modelo 3, 7 Registros Ajuste Espectral.

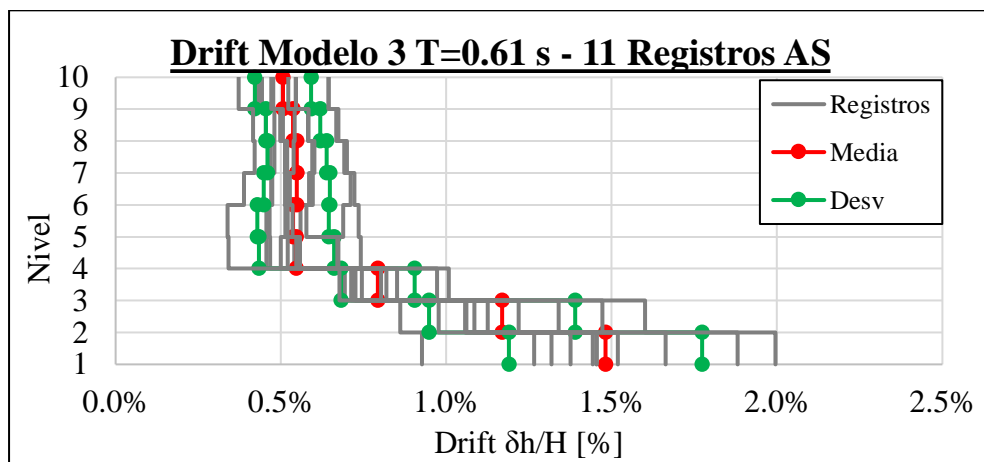
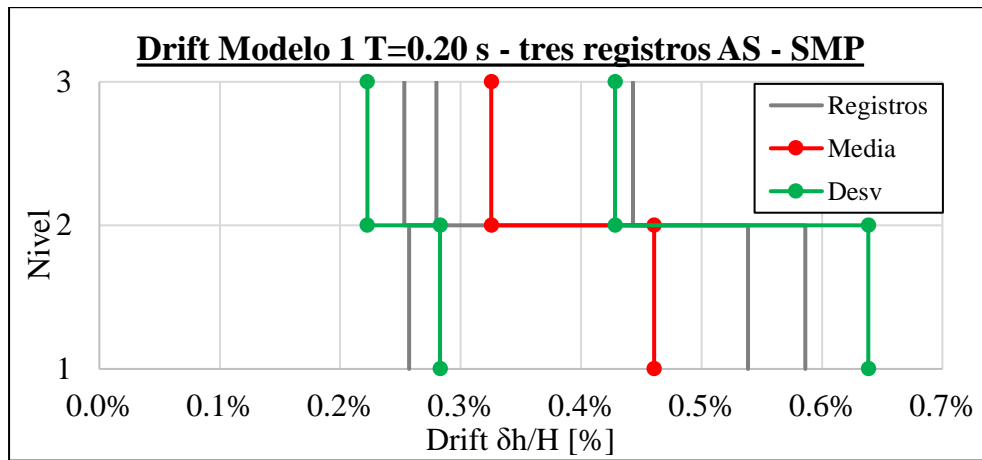
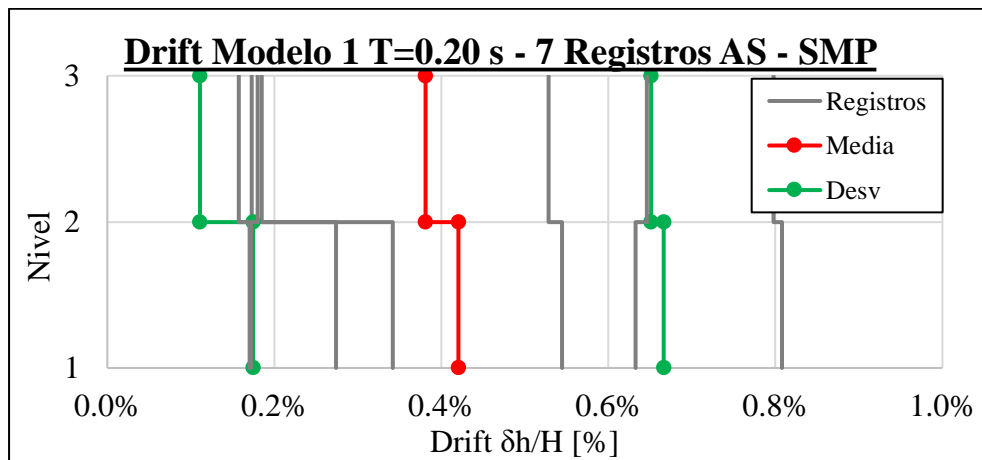


Figura A.2.78.- Drift de entropiso Modelo 3, 11 Registros Ajuste Espectral.

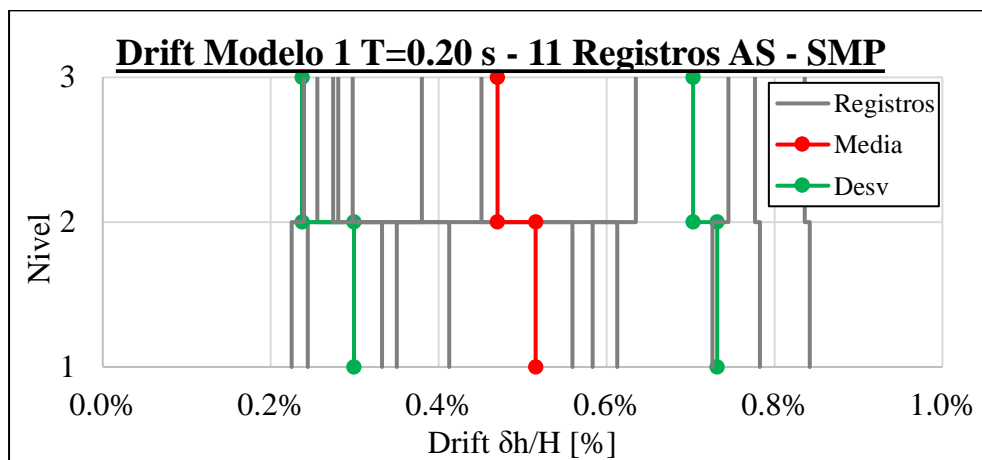
**ANEXO 2.8 RESULTADOS *Drift* DE ENTREPISO ESPECTRO MEDIO  
CONDICIONADO (CMS) PARA 3,7 Y 11 REGISTROS, 975 AÑOS**



**Figura A.2.79.- Drift de entrepiso Modelo 1, tres registros Escalamiento Espectral.**



**Figura A.2.80.- Drift de entrepiso Modelo 1, 7 Registros Escalamiento Espectral.**



**Figura A.2.81.- Drift de entrepiso Modelo 1, 11 Registros Escalamiento Espectral.**

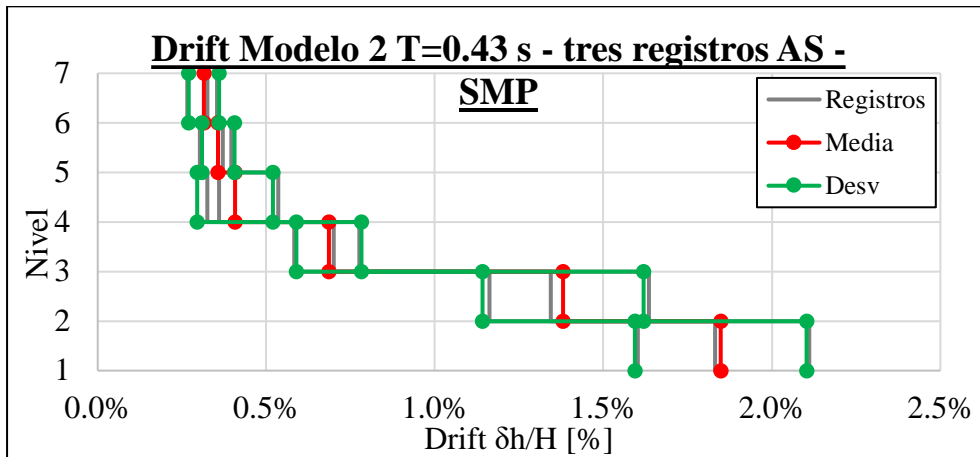


Figura A.2.82.- Drift de entrepiso Modelo 2, tres registros Escalamiento Espectral.

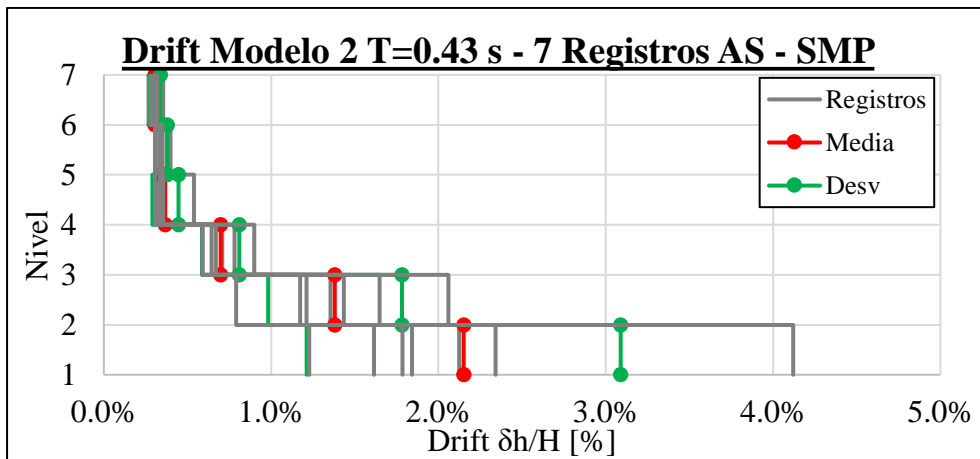


Figura A.2.83.- Drift de entrepiso Modelo 2, 7 Registros Escalamiento Espectral.

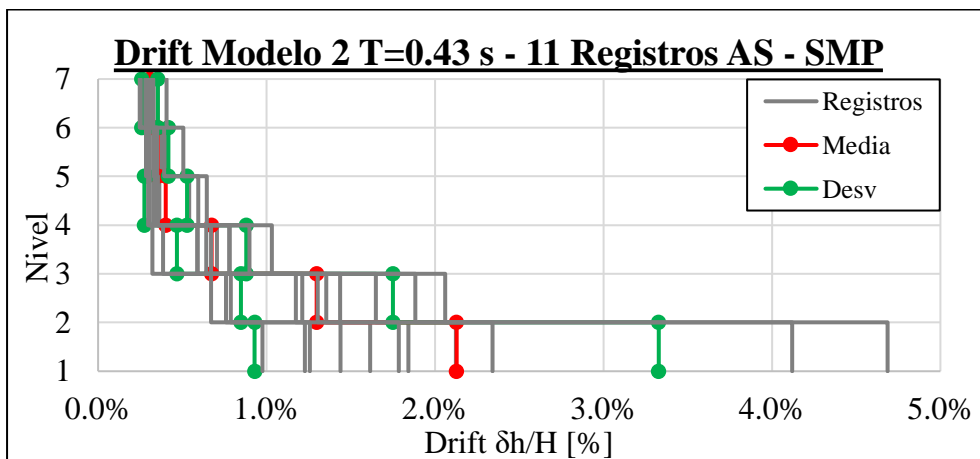


Figura A.2.84.- Drift de entrepiso Modelo 2, 11 Registros Escalamiento Espectral.

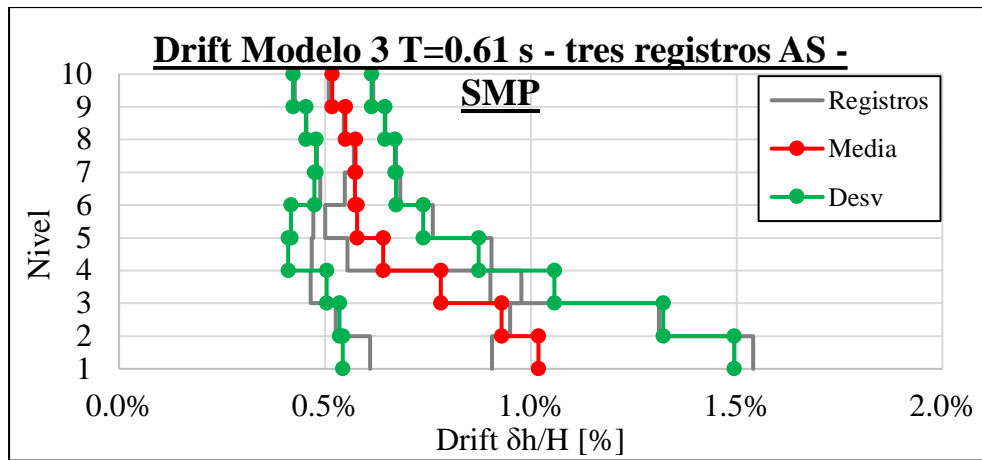


Figura A.2.85.- Drift de entresuelo Modelo 3, tres registros Escalamiento Espectral.

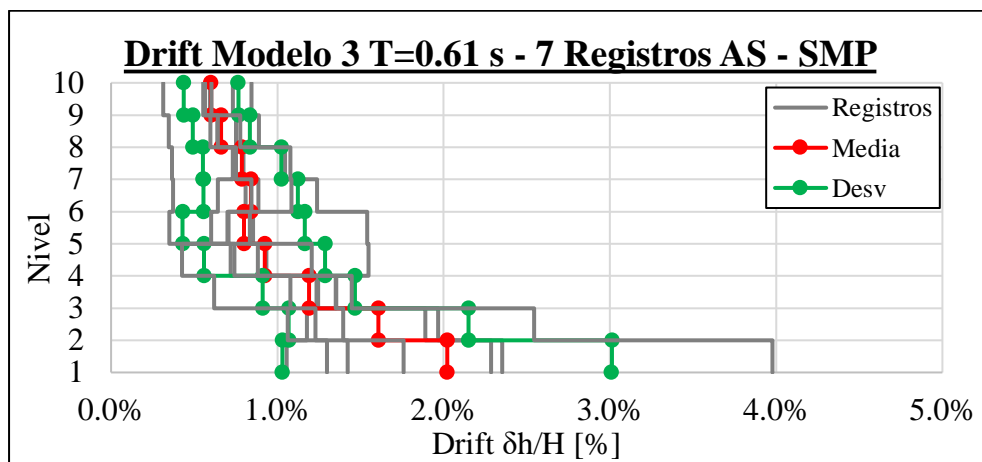


Figura A.2.86.- Drift de entresuelo Modelo 3, 7 Registros Escalamiento Espectral.

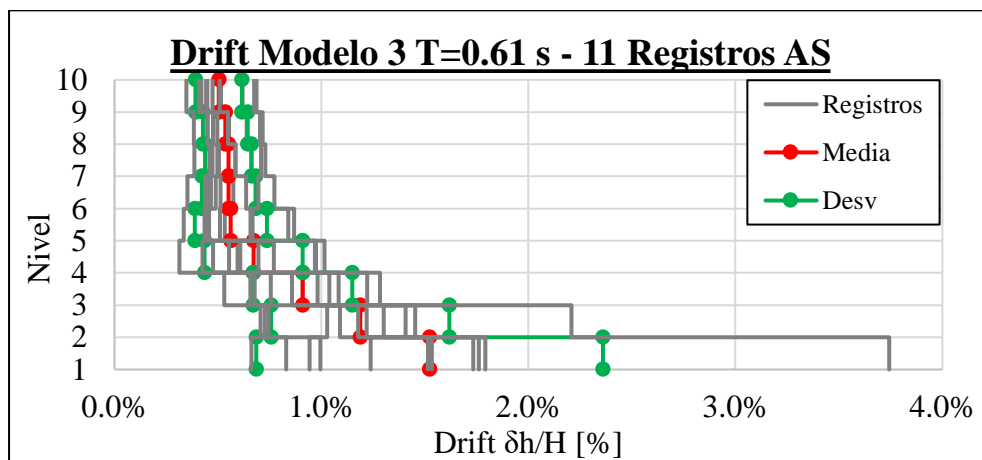


Figura A.2.87.- Drift de entresuelo Modelo 3, 11 Registros Escalamiento Espectral.

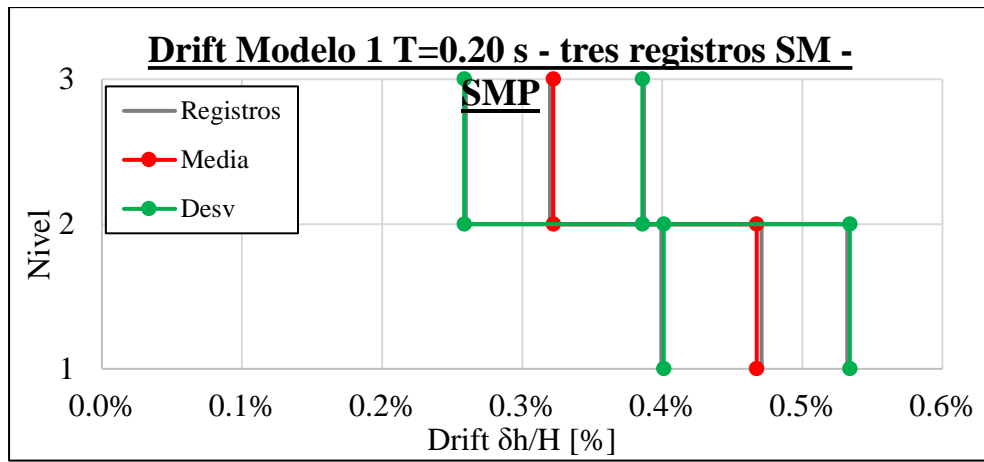


Figura A.2.88.- Drift de entrepiso Modelo 1, tres registros Ajuste Espectral.

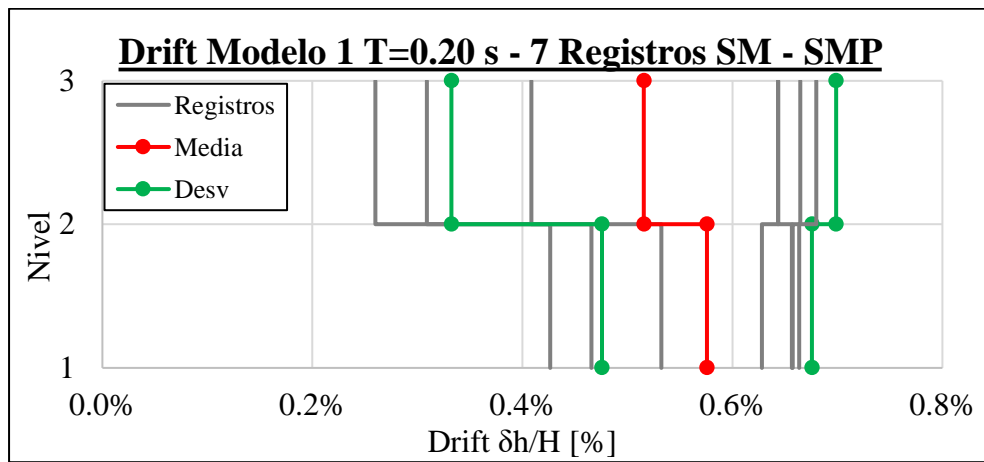


Figura A.2.89.- Drift de entrepiso Modelo 1, 7 Registros Ajuste Espectral.

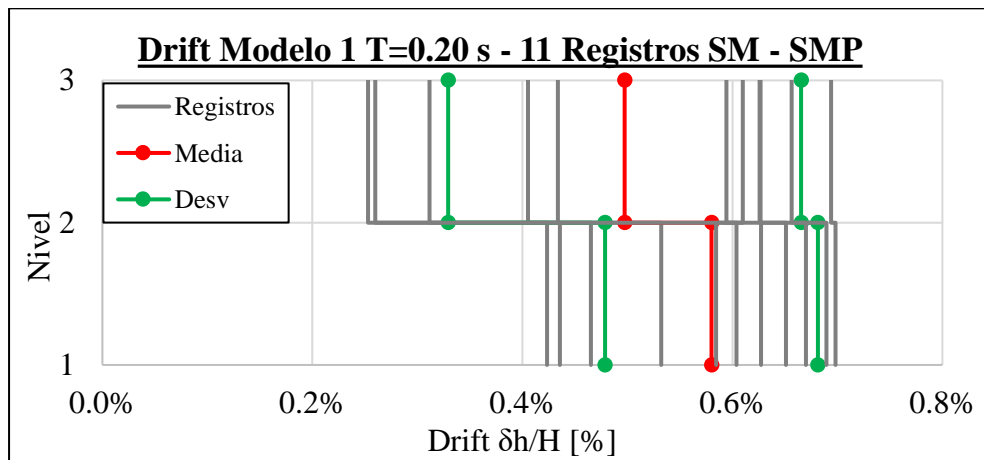


Figura A.2.90.- Drift de entrepiso Modelo 1, 11 Registros Ajuste Espectral.

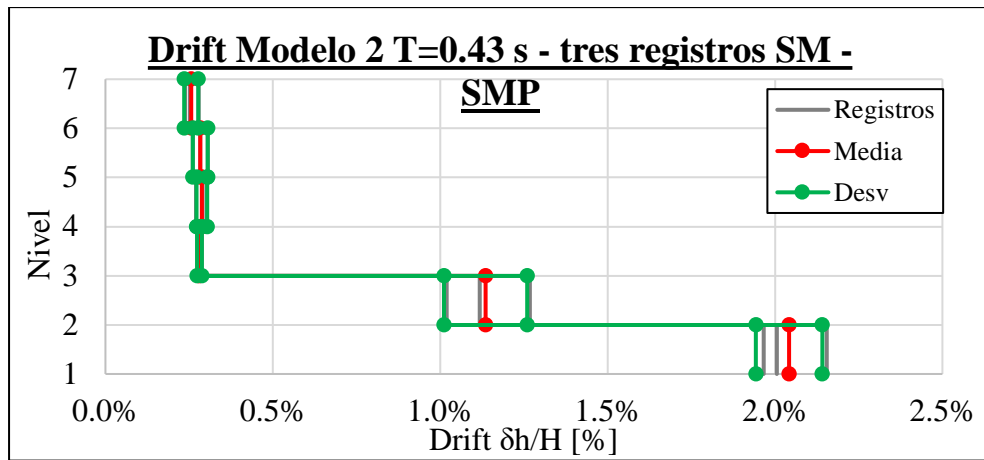


Figura A.2.91.- Drift de entepiso Modelo 2, tres registros Ajuste Espectral.

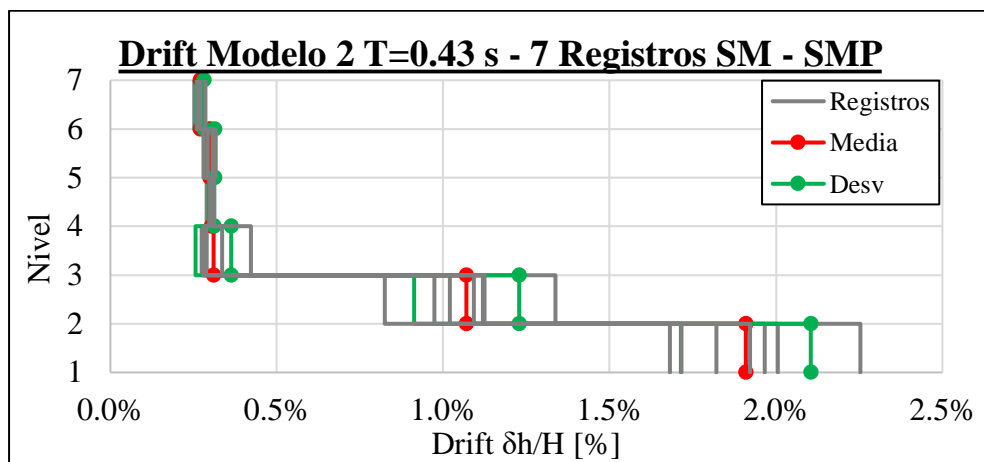


Figura A.2.92.- Drift de entepiso Modelo 2, 7 Registros Ajuste Espectral.

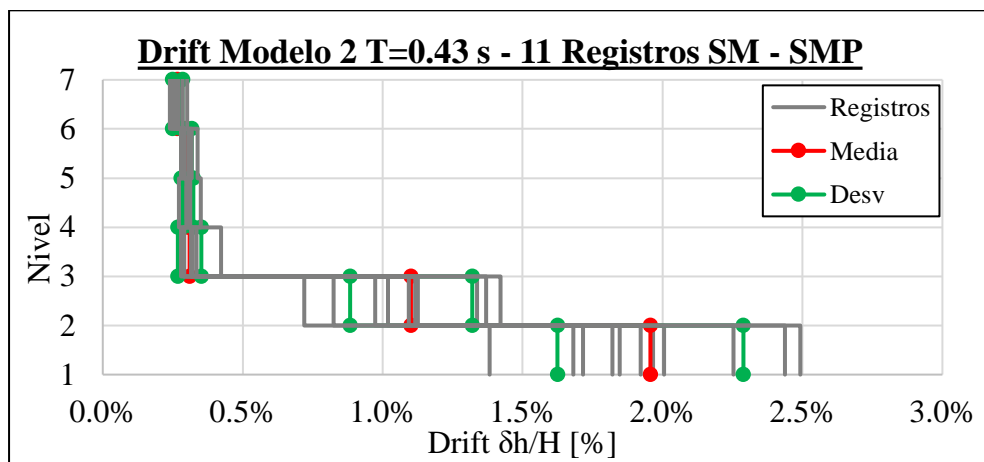


Figura A.2.93.- Drift de entepiso Modelo 2, 11 Registros Ajuste Espectral.

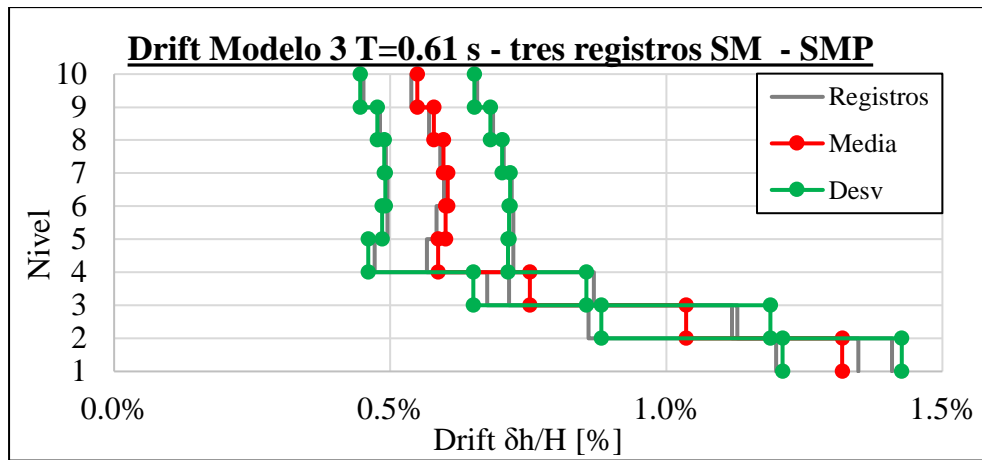


Figura A.2.94.- Drift de entipiso Modelo 3, tres registros Ajuste Espectral.

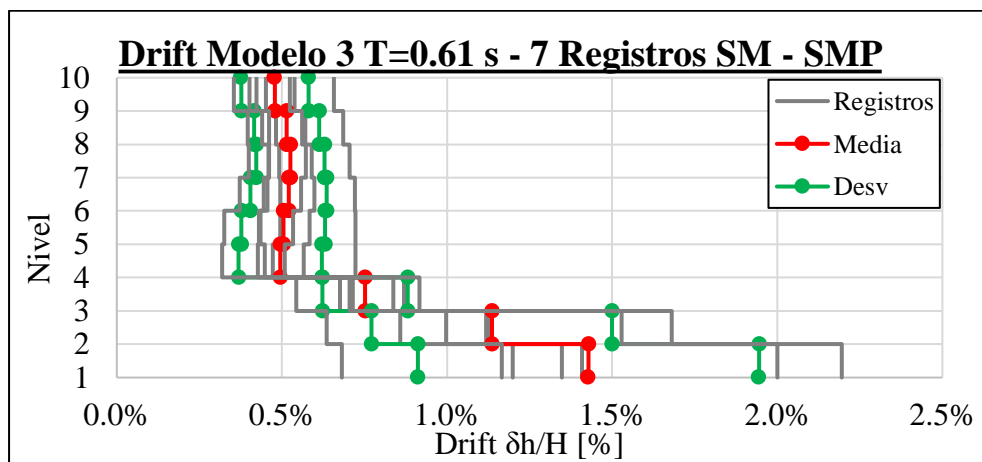


Figura A.2.95.- Drift de entipiso Modelo 3, 7 Registros Ajuste Espectral.

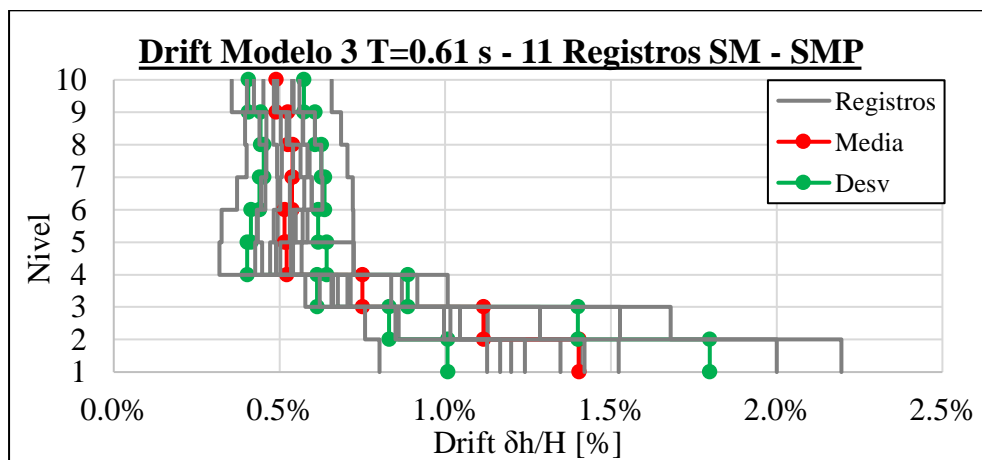
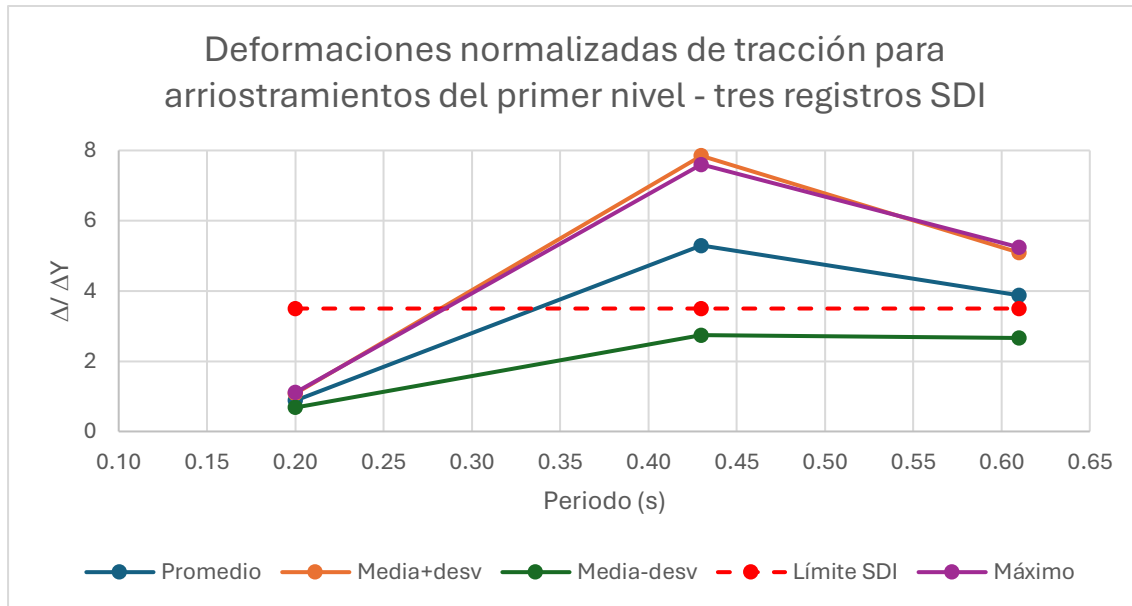
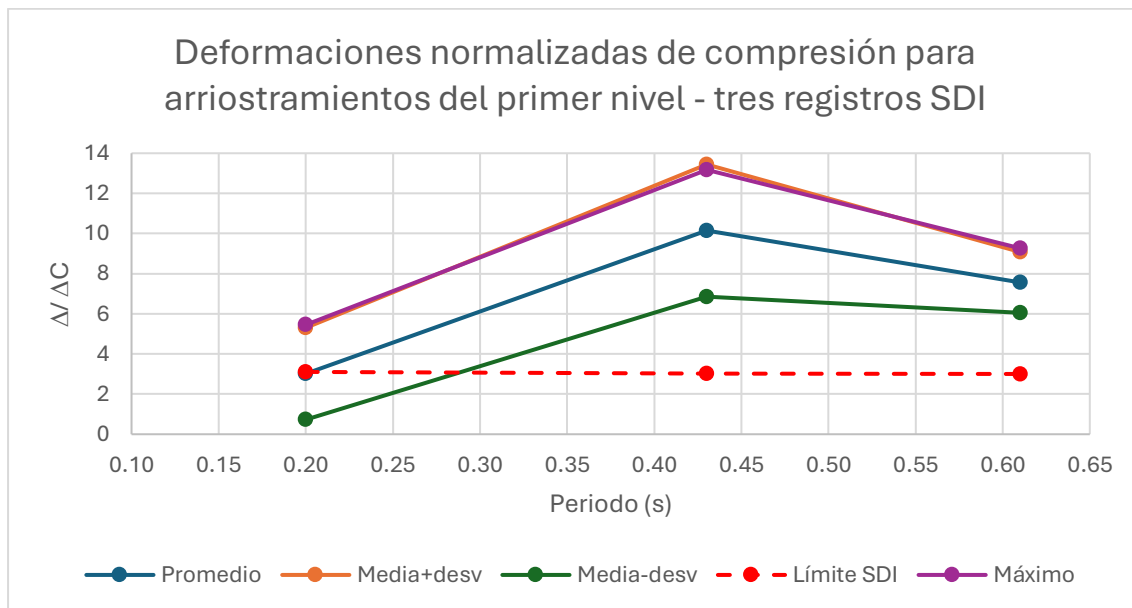


Figura A.2.96.- Drift de entipiso Modelo 3, 11 Registros Ajuste Espectral.

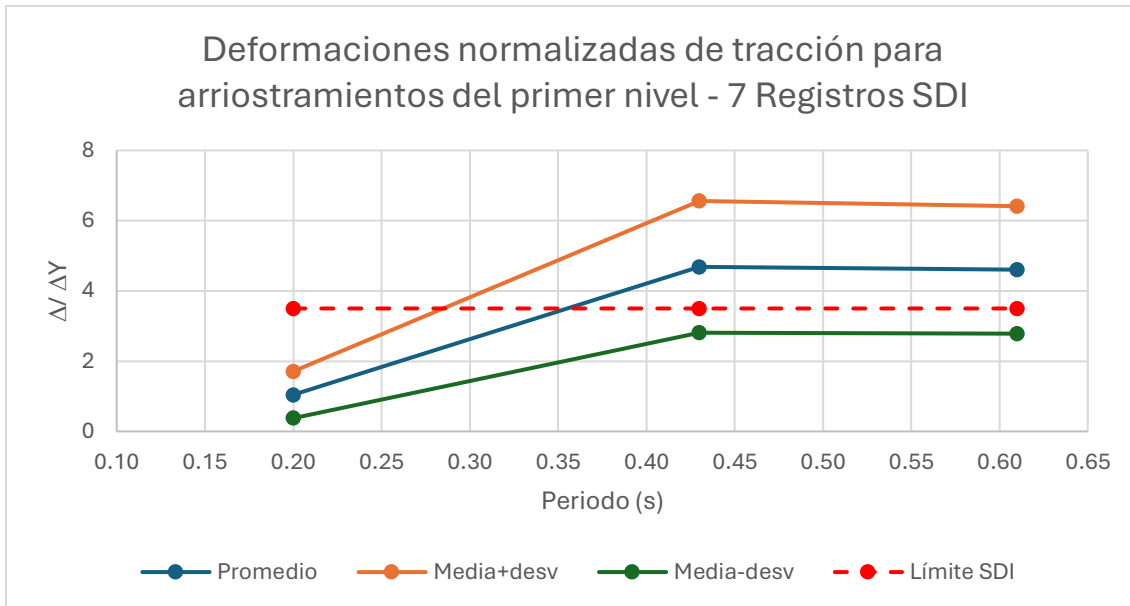
**ANEXO 3.1 RESULTADOS DEFORMACIÓN NORMALIZADA DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN PARA ARRIOSTRAMIENTOS DEL PRIMER NIVEL ESPECTRO NCh2369:2023, 475 AÑOS**



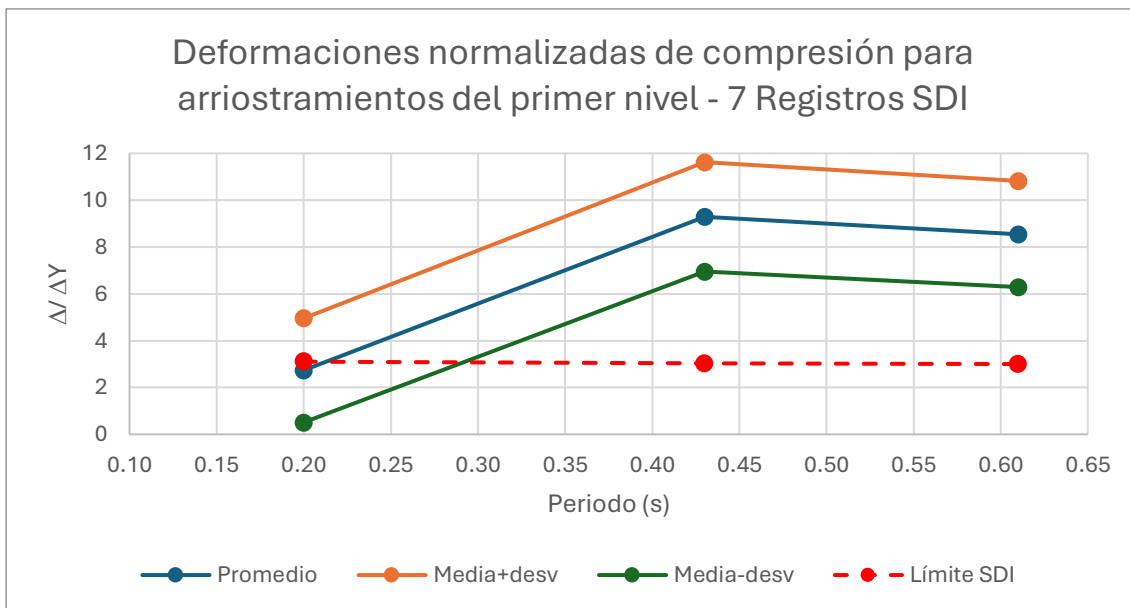
**Figura A.3.1.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Escalamiento Espectral.**



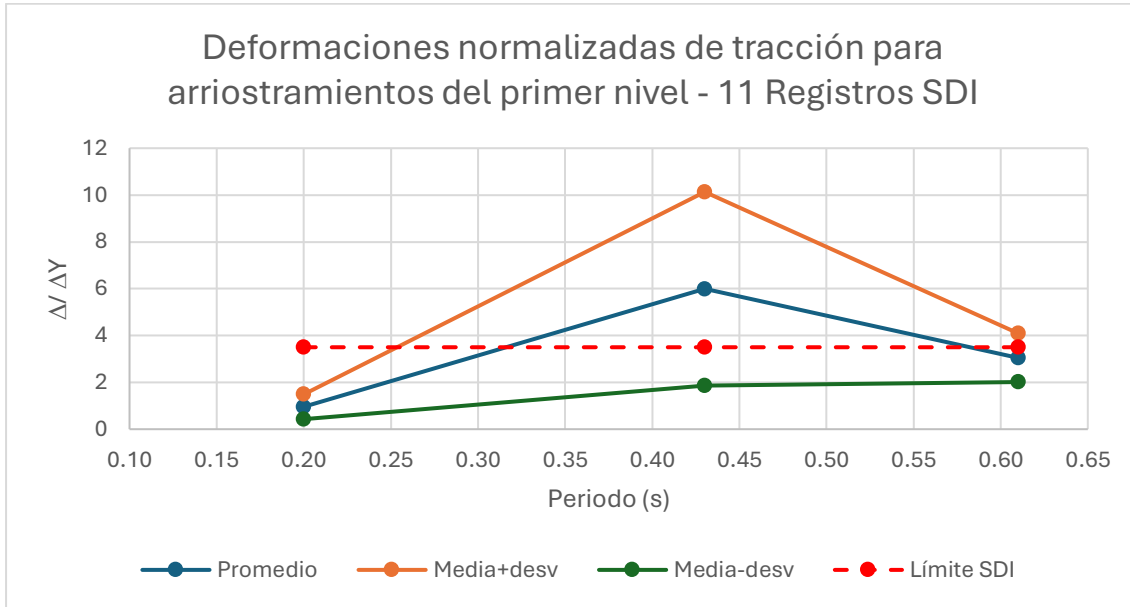
**Figura A.3.2.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Escalamiento Espectral.**



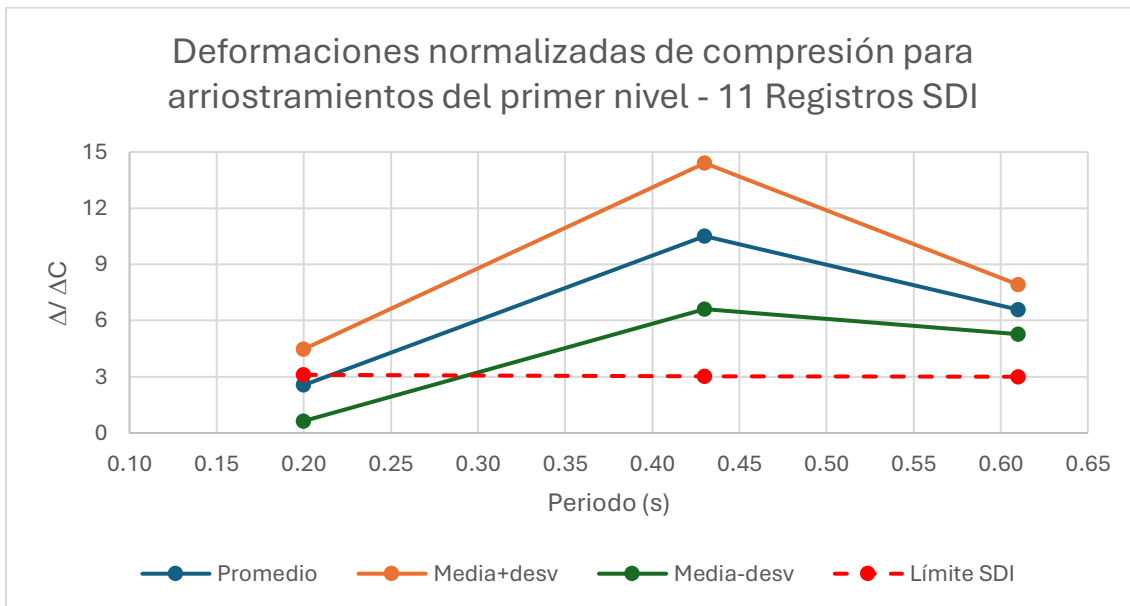
**Figura A.3.3.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Escalamiento Espectral.**



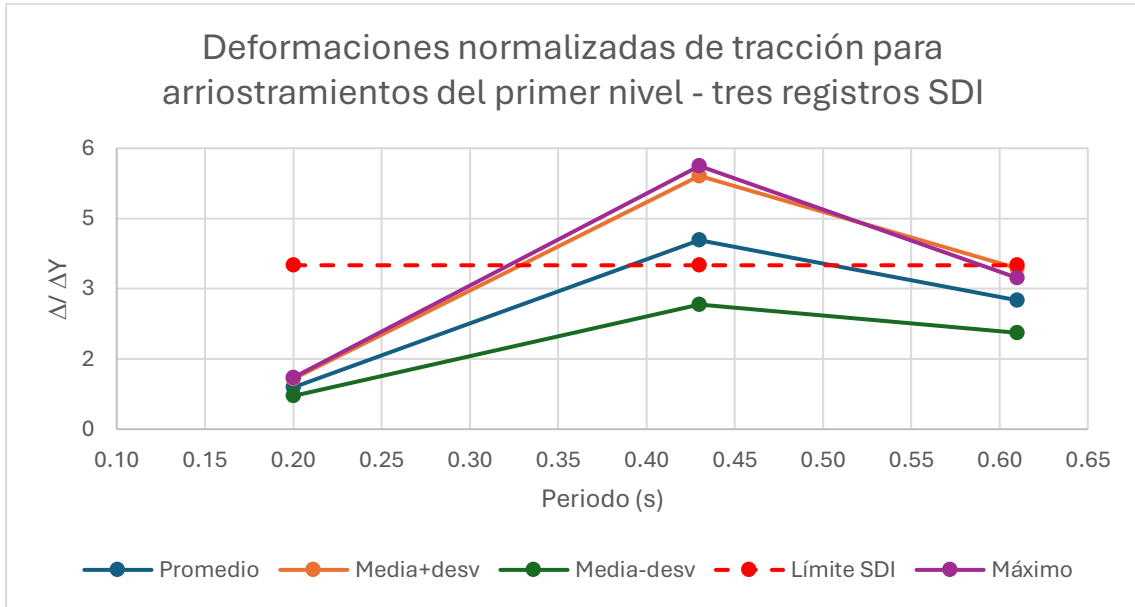
**Figura A.3.4.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Escalamiento Espectral.**



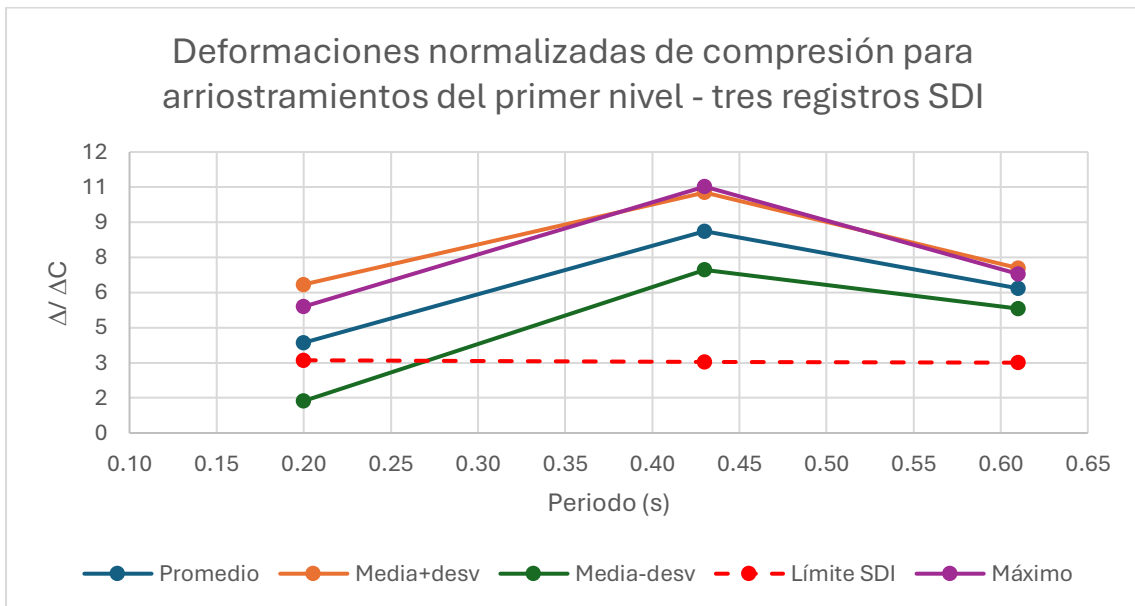
**Figura A.3.5.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Escalamiento Espectral.**



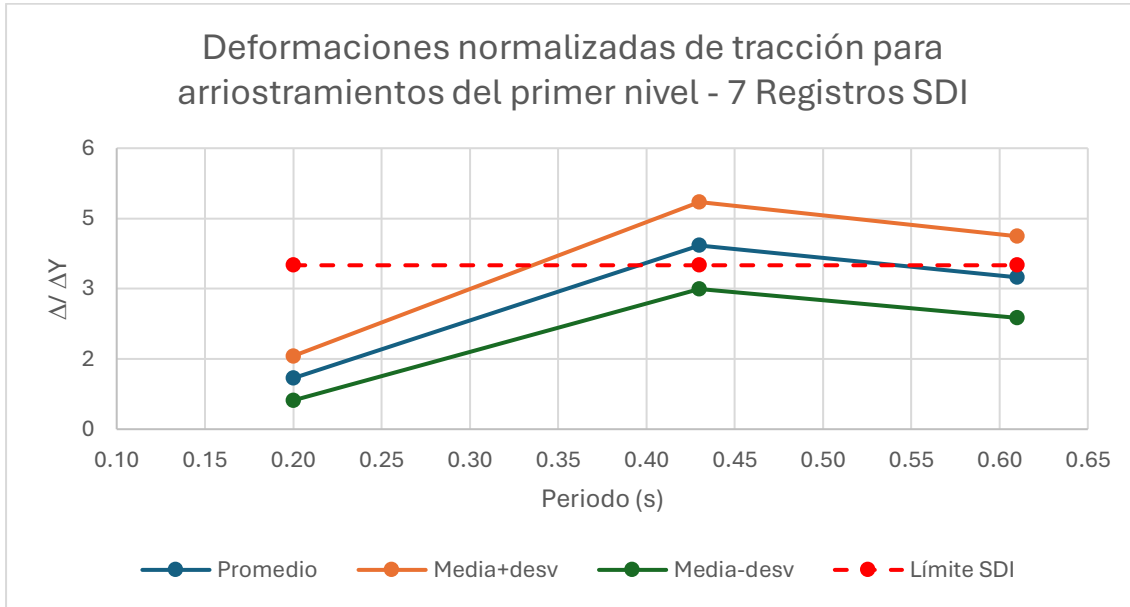
**Figura A.3.6.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Escalamiento Espectral.**



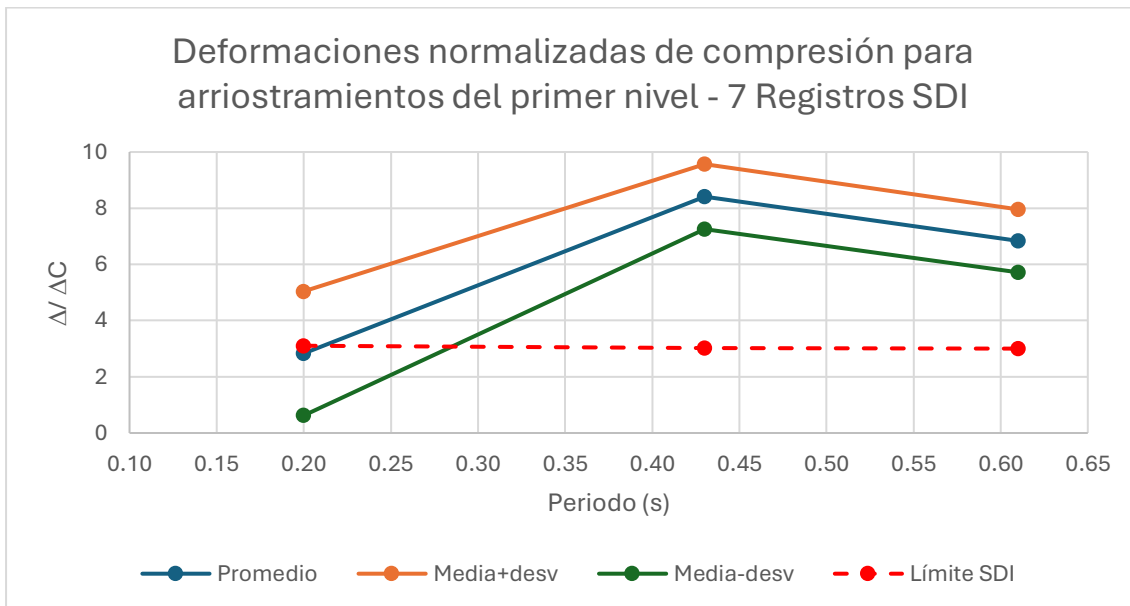
**Figura A.3.7.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Ajuste Espectral.**



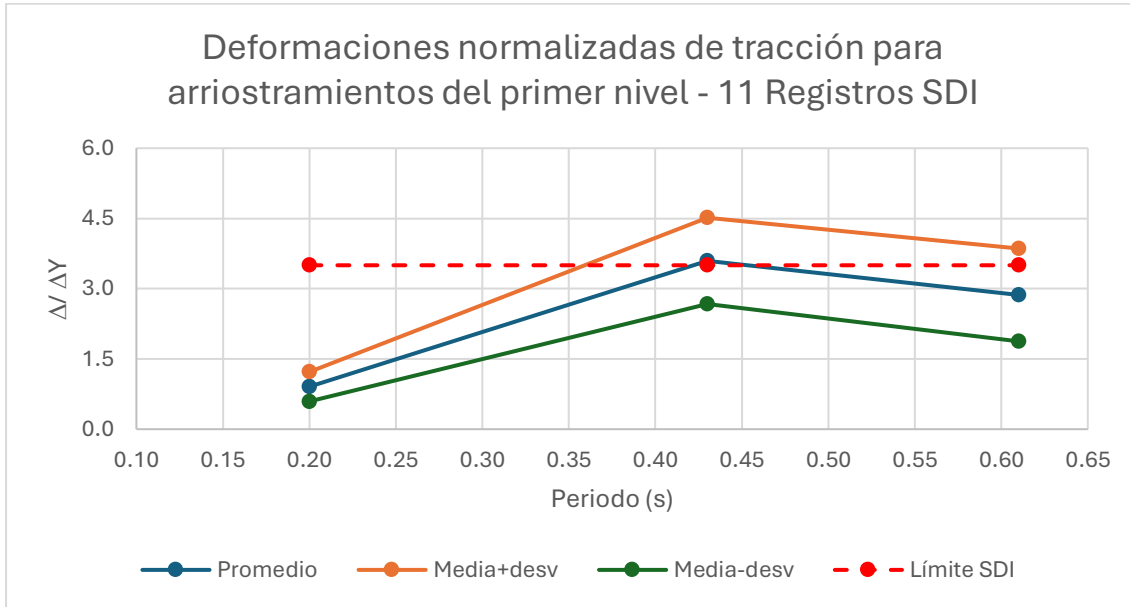
**Figura A.3.8.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Ajuste Espectral.**



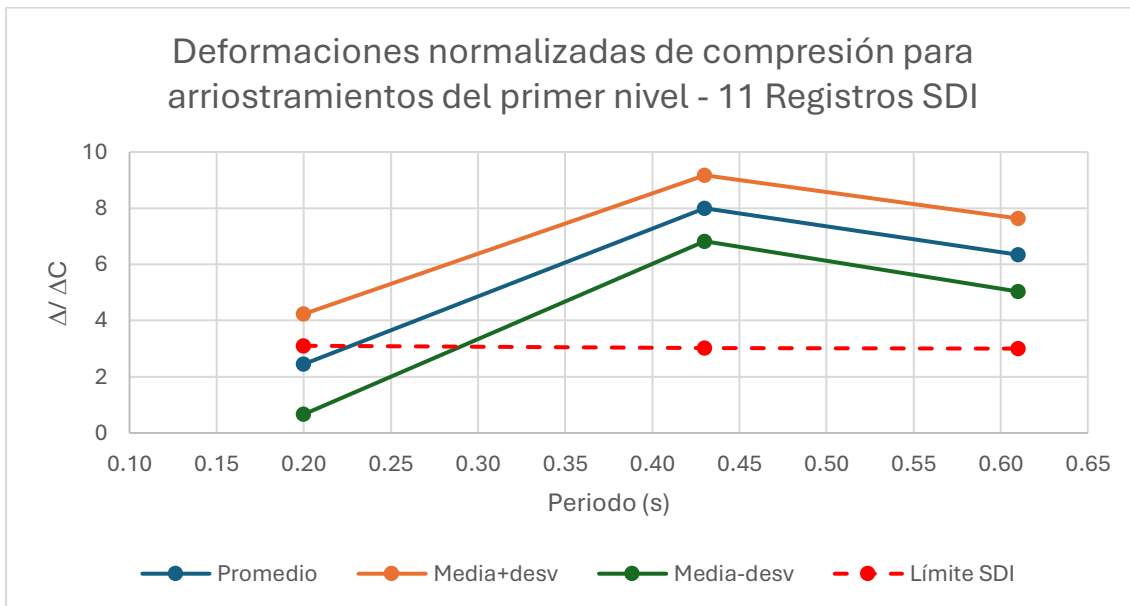
**Figura A.3.9.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Ajuste Espectral.**



**Figura A.3.10.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Ajuste Espectral.**

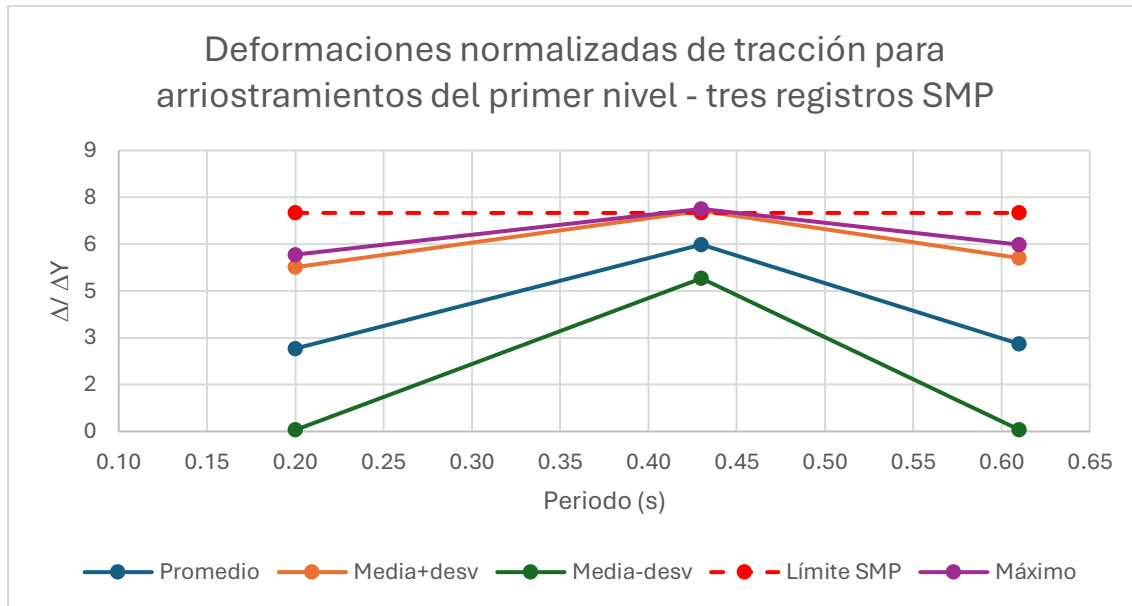


**Figura A.3.11.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Ajuste Espectral.**

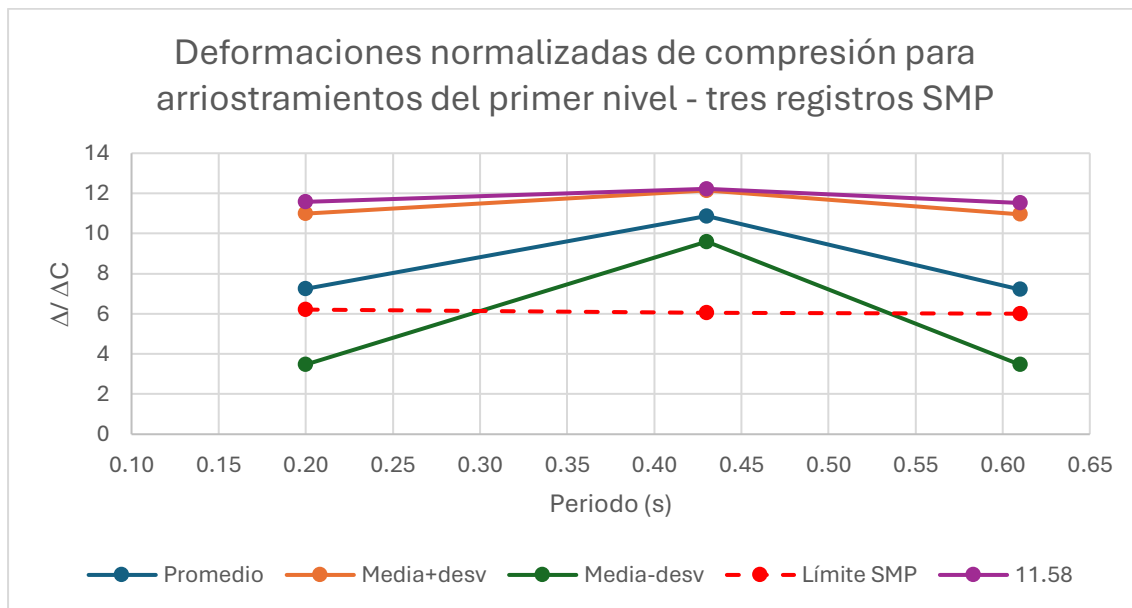


**Figura A.3.12.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Ajuste Espectral.**

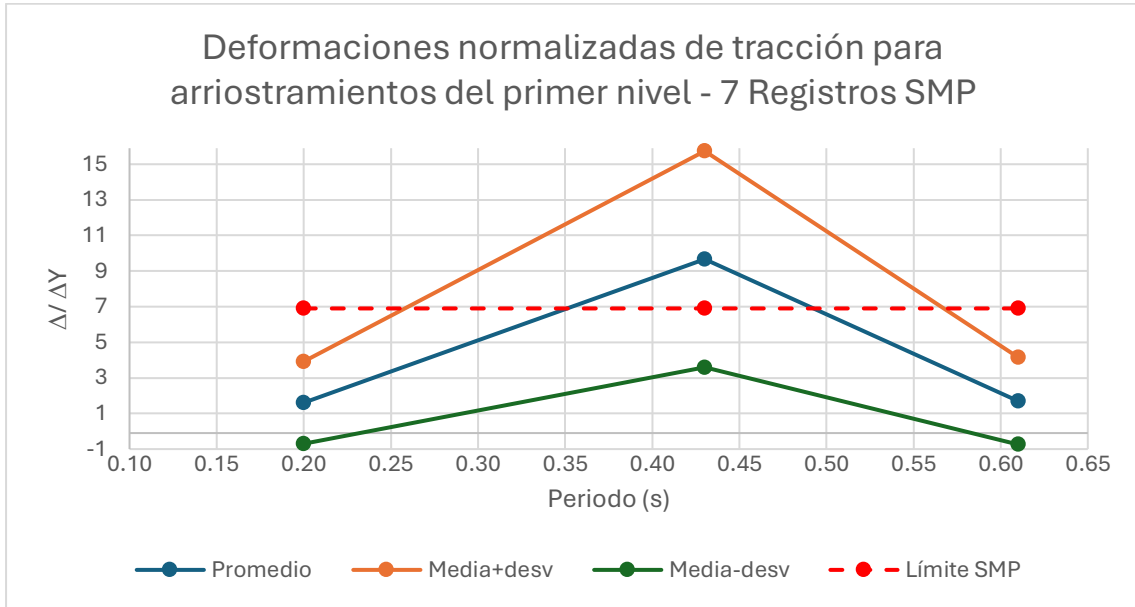
**ANEXO 3.2 RESULTADOS DEFORMACIÓN NORMALIZADA DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN PARA ARRIOSTRAMIENTOS DEL PRIMER NIVEL ESPECTRO NCh2369:2023, 975 AÑOS**



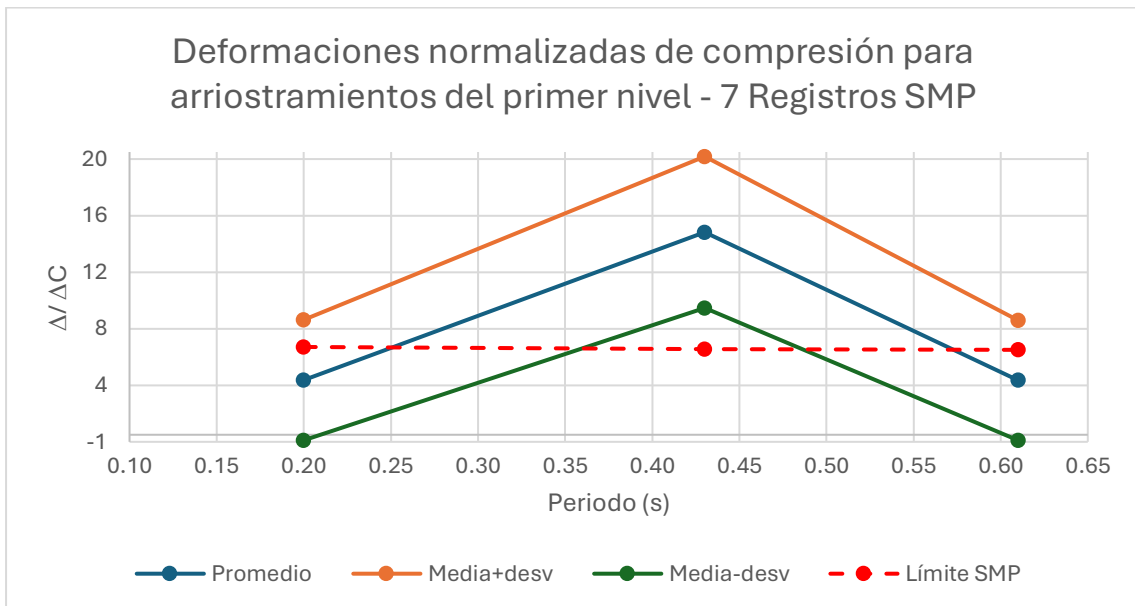
**Figura A.3.13.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Escalamiento Espectral.**



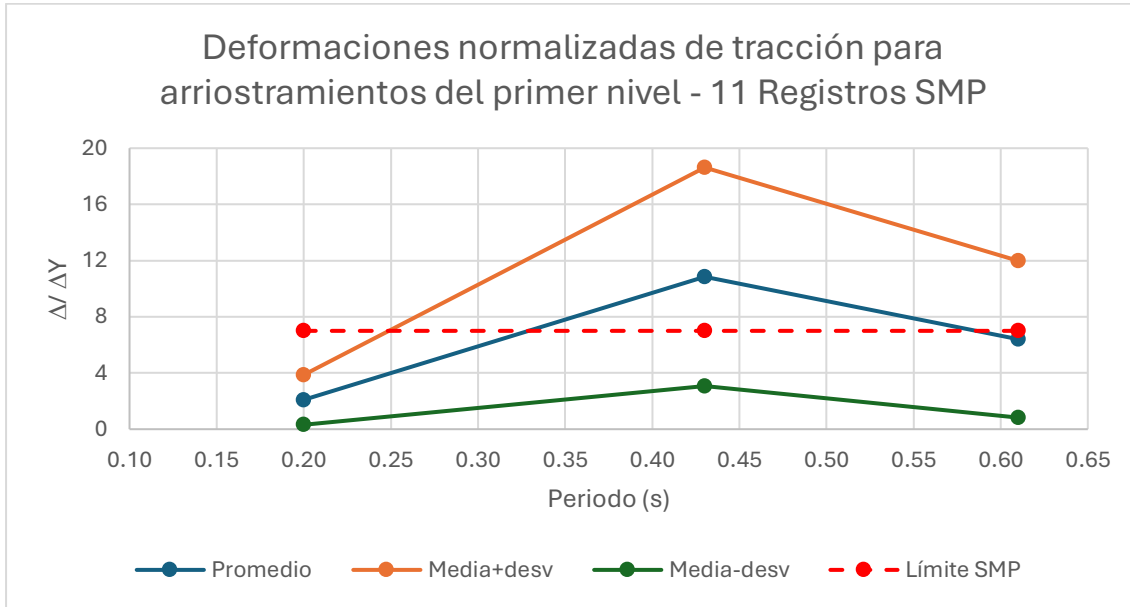
**Figura A.3.14.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Escalamiento Espectral.**



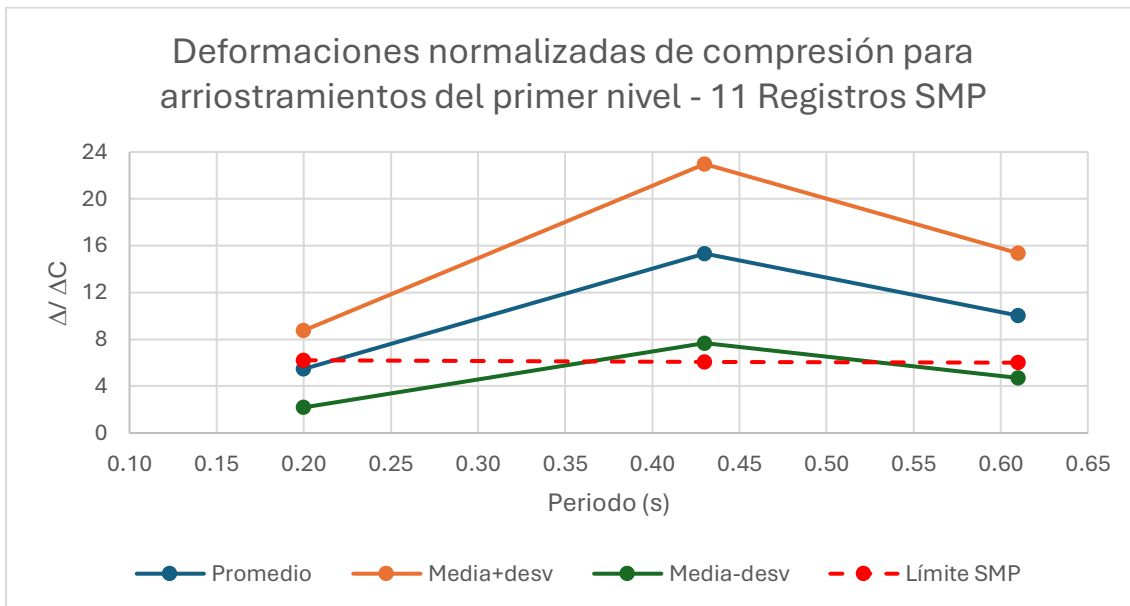
**Figura A.3.15.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Escalamiento Espectral.**



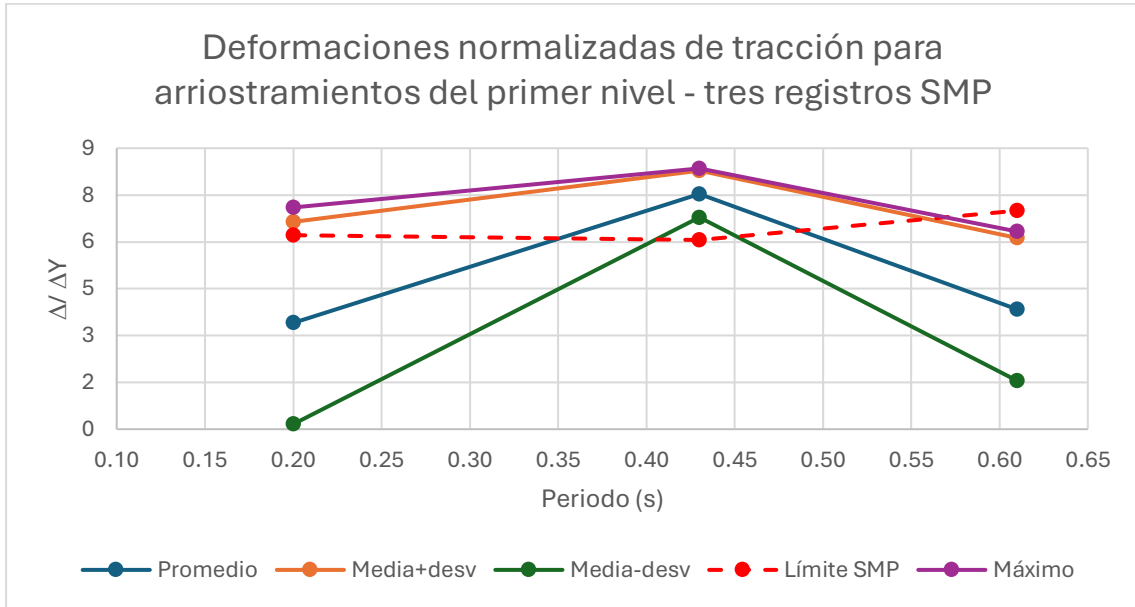
**Figura A.3.16.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Escalamiento Espectral.**



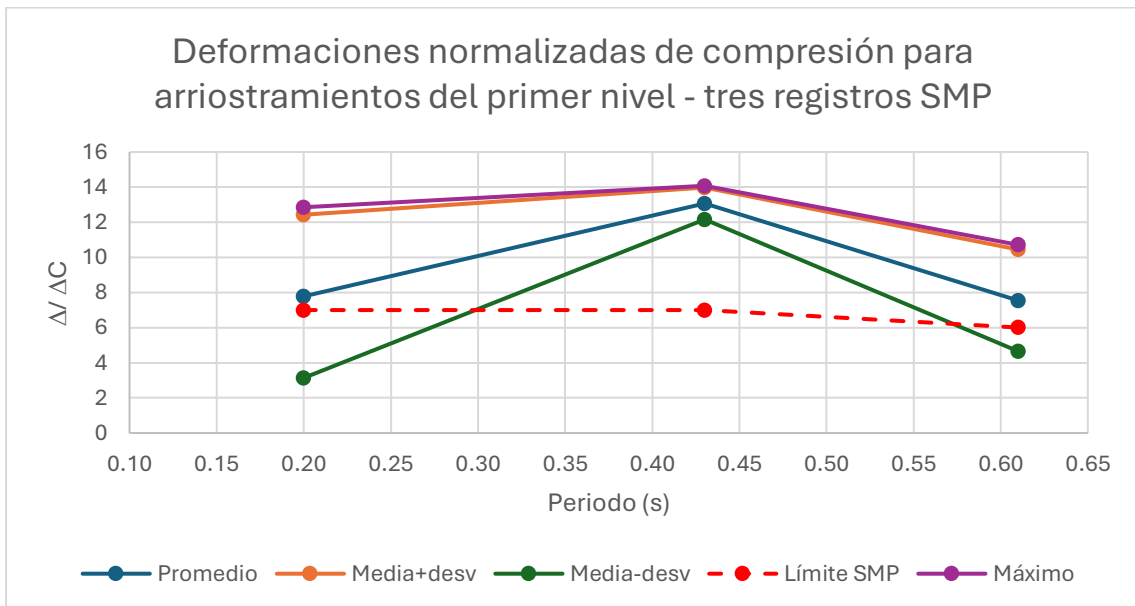
**Figura A.3.17.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Escalamiento Espectral.**



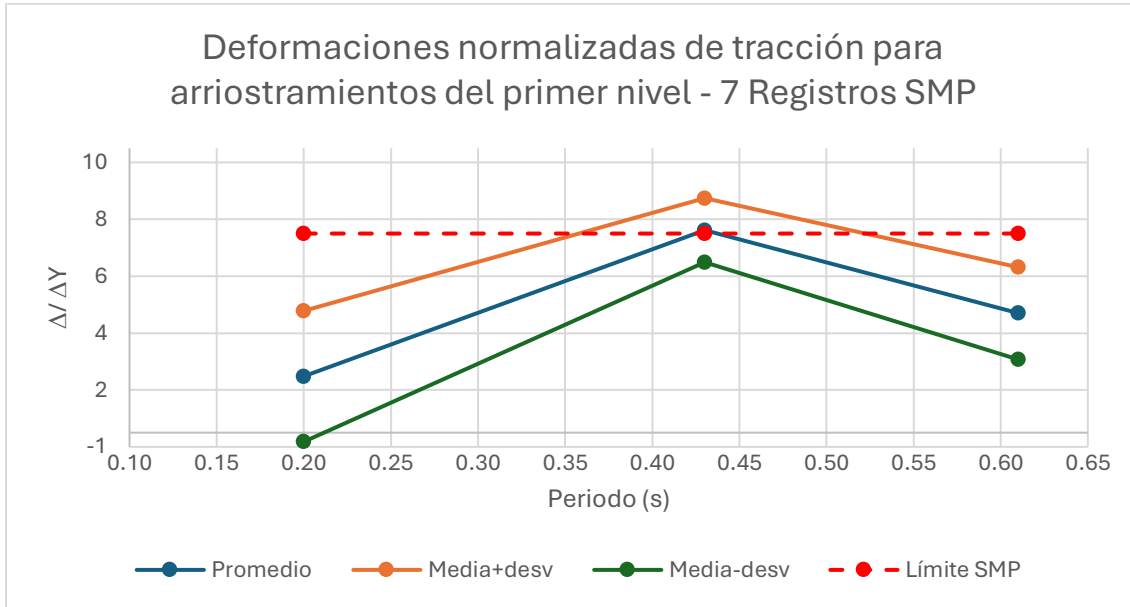
**Figura A.3.18.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Escalamiento Espectral.**



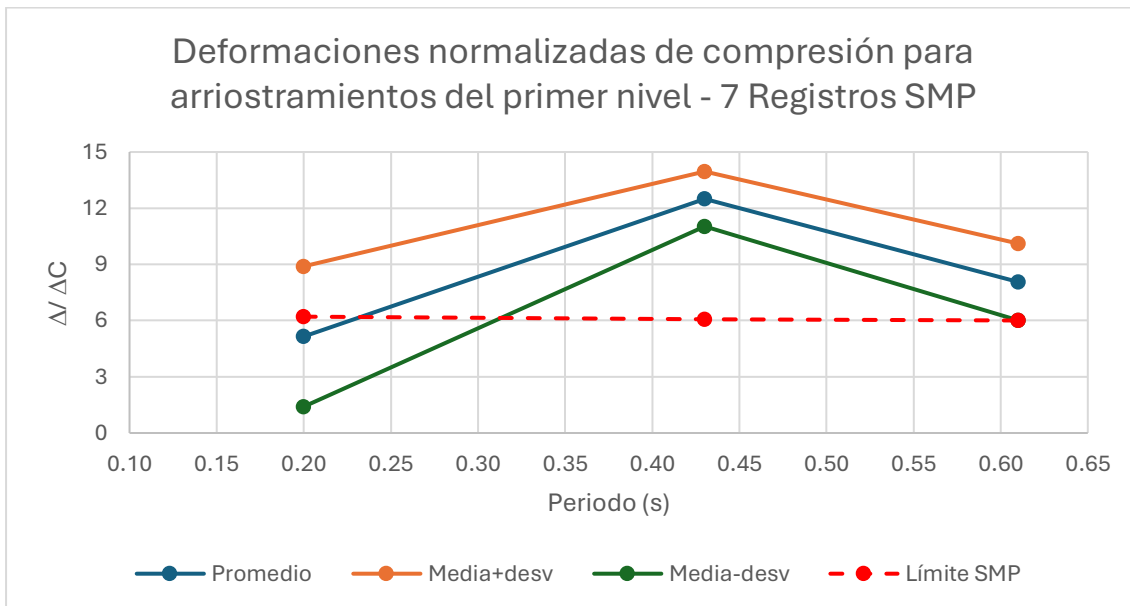
**Figura A.3.19.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Ajuste Espectral.**



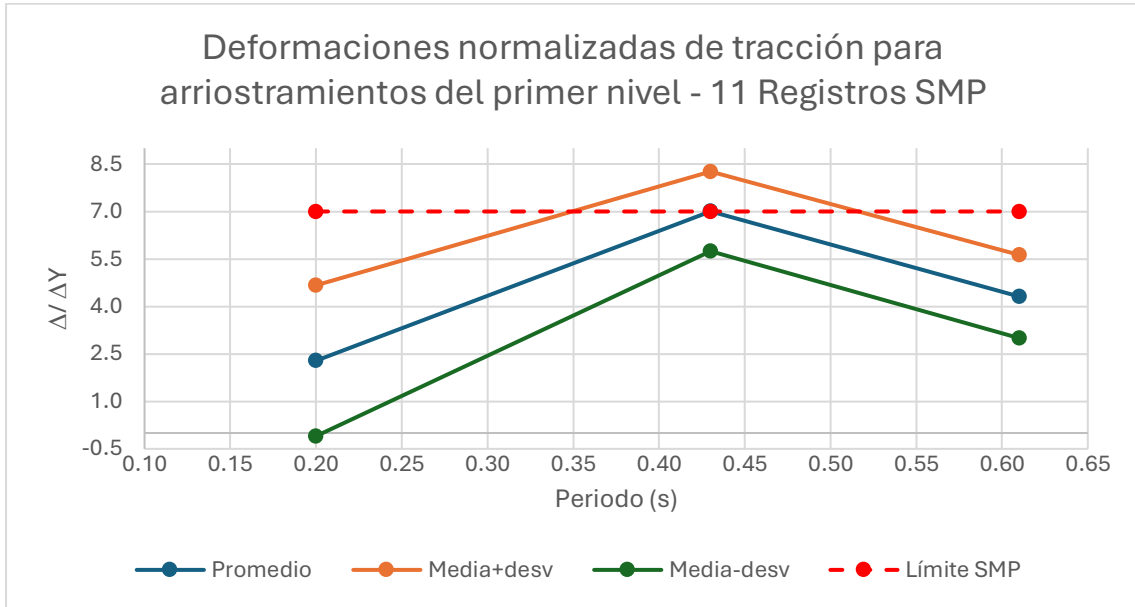
**Figura A.3.20.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Ajuste Espectral.**



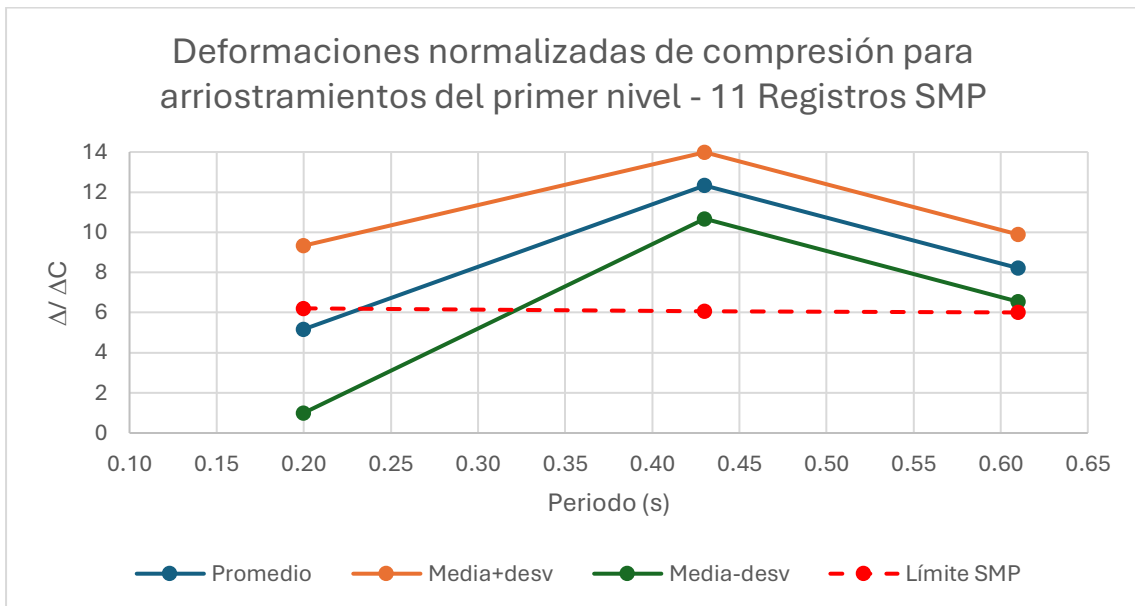
**Figura A.3.21.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Ajuste Espectral.**



**Figura A.3.22.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Ajuste Espectral.**

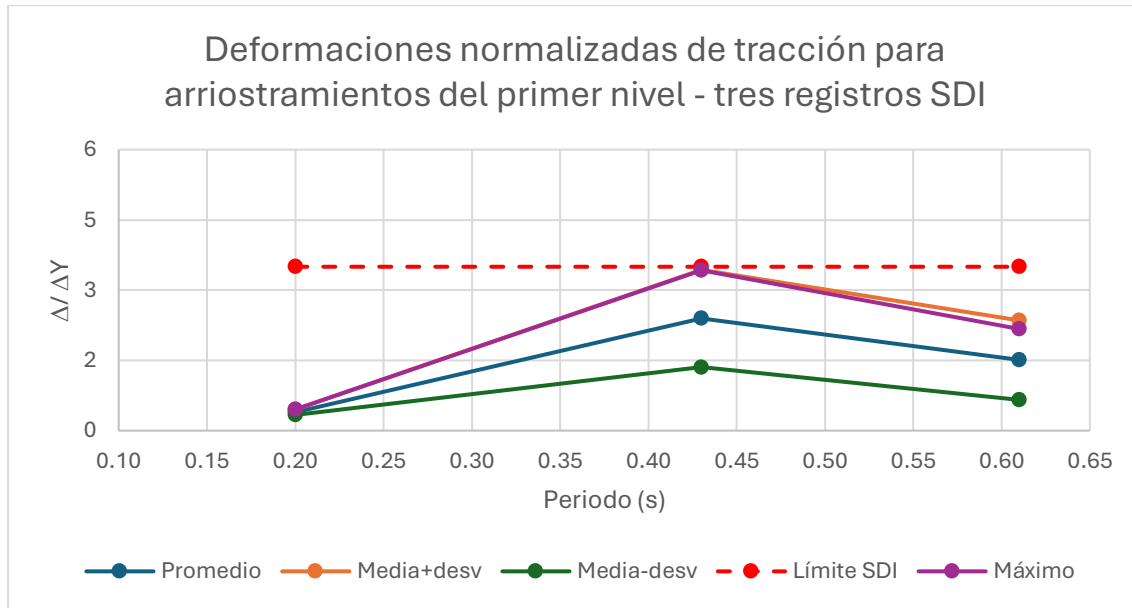


**Figura A.3.23.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Ajuste Espectral.**

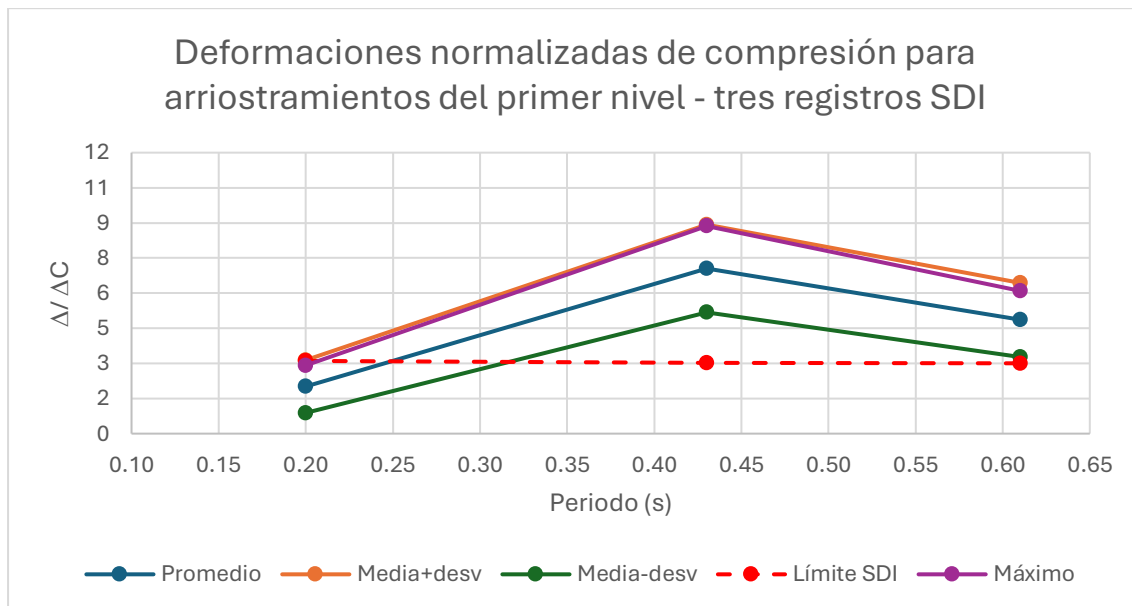


**Figura A.3.24.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Ajuste Espectral.**

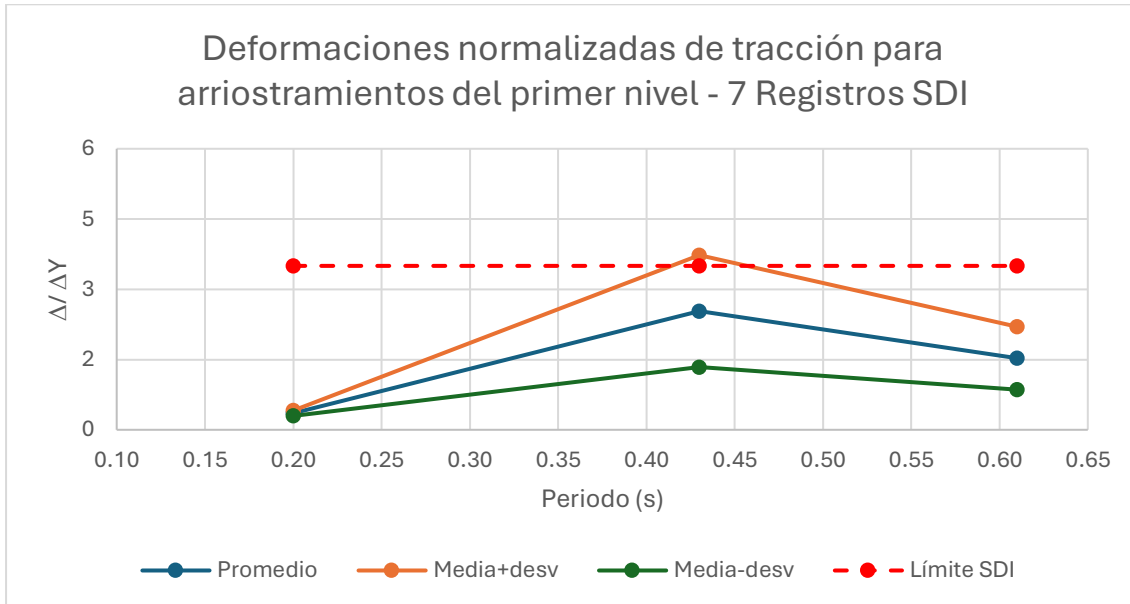
**ANEXO 3.3 RESULTADOS DEFORMACIÓN NORMALIZADA DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN PARA ARRIOSTRAMIENTOS DEL PRIMER NIVEL ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS), 475 AÑOS**



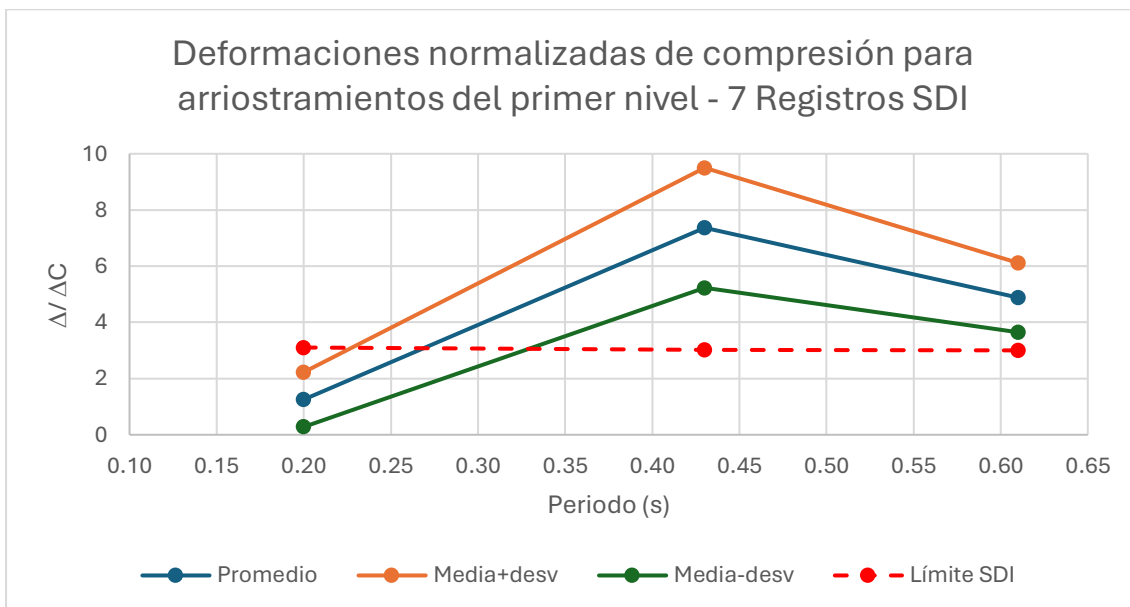
**Figura A.3.25.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Escalamiento Espectral.**



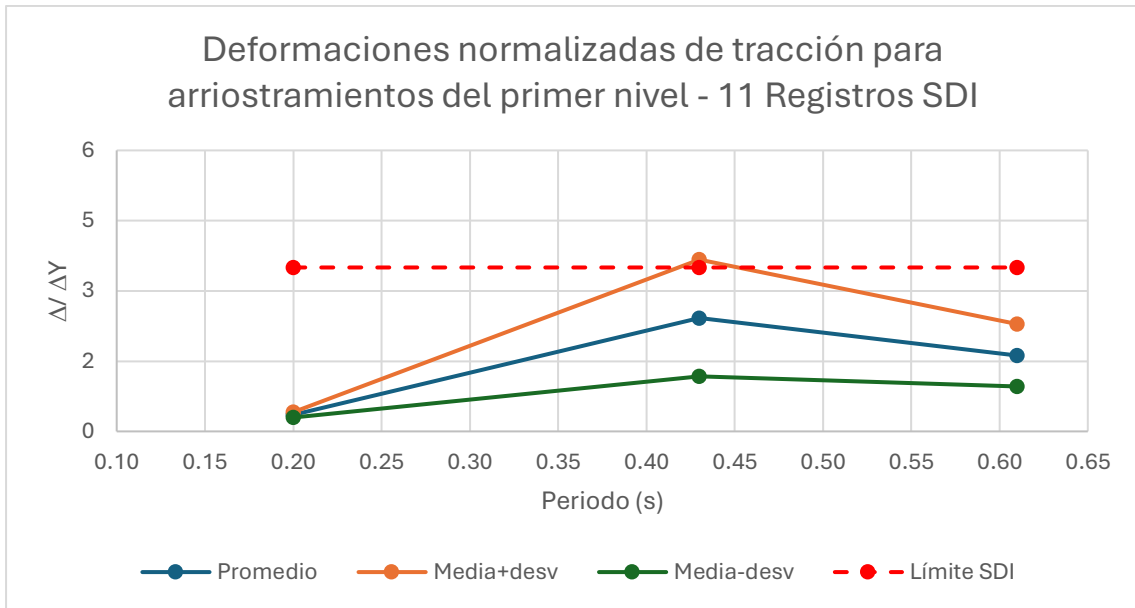
**Figura A.3.26.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Escalamiento Espectral.**



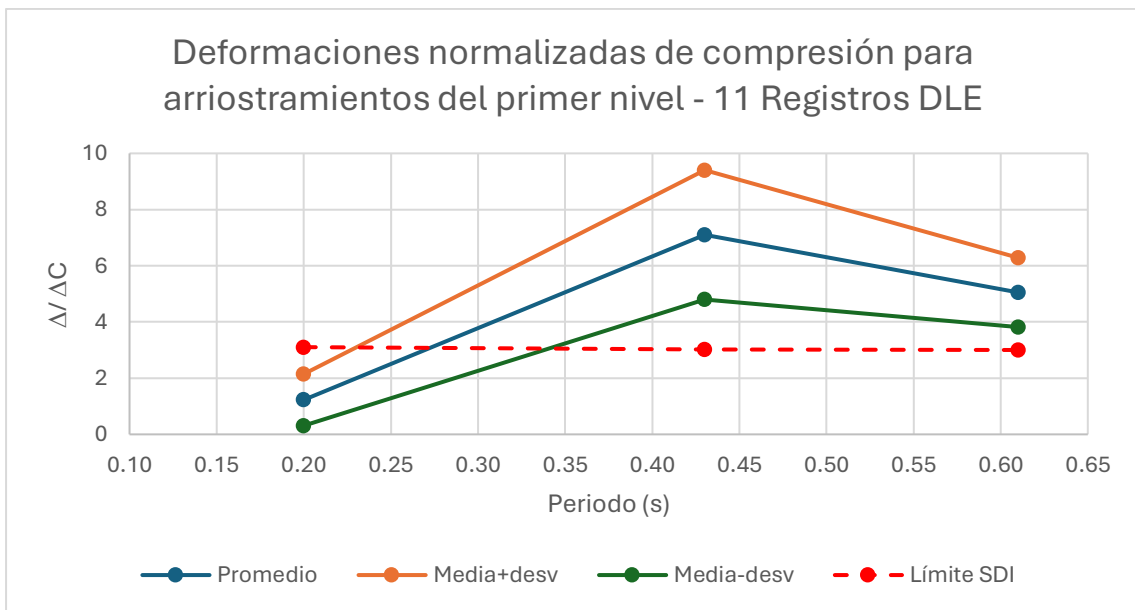
**Figura A.3.27.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Escalamiento Espectral.**



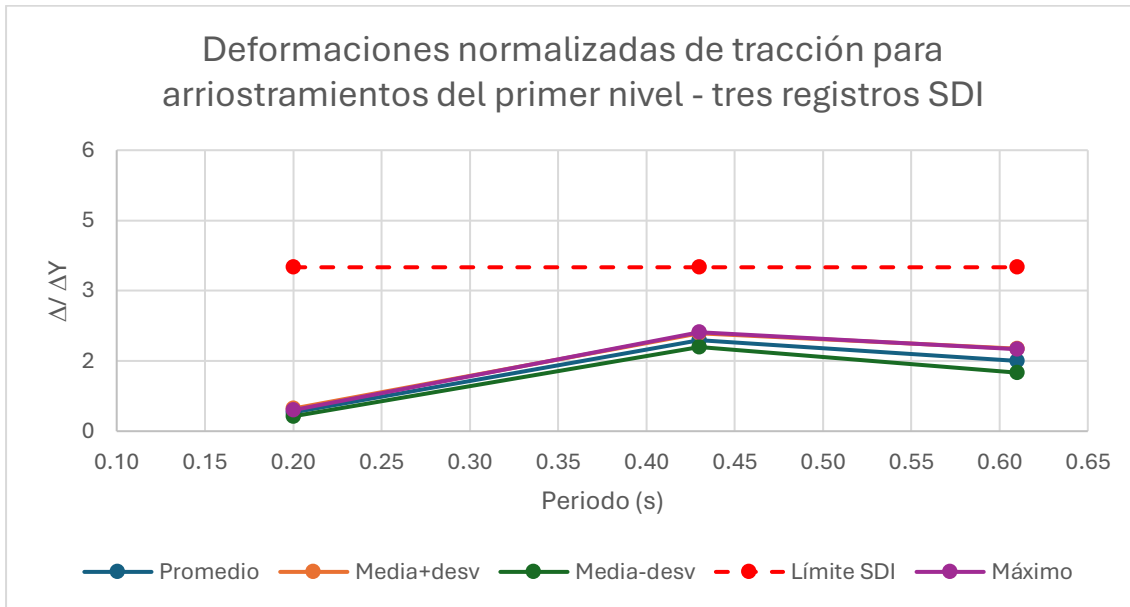
**Figura A.3.28.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Escalamiento Espectral.**



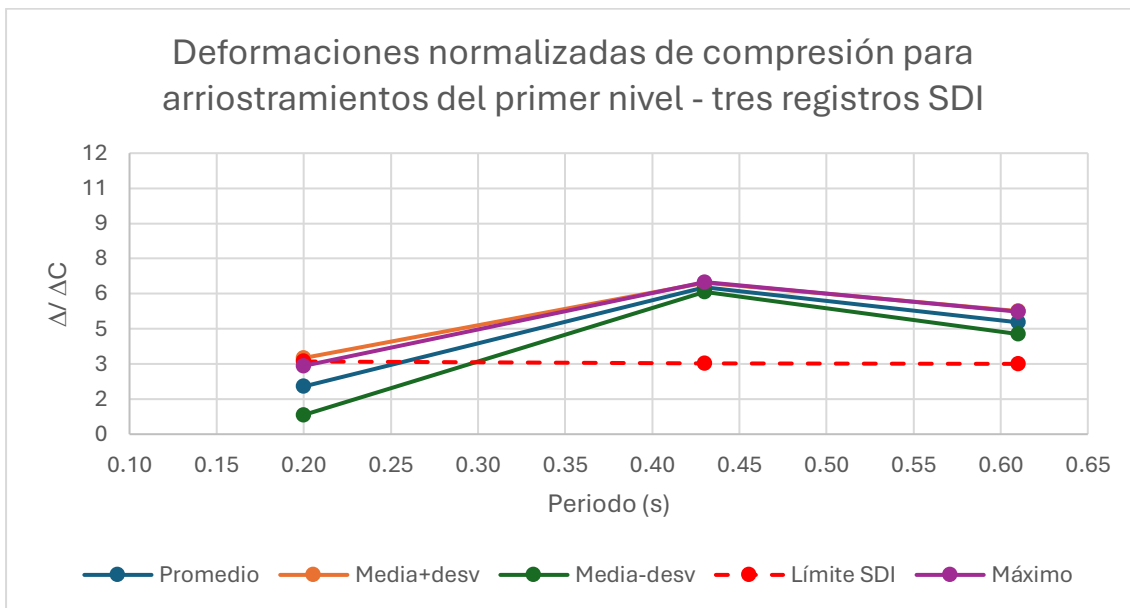
**Figura A.3.29.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Escalamiento Espectral.**



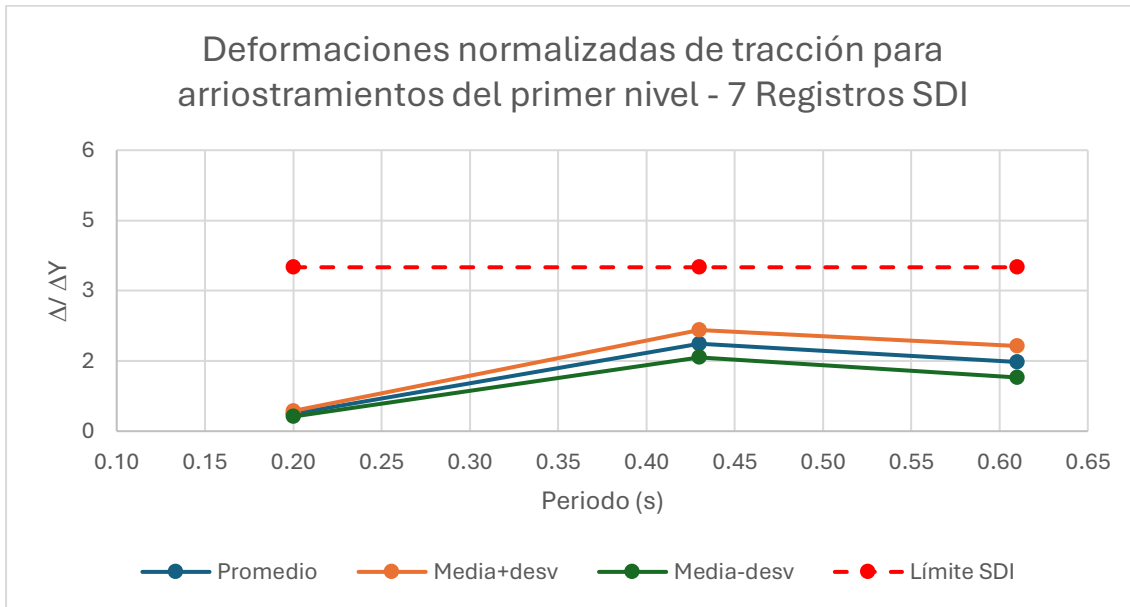
**Figura A.3.30.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Escalamiento Espectral.**



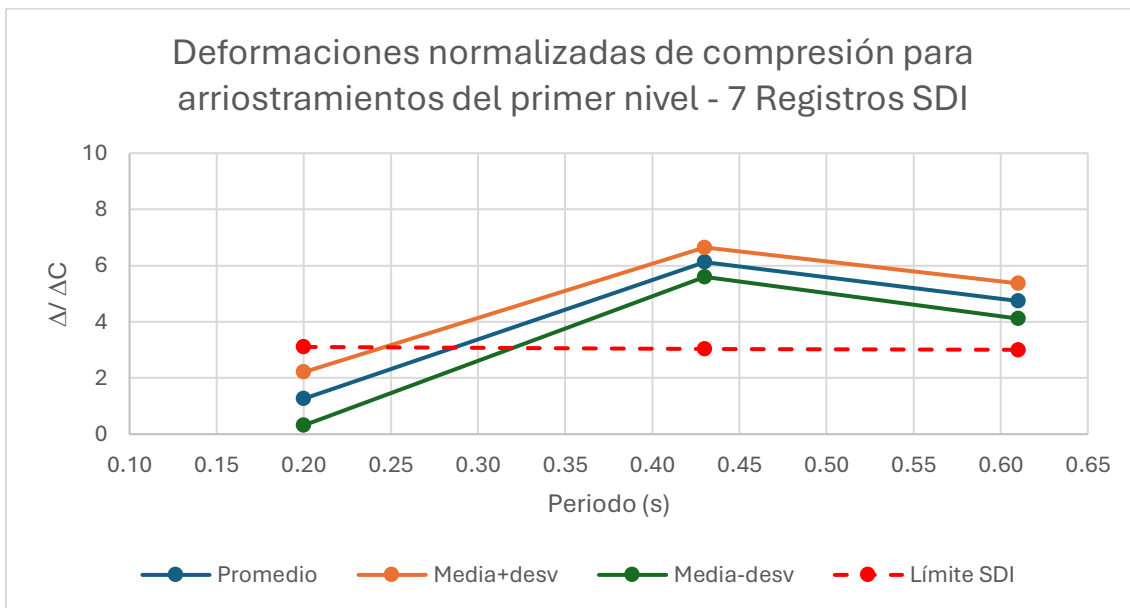
**Figura A.3.31.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Ajuste Espectral.**



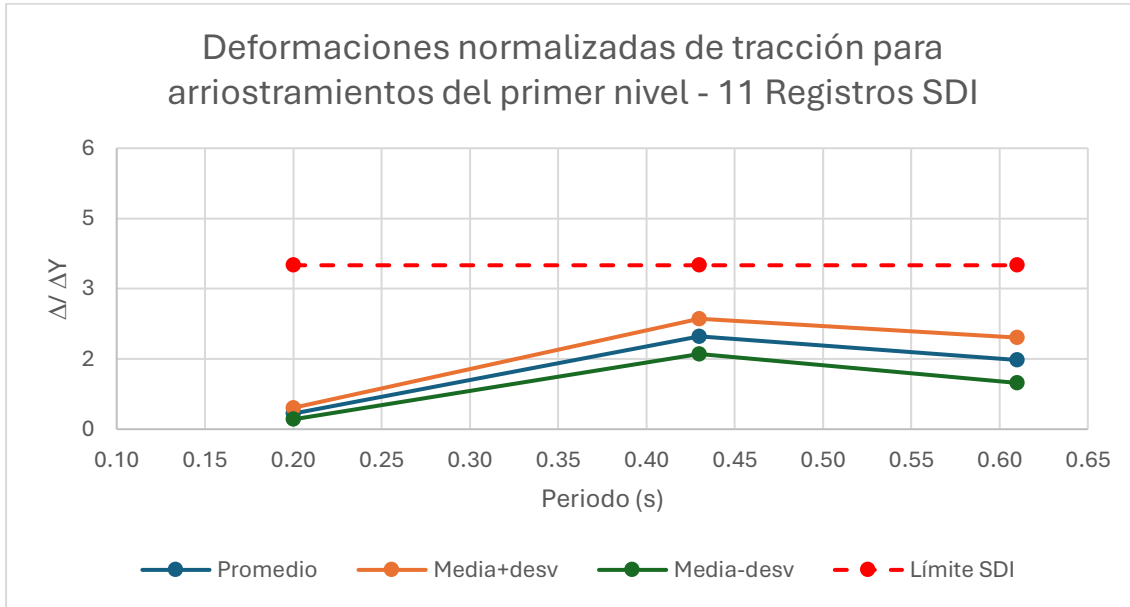
**Figura A.3.32.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Ajuste Espectral.**



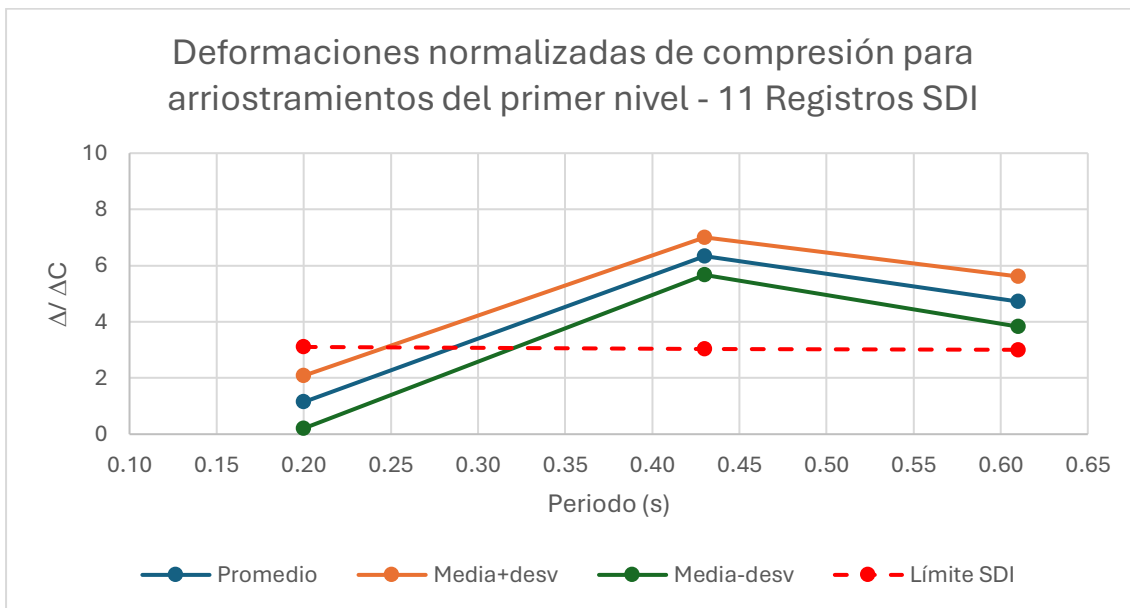
**Figura A.3.33.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Ajuste Espectral.**



**Figura A.3.34.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Ajuste Espectral.**

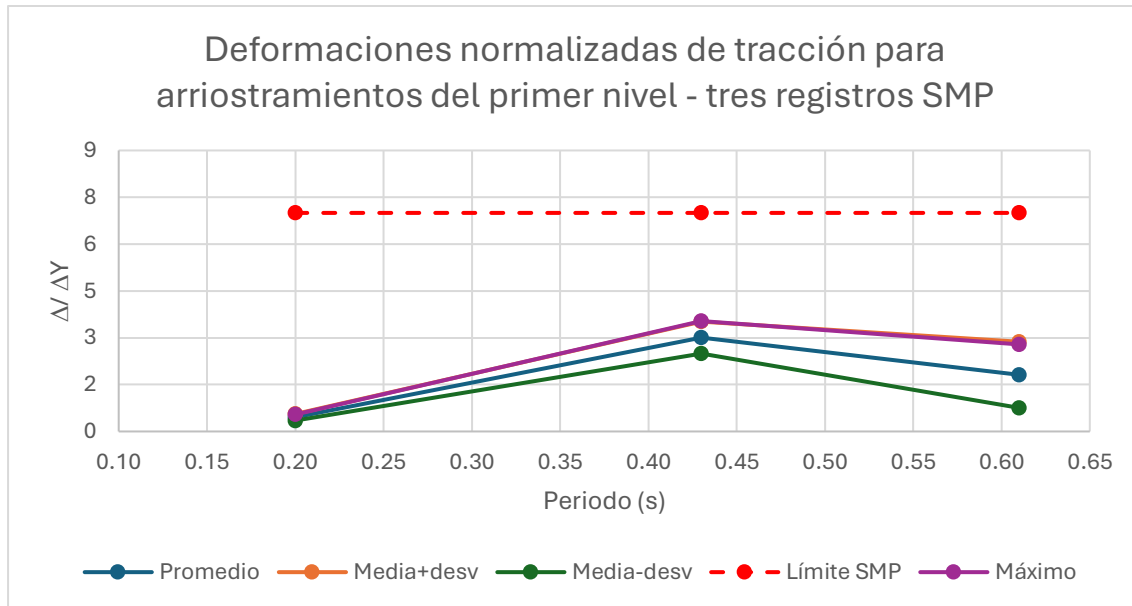


**Figura A.3.35.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Ajuste Espectral.**

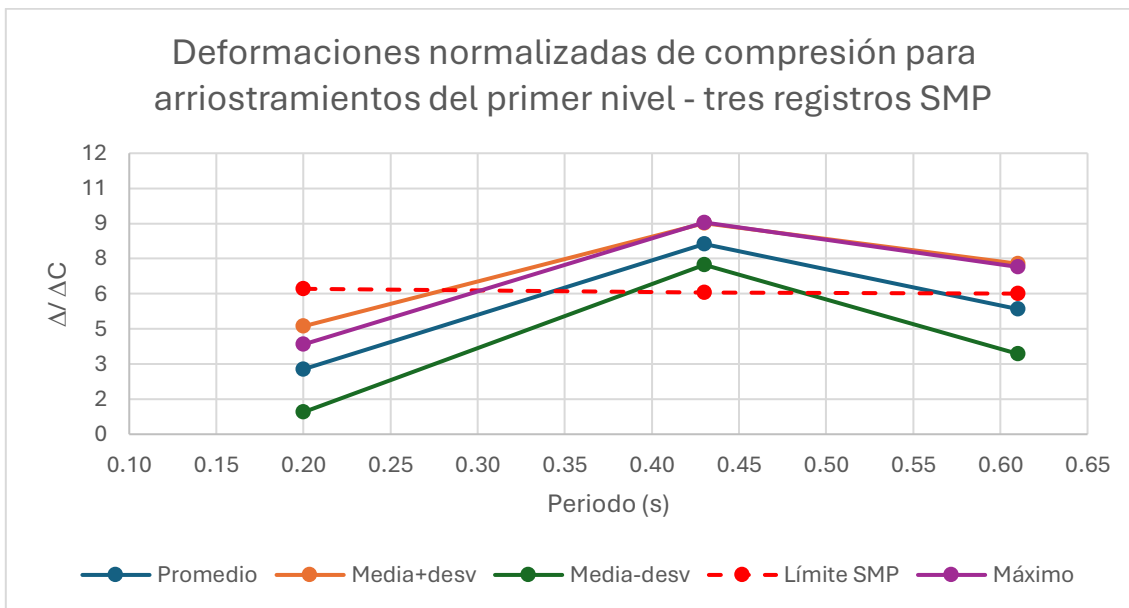


**Figura A.3.36.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Ajuste Espectral.**

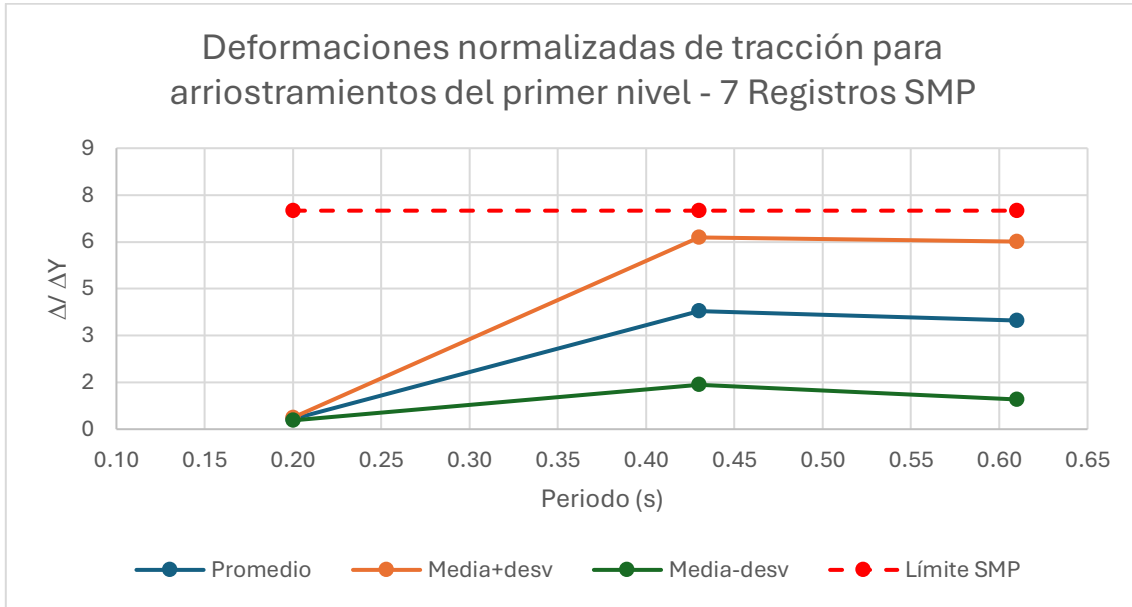
**ANEXO 3.4 RESULTADOS DEFORMACIÓN NORMALIZADA DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN PARA ARRIOSTRAMIENTOS DEL PRIMER NIVEL ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS), 975 AÑOS**



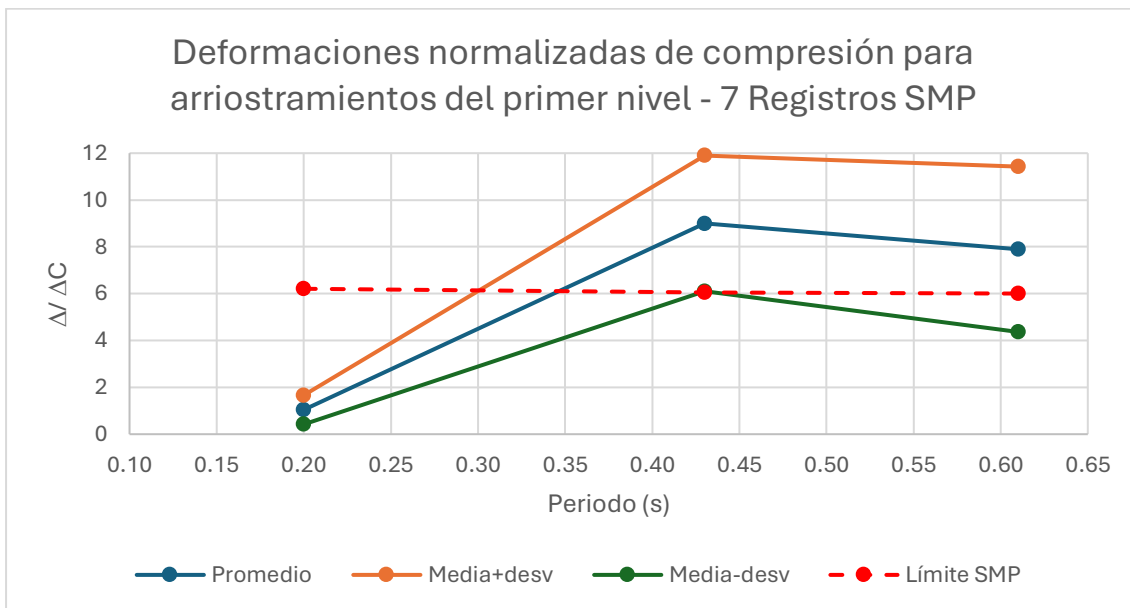
**Figura A.3.37.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Escalamiento Espectral.**



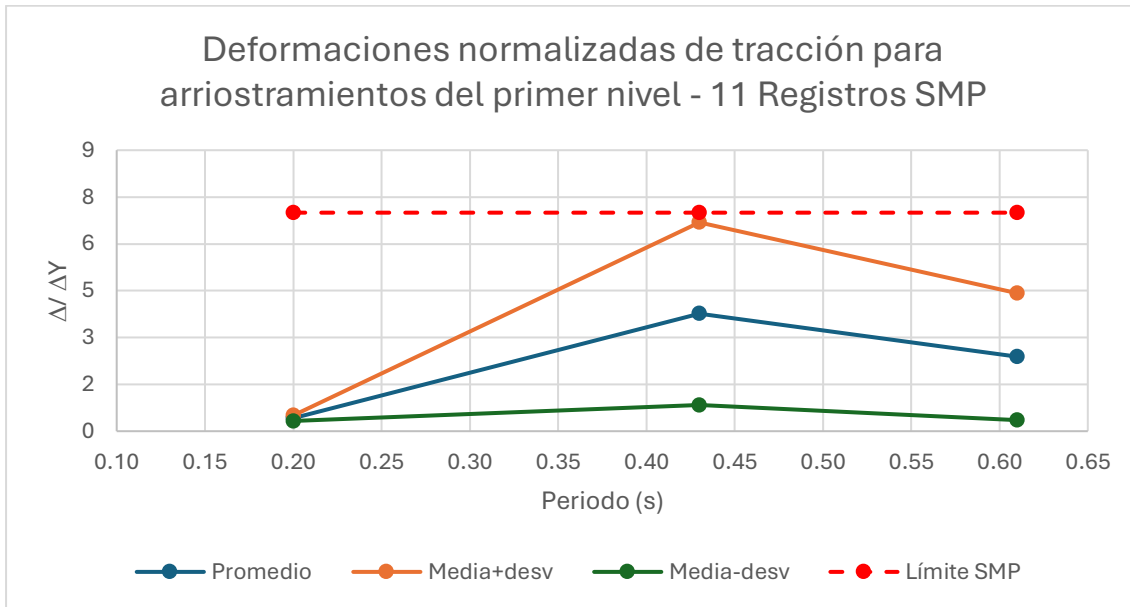
**Figura A.3.38.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Escalamiento Espectral.**



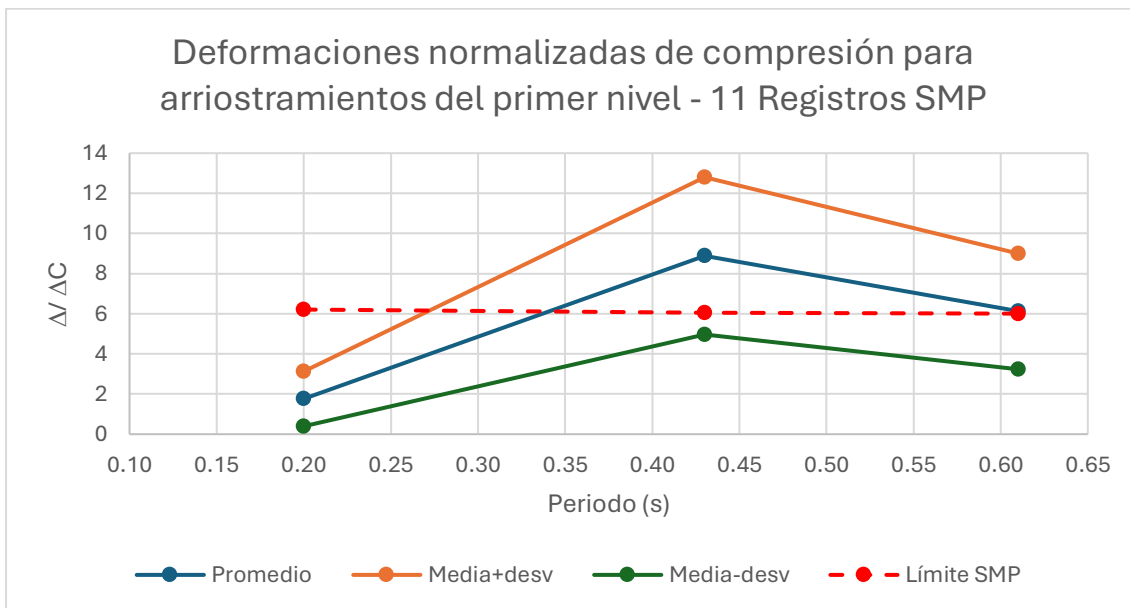
**Figura A.3.39.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Escalamiento Espectral.**



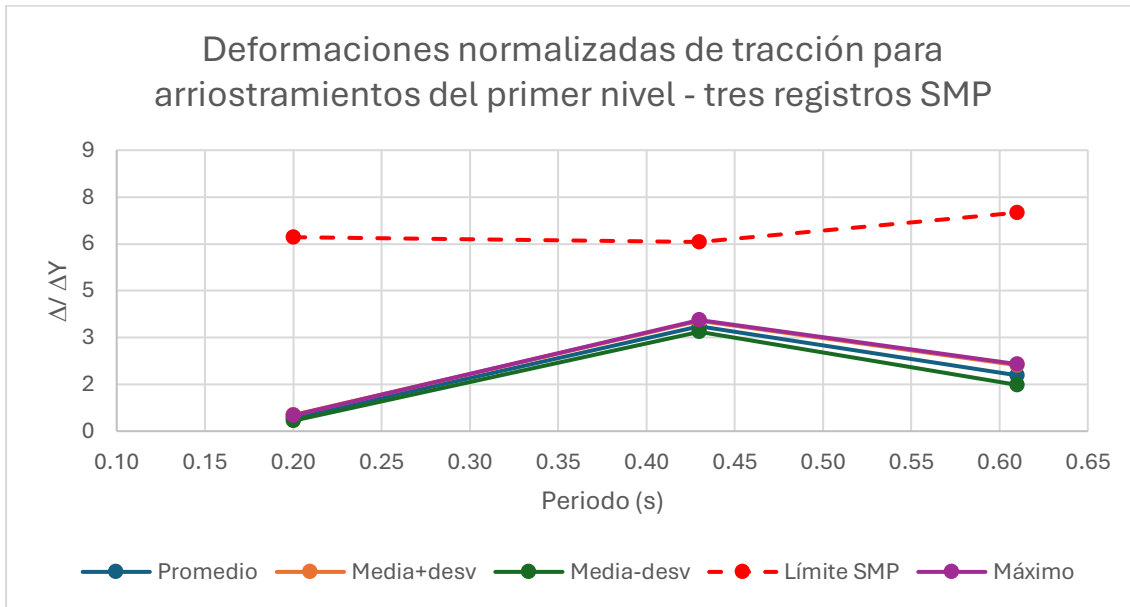
**Figura A.3.40.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Escalamiento Espectral.**



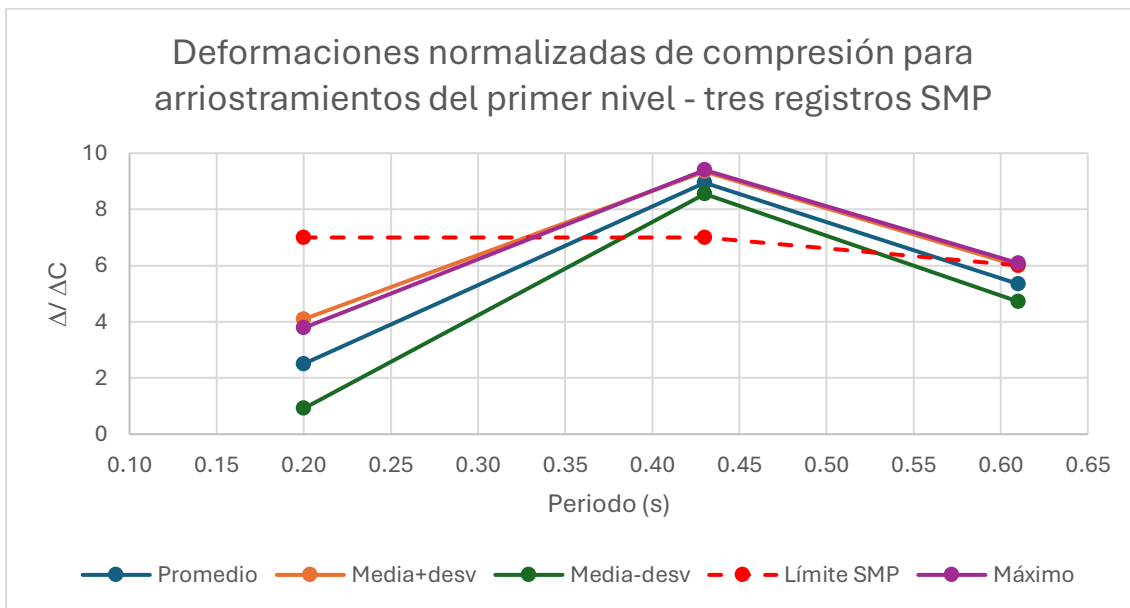
**Figura A.3.41.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Escalamiento Espectral.**



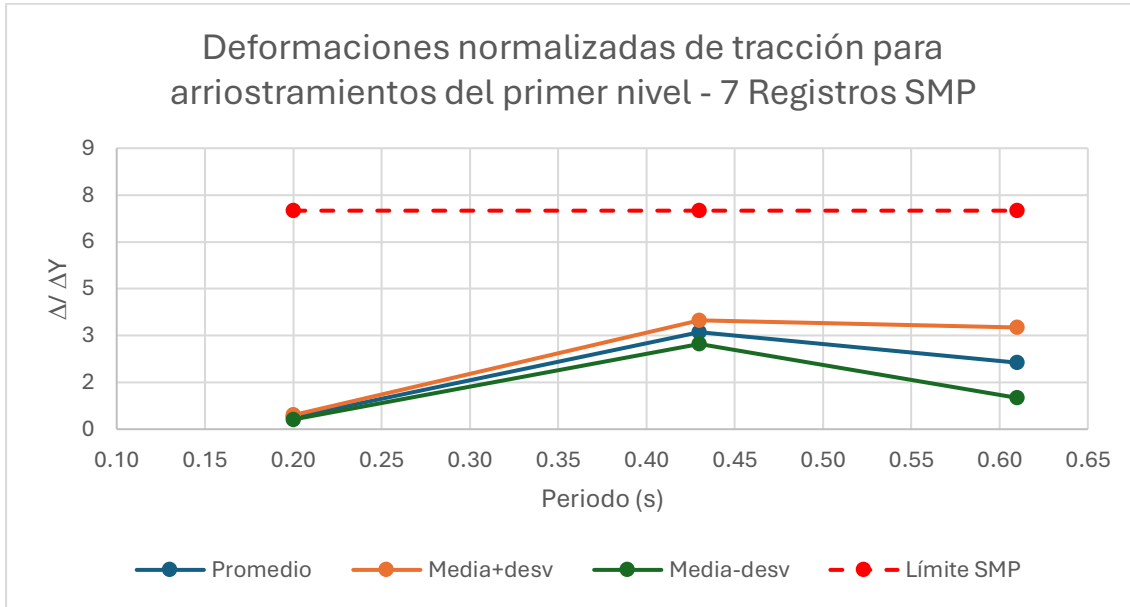
**Figura A.3.42.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Escalamiento Espectral.**



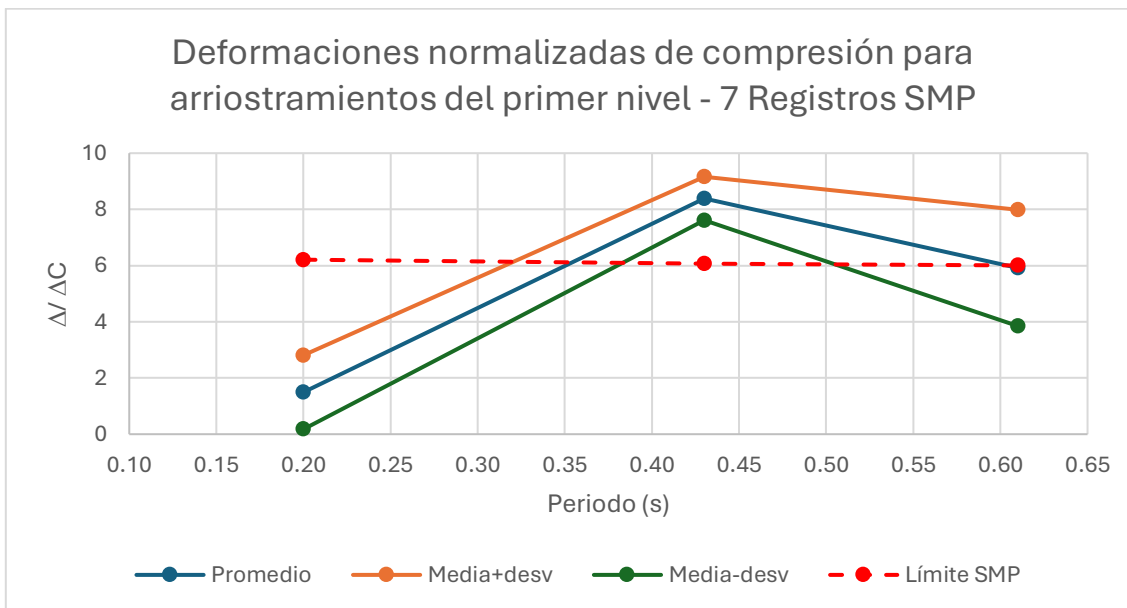
**Figura A.3.43.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Ajuste Espectral.**



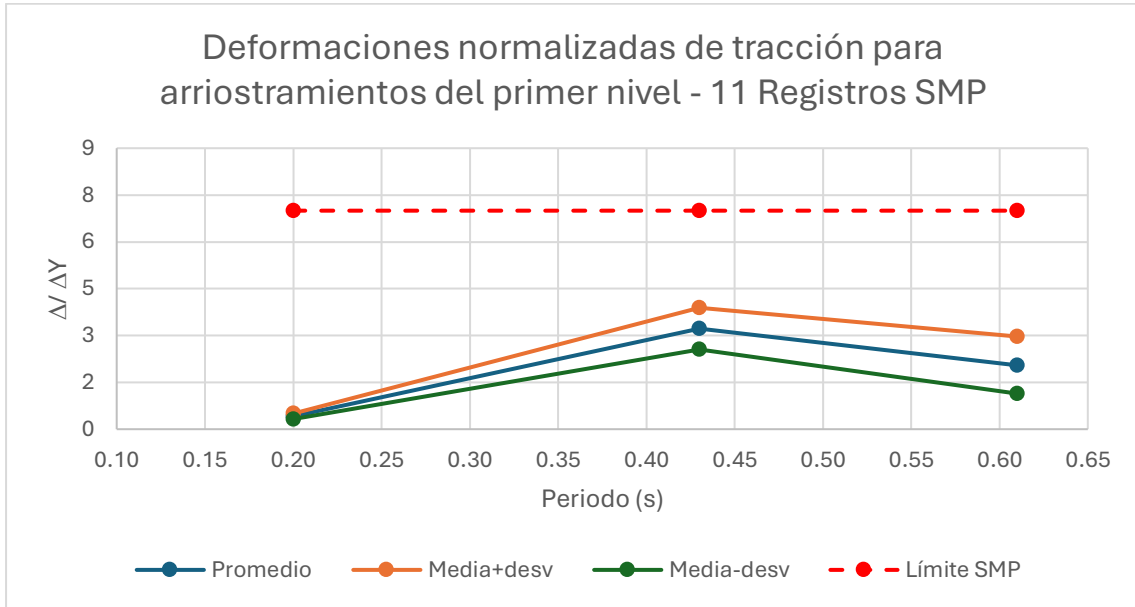
**Figura A.3.44.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - tres registros, Ajuste Espectral.**



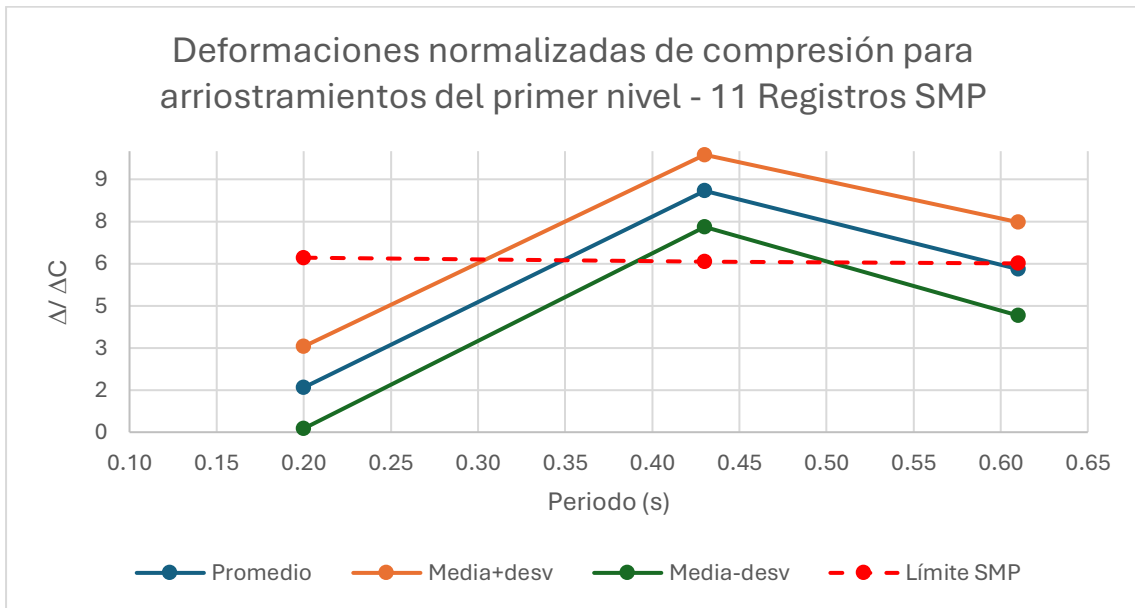
**Figura A.3.45.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Ajuste Espectral.**



**Figura A.3.46.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 7 Registros, Ajuste Espectral.**

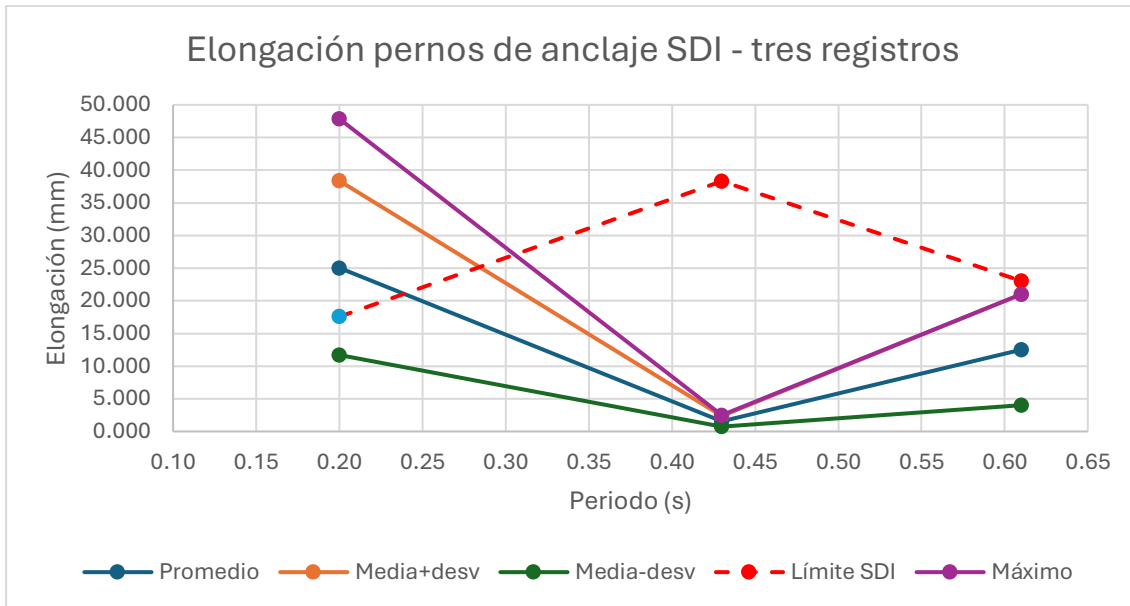


**Figura A.3.47.- Deformaciones normalizadas de tracción para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Ajuste Espectral.**

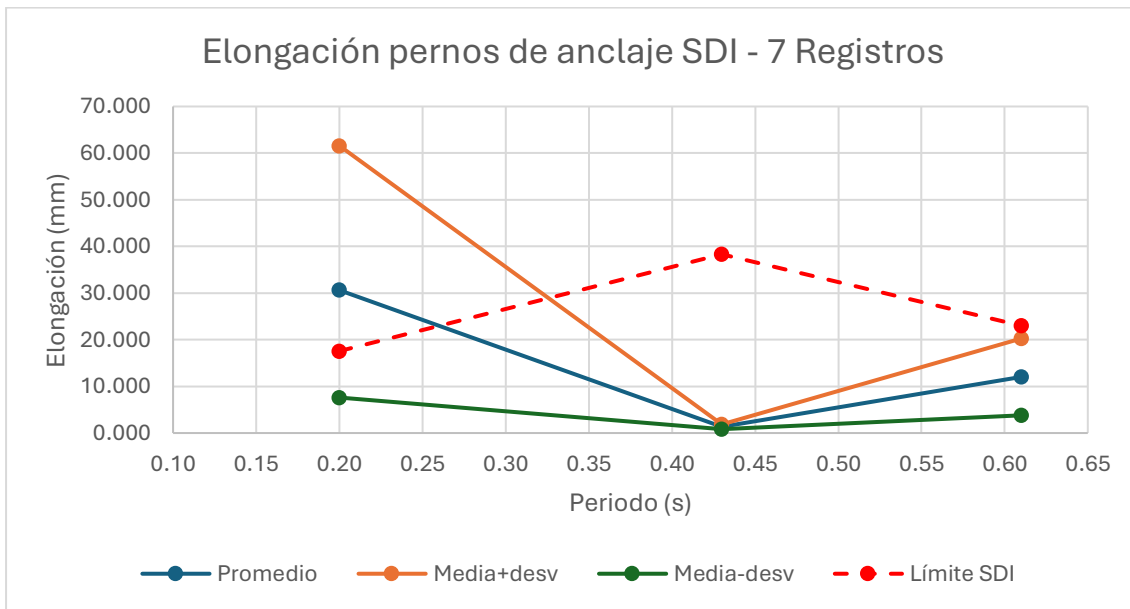


**Figura A.3.48.- Deformaciones normalizadas de compresión para arriostramientos del primer nivel - 11 Registros, Ajuste Espectral.**

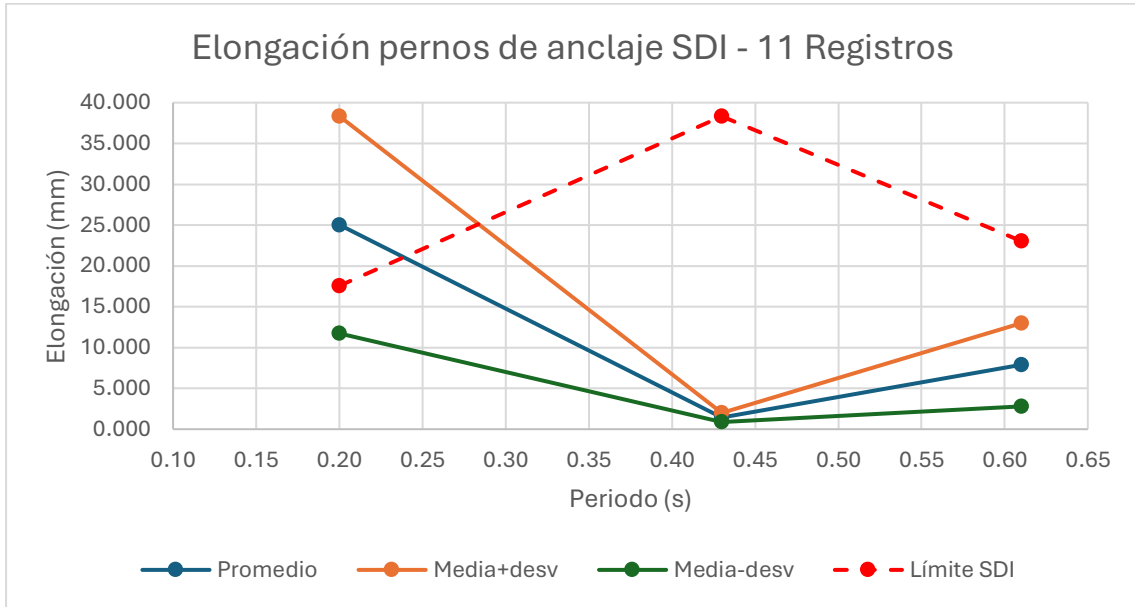
**ANEXO 4.1 RESULTADOS ELONGACIÓN PERNOS DE ANCLAJE ESPECTRO NCh2369:2023, 475 AÑOS**



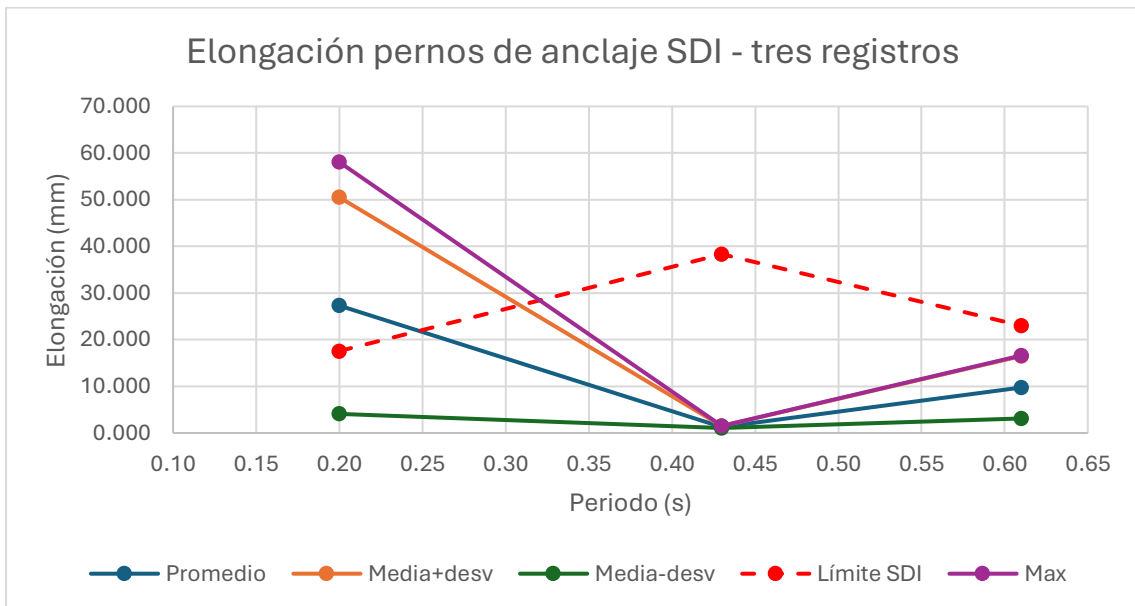
**Figura A.4.1.- Elongación pernos de anclaje tres registros, Escalamiento Espectral.**



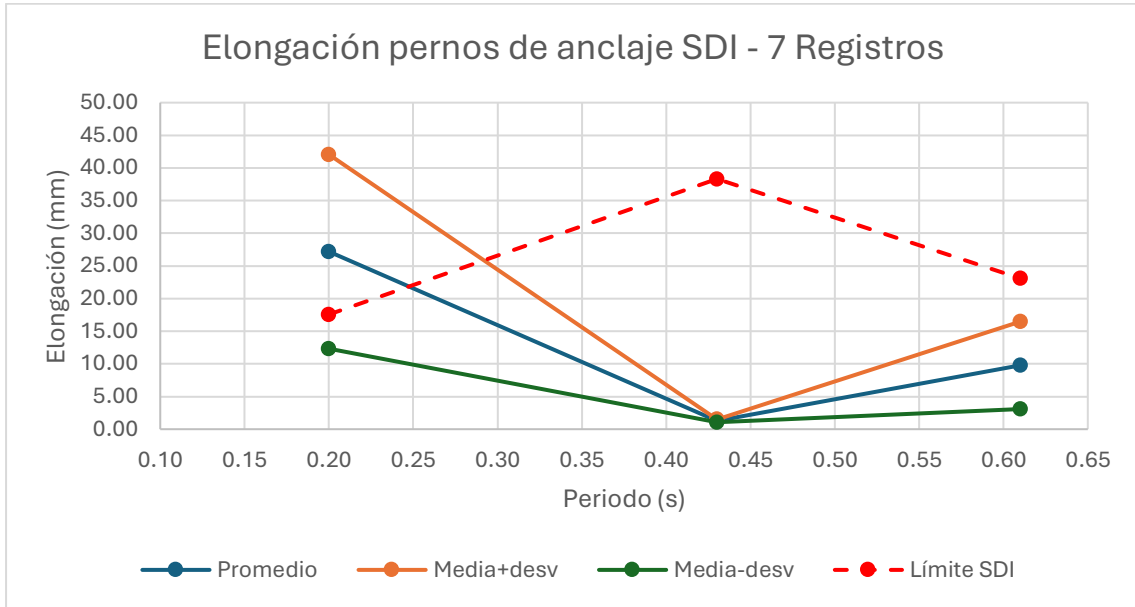
**Figura A.4.2.- Elongación pernos de anclaje 7 Registros, Escalamiento Espectral.**



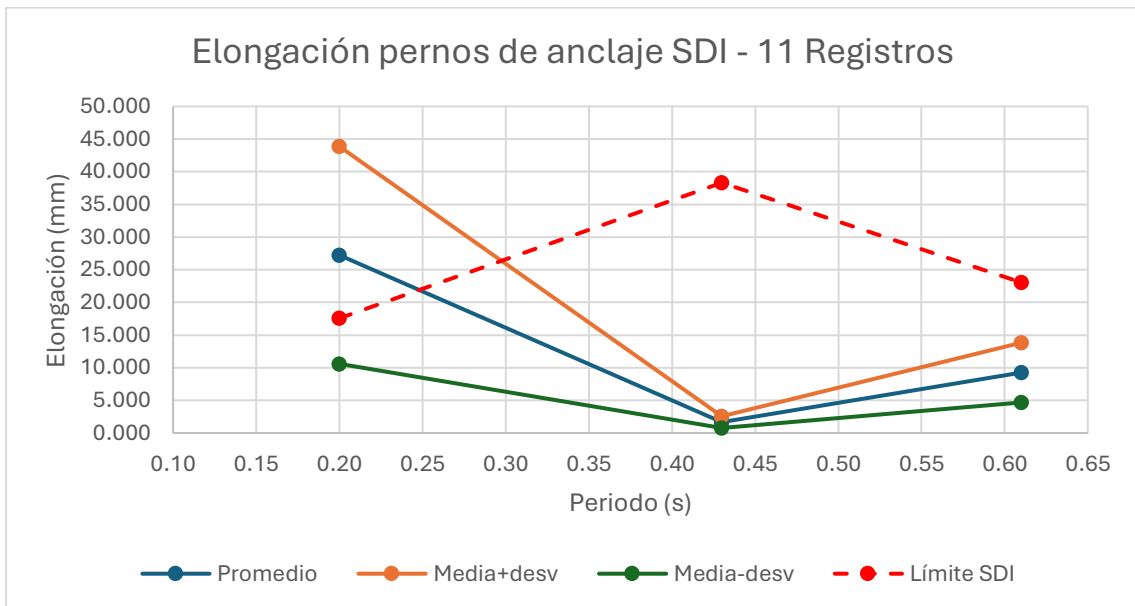
**Figura A.4.3.- Elongación pernos de anclaje 11 Registros, Escalamiento Espectral.**



**Figura A.4.4.- Elongación pernos de anclaje tres registros, Ajuste Espectral.**

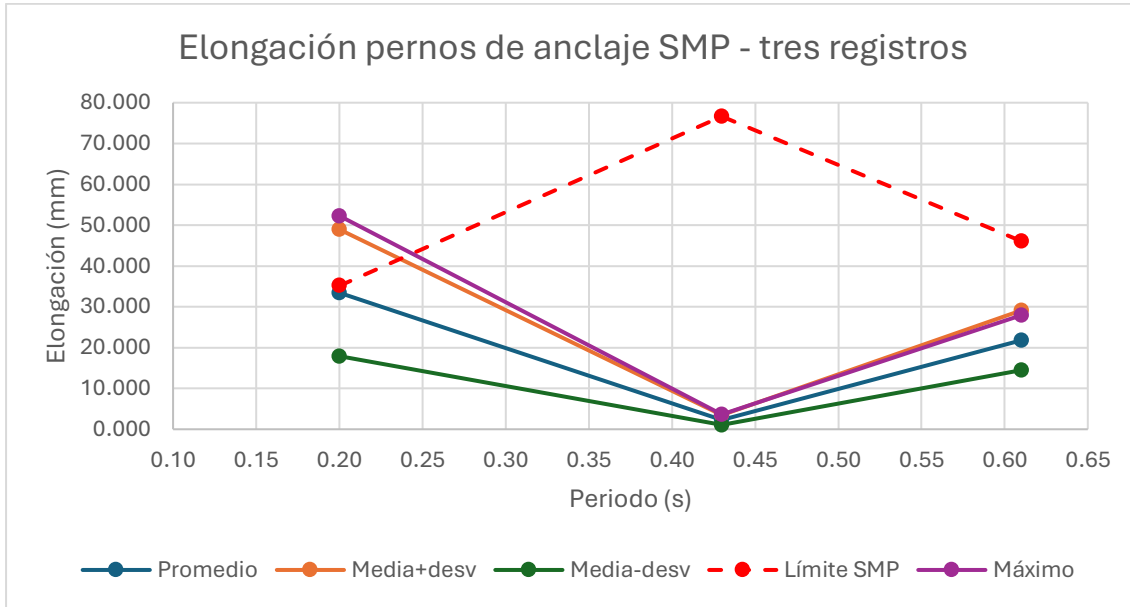


**Figura A.4.5.- Elongación pernos de anclaje 7 Registros, Ajuste Espectral.**

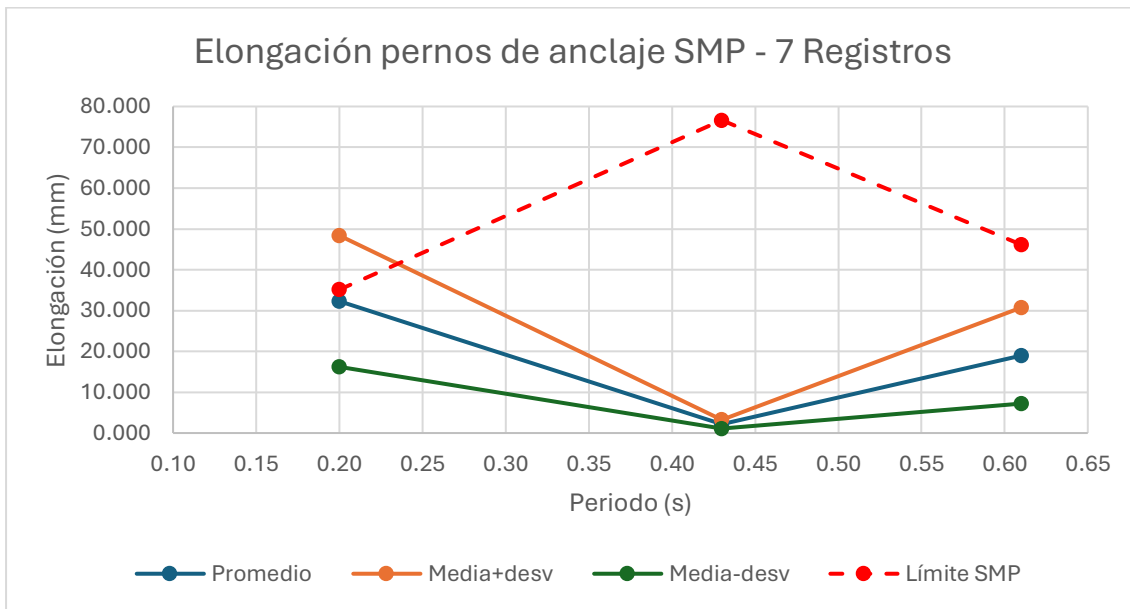


**Figura A.4.6.- Elongación pernos de anclaje 11 Registros, Ajuste Espectral.**

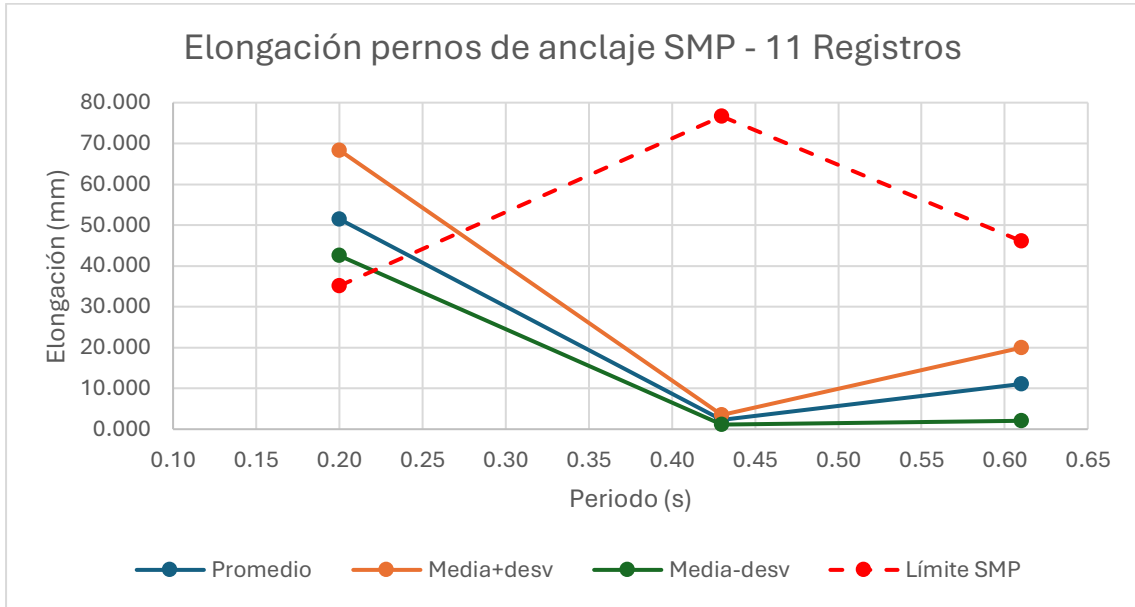
**ANEXO 4.2 RESULTADOS ELONGACIÓN PERNOS DE ANCLAJE ESPECTRO NCh2369:2023, 975 AÑOS**



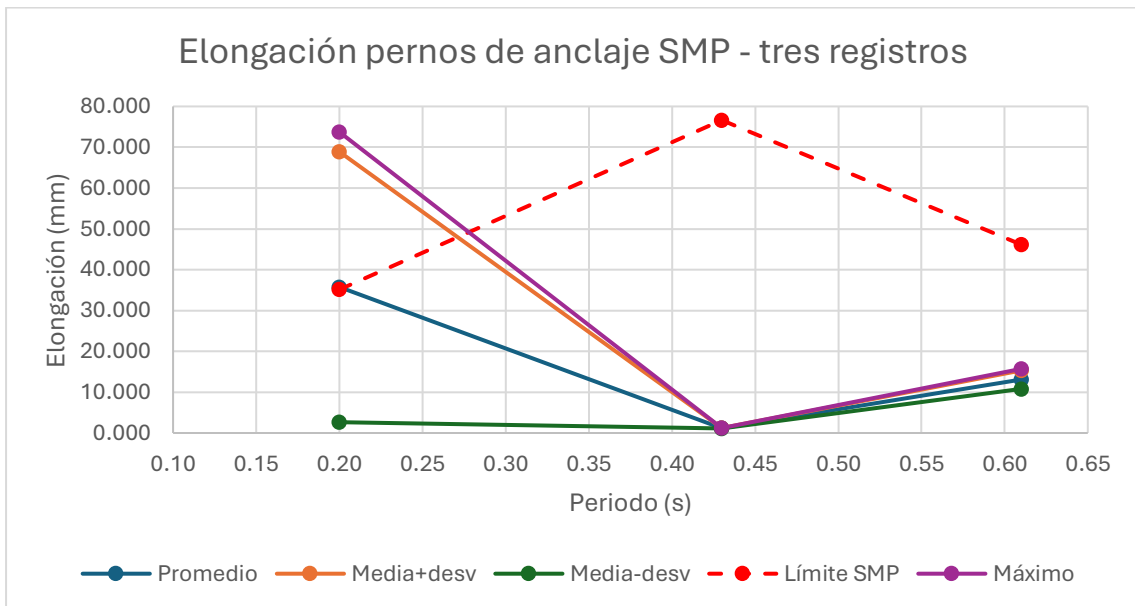
**Figura A.4.7.- Elongación pernos de anclaje tres registros, Escalamiento Espectral.**



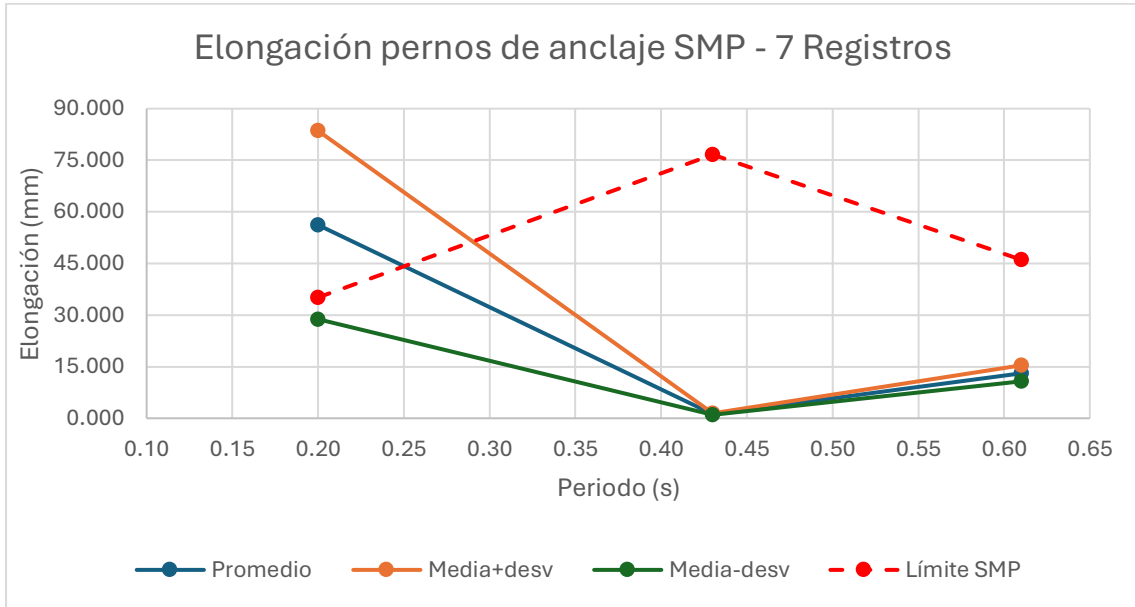
**Figura A.4.8.- Elongación pernos de anclaje 7 Registros, Escalamiento Espectral.**



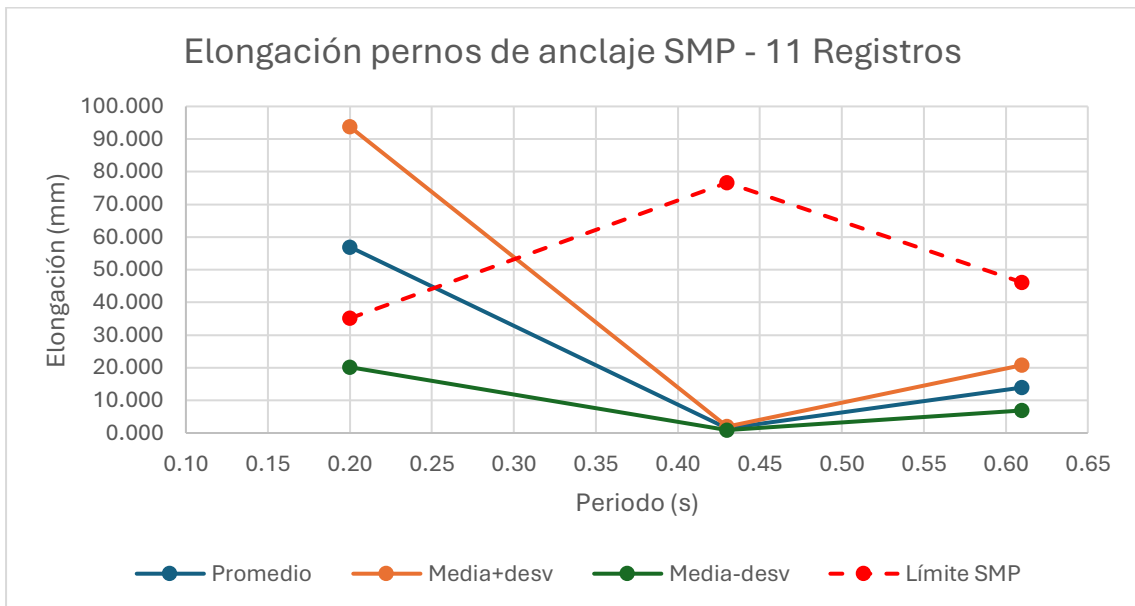
**Figura A.4.9.- Elongación pernos de anclaje 11 Registros, Escalamiento Espectral.**



**Figura A.4.10.- Elongación pernos de anclaje tres registros, Ajuste Espectral.**

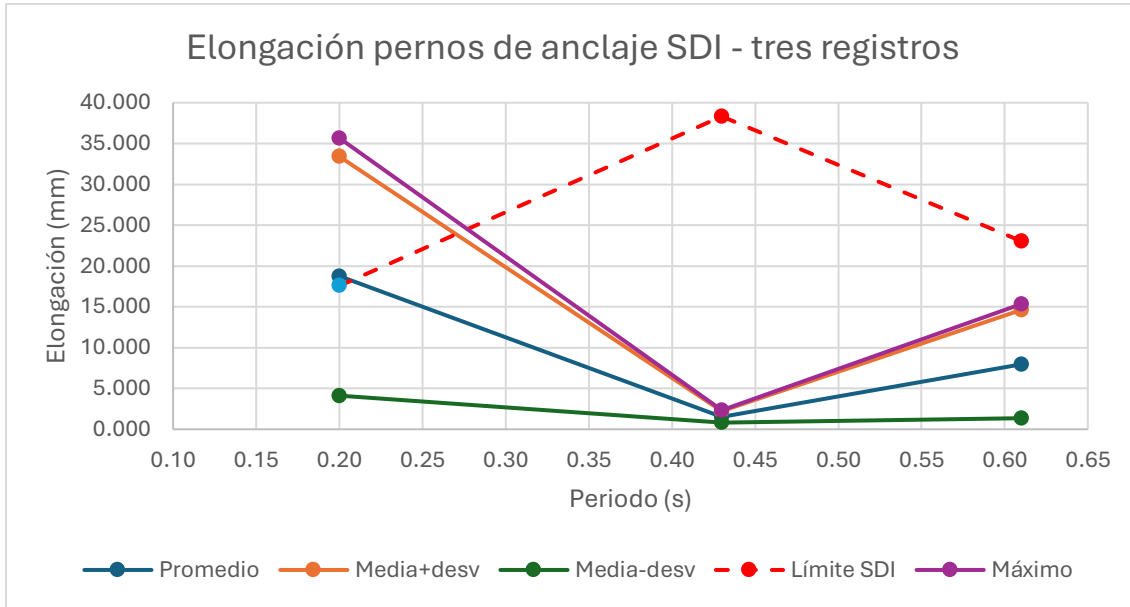


**Figura A.4.11.- Elongación pernos de anclaje 7 Registros, Ajuste Espectral.**

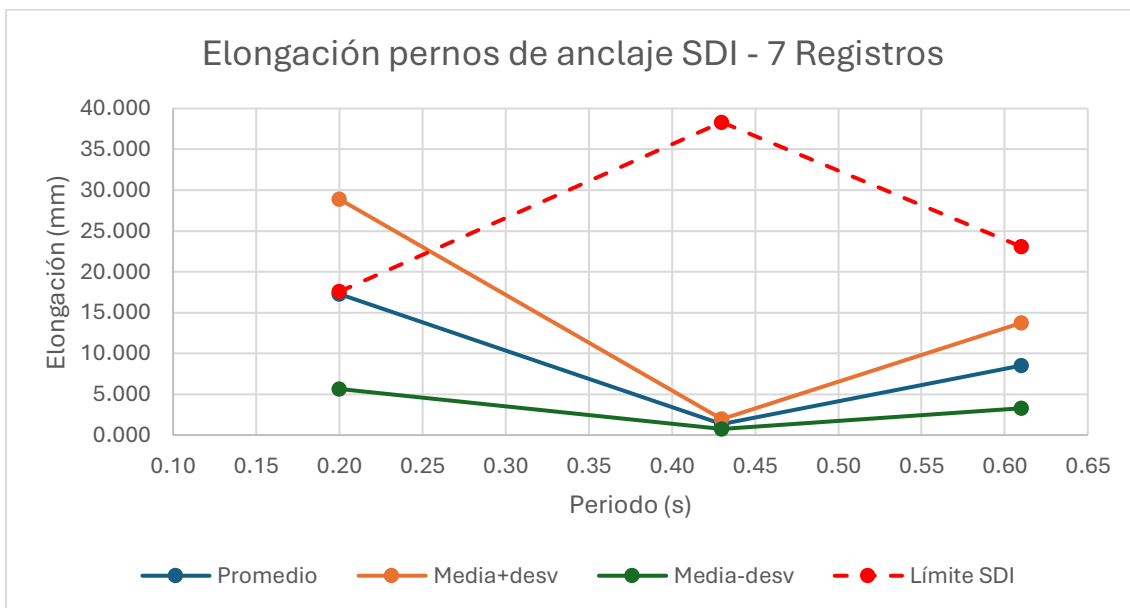


**Figura A.4.12.- Elongación pernos de anclaje 11 Registros, Ajuste Espectral.**

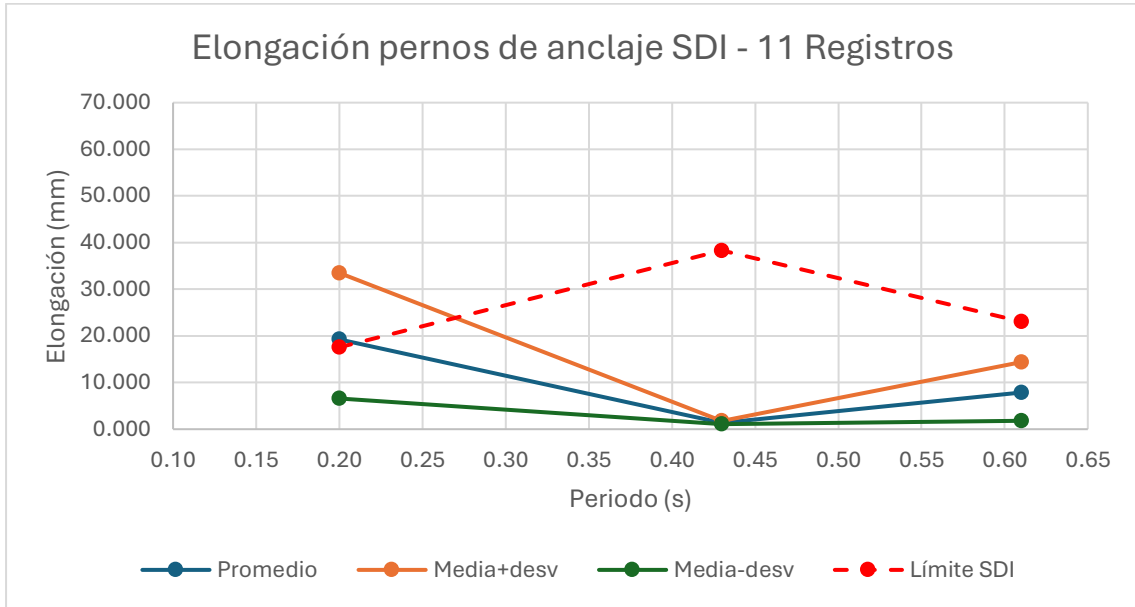
**ANEXO 4.3 RESULTADOS ELONGACIÓN PERNOS DE ANCLAJE ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS), 475 AÑOS**



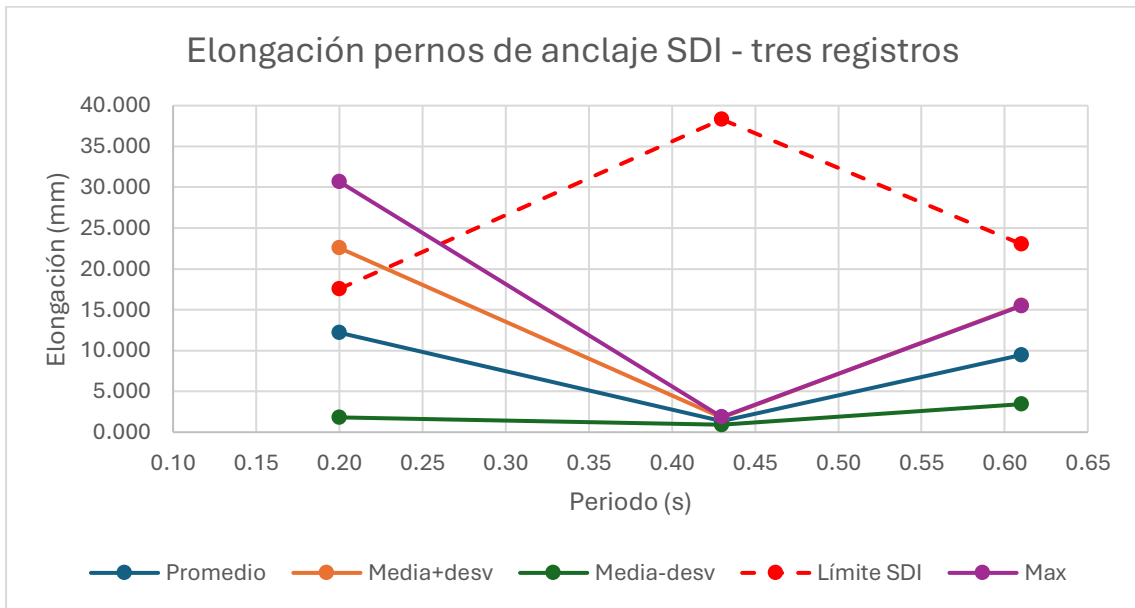
**Figura A.4.13.- Elongación pernos de anclaje tres registros, Escalamiento Espectral.**



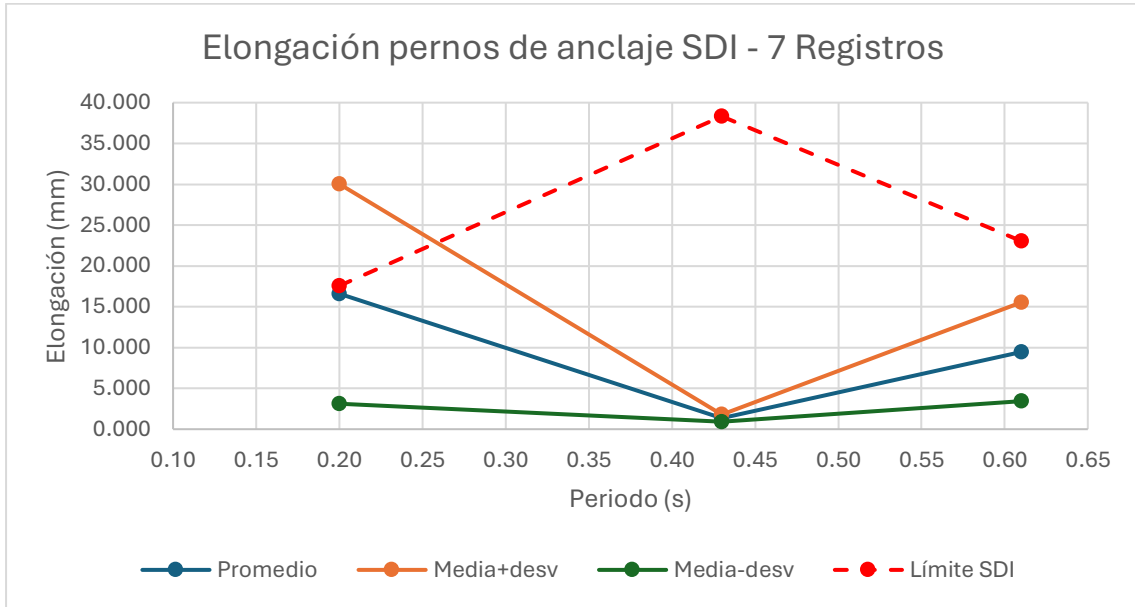
**Figura A.4.14.- Elongación pernos de anclaje 7 Registros, Escalamiento Espectral.**



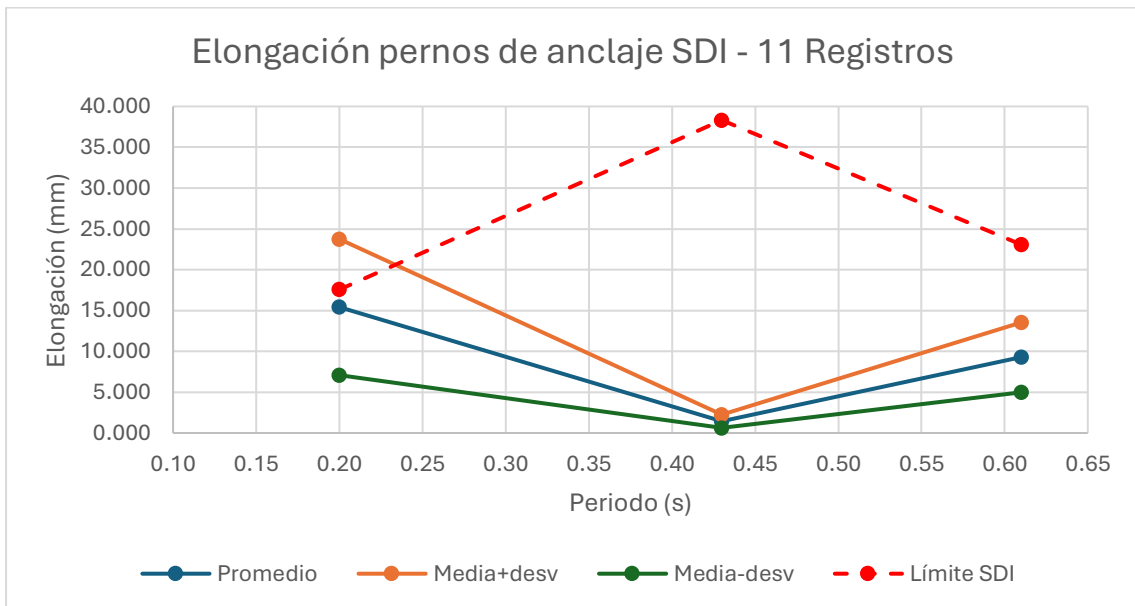
**Figura A.4.15.- Elongación pernos de anclaje 11 Registros, Escalamiento Espectral.**



**Figura A.4.16.- Elongación pernos de anclaje tres registros, Ajuste Espectral.**



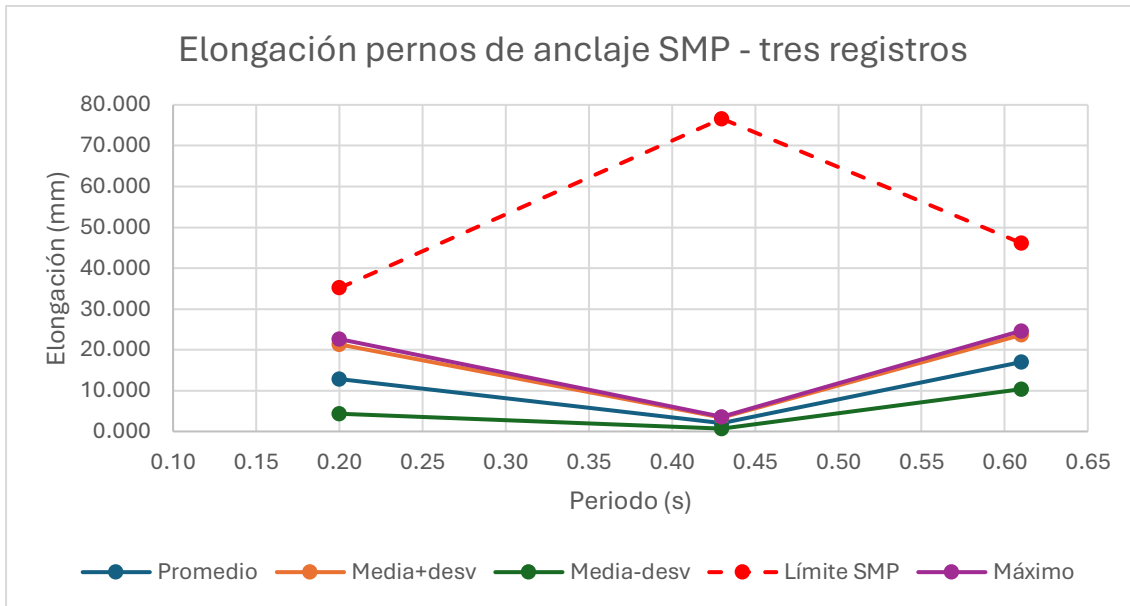
**Figura A.4.17.- Elongación pernos de anclaje 7 Registros, Ajuste Espectral.**



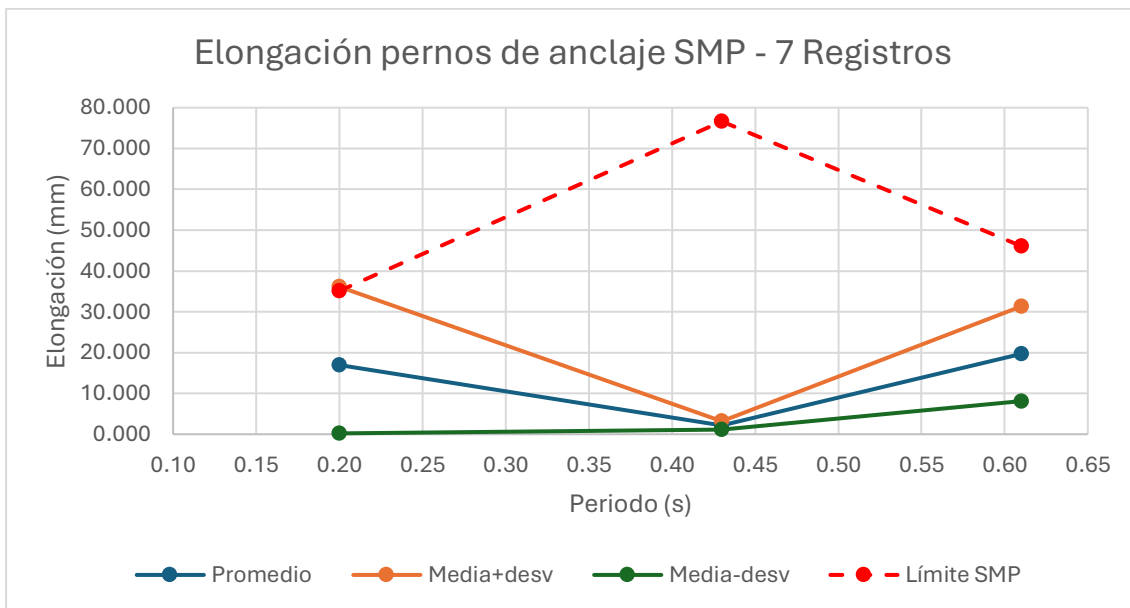
**Figura A.4.18.- Elongación pernos de anclaje 11 Registros, Ajuste Espectral.**

**ANEXO 4.4 RESULTADOS ELONGACIÓN PERNOS DE ANCLAJE ESPECTRO MEDIO CONDICIONADO (CMS), 975 AÑOS**

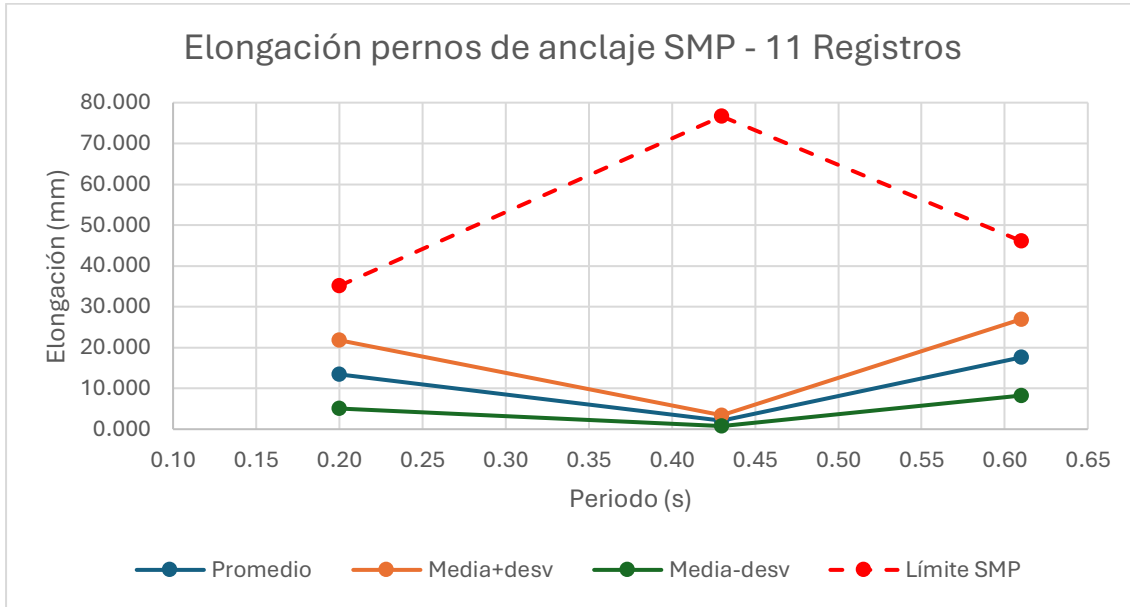
**Escalamiento Espectral**



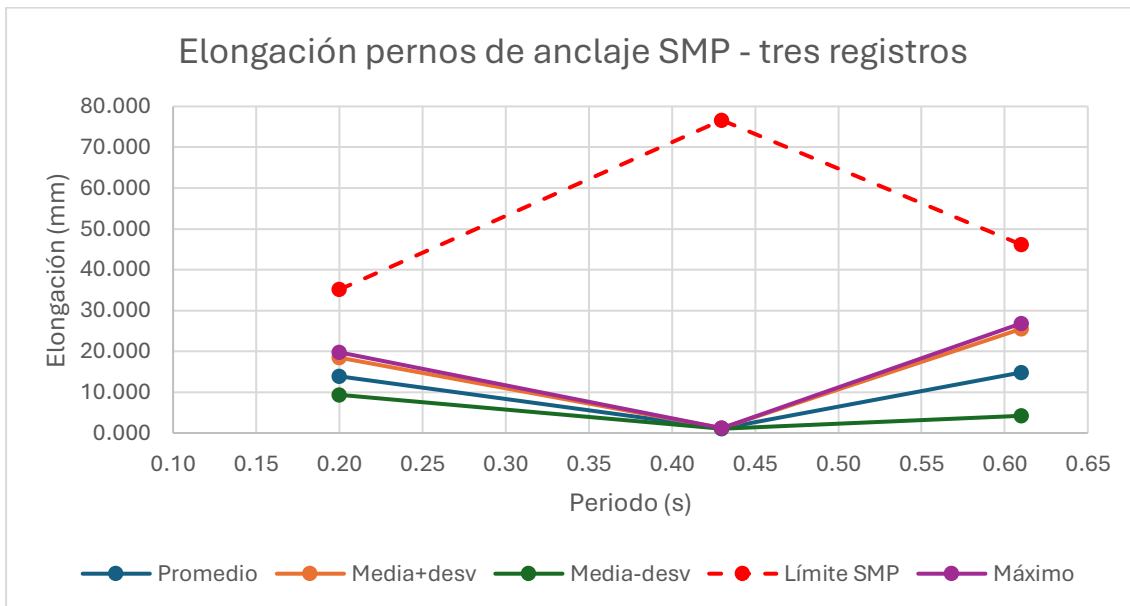
**Figura A.4.19.- Elongación pernos de anclaje tres registros, Escalamiento Espectral.**



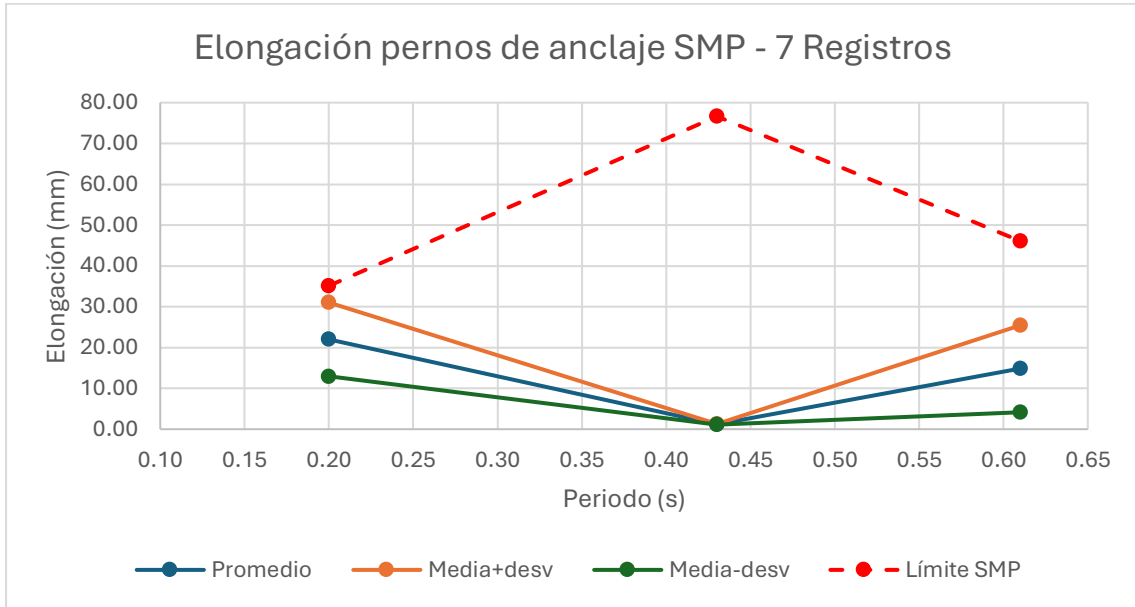
**Figura A.4.20.- Elongación pernos de anclaje 7 Registros, Escalamiento Espectral.**



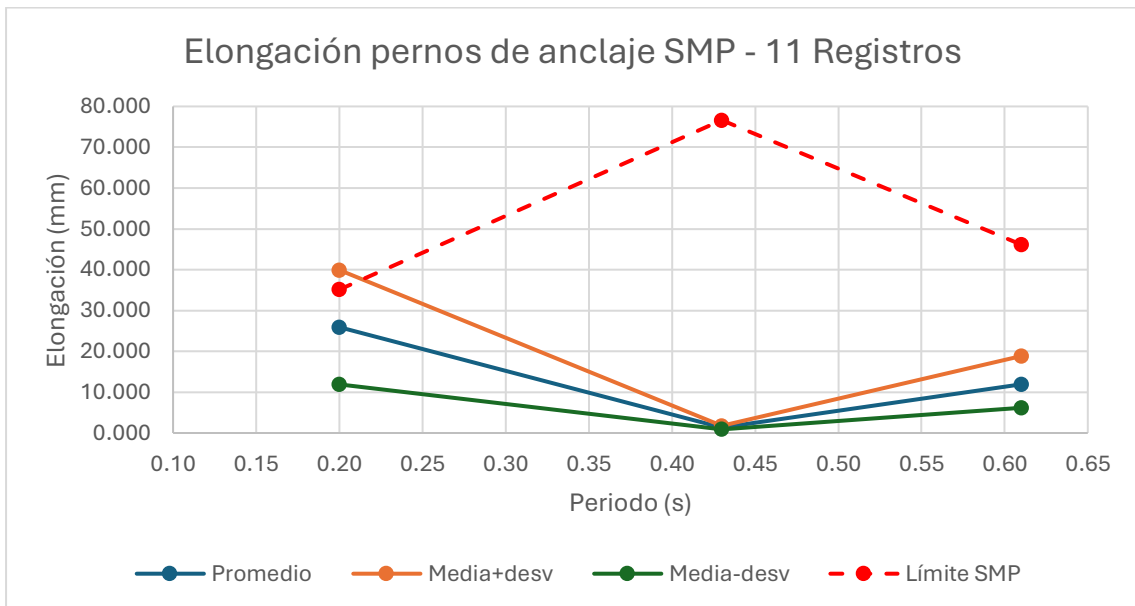
**Figura A.4.21.- Elongación pernos de anclaje 11 Registros, Escalamiento Espectral.**



**Figura A.4.22.- Elongación pernos de anclaje tres registros, Ajuste Espectral.**



**Figura A.4.23.- Elongación pernos de anclaje 7 Registros, Ajuste Espectral.**

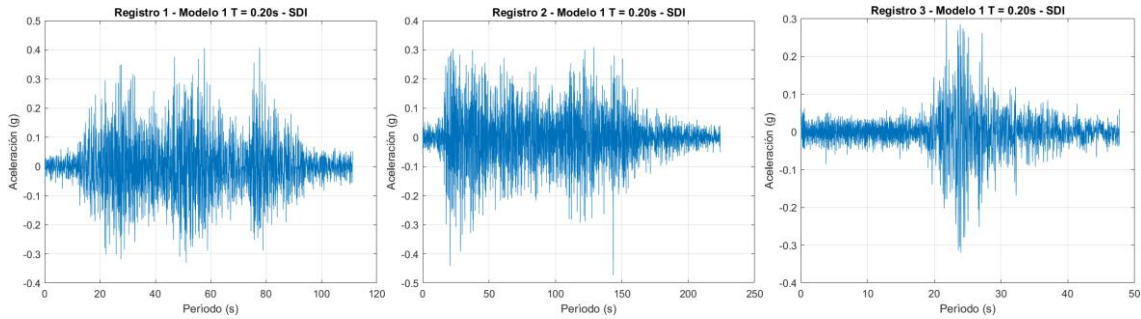


**Figura A.4.24.- Elongación pernos de anclaje 11 Registros, Ajuste Espectral.**

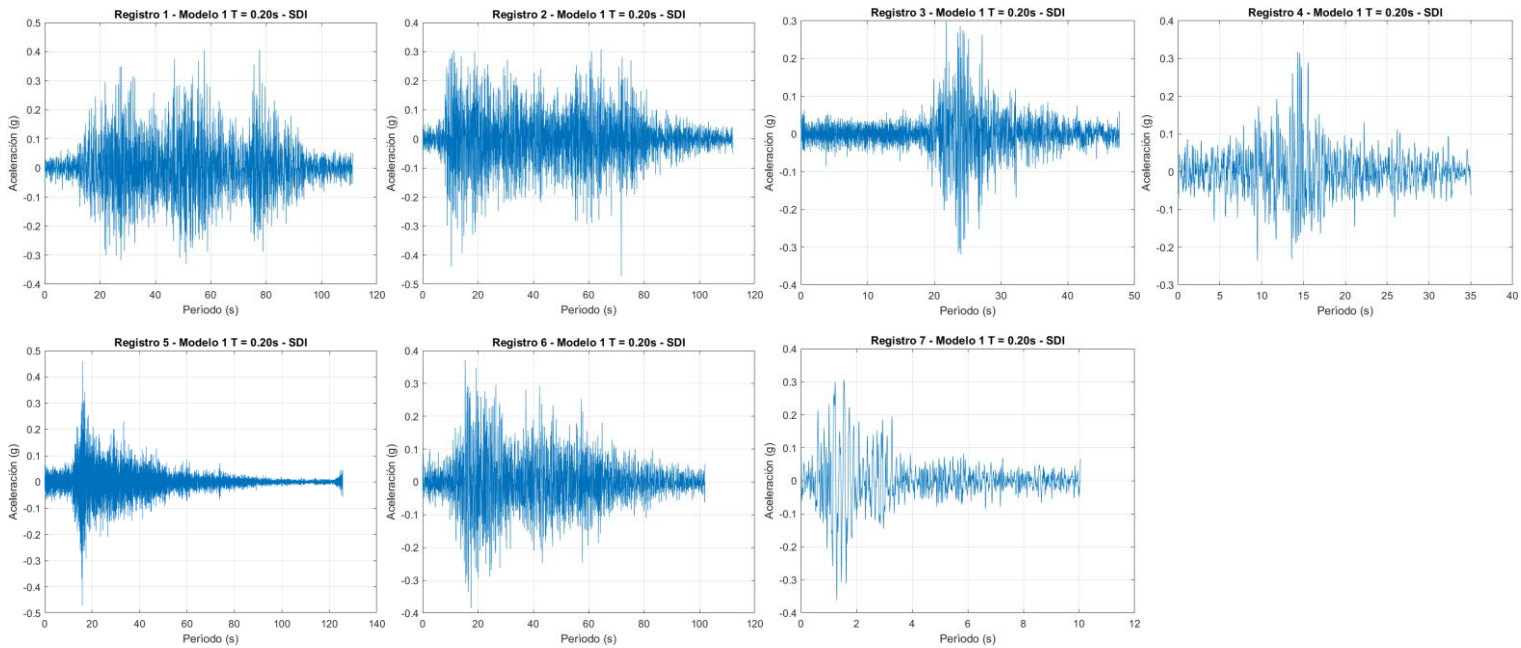
## ANEXO 5.1.- ESPECTRO NCh2369:2023, REGISTROS SEMILLA, 475 AÑOS

### Modelo 1

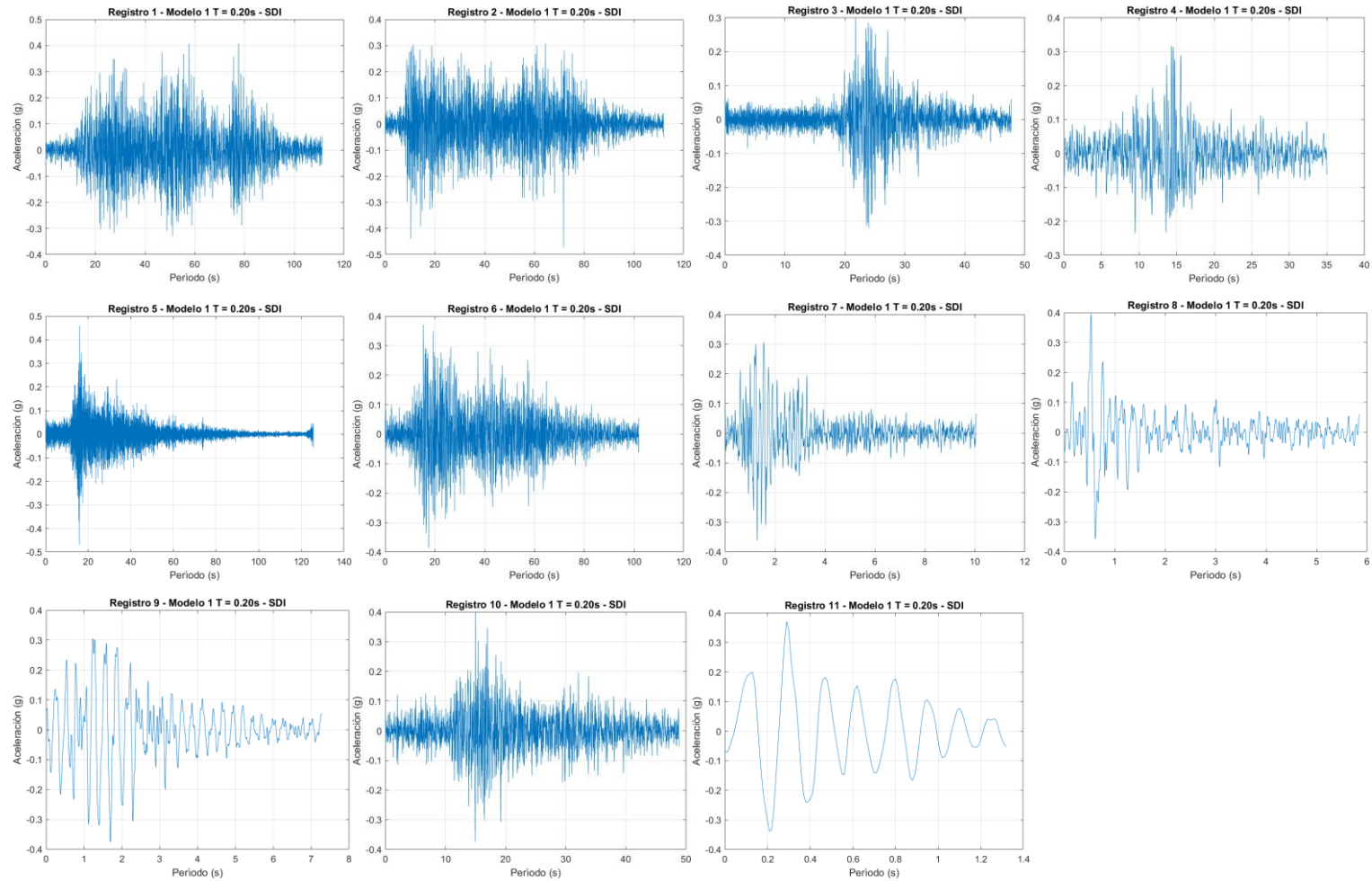
#### tres registros – Espectro NCh2369:2023



#### 7 Registros – Espectro NCh2369:2023

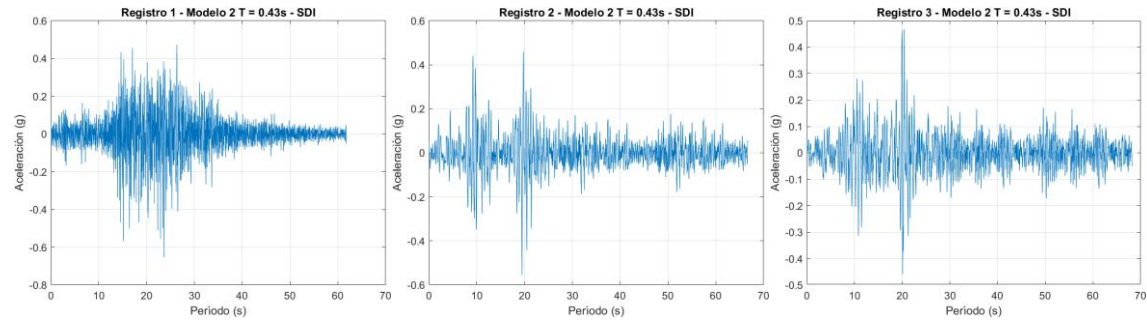


### 11 Registros – Espectro NCh2369:2023

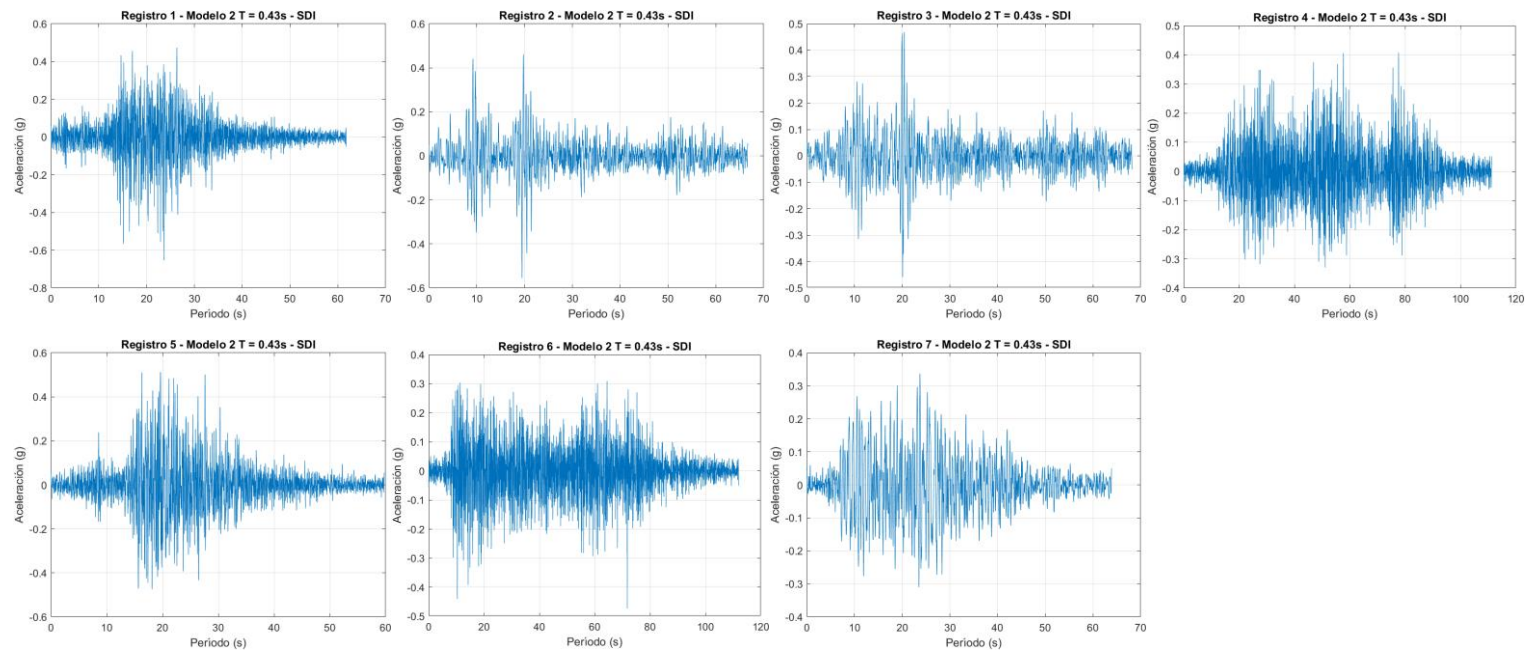


## Modelo 2

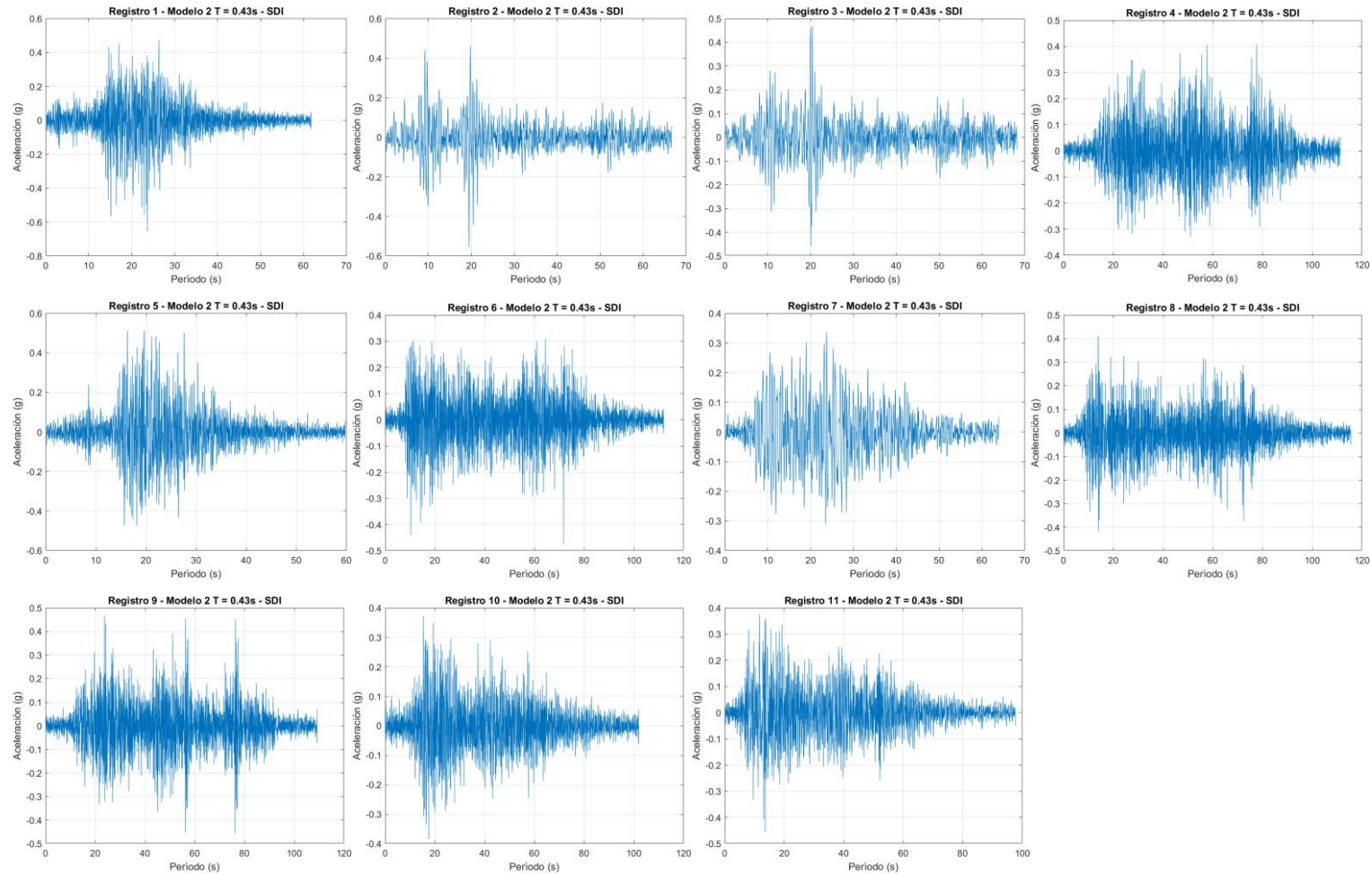
### tres registros – Espectro NCh2369:2023



### 7 Registros – Espectro NCh2369:2023

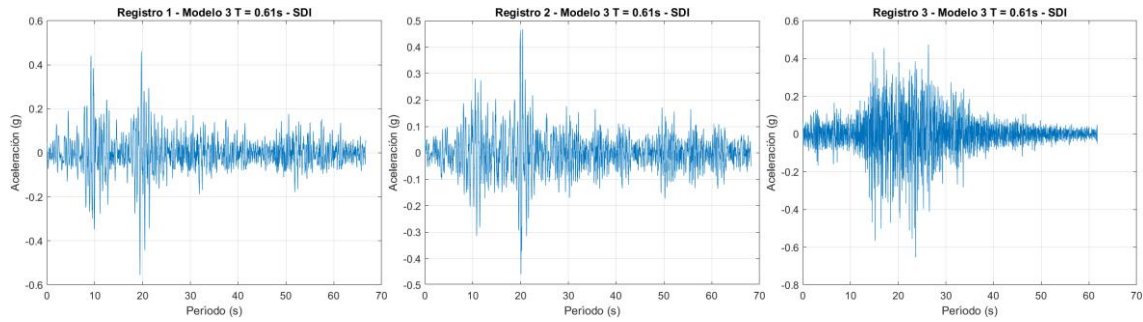


### 11 Registros – Espectro NCh2369:2023

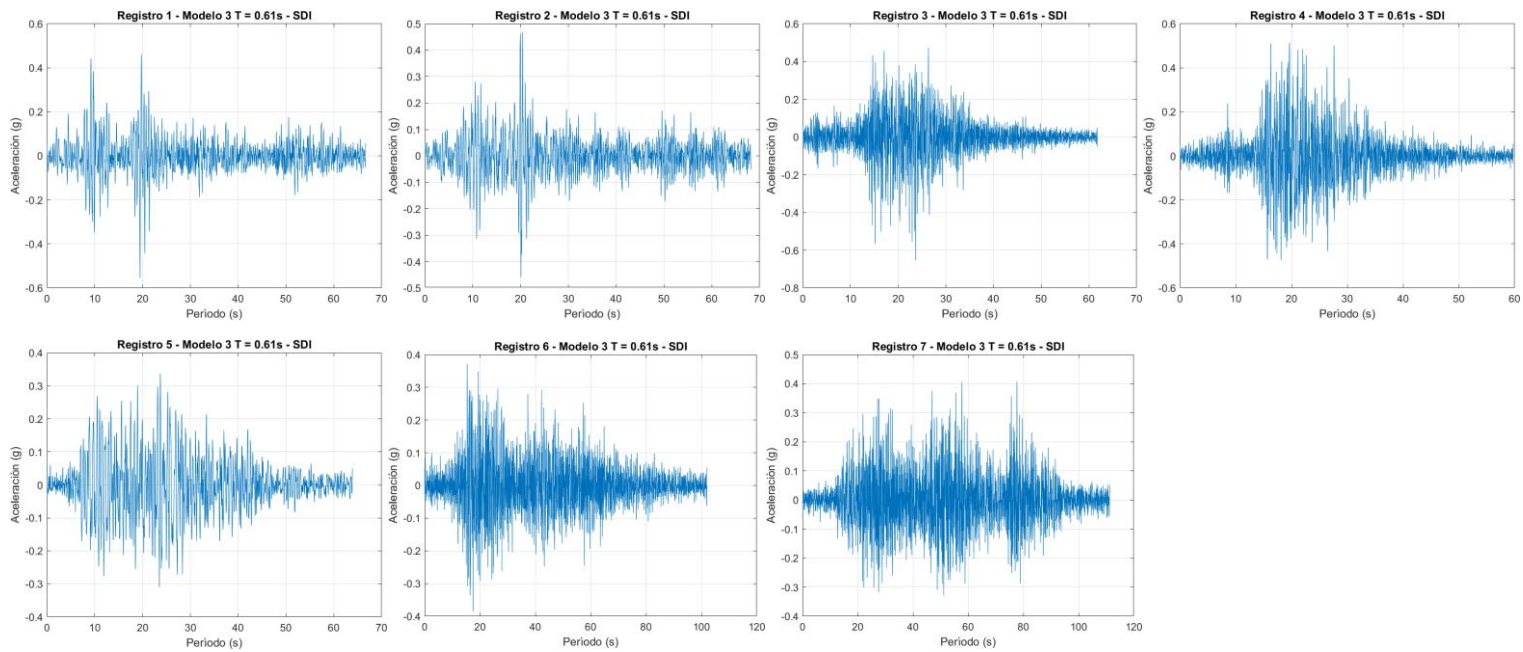


### Modelo 3

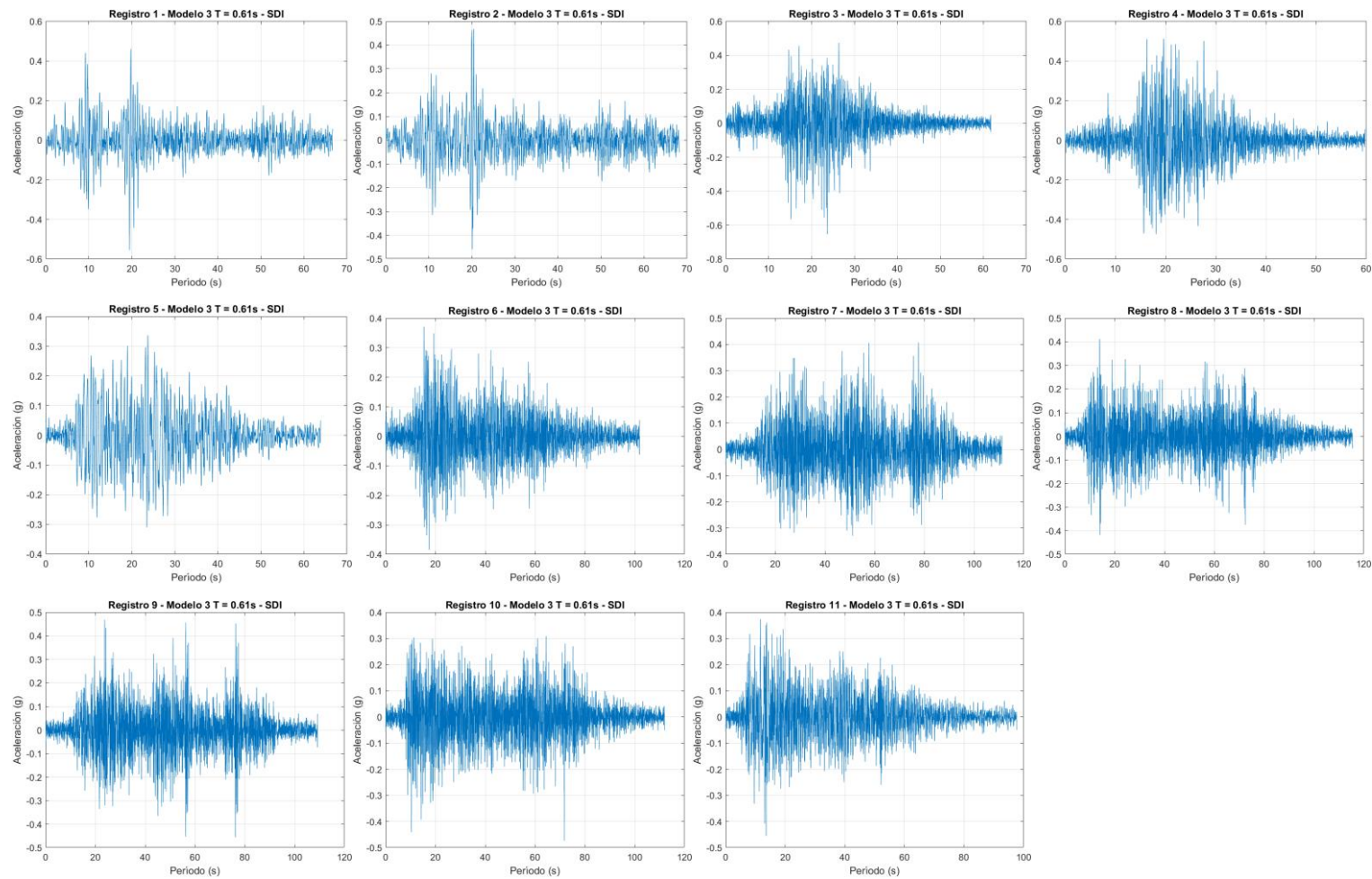
#### tres registros – Espectro NCh2369:2023



### 7 Registros



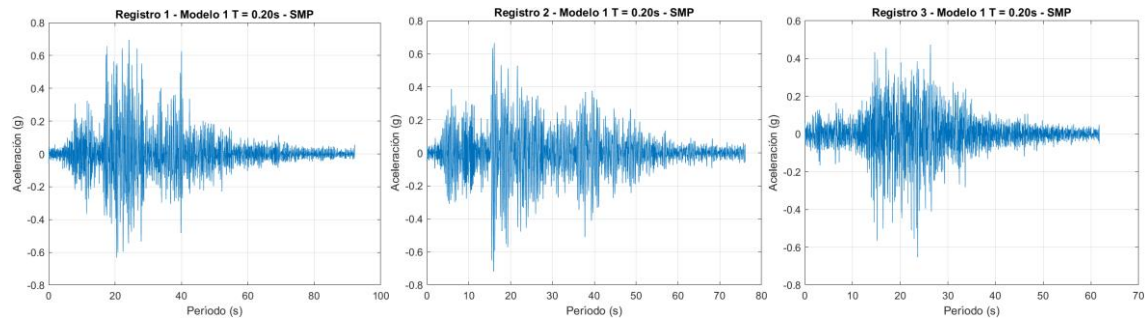
## 11 Registros



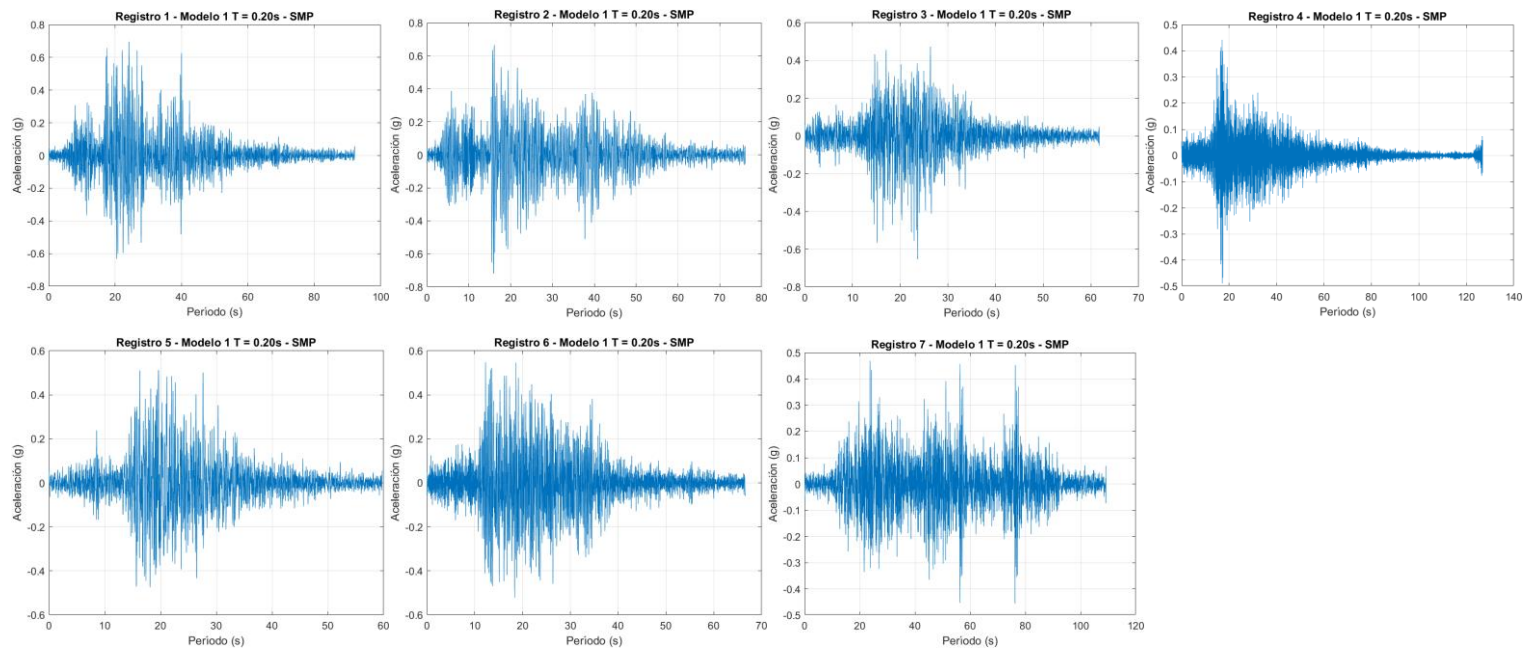
## ANEXO 5.2 ESPECTRO NCh2369:2023, REGISTROS SEMILLA, 975 AÑOS

### Modelo 1

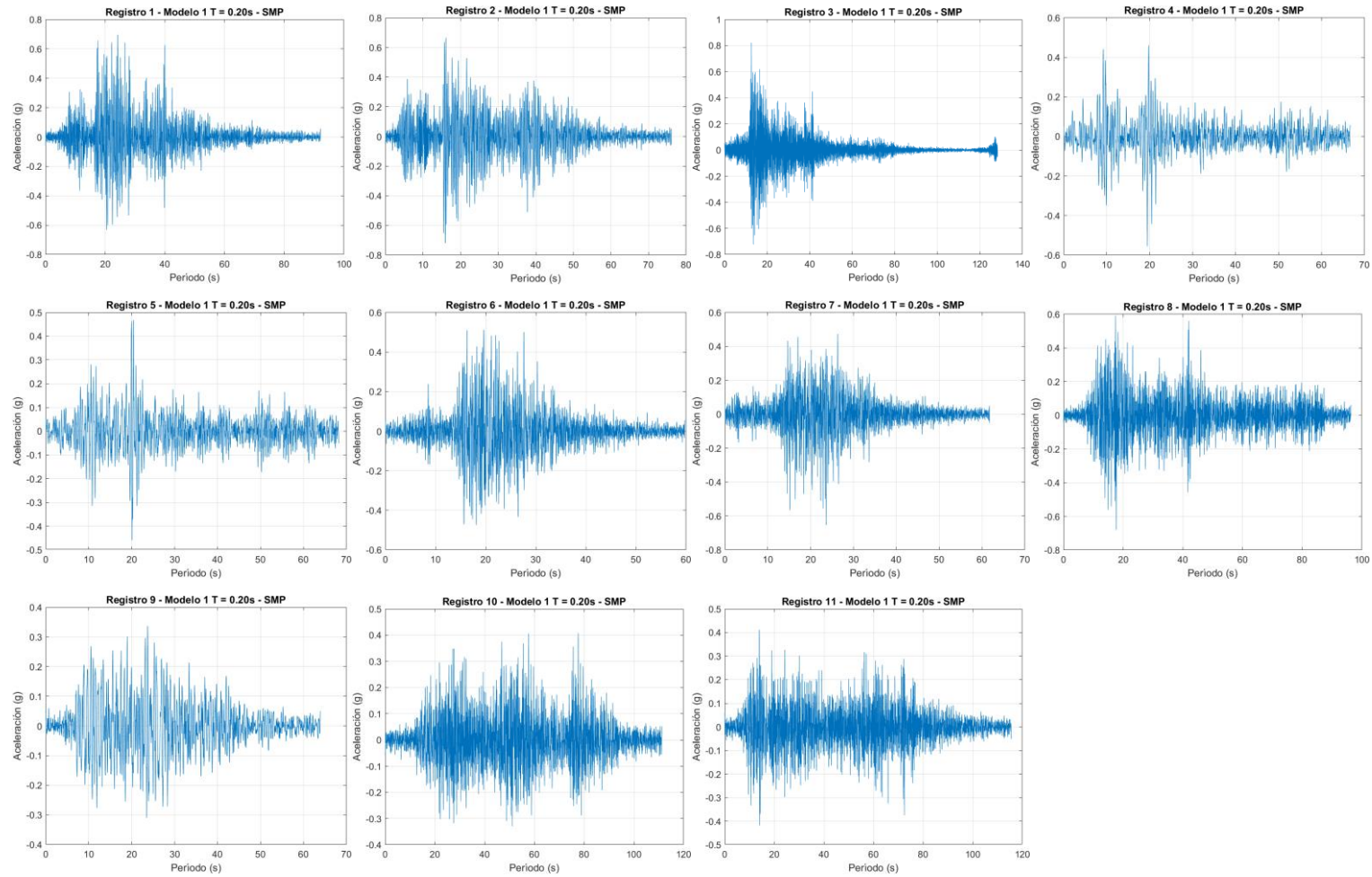
#### tres registros – Espectro NCh2369:2023



#### 7 Registros – Espectro NCh2369:2023

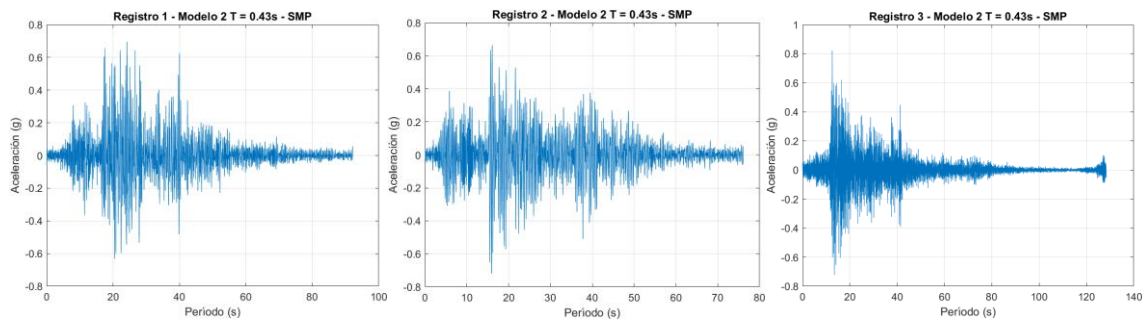


### 11 Registros – Espectro NCh2369:2023

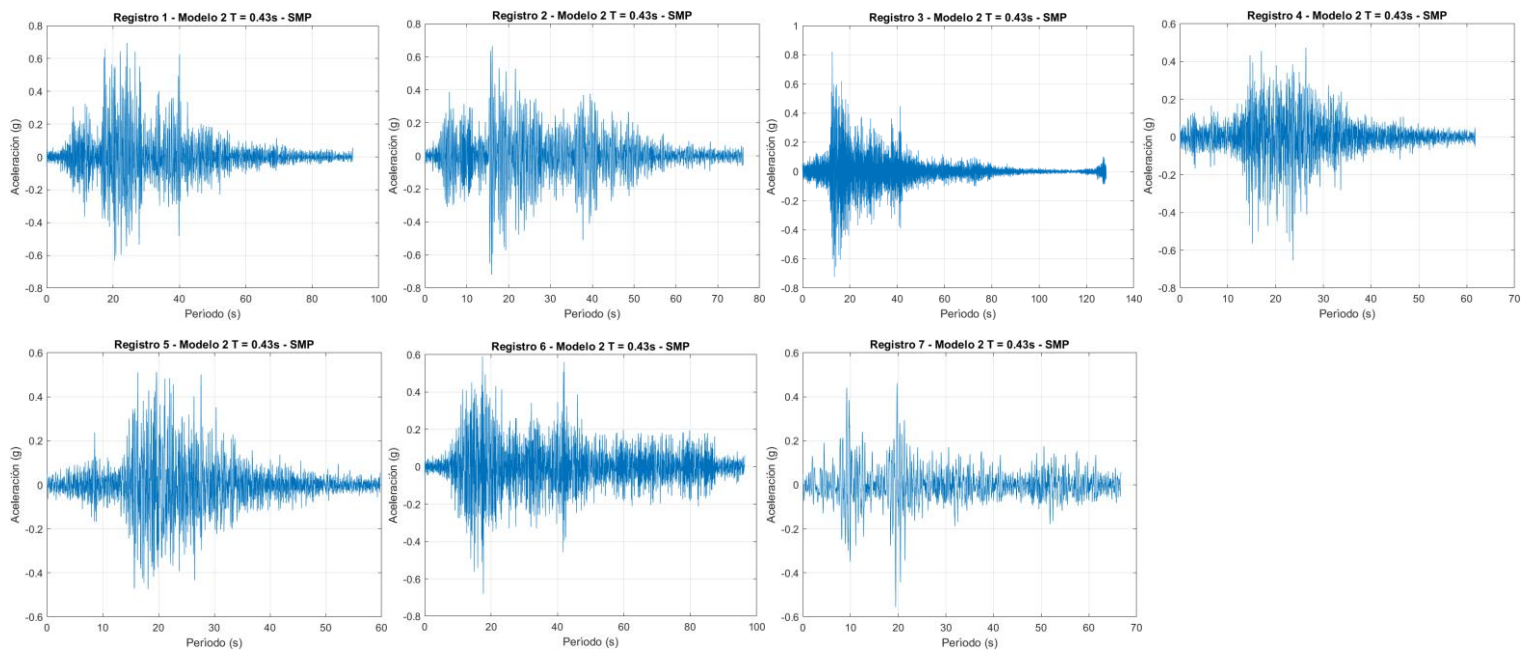


## Modelo 2

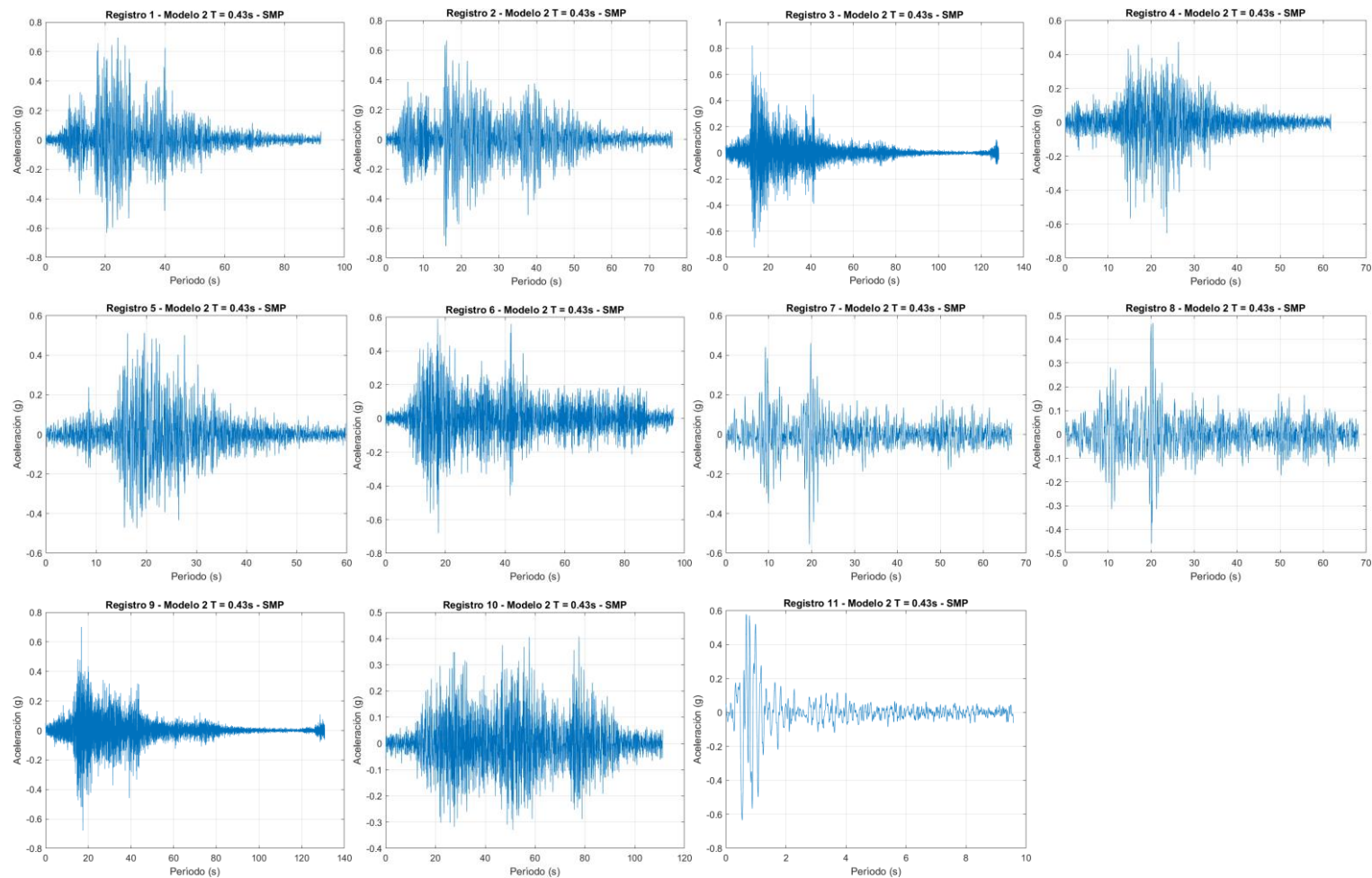
### tres registros – Espectro NCh2369:2023



### 7 Registros – Espectro NCh2369:2023

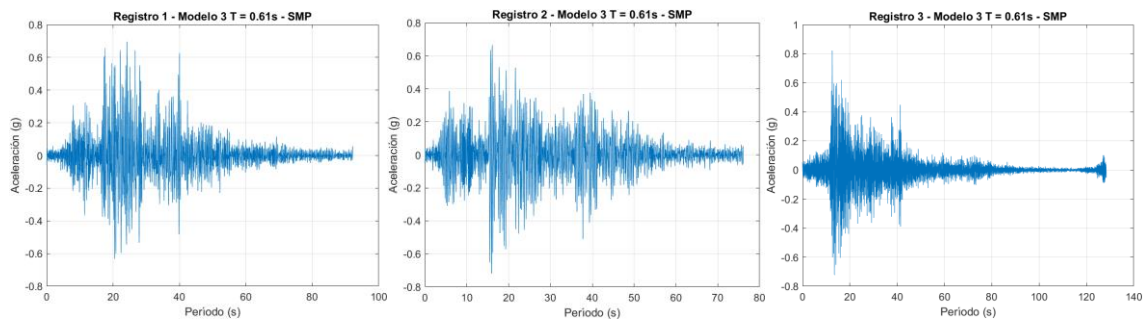


### 11 Registros – Espectro NCh2369:2023

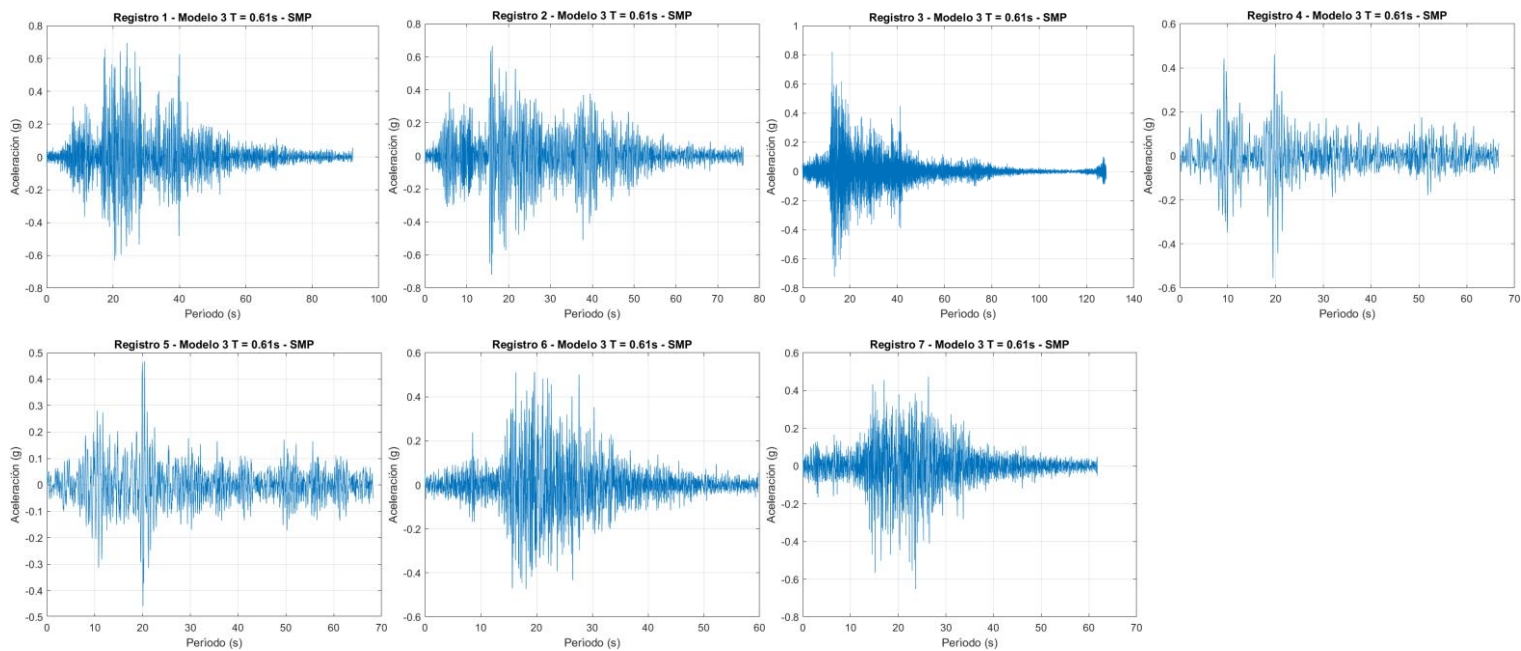


### Modelo 3

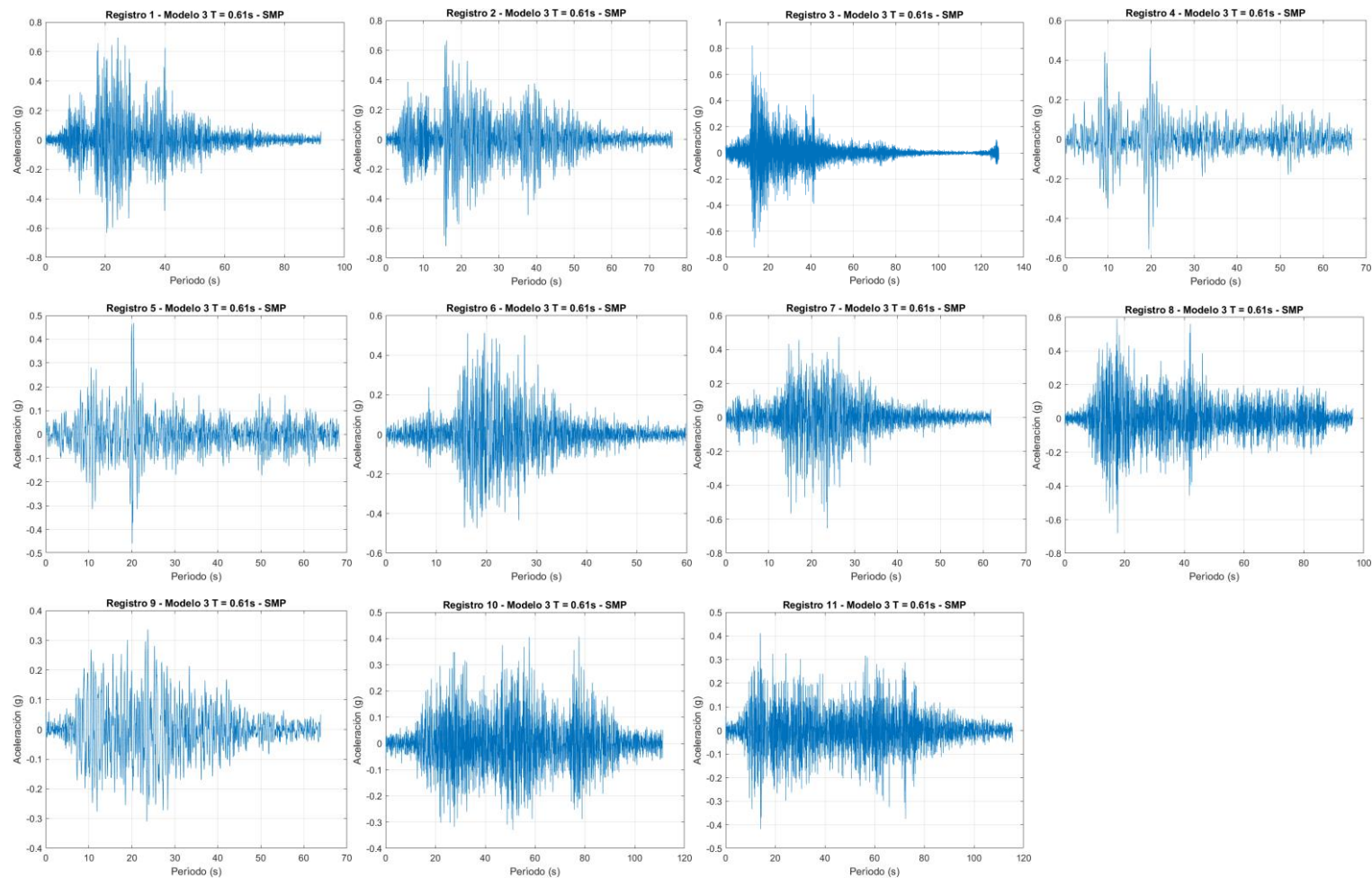
#### tres registros – Espectro NCh2369:2023



#### 7 Registros – Espectro NCh2369:2023



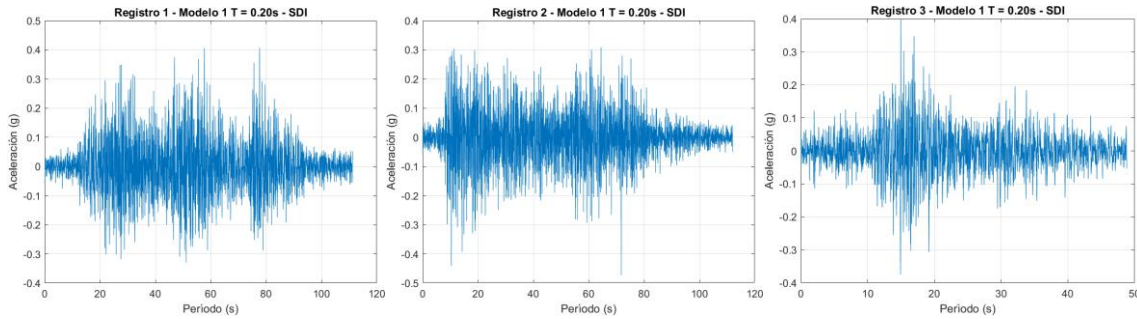
### 11 Registros – Espectro NCh2369:2023



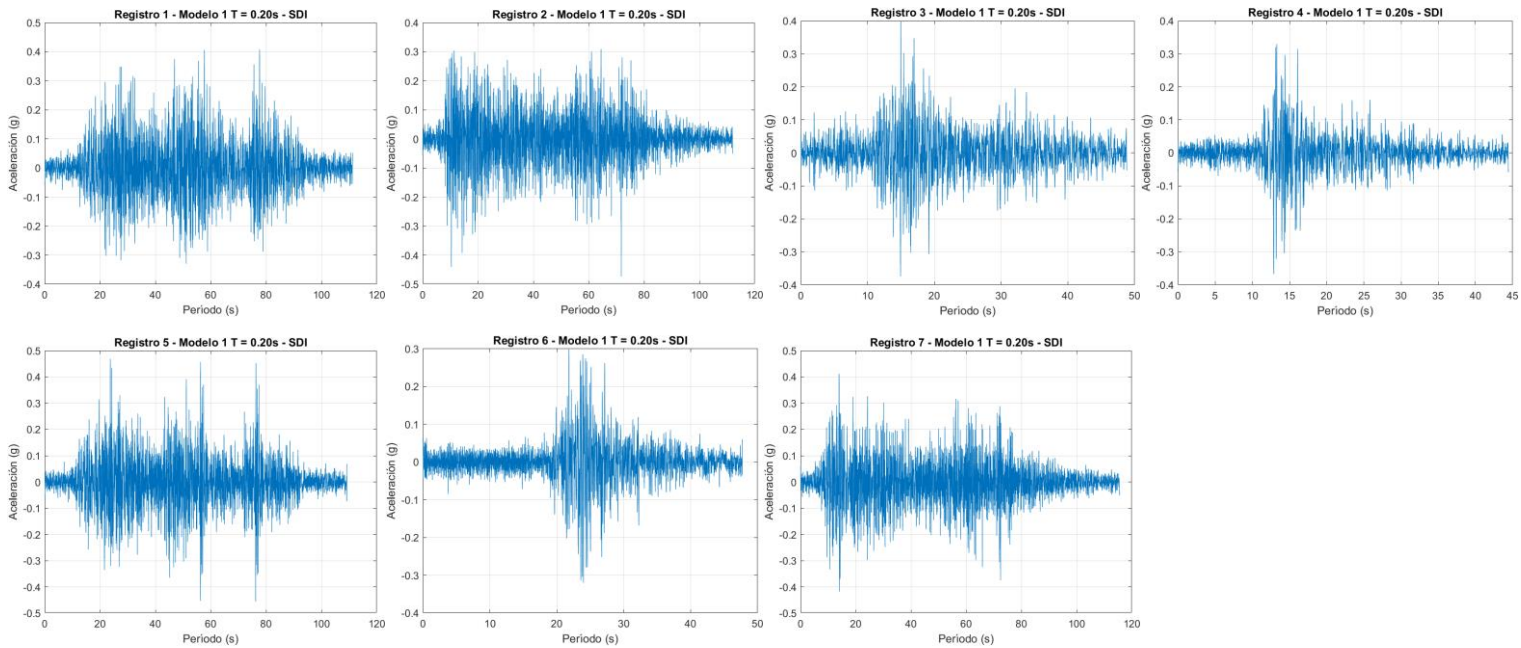
## ANEXO 5.3 ESPECTRO CMS, REGISTROS SEMILLA, 475 AÑOS

### Modelo 1

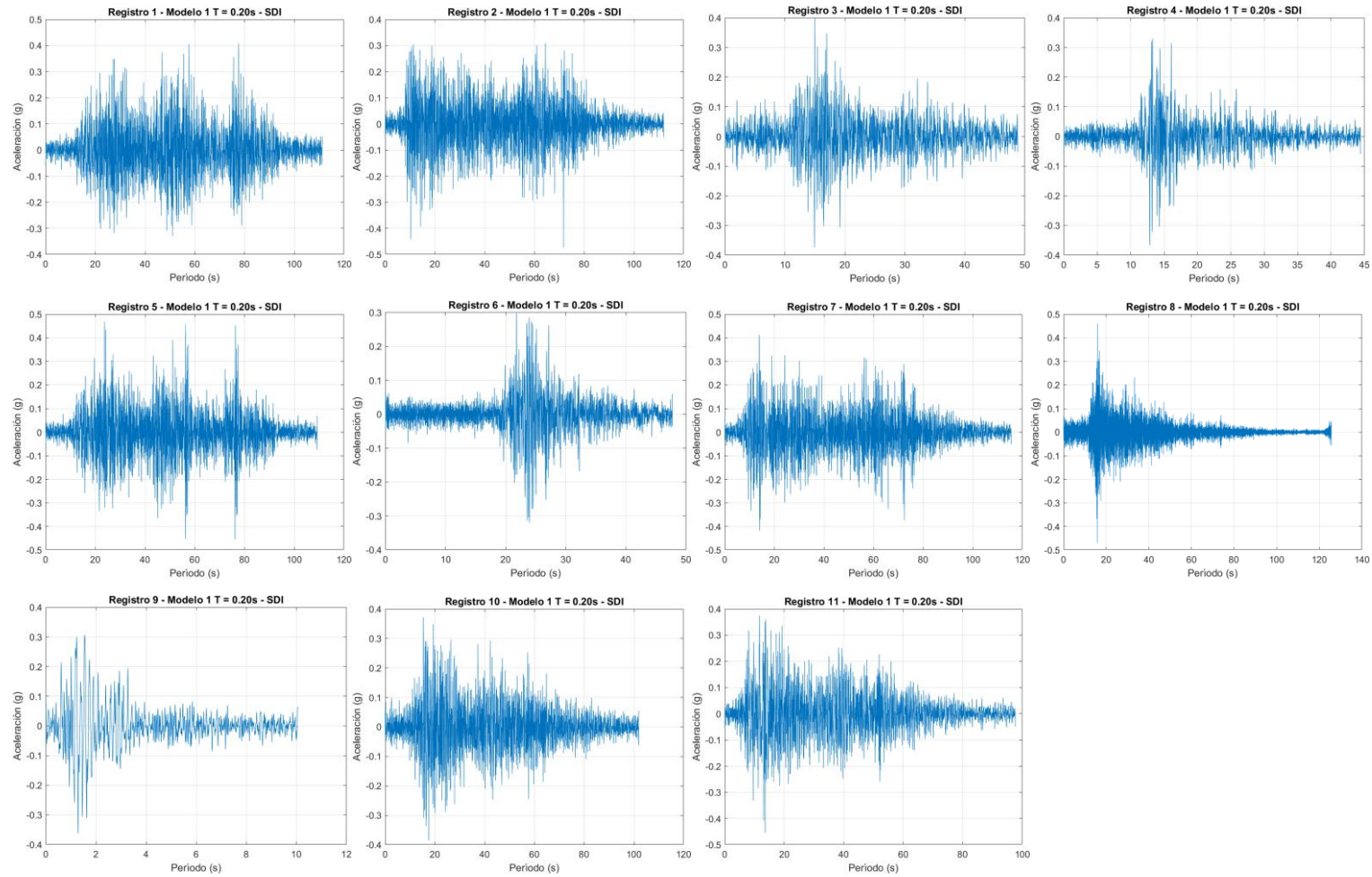
#### tres registros



#### 7 Registros

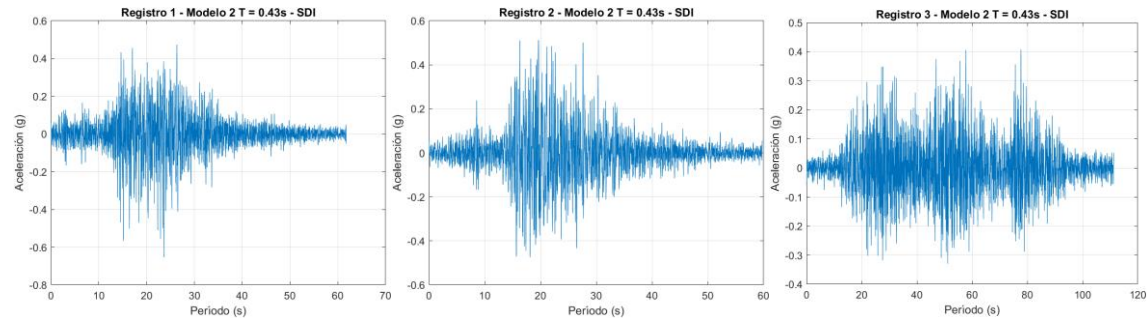


### 11 Registros

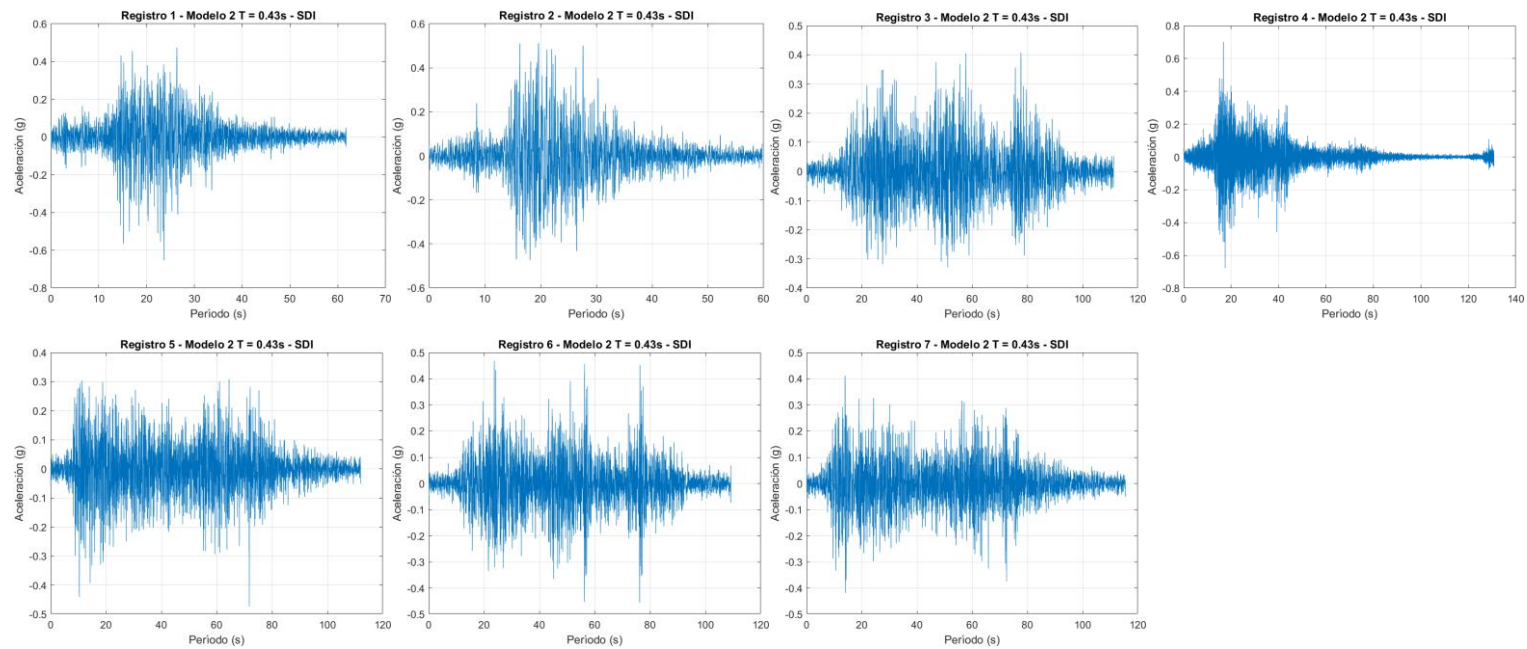


## Modelo 2

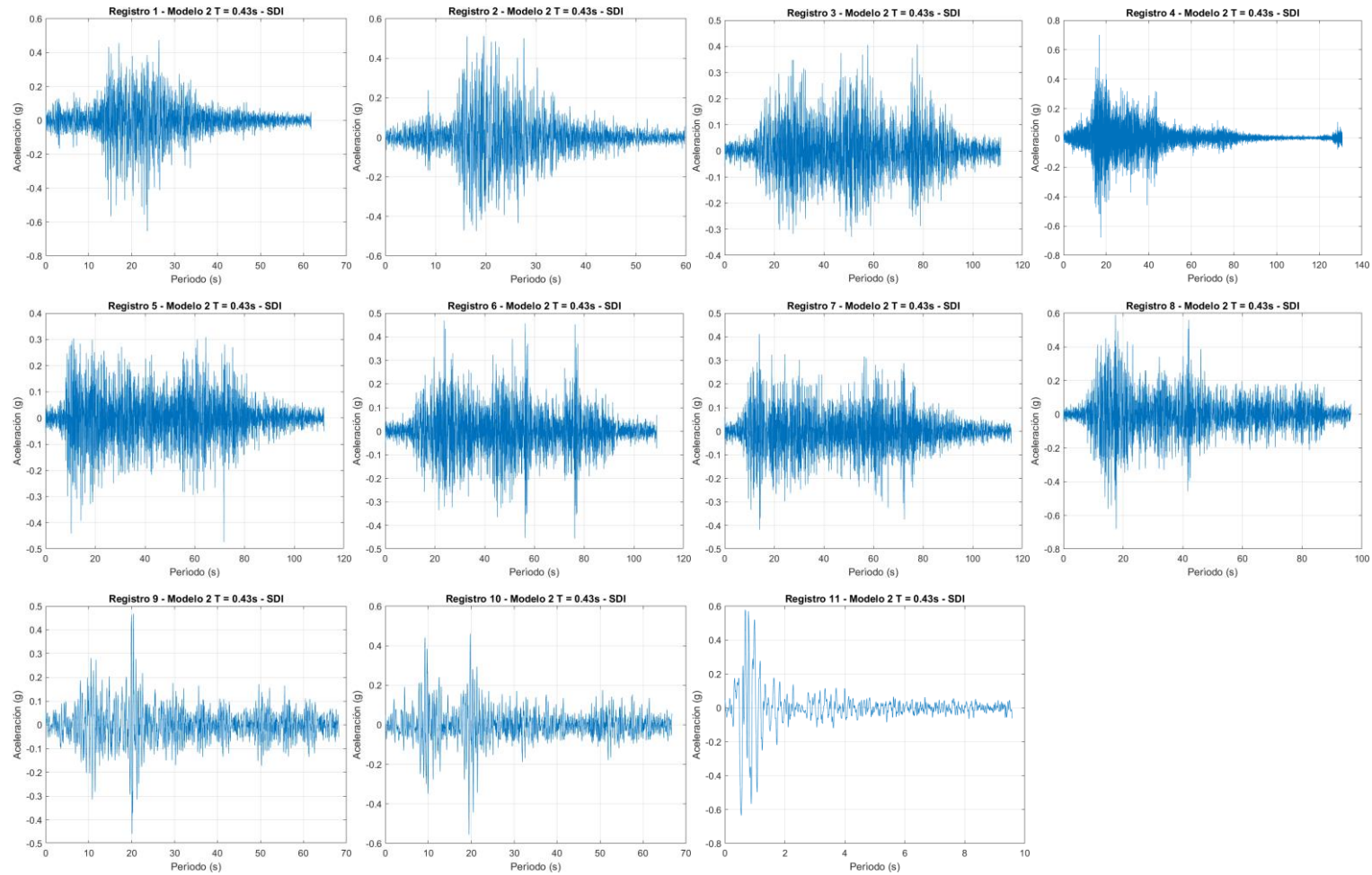
### tres registros



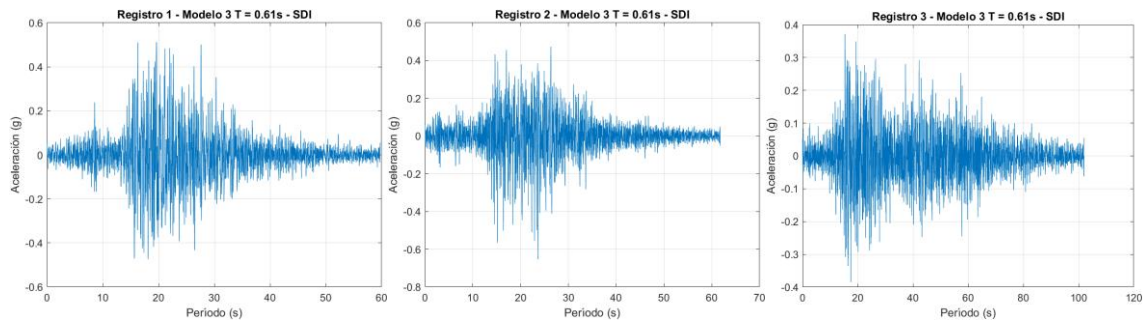
### 7 Registros



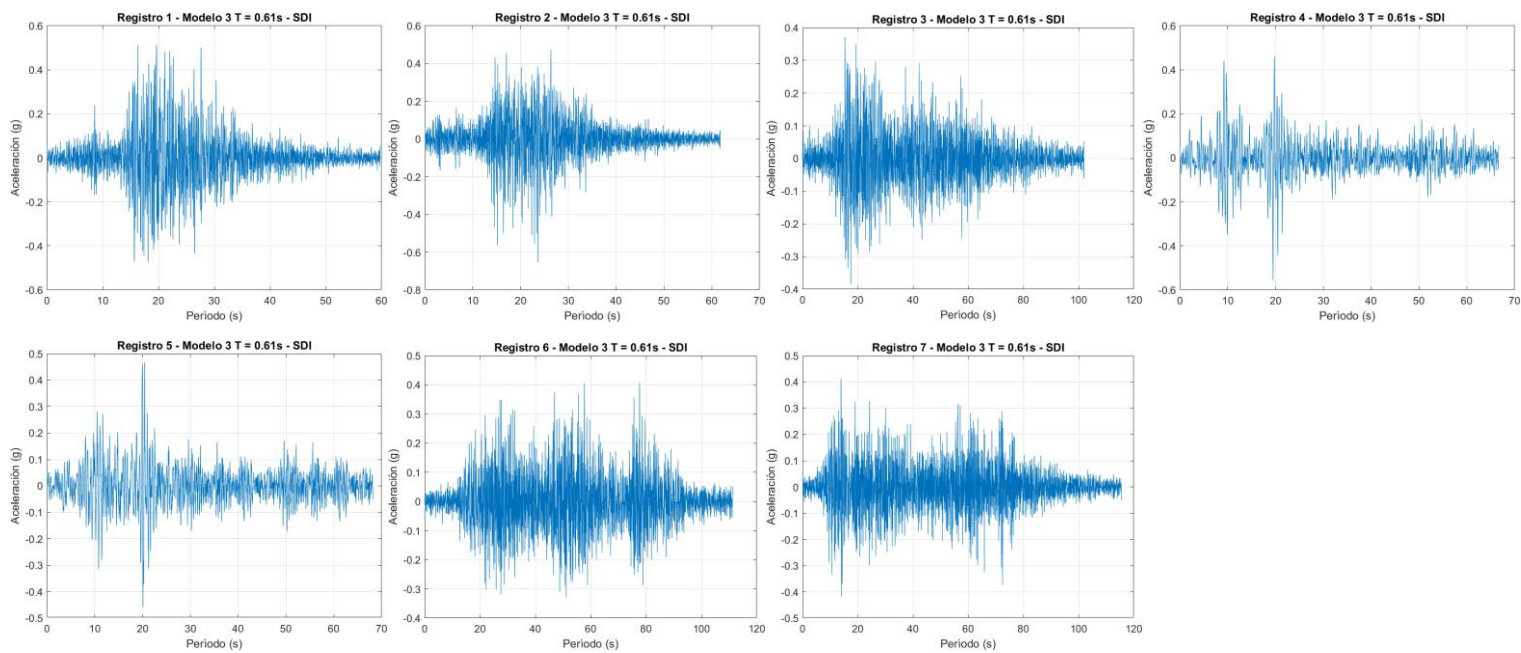
### 11 Registros



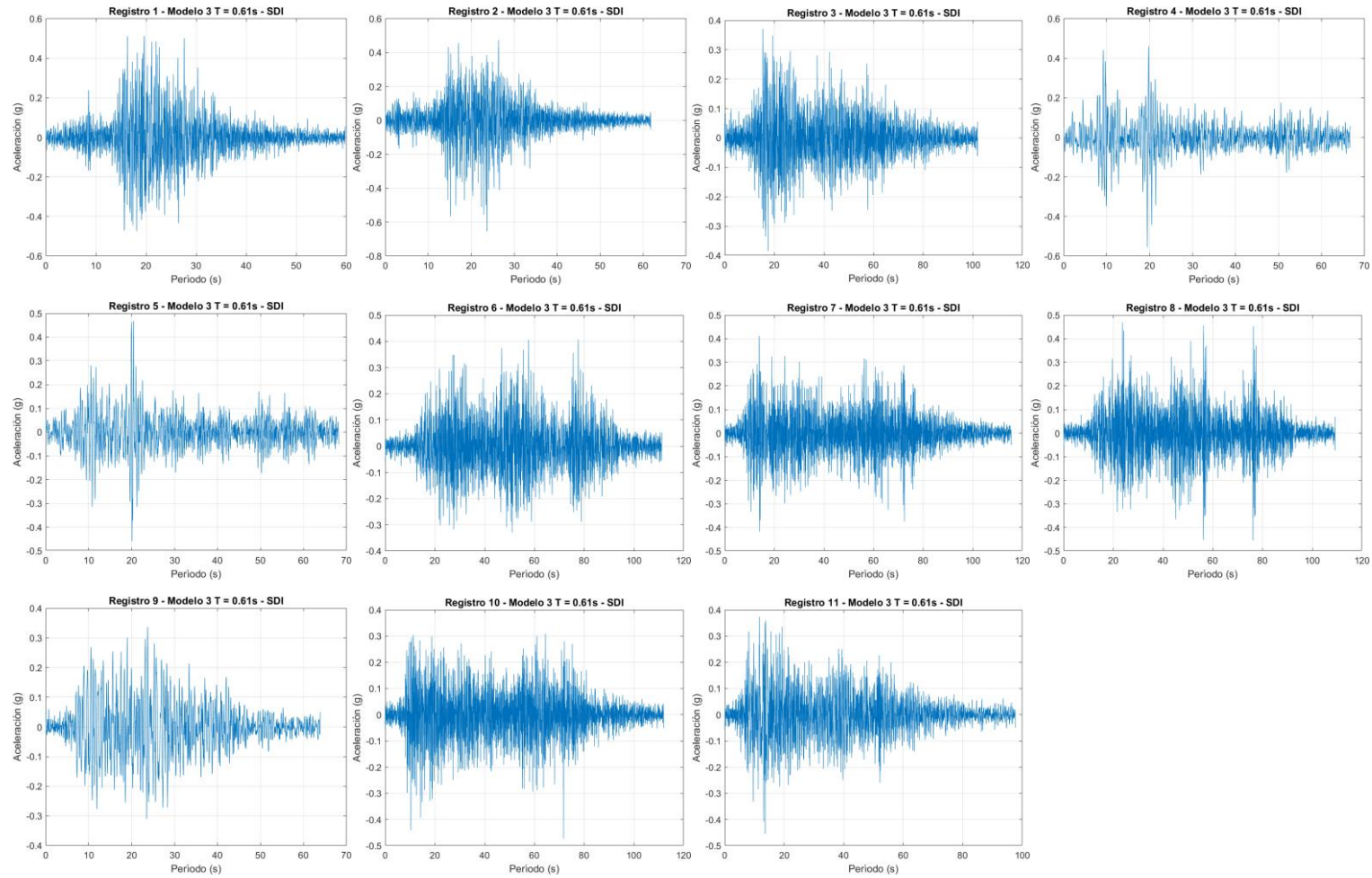
### Modelo 3 tres registros



### 7 Registros



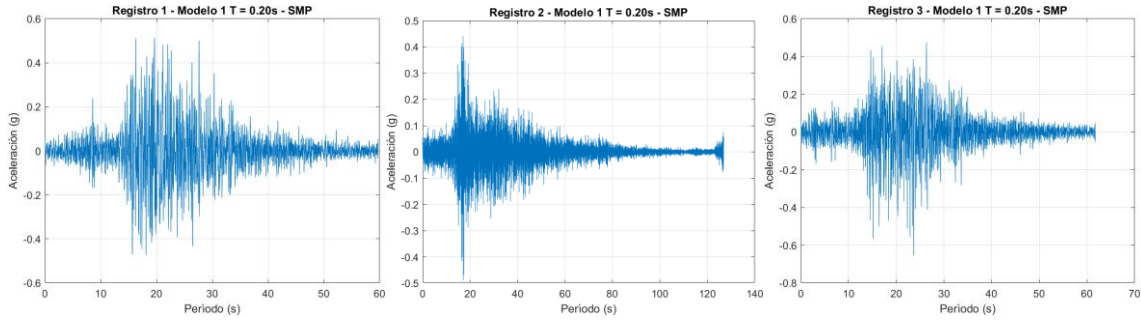
### 11 Registros



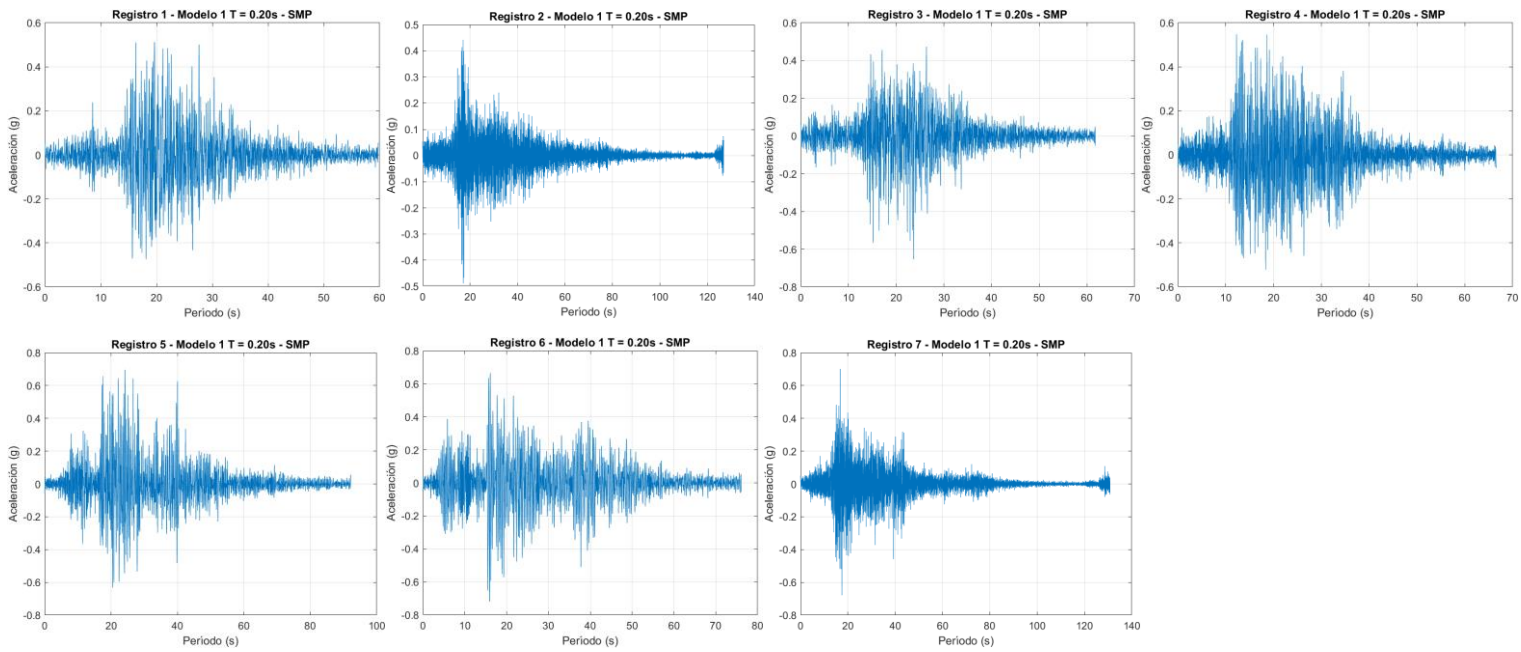
## ANEXO 5.4 ESPECTRO CMS, REGISTROS SEMILLA, 975 AÑOS

### Modelo 1

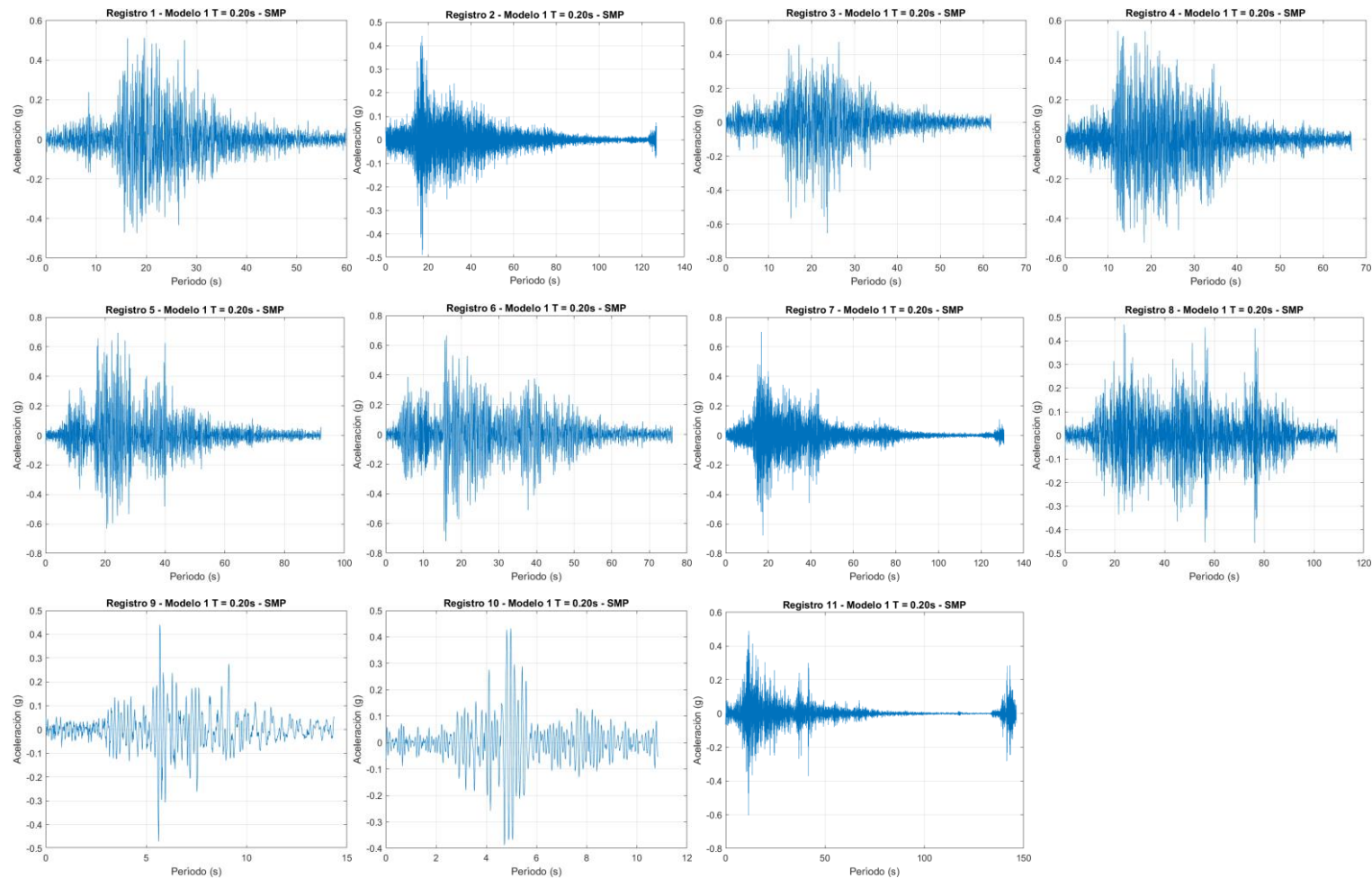
#### tres registros



#### 7 Registros

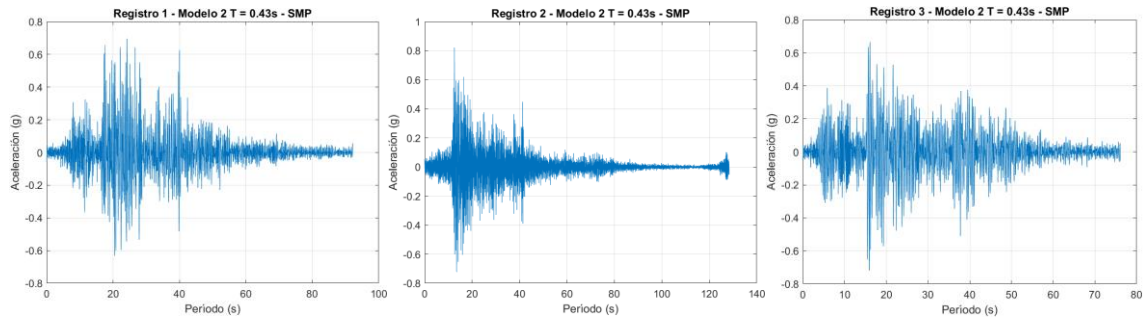


### 11 Registros

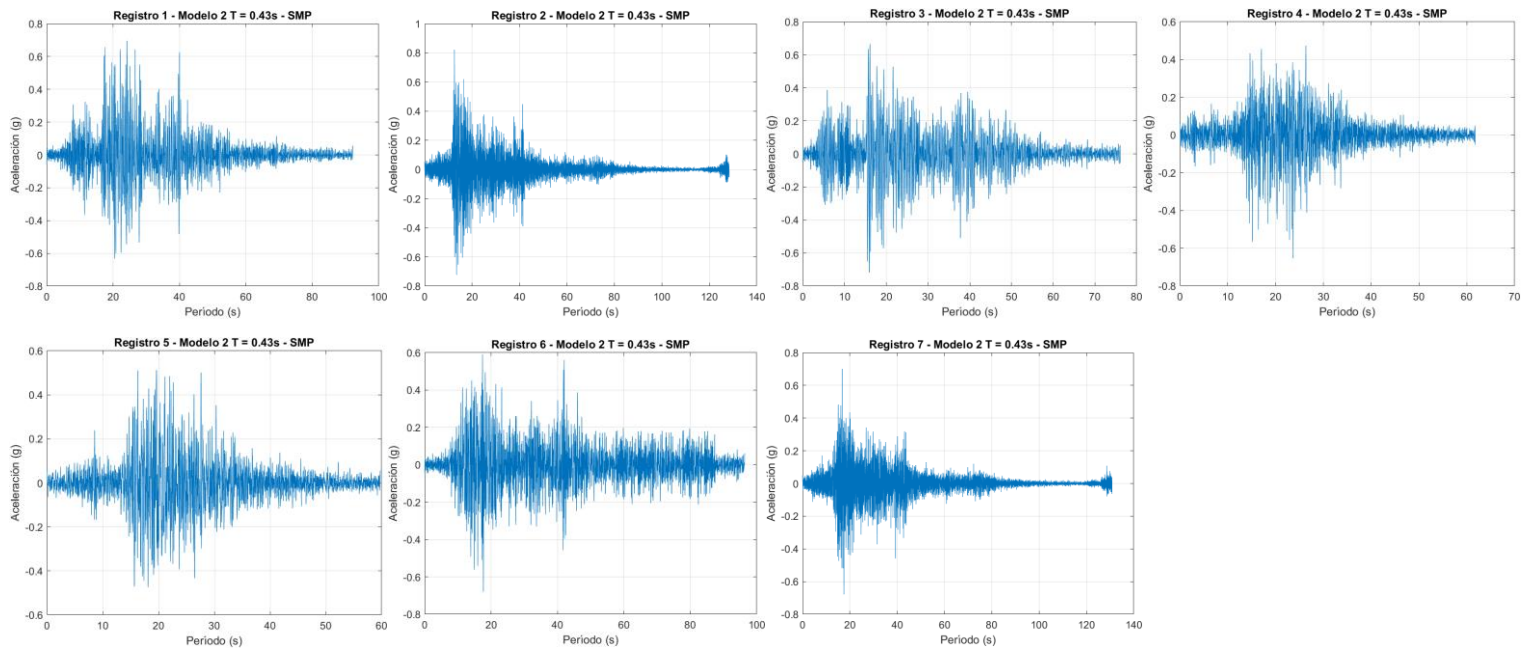


## Modelo 2

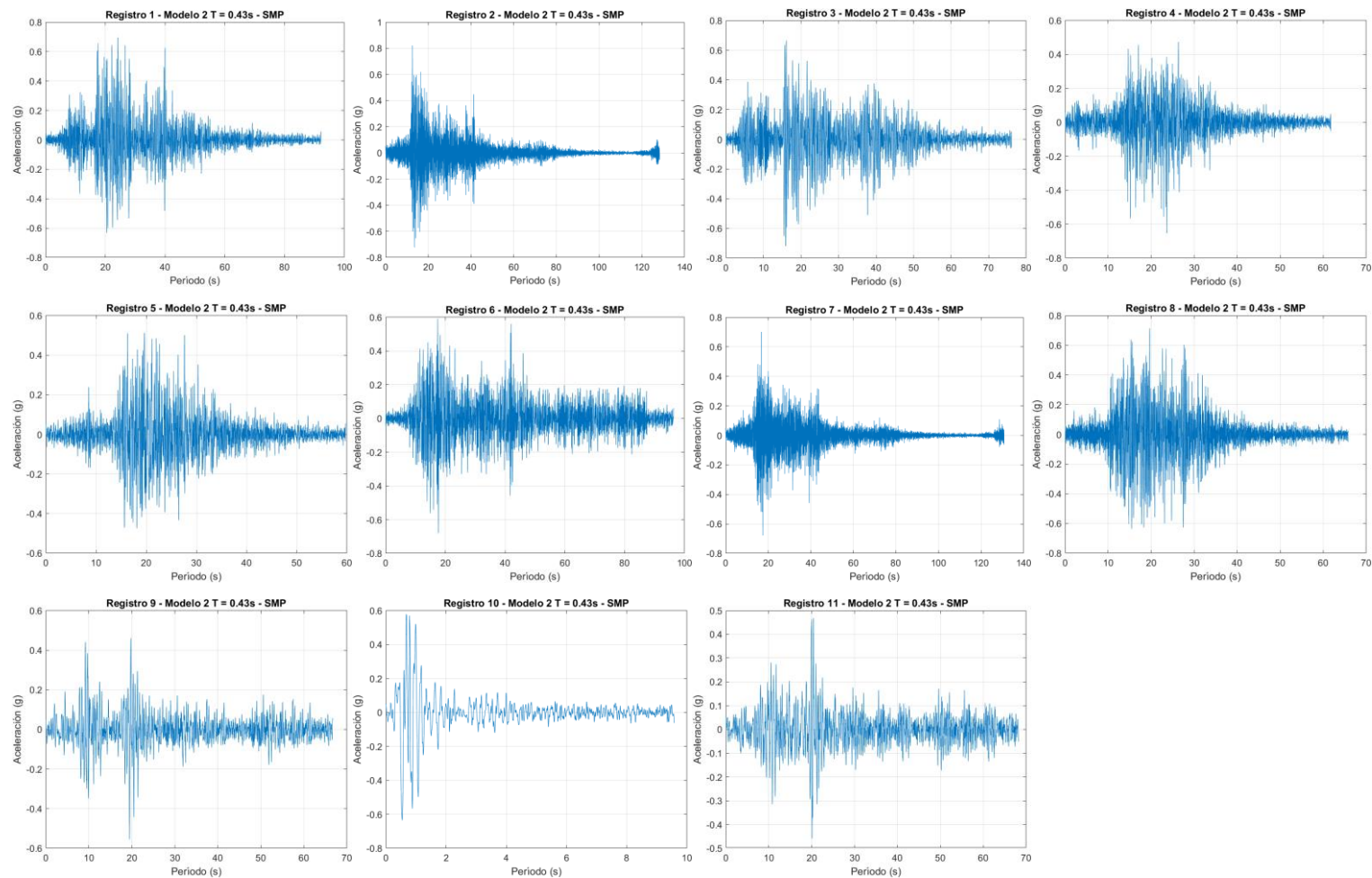
### tres registros



### 7 Registros

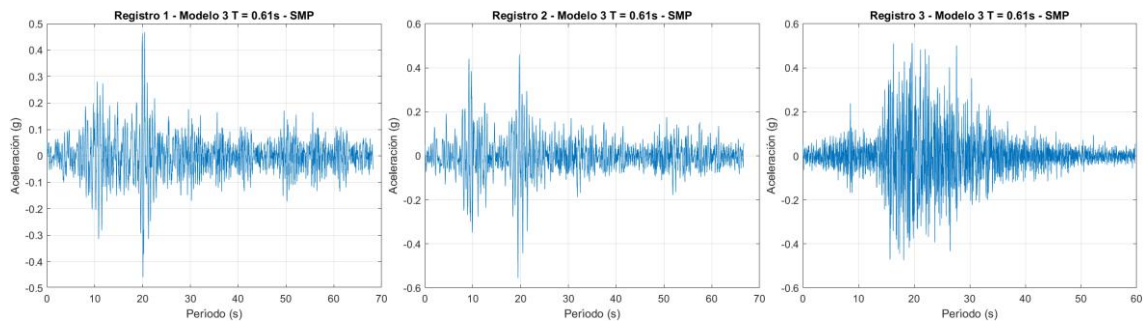


### 11 Registros

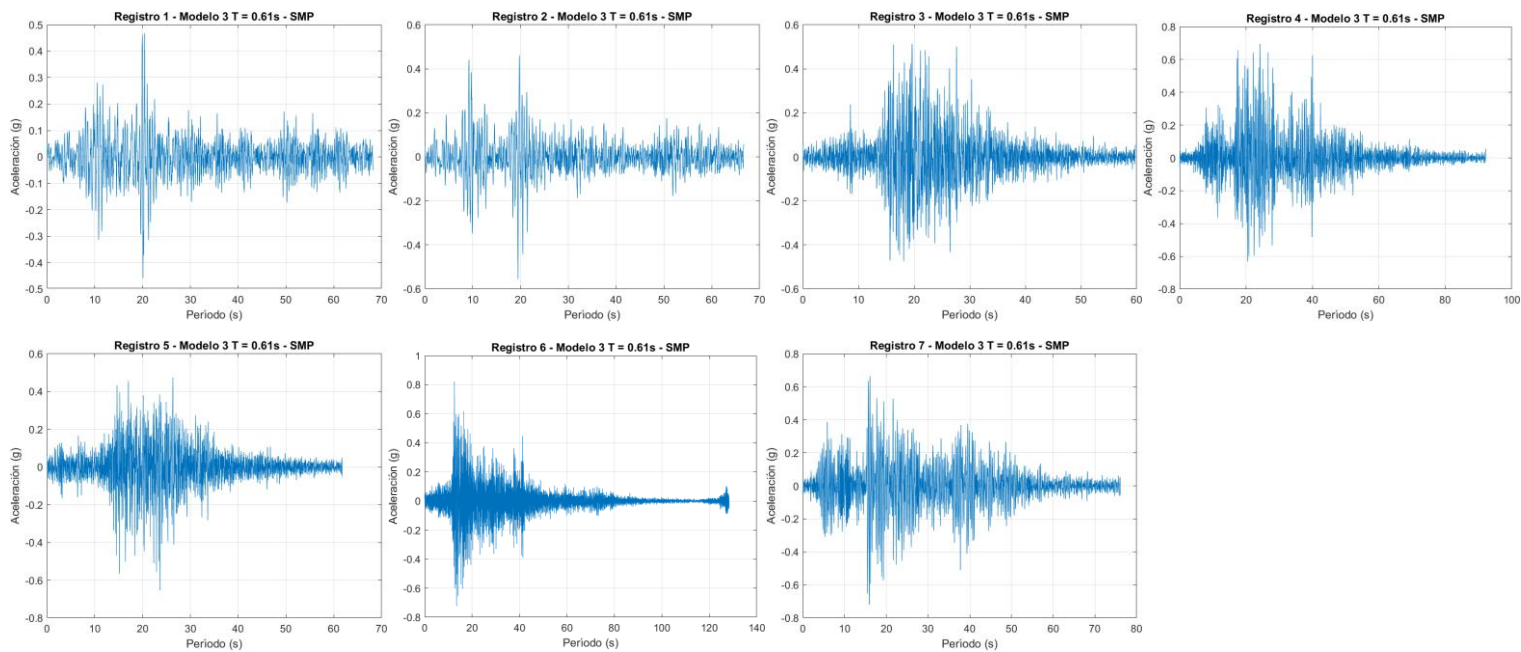


### Modelo 3

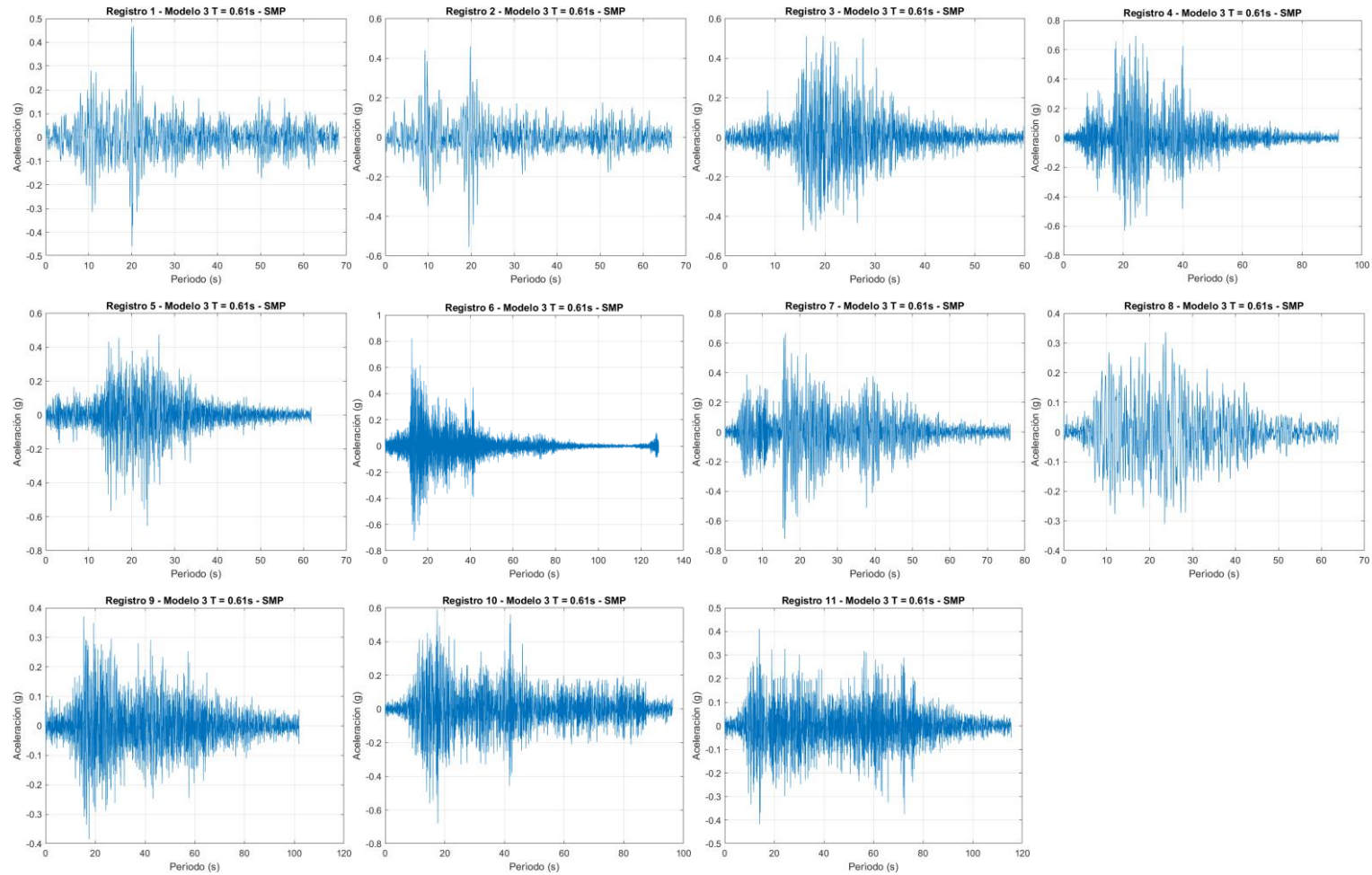
#### tres registros



#### 7 Registros



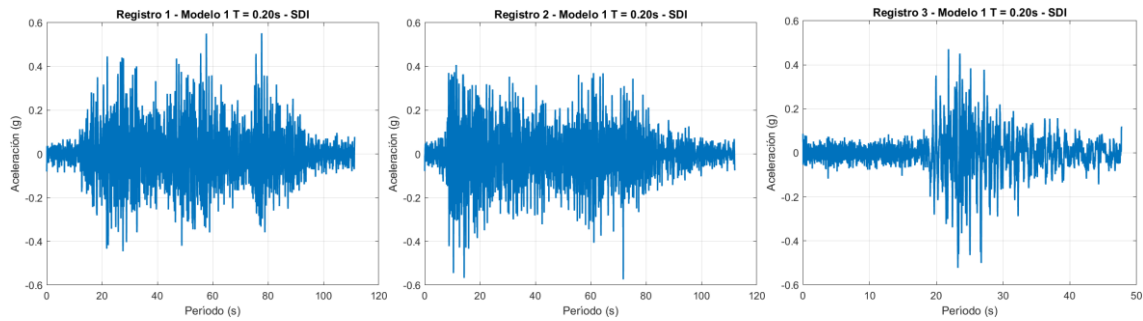
### 11 Registros



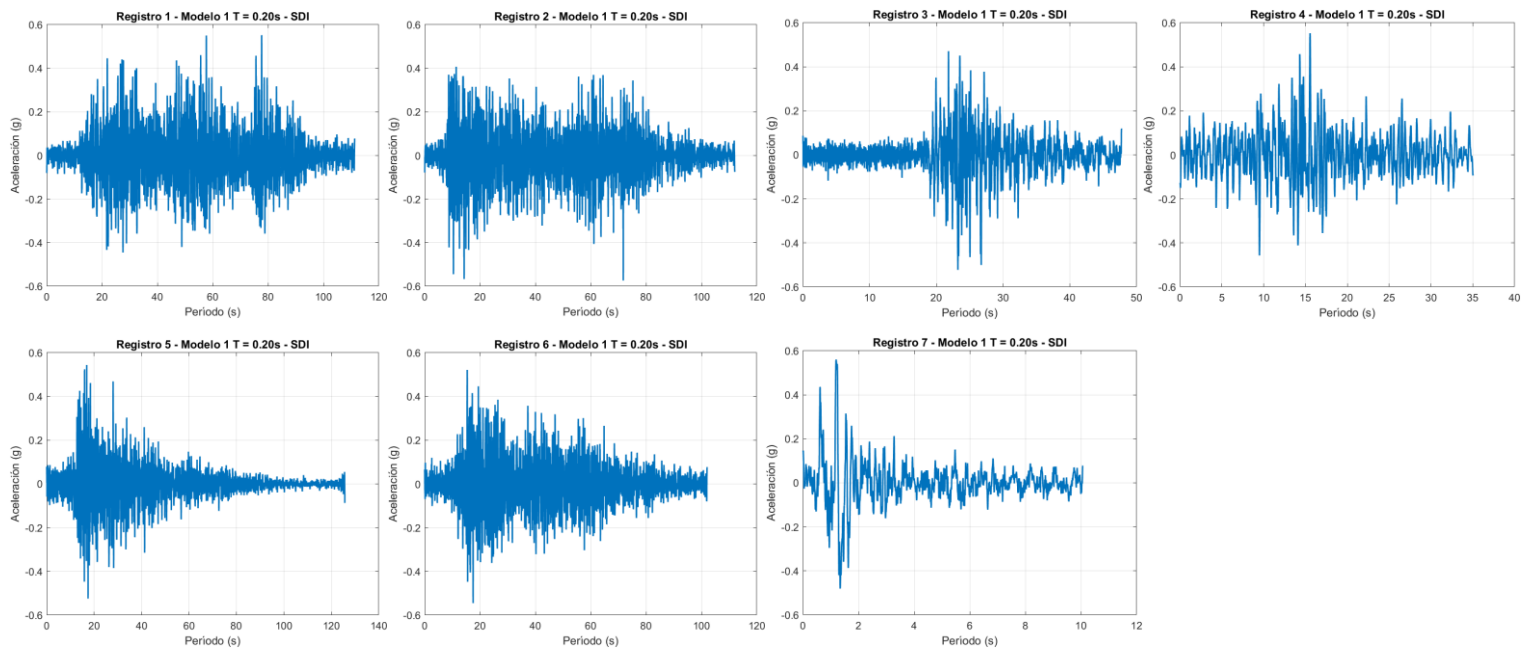
## ANEXO 5.5 Registros Ajuste Espectral Espectro NCh2369:2023 – 475 años

### Modelo 1 – T = 0.20s

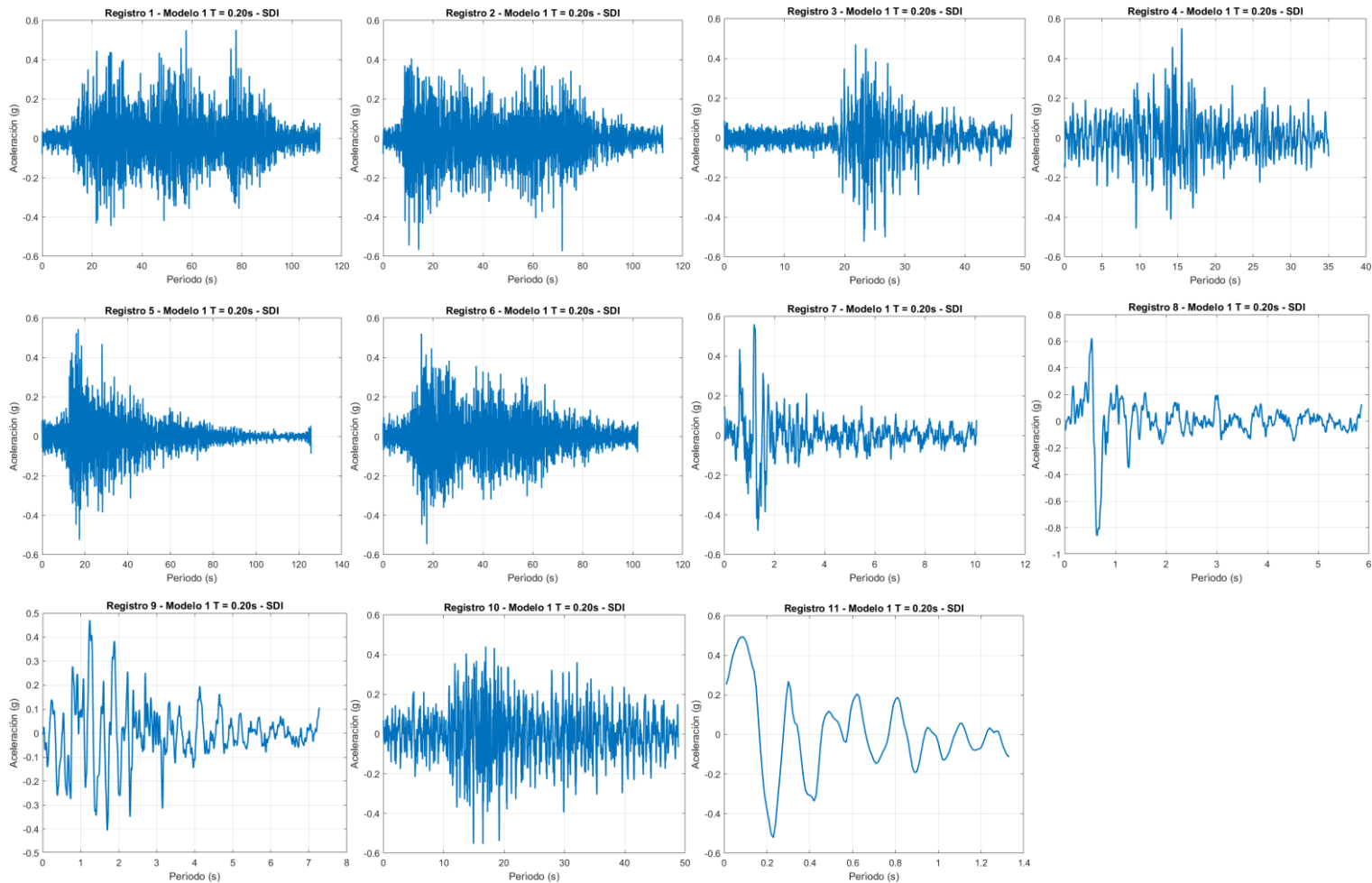
#### tres registros



#### 7 Registros

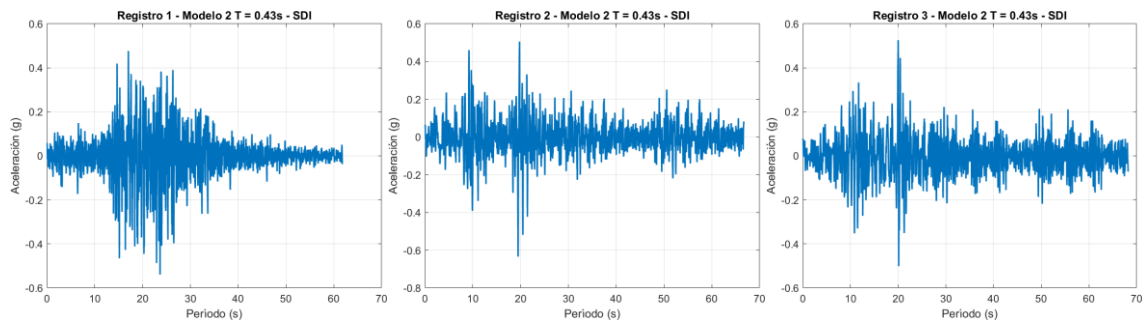


### 11 Registros

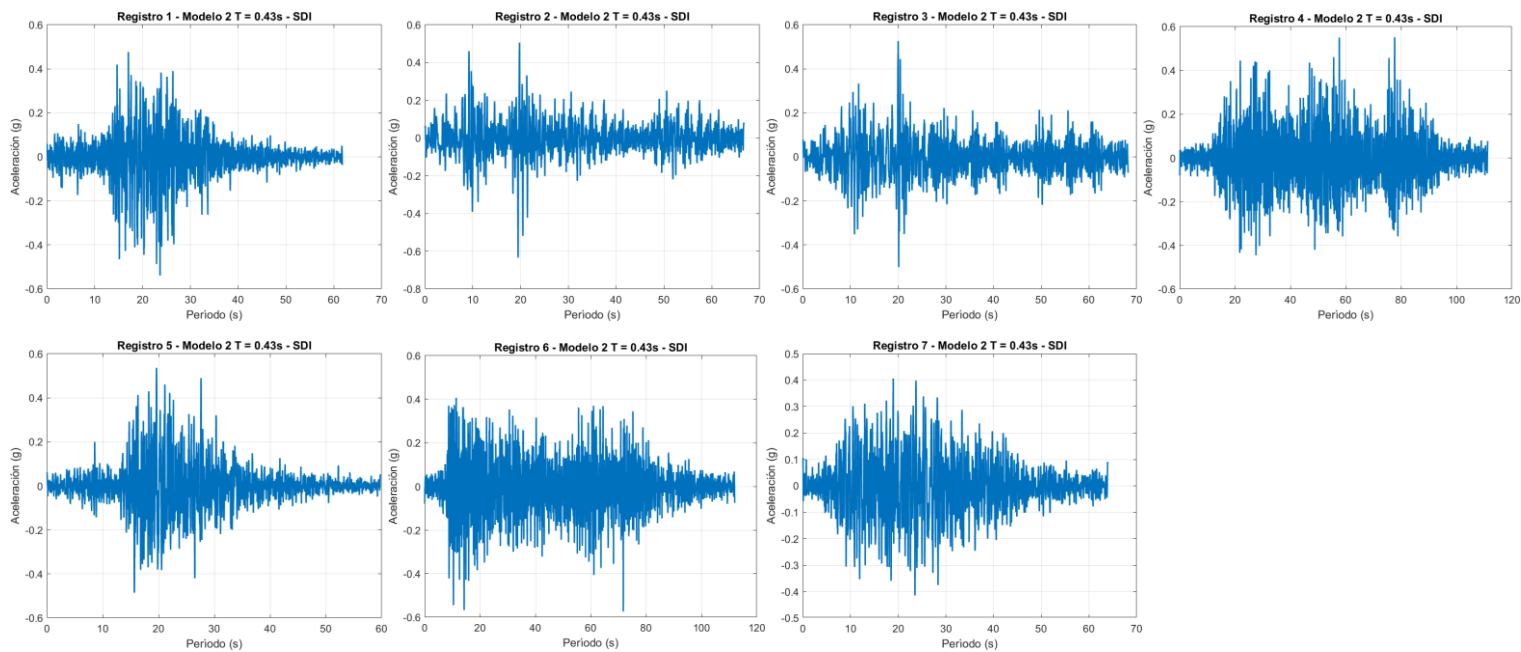


## Modelo 2

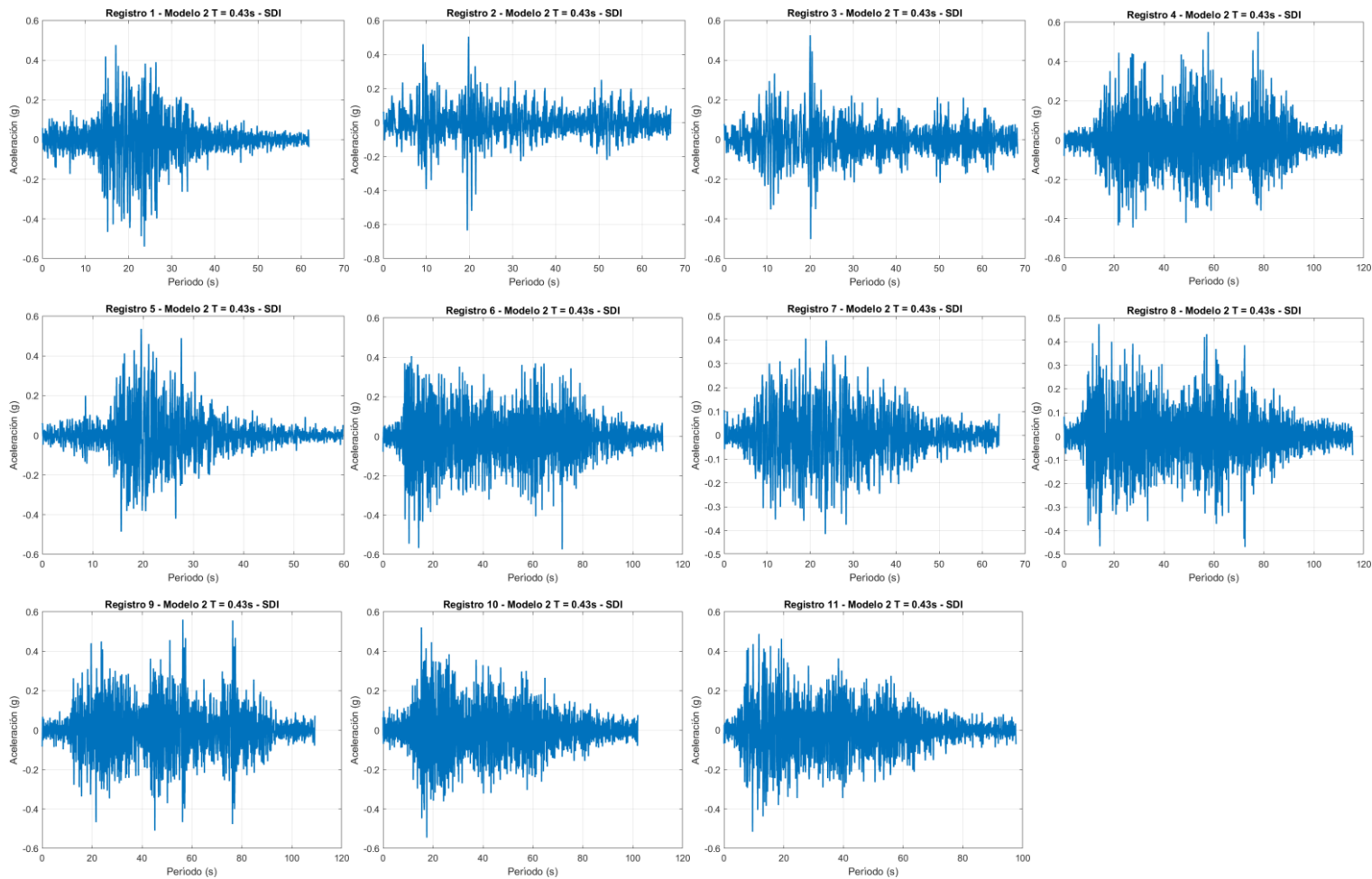
### tres registros



### 7 Registros

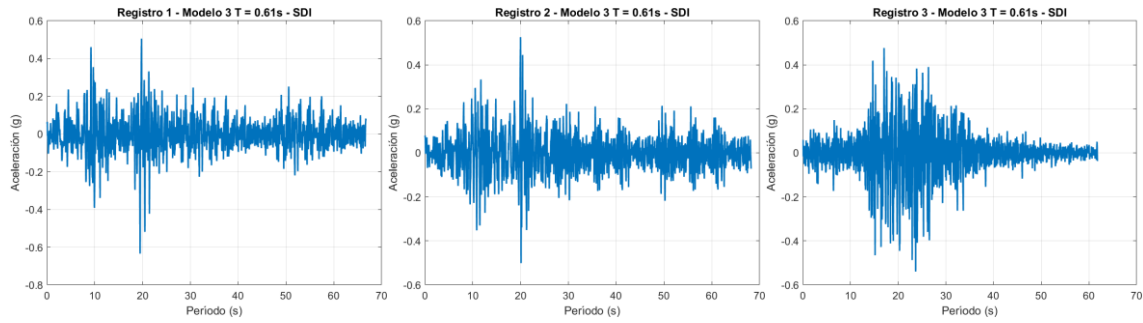


### 11 Registros

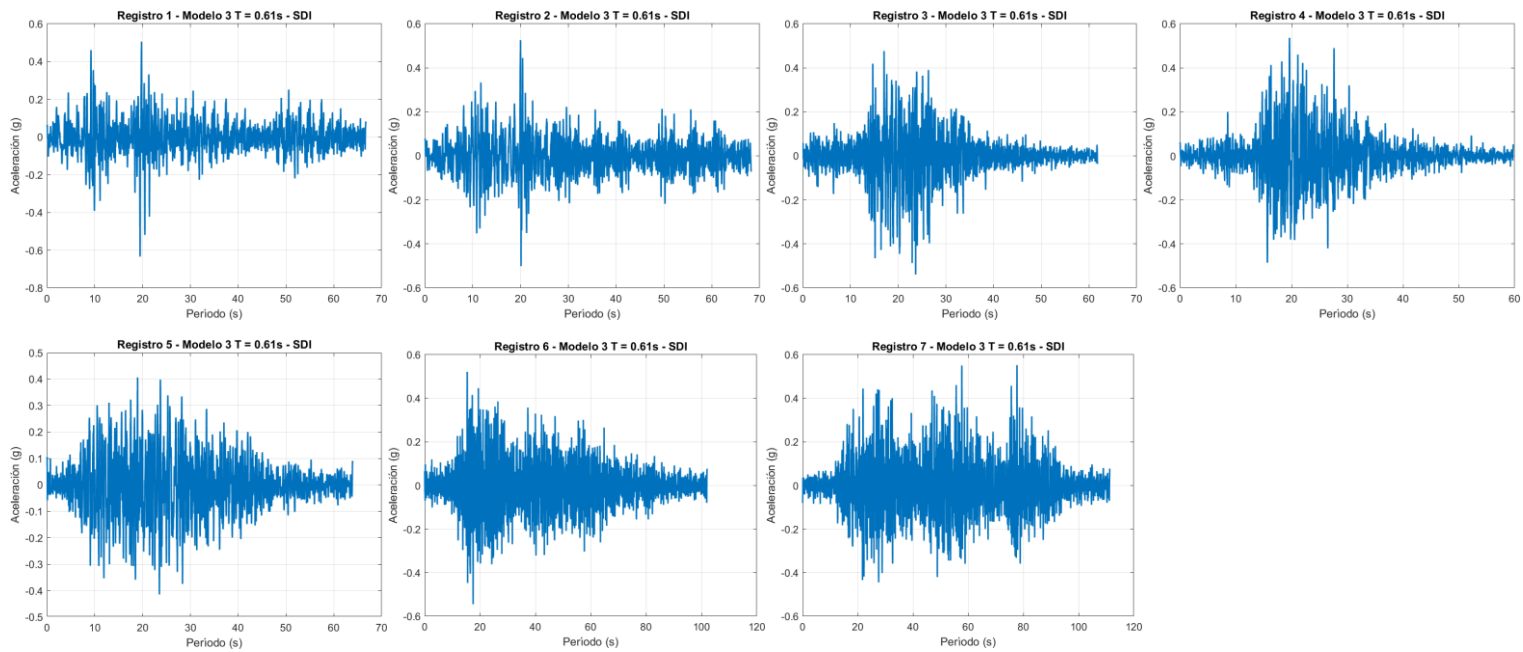


### Modelo 3

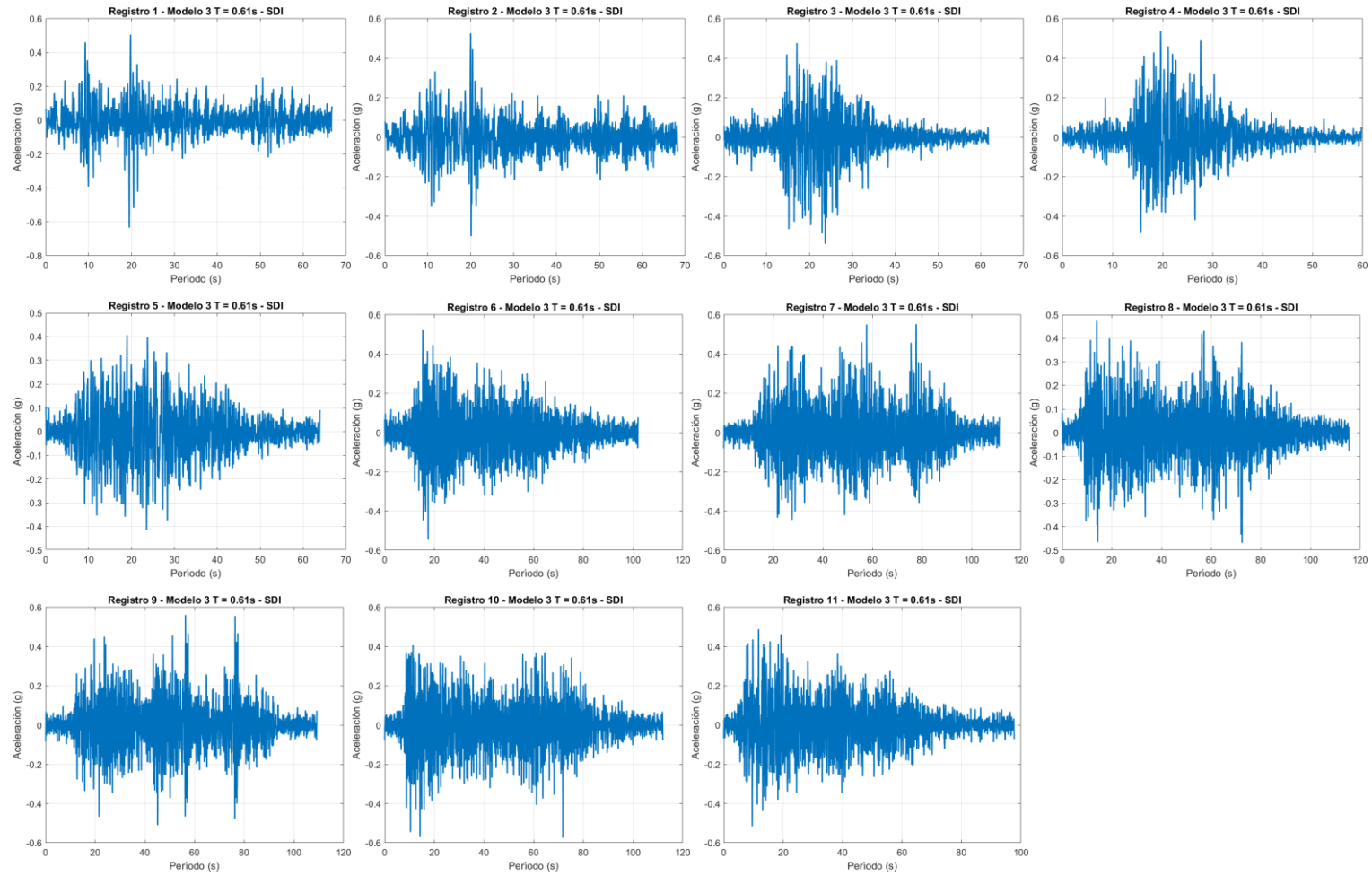
#### tres registros



#### 7 Registros



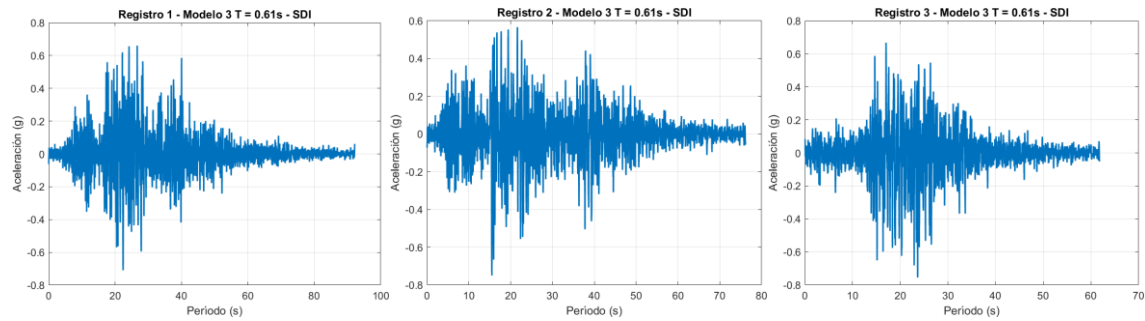
### 11 Registros



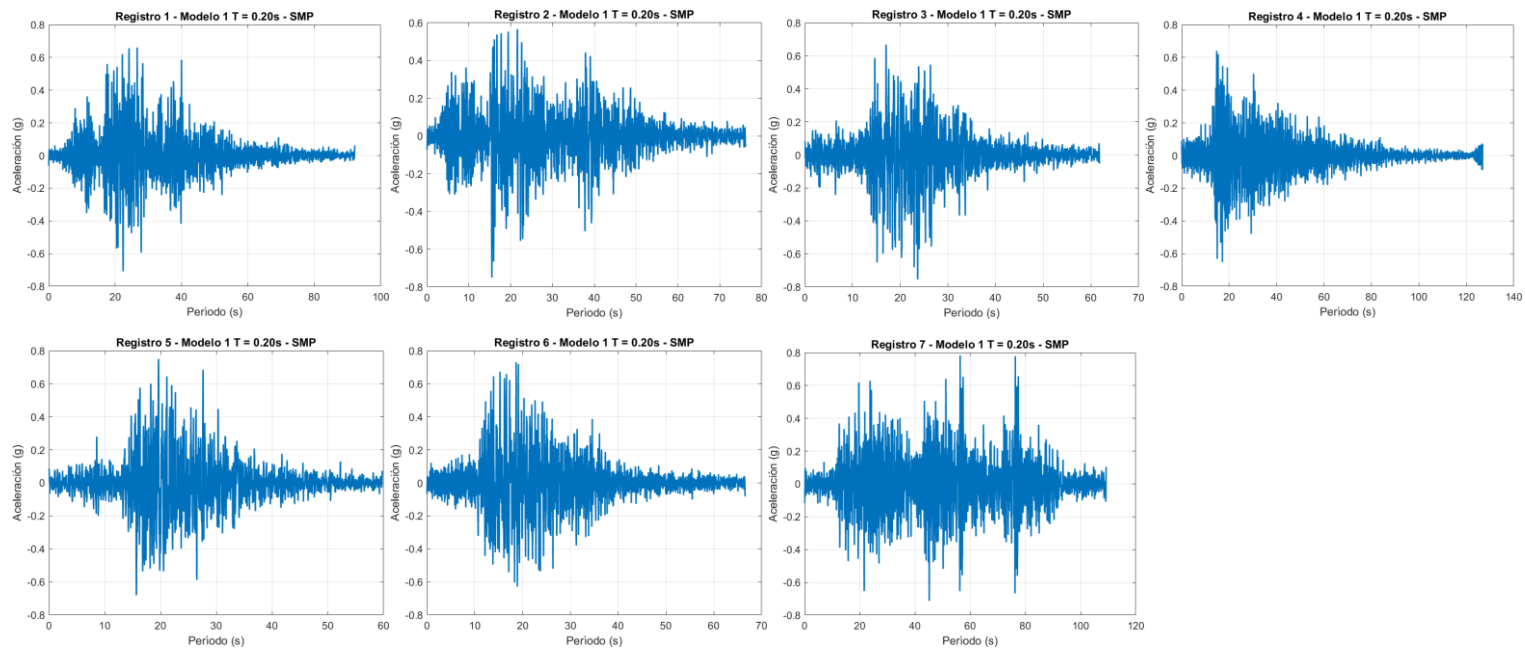
## ANEXO 5.6 Registros Ajuste Espectral Espectro NCh2369:2023 – 975 años

### Modelo 1 – $T = 0.20s$

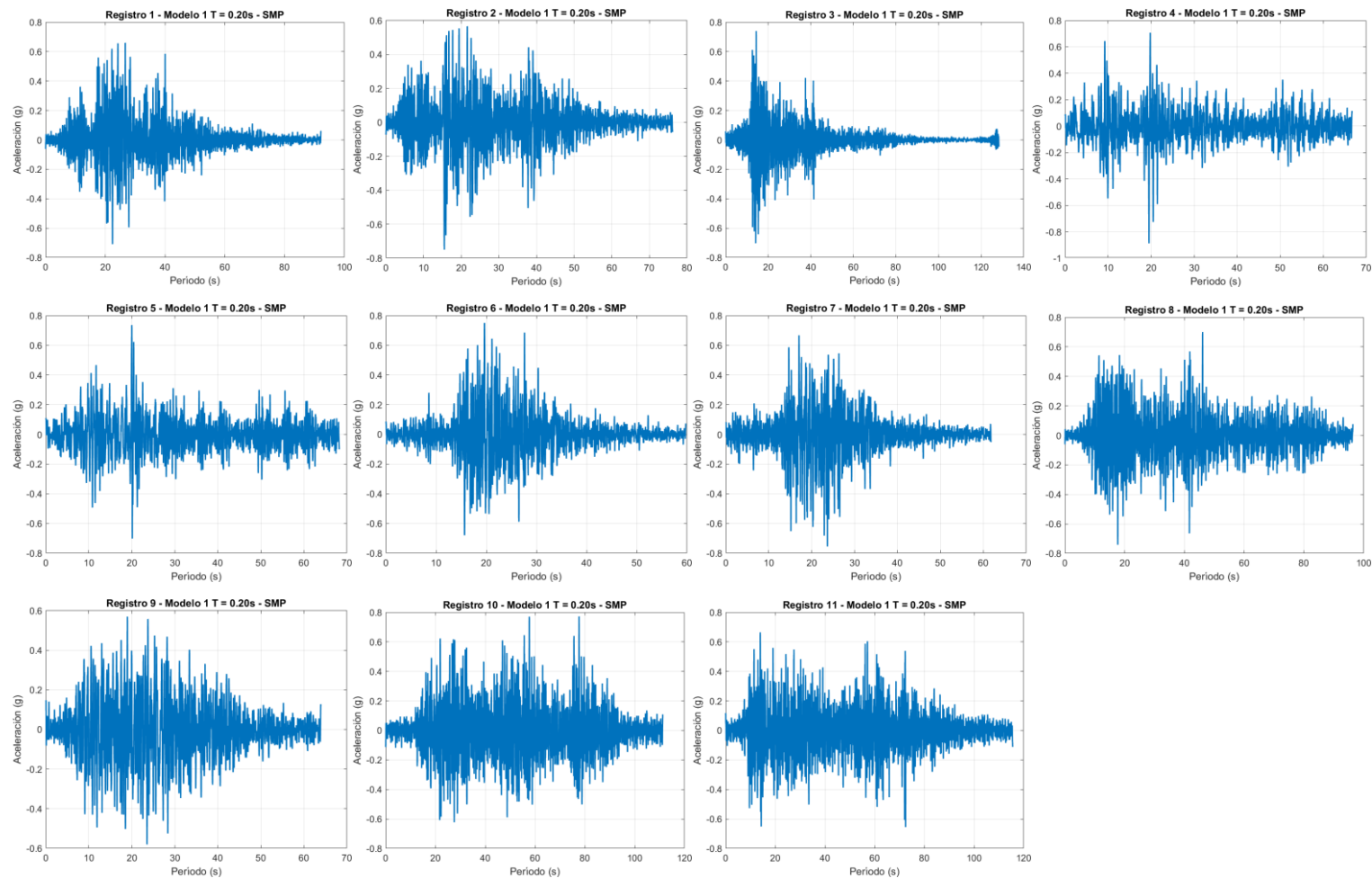
tres registros



7 Registros

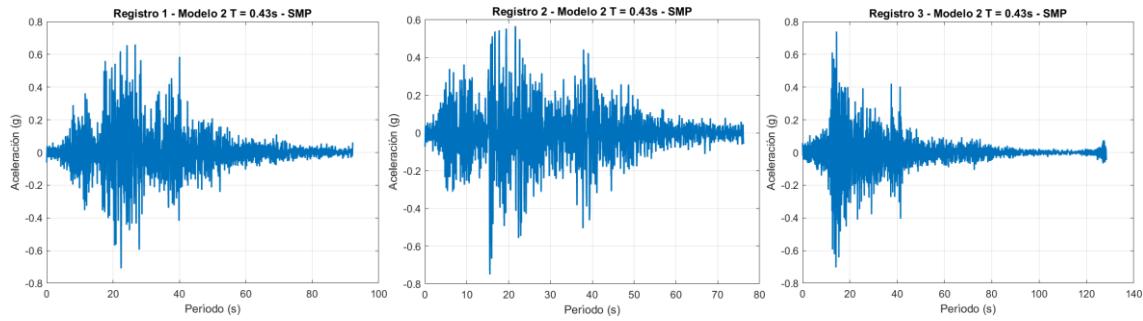


## 11 Registros

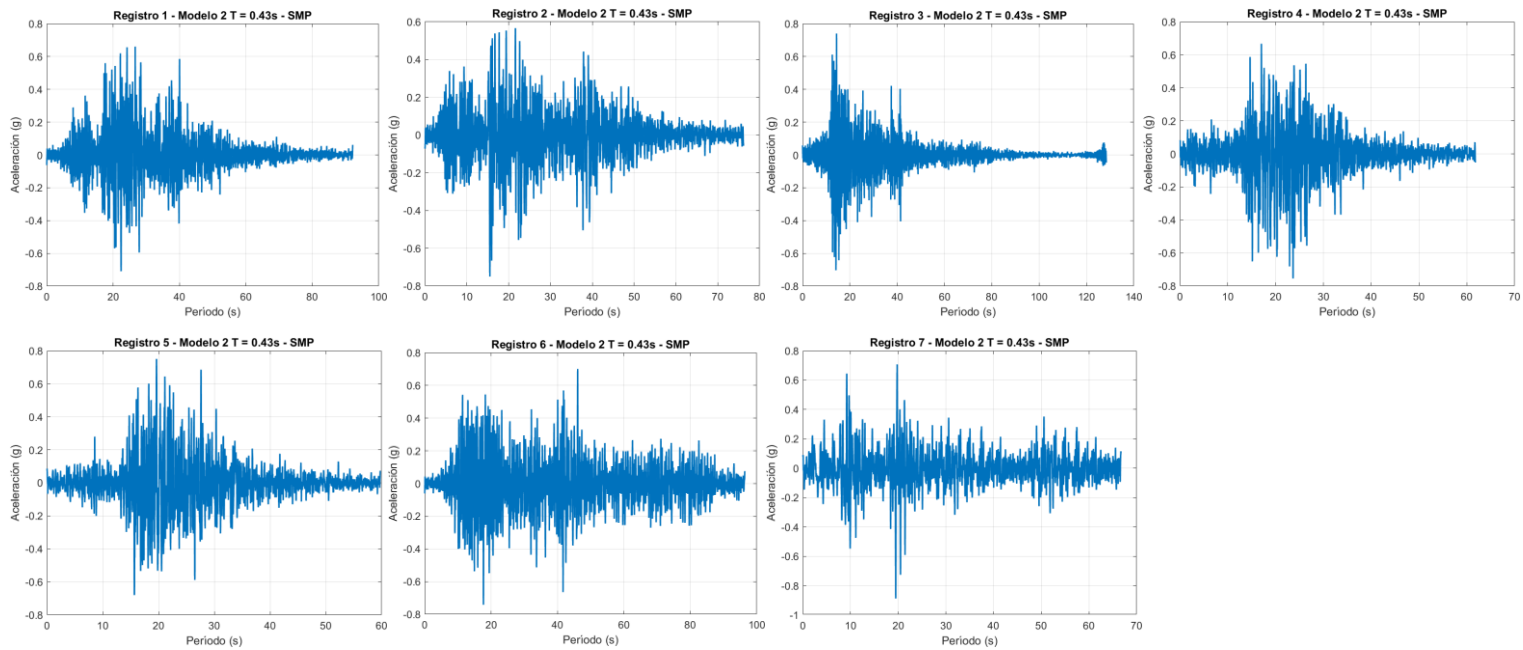


## Modelo 2

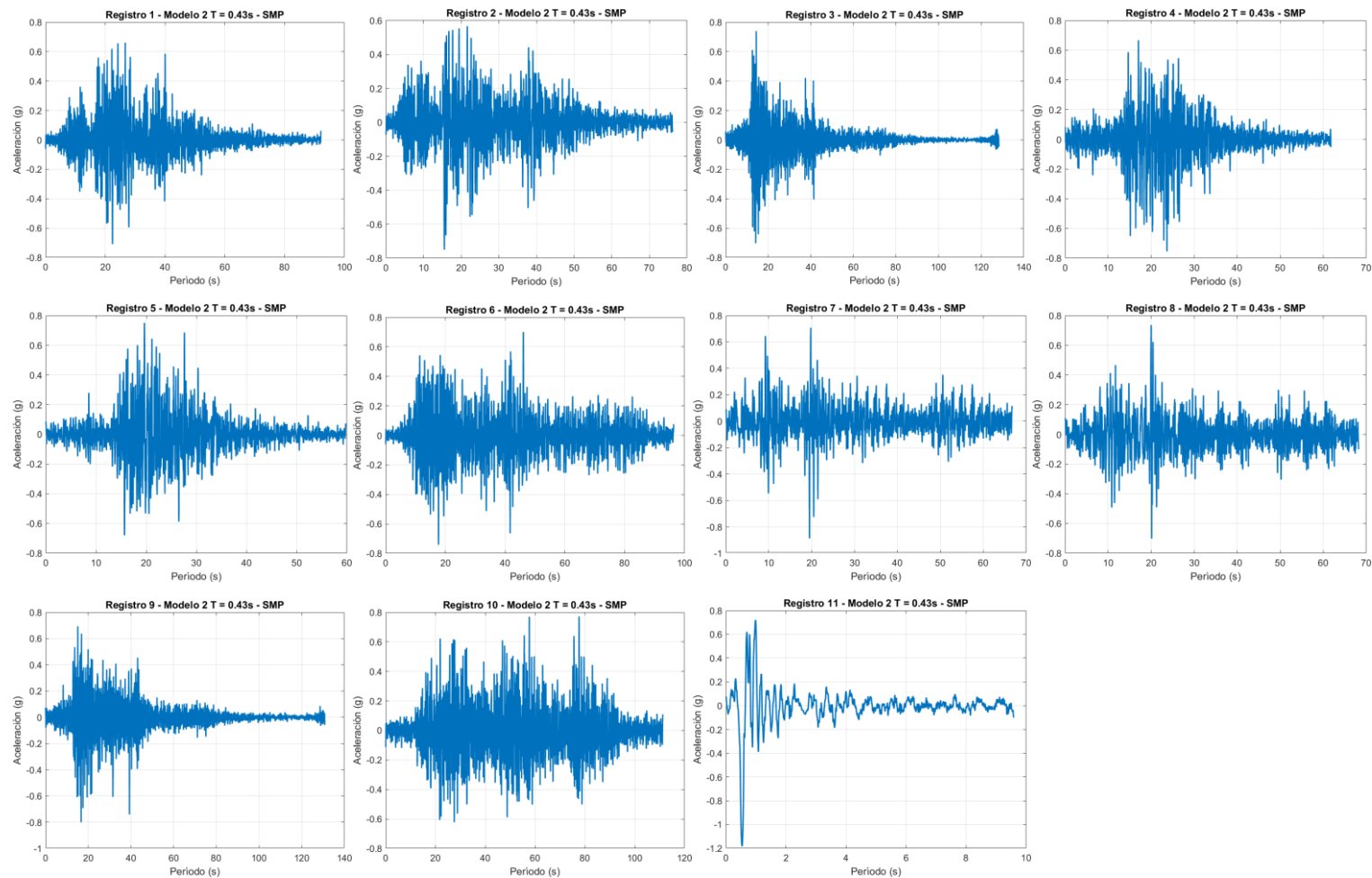
### tres registros



### 7 Registros

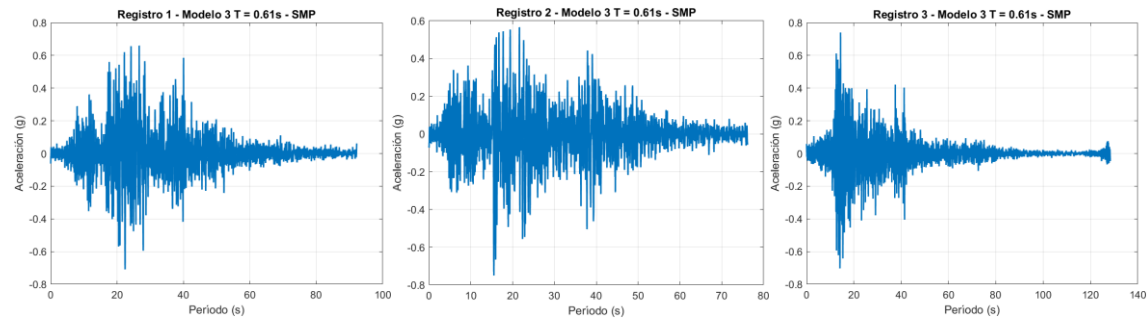


### 11 Registros

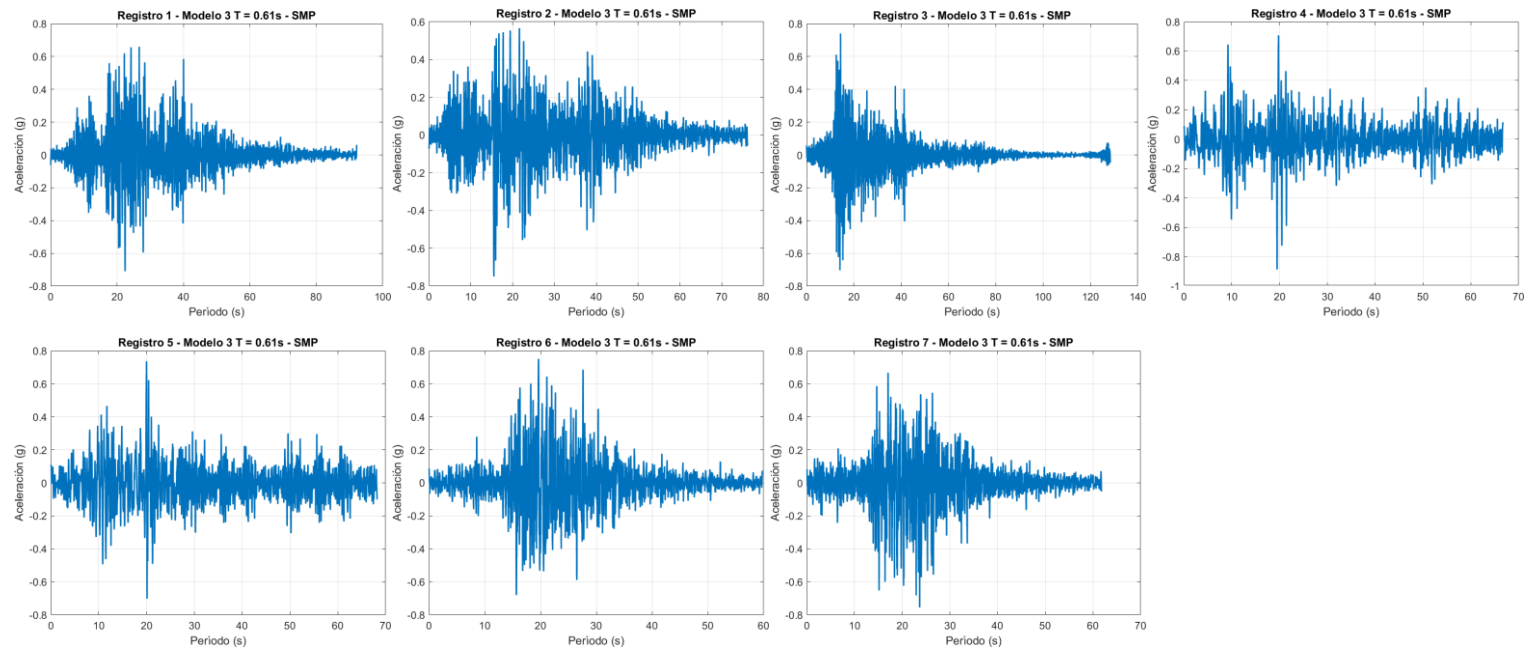


### Modelo 3

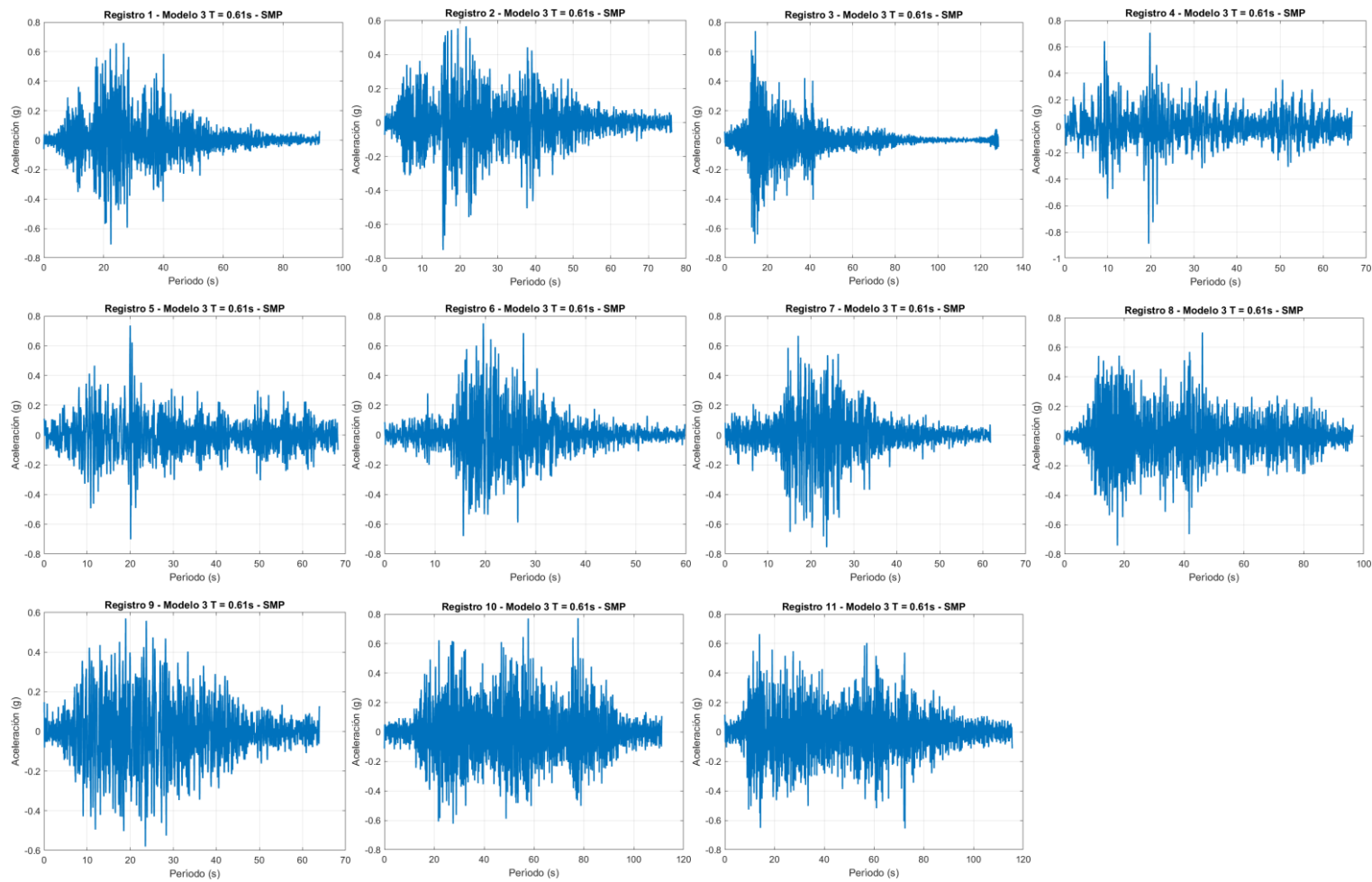
#### tres registros



#### 7 Registros



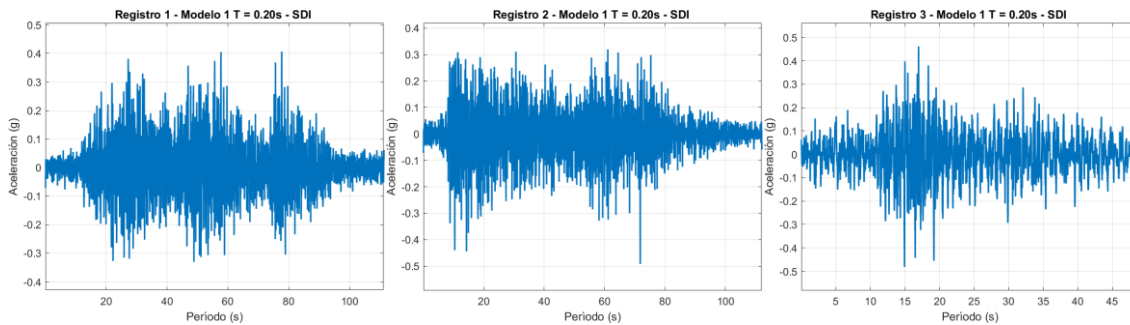
### 11 Registros



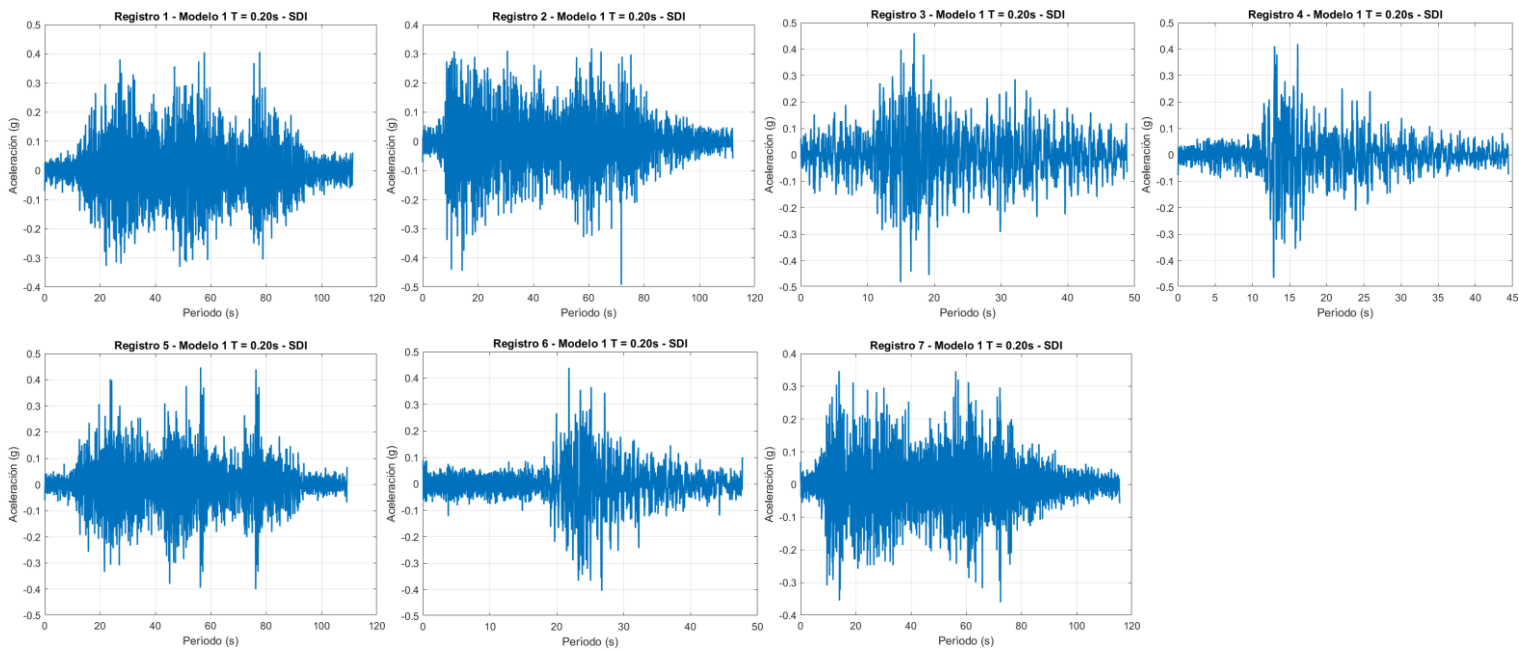
## ANEXO 5.7 Registros Ajuste Espectral Espectro CMS – 475 años

### Modelo 1 – T = 0.20s

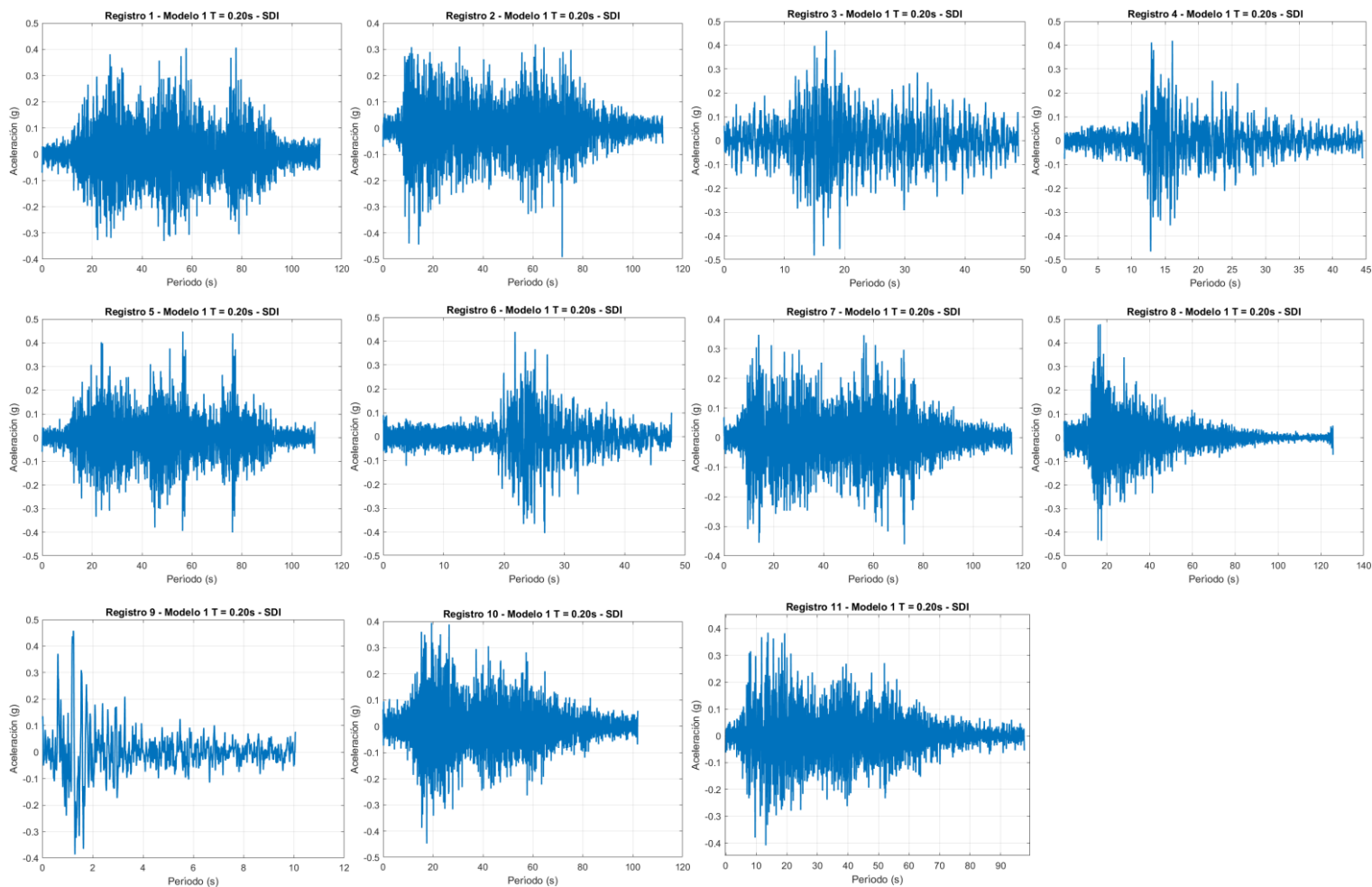
tres registros



7 Registros

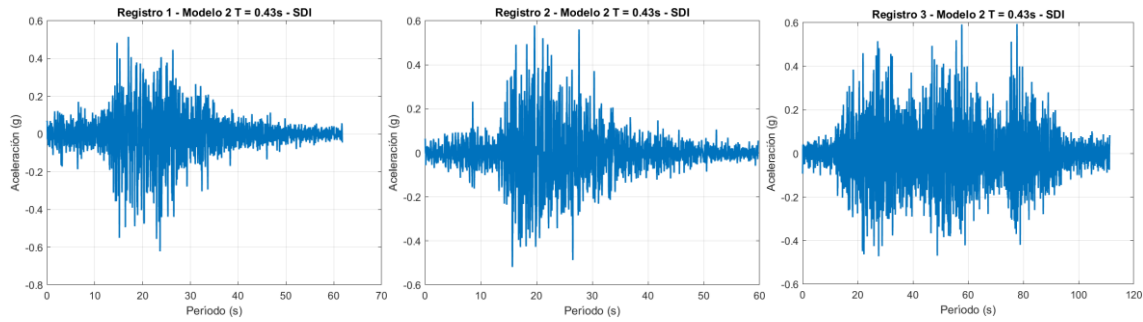


### 11 Registros

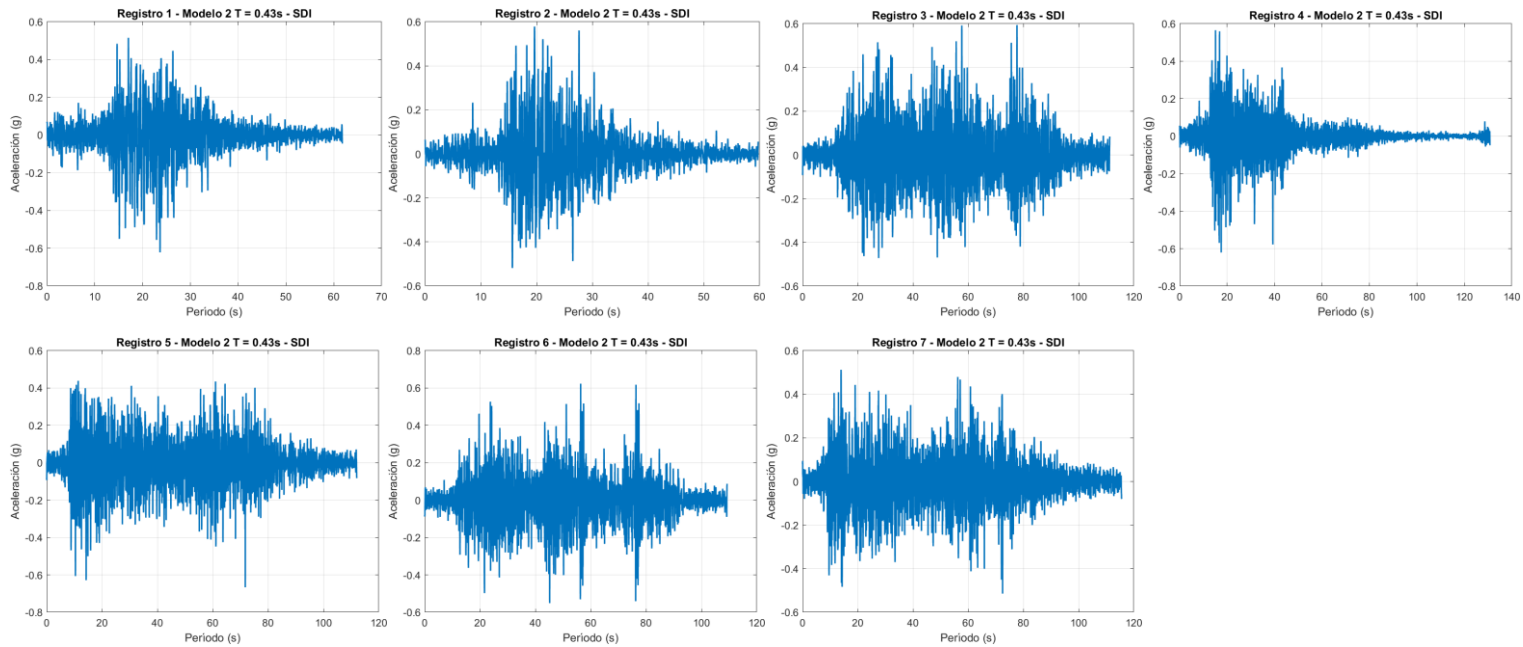


## Modelo 2

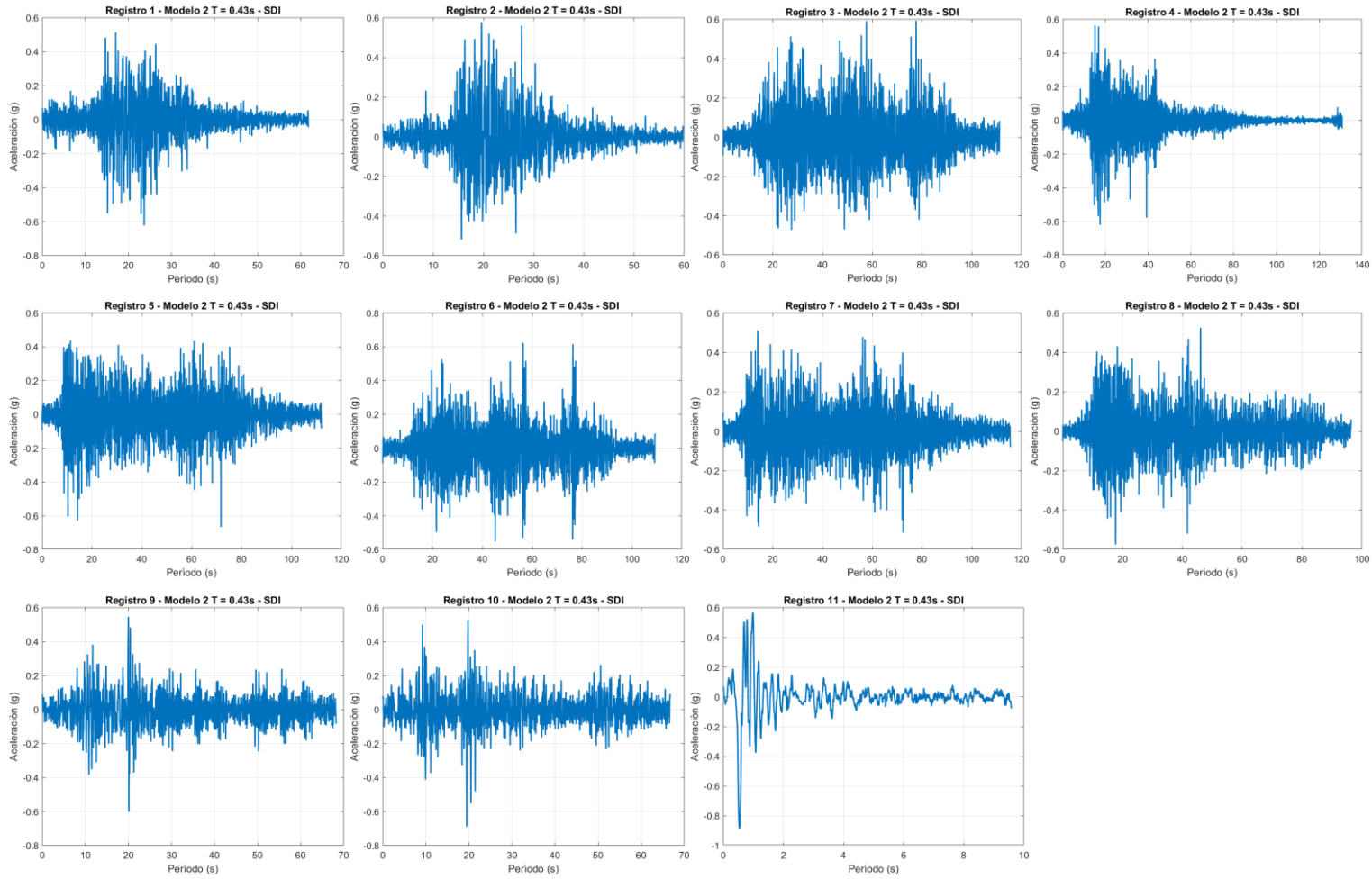
### tres registros



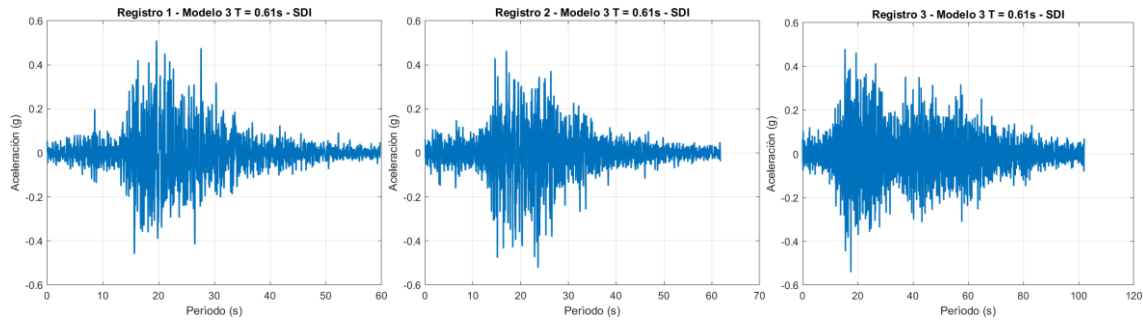
### 7 Registros



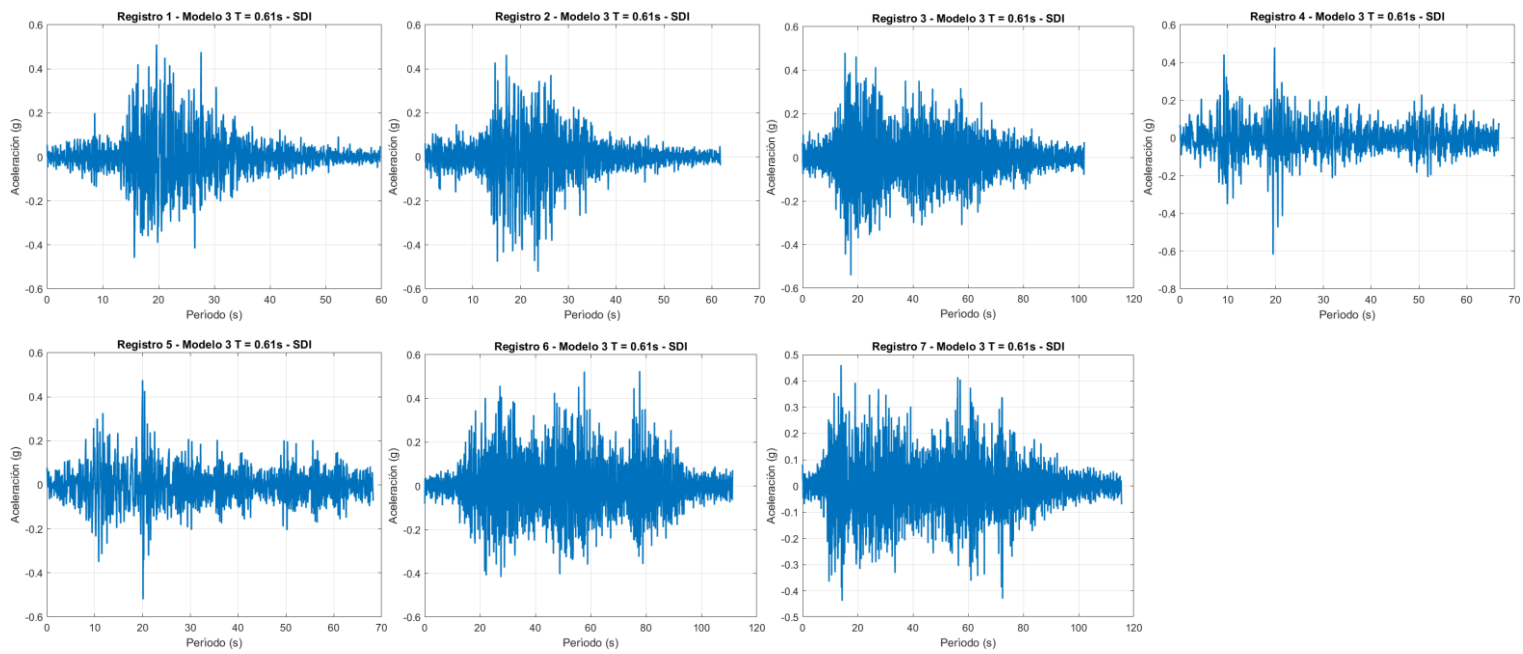
### 11 Registros



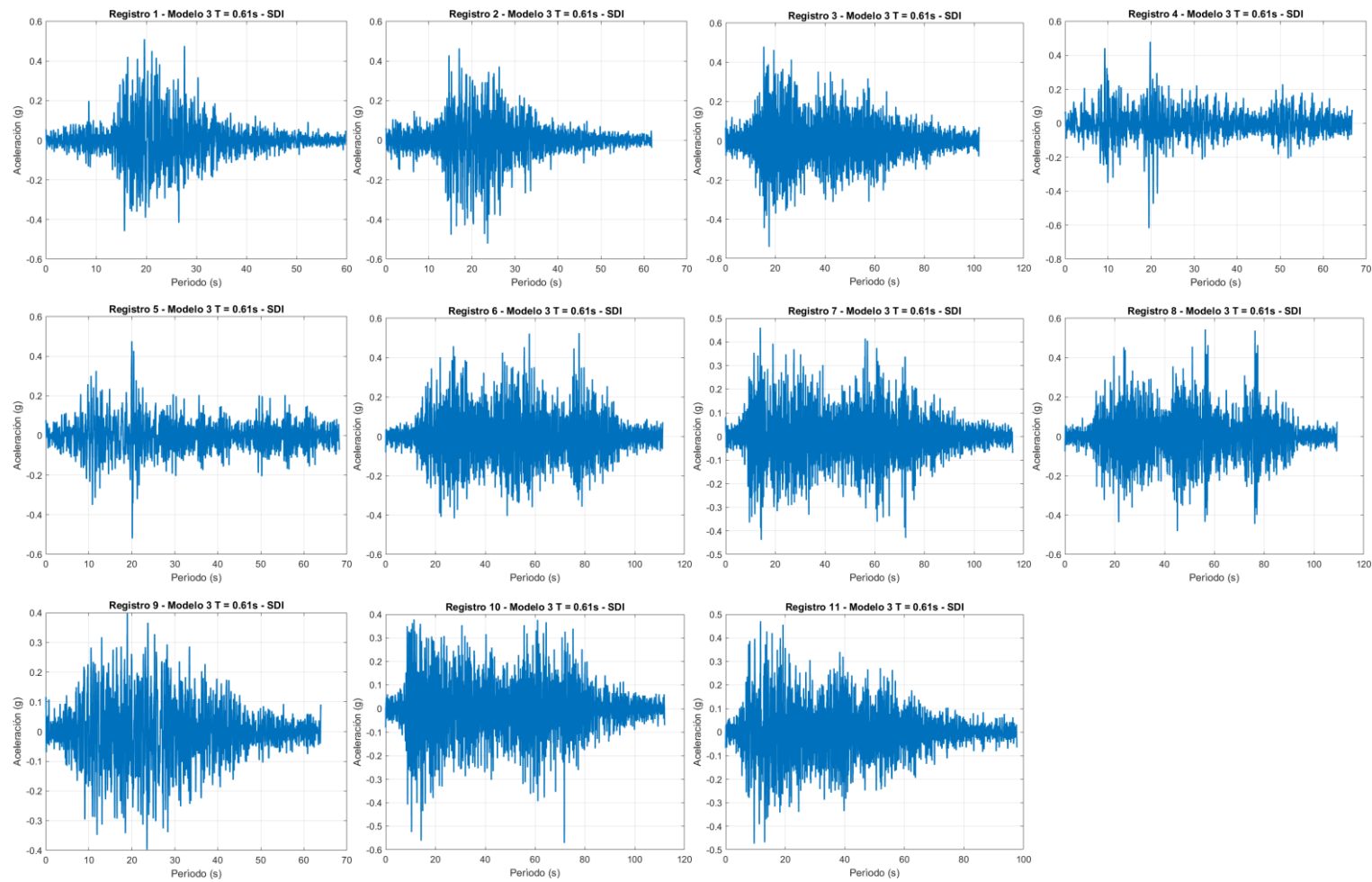
### Modelo 3 tres registros



### 7 Registros



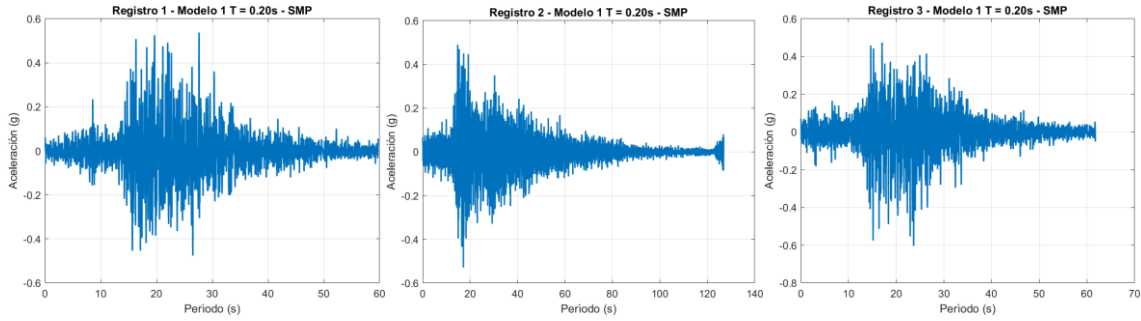
### 11 Registros



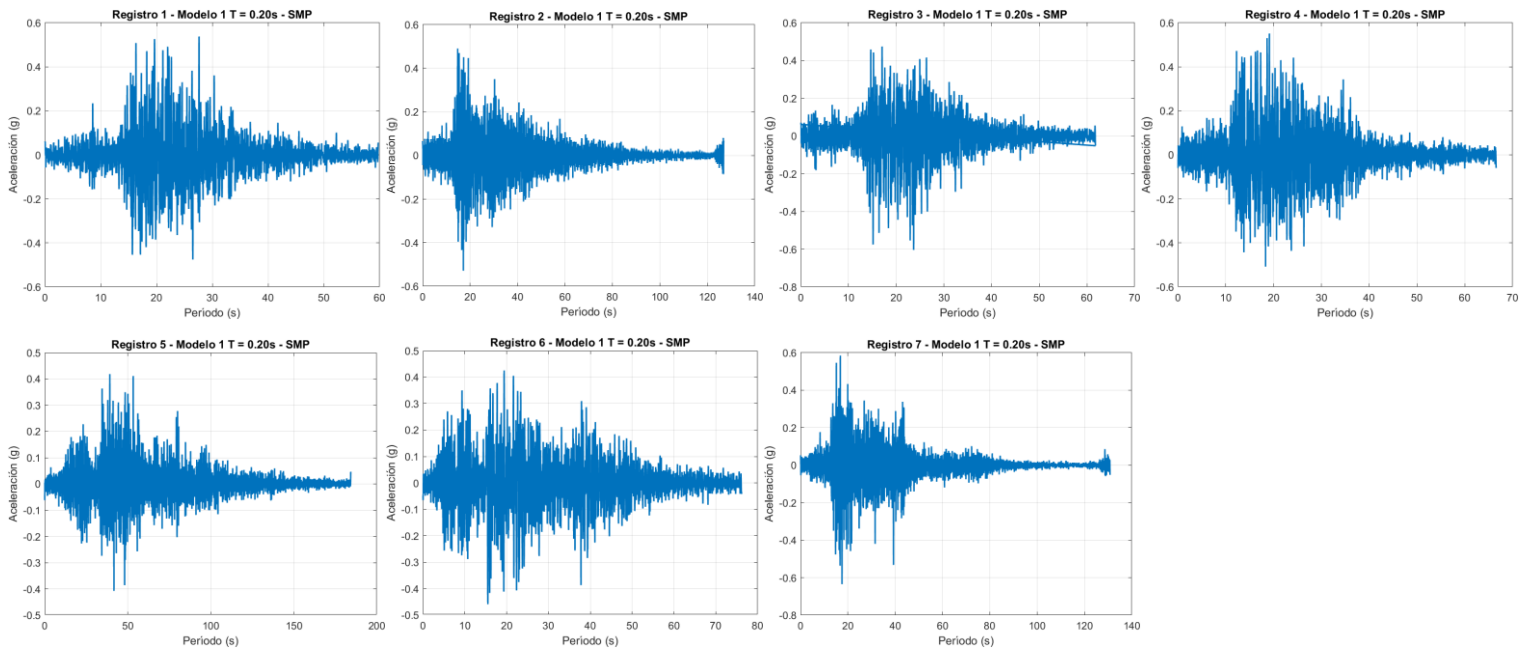
# Anexo 5.8 Registros Ajuste Espectral, Espectro CMS - 475 años

## Modelo 1 – T = 0.20s

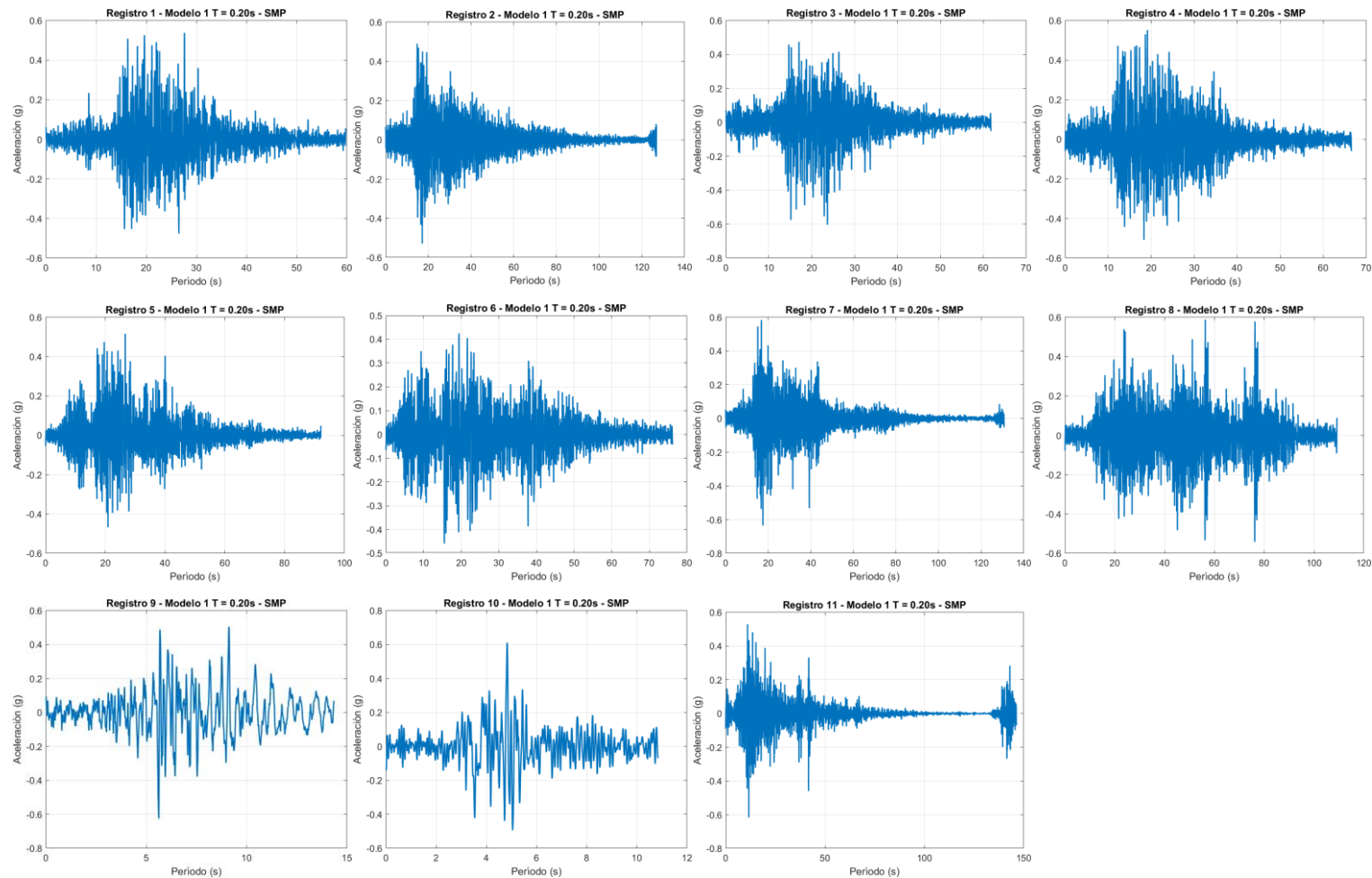
tres registros



7 Registros

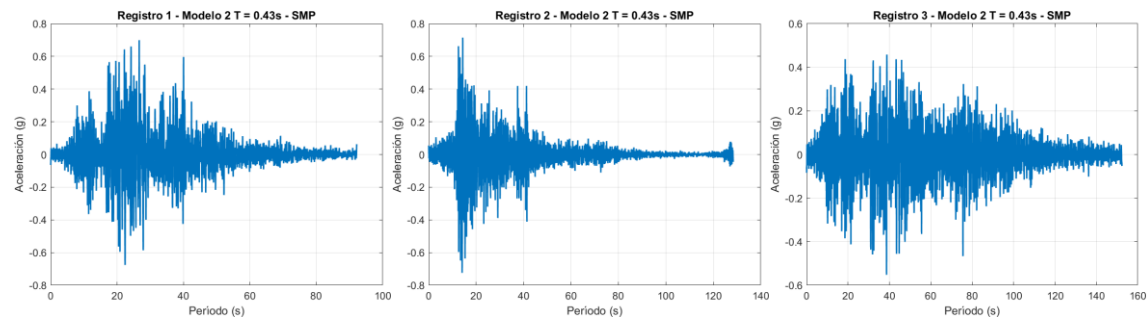


### 11 Registros

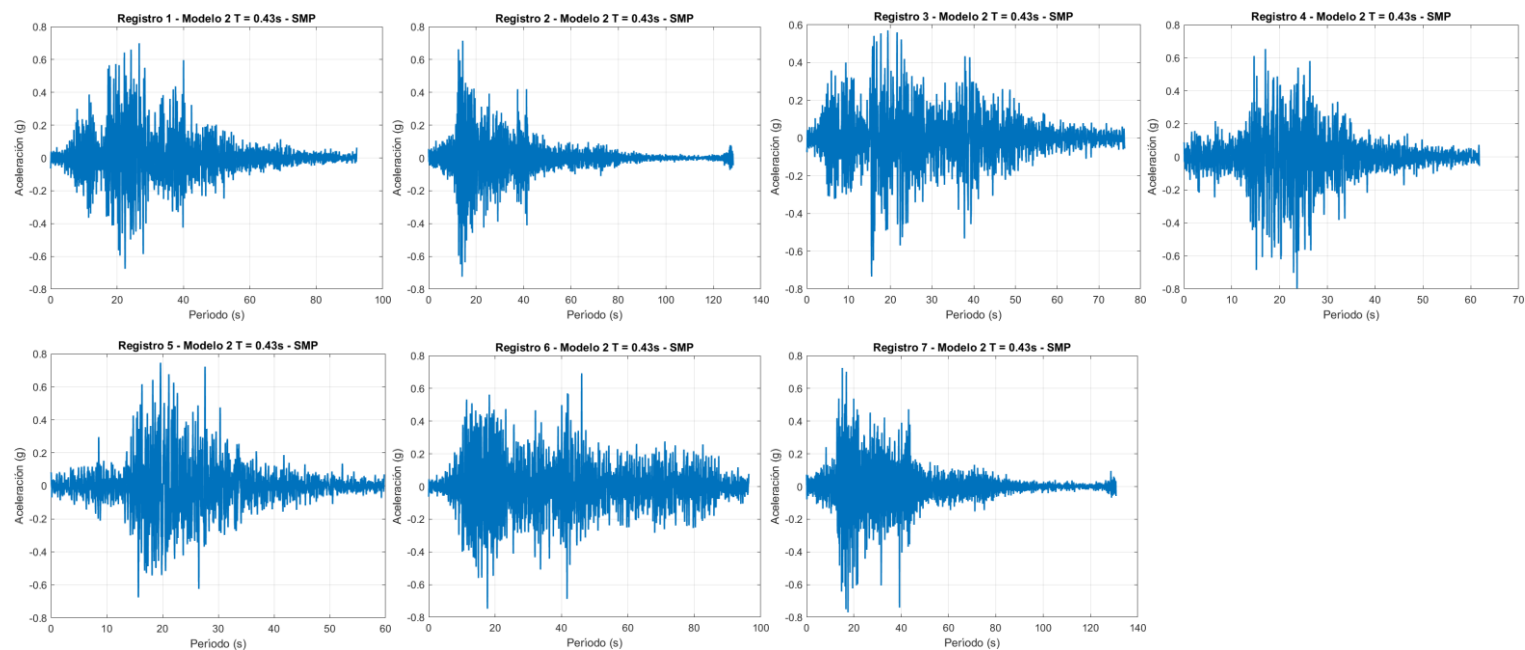


## Modelo 2

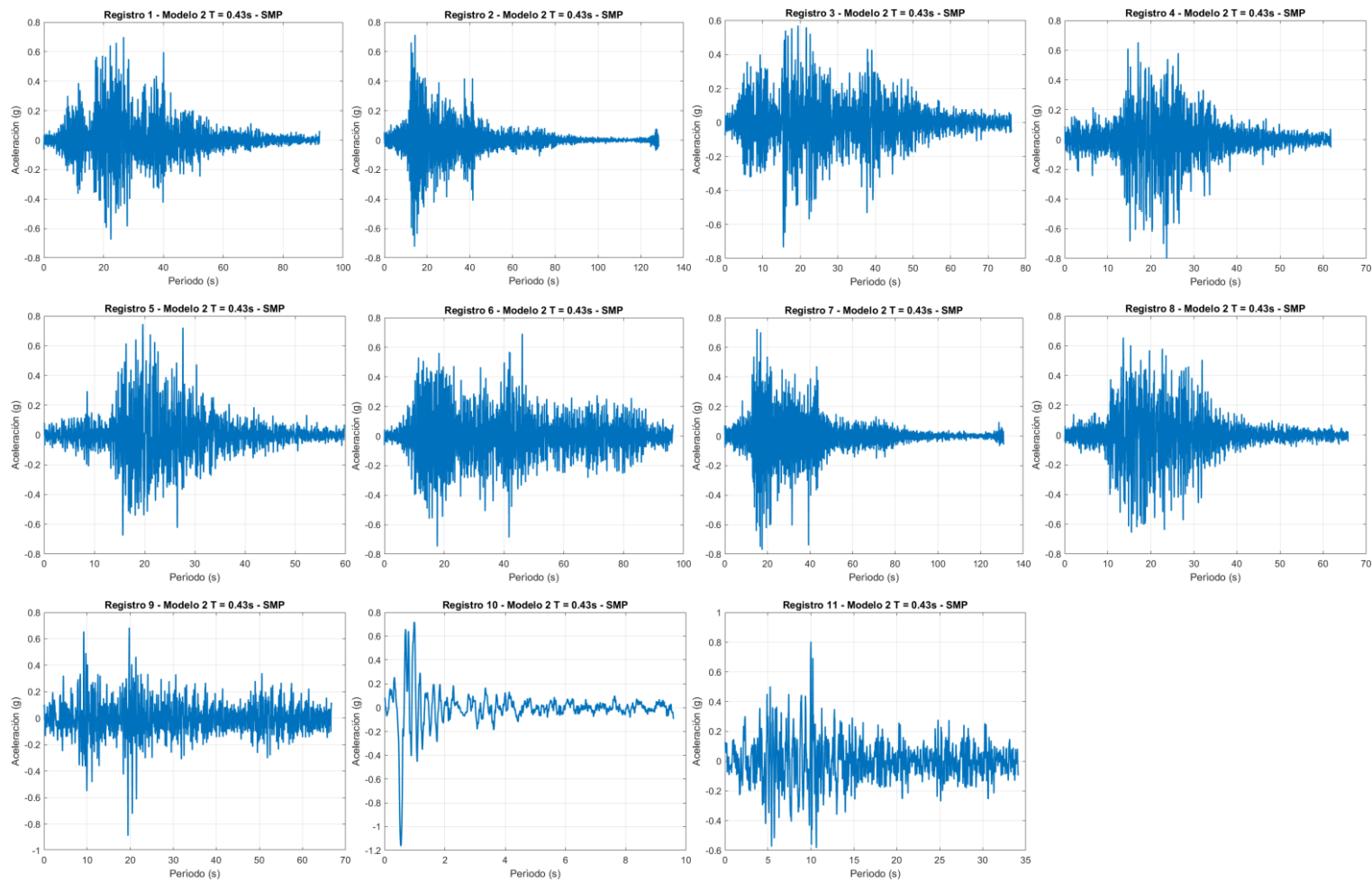
### tres registros



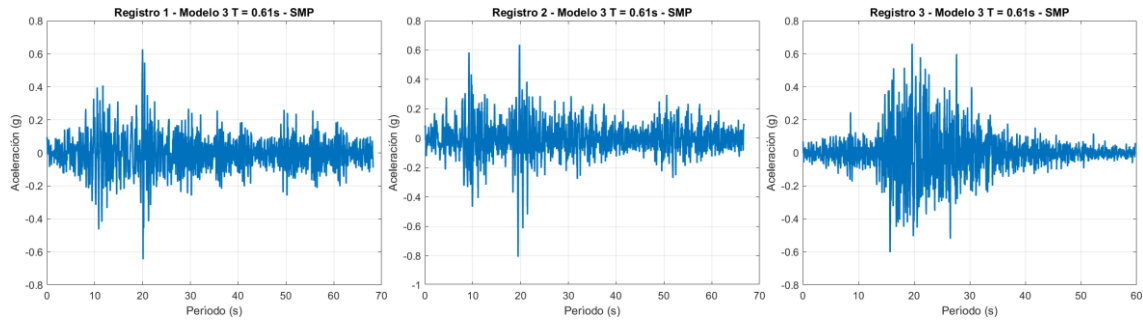
### 7 Registros



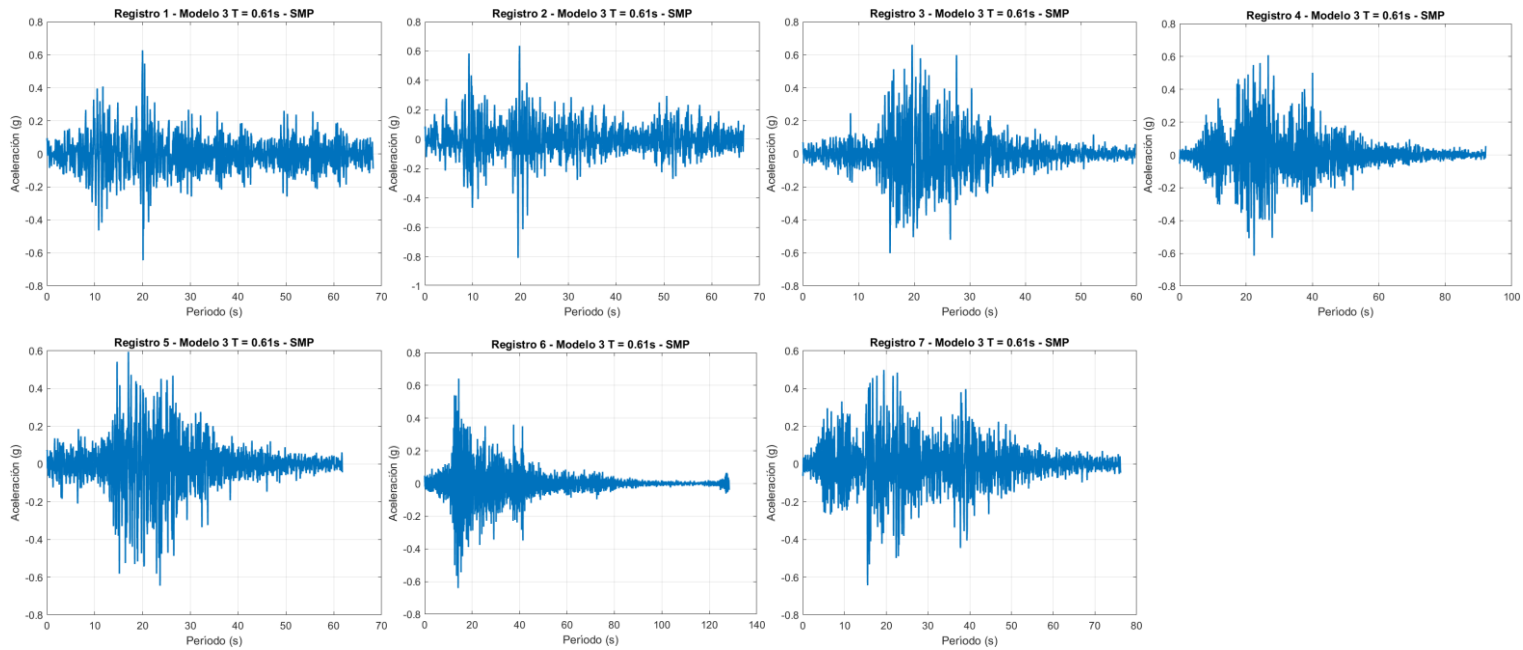
### 11 Registros



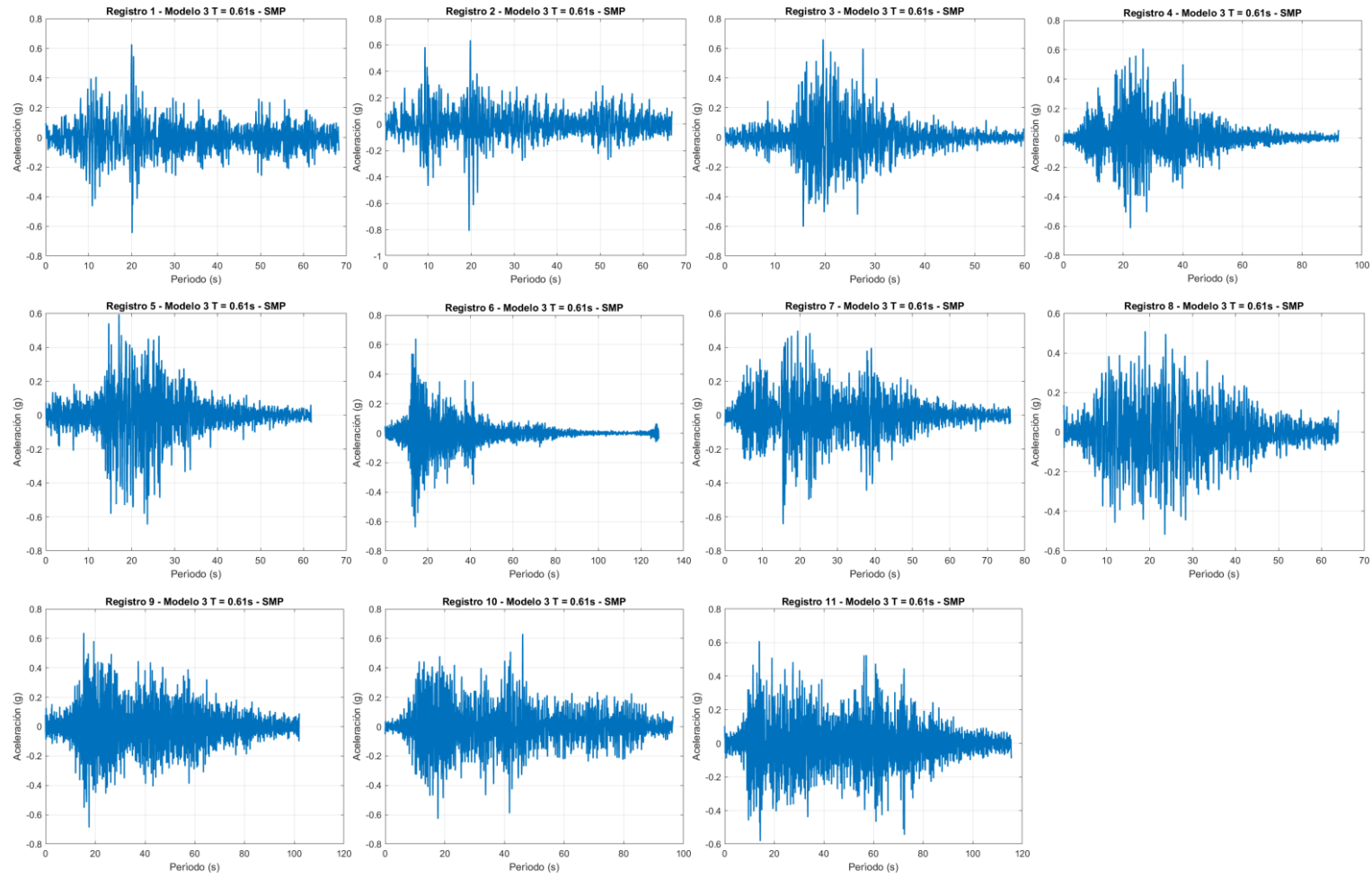
### Modelo 3 tres registros



### 7 Registros



### 11 Registros



# UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA

## RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO

**Departamento** : Departamento de Ingeniería Civil  
**Carrera** : Ingeniería Civil  
**Nombre del memorista** : Rebeca Ester Aedo Sanhueza  
**Título de la memoria** : Sensibilidad de la respuesta estructural de marcos arriostrados concéntricos a métodos de selección de registros.  
**Fecha de la presentación oral** : 04 de abril de 2025

**Profesor(es) Guía** : Rodrigo Silva  
**Profesor(es) Revisor(es)** :  
**Profesor(es) Externo(s)** : Miguel Medalla y Cristian Urzúa  
**Concepto** :  
**Calificación** :

### Resumen

Esta investigación evalúa el impacto de la selección de registros sísmicos en el diseño de estructuras industriales, comparando los espectros de peligro uniforme (UHS) y los espectros de compatibilidad condicional (CMS). Se analizan dos métodos de ajuste espectral: el escalamiento espectral y el *Spectral Matching*, con el fin de determinar su influencia en la respuesta estructural bajo distintos escenarios de demanda sísmica.

Se emplean registros sísmicos artificiales de la base de datos sísmica de Chile, aplicados a modelos estructurales en SAP2000, los cuales presentan comportamiento no lineal. Se consideran tres configuraciones estructurales con distintos periodos fundamentales de vibración y se evalúa su respuesta ante conjuntos de 3, siete y 11 registros sísmicos de acuerdo a lo indicado por la norma y códigos de diseño.

Los resultados indican que la selección del espectro y el método de ajuste afectan significativamente la demanda estructural. Se observa que los espectros CMS reducen la variabilidad en la respuesta estructural en comparación con los UHS, que tienden a sobrestimar la demanda. Además, el *Spectral Matching* proporciona un mejor ajuste a la demanda objetivo, pero puede modificar la frecuencia del contenido espectral de los registros.

Se presentan recomendaciones clave para la selección de registros sísmicos en diseño estructural, considerando normativa y objetivos de diseño sísmico. Finalmente, se sugiere extender el estudio a estructuras tridimensionales para evaluar los efectos de torsión e interacción direccional, lo que permitiría obtener una visión más integral del comportamiento estructural bajo excitación sísmica.